

**Teremakusztikai méretezés
gyakran előforduló szituációkban
Példatár**



**Magyar Mérnöki Kamara
Kiadványsorozata 68.**

**Teremakusztikai méretezés
gyakran előforduló szituációkban
Példatár**

**MMK FAP azonosító:
2020/108-AT**

Budapest, 2021. január

A sorozat szerkesztője:
NAGY GYULA
a Magyar Mérnöki Kamara elnöke

Készült a Magyar Mérnöki Kamara Akusztikai Tagozatának gondozásában, a 2020. évi Feladat Alapú Pályázatok pénzügyi keretéből.

A kiadvány a Magyar Mérnöki Kamara tulajdona. Másolása, teljes terjedelmében való közzététele csak a Kamara engedélyével lehetséges. Minden jog fenntartva.

Szerzők:
Fürjes Andor Tamás
Borsiné Arató Éva
Nagy Attila Balázs
Illyés László
Borsi Gergely

Lektorálta:
dr. Augusztinovicz Fülöp

Kiadó:
Magyar Mérnöki Kamara
1117 Budapest, Szerémi út 4.
info@mmk.hu, www.mmk.hu

TARTALOMJEGYZÉK

1. Bevezető.....	5
2. Hogyan használjuk a kiadványt?	7
3. A teremakusztikai méretezés útjai	9
3.1. A teremakusztikai célok meghatározása	9
3.2. A teremakusztikai követelmények megállapítása.....	10
4. A vizsgált szituációk bemutatása	19
4.1. Helyiségek, ahol a beszédhang támogatása fontos	21
4.1.1. Helyzetelemzés	21
4.1.2. Javasolt megoldások.....	26
4.1.3. Példa: szükséges hangelnyelő felületek becslése	31
4.1.4. Példa: meglévő tanterem felújítása (3 m belmagasság)	32
4.1.5. Példa: meglévő tanterem felújítása (4 m belmagasság)	37
4.1.6. Példa: új tanterem.....	40
4.1.7. Példa: tárgyaló.....	44
4.2. Helyiségek, ahol a beszédhang csillapítása fontos	45
4.2.1. Helyzetelemzés	45
4.2.2. Javasolt megoldások.....	48
4.2.3. Példa: szükséges hangelnyelő felületek becslése irodahelyiségekben	50
4.2.4. Példa: egylégterű iroda	53
4.3. Zajcsökkentés	54
4.3.1. Ha nem ismert a zajforrás vagy vizsgálati pont helyzete vagy pozíciója.	54
4.3.2. Ha ismert a zajforrás és a vizsgálati pont helyzete is.....	57
4.3.3. Ha a követelmény a minimális közepes hangelnyelési számra vonatkozik	57
5. Jellemző hibák méretezésnél, kivitelezésnél	60
5.1. Tervezéssel kapcsolatos gyakori hibák.....	60
5.2. Fogalmak használatával kapcsolatos gyakori hibák	63
5.3. Kivitelezéssel kapcsolatos hibák.....	63
6. Irodalomjegyzék.....	65

1. Bevezető

Az emberek életük nagyobb részét zárt helyiségben, nem „természetes” környezetben élik le. Az építmények leggyakrabban előforduló helyiségei a munka, a pihenés vagy a szórakozás céljait szolgálják.

A hallással érzékelt minőség folyamatosan alakítja a komfortérzetet, a környezetünkről alkotott megítélést, mert a fülünket nem tudjuk becsukni. Mára közismert tény, hogy a helyiségeken belüli környezeti szempontok között az akusztikai viszonyokat is kezelni kell, mert a nem megfelelő akusztikai környezet a komfortérzetet ronthatja, a helyiség rendeltetésszerű használatát akadályozhatja és szélsőséges esetben egészségkárosodást okozhat.

A helyiségek akusztikai minőségét a megfigyelő szempontjából az alábbi szempontcsoportok szerint lehet vizsgálni:

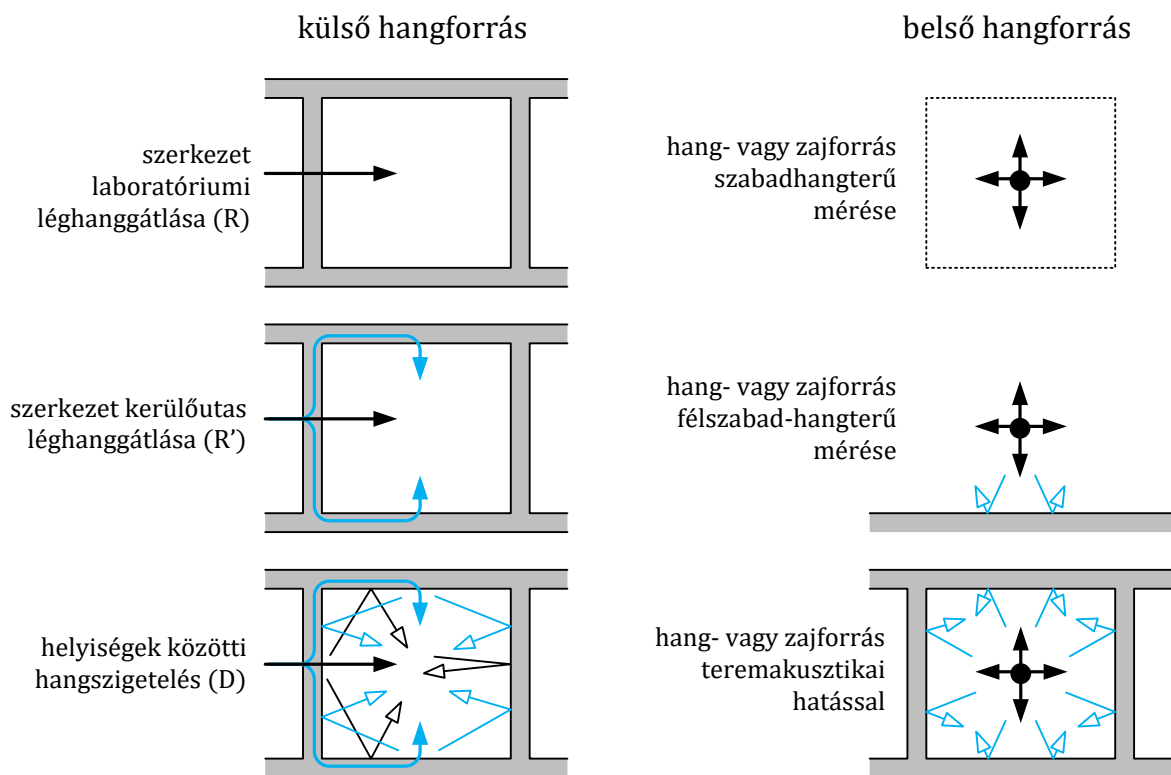
- zajosság: helyiségen belül létrejövő vagy helyiségbe a környezetből bejutó zajok;
- hangszigetelés: helyiség és környezete közötti elválasztás;
- helyiség hangzása: helyiségen belül megszólaló hangforrásokat befolyásoló hatások minősége.

Az akusztikai minőségi szempontok elfogadhatónak tartott értékei vagy hangsúlyai a szakmai ajánlásokon túl megjelentek rendeletekben, szabványokban is. Ezek közül a teremakusztikai szempontok sem kevésbé fontosak vagy újak.

A *teremakusztika* az építészeti akusztika témakörén belül a helyiségeken belüli, a visszaverődések által okozott hanghatások összességének vizsgálatát jelenti.

A leírás alapján úgy tűnhet, hogy a teremakusztika csak a helyiségen belüli hatásokkal van összefüggésben. Ténylegesen viszont a teremakusztikai hatások a helyiségbe jutó külső zajokra is ugyanúgy hatnak, ezért a hangszigetelés (léghangszigetelés, lépéshangszigetelés) hatásosságát és a zajosságot is nagyban befolyásolják. A teremakusztika hangszigetelés és zajosság szempontjaiban játszott szerepét és hatását az 1-1. ábra szemlélteti.

A teremakusztikai minőség tehát a zajosságra, hangszigetelésre gyakorolt hatásán keresztül közvetetten is hatással van a minőségérzetre, ezért a teremakusztikai méretezés célja a rendeltetésszerű használat és a zajcsökkentés támogatása is. Azt is lehet mondani, hogy teremakusztikai méretezés nélkül az építészeti akusztikai méretezés hibás gyakorlat.



1-1. ábra: A teremakusztika (visszaverődések) és a zajosság, illetve hangszigetelési szempontok viszonyának szemléltetése [FAP2019].

A hallásmechanizmus folyamatosan igyekszik az érzékelt hangokat feldolgozni, a hasznos információkat kinyerni, a zavarónak ítélt hatásokat elnyomni. Ezért ahol az akusztikus kommunikáció (beszéd, zene) a helyiség rendeltetésének lényege, a megfelelő teremakusztikai körülmények biztosítása a rendeltetészerű használat biztosításának alapvető követelménye.

Az akusztikai és a teremakusztikai minőség részletes megítélése egyéenként vagy akár hangulattól függően is változik, a minimálisan elvárható minőségi szempontok jól meghatározott műszaki paraméterek használatával és tudományosan, gyakorlatban is alátámasztott módszerekkel méretezhető.

A Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (MMK FAP-2019/112-AT) [FAP2019] kiadvány a teremakusztika elméleti háttérét, legjellemzőbb folyamatait, a minőséget jellemző paramétereket mutatja be.

Ez a kiadvány az elméleti áttekintés kiegészítése, amiben példákon keresztül mutatjuk be a szabványokban előforduló teremakusztikai paraméterekre történő méretezés lépéseit és eszközeit.

2. Hogyan használjuk a kiadványt?

A kiadvány célja bemutatni az egyszerű teremakusztikai számítások és szempontok gyakorlati alkalmazását, valamint a méretezésben és kivitelezésben jellemző hibákat.

A teremakusztika elméletének alapjait, a teremakusztikát jellemző mennyiségeket és fogalmakat a FAP2019/112AT kiadvány tárgyalja. A példatárban bemutatott példák más helyzetekben is használhatók, de a szóba jöhető megoldásokat, az alkalmazott számítási módszerek érvényességét és korlátait minden esetben egyedileg kell mérlegelni.

A teremakusztikai minőség alapvető követelményeire és a minimálisan elvárható határértékekre a 2020. szeptemberében megjelent MSZ 2080:2020 szabvány ad ajánlást. A szabvány a követelmények megállapításának módjára is ad útmutatást, ezért a példatárban feltételezzük, hogy a vizsgált szituációra vonatkozó kiindulási követelmény a szabványból kiolvasható.

A példatár bevezető fejezetében a követelményrendszer és a követelmény helyes megállapításához vezető utat, a követelmény teljesítéséhez szükséges méretezési eljárásokat tekinti át.

Ha a követelmény ismert, a vonatkozó szabványokban, a nemzetközi irodalomban vagy az elméleti összefoglalóban szereplő összefüggésekkel lehet egyszerűsített számításokat végezni. A példatárban ezek alkalmazását mutatjuk be néhány jellemző példán keresztül.

A ritkán előforduló helyzetek vagy sajátos követelményeknek megfelelő méretezés, a részletesebb számításokat vagy teremakusztikai modellezést igénylő esetek túlmutatnak a példatár keretein. Ilyen esetekben mindenképpen a kérdésben járatos szakember bevonása ajánlott.

A példatár utolsó fejezetében a méretezésben, kivitelezésben és a szakmai szóhasználatban gyakran előforduló problémákat és hibákat sorolja fel.

A tervezési példák

A kiadvány 4. fejezete olyan javaslatokat mutat be, amik az esetek nagy többségében teremakusztikai értelemben már elfogadható megoldásokat képviselnek új és felújításra szoruló állapotokra.

A példák mellett kiindulási méretezéshez táblázatok és grafikonok is szerepelnek. A javaslatok alkalmazása csak tájékoztatóként, az érintett szakágak számára jelent

kiindulást, ezért általánosságban nem pótolja az akusztikai méretezést, tervezést, felülvizsgálatot.

3. A teremakusztikai méretezés útjai

A méretezés első lépése minden esetben a követelmény és a helyes célok, határértékek megállapítása. A következő lépésben kell dönteni arról, hogy a tervezett beavatkozás megfelelőségét milyen számítási módszerrel ellenőrizzük.

3.1. A teremakusztikai célok meghatározása

A teremakusztikai méretezés követelményei mögötti szándékot talán a legegyszerűbb a beavatkozás célja szerint meghatározni.

Ahol a hangforrás megszólalásának támogatása a cél

Ahol a hangforrás megszólalásának támogatása a cél, elsősorban a hangforrás láthatóságát kell biztosítani (közvetlen hangút), másodsorban a hangforrás számunkra fontos karakterének megfelelően kell formálni a teremakusztikai hatásokat (közvetett hangutakat). Ez utóbbi sokszor ellentmondásos szempontokat vet fel:

- A hangtisztaság javításához rövidebb utózenge szükséges, mert a hosszabb utózenge lényegében időben teríti szét és így nehezebben értelmezhetővé teszi a rövid hangokat.
- Az irányítottabb hangforrás a hangtisztaságot javítja, mert kevesebb hangenergia indul a hangforrásból olyan irányokba, ahonnan csak késve és visszaverődések útján jutna el a hallgatókhoz.
A hangforrás irányítottsága a hangforrás jellemzője (nem teremakusztikai jellemző), de a hangforrás irányítottságát segíthetik a hangforrás közelébe helyezett visszaverő elemek (hangvetők), amik a teremakusztikai méretezés elemei lehetnek.
- Az irányítottabban érzékelő hallgató a hangtisztaságot javítja, mert így a közvetlen hangenergia aránya javul a visszaverődések útján érkező hangok arányához képest. A hallgató irányítottsága a hallgató jellemzője (nem teremakusztikai jellemző), de a hallgató irányítottságát segíthetik a közelébe helyezett visszaverő felületek (a fül mögé tett kéz, mint hangvető).
- A hangerő elsősorban a hangforráson múlik, ugyanakkor a hosszabb utózenge többet ad az eredeti hanghoz, jobban erősíti a hangforrás hangját.
- A zenei hangok közötti szüneteket kitöltő utózenge kellemes, ezért ahol a zenei megszólalás is szempont, a túl rövid utózenge kedvezőtlen.

Ahol a teremakusztikai beavatkozás célja a hangterjedés akadályozása

Azokban a helyzetekben, amikor a teremakusztikai beavatkozás célja a hangterjedés akadályozása, elsősorban a hangforrás láthatóságát (közvetlen hangút) kell akadályozni (pl. bútorokkal), másodsorban a visszaverődéses (közvetett hangutak) átvitelét kell csillapítani (pl. hangelnyelő felületekkel).

A fentiek miatt magától értetődőnek tűnhet, hogy a minél több hangelnyelés beépítése, a minél rövidebb utózengezés lehet a hangenergia teremakusztikai hatások miatti emelkedését csökkentő egyetlen eszköz.

Ugyanakkor nem szabad elfelejteni, hogy ha a közvetlen hangút akadályokkal nem gátolható, akkor az egyenletes és a hangforrás szempontjából független háttérzajok is hatásosan lerontják a hallhatóságot, a hangforrás azonosíthatóságát. A háttérzajok emelése is megoldás lehet tehát, de bár a háttérzajok megléte nem teremakusztika kérdés, egyenletes és mindentől független háttérzajokat egyszerűbb kelteni, ha hosszabb az utózengezési idő.

Ahol a teremakusztikai beavatkozás célja a zajcsökkentés

A legegyszerűbb cél a zajcsökkentés. Minél több felületet minél hatékonyabb hangelnyelő szerkezettel takarunk, annál jobban közelít a hangforrás tere ahhoz, amit szabad térben, azaz visszaverő felületek nélkül lehetne hallani.

Ezt azért fontos így érteni, mert ezáltal belátható, hogy a teremakusztikai beavatkozásokkal a zaj növekedésének mértékét lehet csak szabályozni (korlátozni), de a zajt nem lehet a teljesen szabad hangtérben várható szint alá csökkenteni. A zajszintek számításának ezért a teremakusztika (hangelnyelés) csak egy tényezője, nem a meghatározója.

A teremakusztikai követelmény ezért nem zaj- és rezgésvédelmi követelmény, de befolyásolja a zajvédelmi követelmények teljesülését.

3.2. A teremakusztikai követelmények megállapítása

A teremakusztikai követelményekről szóló szabványok többsége kétféle követelményre épül:

- legnagyobb közepes utózengezési idő ($T_{m,max}$)
- egyenértékű hangelnyelés legkisebb mennyisége ($A_{m,min}$).

A jellemző eltérések a részletekben találhatóak:

- hogyan értelmezzük a közepes utózengési időt;
- a legnagyobb közepes utózengési idő függ a térfogattól vagy sem;
- a legnagyobb közepes utózengési idő mellett van-e legkisebb utózengési idő
- a közepes (frekvenciában átlagolt) utózengési idő mellett van-e frekvenciafüggő követelmény
- milyen állapokra vonatkoznak a követelmények.

Az alábbiakban a követelményeket az MSZ 2080:2020 „Akusztika. Teremakusztikai követelmények és tervezési ajánlások” [MSZ2080] című szabvány szerint értelmezzük.

A közepes utózengési idő (T_m)

A közepes utózengési időt (T_m) a helyiség több pontján mért eredményekből frekvenciasávonként kapott átlagokból, majd a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz és 2 kHz oktávsávok eredményeinek átlagából kell számolni. A követelmény így a helyiség egészét jellemző „egyadatos” eredményhez hasonlítható.

- Utózengési időnek tekinthető a vonatkozó szabványokban utózengési időnek („reverberation time”) nevezett számított vagy mért eredmény, ide értve a T_{20} (T_{5-25}) vagy T_{30} (T_{5-35}) paramétereket is. A lecsengés és az utózengési idő értelmezése az [FAP2019] 3.2. fejezetében található.
- Ha az utózengési idő egy mérés vagy részletesebb számítás (pl. modellezés) alapján áll rendelkezésre, az eredményt először frekvenciasávonként kell átlagolni, majd a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz és 2 kHz oktávsávokra kell átlagolni (pl. 3-1. táblázat).

				utózengési idő							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
adat (pl. T_{20})	mérési pont #1	T	s	1,10	0,46	0,49	0,49	0,52	0,46	0,37	0,28
	mérési pont #2	T	s	0,93	0,48	0,66	0,57	0,52	0,44	0,40	0,33
	mérési pont #3	T	s	1,27	0,72	0,68	0,51	0,54	0,49	0,47	0,39
	mérési pont #4	T	s	1,16	0,77	0,59	0,40	0,56	0,50	0,44	0,36
	mérési pont #5	T	s	0,85	0,69	0,48	0,57	0,60	0,51	0,40	0,34
1. lépés	átlag	$T_{\text{átlag}}$	s	1,06	0,62	0,58	0,51	0,55	0,48	0,41	0,34
2. lépés	közepes utózengés	T_m	s			0,53					

3-1. táblázat: Példa a közepes utózengési idő számítására.

- Ha az utózengési idő statisztikus számítás alapján áll rendelkezésre, az eredmény eleve helytől nem függő, ezért csak a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz és 2 kHz oktávsávokra kell átlagolni:

$$T_m = \frac{1}{4}(T_{250\text{Hz}} + T_{500\text{Hz}} + T_{1\text{kHz}} + T_{2\text{kHz}}) \quad (3-1)$$

- Ha az utözengési idő nagyobb frekvenciafelbontás alapján áll rendelkezésre, szakmai megszokás szerint a kérdéses oktávsávon belüli frekvenciasávokban kapott eredmények számtani átlagával számolhatunk. Ez matematikai értelemben nem korrekt megoldás, de közelítésnek elfogadható. Például, ha az eredmények 1/3 oktávsávban állnak rendelkezésre:

$$\begin{aligned}
 T_{250\text{Hz}} &= \frac{1}{3} (T_{200\text{Hz},1/3} + T_{250\text{Hz},1/3} + T_{315\text{Hz},1/3}) \\
 &\quad \vdots \\
 T_{2\text{kHz}} &= \frac{1}{3} (T_{1600\text{Hz},1/3} + T_{2000\text{Hz},1/3} + T_{2500\text{Hz},1/3})
 \end{aligned}
 \tag{3-2a}$$

azaz

$$T_m = \frac{1}{12} (T_{200\text{Hz},1/3} + T_{250\text{Hz},1/3} + \dots + T_{2500\text{Hz},1/3})
 \tag{3-2b}$$

Az így számolt értéket a másként számított közepes utözengési időktől jelölésben érdemes megkülönböztetni (pl. $T_{500\text{Hz}}$ az 500 Hz-en vett eredmény, T_{m2} az 500 Hz-en és 1 kHz-en vett eredmények átlaga, T_{m3} vagy T_{mf} pedig az 500 Hz, 1 kHz és 2 kHz frekvenciákból számolható).

Az MSZ 2080:2020 szabvány követelménye a legnagyobb megengedett közepes utözengési idő ($T_{m,\max}$) azt jelenti, hogy a helyiséget úgy kell méretezni, hogy a helyiségben mérhető közepes utözengési idők számtani átlaga ne legyen nagyobb, mint a követelményérték.

A kisebb érték megengedhető, de a rövidebb utözengés szinte biztosan nagyobb költséget képvisel, ezért a gazdaságosság elve szerint törekedni kell arra is, hogy a követelmény a lehető leghatékonyabb megoldással teljesüljön.

A közepes hangelnyelési szám (A_m)

A közepes egyenértékű hangelnyelés (A_m) különböző frekvencián számolt egyenértékű hangelnyelési tényezők átlaga:

$$A_m = \frac{1}{4} (A_{250\text{Hz}} + A_{500\text{Hz}} + A_{1\text{kHz}} + A_{2\text{kHz}}).
 \tag{3-3a}$$

vagy másként a felület-elemek közepes egyenértékű hangelnyeléseinek ($A_{m,i}$) összege:

$$A_m = A_{m,1} + A_{m,2} + \dots + A_{m,n} = \sum_{i=1}^n A_{m,i}.
 \tag{3-3b}$$

Egy nem takart felület közepes egyenértékű hangelnyelési száma a felület és a hangelnyelési tényezők átlagának szorzata:

$$A_{m,i} = S_i \frac{(\alpha_{250\text{Hz}} + \alpha_{500\text{Hz}} + \alpha_{1\text{kHz}} + \alpha_{2\text{kHz}})}{4}
 \tag{3-4a}$$

ami a gyártók által közölt anyagjellemzők között gyakran alkalmazott NRC (noise reduction coefficient) számra vezethető vissza:

$$A_{m,i} \approx S_i \cdot NRC_i. \quad (3-4b)$$

A reláció azért nem egyenlőség, mert az NRC érték egy 0,05 pontosságra kerekített érték. Közelítő számításban elviekben elfogadható, ha a biztonság javára az eredmény legalább 3%-al tér el.

Az MSZ 2080:2020 szabvány követelménye nagy térfogatú terekben a térfogategységre jutó legkevesebb elvárt fajlagos hangelnyelés ($A_{m,min}/V$). Ez a követelmény azt jelenti, hogy a helyiséget úgy kell méretezni, hogy a helyiségbe beépített és szabadon látszó hangelnyelő felület-elemek közepes egyenértékű hangelnyeléseinek összege legyen nagyobb egy minimális értéknél.

Ha a térfogat 1000 m^3 és a követelmény $A_{m,min}/V \geq 0,20 \text{ m}^{-1}$, akkor $1000 \text{ m}^3 \cdot 0,20 \text{ m}^{-1} = 100 \text{ m}^2$ közepes egyenértékű hangelnyelést kell beépíteni a térbe. Ha a helyiség alapterülete 250 m^2 , akkor a mennyezetre épített $NRC = 0,40$ minőségű burkolattal a közepes egyenértékű hangelnyelés $250 \text{ m}^2 \cdot 0,40 = 100 \text{ m}^2$, tehát a követelmény teljesül. A tényleges számításnál természetesen figyelembe kell venni a szerelvények által kitakart vagy kihagyott felületek hatását is.

A követelmények megállapítása

Az MSZ 2080:2020 szabvány követelményrendszerét a 3-2. táblázat foglalja össze a követelmények szigorúsága és jellemzői szerint rendezetten a [MSZ2080] 1. és 2. táblázata alapján.

A követelményeket először a térfogattól független követelmények között kell keresni. Ha onnan nem olvashatók ki a követelmények, akkor kell a térfogattól függő követelményeket alkalmazni.

A térfogattól független követelmények célja egyszerűsítés, mert így a leggyakoribb helyiségtípusok esetén nem szükséges térfogatonként külön számolni a követelményt.

A követelmények térfogattól függő megállapítása műszaki értelemben indokoltabb, ezért alkalmaz a szabvány nagy térfogatok esetén a térfogattól függő követelményt. Az így megállapított legnagyobb közepes utózengési időt elegendő egytizedes pontossággal leolvasni és alkalmazni.

Ha az adott helyiségtípus vagy rendeltetés alapján a követelményt nem lehet a táblázatokból kiolvasni, elsősorban a rendeltetéshez legközelebb álló követelményt érdemes alkalmazni.

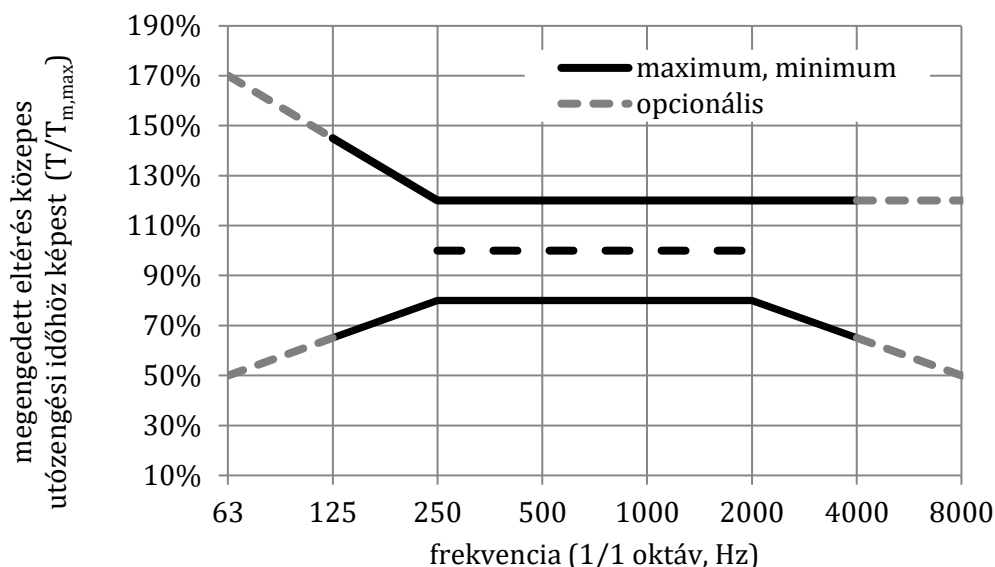
A térfogatfüggő követelmények (MSZ 2080:2020 2. táblázat) alkalmazása esetén a szabvány minden esetben előírja az utózengési idő frekvenciafüggésének ellenőrzését is, a 3-1. ábra tolerancia szerint.

hivatkozás	kategória				követelmény		
	helyiségtípus (elsődleges helyiségfunkció)		térfogat		utózengési idő	hangelnyelés	
			V			$T_{m,max}$	$(A_{m/V})_{min}$
			min.	max.	$h \leq 3,2 \text{ m}$		$h > 3,2 \text{ m}$
m ³	m ³	s	1/m	1/m			
MSZ 2080 1. táblázat: egyadatos teremakusztikai követelmények	nyelvi labor, kivéve ahol kizárólag fejhallgatóval történik a beszédhallgatás		-	250	0,5	-	-
	telekonferencia helyiség		-	-	0,5	-	-
	gyermekfoglalkoztató (pl. óvoda, bölcsőde)		-	250	0,6	-	-
	tanterem, osztályterem, olvasószoba, előadóterem oktatási intézményekben, a zenei célú tanterem kivételével		-	250	0,7	-	-
	tárgyaló		-	250	0,7	-	-
	egészségügyi intézmények vizsgáló és ápolási helyisége, betegszoba		-	-	0,7	-	-
	iroda, belmagasság $\leq 3,2 \text{ m}$	iroda (> 2 fős)	-	-	0,8	-	-
		iroda (1-2 fős)	-	-	1,0	-	-
	munkahelyi pihenő		-	-	1,0	-	-
	munkahelyi, szociális-egészségügyi, kulturális és oktatási-nevelési létesítmények étterme vagy étkezője		-	-	1,2	-	-
	torna- és edzőtermek		-	500	1,2	-	-
	oktatási létesítmények aulája		-	1500	1,5	-	-
			-	5000	2,0	-	-
	iroda; belmagasság > 3,2 m		-	-	-	-	0,15
	nevelési és oktatási intézmények technikaterme és oktatási célú műhelye		-	500	-	-	-
	250 m ³ -nél nagyobb térfogatú olvasóterem		-	-	-	-	-
	közlekedő helyiségek	irodaépületekben, oktatási intézményekben, kereskedelmi és kulturális létesítményekben, szállodákban	-	-	-	0,20	0,15
váró és közlekedő helyiségek	egészségügyi intézményekben	-	-	-	-	-	
kiállítási tér múzeumban vagy hasonló célú létesítményben, kivéve amennyiben a kiállítás tárgya egyértelműen más akusztikai környezetet igényel		-	-	-	-	0,10	
közlekedési létesítmények váróterme		-	-	-	-	0,15	
MSZ 2080 2. táblázat: térfogattól függő követelmények	beszéd	helyiség, ahol a beszéd érthetőség az elsődleges szempont	250	3000	$0,44 \cdot \log_{10} V - 0,36$	-	-
	hangosított zene	a zenei előadást hangosítási rendszer támogatja	250	3000	$0,75 \cdot \log_{10} V - 1,10$	-	-
	hangosítás nélküli zene	zenei célú osztályterem, előadóterem vagy próbaterem	30	3000	$0,84 \cdot \log_{10} V - 0,77$	-	-
	sport	egy térként működő, vagy kisebb egységekre osztható játéktér vagy medence	500	10000	$0,90 \cdot \log_{10} V - 1,20$	-	-
10000			30000	2,4	-	-	

3-2. táblázat: Az MSZ 2080:2020 szabvány követelményrendszerének áttekintése ([MSZ2080] 1. és 2. táblázata alapján).

A frekvenciafüggést a frekvenciasávonként térben átlagolt értékekre kell ellenőrizni. Erre mutat példát a 3-3. táblázat. A 8 kHz és 63 Hz sávokban a tolerancia csak

tájékoztató jelleggel szerepel, ugyanis a számításokhoz ezekben a frekvenciasávokban a gyártók nem adnak meg hangelnyelési értékeket.



3-1. ábra: Az MSZ 2080:2020 szabvány térfogatfüggő követelményeihez tartozó tolerancia az utózungési idő frekvenciafüggésére.

				utózungési idő							
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
adat (pl. T_{20})	mérési pont #1	T	s	1,10	0,46	0,49	0,49	0,52	0,46	0,37	0,28
	mérési pont #2	T	s	0,93	0,48	0,66	0,57	0,52	0,44	0,40	0,33
	mérési pont #3	T	s	1,27	0,72	0,68	0,51	0,54	0,49	0,47	0,39
	mérési pont #4	T	s	1,16	0,77	0,59	0,40	0,56	0,50	0,44	0,36
	mérési pont #5	T	s	0,85	0,69	0,48	0,57	0,60	0,51	0,40	0,34
1. lépés	átlag	$T_{\text{átlag}}$	s	1,06	0,62	0,58	0,51	0,55	0,48	0,41	0,34
2. lépés	közepes utózungés	T_m	s	0,53							
adat	tolerancia max.	T_{max}/T_m	%	170%	145%	120%	120%	120%	120%	120%	120%
	tolerancia min.	T_{min}/T_m	%	50%	65%	80%	80%	80%	80%	65%	50%
3. lépés	tolerancia max.	T_{max}	s	0,90	0,77	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64	0,64
	tolerancia min.	T_{min}	s	0,27	0,34	0,42	0,42	0,42	0,42	0,34	0,27
4. lépés	teljesül?	-	-	igen	igen	igen	igen	igen	igen	igen	-

3-3. táblázat: Példa a közepes utózungési idő számítására (ld. 3-1. táblázat).

A követelmények jelentése és célja

A teremakusztikai hatásokkal és a követelményekkel kapcsolatban sajnos sok a félreértés, ezért a fent bemutatott követelmények jelentését és célját szeretnénk pontosítani.

Tévhit #1 „A rövidebb utózungési idő mindig jobb és a rövidebb utózungési időre méretezés mindig jobb minőséget eredményez.”

Az biztos csak, hogy a rövidebb utózungés pontosabb hangképet, kisebb zajszintet, „halkabb” végeredményt képvisel. Ha kizárólag ezeket a szempontokat kell vizsgálni, akkor a fenti állítás akár igaz is lehet.

A valóságban azonban olyan komfort-szempontokat is figyelembe kell venni, minthogy a nemkívánatos hangokat mennyire képes elmosódva közvetíteni („elhomályosítani”) az utózungés, vagy hogy a beszélő hangját mennyire támogatja és erősíti az utózungés, a hangok közötti szüneteket mennyire tudja kitölteni az utózungés. Végül, bár egyes szemléletek szerint a természeteshez közeli állapotot képvisel az alaposan, minden oldalról jól körülcsillapított hangtér, a valóságban ez inkább természetellenes hatást képvisel, hiszen még az erdőben vagy a réten is mérhető utózungés.

Ha ezeket a szempontokat, valamint a gazdaságossági szempontokat is figyelembe vesszük, a túlcstillapítás már nem túl vonzó eredmény, még ha a számokat tekintve a követelmény teljesül is.

Tévhit #2 „A szabványos megengedett közepes utózungési időre méretezés garantálja, hogy a terem teremakusztikai szempontból jó legyen.”

A legnagyobb közepes utózungési idő csak arra garancia, hogy egy bizonyos szintnél biztosan nem lesz rosszabb a hangtisztaság vagy hogy egy bizonyos szintnél nem lesz nagyobb a terem zajokat felerősítő hatása.

A legnagyobb közepes utózungési idő követelményének betartása mellett is előfordulhat, hogy a helyiség nem minden szempontból, nem minden szóba jöhető rendeltetés mellett és nem minden felhasználó számára „tökéletes” teremakusztikai értelemben. Ha ez valamilyen okból felmerülhet, más paramétereket is érdemes figyelembe venni és egyedi követelmények megállapítása lehet szükséges.

Tévhit #3 „A szabványos megengedett közepes utózungési időnél hosszabb utózungési idő teremakusztikai szempontból biztosan rossz eredményt képvisel.”

Ha ez igaz lenne, akkor például egy 0,75 s (ami kerekítve már nagyobb, mint $T_{m,max} = 0,7$ s), közepes utózungési idejű tanteremben lehetetlen volna az oktatás és az ilyen termekre rendszeresen panaszkodna mindenki.

A valóság ezzel szemben az, hogy a teremakusztikai megítélés nem „fekete” vagy „fehér”. A példánál maradva a magyarországi tantermek többségében nincs teremakusztikai szempontból értékelhető hangelnyelő burkolat, miközben a tanárok és diákok között végzett felmérés alapján a legmeghatározóbb probléma a tantermek folyosói felől és az utcai homlokzatok felől beszűrődő zajok szintje, valamint a tanteremben működő berendezések zaja.

Az MSZ 2080:2020 szabványban rögzített követelmények más szabványokhoz hasonlóan a szabvány tárgyalásában résztvevők által kialakított határértékek, ezért a frissen bevezetett szabvány alkalmazása során gyűjtött tapasztalatok alapján a határértékek és a követelmények felülvizsgálata is várható.

A követelményeket kiegészítő szempontok

A követelmények esetében mindig fontos kérdés, hogy a követelmények milyen körülmények között értendők? A teremakusztikai követelmények esetében ez azért különösen érzékeny kérdés, mivel

- a méretezésnél feltételezett hatások,
- a kivitelezéshez kapcsolódó ellenőrző mérések és
- a tényleges használat közben számításba vehető hatások

nagyon eltérő teremakusztikai minőséget képviselhetnek.

Jó példa erre a bölcsődei foglalkoztatók esete, ahol a tényleges használat közben mért közepes utózengési idő a dísz tárgyak, használati tárgyak, plüss állatok miatt még bent tartózkodók nélkül is úgy tud 0,6 s-nál kisebb is lenni, hogy a helyiségben nincsen semmilyen építészeti szempontból méretezett hangelnyelő burkolat.

A másik szélsőséges helyzet az, amikor egy irodaépületben a berendezetlen bérleményt kell teremakusztikai szempontból értékelni. Ez ugyanis tisztán műszaki értelemben lehetséges, de a gyakorlat szempontjából értelmetlen feladat.

Az MSZ 2080:2020 szabványban megfogalmazott követelmények a befejezett burkolatokkal szerelt, bezárt, berendezett állapotra vonatkoznak. A berendezési tárgyak közül azt kell figyelembe venni, amit a terv előír.

A szabvány megengedett legnagyobb közepes utózengési időre vonatkozó követelménye így értelmet nyer, hiszen a helyiségekbe bevitt újabb berendezési

tárgyak és díszek teremakusztikai értelemben ritka esetektől eltekintve bizonyosan az utózengezési idő rövidülését eredményezik.

Egyéb követelmények figyelembevétele

A szabványban meghatározott és a fentiekben magyarázott műszaki paramétereken felül más paraméterek szabadon alkalmazhatók.

Gyakran felmerülő kérdés a beszédérthetőség kérdése. A [FAP2019] kiadványban található elméleti összefoglalóban tárgyaltak alapján a „beszédérthetőség” csak részben teremakusztika kérdés, mert önmagában csak a teremakusztikai követelmények betartása nem garantálhatja a jó beszédérthetőséget. A teremakusztikai követelmények betartása csupán azt garantálja, hogy a teremakusztikai hatások egy bizonyos szintnél jobban nem rontják le a beszéd érthetőségét a helyiség két pontja között.

A beszéd érthetőségének egyik alapfeltétele a jó láthatóság. A beszélő és hallgató közötti láthatósági feltétel egyrészt magától értetődő, de az MSZ 2080:2020 B melléklete is segítséget nyújthat a láthatóság ellenőrzésében.

A beszéd érthetőségének másik alapfeltétele a jó jel/zaj viszony, azaz hogy a helyiségben a hallgatási pontokba a hasznos beszédjel lényegesen nagyobb szinttel jusson el, mint a zavaró zajhatások. Ezt a helyiség megfelelő zaj- és rezgésvédelmi méretezésével és szükség esetén a beszédhang elektroakusztikus erősítésével (hangosításával) lehet biztosítani, tehát nem teremakusztikai tényező.

Mivel a láthatóság és a jó jel/zaj viszony is garantálható a beszélő és a hallgató közötti távolság csökkentésével, az MSZ 2080:2020 B melléklete a beszédérthetőségi szempontból kritikus esetekre az alapterület hosszúság/szélesség arányaira is ad ajánlást. Az ajánlás azt a szempontot vizsgálja, hogy az oldalfalokról biztosan érkezzen olyan korai visszaverődés, ami támogatja a beszédhangot.

4. A vizsgált szituációk bemutatása

A segédletben a leggyakrabban előforduló feladatokra mutatunk példákat:

- kisebb helyiségek, ahol a bent tartózkodók egymással beszélgetnek és ezt a célt kell támogatni (például tantermek, tárgyalók, előadók);
- helyiségek, ahol a bent tartózkodóknak a saját feladataikra kell koncentrálni és a körülöttük zajló beszélgetés vagy tevékenységek zaja ezt zavarja (például több fős munkahelyek, kórtermek);
- helyiségek, ahol a cél a zajszintek csökkentése.

A segédlet az alábbi kérdésköröket vizsgálja:

- javasolt követelmények
- tapasztalatok alapján a jelenlegi, szabályozás nélkül előforduló állapotok értékelése
- a követelményeknek nem megfelelő állapotok javítási lehetőségei (felújítás)
- új létesítményeknél alkalmazható megoldások
- gyakorlati tapasztalatok és típushibák.

A segédletben alkalmazott szakmai fogalmakról, mennyiségekről a [FAP2019] kiadvány elméleti összefoglalójában található részletes magyarázat.

A helyiségek méreteire vonatkozó általános rendelkezések^{1,2,3,4} alapján a 4-1. ábra mutatja be a térfogat, a funkció és a befogadó-képesség jellemző összefüggéseit:

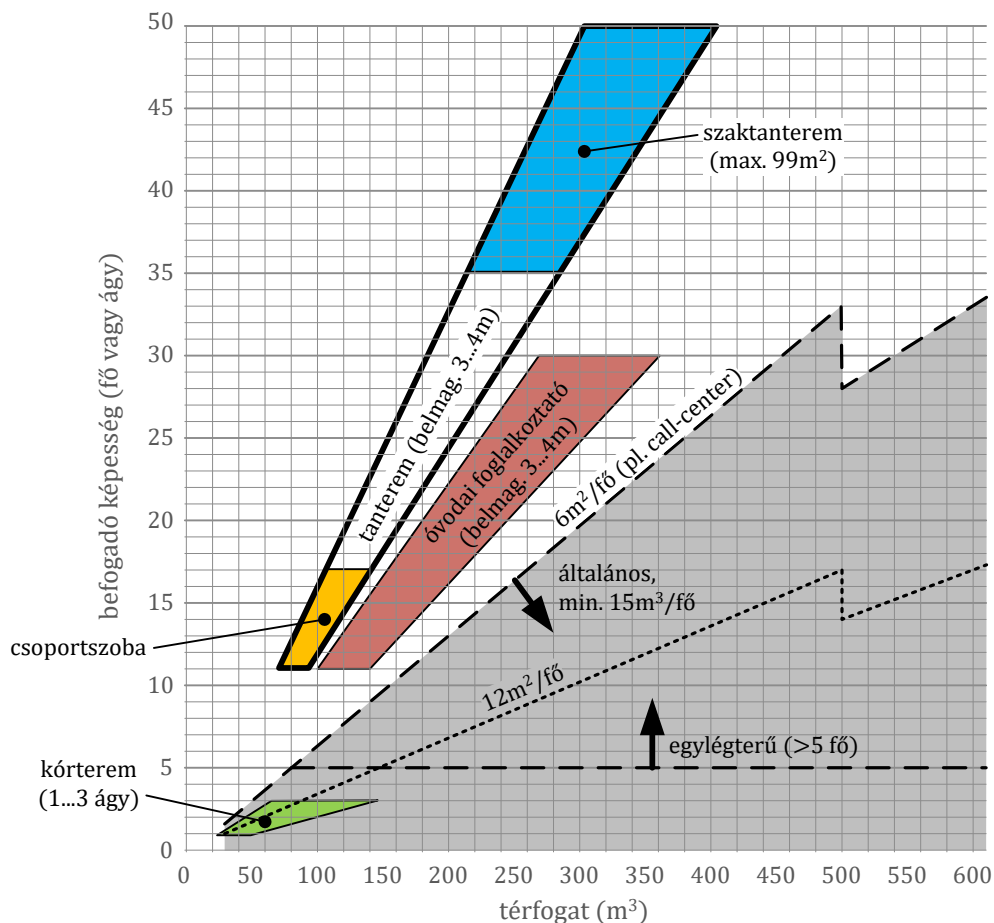
- az átlagos helyiség-belmagasság min. 2,5 m, de oktatási létesítményben, kórtermekben és 200 m² alapterületnél nagyobb tartózkodó terekben min. 3,0 m;
- a helyiség térfogata 15 m³/fő a szobákban, kórtermekben és az irodai munkahelyeken, illetve mesterséges légcsere esetén 2,0 m³/fő a kabinokban;
- tanterekben min. 2 m²/fő, óvodai foglalkoztatókban min. 3 m²/fő
- alapterület minimum 52 m² (csoportszobában min. 26 m²) és legfeljebb 68 m² (szaktanteremben max. 99 m²)
- irodai helyiségekben a fajlagos terület min. 6 m²/fő, jellemzően 12 m²/fő
- fekvő-betegellátás kórtermeiben 1-3 ágyas szobák, 7...17 m²/ágy.

¹ OTÉK, 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről
² 19/2002. (V.8.) OM rendelet a közoktatási intézmények elhelyezésének és kialakításának építészeti

műszaki követelményeiről

³ Egészségügyi Minisztérium, „A kórház, mint műszaki létesítmény” Építészeti és műszaki követelmények a Nemzeti Fejlesztési Terv keretein belül megvalósuló egészségügyi fejlesztések vonatkozásában, 2008.

⁴ MSZ 24203-2: Oktatási intézmények tervezési előírásai. 2. rész: Általános iskolák



4-1. ábra: A vonatkozó előírások alapján jellemző befogadó képesség és térfogat összefüggése különböző helyiség rendeltetés szerint⁵.

Az adatok és tapasztalatok alapján:

- a beszédérthetőség jobb minőségét célzó teremakusztikai méretezés leggyakrabban 250 m³-nél kisebb és legfeljebb 35...40 főt befogadó esetekben szükséges;
- a munkahelyek közötti zavaró áthallások és zajok csillapítását célzó teremakusztikai méretezés leggyakrabban 2,5...3,5 m belmagasságú egylégterű (>5 fő befogadó képességű) irodákban szükséges.

Általános zajcsökkentés szempontjából teremakusztikai méretezés vagy ellenőrzés minden olyan helyiség esetén szükséges, ahol legalább 1 fő huzamosabb ideig (pl. jellemzően min. naponta 1 óra hosszát) használja a helyiséget.

⁵ a m²/fő követelmény a vonatkozó előírásban szereplő minimális belmagassággal számolható át m³/fő mértékre

4.1. Helyiségek, ahol a beszédhang támogatása fontos

A leggyakrabban előforduló helyiségtípusok, ahol a beszédhang támogatása fontos:

- oktatási létesítményekben: foglalkoztatók, tantermek, előadótermek
- irodaépületekben: előadók, tárgyalók.

A teremakusztikai minőséget, a felsorolt helyiségtípusok minőségét az alábbi szempontok figyelembevételével kell mérlegelni:

- csillapítottabb helyiségekben jobb a beszédérthetőség, a hallgatók jobban értik az előadó vagy csoportvezető előadását, instrukcióit, valamint a gyermekek, diákok, hallgatók egymás közötti kommunikációját;
- az óvodai foglalkoztatótól az általános iskolai tantermeken át az egyetemi előadóig csökkenő mértékben jellemző a gyermekek, diákok, hallgatók zajongása, ami az előadót és a többieket zavarja és aminek szintjét teremakusztikai csillapítással lehet csökkenteni, de megszüntetni nem lehet;
- csillapítottabb helyiségekben csökkennek a környezetből beszűrődő zajok, javul a hangszigetelés-érzet;
- a fenti hatások eredményeként csökken az előadó, csoportvezető vagy tanár terhelése (halkabb beszédhang kevésbé megerőltető, kisebb zaj kisebb stresszhatást jelent);
- a fenti hatások eredményeként csökkennek a diákok, gyermekek koncentrációját gyengítő hatások, a tanítás vagy előadás hatékonyabb.

4.1.1. Helyzetelemzés

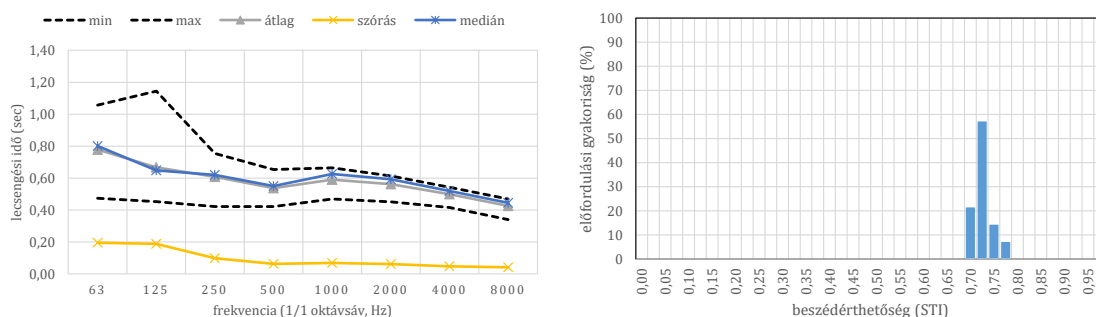
A teremakusztikai szempontokat előírások hiányában korábban épült oktatási létesítményekben egyáltalán nem vették figyelembe, a helyiségekben jellemzően a díszítéseken, személyes használati tárgyakon, függönyözésen kívül más hangelnyelő minőségű burkolat nem fordul elő.

Az alábbiakban mérési eredményeket mutatunk be különböző kategóriájú és építési dátumú oktatási létesítmények helyiségeire, majd a mérési eredmények alapján értékeljük az alkalmazott megoldások megfelelőségét vagy a teremakusztikai beavatkozások hiányából fakadó problémákat.

Óvodai foglalkoztatók

Az óvodai foglalkoztatókra jellemző, hogy a gyermekek védelme érdekében a padlón felszedhető szőnyeg, az ottalvás miatt árnyékoló (vastagabb) függönyözés és játékokkal megrakott polcok találhatóak a helyiségekben.

A 4-2. ábra 115...157 m³ térfogatú (38...53 m² alapterületű), teremakusztikai szempontból nem méretezett és nem kezelt (hangelnyelő burkolatok nélküli), berendezett, belakott, bent tartózkodók nélküli állapotban mért utózengési idők frekvenciafüggését mutatja. Az ábrából látható, hogy a teremakusztikai méretezés hiánya ellenére a helyiségek vizsgált állapotukban kellően csillapítottak ($T_m \approx 0,6$ s) voltak és a utózengési idő frekvenciafüggése is megfelelő arányokat mutat. A beszédérthetőséget jellemző STI értéke 0,71...0,78 között változott (ld. 4-2. ábra).



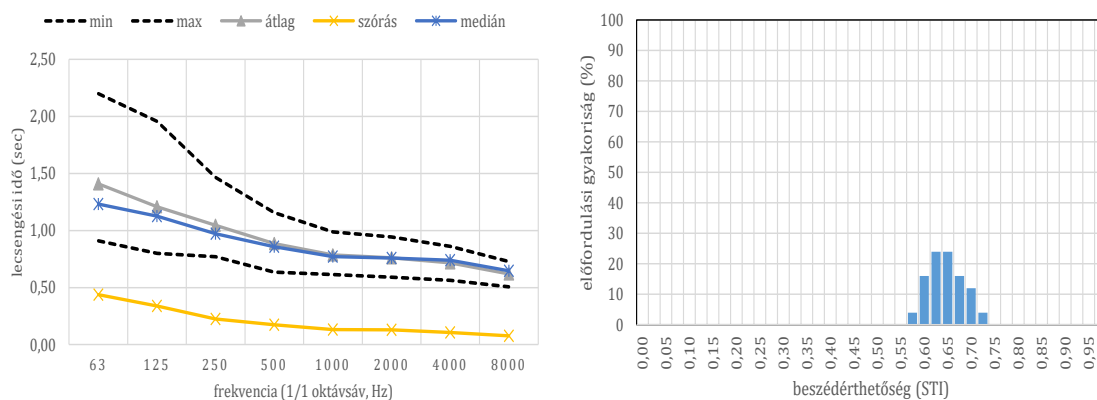
4-2. ábra: Teremakusztikailag nem kezelt óvodai foglalkoztatók összesített eredménye, (bal: térben átlagolt utózengési idő T_{20} frekvenciafüggése, jobb: beszédérthetőség STI statisztikus eloszlása).

Tantermek

Különböző kategóriájú tantermeket vizsgáltunk:

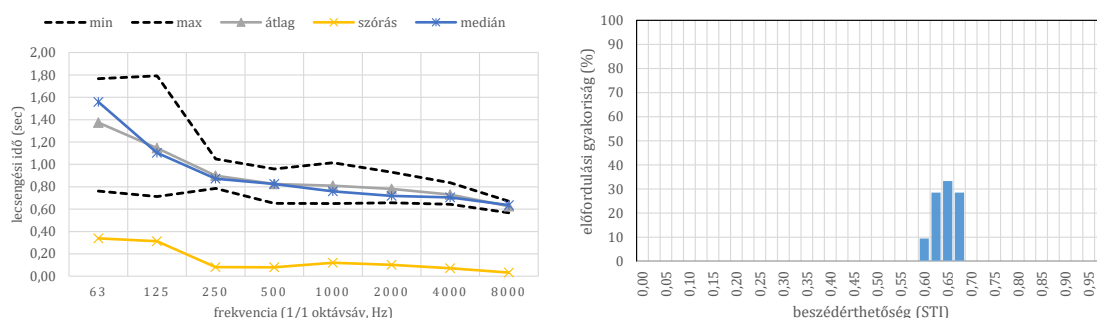
- régi építésű általános iskola
- újabb építésű általános iskola
- régi építésű (nagy belmagasság) gimnázium
- új építésű egyetemi kiselőadó
- új építésű egyetemi előadó
- zeneiskola (teremakusztikailag kezelt és kezeletlen).

A régi építésű általános iskolai tantermek eredményeit a 4-3. ábra mutatja. A padokkal berendezett helyiségekben az ajánlottnál hosszabb utózengés mellett még éppen elfogadható ($STI > 0,60$) beszédérthetőségek fordulnak elő.



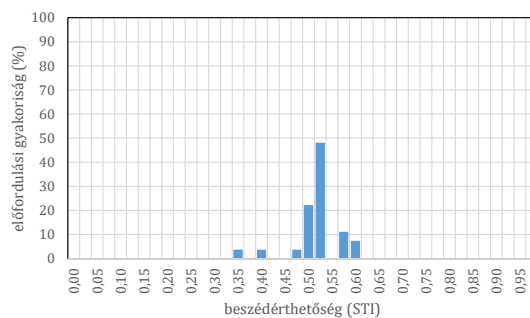
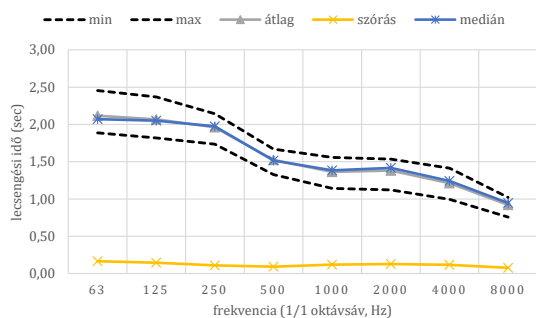
4-3. ábra: Teremakusztikailag nem kezelt, berendezett és belakott régi építésű általános iskolai tanteremek összesített eredménye (bal: térben átlagolt utózengési idő T_{20} frekvenciafüggése, jobb: beszédérthetőség STI statisztikus eloszlása).

Az újabb építésű általános iskolai tanteremek eredményeit a 4-4. ábra mutatja. A padokkal berendezett helyiségekben az ajánlottnál hosszabb utózengés mellett még éppen elfogadható ($STI > 0,60$) beszédérthetőségek fordulnak elő.



4-4. ábra: Teremakusztikailag nem kezelt újabb építésű általános iskolai tanteremek összesített eredménye, (bal: térben átlagolt utózengési idő T_{20} frekvenciafüggése, jobb: beszédérthetőség STI statisztikus eloszlása).

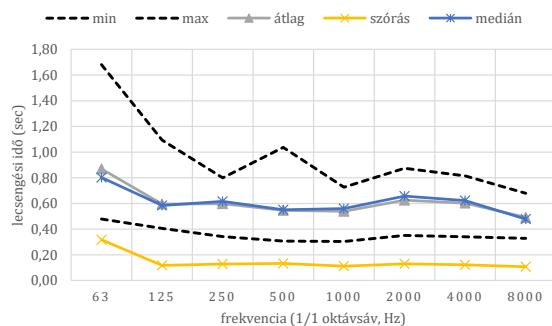
A régi építésű, nagyobb belmagasságú gimnáziumi tanteremek eredményeit a 4-5. ábra mutatja. A méréskor a tanteremekben a padok össze voltak tolvá és csak kevés díszítés, könnyű függöny volt a tanteremekben. Az eredményekből egyértelmű, hogy a nagy belmagasság és a hangelnyelő felületek hiánya miatt hosszú utózengés, mélyhangtöbblet és közepes, gyenge beszédérthetőség alakul ki.



4-5. ábra: Teremakusztikailag nem kezelt régi építésű, berendezett, nem belakott gimnáziumi tantermek összesített eredménye, (bal: térben átlagolt utözengési idő T_{20} frekvenciafüggése, jobb: beszédérthetőség STI statisztikus eloszlása).

Az új építésű egyetemi kiselőadók eredményeit a 4-6. ábra mutatja. A méréskor a tanterekben jellemzően szabadon áthelyezhető padok vagy asztalok voltak, más berendezési tárgy vagy dísz nem volt jelen, a belső burkolatok teremakusztikailag méretezettek voltak (pl. BREEAM ajánlás⁶ szerint). A mérések kapcsolt zajjal történtek, ezért a beszédérthetőséget nem tudjuk ábrázolni.

Az eredményekből látható, hogy a teremakusztikai méretezésnek köszönhetően a tanterekben csillapított körülmények között jó beszédérthetőségre lehet számítani.

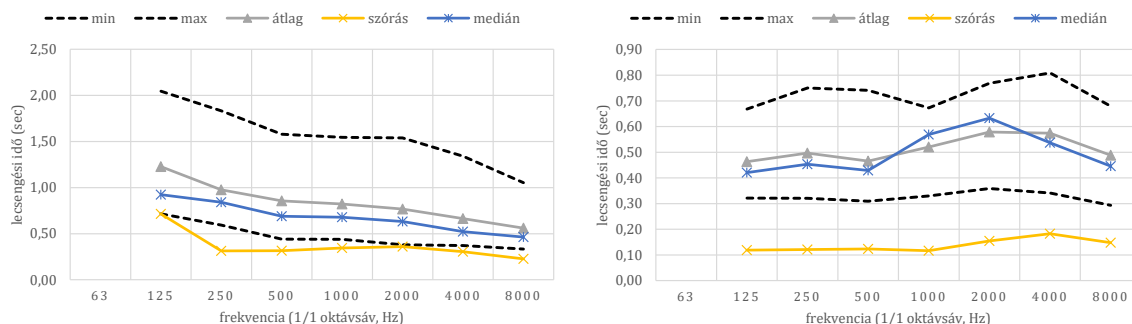


4-6. ábra: Egyetemi kiselőadók teremakusztikailag [BREEAM] követelmények szerint kezelt tantermeinek összesített eredménye, térben átlagolt utözengési idő (T_{20}).

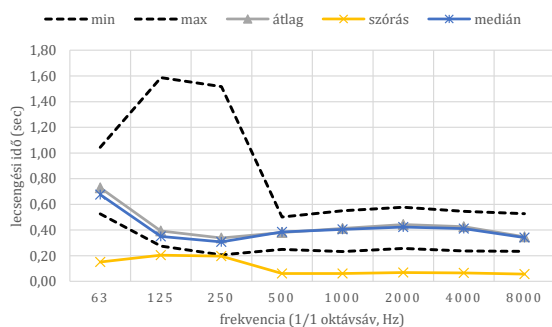
A hangszeres vagy zenei tantermek kevésbé gyakoriak, a felmérésnél figyelembe vett adatok alapján eltérő mértékben csillapítottak vagy kezelték (kifejezetten teremakusztikai céllal elhelyezett burkolatokkal felszerelt helyiség). A 4-7. és 4-8 ábrákon látható mérési eredmények is változatos körülményekre utalnak, jellemzően csak a mennyezeten szerepel hangelnyelő felület és ezen felül inkább a személyesebb használati tárgyak, díszek, kényelmesebb bútorok és függönyözés biztosítanak némi

⁶ BREEAM = Building Research Establishment Environmental Assessment Method, www.breeam.com

cillapítást. A kifejezetten kisméretű helyiségekben fordul elő aránytalanul hosszú utózungési idő a kisebb frekvenciákon.



4-7. ábra: Középfokú zeneiskola berendezett hangszeres tantermeinek összesített eredménye, térben átlagolt utózungési idő (T_{20}).
 bal: teremakusztikailag kezeletlen, jobb: teremakusztikailag kezelt



4-8. ábra: Felsőfokú zeneiskola teremakusztikailag kezelt, felújított kisebb hangszeres tantermeinek összesített eredménye, térben átlagolt utózungési idő (T_{20}).

A mérési eredmények szerint figyelembe vehető átlagos hangelnyelés

Ahol a mérési eredményekhez a térfogatot és a helyiség méretei is ismertek, az átlagos hangelnyelési tényezőt az Eyring-féle képlet alapján az alábbi összefüggéssel számoljuk:

$$\alpha_{\text{átlag}} = 1 - e^{-\frac{4 \cdot m \cdot V - 0,161 \cdot V/T}{S}} \quad (4-1a)$$

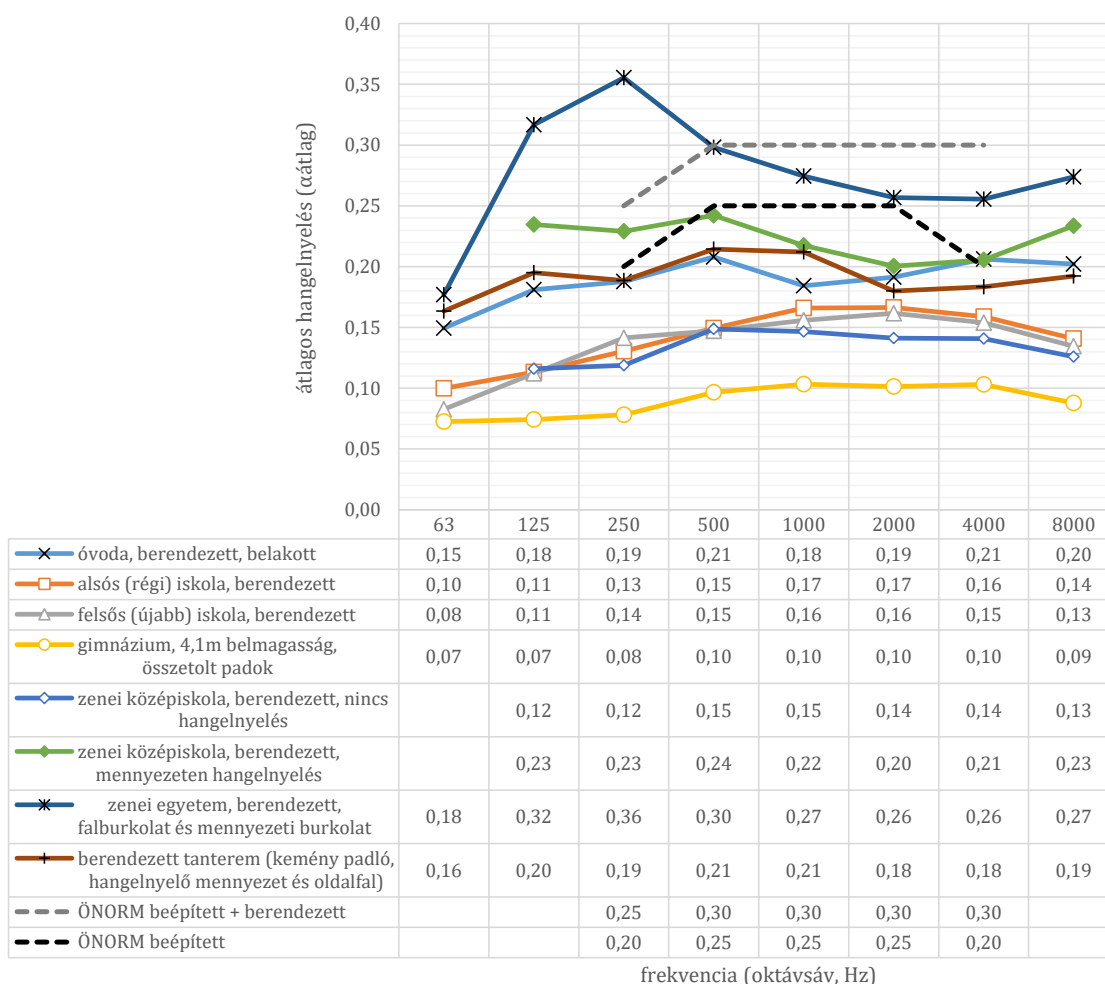
ahol V a helyiség térfogata, S a helyiség felülete, T a mért utózungési idő, m pedig a levegő hangelnyelése 20°C 50% páratartalom mellett (ld. MMK 37, (3-2) egyenletsor).

Ahol a mérési eredményekhez csak a térfogat ismert, a helyiséget téglatest alakúnak feltételezve az összes felületet az alábbi összefüggéssel közelítettük:

$$S^* = 2 \frac{V}{h} + 4 \sqrt{h \cdot V} \quad (4-1b)$$

ahol h a feltételezett belmagasság⁷, jellemzően $h = 3$ m.

A mérésből számolt eredményeket az oktatási intézményekre a 4-9. ábra foglalja össze. Az eredmények alapján a helyiségtípusokra jellemző átlagos hangelnyelési tényezőből hasonló helyiségek alaphelyzeteire adhatunk egyszerű becslést, kiindulási állapotot.



4-9. ábra: Különböző helyiségtípusokban mért átlagos hangelnyelés.

4.1.2. Javasolt megoldások

A javasolt követelmények és tendenciák

A megismert szempontokkal és követelményekkel összhangban a tantermek és előadók teremakusztikai kezelése szükséges a beszédhangtisztaság javítása és a zajszint csökkentése érdekében.

⁷ Ha az alapterület méretei legfeljebb 2:1 arányúak, a felület becslése legfeljebb 4% bizonytalanságot jelent. A belmagasságot 3 m-nek feltételezve a felület becslésének bizonytalansága <250 m³ térfogat esetén <10%.

A tantermek, kisebb előadók ([MSZ2080] szerint „tanterem, osztályterem, olvasószoba, előadóterem oktatási intézményekben, a zenei célú tantermek kivételével”) esetén a [FAP2019] 4.3. részében leírtakkal összhangban javasolt teremakusztikai követelmények:

- közepes utózungési idő (T_{m4}) berendezett és használati tárgyak, valamint bent tartózkodók nélküli állapotban ne legyen nagyobb, mint 0,75 s (kerekítve 0,7 s);
- közepes utózungési idő (T_{m4}) berendezett és használati tárgyakkal, valamint bent tartózkodókkal együtt vett állapotban ne legyen kisebb, mint 0,40 s.

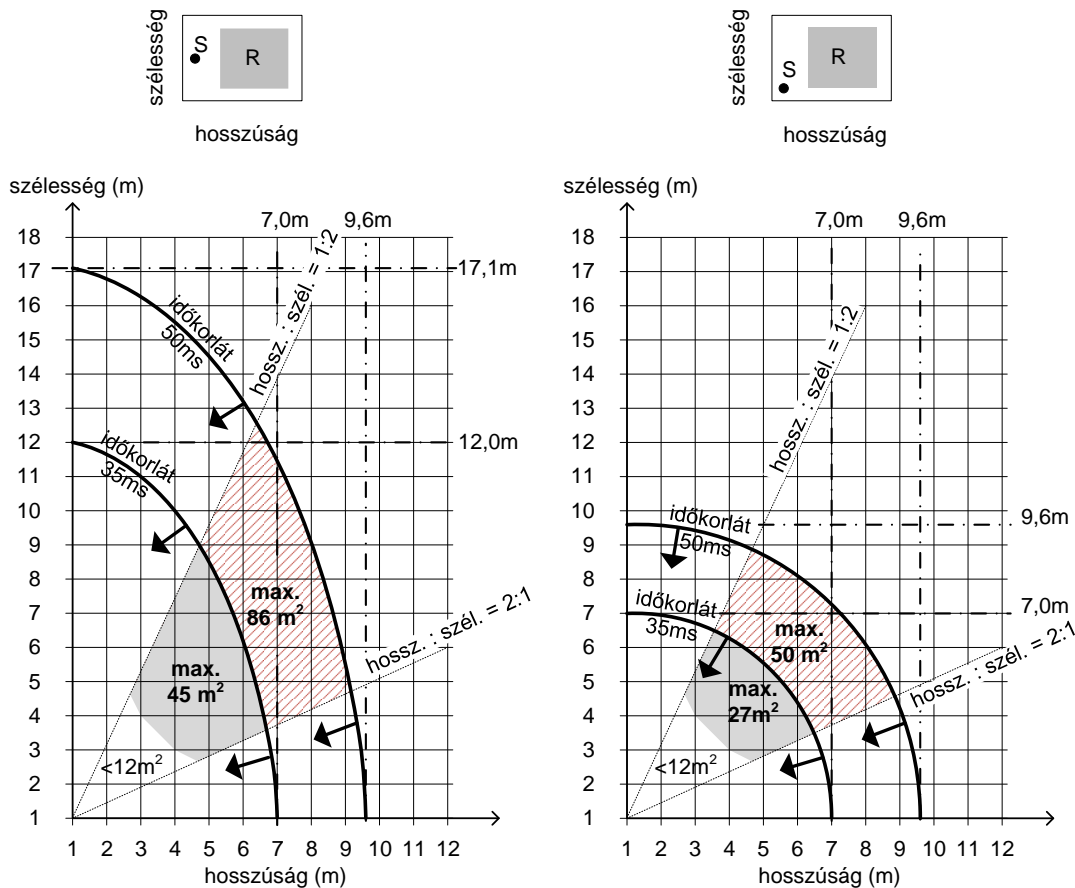
A tapasztalatok alapján a fenti követelmények mellett legrosszabb esetben is a maszkolási hatások nélkül számolt $STI > 0,65$ beszédérthetőséggel egyenértékű hangtisztaság (ld. [FAP2019] 3.4. fejezet) várható, miközben a terem nem túlcillapított és a visszaverődésekkel kellő mértékben támogatja az előadó beszédhangját. Fontos feltétel, hogy a követelmény teljesülését a helyiség ellenőrizhető (berendezett, bent tartózkodók és személyes tárgyak, díszítések nélküli „üres”) állapotában kell tudni igazolni.

A tantermek, kisebb előadók esetén javasolt geometriai követelmények:

- a belmagasság jellemzően 3,0 m vagy nagyobb, de tervezésnél figyelembe kell venni a mennyezeti burkolatok vastagságát vagy a szabadon álló burkolatok hatását a belmagasság megítélésénél, számításánál;
- ha feltételezzük, hogy kisgyermeknél $t_e = 35$ ms a beszédhangtisztasághoz tartozó korai-késői időhatár és hogy a közvetlen hangot követő 35 ms-on belül minden pozícióba érkezzen minden oldalfalról visszaverődés, akkor a terem egyik mérete sem lehet nagyobb, mint 7,0 m és alapterülete nem lehet nagyobb, mint 50 m² (ld. 4-11. ábra);
- ha feltételezzük, hogy kb. felső tagozattól $t_e = 50$ ms a beszédhangtisztasághoz tartozó korai-késői időhatár és hogy a közvetlen hangot követő 50 ms-on belül minden pozícióba érkezzen minden oldalfalról visszaverődés, akkor a terem egyik mérete sem lehet nagyobb, mint 9,5 m és alapterülete nem lehet nagyobb, mint 90 m² (ld. 4-11. ábra);
- ahol a beszédhang érthetősége fontos, ott a láthatóságot nagy biztonsággal kell garantálni, figyelembe véve az előadók és hallgatók változó testmagasságát, valamint az ültetési sémát, ezért az előadó kiemelése (pódium, dobogó) vagy a hallgatók kiemelése (lépcsős lelátó) ajánlott.

A [FAP2019] 4.3. részében leírtak alapján a kb. 270 m³-nél nagyobb vagy 40 főnél több hallgatót befogadó tantermek és előadók esetén egyedi méretezés javasolt, mert szükségessé válhat a korai visszaverődések pótlása irányított visszaverő felületekkel

(hangvető) vagy hangosító berendezéssel. Az [MSZ2080] a 250 m^3 -nél nagyobb helyiségekre éppen ezért térfogattól függő követelmények szerepelnek.



4-11. ábra: Elvileg javasolt helyiség oldalhossz-méretetek, hogy minden oldalról jövő visszaverődés korai/késői időhatáron belül érkezzon (ld. [MSZ2080] B. melléklet).

A tantermek, tárgyalók és foglalkoztatók használhatósága szempontjából fontos zajosság és zajcsökkentés nem teremakusztikai jellemző, de figyelembe kell venni a teremakusztikai hatásokat is. Az átszűrődő (pl. közlekedés vagy szomszédos helyiségek zaja) és helyiségen belüli (pl. gépészet, prezentációs rendszer) zajhatások együttes és utózengeással megemelt szintjére a legfeljebb 40 dB L_{AM} elfogadható, a kisebb zajszint előnyösebb, korszerű méretezési célnak legfeljebb 35 dB L_{AM} ajánlott⁸. A zajcsökkentést elsődlegesen a határolások minőségével, a helyiségen belüli zajforrások megfelelő kiválasztásával kell biztosítani, figyelembe véve, hogy rövidebb utózenge mellett a zajszintek kisebb mértékben emelkednek a teremakusztikai hatások miatt.

A hallássérültek számára még kritikusabb a megfelelő akusztikai környezet (alacsony háttérzaj és rövid utózengeési idő) biztosítása. A javasolt legfeljebb 0,75 s közepes

⁸ Építésügyi műszaki irányelv. Akusztika. Helyiségek akusztikai komfortja. Követelmények 5/2019.(IX.16.) ÉPMI, az L_{AM} megítélési szint értelmezése az MSZ 18150-1 4.6. szakasza szerint.

utózengetési időhöz képest az ilyen helyzetekre specializált tantermeknél nemzetközi ajánlások és más nemzeti szabványokban említett 0,4...0,5 s közepes utózengetési idő eléréséhez azonban kb. kétszer nagyobb mennyiségű hatásos hangelnyelés bevitelére van szükség, ezért az oldalfalakra is szükséges hangelnyelő burkolatok telepítése. A beszédértési tesztek ennek ellenére nem támasztják alá, hogy ez a szigorítás ilyen speciális esetekben is egyértelmű és arányos hatású lenne⁹. A tapasztalatok alapján hallássérült diákok esetében a hallássegítő hangrendszerek a hallássérültség fokától függetlenül nagy mértékben segítik a beszédértést és a tanulást, illetve a többlet hangelnyelés elsősorban a beszédhang jel/zaj viszonyát javítja a háttérzajszint csökkentésével, miközben a beszédérthetőségi mutatók érdemben nem javulnak.

A kisgyermeket befogadó foglalkoztató helyiségekben a csökkentett 0,6 s utózengetési idő (több hangelnyelés) szintén indokolt a valamivel jobb beszédhangtisztaság és a minimálisan jobb zajszint-csökkentés érdekében. A méretezésnél bizonytalanságot jelent, hogy tapasztalatok szerint a használati tárgyakkal és díszekkel teremakusztikai beavatkozások nélkül is 0,6 s-nál rövidebb lehet a utózengetési idő, miközben a 0,4 s-nál rövidebb utózengetési idő már túlcillapítottsághoz, a közösségi élmény (pl. együtt éneklés) gyengüléséhez vezet. A 0,6 s-nál szigorúbb alapértelmezett méretezési követelmény ezért sem indokolt.

A javasolt beavatkozások

A méreteket és a bent tartózkodók láthatóságát garantáló elrendezésen felül hangelnyelő felületekkel lehet a javasolt követelményt elérni. A hangelnyelő felületek méretezésénél a kezeletlen (szabadon maradó) felületek hangelnyelését és a legrosszabb esetben is figyelembe vehető berendezési tárgyak hangelnyelését kell figyelembe venni.

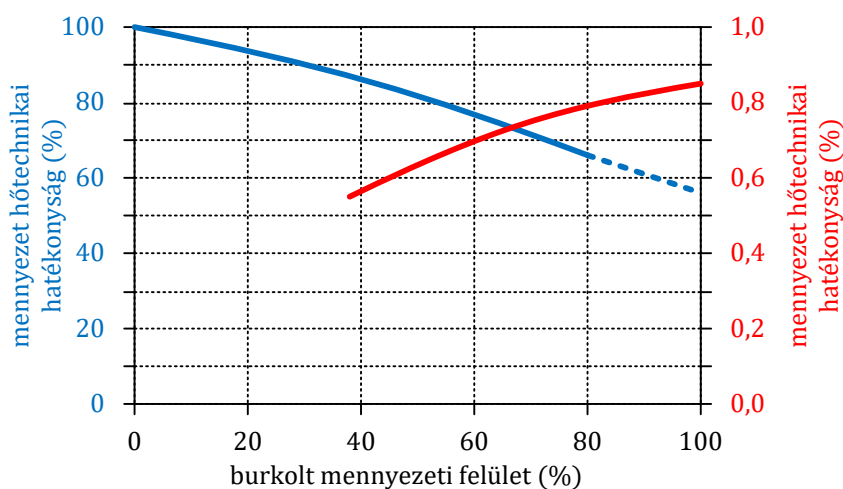
Példák az elrendezésnél és berendezéseknél figyelembe vehető tényezőkre, ajánlásokra:

- Ha az előadó helyzete ismert és valamelyik oldalfalhoz rendelhető (pl. megjelenítő eszközök, tábla stb. fix helyzete miatt), akkor az adott oldalfalon fejmagasság alatt javasolt kemény felületeket képezni, hogy a hallgatóktól elforduló előadó hangja így is érvényesüljön.
- Padlóra helyezett szőnyeggel csak akkor javasolt számolni, ha az valóban üzemszerűen le van terítve a helyiségben (pl. óvodai foglalkoztató).
- Gyakran elsősorban a bevilágítás (pl. vetítés) vagy a beláthatóság (pl. bizalmasság) korlátozása miatt kerül szóba a függönyök alkalmazása, azonban az üveg felületek

⁹ CLASSROOM ACOUSTICS A New Zealand Perspective, 2002, The Oticon Foundation in New Zealand, ISBN 0-473-08481-3

vagy visszaverő falfelületek elé húzott függönyözéssel egyszerűen biztosítható a teremakusztikai hangolhatóság is. Mivel a függönyözés az állapotától, anyagától, redőzöttségétől stb. függő mértékű hangelnyelést képvisel, a méretezésnél egyértelműen meg kell jelölni, hogy a függönyözés milyen állapotában volt figyelembe véve. A bizonytalanságok miatt oktatási létesítményekben javasolt a függönyözés hangelnyelő hatása nélkül méretezni.

- A kemény felületű bútorok minimális hangelnyelést képviselnek, ezért ha nem garantálható a kárpitozott bútorok jelenléte vagy ha nem garantálható a bútorozottság állandósága, javasolt a bútorok hangelnyelő hatása nélkül méretezni.
- A prezentációkat megszólaltató hangosító berendezések működését a beszédhangot támogató teremakusztikai méretezés teremakusztikai értelemben már megfelelően támogatja. Az előadók beszédhangját erősítő/támogató hangosító berendezések azonban csak különleges esetben (pl. hallássérült hallgatók vagy 35...40 főnél több hallgató) ajánlottak.
- A „belakottság” hatásával csak akkor szabad számolni, ha a helyiségben üzemszerűen (pl. óvodai foglalkoztató, osztályhoz vagy csoporthoz rendelt osztályterem) számottevő mennyiségben vannak jelen a felületeket megtörő, réseket képező vagy puha felületet képviselő anyagok. A több csoport által is használt tantermek, előadók, szaktantermek esetében viszont a belakottság hatásával nem javasolt számolni.
- A hangelnyelő felületek jellemzően sérülékenyek és nehezen takaríthatók, ezért csak olyan pozícióban szabad méretezni hangelnyelő felületeket, ahol a sérülékenység vagy koszolódás kizárható. Ebből a szempontból a 2 m fölötti oldalfali felületek és a mennyezeti felületek a legalkalmasabbak.
- Ahhoz, hogy a hangelnyelés kisebb frekvenciákon is hatékony legyen, vastagabb (>100 mm) burkolatokkal kell számolni. A vastagabb burkolatokat a mennyezeten lehet hatékonyan kialakítani.
- A szerelt válaszfalakkal épített helyiségekben a könnyű felületek és a válaszfalakba épített üregcsillapítás (pl. gipszkarton burkolatokat tartó profilok közé helyezett üveggyapot vagy ásványgyapot kitöltés) együttesen mélyhang-elnyelő felületként vehető figyelembe.
- Ha a mennyezeti födém termikusan aktív (felület fűtés, hűtés és hőtehetetlenség), a teljes felületet záró álmennyezeti kialakításra nincs lehetőség. A részleges vízszintes hangelnyelő mennyezetek, azaz hangelnyelő felhők (cloud) vagy szigetek (island) kísérleti tapasztalatok alapján a födém hőtechnikai hatásfokát 10...35% mértékben rontják (ld. 4-12. ábra). A lamellás (baffle) hangelnyelő elemek kísérleti tapasztalatok alapján a födém hőtechnikai hatásfokát csak <15% mértékben rontják.



4-12. ábra: A mennyezet hangelnyelő burkolatának hatása a mennyezet hőtechnikai hatásfokára (tájékoztató ábra^{10 11} nyomán).

- A hangelnyelő burkolatok kiválasztásánál ügyelni kell a biztonsági és tűzvédelmi szempontokra is. A kereskedelmi forgalomban kapható hangelnyelő burkolatok közül az üvegyapot alapú vagy ásványgyapot alapú burkolatok és fém tartó elemeik jellemzően nem éghető kategóriába esnek, a függönyök vagy szövetek közül is elérhetők lángmentesített és hangelnyelő típusok.

4.1.3. Példa: szükséges hangelnyelő felületek becslése

Ha gyorsan, tájékoztató jelleggel szükséges a minimálisan szükséges mennyiségeket becsülni, az átlagos (pl. NRC) vagy súlyozott (α_w) hangelnyelési tényezők alapján lehet kiindulási becsléseket adni.

A 4-1. táblázat egy 200 m³ térfogatú 3 m magas kemény padlóburkolattal (pl. PVC, parketta) készült helyiségre mutatja be a számítást. A táblázatban az alábbi eredmények és jellemzők szerepelnek:

- maximálisan megengedett utózungési idő
- utózungési időhöz Sabine és Eyring közelítés alapján számolt szükséges minimális hangelnyelés
- lehetséges méretezési megoldások átlagos hangelnyelési tényezőre padlón, mennyezeten és falakon külön;
- lehetséges méretezési megoldások ellenőrző számítása statisztikus közelítéssel;

¹⁰ H Peperkamp, M. Vercammen, "Thermally activated concrete slabs and suspended ceilings", NAG/DAGA 2009, pp1342-1344

¹¹ O. B. Kazanci, B. W. Olesen, "Effect of acoustic ceiling units on the cooling performance of thermally activated building systems (TABS)", Conference: 2017 ASHRAE Winter Conference At: Las Vegas, NV, USA

- lehetséges megvalósítás különböző mennyezeti burkolatok és falburkolat minimális mennyiségeinek megadásával.

A táblázatban szereplő javasolt átlagos hangelnyelések 3 m belmagasságig 100...400 m³ térfogat esetén fogadhatók el kiindulási becslésnek 1:1...5:1 hosszúság:szélesség arányok mellett.

4.1.4. Példa: meglévő tanterem felújítása (3 m belmagasság)

A teremakusztikai hangolás nélkül épült 3 m magas berendezett és belakott általános iskola tanteremben jellemzően $T_{m2} = 0,80...1,00$ s közepes utózengési időre lehet számítani.

A berendezett de nem belakott tanterem esetében javasolt követelmény $T_{m2,köv.} \leq 0,75$ s, [MSZ2080] szerint $T_{m4,max} = 0,70$ s.

A 4-2. táblázat a teremakusztikai hangolás nélkül az egyik méréssel vizsgált általános iskolai alsó tagozatos tanterem (ld. 4-1. fotó) esetében várható (számított) utózengési időt mutatja ([FAP2019], 20. oldal (3-1a) képlet) a személyes tárgyak és díszítések hatása nélkül.



4-1. fotó: Egy teremakusztikailag kezeletlen 3 m magas általános iskolai tanterem (példa, 9,8×5,9×3,0 m méretekkel).

A teremben mért közepes utózengési idő $T_{m4,mért} = 0,96$ s. Az eredmény alapján feltételezhető, hogy az utózengés a berendezési tárgyaknak és díszítésnek köszönhetően nem hosszabb, mint amit a számítás mutat. Ha a számítást kiegészítjük a személyes tárgyak és díszek („belakottság”) hatásával úgy, hogy a mért eredményt adja a számítás, megbecsülhető a személyes tárgyak és díszek hatása (ld. 4-3. táblázat).

	T _{max} sec	nem átánlott					elfogadható					nem megfelelő (MSZ 2080)				
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
követelmény																
minimálisan szükséges hangelnyelés (számított)	A _{Sabine} m ²	-	161,0	107,3	80,5	64,4	53,7	46,0	40,3	35,8	32,2	29,3	26,8	24,8	23,0	21,5
	A _{Eyring} m ²	-	116,0	85,9	68,0	56,2	47,9	41,7	36,9	33,1	30,1	27,5	25,3	23,5	21,9	20,5
adottság: KEMÉNY PADLÓ	α _{padló} -	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
szükséges átlagos hangelnyelési tényező	α _{mennyezet} -	0,95	0,90	0,85	0,70	0,60	0,60	0,54	0,45	0,40	0,34	0,30	0,27	0,24	0,21	0,19
	α _{fal} -	0,90	0,65	0,33	0,25	0,18	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ellenőrzés	A _{számított} m ²	154,8	127,0	92,7	74,5	61,0	51,2	44,2	38,2	34,9	30,9	28,2	26,2	24,2	22,2	20,9
	T _{Sabine} sec	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	T _{Eyring} sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
szükséges mennyiség mennyezeten különböző anyagok esetén	szálas (NRC 0,90) m ²	-	-	62,7	51,0	43,1	43,1	38,4	31,4	27,5	22,7	19,6	17,3	14,9	12,5	11,0
	10...15% perforált gk. (NRC 0,50) m ²	-	-	-	96,3	81,5	81,5	72,6	59,3	51,9	43,0	37,0	32,6	28,1	23,7	20,7
	>18% perforált gk. (NRC 0,70) m ²	-	-	82,1	66,7	56,4	56,4	50,3	41,0	35,9	29,7	25,6	22,6	19,5	16,4	14,4
szükséges kiegészítés falburkolattal	szálas (NRC 0,90) m ²	98,0	69,2	32,7	23,1	15,0	3,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
megjegyzés:																
- a táblázatot csak kiindulási becslésnek javasolt használni																
- kemény felületű bútorokkal és dísz tárgyakkal berendezett (közel diffúz) hangtér feltételezésével																
- a hangelnyelések a leírt szerkezetre jellemző értékek, tényleges értéket gyártói adatszolgáltatásban kell keresni																
- a 0,05 hangelnyelés kezeletlen, visszaverő felületre utal																

4-1. táblázat: Egy 200 m³ térfogatú 3 m belmagasságú tanterembe javasolt kiindulási becslés mennyezeti és falburkolati megoldásokra.

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	9,8 m				125	250	500	1000	2000	4000	
szél	5,9 m	padló, PVC vagy parketta	57,8 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
mag	3,0 m	függöny, ablak (3db 1,8×1,8m)	9,7 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
V	173 m ³	ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
S	210 m ²	vakolt fal (maradék)	82,5 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	57,8 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összes	$\Sigma A_{\text{határolás}}$		5,9	6,8	10,9	11,3	12,8	17,6	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{\text{átlag}}$		0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,08	-
		kárpitozás nélküli szék	24,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	12,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		1,9	1,0	1,0	1,4	1,9	1,0	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{\text{levegő}}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, \text{Sabine}}$		3,56	3,53	2,27	2,07	1,76	1,31	sec
			T_{m4}		-	2,41				-	sec

4-2. táblázat: Egy 3 m magas üres, teremakusztikailag kezeletlen tanteremben várható utózungési idő (számítási példa).

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	9,8 m				125	250	500	1000	2000	4000	
szél	5,9 m	padló, PVC vagy parketta	57,8 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
mag	3,0 m	függöny, ablak (3db 1,8×1,8m)	9,7 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
V	173 m ³	ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
S	210 m ²	vakolt fal (maradék)	82,5 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	57,8 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összes	$\Sigma A_{\text{határolás}}$		5,9	6,8	10,9	11,3	12,8	17,6	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{\text{átlag}}$		0,03	0,03	0,05	0,05	0,06	0,08	-
		kárpitozás nélküli szék	24,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	12,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		belakottság + díszek	1,0 klt	A_{hab}	12,7	16,3	15,8	18,5	18,1	14,6	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		14,6	17,3	16,7	19,9	20,0	15,5	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{\text{levegő}}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, \text{Sabine}}$		1,36	1,15	1,00	0,87	0,82	0,78	sec
			T_{m4}		-	0,96				-	sec
		referencia	$T_{20, \text{mért}}$		1,36	1,15	1,00	0,87	0,82	0,78	sec

4-3. táblázat: A 3 m magas teremakusztikailag kezeletlen tanteremben a személyes tárgyak és a díszek („belakottság”) által képviselt hangelnyelés becslése $0,161 \cdot V(1/T_{\text{mért}} + 1/T_{\text{számolt}})$ összefüggéssel (számítási eredmény kiemelve).

A követelmény értelmezése szerint ugyanakkor a méretezésnél a személyes tárgyak és díszek hatásával nem számolhatunk, mert a követelményt üzemszerű állapotban, berendezésekkel, de személyes berendezési tárgyak és díszítések nélkül kell tudni teljesíteni.

Az ajánlott követelmény teljesítéséhez hangelnyelő burkolat beépítése szükséges.

Mivel a tanterem csupasz mennyezete a padlótól 3 m magasságban van, a mennyezet burkolása a belmagasságot csökkentené. A hangelnyelő burkolatot ezért az ajtó szemöldökmagassága fölötti kb. 90 cm magas sávban helyezzük el a homlokzati fal kivételével a falakon (ld. 4-13. ábra). A 4-4. táblázat eredményei szerint ekkor már

lényegesen jobb a helyzet ($T_{m4,javított} = 0,94$ s), de még mindig nagyobb a követelménynél.

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	szél				125	250	500	1000	2000	4000	
9,8 m	5,9 m	padló, PVC vagy parketta	57,8 m ²	$\alpha_{felület}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
3,0 m	3,0 m	függöny, ablak (3db 1,8×1,8m)	9,7 m ²	$\alpha_{felület}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
173 m ³	173 m ³	ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{felület}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
210 m ²	210 m ²	vakolt fal (maradék)	82,5 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		három falon 90cm magas 4cm vtg. szövettel kasírozott üvegyapot hangelnyelés	19,4 m ²	$\alpha_{felület}$	0,25	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		vakolt falon kitakart felület	-19,4 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	57,8 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összesen	$\Sigma A_{határolás}$		10,5	21,1	30,0	30,4	31,8	36,0	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{átlag}$		0,05	0,10	0,14	0,14	0,15	0,17	-
		kárpitozás nélküli szék	24,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	12,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		1,9	1,0	1,0	1,4	1,9	1,0	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{levegő}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, Sabine}$		2,23	1,25	0,89	0,86	0,80	0,70	sec
			T_{m4}		-	0,95				-	sec

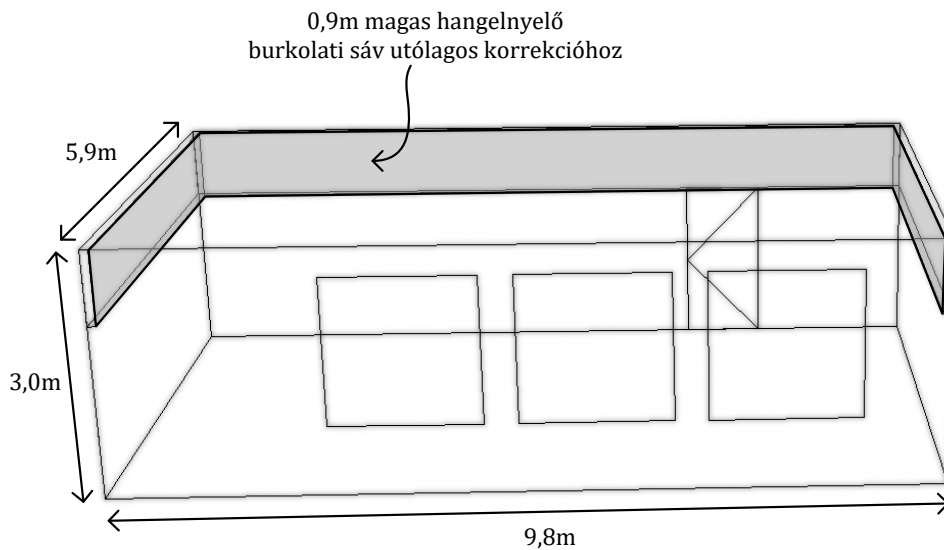
4-4. táblázat: A 3 m magas falakra helyezett hangelnyelő panelekkel javított tanteremben számolt utózengési idő javítva, berendezett, nem belakott állapotban.

Ha a kezelt állapothoz hozzáadjuk a belakottság becsült hatását, az eredményt a 4-5. táblázat mutatja. Ezek szerint, bár a követelmény feltételei szerinti állapotban a követelmény nem teljesült, a javított osztályterem a díszítettségének köszönhetően már a szakmai ajánlásoknak megfelelően rövid utózengési idővel fog rendelkezni.

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	szél				125	250	500	1000	2000	4000	
9,8 m	5,9 m	padló, PVC vagy parketta	57,8 m ²	$\alpha_{felület}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
3,0 m	3,0 m	függöny, ablak (3db 1,8×1,8m)	9,7 m ²	$\alpha_{felület}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
173 m ³	173 m ³	ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{felület}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
210 m ²	210 m ²	vakolt fal (maradék)	82,5 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		három falon 90cm magas 4cm vtg. szövettel kasírozott üvegyapot hangelnyelés	19,4 m ²	$\alpha_{felület}$	0,25	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00	-
		vakolt falon kitakart felület	-19,4 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	57,8 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összesen	$\Sigma A_{határolás}$		10,5	21,1	30,0	30,4	31,8	36,0	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{átlag}$		0,05	0,10	0,14	0,14	0,15	0,17	-
		kárpitozás nélküli szék	24,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	12,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		belakottság + díszek	1,0 klt	A_{hab}	12,73	16,34	15,77	18,46	18,09	14,58	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		14,6	17,3	16,7	19,9	20,0	15,5	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{levegő}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, Sabine}$		1,11	0,72	0,59	0,55	0,53	0,51	sec
			T_{m4}		-	0,60				-	sec

4-5. táblázat: A 3 m magas javított tanteremben számolt utózengési idő berendezett és belakott állapotban.

Ha az ajánlott követelmények feltételeinek is meg kell felelni, még kb. 5...8 m² hangelnyelő panel elhelyezése volna szükséges.



4-13. ábra: A 3 m magas javított tanteremben javasolt utólagos beavatkozás.

A számítási példánál az alábbi tényezőkre fontos felhívni a figyelmet:

- a statisztikus közelítés elfogadható pontosságú, mert a díszítettség és a berendezési tárgyak kellően diffúz felületeket jelentenek;
- a számításoknál nem vettük figyelembe a berendezési tárgyak térfogatát, ami a tényleges hatásokhoz képest (kisebb térfogatban rövidebb az utózengés) pesszimista becslést eredményez;
- a függöny és a berendezési tárgyak által képviselt hangelnyelés becsült hangelnyelés, jelentősebb eltérés a becsült és tényleges hangelnyelésben a függöny esetében lehet;
- az ajánlott követelmény ($T_{m4} < 0,75$ s) és feltételei (berendezett, de nem belakott állapot) teljesítéséhez szükséges plusz hangelnyeléseket csak a díszítések által takart felületek vagy a belmagasság rovására lehetne beépíteni, de egyes értelmezések szerint például önálló függesztett hangelnyelő elemekkel csak a szabad belmagasság csökken, az átlagos belmagasság nem;
- a berendezett, de nem belakott állapotban számolt utózengési idő frekvenciafüggése 125 Hz sávban aránytalan ($T_{125\text{Hz}}/T_{m4} > 2$), amit a belakottság méréseiből számított hatása is csak kis mértékben ellensúlyoz, ezért férfi beszédhang esetén arányaiban mélyebb tónusú teremhangzás és valamivel gyengébb beszédérthetőség várható.

4.1.5. Példa: meglévő tanterem felújítása (4 m belmagasság)

A teremakusztikai hangolás nélkül épült 4,0...4,2 m magas berendezett és nem belakott középiskolai tanteremekben jellemzően $T_{m2} > 1,3$ s közepes utózenngési időre lehet számítani, de a javasolt követelmény $T_{m2,köv.} \leq 0,75$ s.

A 4-6. táblázat a teremakusztikai hangolás nélkül az egyik méréssel vizsgált középiskolai tanterem (ld. 4-2. fotó) esetében várható (számított) utózenngési időt mutatja.



4-2. fotó: Egy teremakusztikailag kezeletlen 4,2 m magas középiskolai tanterem (példa, 8,8×7,8×4,2 m méretekkel).

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	szél				mag	V	S	125	250	500	
8,8 m	7,8 m	padló, PVC vagy parketta	68,6 m ²	$\alpha_{felület}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
	4,2 m	ablak (pm. 1,0m)	20,4 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	-
	288 m ³	függöny, ablak előtt részleges	10,2 m ²	$\alpha_{felület}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
	277 m ²	ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{felület}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		lábazati faburkolat	32,2 m ²	$\alpha_{felület}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		vakolt fal (maradék)	117,0 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	68,6 m ²	$\alpha_{felület}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összes	$\Sigma A_{határolás}$		10,3	9,9	15,5	16,8	18,3	24,5	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{átlag}$		0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,12	-
		kárpitozás nélküli szék	30,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	15,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		2,4	1,2	1,2	1,8	2,4	1,2	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{levegő}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, Sabine}$		3,64	4,10	2,71	2,41	2,12	1,62	sec
			T_{m4}		-	2,83				-	sec

4-6. táblázat: Egy 4,2 m magas üres, teremakusztikailag kezeletlen tanteremben várható utózenngési idő (számítási példa).

A 4-7. táblázat azt mutatja, hogy ha a számítási eredményt a mérési eredményhez igazítjuk, a belakottság feltehetően milyen hangelnyelést képvisel.

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	szél				125	250	500	1000	2000	4000	
8,8 m	7,8 m	padló, PVC vagy parketta	68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
4,2 m	4,2 m	ablak (pm. 1,0m)	20,4 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	-
288 m ³	288 m ³	függöny, ablak előtt részleges	10,2 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
277 m ²	277 m ²	ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		lábazati faburkolat	32,2 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		vakolt fal (maradék)	117,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összesen	$\Sigma A_{\text{határolás}}$		10,3	9,9	15,5	16,8	18,3	24,5	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{\text{átlag}}$		0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,12	-
		kárpitozás nélküli szék	30,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	15,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		belakottság + díszek	1,0 klt	A_{hab}	9,19	11,32	11,28	11,57	9,60	8,15	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		11,6	12,5	12,5	13,4	12,0	9,3	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{\text{levegő}}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, \text{Sabine}}$		2,12	2,05	1,63	1,51	1,47	1,26	sec
			T_{m4}		-	1,67				-	sec
		referencia	$T_{20, \text{mért}}$		2,12	2,05	1,63	1,51	1,47	1,26	sec

4-7. táblázat: A 4,2 m magas teremakusztikailag kezeletlen tanteremben a belakottság és a díszek által képviselt hangelnyelés becslése $0,161 \cdot V(1/T_{\text{mért}} + 1/T_{\text{számolt}})$ összefüggéssel (számítási eredmény kiemelve).

Az ajánlott követelmény teljesítéséhez hangelnyelő burkolat beépítése szükséges.

Mivel a tanterem csupasz mennyezete a padlótól >3 m magasságban van, több lehetőség is rendelkezésre áll a hangelnyelés mennyezeti elhelyezésére:

- teljes mennyezet burkolása: esztétikai szempontból ez a megoldás okozza a legkisebb változást, viszont a mennyezet utólagos beépítéséhez le kell szerelni a meglévő szerelvényeket (lámpatestek stb.);
- függesztett hangelnyelő panelek: önálló függesztett hangelnyelő panelek (island, cloud, baffle) a meglévő függesztett mennyezeti szerelvények megbontása nélkül helyezhetők el, de a helyiség esztétikájában lényeges változást okoznak.

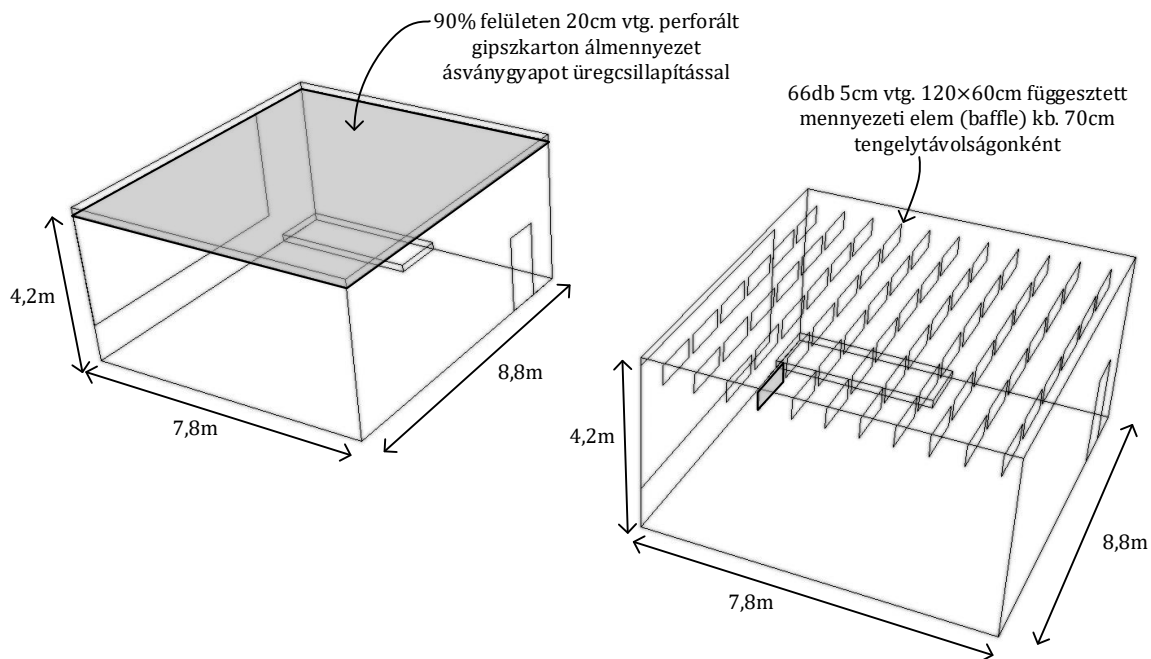
A számítási eredményeket a 4-8. és 4-9. táblázatok mutatják a két esetre. A számítások szerint a javasolt megoldásokkal az ajánlott követelmények éppen teljesülnek berendezett, de nem belakott állapotban. Kisebb utózendési idő és nagyobb biztonság érhető el nagyobb hangelnyelésű álmennyezet-típussal vagy nagyobb méretű, nagyobb darabszámú függesztett elemekkel.

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	szél				125	250	500	1000	2000	4000	
8,8 m	7,8 m	padló, PVC vagy parketta	68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
4,2 m		ablak (pm. 1,0m)	20,4 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	-
		függöny, ablak előtt részleges	10,2 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
		ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		lábazati faburkolat	32,2 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		vakolt fal (maradék)	117,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		16% perforált gipszkarton álmennyezet 200mm összvastagságban, légrésben ásványgyapottal	68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,50	0,70	0,80	0,70	0,60	0,55	-
		burkolattal kitakart mennyezet	-68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összes	$\Sigma A_{\text{határolás}}$		43,2	56,6	67,7	62,1	56,7	55,4	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{\text{átlag}}$		0,21	0,27	0,32	0,30	0,27	0,26	-
		kárpitozás nélküli szék	30,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	15,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		2,4	1,2	1,2	1,8	2,4	1,2	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{\text{levegő}}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, \text{Sabine}}$		1,02	0,80	0,67	0,72	0,77	0,78	sec
			T_{m4}		-	0,74				-	sec

4-8. táblázat: A 4,2 m magas hangfelnyelő álmennyezettel javított tanteremben számolt utózengési idő berendezett, nem belakott állapotban.

méretek		leírás	mennyiség	mérték	frekvencia (Hz)						egység
hossz	szél				125	250	500	1000	2000	4000	
8,8 m	7,8 m	padló, PVC vagy parketta	68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	-
4,2 m		ablak (pm. 1,0m)	20,4 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	-
		függöny, ablak előtt részleges	10,2 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,20	0,30	0,40	0,50	0,65	0,65	-
		ajtó (1×2m)	2,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		lábazati faburkolat	32,2 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,10	0,06	0,08	0,10	0,10	0,10	-
		vakolt fal (maradék)	117,0 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		mennyezet, vakolt (teljes)	68,6 m ²	$\alpha_{\text{felület}}$	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05	-
		határoló felületek elnyelése összes	$\Sigma A_{\text{határolás}}$		10,3	9,9	15,5	16,8	18,3	24,5	m ²
		átlagos elnyelés	$\alpha_{\text{átlag}}$		0,05	0,05	0,07	0,08	0,09	0,12	-
		kárpitozás nélküli szék	30,0 db	A_{obj}	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,02	m ²
		fa asztal	15,0 db	A_{obj}	0,08	0,04	0,04	0,06	0,08	0,04	m ²
		5cm vtg. 1200×600mm baffle, kb. 0,7m-enként	66,0 db	A_{obj}	0,32	0,36	0,66	0,78	0,78	0,73	m ²
		tárgyak elnyelése összesen	ΣA_{obj}		23,5	25,0	44,8	53,3	53,9	49,4	m ²
		levegő elnyelése (20°, 50%)	$A_{\text{levegő}}$		0,1	0,2	0,4	0,7	1,2	2,8	m ²
			$T_{60, \text{Sabine}}$		1,37	1,32	0,76	0,66	0,63	0,60	sec
			T_{m4}		-	0,84				-	sec

4-9. táblázat: A 4,2 m magas mennyezetről függesztett hangfelnyelő panelekkel javított, tanteremben számolt utózengési idő, berendezett, nem belakott állapotban.



4-14. ábra: A 4,2 m magas tanteremben javasolt utólagos beavatkozások.

A számítási példánál az alábbi tényezőkre fontos felhívni a figyelmet:

- a sík álmennyezeti megoldás esetén a statisztikus közelítés bizonytalan lehet, mert számottevő hangelnyelő felület csak a mennyezetre kerül (egyenletlen eloszlás);
- a hangelnyelés egyenletesebb eloszlása érdekében az oldalfalak felső sávjába, elsősorban a táblákkal szemközti falfelületre javasolt kiegészítésként hangelnyelést helyezni;
- a számításoknál nem vettük figyelembe a berendezési tárgyak térfogatát, ami a tényleges hatásokhoz képest (kisebb térfogatban rövidebb az utózengés) pesszimista becslést eredményez;
- a függöny és a berendezési tárgyak által képviselt hangelnyelés becsült hangelnyelés, jelentősebb eltérés a becsült és tényleges hangelnyelésben a függöny esetében lehet;
- perforált gipszkartonos álmennyezeti megoldás esetén a mély hangok csillapítottabbak, ami kedvezőbb és kiegyenlítettőbb teremhangzást, kis mértékben jobb beszédérthetőséget jelent.

4.1.6. Példa: új tanterem

Új tanterem esetén a követelményekhez szükséges hangelnyelést a [FAP2019] elméleti összefoglalóban megismert összefüggések alapján a térfogat és a fő méretek alapján lehet meghatározni. A tényleges hangelnyelő felületet a szükséges hangelnyelés alapján végül a különböző szerkezetekre és felületekre jellemző hangelnyelési tényező alapján lehet meghatározni.

A minimálisan szükséges burkolati mennyiség közelítésére az alábbi egyszerűsített számítást alkalmazhatjuk:

- A követelmény T_{m4} ([MSZ2080] jelölése szerint $T_{m,max}$) mértékben van meghatározva, ami a 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz és 2 kHz frekvenciasávok eredményeinek átlagából számolt érték. Az egyszerűsített számításnál abból indulunk ki, hogy a T_{m4} érték az α_{m4} (azaz NRC) értékből számolva közelíthető¹² például az Eyring-féle összefüggéssel (ld. [FAP2019] 21. oldal (3-2a) képlet):

$$T_{m4} = 0,161 \frac{V}{-S \cdot \ln(1 - \bar{\alpha}_{m4})} \quad (4-2a)$$

ahol az $\bar{\alpha}_{m4}$ átlagos hangelnyelési tényező az 1...n jelű felületek hangelnyelési tényezőiből számolható:

$$\bar{\alpha}_{m4} = \frac{S_1 \cdot \alpha_{m4,1} + S_2 \cdot \alpha_{m4,2} + \dots + S_n \cdot \alpha_{m4,n}}{S} \quad (4-2b)$$

és

$$\bar{\alpha}_{m4} = \frac{S_1 \cdot NRC_1 + S_2 \cdot NRC_2 + \dots + S_n \cdot NRC_n}{S} \quad (4-2c)$$

mert az NRC (noise reduction coefficient, ld. [FAP2019] 25. oldal) érték

$$\alpha_{m4} = NRC = \frac{\alpha_{250Hz} + \alpha_{500Hz} + \alpha_{1kHz} + \alpha_{2kHz}}{4} \quad (4-2d).$$

- A hangelnyelő burkolattal nem kezelt felületekre feltételezhető, hogy $NRC \geq 0,05$ (ld. 4-9. ábra).
- Ha a teremakusztikai hangolás céljából elhelyezett felület hangelnyelése NRC^* , akkor az adott $T_{m4,max}$ követelményhez szükséges S^* felület a fentiekből az alábbi összefüggéssel számolható:

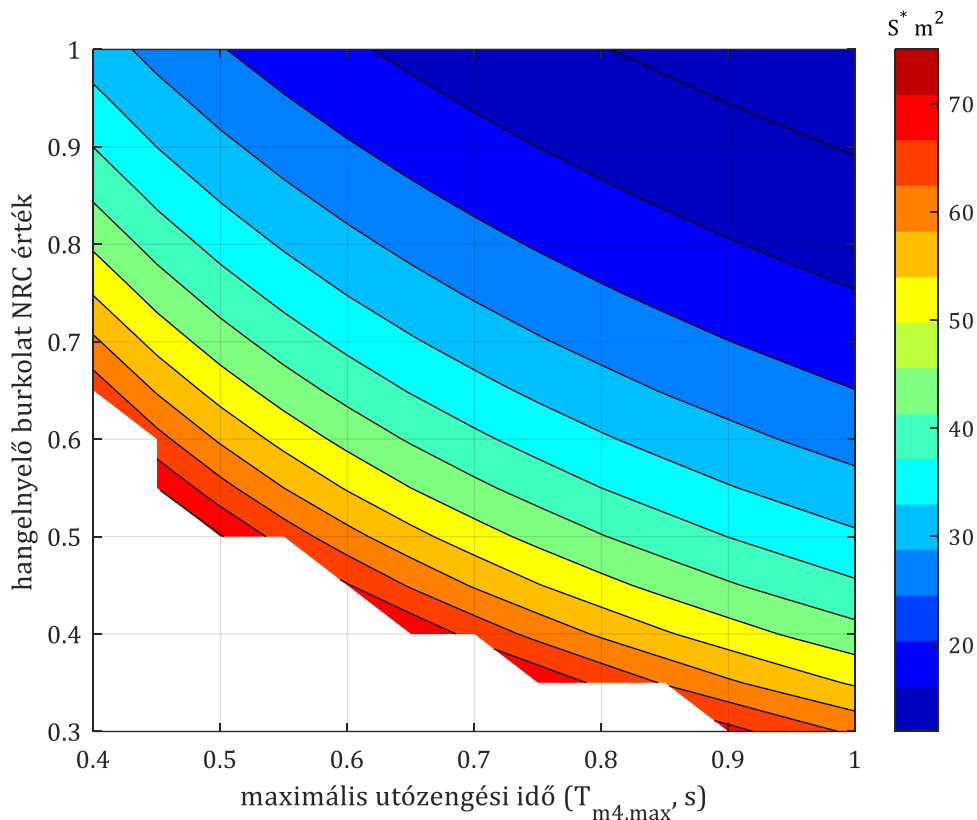
$$S^* \geq S \frac{(\bar{\alpha}_{m4} - NRC)}{NRC^* - NRC} = S \frac{\left(1 - e^{-\frac{0,161 \cdot V}{S \cdot T_{m4,max} - NRC}}\right)}{NRC^* - NRC} \quad (4-2e).$$

Az eredményeket egy tipikus $L = 9$ m hosszú, $W = 6$ m széles és $H = 3$ m szabad belső méretű tanterem esetén a 4-15. ábra mutatja. A számításnál feltételezzük, hogy a hangelnyelő burkolatot legfeljebb a mennyezet teljes felületén és egy rövid oldal (tábla) kivételével a több falon 0,9 m magas sávban lehet csak alkalmazni, azaz $S^* \leq L \cdot W + 0,9 \text{ m} \cdot (2 \cdot L + W) = 75,6 \text{ m}^2$ lehet.

Az ábrából leolvasható, hogy a $T_{m4,max} \leq 0,7$ s követelményhez legalább $NRC > 0,40$ minőségű burkolatot érdemes alkalmazni.

¹² Matematikailag az összefüggés nem helytálló, ezért tekintjük közelítésnek.

Fontos megjegyezni, hogy a számítás a szabad belső méretekből indul ki, tehát ha például a burkolat egy álmennyezet és 0,2 m öszvastagsággal rendelkezik, akkor a szerkezeti belmagasságot ezzel a vastagsággal kell növelni, hogy az előírások szerinti 3 m szabad belmagasság a burkolat beépítése után is rendelkezésre álljon.

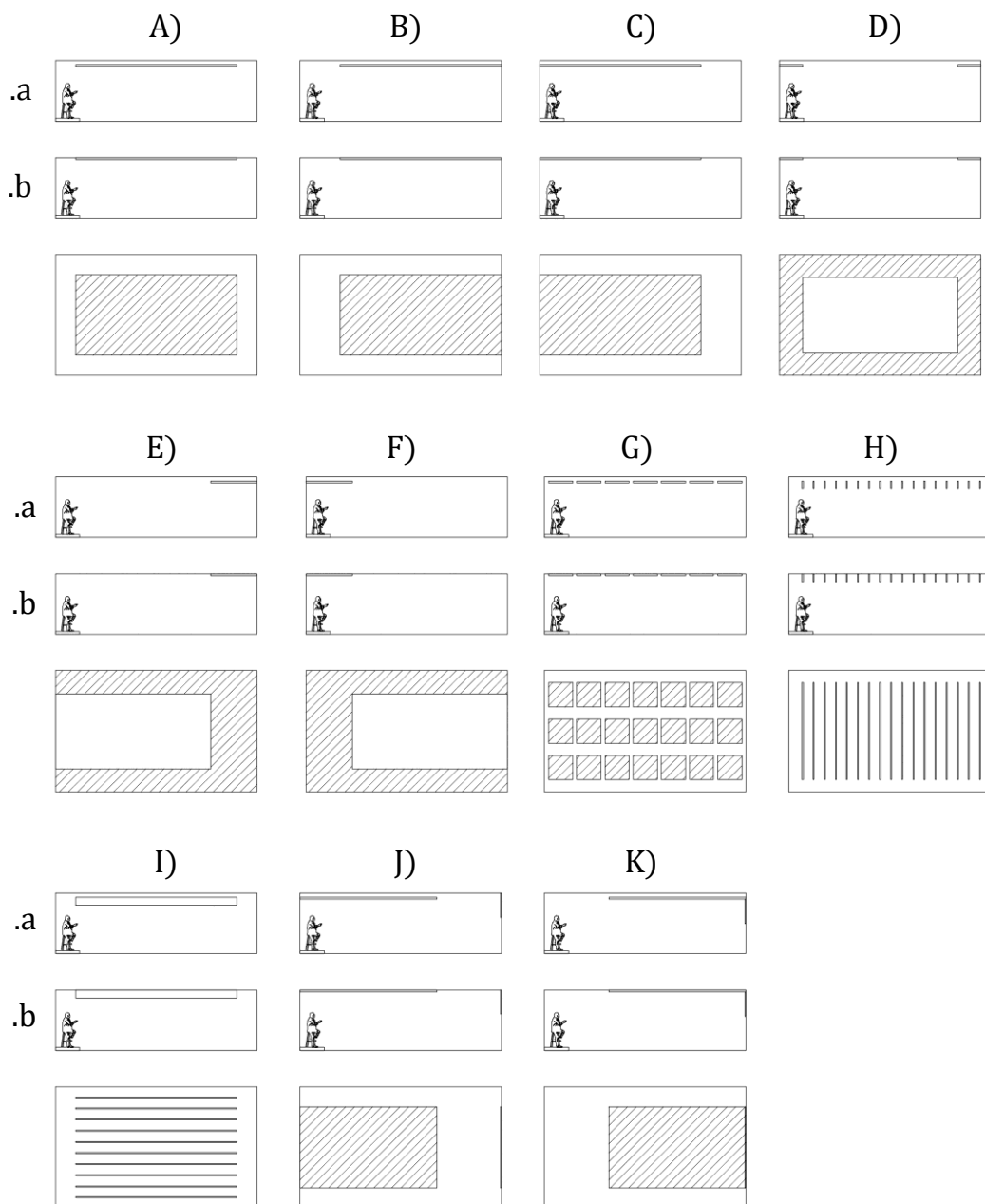


4-15. ábra: A minimálisan szükséges hangelnyelő burkolat egy $9 \times 6 \times 3$ m tanteremben a maximális közepes utózungési idő és a burkolat hangelnyelési tényezője függvényében.

A burkolati mennyiség meghatározása után a burkolat elhelyezése, elosztása lehet kérdés. A 4-16. ábra különböző burkolati sémákat mutat be, amik új építésű helyiségben szóba kerülhetnek.

Az egyes sémákban az összehasonlíthatóság kedvéért a terem mérete azonos, a hangelnyelő burkolatok azonosan üvegyapot alapú álmennyezeti és falburkolati elemek, amiknek a mennyisége azonos, csak a helyzete változik. A figyelembe vett burkolatok: falakon és mennyezeten sima vakolt felület, padlón linóleum, dobogó és ajtó tömör fa, hangelnyelő anyag 4 cm vtg. üvegyapot.

Elméletileg a lamellás (baffle) megoldásnál azonos felület elméletben két irányból is hat, de a tapasztalatok szerint az 1 m^2 anyagból készült és két oldalán is hangelnyelő baffle hangelnyelési száma nem több, mint 1 m^2 (ld. pl. 4-9. táblázat).



4-16. ábra: A 3,5 m magas minta tanteremben vizsgált hangelnyelő burkolati elrendezések.
A sraffozás jelzi a hangelnyelő felület helyét.
Az .a változat légréssel, a .b változat légrés nélkül értendő.

A számítási eredmények alapján az alábbi összefüggéseket érdemes kiemelni:

- A beszédérthetőség (STI) szempontjából a különböző elrendezések hatékonysága között minimális ($\pm 4\%$) az eltérés, de a legjobb beszédérthetőséget a D, G és I elrendezések adták.
- Az A, B, C, D, E és F esetekben a modellezett eredmény kifejezetten érzékeny a modellben beállított diffuzitási tényezőkre. Ha a falakon nem lehet díszekkel vagy más domborzatos elemekkel számolni, a G, H, I, J és K esetek nagyobb biztonsággal alkalmazhatók.

- A légrés vastagságának (jobb mélyhang elnyelés) előnye csak zárt álmennyezeti kialakítás esetén érvényesül.
- A H és I elrendezésben használt baffle orientációja szempontjából kedvezőbb, ha az nem akadályozza az első mennyezeti visszaverődést, ezért a H elrendezés nem javasolt.
- A H és I elrendezésben használt baffle hatékonysága nem arányos a mennységgel, ezért a gyártó minősítéseit javasolt figyelembe venni.
- Ha a modell nem számol a hangelnyelés beesési szögtől való függésével, akkor az A, B, C és J esetekben a mennyezet hangelnyelését az első visszaverődésnél túlbecsli és ezért a valóságosnál gyengébb hangtisztaságot jósol.

Ha a tanterem elrendezése nem rögzített (pl. nincs dobogó), a B, C, E, F, J és K elrendezés nem javasolt.

Ha a tanteremben kiscsoportos foglalkozásokra is sor kerülhet vagy tanóra közben zajosabbak a diákok (pl. alsó tagozat), akkor a D, E, F elrendezés nem javasolt, mert a visszaverő mennyezet a zavaró áthallásokat és zajokat felerősíti.

Fentiek miatt teljesen általános esetekre csak az A.a és G.a elrendezés ajánlható valamilyen diffuzitást javító elemmel (pl. díszek, polcok, függönyök stb.).

Ha a beszélő vagy előadó pozíciója ismert és a helyiség 9 m-nél hosszabb, akkor az [MSZ2080] C. mellékletében ábrázolt elrendezés ajánlott.

4.1.7. Példa: tárgyaló

Az irodaépületek tárgyalóiban azonos szempontok alapján javasolt a méretezés, mint a tantermekben, az alábbi kiegészítésekkel:

- A tárgyaló helyiségekben a bent tartózkodók zajával általában nem kell számolni, ezért kisebb térfogat esetén sem feltétlenül indokolt a $T_{m2} < 0,75$ -nél szigorúbb követelményre méretezni. Az [MSZ 2080] $T_{m4,max} \leq 0,80$ s követelményt ír elő.
- Ha a tárgyaló helyiségben videokonferencia rendszer működik, a gyártó ajánlásait, a gyártó ajánlásainak hiányában $T_{m2} < 0,75$ s-nál határozottan szigorúbb követelményre (pl. $T_{m2} < 0,60$ s, [MSZ 2080] szerint $T_{m4,max} \leq 0,50$ s) javasolt méretezni.

Erre azért van szükség, mert a mikrofonok nem csak a beszélő hangját, hanem ahhoz hozzáadódva a tárgyaló saját teremakusztikai viszonyait is érzékelik, ami nem megfelelő beállítás és teremakusztikai hangolás esetén a másik félnél természetellenes hangzáshoz, gerjedékenységhez, hibásan működő visszhangkioltáshoz, téves forrásérzékeléshez vezethet.

A megvalósításnál a mennyezeten kívül legalább egy falfelületen hangelnyelő burkolatra van szükség, üvegfal esetén ezt függönyözés pótolhatja.

A mikrofonozás és a jellemzően kis méretek miatt a mélyhangok tartományában is ajánlott hangelnyelés. Ehhez nagyobb légréssel szerelt álmennyezet vagy falburkolat, nagyobb légréssel szerelt nehezebb függönyözés, szélsőséges esetben membránok szükségesek. A mélyhang-elnyelést a gipszkartonos válaszfal-szerkezetek vagy előtétthéjak membrán-hatása segíti.

4.2. Helyiségek, ahol a beszédhang csillapítása fontos

A helyiségen belüli beszédhangok és a zajok csillapítása általában feladat mindenhol, ahol a helyiségben többen egymástól függetlenül végeznek tevékenységet vagy pihennek. Leggyakrabban ez a szempont munkahelyi környezetben merül fel.

Irodaépületekben kiemelten fontos az irodai dolgozók munkáját zavaró és a munkavégzés hatékonyságát csökkentő zajok csökkentése. Ez nem minden esetben csak a háttérzaj csillapítását jelenti, ugyanis megfigyelések szerint a zajok minősége is legalább olyan meghatározó, mint a zajok szintje.

A háttérzajok közül zavaróbbak azok a hangok, amik összefüggőek, beszéd-szerűek, ismétlődők vagy tonálisak (búgó, füttyülő hangok). Kevésbé zavarók azok a hangok, amik összefüggéstelenek (pl. rózsazaj, „barna-zaj”, vízesés zaja, távoli közlekedési zaj stb.).

Irodai létesítményekben ez a feladat az 1-2 főnél több fős irodahelyiségekben merül fel. Jellemzően a legalább 5 főt befogadó irodahelyiségeket nevezhetjük egylégterű irodának. A 3-4 fős irodák azért nem képeznek külön csoportot, mert jellemzően túl kicsik ahhoz, hogy teremakusztikai beavatkozásokkal hatékonyan lehessen csillapítani a munkahelyek közötti áthallást, illetve 3-4 fő esetén még feltételezhető, hogy olyan kisebb csoportok dolgoznak együtt, akik közel azonos ütemben azonos jellegű munkát végeznek, így a munkahelyek közötti áthallás kevésbé zavaró.

A tervezési segédletben csak az egylégterű irodákat tárgyaljuk részletesen, mivel a kisebb irodahelyiségekben elsősorban a zajcsökkentés, tárgyalókban pedig a tantermekéhez hasonló szempontok dominálnak.

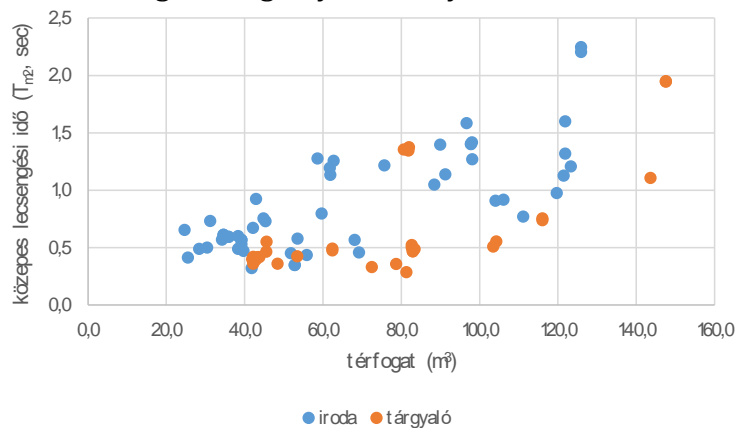
4.2.1. Helyzetelemzés

Irodai létesítményeknél kötelező előírások hiányában is már legtöbbször valamilyen teremakusztikai beavatkozásra igény merül fel. Ez elsősorban a bérleményi irodaterületek közötti versenyhelyzet (irodai, munkahelyi körülmények), valamint a

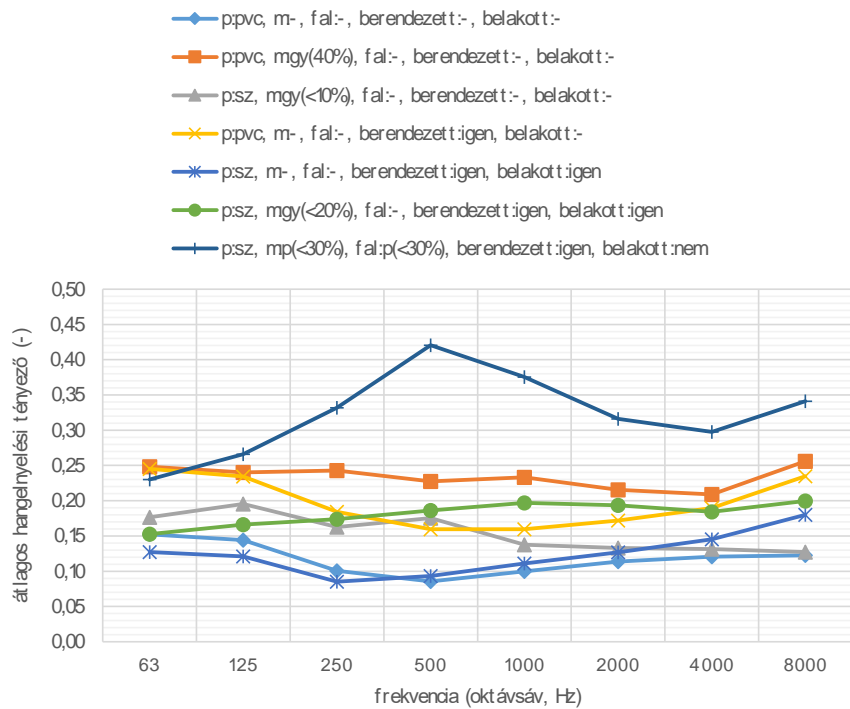
nemzetközi cégek által megszokott és elvárt minőségi szintek megjelenésének köszönhető.

A versenyhelyzetet jellemzi a különböző építményminőséget komplexen kifejező minősítési rendszerek (pl. BREEAM, LEED, WELL) megjelenése is. Ezekre jellemző, hogy az akusztikai komfortot valamilyen nemzeti szabványra alapozva kreditpontokkal jutalmazzák, ezért az akusztikai követelmények opcionálisan alkalmazhatók.

A tapasztalatok alapján nincsenek meghatározott tendenciák a térfogat, alapterület vagy a kialakítás módja szerint. A 4-17. ábra különböző irodahelyiségek térfogat és utózungési idő összefüggését, a 4-18. ábra különböző állapotú és kialakítású irodaterekben számolt átlagos hangnyelési tényezőket mutat.



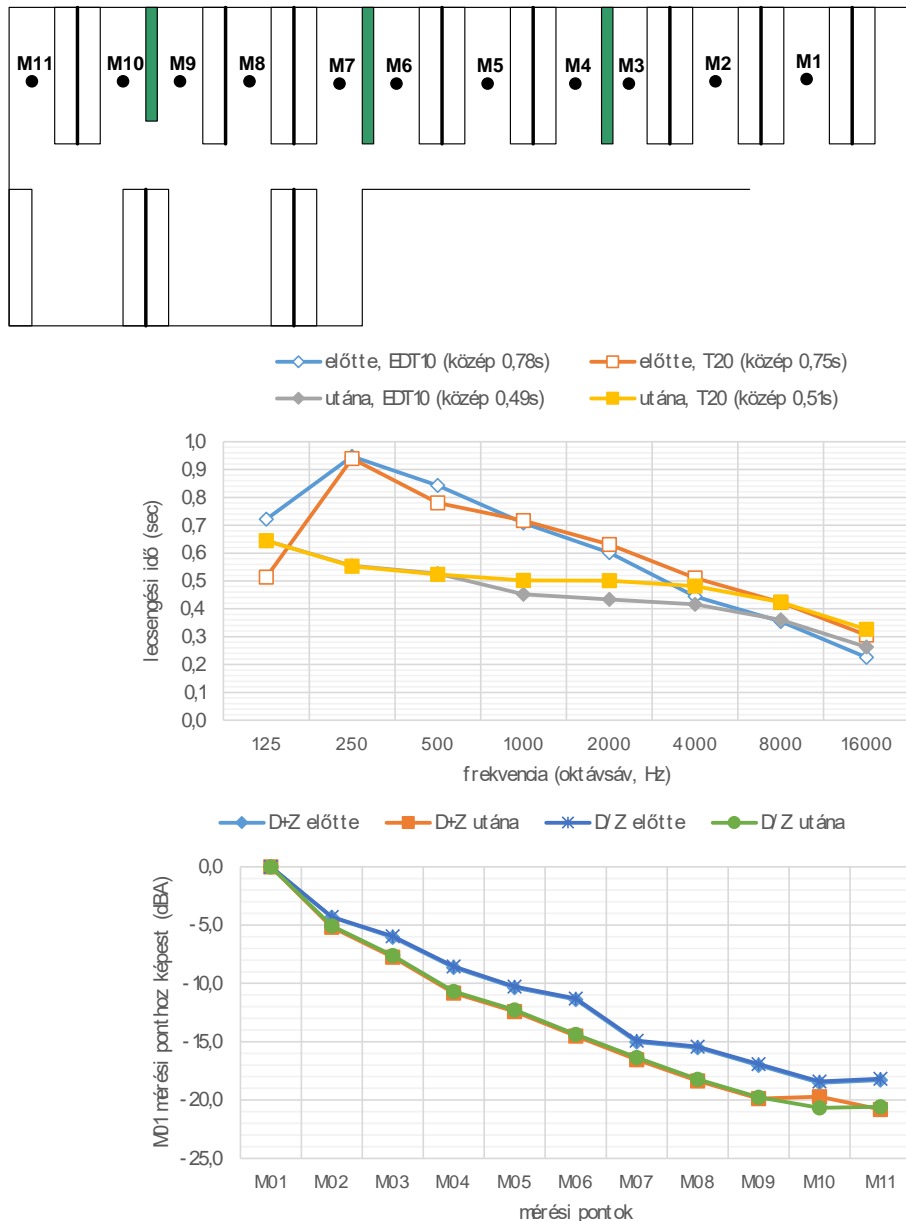
4-17. ábra: Önálló irodahelyiségekben mért közepes utózungési idők nem mutatnak tendenciát vagy rendszert.



4-18. ábra: Mérésekből számolt átlagos hangnyelési tényezők különböző kialakítások esetén (*p*: padló, *m*: mennyezet, *gy*(%): üvegyapot vagy ásványgyapot burkolat a felület egy részén, *p*(%): perforált gipszkarton a felület egy részén).

Egylégterű irodák esetén kevés az olyan tapasztalat, ami a utözengési idő vagy az MSZ ISO 3382-3 szabványban előírt paraméterek ellenőrzésére terjed ki.

A 4-19. ábraszorozat egy egylégterű irodában mért eredményt mutat. A berendezett, padlószőnyeggel burkolt és hangelnyelő álmennyezettel készült egylégterű irodában a panaszok miatt jobb minőségű hangelnyelő álmennyezet lett beépítve. Az ábrák a frekvencia függvényében mutatják a T_{20} utözengési idő, az EDT_{10} korai lecsengési idő változását, valamint a távolság függvényében a hangnyomásszint változását.



4-19. ábra: Egylégterű irodában mért eredmények, az álmennyezet átépítésének hatása. (fent: korai lecsengési idő EDT_{10} és utözengési idő T_{20} a frekvencia függvényében, lent: direkt + zengő hangnyomásszint és korai/késői energiaarány az M01 pont eredményeihez képest a mérési pontok, azaz távolság függvényében)

A mérési eredmények azt szemléltetik, hogy az egy légterű irodában a hangnyomásszint távolságtól való függését elsősorban a közvetlen hang és másodsorban a mennyezeti hangelnyelés határozza meg.

Az egy légterű irodára vonatkozó teremakusztikai követelmények gyakran csak a utózungési időt adják meg (pl. WELL¹³ 0,5 s, LEED¹⁴ 0,8 s), de a szempontokat valóban célszerűen az MSZ EN ISO 22955 szabványban (korábban MSZ EN ISO 3382-3 4.3. részben) leírt paraméterrendszer írja körül.

4.2.2. Javasolt megoldások

Az egy légterű irodában javasolt megoldásokat és hatásukat a 4-20. ábra és 4-21. ábra szemlélteti:

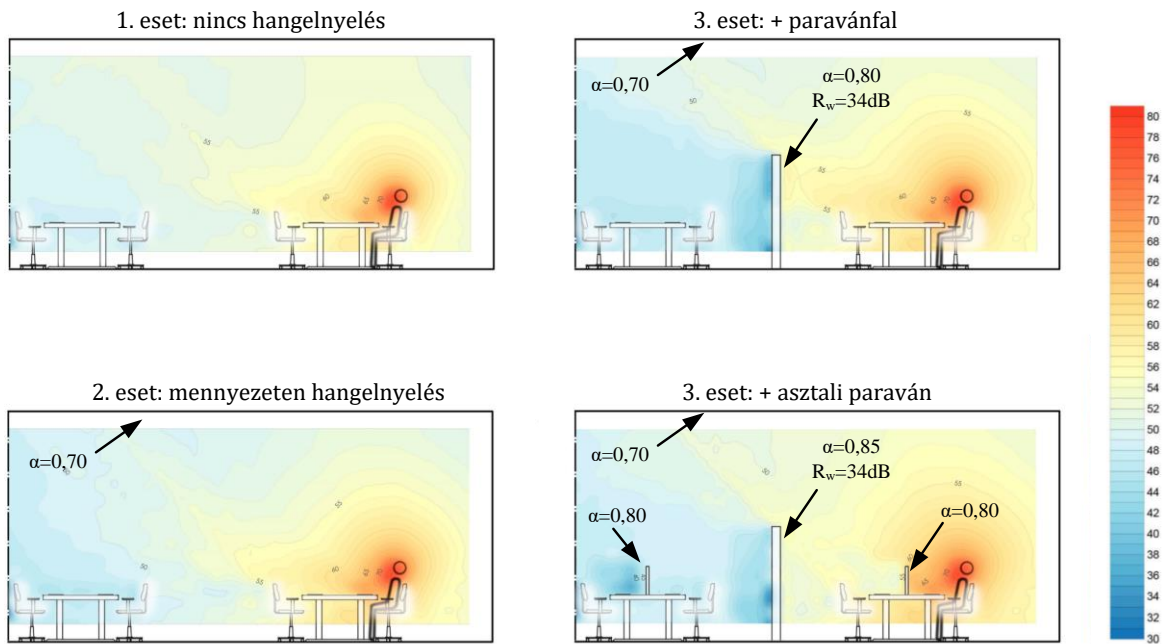
- A hangelnyelés mennyiségének növelésével az utózungési idő rövidül és a hangnyomásszint csökken, a hangnyomásszint gyorsabban csökken a távolsággal.
- Akadályok (paravánok, kötényfalak, magas bútorok) a közvetlen hang terjedését akadályozzák.
- Háttérzajszint emelése a megengedett vagy megrendelő által elfogadott szintre a hangforráshoz közelebb is segíti már elfedni a közvetlen hangot.
- Az egy légterű irodák üzemeltetési rendjének és beosztásának célszerű tervezése.

A hangelnyelés beépítésére a mennyezet a leginkább alkalmas, mivel a padlóburkolatokat nagyrészt a bútorzat takarja, a falfelületek jelentősége pedig általában kicsi. A hangelnyelő mennyezeti megoldások közül a tagolt megoldások (island, baffle, cloud) előnyösebbek, mert a sík és a padlóval párhuzamos nagy felületű mennyezet hatékonysága az első visszaverődéseknél kisebb a nagy beesési szögek miatt.

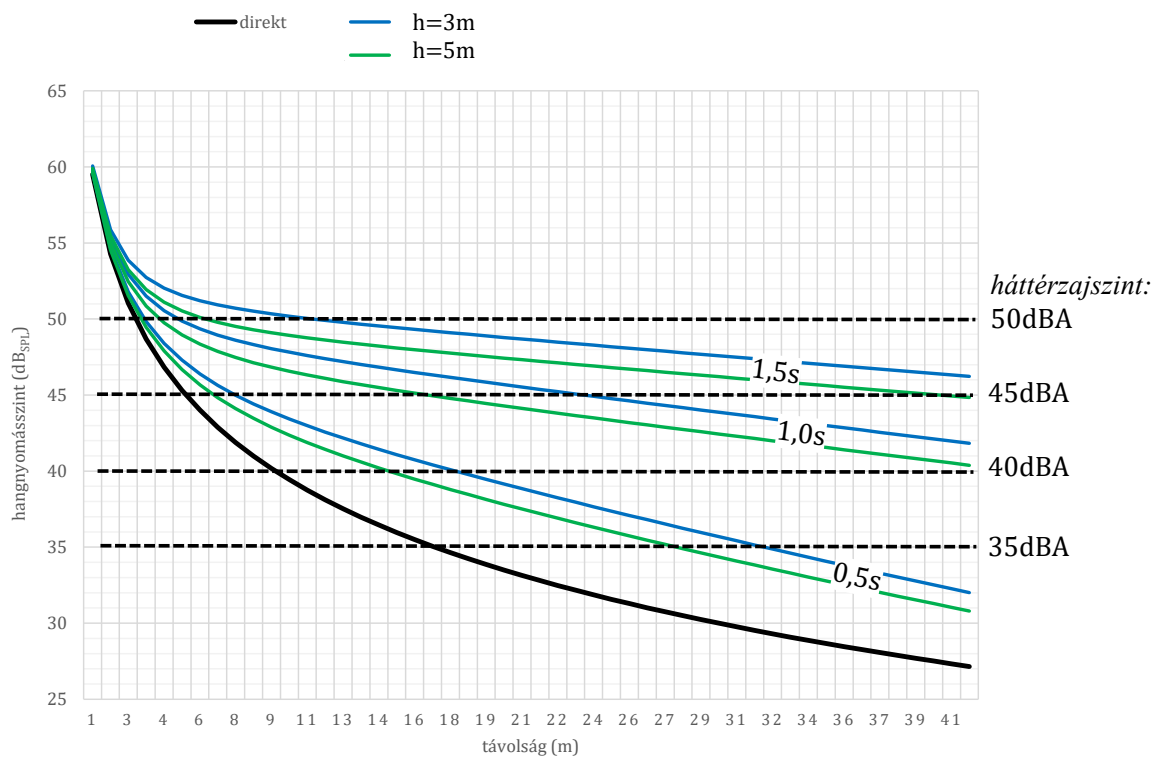
Az akadályok kialakítására a magas és zárt bútorok, a hangelnyelő burkolattal ellátott önálló paravánfalak és az asztalok éléhez rögzített puha felülettel ellátott kisebb paravánok is megfelelőek. Általában elvárás, hogy a lehetséges hallgatási pozíciók és a zajforrások, beszélgetők közötti láthatóságot kell akadályozzák, így ülő munka esetén a padlósíktól számított 1,2...1,5 m magas paravánok is megfelelőek, de ha álló csoportos megbeszélések is előfordulnak, a min. 1,8 m magas paravánok megfelelőbbek.

¹³ International Well Building Institute (www.wellcertified.com)

¹⁴ Leadership in Energy and Environmental Design (www.usgbc.org)



4-20. ábra: Az egylégtérű irodában alkalmazott megoldási elemek hatása¹⁵: modellezett hangnyomásszint-eloszlás.



4-21. ábra: Az egylégtérű irodában alkalmazott hangelnyelés és belmagasság hatása: hangnyomásszint távolságfüggése statisztikus összefüggések alapján 3 m (kék) és 5 m (zöld) belmagasság, valamint MSZ EN ISO 3382-3 szerinti beszéd-hangnyomásszint esetén.

¹⁵ Sara Delle Macchie, Simone Secchi *, Gianfranco Cellai, „Acoustic Issues in Open Plan Offices: A Typological Analysis”, Buildings 2018, 8, 161; doi:10.3390

Az akadályokra szerelt hangelnyelő burkolatok célja, hogy az akadályok által keltett visszaverődések ne rontsák az akadályok hangárnyékoló hatását.

A hangárnyékoló szerkezetek akkor hatásosak, ha az akadály felülete nagyobb mértékben hanggátló, mint amilyen mértékben az akadályt a hang megkerülheti. Általában az $R_w > 30$ dB körüli szerkezetek (pl. min. 9 kg/m^2 rétegelt lemez) már megfelel erre a célra. Ha az árnyékoló szerkezet felülete hangelnyelő, akkor elkerülhető, hogy az akadály által okozott visszaverődés megkerülje és így csökkentse az akadály hangárnyékoló képességét.

A tagolt mennyezeti megoldások közül a lamellás megoldás (baffle) akadályként is működik. A baffle hátránya, hogy a hasznos belmagasságot csökkenti.

A háttérzajszint szándékos emelése szokatlan megoldásnak számít egyelőre, de az USA-ban régóta alkalmazott megoldás az egy légterű irodatereken belüli zavaró hatások elfedésére. A megfelelő „maszkoló” hangrendszerek min. háromféle egymástól független zaj-jelet képesek sugározni és a zajosság szintjét az egyéb háttérzajokhoz tudják igazítani, hogy minél észrevétlenebb legyen a működésük.

A háttérzajszintet nem javasolt a gépészeti és üzemi rendszerek magasabb zajszintjére méretezéssel emelni.

Az egy légterű irodák célszerű tervezése és tagolása, valamint üzemrendje olyan megoldásokkal javíthatja az akusztikai komfortot, mint például:

- csendes területek kijelölése az irodateren belül: ha a normál üzemrend része a gyakori telefonálás, az éppen nem telefonáló munkavállalók félrevonulhatnak;
- telefonáló sarkok vagy fülkék kialakítása: a jellemzően 1-2 fő leülésére vagy akár álló beszélgetésére alkalmas, a mennyezeten és a falfelületeken is hangelnyelő burkolattal csillapított kis helyiségek vagy helyiség-részek lehetőséget adnak arra, hogy a telefonáló munkavállalók a többieket ne zavarják beszélgetés közben;
- ahol gyakori a telefonálás, mindenképpen és a fentiekől függetlenül is javasolt fejbeszélő készletek előírása.

4.2.3. Példa: szükséges hangelnyelő felületek becslése irodahelyiségekben

Ha gyorsan, tájékoztató jelleggel szükséges a minimálisan szükséges mennyiségeket becsülni, az átlagos (pl. NRC) vagy súlyozott (α_w) hangelnyelési tényezők alapján lehet kiindulási becsléseket adni.

követelmény	T _{max} sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
minimálisan szükséges hangelnyelés (számított)	A _{Sabine} m ²	-	40,3	26,8	20,1	16,1	13,4	11,5	10,1	8,9	8,1	7,3	6,7	6,2	5,8	5,4
	A _{Eyring} m ²	-	31,8	22,9	17,9	14,6	12,4	10,7	9,5	8,5	7,7	7,0	6,4	6,0	5,6	5,2
adottság: KEMÉNY PADLÓ	α _{padló}	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
szükséges átlagos hangelnyelési tényező	α _{mennyezet}	0,90	0,90	0,90	0,55	0,45	0,30	0,30	0,30	0,32	0,27	0,23	0,20	0,17	0,14	0,12
	α _{fal}	0,80	0,45	0,20	0,20	0,15	0,15	0,11	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
ellenőrzés	A _{számított} m ²	55,0	37,9	25,6	19,8	15,7	13,2	11,2	9,8	8,6	7,8	7,1	6,6	6,1	5,6	5,3
	T _{Sabine} sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
szükséges mennyeiség mennyezetten különböző anyagok esetén	T _{Eyring} sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
	szálas (NRC 0,90) m ²	-	-	16,7	9,8	7,8	4,9	4,9	4,9	5,3	4,3	3,5	2,9	2,4	1,8	1,4
	10...15% perforált gk. (NRC 0,50) m ²	-	-	-	18,5	14,8	9,3	9,3	9,3	10,0	8,1	6,7	5,6	4,4	3,3	2,6
szükséges kiegészítés falburkolattal	>18% perforált gk. (NRC 0,70) m ²	-	-	21,8	12,8	10,3	6,4	6,4	6,4	6,9	5,6	4,6	3,8	3,1	2,3	1,8
	szálas (NRC 0,90) m ²	43,2	23,1	8,6	8,6	5,8	5,8	3,5	1,7	-	-	-	-	-	-	-
megjegyzés:																
- a táblázatot csak kiindulási becslésnek javasolt használni																
- kemény felületű bútorokkal és dísz tárgyakkal berendezett (közel diffúz) hangtér feltételezésével																
- a hangelnyelések a leírt szerkezetre jellemző értékek, tényleges értéket gyártói adatszolgáltatásban kell keresni																
- a 0,05 hangelnyelés kezeletlen, visszaverő felületre utal																

4-10. táblázat: Egy 50 m³ térfogatú 3 m belmagasságú irodai helyiség esetében javasolt kiindulási becslés mennyezeti és falburkolati megoldásokra, ha kemény a padlóburkolat.

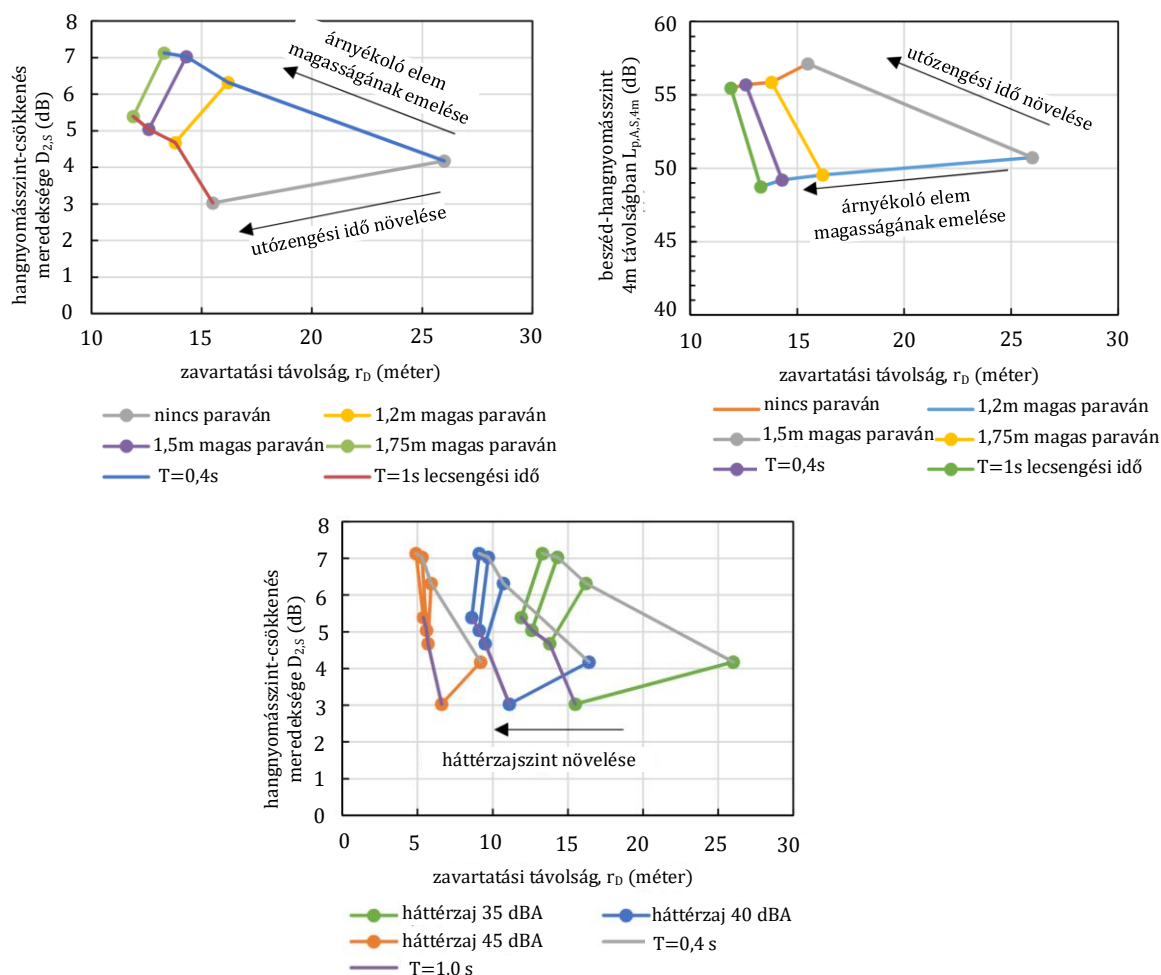
követelmény	T _{max}	sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
minimálisan szükséges hangelnyelés (számított)	A _{Sabine}	m ²	-	40,3	26,8	20,1	16,1	13,4	11,5	10,1	8,9	8,1	7,3	6,7	6,2	5,8	5,4
adottság: PADLÓSZŐNYEG	A _{Eyring}	m ²	-	31,8	22,9	17,9	14,6	12,4	10,7	9,5	8,5	7,7	7,0	6,4	6,0	5,6	5,2
szükség átlagos hangelnyelési tényező	α _{padló}	-	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
	α _{mennyezet}	-	0,90	0,90	0,90	0,75	0,55	0,45	0,30	0,25	0,18	0,13	0,09	0,05	0,04	0,03	0,03
	α _{fal}	-	0,90	0,30	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03
ellenőrzés	A _{számított}	m ²	62,4	33,0	23,2	18,3	14,9	13,3	10,8	9,9	8,8	7,9	7,3	6,6	5,6	5,3	5,0
	T _{Sabine}	sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
	T _{Eyring}	sec	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4	1,5	1,6
szükséges mennyiség mennyezeten különböző anyagok esetén	szálas (NRC 0,90)	m ²	-	16,7	13,7	9,8	7,8	4,9	3,9	2,5	1,6	0,8	-	-	-	-	-
	10...15% perforált gk. (NRC 0,50)	m ²	-	-	-	25,9	18,5	14,8	9,3	7,4	4,8	3,0	1,5	-	-	-	-
	>18% perforált gk. (NRC 0,70)	m ²	-	-	21,8	17,9	12,8	10,3	6,4	5,1	3,3	2,1	1,0	-	-	-	-
szükséges kiegészítés falburkolattal	szálas (NRC 0,90)	m ²	49,0	14,4	2,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
megjegyzés:																	
- a táblázatot csak kiindulási becslésnek javasolt használni																	
- kemény felületű bútorokkal és dísz tárgyakkal berendezett (közel diffúz) hangtér feltételezésével																	
- a hangelnyelések a fejt szerkezetre jellemző értékek, tényleges értéket gyártói adatszolgáltatásban kell keresni																	
- a 0,05 hangelnyelés kezeletlen, visszaverő felületre utal																	

4-11. táblázat: Egy 50 m³ térfogatú 3 m belmagasságú irodai helyiség esetében javasolt kiindulási becslés mennyezeti és falburkolati megoldásokra, ha a padlóburkolat padlószőnyeg.

4.2.4. Példa: egylégterű iroda

Az egylégterű irodán belül dolgozók kevésbé zavarják egymást, ha a hangforrástól távolodva gyorsabban csökken a hangnyomásszint. Ezt a tendenciát fejezi ki a hangforrástól 4 m távolságban számolt beszéd-hangnyomásszint ($L_{p,A,S,4m}$, a kisebb érték jobb) és a hangnyomásszint távolságfüggésének meredeksége ($D_{2,s}$, a nagyobb érték jobb).

A 4-22. ábra egylégterű irodában alkalmazott beavatkozások (hangelnyelés, akadály, alapzaj) hatását és összefüggéseit szemlélteti számítógépes modellezéssel számolt MSZ EN ISO 3382-3 [ISO3382-3] szerinti paraméterekkel.



4-22. ábra: Az egylégterű irodában alkalmazott hangelnyelés, akadály és háttérzajszint összefüggéseinek szemléltetése az MSZ EN ISO 3382-3 szerint ajánlott paraméterekben¹⁶.

¹⁶ J. H. Rindel, "Open plan office acoustics - a multidimensional optimization problem", DAGA 2018, 19-22 March 2018, Munich, Germany

A számítási eredmények alapján az akadályok bevezetése vagy a háttérzajszint emelése az utózengetési idő csökkentésével egyenértékű vagy jobb hatásfokkal segíti, hogy az egylégterű irodában a dolgozók kevésbé zavarják egymást. A hangelnyelés túlzó fokozása helyett ezért a berendezési tárgyakkal vagy a zajszint emelésével érdemesebb beavatkozni.

4.3. Zajcsökkentés

Ha a feladat egy zajforrás által okozott zajszint csökkentése a helyiségen belül és erre a teremakusztikai beavatkozás hatását kell vizsgálni, a zajforrás hangteljesítményéből kell kiindulni.

A zajszintet a hangteljesítmény és a hangnyomásszint összefüggése alapján lehet becsülni, figyelembe véve a zajforrás darabszámát, távolságát és irányítottságát, ha az rendelkezésre áll.

Alapvetően két különböző helyzetet kell megkülönböztetni:

- a) a zajforrás(ok) pozíciója és helyzete nem ismert VAGY a vizsgálati pont(ok) pozíciója és helyzete nem ismert
- b) a zajforrás(ok) ÉS a vizsgálati pont(ok) helyzete és pozíciója is ismert.

4.3.1. Ha nem ismert a zajforrás, vagy vizsgálati pont helyzete, vagy pozíciója

Ilyen esetben a diffúz hangtérben elosztott összes hangteljesítmény együttesét tudjuk becsülni. A becsléshez az MSZ EN ISO 3741 (hangteljesítmény mérése diffúz hangtérben) szabvány összefüggései alapján a térben átlagolt hangnyomásszint (L_p) és a térben működő hangforrások összes hangteljesítménye (L_w) közötti egyszerűsített összefüggés:

$$L_w = L_p + 10 \cdot \log_{10} \frac{A}{A_0} + 4,34 \frac{A}{S} + 10 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{S \cdot c}{8 \cdot V \cdot f} \right) - 10 \cdot \log_{10} \frac{B}{B_0} - 6,2 \text{dB} \quad (4-2)$$

ahol A a helyiségben meglévő hangelnyelés (m^2), A_0 a referencia hangelnyelés ($A_0 = 1 \text{ m}^2$), S a helyiség határolásainak felülete, c a hangterjedési sebesség (szobahőmérsékleten $c = 343 \text{ m/s}$), V a helyiség térfogata, f a vizsgált frekvencia, B a légköri nyomás, B_0 a referencia légköri nyomás ($B_0 = 1000 \text{ mBar}$). Az utolsó előtti tag értéke általában $< 0,1 \text{ dB}$, ezért normál légköri nyomásviszonyok mellett elhagyható.

Mivel azt vizsgáljuk, hogy adott hangteljesítmény milyen mértékben csillapítható hangelnyelő burkolatokkal, az egyenletet átrendezve és tovább egyszerűsítve:

$$L_p = L_W - 10 \cdot \log_{10} \left(1 + \frac{S \cdot c}{8 \cdot V \cdot f} \right) + 6,2 \text{ dB} - 4,34 \frac{A}{S} - 10 \cdot \log_{10} A \quad (4-3)$$

Ha $f \gg cS/(8V)$, akkor az összefüggés tovább egyszerűsíthető.

$$L_p = L_W + 6,2 \text{ dB} - 4,34 \frac{A}{S} - 10 \cdot \log_{10} A \quad (4-4)$$

Az alapterület függvényében $h = 3$ m belmagasságot feltételezve az L_W hangteljesítményszinthez képest várható hangnyomásszint átlagát különböző frekvenciákon a 4-23. ábra mutatja. Az ábrán látható számításoknál figyelembe vettük az alábbiakat:

- a levegő hangelnyelése (20°C és $50\ldots70\%$ páratartalom esetén 1 kHz fölött jelentős);
- a számítás a Schroeder-frekvencia (ld. MMK 37, (3-22) egyenlet) alatt bizonytalan, a Schröder-frekvencia 45% -a (szürkével jelölt terület) alatt pedig érvénytelen;
- a $0,02$ -nél kisebb és a $0,95$ -nél nagyobb átlagos hangelnyelés nem hétköznapi szituáció (valószínűtlen).

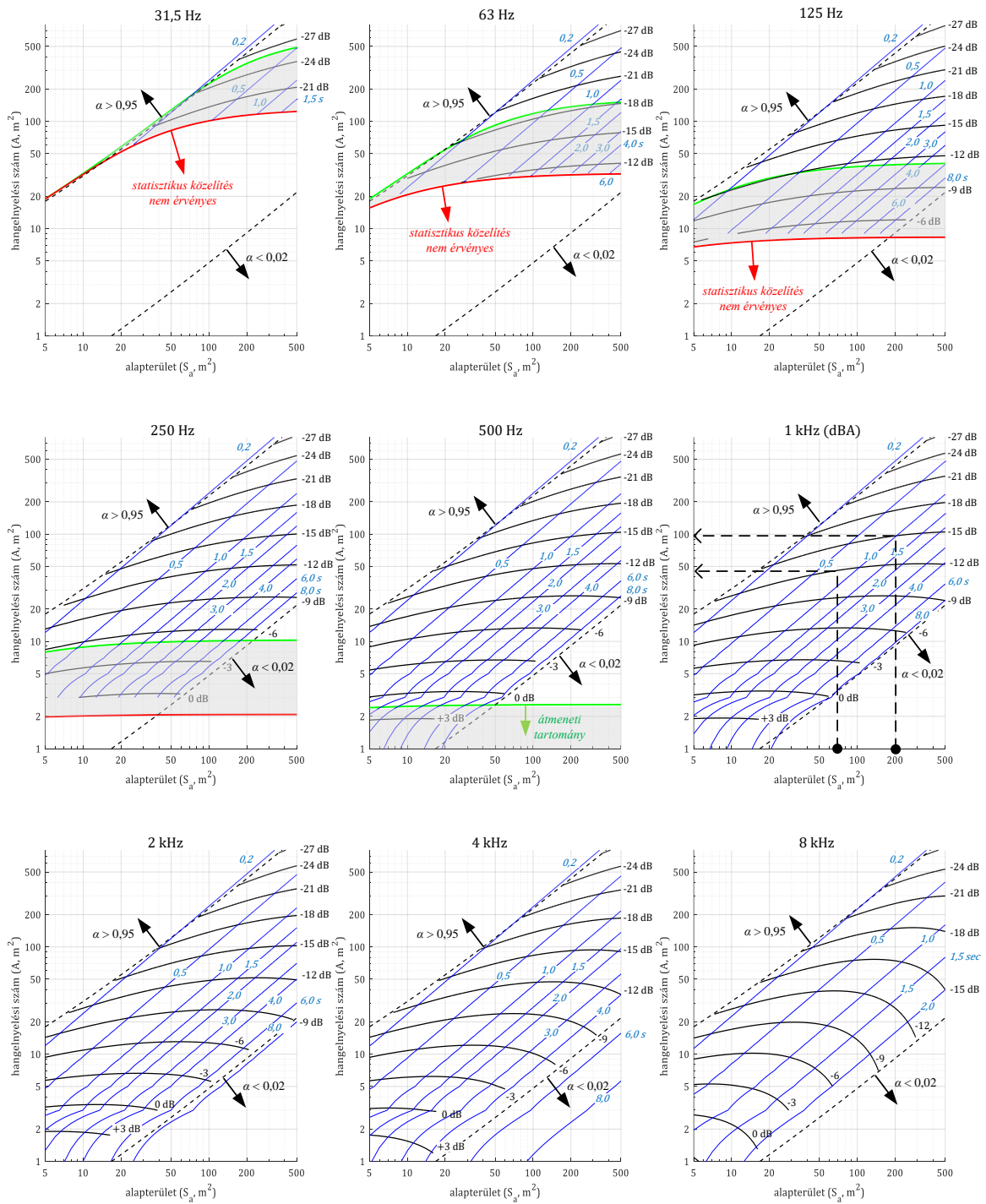
Az ábrákon tájékoztatásul a statisztikus számolt utózengési időket is feltüntettük (kék).

Ha például a zajteljesítmény $L_{w,A} = 100$ dB, első közelítésként az 1 kHz-re megadott ábra szerint 200 m² alapterületű 3 m magas helyiségben 90 m² hangelnyelés esetén kb. 85 dBA átlagos hangnyomásszint és 1 s utózengési idő várható.

Ha például 35 dBA térben átlagolt zajszintet várunk el egy 70 m² alapterületű tanteremben, az 1 kHz-re megadott ábra szerint kb. 40 m² hangelnyeléssel kb. $0,7$ s-ra csillapított állapotban összesen 35 dBA + 12 dB = 47 dBA zajteljesítményű projektor és beltéri klímaegység építhető be.

Az ábrán a $31,5$ Hz és 63 Hz frekvenciasávokat tájékoztatásként szerepeltetjük, hogy felhívjuk a figyelmet a gépészeti zajforrások esetén előforduló kockázatokra, a statisztikus számítási módszerek korlátaira.

Az ábra arra is felhívja a figyelmet, hogy csillapítatlan esetben még a beszédhang szempontjából fontos 125 Hz, 250 Hz és 500 Hz sávokban is bizonytalanságot okozhatnak a különálló rezonanciák.



4-23. ábra: Az átlagos várható hangnyomásszint a hangteljesítmény-szinthez képest az alapterület és a hangnyelvési mennyisége függvényében (statistikus számítás, 20°C 50...70% levegő hangnyelvéssel, 3 m belmagasság, tájékoztató utözengési idők)

4.3.2. Ha ismert a zajforrás és a vizsgálati pont helyzete is

Ilyen esetekben a zajforrás irányítottságát és a zajforrás távolságát is figyelembe kell venni és az elméleti összefoglaló 3.2. részében leírt közelítések alkalmazhatók.

Ha a hangforrás a mennyezeten található (gépészet beltéri egység, $Q=2$ irányítottság) és legrosszabb esetként az alatta álló pozícióban vizsgáljuk a zajszintet, akkor különböző mennyezeti magasságok esetén a hangnyomásszint a 4-24. ábra alapján becsülhető a hangteljesítmény-szintből a zajforrásra eső alapterület és a mennyezet és padlóburkolat hangelnyelési tényezőjének összege függvényében.

Például ha kb. minden 50 m^2 alapterületre (kb. $7\times 7\text{ m}$ raszter) jut egy darab $L_{w,A} = 55\text{ dB}$ zajteljesítményű beltéri egység és 3 m a belmagasság, akkor padlószőnyeg esetén $NRC_{\text{padló}} \approx 0,15$, látszóbeton mennyezet esetén $NRC_{\text{mennyezet}} \approx 0,05$, azaz a beltéri egység alatt kb. $55\text{ dB}-3\text{ dB} = 52\text{ dB}$ zajszint várható. Ha ugyanitt a mennyezeten a hangelnyelést üvegyapot alapú $NRC_{\text{mennyezet}} \approx 0,90$ álmennyezeti elemekkel javítjuk, akkor $55\text{ dB}-8\text{ dB} = 47\text{ dB}$ zajszint várható, tehát a javulás 5 dB .

A fenti adatokból kiindulva 5 m belmagasságú tér esetén beton mennyezettel $55\text{ dB}-4\text{ dB} = 51\text{ dB}$ zajszint, hangelnyelő álmennyezettel pedig $55\text{ dB}-11\text{ dB} = 44\text{ dB}$ várható, tehát a javulás a beavatkozás hatására kb. 7 dB .

4.3.3. Ha a követelmény a minimális közepes hangelnyelési számra vonatkozik

Az [MSZ 2080] szabvány jellemzően közlekedő terek esetében az $(A_m/V)_{\min}$ mértékre ad követelményt azzal a céllal, hogy összetett geometria esetén se az utózengési idő számításával, se az utózengési idő mérésével ne kelljen bajlódni, mivel a követelmény célja alapvetően a használati zajok csökkentése.

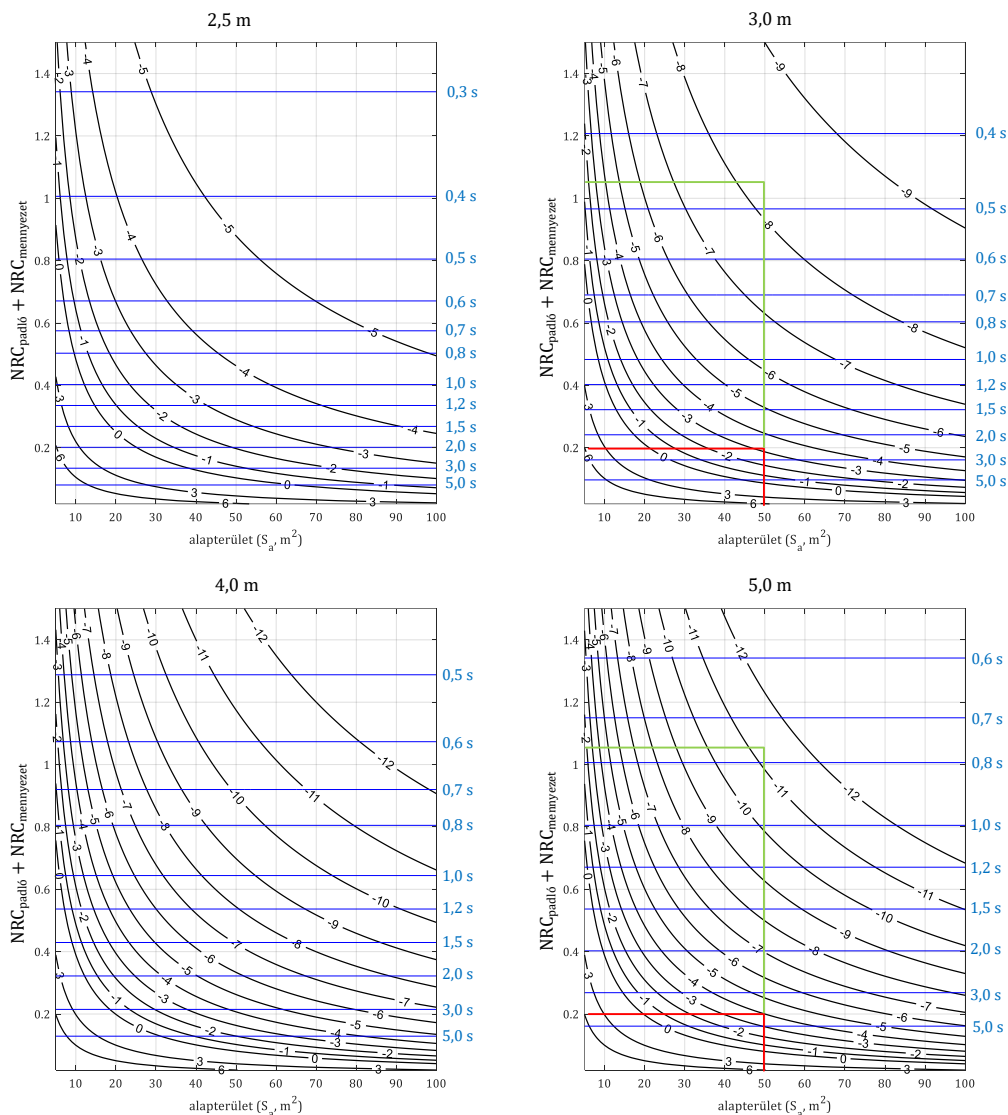
A 4-25. ábra egy iskolai aula mennyezeti felületeinek geometriáját szemlélteti. A belmagasságok alapján számolt térfogat 8265 m^3 , a követelmény pedig $(A_m/V)_{\min} \geq 0,20$, mivel a belmagasság $3,0\text{ m}$.

$$\frac{A_m}{V} \geq 0,2 \left\{ \frac{1}{m} \right\} \xrightarrow{\text{átrendezéssel}} A_m \geq 0,2 \cdot V = 1653\text{ m}^2 \quad (4-5a)$$

Mivel az anyagi jellemzőknél a közepes hangelnyelési tényező („noise reduction coefficient”) gyakran könnyen kiolvasható az adatlapokból és $A_m \approx S \cdot NRC$ (ld. 3. fejezet), a követelmény

$$NRC > \frac{0,20 \cdot V}{S} \quad (4-5b)$$

azaz esetünkben az álmennyezetre vonatkozóan $NRC > 0,87$.



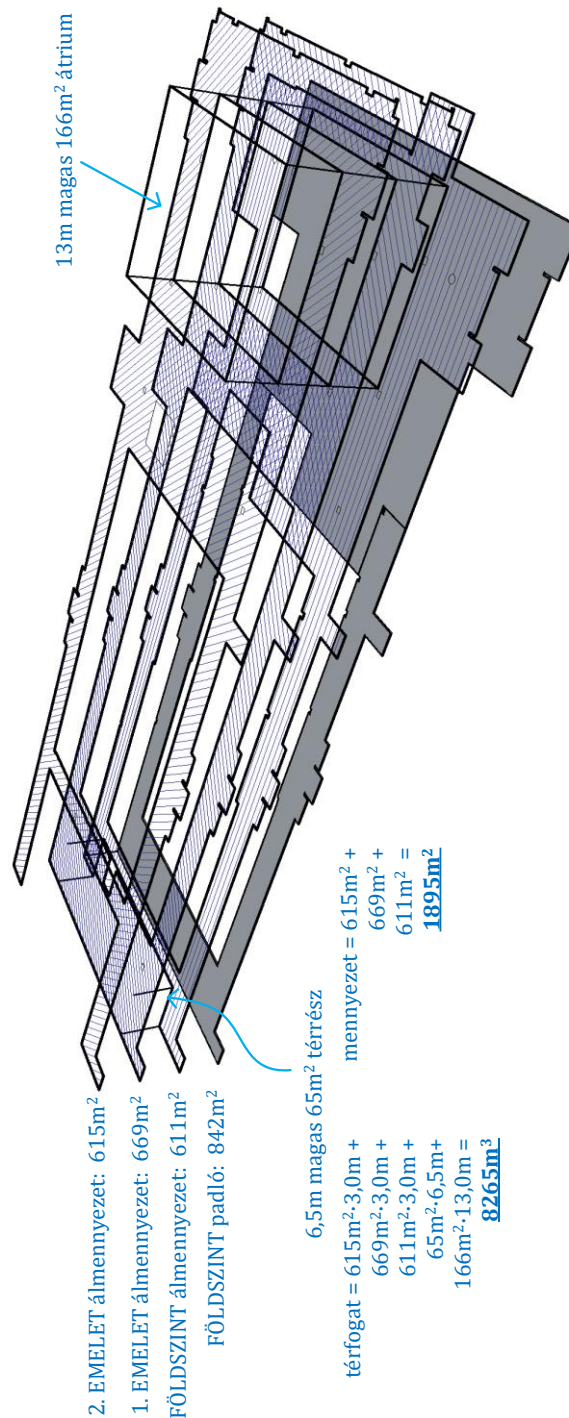
4-24. ábra: A térben átlagolt hangnyomásszint-emelkedés várható mértéke a térfogat és utózengési idő függvényében, statisztikus összefüggések alapján.

Ha figyelembe vesszük az NRC értékek kerekítését, akkor NRC 0,90 vagy jobb minőségű álmennyezettel teljesíthető a követelmény. Ez a gyakorlatban szigorú követelmény, mivel azt jelenti, hogy a kiválasztandó anyag a beeső hangenergia kb. 90% részét képes elnyelni.

Ha figyelembe vesszük, hogy a mennyezet kb. 5...10% felületét gépészeti vagy elektromos szerelvény kitakarhatja, akkor csak az álmennyezet felületével számolva $NRC = 1,00$ burkolattal lehetne biztonsággal teljesíteni a követelményt. Mivel a gyakorlatban $NRC > 0,80$ minőségű burkolatok köre is már viszonylag szűk, a követelmény biztonságos teljesítéséhez további mennyezeti vagy falfelületek bevonása szükségesek.

Például az 1895 m^2 mennyezet NRC = 0,80 minőségű kb. $A_{m1} = 1516 \text{ m}^2$ egyenértékű hangelnyelése mellé $1653 \text{ m}^2 - 1516 \text{ m}^2 = 137 \text{ m}^2$ hangelnyelés szükséges, amit NRC = 0,80 minőségű burkolatból $137 \text{ m}^2 / 0,80 = 171 \text{ m}^2$ felületen lehet biztosítani (falburkolatok, 13 m magas átrium mennyezete stb.).

A példából látható, hogy a szabványos követelmény nagyon szigorú.



5-24. ábra: Egy iskolai aula/zsibongó geometriai adatainak összesítése a követelmény megállapításához.

5. Jellemző hibák méretezésnél, kivitelezésnél

Ebben a fejezetben a szerzők tapasztalatai szerint a méretezésben, kivitelezésben és a szakmai szóhasználatban gyakran előforduló problémákat és hibákat foglaltuk össze.

5.1. Tervezéssel kapcsolatos gyakori hibák

Kicsi a szerkezeti belmagasság. Ha túl kicsi a szerkezeti belmagasság, a teremakusztikai csillapítás szempontjából leghatékonyabban és legpraktikusabban használható álmennyezeti megoldások nem építhetők be. Javasolt legalább 10 cm álmennyezeti öszvastagsággal számolni, mert ebben már a hangelnyelésen kívül az elektromos szerelések és az elektromos szerelvények is elhelyezhetők.

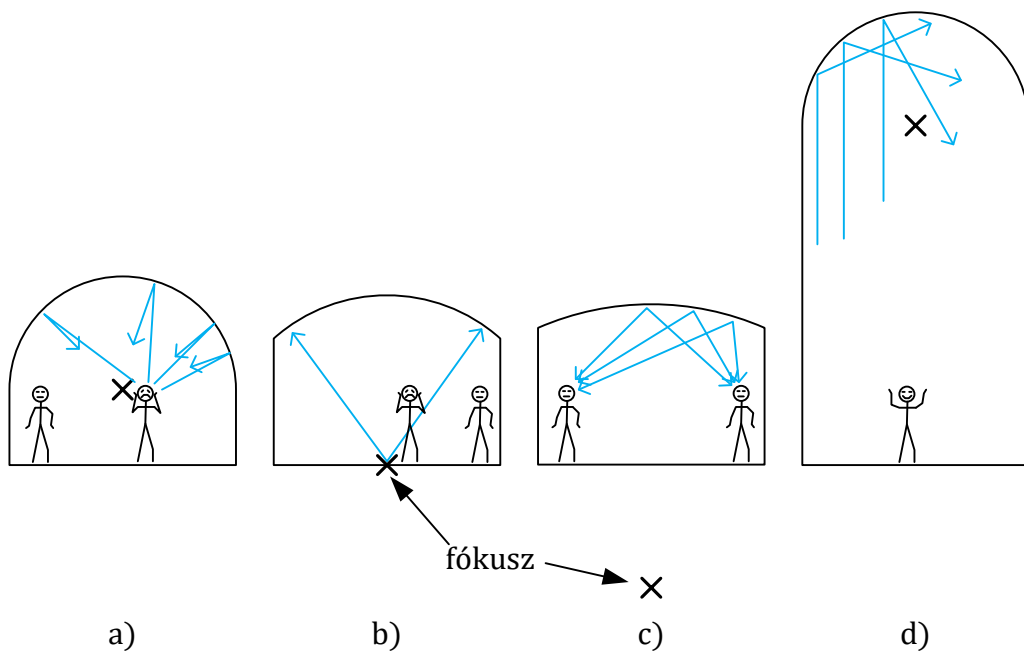
Az [OTÉK] fogalommeghatározása (1. melléklet) szerint a belmagasság „a padló és a mennyezet közötti függőleges távolság”, míg az átlagos belmagasság „hasznos alapterülethez tartozó térfogat és hasznos alapterület hányadosa”, de a „mennyezet” és „térfogat” fogalmak meghatározása hiányzik. Ezek alapján a nem zárt mennyezeti megoldások, de különösen a lamellás hangelnyelő elemek alkalmazása esetén a belmagasság megállapítása nem egyértelmű. Konkrét szituációban ezért a biztonság érdekében javasolt a függesztett mennyezeti elemek alsó pontját figyelembe venni a belmagasság és fődémsíkok meghatározásakor. Ha a függesztett mennyezeti burkolatok e feltételek miatt nem alkalmazhatók, meglévő építmények esetén az OTÉK 108.§ (2) pontjára való hivatkozással javasolt az eltérés lehetőségét vizsgálni. Új építmény esetén teremakusztikai előírás hiányában, ha az építészeti terv a minimális fődémmagasságot rögzíti, csak az oldalfalakon és a padlófelületen van lehetőség teremakusztikai hangolásra.

Gépészet vagy más berendezések által kitakart hangelnyelő felületekkel számol a méretezés. Gyakran előfordul, hogy a gépészeti berendezések és légcsatornák a fal vagy a mennyezet nagy részét kitakarják. Ilyen esetben a kitakart felületek nem vehetők figyelembe hangelnyelés szempontjából. Segít ugyanakkor, hogy a gépészeti berendezések és szerelvények a zengő térfogatot lecsökkentik és ha a légcsatornák hőszigetelése szálas anyag vagy nyitott cellás szivacs, azok is figyelembe vehetők hangelnyelő felületként.

Szabályosan ismétlődő geometriájú felületek. A geometriailag szabályosan ismétlődő felületek (pl. nagy felületen ismétlődő domborzat, rácsozat, lamellák stb.) időben szabályosan ismétlődő visszaverődés-sorozatokat okoznak. A szabályosan ismétlődő visszaverődés-sorozatokat a hallás hangmagasságként érzékeli, ami zavaróan hat. Nagy felületeken ezért kerülni kell az ismétlődő geometriákat.

Konkáv (homorú) íves alaprajzi vagy metszeti geometriák. Ahol a metszet vagy az alaprajz konkáv geometriai ívet mutat, bizonyosan létezik olyan térrész, ahol a konkáv íves geometria szerkesztéssel meghatározható fókuszában a hangzás karakteresen és zavaróan eltér a többi területtől (pl. sokkal hangosabb). Egyszerű íveknél (pl. körív, parabola, ellipszis) a fókuszálás könnyen szerkeszthető, de összetett íveknél is rendszerint előfordul. Konkáv ív csak akkor nem okoz problémát, ha a fókuszpontok a hallgatási területtől és visszaverő felülettől távol esnek:

- ha a fókusz a hallgatási területre esik, a fókuszálás hatása jól hallható.
- ha a fókusz visszaverő felület közelébe esik, csörgő visszhang keletkezik
- ha a fókusz a helyiségen kívül esik, a konkáv felület fókuszáló hatása a diffúz hangtér kialakulását lassítja, ezért a falak teremakusztikai jelentősége aránytalanul lecsökken, azaz nem lehet csak fal burkolatokkal az utózengési időt méretezni;
- ha a fókusz a helyiségen belülre, de hallgatási területen kívülre esik, a konkáv felület inkább a diffúz hangtér kialakítását fokozhatja a falak jelentőségének növelésével.



Nagy felületű sík párhuzamos felületek hallgatási helyek vagy hangforrás körül. A párhuzamos egymással szemközti csupasz sík felületek egymással különálló és hosszú lecsengési idejű térrészt alkotnak, kis térfogatok esetén ez csörgő hangzáshoz vezet. Sok esetben elég csak kis aszimmetria (eltérő burkolatok, enyhe eltérés a párhuzamosságtól) ahhoz, hogy ez ne alakuljon ki.

Eltérően hangolt terek csatolása. Ha két összenyitott helyiségrész eltérően van hangolva (csillapítva), a kevésbé csillapított tér hosszabb lecsengése a csillapítottabb területet zavarhatja. Ezért nincs értelme csatolt tereket egymástól függetlenül csillapítani. Ilyen például a csillapítatlan előtér egy csillapított előadóterem bejáratánál vagy akár a színházakban a csillapított nézőtér és a csillapítatlan színpadtér viszonya. Mindkét esetben a hosszabb utózungéssel rendelkező térrész befolyásolja, általában zavarja a csillapítottabb térrész hangzását.

Szálás anyagok esetén a testsűrűség előírása. A szálás anyagokat akusztikai szempontból nem a testsűrűség, hanem az áramlási ellenállás (állandó légáram mellett kialakuló nyomásesés) minősíti. A fajlagos áramlási ellenállás az egységnyi vastagságú minta minimális áramlási ellenállása $r=R/d=\Delta p/(v \cdot d)$, mértékegysége $\text{kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, jellemző tartománya $5 \dots 30 \text{ kPa} \cdot \text{s}/\text{m}^2$, a kisebb érték lazább anyagot jelent. Ha a hangelnyelés fontos, elsősorban a hangelnyelésre utaló minősítéseket kell keresni, másodsorban pedig az áramlási ellenállást.

Elzárt dobozok és üregek csillapítás nélkül. A csillapítatlan üregű (hangelnyelő anyag, pl. üvegyapot vagy ásványgyapot betét nélküli) membránok (pl. szárazvakolat, üregcsillapítás nélküli gipszkarton dobozolás vagy előtét-héj) esetén előfordulhat, hogy a szerkezeti rezgéseket felerősítve sugározzák le, ezért az ilyen szerkezetek akusztikai szempontból kerülendőek. Ha ezek az üregek jellemző résekkel vagy lyukakkal készülnek, előfordulhat zavaró rezonáns hangelnyelés is, ami szintén kedvezőtlen. Az eldobozolásokat ezért minden esetben javasolt hangelnyelő betéttel előírni.

Rezonancia-hatások figyelmen kívül hagyása. Tervezési hibának számít, ha a számítás kis térfogat esetén kis frekvencián is csak statisztikus közelítéssel számol. A segédlet nem tárgyalja a különálló rezonanciák számításának és kezelésének módját.

A hangelnyelő burkolat méretezése nem veszi figyelembe a frekvenciafüggést. Jellemző probléma, ha a 250 Hz vagy az alatti frekvenciasávokban várható teremakusztikai viszonyokat nem ellenőrzi számítás és aránytalanul hosszú lecsengés alakul ki kisebb helyiségek, vékonyabb vagy rosszul megválasztott hangelnyelő szerkezetek esetén. Zajcsökkentés esetén fontos, hogy a hangelnyelés frekvenciafüggése vegye figyelembe a csillapítani kívánt zajhatás frekvenciafüggését.

Extrém nagy térfogatok esetén utózungési időre méretezés erőltetése. Nagyobb térfogatok esetén a visszaverődések között nagyobb utat tesznek meg a hanghullámok, ezért lassabban alakul ki az összemosódó, diffúznak mondott utózungés. Ha hangelnyelő burkolatokkal csillapítunk extrém nagy tereket, könnyen előállhat, hogy az adott utózungési időhöz számított hangelnyelő felületek miatt ki sem alakulhat a diffúz hangtér, így végül utózungésről sem lehet beszélni. Ilyen helyzetben a

számítógépes modellezés és a helyszíni mérés sem egyenletes lecsengést mutat, a lecsengés meredeksége tág tartományok között ingadozik. A hiba ilyen esetben elsősorban azt jelenti, ha az ellenőrzés és a számítások akkor is az utózungési időt célozzák, ha az a fentiek miatt nem értelmezhető.

5.2. Fogalmak használatával kapcsolatos gyakori hibák

A visszhang, lecsengés, utózungés kifejezések keverése. A visszhang egyetlen visszaverődést vagy visszaverődés-sorozatot jelent. Az utózungés olyan lecsengés, ami diffúz (összemosódó).

Az „akusztikus burkolat” kifejezés használata. Az építészeti akusztikai céllal alkalmazott burkolatok általában hangelnyelő burkolatok, de előfordul hangszigetelési céllal épített burkolat is. Olyan, hogy „akusztikus” burkolat, nem létezik, használata zavaró.

A hanggátlás, hangszigetelés kifejezések keverése. A „hanggátlás” a léghanggátlásra utal, szerkezetre jellemző. A hangszigetelés léghanggátló és/vagy lépéshanggátló szerkezetek együttesének hangszigetelő képességére utal, amiben a beépített szerkezetek, a helyiség közötti közös felület mérete (ha van) és a vevő helyiség teremakusztikai viszonyai is számítanak.

A „hangszigetelő anyag” szóhasználat. Hangszigetelő szerkezet létezik, hangszigetelő anyag nem létezik. Helyesen hangszigetelést javító anyagok léteznek, ezek egy része tömítésre, más része szerkezeti csillapításra vagy üregek csillapítására alkalmas anyagok. A keveredés oka lehet az is, hogy gyakran a hangelnyelő anyagok (üvegyapot, ásványgyapot, fagyapot, kendergyapot, szivacsok stb.) hőszigetelő tulajdonságúak is.

A „hanglány” anyag szóhasználat. Feltehetően hangelnyelő anyagra vagy felületre utal, de hibás, mert a keménységhez a hangelnyelésnek nincs köze.

5.3. Kivitelezéssel kapcsolatos hibák

Hangelnyelő felületek utólagos színezése. A hangelnyelő felületek jellemzően utólagosan nem színezhetők, mert a hagyományos helyszíni felületképzések elzárják a hangelnyeléshez szükséges pórusokat és nyílásokat. Léteznek olyan bevonatok, szórás vagy festési technikák, amik a helyszíni javítást, felületképzést lehetővé teszik, de ezekről mindig az adott gyártmánnyal kapcsolatban kell meggyőződni és csak a gyártó által jóváhagyott, az akusztikai teljesítőképesség szempontjából elfogadott technológiát szabad használni.

A tervezett hangelnyelési felület kitakarása nem hangáteresztő szerkezettel vagy anyaggal.

Üregcsillapítás (üveggyapot vagy ásványgyapot hangelnyelő anyagok) elhagyása olyan szerkezetekből, amik csak üregcsillapítással vannak minősítve vagy tervezve.

Méretezés ellenőrzése berendezetlen, üres állapotban. Gyakran a megfelelőséget vagy a méretezés helyességét nem tervezett állapotban ellenőrzik mérésekkel. Ez a gyakorlat azért hibás, mert egyrészt jellemzően berendezett állapotra vonatkoznak a méretezések, másrészt mert nem berendezett állapotban általában a sík határoló felületek miatt nehezebben alakul ki a diffúz hangtér, ami a méretezés alapfeltevése általában. Ilyen esetben végzett mérések eredményeit fenntartásokkal kell kezelni, a mérési eredmények igazolásra nem alkalmasak.

Az [MSZ 2080] a követelményeket berendezett, de bent tartózkodók nélküli állapotra határozza meg, ezért az ellenőrzést is erre az állapotra kell elvégezni. Ha nincs más mód (pl. mintaszoba kialakítása bútorok ideiglenes elhelyezésével), a bútorok elhelyezésétől várható diffuzitást bútorok vagy más diffuzitást növelő kemény (nem hangelnyelő) felületek elhelyezésével kell biztosítani.

6. Irodalomjegyzék

- [1] OTÉK, 253/1997. (XII. 20.) Korm. rendelet az országos településrendezési és építési követelményekről
- [2] 19/2002. (V.8.) OM rendelet a közoktatási intézmények elhelyezésének és kialakításának építészeti műszaki követelményeiről
- [3] Egészségügyi Minisztérium, „A kórház, mint műszaki létesítmény” Építészeti és műszaki követelmények a Nemzeti Fejlesztési Terv keretein belül megvalósuló egészségügyi fejlesztések vonatkozásában, 2008.
- [4] MSZ 24203-2: Oktatási intézmények tervezési előírásai. 2. rész: Általános iskolák
- [5] Építésügyi műszaki irányelv. Akusztika. Helyiségek akusztikai komfortja. Követelmények 5/2019.(IX.16.) ÉPMI, az LAM megítélési szint értelmezése az MSZ 18150-1 4.6. szakasza szerint.
- [6] CLASSROOM ACOUSTICS A New Zealand Perspective, 2002, The Oticon Foundation in New Zealand, ISBN 0-473-08481-3
- [7] H Peperkamp, M. Vercammen, “Thermally activated concrete slabs and suspended ceilings”, NAG/DAGA 2009, pp1342-1344
- [8] O. B. Kazanci, B. W. Olesen, “Effect of acoustic ceiling units on the cooling performance of thermally activated building systems (TABS)”, Conference: 2017 ASHRAE Winter ConferenceAt: Las Vegas, NV, USA
- [9] International Well Building Institute (www.wellcertified.com)
- [10] Leadership in Energy and Environmental Design (www.usgbc.org)
- [11] Sara Delle Macchie, Simone Secchi *, Gianfranco Cellai, „Acoustic Issues in Open Plan Offices: A Typological Analysis”, Buildings 2018, 8, 161; doi:10.3390
- [12] J. H. Rindel, “Open plan office acoustics - a multidimensional optimization problem”, DAGA 2018, 19-22 March 2018, Munich, Germany
- [13] J. Harvie-Clark, D. W. (2014). *Reverberation time, strength & clarity in school halls: Measurements and modelling*. Proceedings of the Institute of Acoustics Vol. 36. Pt. 3.
- [14] J. Whitlock, G. D. (dátum nélkül). *“Speech intelligibility in classrooms: specific acoustical needs for primary school children”*. Build. Acoust. 15, 35–47.
- [15] J. Zander, F. S. (2013). *Influence of the Amount and Distribution of Absorbers on the Room Acoustic Properties of School Sports Halls*. DAGA, Merano.
- [16] MSZT. (2020). *MSZ 2080:2020 Akusztika. Teremakusztikai követelmények és tervezési ajánlások*.

A sorozat keretében eddig megjelent kiadványok

2017.

1. NÉMETH András, MILÁVE CZ Richárd Iparban használatos vízminőségek
2. DR. SZILÁGYI Zsombor, DR. SZUNYOG István Mérések a gáziparban
3. DR. BARNA Lajos, EÖRDÖGHNÉ DR. MIKLÓS Mária, DR. SZÁNTHÓ Zoltán, DR. BALLA József A biztonságos ívóvízellátás megteremtésének tervezési eszközei
4. BORBÁS Lajos Dr. Felépítés elvű (additív) gyártástechnológiák a gépészetben
5. BERENC SI Miklós, BERE CZKY Ákos, HORVÁTH László, KOVÁCS Gergely, MIHÁLFFY Krisztina Kerékpárosbarát közlekedéstervezés
6. TŰDŐS Tibor, DR. VARJÚ György, DR. PETRI Kornél, GÁBOR András A csillagpontkezelés legújabb külföldi és hazai eredményei (Útmutató és tervezési segédlet)
7. DR. GARBAI László, DR. JASPER Andor, VÁRADI András Fűtési és használati melegvíz-igények kockázati elvű méretezése példakkal
8. KÁDI Ottó, DOHÁNY Máté, JÓZSA Bálint, LÁSZLÓ Csaba Tibor, JAKKEL Ottó A közúti vasutak (villamos) tervezésével kapcsolatos kézikönyv

2018.

9. BLAZSOVSZKY László A gázfogyasztó készülékek égéstermék elvezetésével kapcsolatos szabályozások hiányosságai és ellentmondásai
10. CSORDÁS Szilveszter, FORGÁCS Lajos Dr., PÓLYA Endre ifj., RÉV Zoltán, UDVARDY Péter Orvostechnológiai továbbképzés ismeretanyaga
11. NÁDASDY Tamás, EGYHÁZY Zita, KOVÁCS Ákos Sándor, SZECSŐ Dániel Géza A közúti biztonsági audit (KBA) jelentések elkészítésének alkalmazási segédlete – A közúti infrastruktúra közlekedésbiztonsági kezeléséről szóló jogszabályhoz és útügyi műszaki előíráshoz kapcsolódó értelmezési, kidolgozási és elfogadtatási javaslatrendszer
12. DR. SZILÁGYI Zsombor, HORÁNSZKY Beáta Földgáz kereskedelem (mérnöki segédlet)
13. DR. SZILÁGYI Zsombor Az energiahordozók jövője – kőolaj, földgáz, megújulók
14. S. VÍGH Judit, DOHÁNY Máté Magános közlekedők baleseti súlyosságának csökkentése mobil applikáció segítségével
15. DR. BALIKÓ Sándor, DR. CSŰRÖK Tibor, NOVÁK Dániel, ORBÁN Tibor, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok I. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
16. DARABOS Zoltán, KOLTAI Henrik, SZABÓ Tamás, SZÁSZ Béla, VAJDA Sándor Felvonók felújítása és átalakítása – Műszaki segédlet
17. TŰDŐS Tibor, KRUPPA Attila Alapozásföldelők új tervezési elvei és kivitelezési módszerei – Tervezési segédlet és kivitelezési útmutató
18. FENYVESI Zsolt Tűzvédelmi tervek tartalmi szabályainak átdolgozása

19. GÁBORI László Dr., BEINSCHRÓTH József Dr., NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Nagyméretű informatikai beruházásoknál (fejlesztéseknél) ajánlott szoftveroldali tervdokumentációk tartalmi elemeinek meghatározása (I. – II. kötet)
20. DR. DIVÓS Ferenc Az élő fák stabilitása – mérnöki megközelítés – Élő fák, mint teherhordó faszerkezetek
21. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
22. BARNA Lajos Dr., ERDEI István, JASPER Andor Dr., TAKÁCS Gyula Segédlet épületek csatorna-berendezéseinek tervezéséhez
23. ANTÓK Péter István, FÜZÉR Ferenc, SÁRKÖZI András Fényvezető kábelszakaszok műszaki-minőségi ajánlás gyűjteménye
24. JANCSÓ Béla, DR. KULCSÁR Alexandra, NÉMETH Gábor, DR. VÍMI Zoltán, DÉRI Lajos, SZIMANDEL Dezső Vízijogi engedélyezési eljárással kapcsolatos dokumentációk és engedélyeztetéssel kapcsolatos követelmények a 2018.01.01-én hatályba lépett 41/2017. (XII.29.) BM rendelet alapján
25. DR. TAKÁCS Bence, DR. SIKI Zoltán, DR. ÉGETŐ Csaba, BÉNYI László Mérnökgeodéziában alkalmazott alapponthálózatok – A jó gyakorlat bemutatása mintapéldákkal
26. DR. MÓCZÁR Balázs, LAUFER Imre, TÓTH Gergő, WOLF Ákos Korszerű támszerkezetek tervezése
27. HALÁSZ Györgyné Dr., CSERVENYÁK Gábor, TUCZAI Attila, VIRÁG Zoltán Különböző funkciójú épületek klimatechnikája II.
28. KÁDI Ottó, JÓZSA Bálint Kerékpáros balesetek létesítmények szerinti vizsgálata
29. GARBAI László Dr., JASPER Andor Dr., PELLER József Bendegúz Hőteljesítményátviteli tényező alkalmazása távhőrendszerek optimális szabályozásának modelljében
30. GARBAI László Dr., SÁNTA Róber Dr., JASPER Andor Dr. A kompresszoros hőszivattyúk optimalizálása – Tervezés és üzemeltetés
31. LADÁNYI Gábor Dr. Diagnosztika a karbantartásban
32. MÉSZÁROS János, MOLNÁR Tibor, RITZL András KIÜRÍTÉSI ÉS MENEKÜLÉSI ÚTVONALBA ÉPÍTETT AJTÓK tervezési segédlet (2018)

2019.

33. BLAZSOVSZKY László Földgáz elosztóvezetékek üzemeltetése
34. DR. SZILÁGYI Zsombor A megújuló energiahordozók jövője Magyarországon
35. FORGÁCS Lajos Dr., HAIDEGGER Tamás Dr., PÓLYA Endre ifj. Új fejlesztések, innovatív megoldások az orvostechológia terén
36. VARRÓ Beáta, DR. KIS András Magyarországon előforduló, épületekbe beépített faanyagokat károsító gombák vizsgálata és azonosítása DNS diagnosztikával
37. MANNINGER Marcell, SZEPESHÁZI Attila, SCHEURING Ferenc, MOLNÁR György Munkatér határoló szerkezetek
38. KORSÓS András, RÁDULY Zsolt A közterületi és belterületi térfigyelő kamerarendszerek tervezési irányelvei
39. GERGELY Edit, DR. BEZEGH András Módszertani útmutató az üvegházhatású gázok közvetlen és közvetett kibocsátásának számítására
40. DR. BEZEGH András, BITE Pálné Dr., GERGELY Edit Városi környezetvédelem (Fenntartható és okos városok)

41. GÓDOR Balázs, DR. KÁSA László, SZÉKELY Bence Híddaruk méretezési segédlete (2019.)
42. FÜRJES Andor Tamás, KOTSCHY András, NAGY Attila Balázs, CSOTT Róbert Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban
43. DR. KARÁCSONYI Zsolt Faanyagok tartós szilárdsága
Faanyagok szilárdságának változása az idő függvényében
44. DR. BALIKÓ Sándor, ORBÁN Tibor, VARGA Péter, DR. ZSEBIK Albin Ötletlapok II. – Energiahatékonyság növelő ötletek egyszerű energetikai és gazdasági számításai
45. PRIMUSZ Péter, PhD. Hajlékony útpályaszerkezetek méretezése talajstabilizációk figyelembevételével
46. NÉMETH Balázs, HÁMORI Sándor, KOSTYÁK Attila, VÍGH Gellért Különböző funkciójú épületek klímatechnikája III.
Segédlet ipari épületek lég- és klímatechnikai rendszereinek tervezése
47. JANCSÓ Béla, KAVECZKI Gergely, KÓCZÁN Gábor, LABORCZI Tamás, KNOLMÁR Marcell, RAUM László Csapadékvízgazdálkodás tervezési követelményei
Hogyan tervezzünk városi csapadékelvezető rendszereket
48. DOHÁNY Máté, SCHVANNER Norbert Kerékpárosok sebességének felülvizsgálata jelzőlámpás csomópontokban
49. JÓZSA Bálint, S. VÍGH Judit Sebességcsökkentés hatásainak vizsgálata gyorsforgalmi utakon
50. DR. ZSEBIK Albin, NOVÁK Dániel Projektlapok I. – Energiahatékonyság növelő javaslatok projektlapjai
51. DR. MÓGA István Beruházási projektek szabályozási és szabvány környezete, Tervezési követelmények meghatározása
52. DR. GÁBORI László, DR. BEINSCHRÓTH József, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Informatikai Tervező szakmai minősítő rendszere (Informatikai szakmai terület illesztése a Mérnök Kamarai működési rendbe és rendszerekbe)
I. kötet: Konceptió és modell
II. kötet: Modell illesztése
III. kötet: Tudástár
53. VIRÁG Zoltán, GYURKOVICS Zoltán, SZAKÁL Szilárd, VIRÁG Zsolt, ORCSI Attila Országos Tűzvédelmi Szabályzat épületgépész értelmezése a szakmai gyakorlatban
Segédlet a gyakorló épületgépész mérnökök számára I.

2020.

54. DR. KISS Jenő, CSERMELY Gábor JAVASLAT az egyszerű bejelentésű lakóépület megvalósításának – tervezés építés – módszerére
55. DR. SZILÁGYI Zsombor A hidrogén a környezetbarát energiahordozó, Hidrogén az energetikában
56. VARGA Tamás, DR. SZEDENIK Norbert, DR. KOVÁCS Károly, KRUPPA Attila, KULCSÁR Lajos, KAPITOR György, TURI Ádám A nem norma szerinti villámvédelem egységes műszaki követelményrendszerének kialakítása és javaslat a teljes villámvédelmi szabályrendszer jövőbeli egységesítésére
57. KÁDI Ottó A gyalogsközlekedés közúti keresztezései
58. MOLNÁR Szabolcs „Hulladékból konnektorba” A települési szilárd hulladék energetikai hasznosításának lehetőségei

59. VÁRDAI Attila Segédlet szabadidős létesítmények tartószerkezeti tervezéséhez
60. DR. BEJÓ László Szénlábnym-elemzés készítése a faiparban
61. JANCSÓ Béla, NÉMETH Gábor, SZIMANDEL Dezső Szakmai útmutató vízilétesítmény tervezők számára a 2020 január 1-én hatályba lépett „VIZEK keretrendszer” használatához
62. FELLEGI Zsóka, KARAFÁ Balázs, KOCH Edina, KOVÁCS Gábor, MURINKÓ Gergő, TÓTH Gergely József Munkagödrök és földművek víztelenítése
63. HOLÉCZY Ernő, OLÁH Róbert, DR. SIKI Zoltán, DR. TAKÁCS Bence, DR. TÓTH Zoltán, VARGA Tibor Módszertani útmutató az elavult ingatlan-nyilvántartási térképek korszerű technológiákkal végzett felújításához
64. DR. GÁBORI László, DR. MOLNÁR Bálint, NÓGRÁDI Gábor, RÁTKAY Tamás Az Informatikai Tervező tervezési segédlete
65. NÁDASDY Tamás, TOMASCHEK Tamás, PALÁSTY István, SZECSŐ Dániel Géza Dinamikus forgalomirányítás tervezői segédlete gyorsforgalmi úthálózat esetén
66. LENGYEL István Szakmai útmutató szolgalmi jogok alapításához (mérnöki segédlet)
67. NÉMETH Balázs, SZLOVÁK Krisztián, VÍGH Gellért Épületgépészeti tervezéshez praktikus, gyakorlati adatbázis
68. FÜRJES Andor Tamás, BORSINÉ Arató Éva, NAGY Attila Balázs, ILLYÉS László, BORSI Gergely Teremakusztikai méretezés gyakran előforduló szituációkban (példatár)
69. DR. BORBÁS Lajos, GONDA Zoltán Optikai feszültségvizsgálat – Kísérleti eljárás a konstrukció fejlesztésére, szerkezetek anyagfelhasználásának és teherhívésének optimalizálására