

# SZILIKÁTTECHNIKA

## Hangszigetelés – az YTONG falak előnyös tulajdonságai\*

P. Nagy József

### 1. Néhány fontos fogalom és törvényszerűség

#### 1.1. Léghang, testhang

Tágabb értelemben hangnak nevezzük a rugalmas közeg (pl. levegő, beton) mindazon rezgéseit, amelyeket valamilyen hangforrás (pl. hangszer) kelt, s ezek a rezgések a közegben hullám formájában terjednek. A hangterjesztő közeg halmazállapotától függően *léghangot* és – a szerkezetekben terjedő – *testhangot* különböztetünk meg. A hallható hangok frekvenciája: 16 – 20 000 Hz.

#### 1.2. Sávós frekvenciaelemzés

A gyakorlatban előforduló hanghatások többsége a hallható frekvenciatartomány nagy részére kiterjedő (széles sávú) zörej. Elengedhetetlen a különböző frekvenciájú összetevők erősségének megállapítása, mert az épületszerkezetek akusztikai tulajdonságai és a hallás tulajdonságai egyaránt függvényei a frekvenciának.

A zörejek frekvencia-összetevőinek erősségét *sávszűrők* alkalmazásával mérjük. A sávszűrő egy meghatározott frekvenciatartományban átengedi, azon kívül pedig nagymértékben csillapítja az összetevőket. A gyakorlatban főként oktávszűrőket és terciszűrőket (harmad-oktáv szűrőket) alkalmaznak. A sávszűrő relatív sávzélessége: az átbocsátási sáv felső ( $f_2$ ) és alsó ( $f_1$ ) frekvenciájának hányadosa.

– Oktávszűrő esetén:  $f_2 / f_1 = 2$  (1)

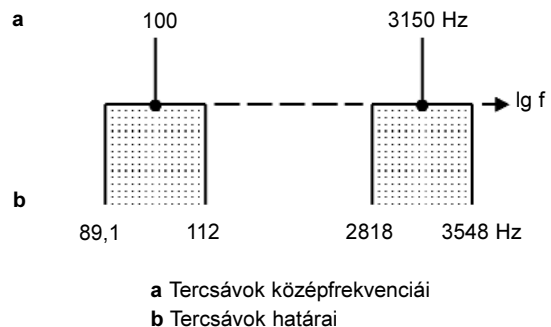
– Terciszűrő esetén:  $f_2 / f_1 = 2^{1/3}$  (2)

A sávokat *a sáv középfrekvenciájával* ( $f_k$ ) jellemezzük.

$$f_k = \sqrt{f_1 f_2} \text{ Hz} \quad (3)$$

\* A 2001. június 8-án rendezett I. YTONG konferencián elhangzott előadás változatlan anyaga. A hangszigeteléssel kapcsolatos általános ismeretanyag bővebben megtalálható a Szerző saját kiadásában a közeljövőben megjelenő, *A hangszigetelés elmélete és gyakorlata* című könyvében.

A hangszigetelési jellemzőket általában 16 tercisávban vizsgáljuk, a sávközép-frekvenciák 100...3150 Hz tartományában. A vizsgált frekvenciatartomány azonban ennél nagyobb, 89,1...3548 Hz (lásd az 1. ábrát), tehát nem a teljes hallható hangtartományra terjed ki. A vizsgálati tartomány lényeges szűkítése azért lehetséges, mert e tartomány alatti kis rezgésszámokra az emberi hallás kevésbé érzékeny, a nagy rezgésszámok tartományában pedig minden megoldásnak lényegesen nagyobb a teljesítőképessége, mint a vizsgálati tartományban.



1. ábra. A hangszigetelési jellemzők vizsgálata során használt első és tizenhatodik terciszűrő adatai

### 1.3. A hangforrások energetikai jellemzői

*A hangteljesítmény* ( $P$ ) a hangforrás által az időegység alatt kisugárzott összes hangenergia (munka) mennyiségével azonos. Mértékegysége: W (watt).

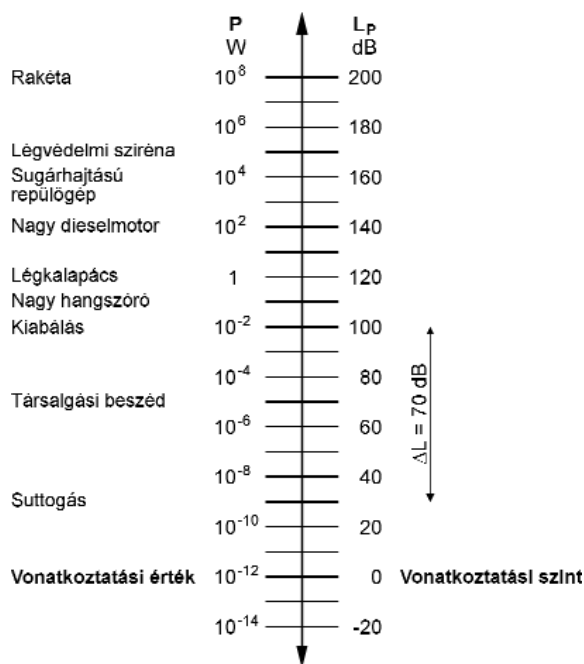
*A hangteljesítményszint:*  $L_p$  (power level)

$$L_p = 10 \lg \frac{P}{P_0} \text{ dB (decibel),} \quad (4)$$

ahol  $P_0$  a hangteljesítmény alapszintje (vonatkoztatási szintje), nemzetközi megállapodás szerint:

$$P_0 = 10^{-12} \text{ W.}$$

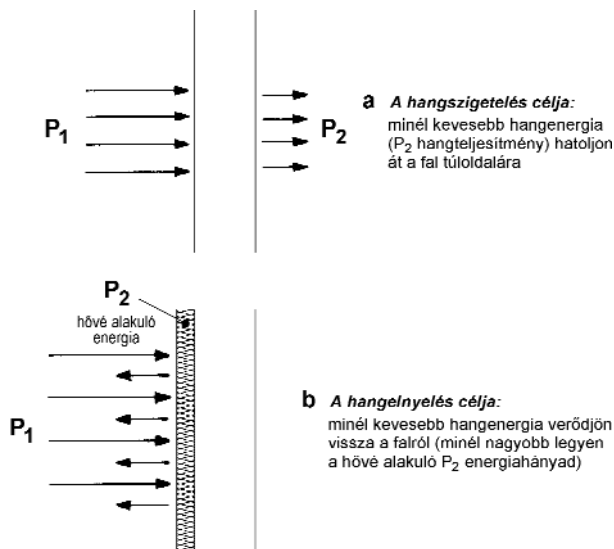
A 2. ábrán áttekintést adunk néhány hangforrás energetikai jellemzőiről.



2. ábra. Néhány hangforrás tájékoztató jellegű hangteljesítménye és hangteljesítményszintje

#### 1.4. A hangszigetelés fogalma és célja

A hangszigetelés azoknak az akusztikai hatásoknak az összességét jelenti, amelyek az épület valamely helyiségébe kívülről (pl. a mellette vagy fölötté lévő helyiségből, illetve a szabadból) behatoló zaj elleni védelmet szolgálják. A hangszigetelés célját – és a *hangelnyelés*től lényegesen eltérő sajátosságát – a 3/a ábrával illusztráljuk:



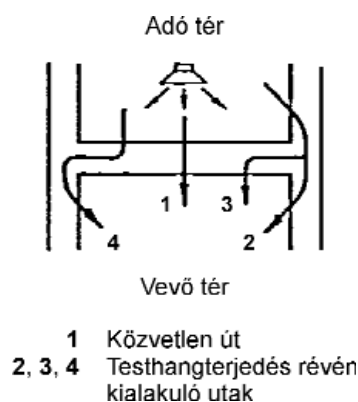
3. ábra

Hangsúlyoznunk kell, hogy míg hangelnyelési célra (pl. a helyiségen belül keletkező zaj csökkentésére) spe-

ciális *hangelnyelő* anyagokat használunk, *hangszigetelő* anyag nincs, pontosabban fogalmazva: a 4. ábrán feltüntetett hangterjedési utak sokasága révén az épület minden anyaga és szerkezete közreműködik a hangszigetelésben, kisebb-nagyobb mértékben. Nyilvánvaló azonban, hogy az anyagok egy csoportja műszaki-gazdasági szempontból a többiekénél alkalmasabb speciális szerkezetek és szerkezetkapcsolatok kialakítására.

#### 1.5. Hangterjedési utak

A 4. ábrán feltüntettük az épületen belüli léghangszigetelés esetén elvileg lehetséges hangterjedési utakat. Az 1 jelű *közvetlen út* mellett léteznek *kerülőutak* is (lásd a 2, 3, 4 jelű hangutakat). A kerülőutakon főként testhangterjedés megy végbe. A *testhangszigetelés* a testhangterjedés akadályozását jelenti.



4. ábra. Hangterjedési utak léghangszigetelés esetén

A hangszigetelés mértékét (a terjedési utak mentén fellépő energiacsökkenést) számos fizikai jelenség befolyásolja pozitív vagy negatív értelemben. A *hangvisszaverődés* (reflexió) gátolja legnagyobb és meghatározó mértékben a léghangok és a testhangok terjedését (pl. a léghangok útjában álló fal, vagy a könnyű válaszfalban haladó testhangok terjedését akadályozó vasbeton födém). Ezzel függ össze, hogy a hangszigetelést jellemző mennyiségek közül leggyakrabban a *hanggátlási számot* használjuk, amelynek fizikai definíciója a 3. ábra jelöléseivel:

$$R = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} \text{ dB}, \quad (5)$$

ahol  $R$  az angol reduction szóra utal,  
 $P_1$  hangteljesítmény az akadály előtt, dB,  
 $P_2$  hangteljesítmény az akadály után, dB.

Az (5) képlet szerint – meglehetősen nagy és műszakilag nehezen teljesíthető – 60 decibeles hanggátlás akkor jön létre, ha az akadály egymilliomod részére csökkenti az átjutó hangenergiát. Ilyenkor a kiabálás hangenergiája ( $10^{-2}$  W) csak a halk beszédnek megfelelő szintre ( $10^{-8}$  W) csökken, tehát nem jön létre tökéletes csend, mert  $10 \lg (10^{-2} / 10^{-8}) = 60$  dB.

## 1.6. A léghangszigetelés szabványos jellemzői és követelményei

### Léghanggátlási szám: $R$

A 4. ábrán feltüntetett 1 jelű közvetlen hangút a térelválasztó fal jellemzője, amelyet csak a kerülő hangutak terjedését kizáró akusztikai laboratóriumban lehet vizsgálni, a (6) összefüggés alkalmazásával:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \text{ dB}, \quad (6)$$

ahol  $L_1$  átlagos hangnyomásszint valamely tercsávban az adó térben, dB,

$L_2$  átlagos hangnyomásszint valamely tercsávban a vevő térben, dB,

$S$  a térelválasztó szerkezet felületének nagysága,  $\text{m}^2$ ,

$A$  a vevő tér egyenértékű elnyelési felülete,  $\text{m}^2$ .

A (6) képletben lévő  $(+10 \lg S/A)$  mennyiség révén a léghanggátlási szám a vizsgált szerkezet felületének nagyságától és a laboratórium tulajdonságaitól függetlenül mennyiséggé válik.

### Látszólagos (helyszíni) léghanggátlási szám: $R'$

A kész épületben mért mennyiség, amely a 4. ábrán feltüntetett 1 jelű közvetlen hangút és a 2, 3, 4 jelű kerülőutak hatását jellemzi, ezért értéke mindig kisebb mint  $R$ , és a körülményektől függően lényegesen eltérhet a laboratóriumban mért hanggátlási számtól.  $R'$  értékét is a (6) képlettel határozzuk meg.

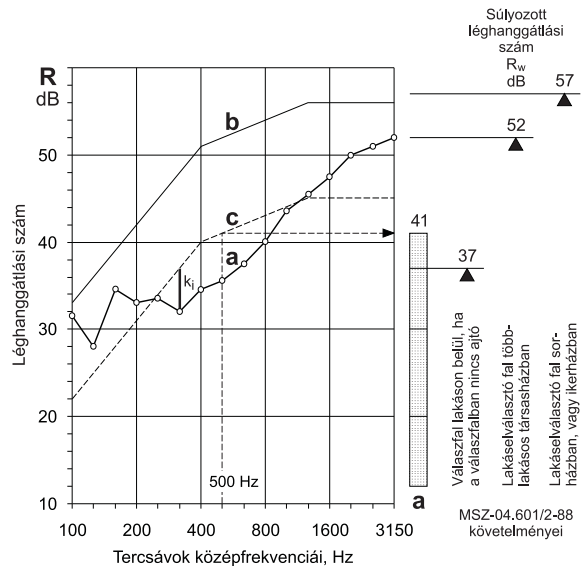
### Súlyozott léghanggátlási szám: $R_w$ , $R'_w$

Egyetlen számmal helyettesíti (súlyozza) a 16 tercsávban mért léghanggátlási számokat (a  $w$  index az angol *weighted* szóra utal).  $R_w$ , illetve  $R'_w$  értékét az 5. ábra alapján lehet meghatározni. A szabványok  $R'_w$  értékeivel írják elő a követelményeket.

## 2. Egyhéjú szerkezetek hangszigetelésének fizikai alapjai

Léghang-szigetelési szempontból **egyhéjú** és **kéthéjú** szerkezeteket különböztetünk meg. A szerkezet egyhéjú, ha a látszó felületek azonos felületi normálissal rendelkező pontjaiban a léghangok által gerjesztett rezgések iránya és erőssége (pl. a részecske sebesség,  $v$ ) egyenlő (lásd a 6/a ábrát). A szerkezet kéthéjú, ha külső felületének rezgési iránya és erőssége nem egyenlő (lásd a 6/b ábrát).

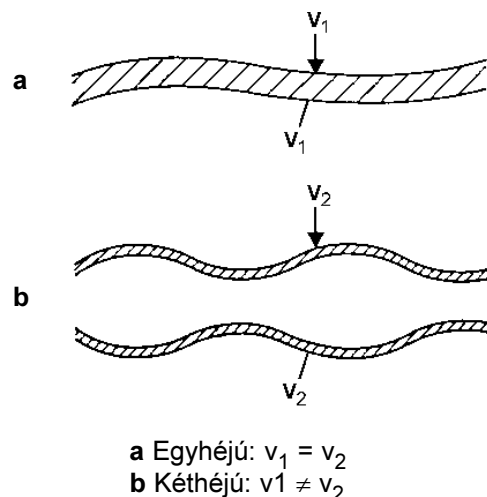
Többrétegű szerkezet is lehet akusztikai szempontból egyhéjú. Ilyen például a szokványos fa ajtószárny. (A keret és a sűrű bordázat két oldalára rétegelt lemez vagy farostlemez van ragasztva.) A legegyszerűbb egyhéjú szerkezet a homogén lemez, amelynek hangszigetelő képes-



- 10 cm vastag YTONG fal + 2x1,5 cm vakolat ( $m = 84 \text{ kg/m}^2$ ) 16 tercsávban mért szabványos **léghanggátlási függvénye**
- Nemzetközileg elfogadott **súlyozó görbe**, amely tapasztalat alapján alakult ki (a DIN 52211 1951-ben vezette be, 25 cm vastag vakolt tömörtégla fal hangszigetelési görbéjével gyakorlatilag azonos)
- b-vel párhuzamosan szerkesztett görbe, amelynek 500 Hz-hez tartozó ordinátáját tekintjük a keresett egyszámjegyű jellemzőnek. A szerkesztés matematikai feltétele  $1 < \bar{k} < 2$ , ahol:

$$\bar{k} = \frac{1}{16} \sum k_i$$

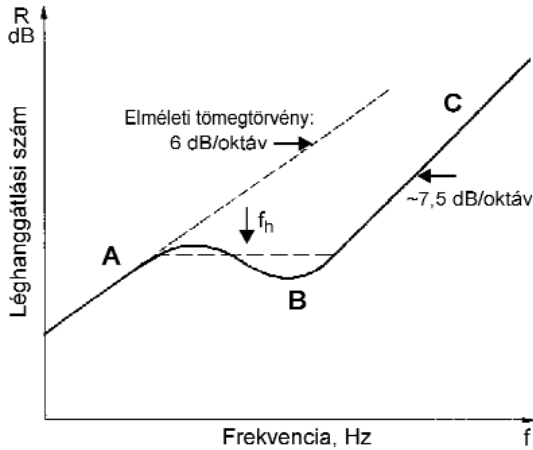
5. ábra. Szabványos módszer a léghangszigetelés minőségének egyetlen számmal történő jellemzésére



- Egyhéjú:  $v_1 = v_2$
- Kéthéjú:  $v_1 \neq v_2$

6. ábra. Az egyhéjú (a) és a kéthéjú (b) szerkezet fogalmának értelmezése

ségét alapvetően két tényező, a tömeg és a hajlítómerevség határozza meg. A tömeg hatása pozitív, a hajlítómerevség hatása negatív. Pozitív hatású továbbá a lemez részecskéinek rezgése közben fellépő sűrűlés és, amely szokványos anyagú szerkezetek esetén (pl. acél, tégl, beton) gyakorlatilag elhanyagolható, de az YTONG anyagú falaknál számottevő, amint azt a következőkben számszerűen is ki fogjuk mutatni. Az egyhéjú szerkezet léghanggátlási görbéjének három jellegzetes szakaszát különböztetjük meg a 7. ábra szerint.



7. ábra. Egyhéjú szerkezet léghanggátlási görbéjének jellegzetes szakaszai

### 2.1. A tömeg hatása

A 7. ábra szerinti függvény legkedvezőbb A jelű szakaszában a tömeg hatása érvényesül. (Ez a szakasz optimális esetben a hangszigetelésre előírt frekvenciatartomány legnagyobb részére kiterjed.) A tömeg hanggátló hatása Newton 2. mozgástörvénye szerint (erő = tömeg × gyorsulás) megy végbe. Ennek lényege a következő.

– A lemezt rezgőmozgásba hozó  $F$  erő a tömegtehetlenséggel rendelkező lemez  $a$  rezgés gyorsulását idézi elő. Newton törvénye alapján felírhatjuk a (7) egyenletet:

$$F = ma \text{ N,} \quad (7)$$

ahol  $m$  a lemez négyzetméterenkénti tömege ( $\text{kg/m}^2$ ).

– Már a (7) összefüggés alapján is kimondhatjuk, hogy adott gerjesztőerő esetén a lemez rezgéseinek erőssége annál kisebb lesz, minél nagyobb a lemez tömege. Nyilvánvaló, hogy minél kisebb a gerjesztett rezgések erőssége, annál kisebb az akadályon átjutó hangteljesítmény, ebből adódóan annál nagyobb lesz a hangszigetelés.

– További elméleti megfontolások és helyettesítések után vezethető le a (7) összefüggésből az **elméleti tömegtörvény**, amely mindkét irányban végtelen kiterjedésű és hajlítómerevséggel nem rendelkező lemez hanggátlását írja le:

$$R_0 = 20 \lg fm \cos \theta - 42 \text{ dB,} \quad (8)$$

ahol  $f$  frekvencia, Hz,

$m$  tömeg,  $\text{kg/m}^2$ ,

$\theta$  beesési szög (a felületi normálissal bezárt szög).

– Lakószoba-méretű, diffúz helyiségeket elválasztó szerkezet esetén feltételezzük, hogy az átlagos beesési szög  $45^\circ$ , feltételezzük továbbá, hogy a lemez kiterjedése véges, és merev kapcsolat van a vizsgált lemez és a hozzá csatlakozó szerkezetek között. Ilyen peremfeltételek mellett a (8) egyenlet a következők szerint módosul:

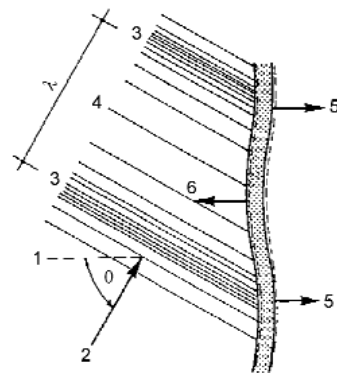
$$R_0 = 20 \lg fm - 49 \text{ dB,} \quad (9)$$

A fentiek összefoglalásaként kimondhatjuk, hogy a tömegtörvény szerint a hanggátlás a frekvencia és a tömeg növelésével folytonosan nő. ( $R$ . Berger már 1911-ben felismerte ezt a törvényszerűséget.) A tömeg vagy a frekvencia kétszeresével a hanggátlás  $20 \lg 2 = 6$  decibellel növekszik.

### 2.2. A hajlítómerevség hatása

A 7. ábra szerinti B és C jelű szakaszban – két bonyolult fizikai jelenség kedvezőtlen hatása miatt – nem érvényesül az elméleti tömegtörvény (vö. a szaggatott vonallal jelzett függvényt a B és C jelű görbeszakaszokkal). Mindkét jelenség a hajlítómerevséggel kapcsolatos.

Az egyik jelenség az ún. „kényszer-hajlítóhullámok” energia-visszasugárzása a gerjesztési oldalra. Kedvezőtlen hatása a B és C jelű szakasz minden pontjában fellép. A lejátszó bonyolult fizikai jelenség lényegét a 8. ábra segítségével ismertetjük.



- 1 Felületi normális
- 2,3,4 A gerjesztő léghang terjedési iránya és a részecskék sűrűsödési-, ill. ritkulási helyei
- $\theta, \lambda$  A léghang beesési szöge és hullámhossza
- 5,6 A kényszer – hajlítóhullám energiasugárzása a lemez túoldalára, ill. a gerjesztési oldalra

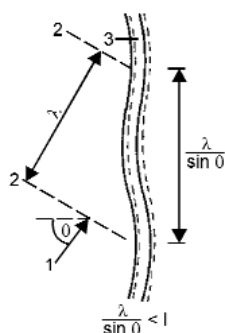
8. ábra. A kényszer-hajlítóhullám peremfeltételei nagy kiterjedésű homogén lemez esetén

A ferde szög alatt beeső léghanghullám kényszerhatást fejt ki, meghajlítja a hajlítómerevséggel rendelkező lemezt.

A kompresszióhelyeken az 5 jelű nyíl irányába, a dekompresszióhelyeken pedig a 6 jelű nyíl irányába mozdul el a lemez, majd ez az állapot az időben váltakozik és terjed a lemezben, azaz **kényszer-hajlítóhullám** jön létre, amelynek hullámhossza csak a gerjesztő léghang hullámhosszától és a beesési szögtől függ. E jelenség kedvezőtlen végeredménye az, hogy a merev lemez a 6 jelű nyíl irányába, a gerjesztési oldalra visszazugározza a hangenergia egy részét, s ezáltal nagymértékben csökkenti a léghangátvitelt.

### 2.3. A tömeg és a hajlítómerevség arányának hatása

A hajlítómerevséggel kapcsolatos másik, legkedvezőtlenebb jelenség a L. Cremer professzor által 1942-ben felfedezett hullámkoincidencia, amelynek hatása a 7. ábra B jelű szakaszára korlátozódik. A jelenség lényegét a 9. ábra segítségével ismertetjük.



- 1,  $\theta$ ,  $\lambda$  A gerjesztő léghang terjedési iránya, beesési szöge és hullámhossza
- 2 A gerjesztő léghang részecskéinek azonos fázisban rezgő helyei
- 3 A hanghatásnak kitett lemez
- l A lemez hosszúsága

9. ábra. A hullámkoincidencia kialakulásának peremfeltételei

A lemez léghanggal történő ferde szögű gerjesztésekor a 9. ábrán jelölt  $\lambda / \sin \theta$  távolságra vannak egymástól azok a helyek, amelyeket a léghang ugyanolyan fázisállapotban (kompresszió vagy dekompresszió) gerjeszt. E távolság neve: **nyomhullámhossz** ( $\lambda_{nyom}$ ), a léghang hullámhosszának nyoma a lemez felületén. A trigonometriai viszonyok alapján:

$$\lambda_{nyom} = \frac{\lambda}{\sin \theta} \text{ m.} \quad (10)$$

A hajlítási rezgések rezonanciaszerű felerősödése következik be (a lemez hajlításra rendkívül engedékeny), ha a nyomhullámhossz azonos a lemez tulajdonságaitól és a gerjesztőfrekvenciától függő, **szabad hajlítóhullám** ( $\lambda_h$ ) hosszával. Ennek az azonosságnak, vagy más szóval **egybeesésnek** (latinul: *coincidentia*) a neve: **hullámkoincidencia**. A levezetés mellőzésével közöljük, hogy hullámkoincidencia bármely gerjesztőfrekvencia esetén létrejön, ha teljesül a következő feltétel:

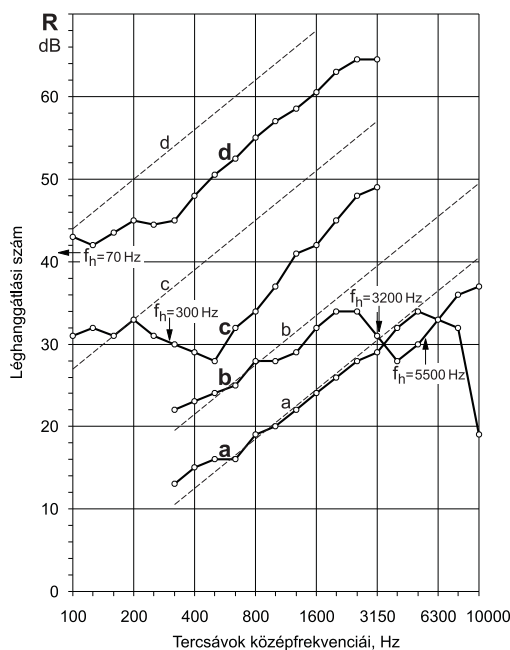
$$f_c = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{EI}} \frac{1}{\sin^2 \theta} \text{ Hz,} \quad (11)$$

ahol  $c$  hangterjedési sebesség levegőben, m/s,  
 $m$  a lemez tömege,  $\text{kg/m}^2$ ,  
 $E$  a lemez anyagának rugalmassági modulusa,  
 $\text{Pa} = \text{N/m}^2$ ,  
 $l$  1 m széles lemezsáv inercianyomatéka,  $\text{m}^4/\text{m}$ ,  
 $\theta$  a gerjesztőléghang beesési szöge,  
 $E I$  hajlítómerevség.

Diffúz terek közötti hangszigetelés esetén nagyon sok beesési szög létezik, így a hullámkoincidencia nagy frekvenciatartományra (a 7. ábra szerinti B jelű szakaszra) terjed ki. A koincidencia határeset a lemez síkjával párhuzamos gerjesztés esetén ( $\theta = 90^\circ$ ) jön létre. E határeset frekvenciája az ún. **határfrekvencia** ( $f_h$ ). A (11) képletben  $c = 343 \text{ m/s}$  és  $\sin^2 90^\circ = 1$  helyettesítésével:

$$f_h = 18788 \sqrt{\frac{m}{EI}} \text{ Hz.} \quad (12)$$

A (12) összefüggés a hangszigetelés tervezésének egyik legfontosabb képlete, mert segítségével – a tömeg ( $m$ ) és a hajlítómerevség ( $E I$ ) arányának célszerű megválasztásával – „előírhatjuk”, hogy a hullámkoinci-



— kerületük nélküli laboratóriumban mért adatok  
 - - - - a (9) tömegtörvénnyel számított értékek

Jel	Anyag	Vastagság mm	Tömeg $\text{kg/m}^2$
a	Kemény farostlemez	4	3,2
b	Gipszkarton lemez	8	8
c	Gipszperlit	80	64
d	Tömörtégla + 2x1,5 cm vakolat	270	240

10. ábra. A tömeg ( $m$ ) és a hajlítómerevség ( $E I$ ) arányának tükröződése néhány homogén lemez hangszigetelési függvényében

dencia a frekvenciatartomány melyik szakaszában fejtsse ki kedvezőtlen hatását. A határfrekvencia alapján az egyhéjú szerkezeteket három jellegzetes csoportba sorolhatjuk.

- „**Elég merev**” szerkezetek:  $f_h < 200$  Hz (pl. a 10. ábra d jelű megoldása). Léghanggátlásuk nem követi ugyan a tömegtörvényt, de elég nagy tömeg esetén egyhéjú vagy kéthéjú szerkezet kialakítására alkalmasak.
- „**Közepesen merev**” szerkezetek:  $200 \text{ Hz} < f_h < 1600$  Hz (pl. a 10. ábra c jelű megoldása). Az ilyen szerkezetek hangszigetelésre kevésbé alkalmasak.
- „**Elég hajlékony**” lemezek:  $f_h > 1600$  Hz (pl. a 10. ábra b jelű megoldása). Hanggátlási görbéjük döntő része gyakorlatilag a 7. ábra szerinti A jelű szakaszra esik, azaz viszonylag jól követik a tömegtörvényt. A hajlékony lemezek (pl. gipszkarton lemez) kéthéjú szerkezetek kialakítására, vagy merev szerkezetek hangszigetelő képességeinek javítására alkalmasak.

#### 2.4. A sűrűlási veszteség kedvező hatása az YTONG falak hangszigetelésére

##### A veszteségi tényező ( $\eta$ ) fogalma és mérése

A léghangok által gerjesztett lemezek rezgőmozgást végző részecskéi egymással sűrűlnek, miközben a rezgési energia egy része sűrűlási hővé alakul. A hővé alakult energiahányad a **veszteségi tényezővel** (loss factor, *Verlustfaktor*) arányos. Értékét valamely frekvencián a rezgési energia irreverzibilis és reverzibilis összetevőinek hányadosa adja. Az **összes veszteségi tényező** meghatározásának módszerét az *MSZ EN ISO 140-3: 1998* sz. szabvány E jelű melléklete írja le. Ennek lényege a következő.

- A vizsgálat céljából beépített falat gumi alátétes kalapáccsal megütik (testrezgéseket hoznak létre). A gerjesztett rezgés erőssége a részecskék közötti sűrűlás következtében folytonosan csökken, a rezgés lecseng.
- Megméri a **lecsengési időt** ( $T$ ), vagyis azt az időtartamot, amely alatt a rezgés erőssége 60 decibellel csökken.
- Az összes veszteségi tényező értékét – amely a vizsgált fal, a vakolat és a vizsgálónylás közötti kapcsolat rezgéscsökkentő hatását is magában foglalja – az alábbi képlettel határozzák meg:

$$\eta_{total} = \frac{2,2}{fT}, \quad (13)$$

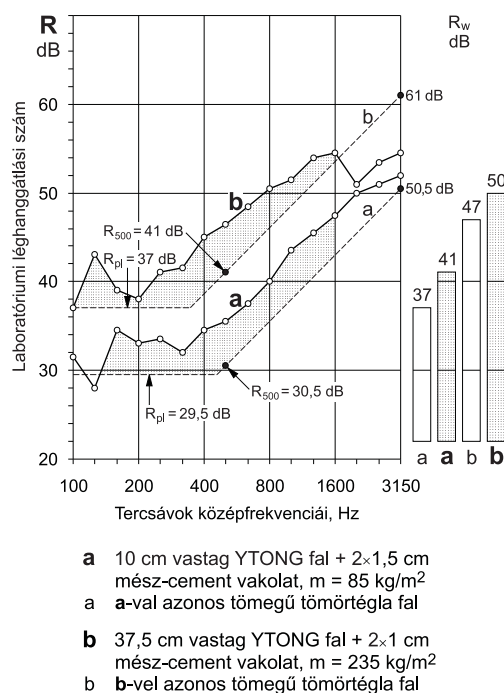
ahol  $f$  a rezgés frekvenciája,  $s^{-1}$ ,  
 $T$  utószengési idő, s.

A (13) képlet szerint a veszteségi tényező annál nagyobb, minél kisebb  $T$  értéke, vagyis minél rövidebb idő alatt felemésződik a rezgési energia.

Sajnálatos tény, hogy a falak hangszigetelésének vizsgálata során a veszteségi tényezőt általában nem mérik, ezért nem állnak rendelkezésünkre összehasonlításra alkalmas, megbízható adatok. Közvetett úton azonban bizonyítani tudjuk, hogy az **YTONG falaknál fellép a sűrűlási energiaveszteség hangszigetelést növelő hatása.**

#### YTONG falak és tömörtégla falak hangszigetelési görbéinek összehasonlítása

A 11. ábra adataival támasztjuk alá előbbi megállapításunkat. Ezen az ábrán összehasonlítottuk két YTONG fal laboratóriumban mért hangszigetelési jellemzőit ugyanilyen tömegű tömörtégla falak K. Gösele elméletével számított jellemzőivel. Az **YTONG falak súlyozott hanggátlási számai – a lényegesen nagyobb sűrűlási veszteségnek köszönhetően – 3-4 decibellel nagyobbak, mint a tömörtégla falaké.** A hangszigetelési görbéken pontozással jelöltük a különböző frekvenciasávokban mutatkozó – a sűrűlási veszteségnek köszönhető – javító hatást.



11. ábra.  $500 \text{ kg/m}^3$  térfogatsúlyú YTONG falak hangszigetelési jellemzői az ÉMI laboratóriumi vizsgálatai szerint (Gyártó: YTONG Hungary Kft.)

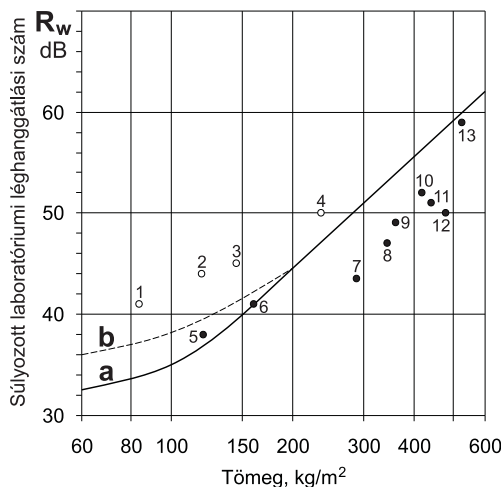
#### YTONG, tömörtégla és üregeztégla falak súlyozott laboratóriumi hanggátlási számainak összehasonlítása

A 12. ábrán a négyzetméterenkénti tömeg függvényében ábrázoltuk a címben jelzett falak súlyozott hangszigetelési jellemzőit, a következők szerint.

- Az **a jelű** folytonos görbe tömörtégla falak átlagát jelzi az *EN 12354* sz. nemzetközi szabvány alapján.

- A *b* jelű görbe porózus betonfalakra vonatkozik.
- Az 1 – 4 jelű pontok az YTONG Hungary Kft. által gyártott falaknak az ÉMI laboratóriumában mért adatait jelzik.
- Az 5 – 13 jelű pontok az ÉTI laboratóriumában 1989-ben vizsgált különböző típusú üregestégla falakra vonatkoznak.

A 12. ábra alapján kimondhatjuk, hogy laboratóriumi körülmények között az  $500 \text{ kg/m}^3$  térfogatsúlyú YTONG falak – a négyzetméterenkénti tömegtől függően – 2-6 decibellel jobbak, mint az ugyanolyan tömegű tömörtégla falak (a nagyobb veszteségi tényezőnek köszönhetően), az üregestégla falak pedig átlagosan 3 decibellel rosszabbak, mint az ugyanolyan tömegű tömörtégla falak.



- a** Téglá és beton anyagú falak átlaga az EN 12354 sz. szabvány szerint
- b** Mint **a**, de porózus beton falakra
- $500 \text{ kg/m}^3$  térfogatsúlyú YTONG falak jellemzői az ÉMI laboratóriumában
- Szokványos üregestégla falak jellemzői az ÉTI laboratóriumában

12. ábra. Különböző anyagú falak hangszigetelési jellemzői kerületutak nélküli laboratóriumban

### Egyhéjú YTONG falak „masszív” épületekben

A tervezési segédletként is használható 13. ábra lehetővé teszi, hogy az YTONG falak helyszíni körülmények között is megnyilvánuló előnyös tulajdonságait kimutassuk. A masszív épületekben elérhető súlyozott helyszíni hanggátlási szám ( $R'_w$ ) értékeit a négyzetméterenkénti tömeg függvényeként ábrázoltuk, a következők szerint.

- A *b* jelű függvény – amelyet a DIN 4109–1989 sz. szabvány 1. mellékletének 1. táblázatában közölt adatokból szerkesztettük – tömörtégla falakra vonatkozik. Ennek egyenlete:

$$R'_w = 27 \lg m - 17,5 \text{ dB.} \quad (14)$$

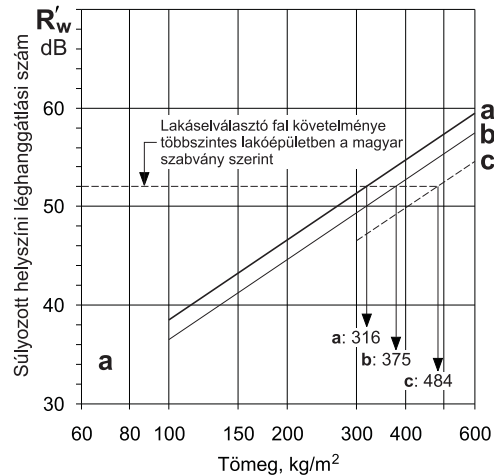
- Az *a* jelű függvény YTONG falakra vonatkozik. Itt  $R'_w$  értékei – a DIN 4109 szerint – 2 dB-lel nagyobbak

az előzőnél, ennek megfelelően az *a* jelű egyenes egyenlete:

$$R'_w = 27 \lg m - 15,5 \text{ dB.} \quad (15)$$

- A *c* jelű függvény szokványos, nagy üregű téglából készített falakra vonatkozik, amelyek egyenlete:

$$R'_w = 27 \lg m - 20,5 \text{ dB.} \quad (16)$$



13. ábra. Segédlet a masszív épületek egyhéjú lakáselválasztó falainak akusztikai méretezéséhez YTONG (a), tömörtégla (b), illetve szokványos üregestégla fal (c) esetén

A 13. ábra segítségével egyszerűen kimutathatjuk, hogy például a többszintes lakóépületek lakáselválasztó falaira vonatkozó  $R'_w \geq 52 \text{ dB}$  szabványos követelmény kielégítéséhez YTONG anyagú fal esetén lényegesen kisebb négyzetméterenkénti tömeg lenne szükséges mint tömörtégla vagy üregestégla anyagú fal esetén. A pontos értékeket a (14) (15) (16) egyenletek segítségével állapíthatjuk meg. A számítások végeredménye:

- a** YTONG fal esetén:  $316 \text{ kg/m}^2$ ,
- b** tömörtégla fal esetén:  $375 \text{ kg/m}^2$ ,
- c** nagy üregű fal esetén:  $484 \text{ kg/m}^2$

lenne szükséges az MSZ–04.601/88 sz. szabvány szerinti követelmény kielégítéséhez.

Az YTONG-ra nézve rendkívül kedvezőek a fenti összehasonlító adatok. Ennek ellenére sem célszerű lakáselválasztás céljára egyhéjú YTONG falat alkalmazni, mert  $2 \times 1 \text{ cm}$  mészcement vakolat esetén  $316 - 36 = 280 \text{ kg/m}^2$  YTONG-ra lenne szükség, ehhez pedig az alábbi vakolatlan vastagságok tartoznak:

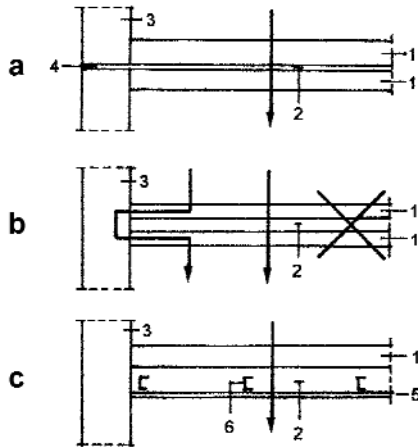
Térfogatsúly:	500	600	800 $\text{kg/m}^3$
Vakolatlan vastagság:	56	47	35 cm

Ezek a falvastagságok irreálisan megnövelnék a lakások bruttó alapterületét és költségét. Ezzel függ össze, hogy a németországi gyakorlatban ez ideig főként  $24 \text{ cm}$  vastag, kb.  $430 \text{ kg/m}^2$  tömegű vakolt mészhomok téglá falakat alkalmaztak többszintes YTONG lakóépületek lakásainak elválasztására, a miénknél szigorúbb  $R'_w = 53 \text{ dB}$  követelmény teljesítésére.

### 3. Kéthéjű falak

Az előadás korlátozott keretei nem teszik lehetővé a kéthéjű falak hangszigetelésével kapcsolatos fizikai tudnivalók ismertetését, így csak tényszerűen közöljük a legfontosabbakat.

A szilikátbázisú anyagok alkalmazásával készíthető kéthéjű falak három csoportját különböztetjük meg a 14. ábra szerint.



- 1 Önhordó, merev fal
- 2 Légtér, benne esetlegesen hangelnyelő anyag
- 3 A válaszfalhoz csatlakozó merev fal, vagy földém
- 4 Szerkezeti dilatáció
- 5 Hajlékony fal
- 6 Az önhordó faltól független, vagy arra pontszerű rögzítéssel szerelt válaszfalborda

14. ábra. Akusztikai szempontból kéthéjű falak

**a) Tökéletesen kéthéjű fal, amely az épület egészén átmenő szerkezeti dilatációval készül, és kizárja a kerülőutas hangterjedést (14/a ábra).** Ikerházak és sorházak  $R'_w \geq 57$  dB követelményét csak ilyen megoldással lehet kielégíteni. Az YTONG Hungary Kft. által rendelkezésünkre bocsátott dokumentumok szerint a különböző térfogatsúlyú kéthéjű, 2x1 cm gipszvakolattal ellátott néhány változat súlyozott hanggátlási számai a következők:

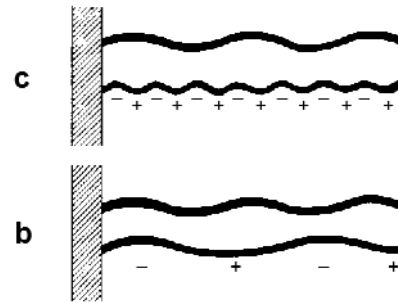
Térfogatsúly, kg/m <sup>3</sup>	1. fal vastagsága, cm	Üveggyapot légtér, cm	2. fal vastagsága, cm	R' <sub>w</sub> , dB
800	11,5	4	11,5	60
600	17,5	3	17,5	59
500	24	3	24	60

**b) A dilatáció nélküli körítészerkezetekkel szilárd kapcsolatban álló, kéthéjű merev fal (14/b ábra).** Ez a megoldás akusztikai szempontból kedvezőtlen a következők miatt.

- Az adó oldallal határos falakban és földémekben a léghangok által gerjesztett hosszuhullámú testhang

– a szilárd kapcsolat közvetítésével – alig csillapítva átmegegy a vevő oldali falba, amely a rezgési energiát kisugározza a vevő légtérbe (15/b ábra). Ennek következtében 10-15 decibellel gyengébb lesz a hangszigetelés, mint az egyébként ugyanolyan *a* típusú megoldás.

- A másik probléma, a kerülőutak jelenléte ilyenkor elkerülhetetlen.



A c jelű változat hajlékony falában rövid hullámú testhangok jönnek létre, így közel vannak egymáshoz a + jelű kompresszió- és a - jelű dekompresszióhelyek, ezáltal "rövidzár", azaz nyomáskiegyenlítődés alakul ki, végeredményben gyenge léghang keletkezik a vevő térben, ellentétben a b jelű változattal

15. ábra. Az akusztikai rövidzár szemléltetése

A DIN 4109–1989 sz. szabvány szerint a kéthéjű merev falak hanggátlása masszív épületekben gyakorlatilag az egyhéjű falakra vonatkozó törvényszerűséget követi oly módon, hogy a két fal együttes tömegével kell számolni. Ezt a megállapítást a következő példával illusztráljuk. Az YTONG Hungary Kft. megbízására az ÉMI laboratóriumában vizsgálták az alábbi rétegrendű kéthéjű, 200 kg/m<sup>2</sup> összes tömegű YTONG falat:

- 30 cm vastag YTONG P4–06 fal,
- 2,5 cm vastag üres légtér,
- 10 cm vastag YTONG válaszfal,
- 2x1 cm vastag mészcement vakolat.

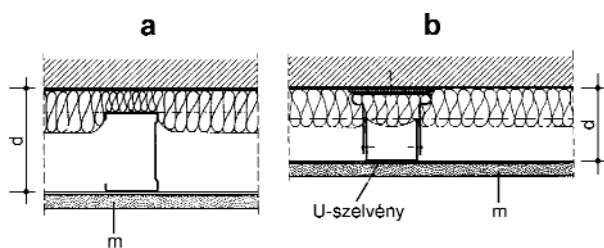
A vizsgálat eredménye laboratóriumban kedvező ( $R_w = 54$  dB), de masszív épületekben, helyszíni viszonyok között a (15) képlettel számolhatunk, azaz:

$$R'_w = 27 \lg 265 - 15,5 = 50 < 52 \text{ dB,}$$

amely nem felel meg a többlakásos lakóépületekre vonatkozó hazai előírásnak.

**Merev fal + hangszigetelést javító hajlékony fal.** A 14/c ábra szerinti megoldás a többnyire gipszkartonból készülő hajlékony fal (Vorsatzschale) különleges tulajdonságával függ össze, amely szerint az egyik oldalon lévő merev fal a szilárd peremkapcsolat közvetítésével rövidhullámú testhangot kelt, amely az akusztikai rövidzár révén a hangenergia nagy részét felemészti, következésképpen hatékonyan javítja a merev fal hangszigetelő képességét (magyarázat 15/c ábrán). A 16. ábrán a legismertebb megoldások elvi vázlatait közöljük.





- a** Egy "fél gipszkarton fal"  
**b** Dűbelekkel a merev falhoz rögzített lengő bilincsek, kb. 50 cm-enként függőleges tartóbordákhoz rögzített gipszkarton lemez

16. ábra. Hangszigetelést javító gipszkarton burkolat szokásos változatai

A javító hatás ( $\Delta R_w$ ) annál nagyobb

- minél nagyobb a hajlékony fal tömege ( $m$ ) és a merev faltól mért távolsága ( $d$ ),
- csekély javító hatása van a légtérben elhelyezett hangelnyelő anyagnak is,
- minél inkább független a hajlékony fal a merev szerkezettől (ebből a szempontból a 16. ábra a jelű megoldása előnyösebb),
- minél kisebb a javítandó fal tömege.

K. Gösele szerint könnyű (50-100 kg/m<sup>2</sup> tömegű) falak hanggátlását 15-20 decibellel, nehéz (400-500 kg/m<sup>2</sup> tömegű) falak hanggátlását pedig mindössze 3-4 decibellel javítja a 16/a ábra szerinti szimpla gipszkarton burkolat,  $d \geq 60$  mm esetén. Nyilvánvaló azonban, hogy az összesített eredmény ( $R_w + \Delta R_w$ ) annál jobb, minél nagyobb a javítandó fal tömege.

Valójában minden építési rendszerhez és minden fal-típushoz esetenként kell kikísérletezni a különféle szempontoknak legjobban megfelelő megoldást, különös tekintettel az adott építési rendszerre jellemző kerülőutakra. Az YTONG falakkal kapcsolatos kísérletek halmaza közül a következő konkrét eredményeket ismertetjük.

### 3.1. Az YTONG Hungary Kft. megrendelésére az ÉMI laboratóriumában végzett kísérlet eredménye

- *A javítandó fal:* 30 cm vastag YTONG P4-06, egyik oldalán 1 cm vastag mészcement vakolattal. Tömege:  $m = 180$  kg/m<sup>2</sup>, súlyozott laboratóriumi hangszigetelési jellemzője:  $R_w = 49$  dB.
- *A hangszigetelést javító burkolat típusa a 16/b ábra szerinti,  $d = 70$  mm, a légtérben 50 mm vtg. 18 kg/m<sup>3</sup> térfogatsúlyú üvegyapot, a 12,5 mm vastag gipszkarton lemez tömege:  $m = 9,4$  kg/m<sup>2</sup>.*
- *A vizsgálat eredménye:*  $R_w = 56$  dB.
- *A burkolat javító hatása a laboratóriumban:*  $\Delta R_w = 7$  dB.

A fenti adatok alapján feltételezhetjük, hogy ez a megoldás megfelel a többszintes társasházak lakáselválasztó szerkezeteire vonatkozó  $R'_w \geq 52$  dB hazai köve-

telménynek. Teljes biztonsággal csak a helyszíni vizsgálat eredménye alapján lehet nyilatkozni.

### 3.2. Az YTONG Entwicklungszentrum laboratóriumi kísérleteiről

J. Seidel úr érdekes és meglepően jó eredményekről számol be a 2001. 05. 02-án kelt TH-AKU 69 sz. vizsgálati jelentésben. Ezúttal a jelentésben ismertetett 5 megoldás terjedelmes anyagából csak 2 változat műszaki adatait ismertetjük. A két változat hangszigetelési szempontból azonos értékű.

A vizsgált megoldások		
a) Hagyományos, 24 cm vastag mészhomok téglafal 2x1 cm vakolattal (amely helyszíni viszonyok között megfelel a DIN 4109-1988 sz. szabvány szerinti $R'_w \geq 53$ dB helyszíni követelménynek)		
Műszaki jellemzők		
Vastagság, mm	Tömeg, kg/m <sup>2</sup>	$R_w$ , dB
260	430	60,2
b) 15 cm vastag YTONG fal P4/055 minőségű anyagból, egyik oldalon 1 cm vastag vakolattal ( $m = 109$ kg/m <sup>2</sup> , $R_w = 39,8$ dB), a másik oldalon a 16/b ábrához hasonló rendszerű, de a rugóként működő lengő kengyel helyett merev rögzítőelemekkel készült, kétrétegű gipszkarton burkolat (összes vastagsága 62 mm, javító hatása: $\Delta R_w = 20,5$ dB!)		
Műszaki jellemzők		
Vastagság, mm	Tömeg, kg/m <sup>2</sup>	$R_w$ , dB
222	130	60,3
<b>Megtakarítás a b-változattal: 38 mm és 300 kg/m<sup>2</sup></b>		

A megtakarítás hihetetlennek tűnő adatai meggyőzően bizonyítják, hogy az YTONG falak előnyös tulajdonságai a kéthéjú falban is érvényesülnek, ha a konstrukciót a hangszigetelés törvényszerűségei alapján tervezik. A szakirodalomban már YTONG-ból készült hajlékony burkolatokkal is találkozhatunk, amelyek akusztikai paraméterei hasonlóak a gipszkartonéhoz.

### 4. Fontos megjegyzés

A 2001. június 8-án elhangzott előadásban és ebben a publikációban – címének megfelelően – az YTONG falak előnyös hangszigetelési tulajdonságainak bemutatására törekedtünk. A korlátozott terjedelem nem tette lehetővé, hogy az YTONG külső falakban fellépő kerülőutak terjedésének csökkentési módszereivel foglalkozzunk. Ezért hangsúlyozottan felhívjuk a figyelmet arra, hogy

- *a laboratóriumban kiváló – és a helyszíni határértéket messze meghaladó hanggátló képességgel rendelkező – fal vagy födém sem felel meg az épületben, ha nincs megfelelően akadályozva a 4. ábrán feltüntetett kerülőutas hangterjedés. Ezért*
- *a kiviteli tervezés során épületakusztikus szakértő közreműködését célszerű igénybe venni.*