

A Wienerberger Téglaiipari Zrt. termékválasztékának fejlesztése az épületek belső tereinek akusztikai minősége szempontjából

Product development of Wienerberger Inc. concerning the acoustical quality of building interiors

¹DR HABIL. REIS FRIGYES, ¹MESTERHÁZY BEÁTA, ²TÓTH BALÁZS

¹Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Épületszerkezettani Tanszék, Épületakusztikai Laboratórium

²Wienerberger Téglaiipari Zrt.

reis@mail.bme.hu

Beérkezett: 2008.09.15., elfogadva: 2008.10.15.

Kivonat – A Wienerberger Téglaiipari Zrt., Magyarország vezető téglagyártója nagy hangsúlyt helyez a termékek hangszigetelésére. A kutatás-fejlesztési tevékenység eredményeként jelentek meg olyan kerámia falazóelemek, amelyből készült falazatok hangszigetelése elegendően nagy, a hangszigetelésben szerepet játszó csatlakozó szerkezetek akusztikai hatása ismert, a különböző falazóelemekből készülő falazatok alkalmazási területei, és a gyártásból és kivitelezésből származó hibák hangszigetelésre gyakorolt hatása a szükséges mértékig körülhatárolt.

E kutatás-fejlesztési tevékenység a Budapesti Műszaki Egyetem Épületakusztikai Laboratóriumával közösen zajlott, az eredmények elméleti, kísérleti és gyakorlati tapasztalatokon alapulnak.

A cikk áttekintést ad az elméleti háttérrel éppúgy, mint az eredményekről, különös figyelemmel a homlokzati szerkezetek hő- és hangszigetelésének egymásra való kölcsönös hatására is.

Abstract – Wienerberger, the leading brick manufacturer in Hungary made significant efforts and reached excellent, widely used results in working out masonry blocks for high sound insulation purposes, specifying the sound insulation of all the elements which have task from this aspect, specifying the acoustic ranges of application and also the effects of mistakes either in the production or in the constructional work. The research development activity was running in form of cooperation with TU Budapest, Laboratory of Building Acoustics. The results have been established by theoretic, experimental and practical investigations.

The paper describes the conception, the approach and results, including also the mutual relations between heat insulation and sound insulation of facade constructions.

1. Épületek belső tereinek, helyiségeinek akusztikai minősége, a minőség létrehozásához kapcsolódó épületszerkezetek és építési termékek

Az épületek belső terei, helyiségei akusztikai minőségének vizsgálatát leszűkítjük a lakóépületekre és szállodákra. E példákban az akusztikai minőség a használók szempontjából a belső terek, helyiségek zajosságával azonos fogalommal válik. Egyszerűen szólva jó az akusztikai minőség, ha a helyiségekben, belső terekben a zaj nem halad meg egy bizonyos mértéket, nem megfelelő az akusztikai minőség, ha a zaj meghaladja ezt a mértéket. A „mérték” számszerűsíthető, a tervezhetőség szempontjából ez részben a zajhatárértékekkel lesz azonos, részben pedig a használati zaj szükséges hangszigeteléssel lecsökkentett értékével vehetjük azonosnak. A különböző zajforrásokat azonban külön kell választani, ennek több oka van:

- A különböző zajforrások megoldásainak tervezése, kivitelezése más-más szakágakhoz kapcsolódik;
- A zajhatárértékek is külön kezelik a lényeges zajforrás csoportokat;

- A zajcsökkentés szükséges intézkedései zajforrás függőek, műszaki tartalmukat és érintett szerkezeteket tekintve egyaránt.

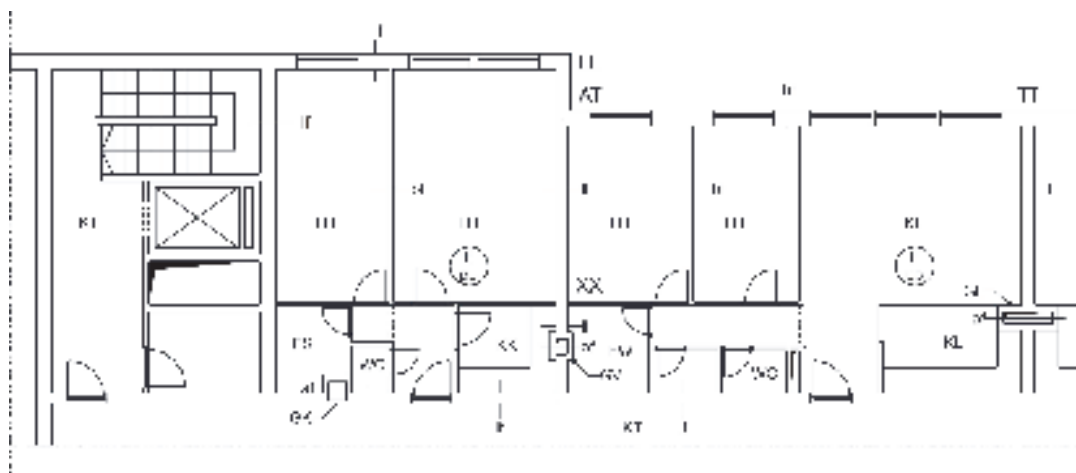
A figyelembe veendő zajforrásokat, zajkeltő tevékenységeket az 1. táblázat foglalja össze. A táblázat „érintettség” rovata a szükséges zajcsökkentés szempontjából elsősorban figyelembe veendő épületszerkezeteket sorolja fel, a termék oszlop pedig a Wienerberger Téglaiipari Zrt. termékeinek (saját gyártmány, mint például valamilyen rendeltetésű falazóelem, vagy közvetlenül kapcsolódó termék, például falazó és vakoló habarcs) adja meg.

Annak érdekében, hogy a kapcsolatok világosabbak legyenek az 1. ábrán egy jellegzetes alaprajzi részlet található, bejelölve a főbb épületszerkezeteket. Az ábra „csinált” alaprajzot mutat, amelynek főbb elemei, helyiség kapcsolatai az elmúlt években végzett tervezői, szakértői tevékenység, valamint adatgyűjtés folyamán merültek fel, tehát rendszeresen előfordulnak. Az ábra egy közepfolyosós lakóépület részlete, amely a főbb épületszerkezetek mellett épületgépészeti berendezéseket is mutat. Az alaprajzi részlet az engedélyezési tervnek megfelelő feldolgozottságú. Az akusztikai minőség szempontjából eltérő teljesítő képességű, ezért önálló fejlesztési célként is megjeleníthető épületszerkezetek a következők:

II lakáselválasztó fal

1. táblázat: Zajforrások, épületszerkezetek

Zajforrások	Elsősorban érintett épületszerkezet az akusztikai minőség elérése érdekében	Wienerberger Zrt. termékek (saját gyártás, vagy rendszerhez más termék adaptációja)	Zajhatárértékként kifejezett akusztikai követelmény	Hangszigetelési előírásként kifejezett akusztikai követelmény
Közlekedési zaj (közút, vasút, légi, stb.)	Homlokzati fal: hf Ablak, erkélyajtó	Homlokzati falazóelem, falazó, vagy ragasztó habarcs, vakoló habarcs –	8/2002 KöM-EüM rendelet a helyiségekben kialakuló közlekedési zajra vonatkozó határérték	MSZ 15601-2:2007 Homlokzati szerkezetek hangszigetelési követelményei
Épületgépészeti zajforrások	Berendezések, Berendezések telepítésének épületszerkezetei, Berendezések telepítéséhez tartozó kiegészítő szerelvények, eszközök	–	8/2002 KöM-EüM rendelet a helyiségekben kialakuló, az épület technikai berendezéseitől származó zajra vonatkozó határérték	–
Rendeltetésszerű használat, léghang terhelés	Lakáselválasztó fal, ll	Hanggátló téglalakáselválasztó falhoz, szállodai egységek közötti falhoz; falazó, vakoló habarcs	–	MSZ 15601-1:2007 Épületen belüli hangszigetelési követelmények
Rendeltetésszerű használat, lépéshang terhelés	Födém lakások között, ff Padlóburkolatok	Födém rendszerek –	–	MSZ 15601-1:2007 Épületen belüli hangszigetelési követelmények
Gépészeti vezetékek által keltett léghang, testhang	Gépészeti akna különböző alaprajzi elrendezésekben lakóépületekben, af	Aknafalként használható falazóelemek, falazó habarcs, vakoló habarcs	8/2002 KöM-EüM rendelet a helyiségekben kialakuló, az épület technikai berendezéseitől származó zajra vonatkozó határérték	MSZ 15601-1:2007 Épületen belüli hangszigetelési követelmények



1. ábra: Példa lakóépület egy lakasegységére, alaprajzi vázlat

If lakás és folyosó, közlekedő terület közötti fal

af gépészeti akna fala

bf lakáson belüli fal

ff emeletközi födém lakóépületekben

pb padlóburkolat

hf homlokzati fal

Hasonló elemzés folyt az elmúlt években szállásépületek, oktatási épületek jellegzetes alaprajzainak gyűjtését, rendszerezését követően, amely a termékválaszték további elemeinek megalapozásához vezetett.

A termékfejlesztésben az akusztikai igény sohasem önmagában jelenik meg, számos más műszaki célt, követelményt kell elérni. Ezen igények egy része az akusztikai igények szempontjából indifferens, vagy a szükséges műszaki részletek akár az akusztikai igényekkel azonos irányba mutatnak (szilárdság, teherhordó képesség, tűzgátlás). A homlokzati szerkezeteknél és ezért a homlokzati falazóelemeknél is megjelenő hőszigetelési igény azonban általában az akusztikai igényekkel ellentétes szerkezeti következményekhez vezet.

A fejlesztési célok és eredmények bemutatása közel két évtizedet meghaladó időtáv tevékenységeit tekintik át. Ez idő alatt az akusztikai minőségre vonatkozó előírások (rendeletekben, vagy szabványokban meghatározott követelmények) körében legalább egy eléggé alapvető változás következett be. A tárgyalás érthetővé tétele érdekében azonban ezeket a követelmény változásokat nem részletezzük, és csak a napjainkban hatályos akusztikai előírásokat vesszük figyelembe. Ennek a tárgyalás célszerűsége mellett van egy egyszerű műszaki oka is: az előírásokban bekövetkezett változások a nehéz elemekből készülő épületszerkezeteket alapvetően nem érintették. Azaz ami a régi szabályozás szerint megfelelő megoldás volt, az az újabb szabályozás követelményeit is teljesítette. Ez a megállapítás azonban csak a nehéz épületszerkezetekre igaz.

A helyiségfunkciókat az alaprajz eléggé egyértelműen mutatja, lásd egyúttal az alábbi felsorolást is. A felsorolásban a különböző alaprajzi helyzetű gépészeti aknáknak is szerepelnek, mert bár az akna nem önálló helyiség, az erre vonatkozó komplex akusztikai hatások miatt érdemes a kiemelt kezelés. A gépészeti aknákhöz kapcsolódó feladatok eléggé általánossá váltak napjainkra, mert lakóépületekben is, szállodai épületekben pedig különösen nagyon jelentős mennyiségű és kiterjedtségű központi és helyi épületgépészeti berendezést telepítenek, ezeket pedig jelentős mennyiségű és keresztmetszetű csővezeték köti össze. Így mennyiségben is, keresztmetszetben is állandóan növekvő a gépészeti aknáknak megjelenése. A példákban megjelenített helyiségek a következők:

LH lakó helyiség (szoba) lakásokban;

KK konyha lakásokban;

KL konyha és lakó helyiség közös légtérben;

FS fürdőszoba lakásokban, szállodai egységekben;

WC wc lakásokban, szállodai egységekben;

FW fürdőszoba, wc egy helyiségben;

KT közlekedő terület (lépcsőház, belső helyzetű folyosó); közlekedő terület a lépcsőház is;

GL gépészeti akna lakó helyiségek között;

GV gépészeti akna vizes helyiségek között (fürdőszobák, konyhák, stb.);

GK gépészeti akna bármilyen rendeltetésű lakó terület és közlekedő terület között.

Az akusztikai minőség szubjektívan megfogalmazott, általános, műszaki célból azonban nem alkalmas kategóriája helyett közvetlen kapcsolatot kell kimutatni a minőség és a hatályos műszaki szabályozás között. Az 1. táblázat zajhatárértékként és hangszigetelési előírásként kifejezett akusztikai követelmény oszlopai ezt az elvi kapcsolatot mutatják be, ilyen módon teremtenek kézzelfogható, számszerűsíthető alapot a termékfejlesztésnek is, az épületekre irányuló akusztikai tervezésnek is.

A további elemzés számára a nehéz szerkezetekből felépülő szerkezeti csomópontokat is bejelöljük, ezek akusztikai hatása a csomópont alakjától függő összefüggésekkel vehető számításba. Az 1. ábrán bemutatott

alaprajz belső hangszigetelésének számítási ellenőrzéséhez a következő formájú csomópontokat azonosíthatjuk:

- L alakú csomópont a homlokzat kiugró részénél, jele LL ;
- Szimmetrikus T alakú csomópont a sík homlokzat és válaszfal csatlakozásánál, vagy a földémlomlokzat csatlakozásánál, jele TT;
- Aszimmetrikus T alakú csomópont a homlokzat kiugró részénél, jele AT;
- X alakú csomópont belső falcsatlakozásoknál, belső födém-fal csatlakozásoknál, jele XX.

Számos alaprajzi elrendezésnél megjelenik a merev, illetve rugalmas peremkapcsolatos kettős fal, de ezek áttekintése a termékválaszték hiányában nem szükséges a jelen cikk keretei között. A kettős falakkal összefüggő szerkezeti csomópontok rezgésgátlására lásd többek között a [1] hivatkozást, példaként.

A jelen cikk témájával kapcsolatban mind elméleti szempontból, mind pedig koncepciójában és részleteiben is a [2] könyv fejti ki az alapvető ismereteket.

2. A termékfejlesztési feladatok megoldásának koncepciója

A termékfejlesztési feladatok megoldásához nagyon fontos a gyakorlati ellenőrzés módszerének kidolgozása. Az esetlegesen szükséges új termékek ellenőrzési feladataihoz nincs remény statisztikai szempontból is elegendő helyszíni ellenőrzés elvégzésére. Hasonlóképpen nincs esély a többszöri próbálkozásra sem, már csak a minta elemek gyártási költségei miatt sem. Ezért olyan számítási tervezési, méretezési módszereket kell alkalmazni, melyeknek a pontossága ismert.

Az elmúlt években az a tapasztalat adódott, hogy az épületen belüli, helyszíni hangszigetelés méretezési módszereit – bár honosított európai szabványként magyar nyelven is megjelentek és így minden érdeklődő szakember számára hozzáférhetők – nem alkalmazzák a hazai szakmai, szaktervezési gyakorlatban. Igaz ugyan, hogy e szabványok érett, elméleti szempontból is alapos, kiforrott tudást igényelnek. Amire igény van, az a megfelelő, a szerkezetgyártók által ajánlott megoldások rendszere. Ilyen megoldási rendszereket pusztán empirikusan megalapozni, statisztikai szempontból is alátámasztani nem lehet. Ezért van szükség szabványos méretezési módszerekre, amelyek segítségével a lehetséges szerkezeti kombinációk feltárhatók, kiválaszthatók. Ha a módszerek pontossága ismert, akkor alkalmazásukkal a gyakorlat számára elegendő biztonsággal lehet a megfelelő megoldás csoportokat kijelölni.

A falazóelemek gyártójának termékválasztéka szempontjából a jelen cikk egyik hangsúlya az épületen belüli, helyszíni léghangszigetelés, ehhez a [3] méretezési szabvány szolgáltatja az elvi alapokat. A hangszigetelési igényeket napjainkban a [4] szabvány tartalmazza. Lakóépületeket illetően a korábbi szabványok is többé ke-

vésbé alkalmazhatóak voltak, ezekre nem szükséges külön kitérni.

A közlekedési zaj elleni védelem feladatának megoldásához a [5] és [6] szabvány szolgáltat alapokat, a pontosság a módszereket illetően nem ismert, és sajnos az akusztikai szabályozás több elemével van elvi ütközés. Ezek feloldása a közeli jövőben elengedhetetlenül szükséges, a szakmai részletek taglalása nem tárgya a jelen cikknek.

Amennyiben tehát rendelkezésre áll a megfelelő méretezési módszer, akkor lehet kellő igényességgel és biztonsággal a szükséges falazóelemek és falazatok műszaki jellemzőit körülhatárolni, illetve új falazóelemekből készülő falazatok alkalmazási területeit kijelölni.

A méretezési módszerek sokirányú alkalmazása több irányban szolgálthat a termékfejlesztés, és termék alkalmazás számára hasznosítható információkat:

- új termékek műszaki jellemzőinek körülhatárolása;
- új, nem akusztikai igények alapján kifejlesztett termékek alkalmazási területeinek lehatárolása.

A jelen cikkben a következő témakörökről található összefoglaló tájékoztatás:

- Az épületen belüli, kerülőutas hangterjedés méretezési módszerének fejlesztései (3. fejezet, több témakör);
- A kávtégla akusztikai hatása (4. fejezet);
- A hőszigetelési célból kifejlesztett homlokzati falazóelemekből készülő falazatok hangszigetelési tulajdonságainak értékelése (5. fejezet);
- A Porotherm 30/24 hanggátló téglák műszaki sajátosságainak meghatározása (6. fejezet).

Terjedelmi okok miatt nem tárgya a jelen cikknek a földemekkel kapcsolatos szakmai feladatok áttekintése.

3. Fejlesztési példák a kerülőutas hangterjedés méretezése témakörben

A kerülőutas hangterjedés számítása a helyszíni (látzólagos) léghanggátlás becslése szempontjából rendszeresen ismétlődő, rutinszerűen elvégzendő feladat. Az elmúlt években e feladatra európai szabványsorozat készült, melyet a hazai szabványosítás is bevezetett. A szabványsorozat első lapja [3] a helyszíni léghangszigetelés valamilyen mennyiségének meghatározására ad egyszerűsített és frekvencia függvényében alkalmazandó módszert. Az egyszerűsített módszer tapasztalataink szerint a hangszigetelés tervezési feladatai túlnyomó többségének megoldására elegendő – és ma már ismert – pontossággal rendelkezik. A módszer lényegében az alábbi néhány összefüggés ismertetésével összefoglalható:

A kerülőutas léghanggátlás irány szerinti átlagolt értékét a (2) összefüggés adja meg.

Az összefüggésben $R_{i,situ}$ és $R_{j,situ}$ az i és j indexű elem (fal, földem) helyszínen tapasztalható léghanggátlása, amelyet nehéz szerkezetek esetében a kerülőutak nélküli laboratóriumban mérhető $R_{i,lab}$ és $R_{j,lab}$ értékből

(termékjellemező) a laboratóriumi és helyszíni szerkezeti utózengetési idők, $T_{i,lab}$, $T_{i,situ}$, stb – ismeretében át lehet számítani a 2. összefüggés szerint. A laboratóriumi léghanggátlás és a szerkezeti utózengetési idő mérés szabványos módszerrel történik.

A (2) összefüggésben S_i adatok felületek, ezek a tervdokumentációból meghatározhatók. Az összefüggésben $D_{v,i,j,situ}$ a szerkezeti csomópont két oldalán levő, i és j indexű elem közötti, irány szerinti átlagolt rezgésszint különbség. Értéke a geometriai viszonyoktól, az i és j indexű elem anyagjellemzőitől – testsűrűség, vastagság, dinamikai rugalmassági modulus, valamint az ezekből meghatározható hullámtani jellemzőktől –, és a csomópont formájától függ. A hivatkozott méretezési szabvány normalizálások eredményeképpen bevezette a szerkezeti csomópont akusztikai termékjellemzőjét, $K(i,j)$ -t, (rezgéscsökkentési tényező), amelyre nehéz szerkezetekből felépülő, X, szimmetrikus T és L alakú csomópontokra a fajlagos tömegek arányában értéket is ad. Az összefüggést $D_{v,i,j,situ}$ és $K(i,j)$ között a (3) összefüggés mutatja, l_{ij} a csatolási élhossz, a tervdokumentációból adódik értéke, $\alpha_{i,situ}$ az i indexű elem egyenértékű elnyelési hossza, értéke a frekvenciától és a szerkezeti utózengetési időtől függ.

Másrészről egy szerkezeti csomópont γ_{ij} rezgés gátlása és a csomópont két oldala közötti elemek közötti átlagos rezgésszint különbség között szintén van kapcsolat, amelyet a (4) összefüggés mutat be. A frekvenciafüggő kapcsolatban geometriai adatok, a szerkezeti utózengetési idők, a hullámterjedési jellemzőkből megadható határfrekvenciák, f_{ci} , f_{cj} , valamint a hajlítóhullám frekvenciafüggő terjedési sebessége, $c_{B,j}$ szerepelnek. Ugyanakkor a csomópont rezgés gátlása, γ_{ij} közvetlenül a hullámterjedések (hajlító, nyíró, longitudinális, torziós hullám terjedése félvégtelen közegben, a hullámformákat általánosan X és Y jelöli) által szállított teljesítmények, X hullámformájú beeső teljesítmény, $W_{i,be,X}$, Y formájú, átvitt teljesítmény, $W_{j,át,Y}$ – számbavétele alapján is nyomon követhető. Ez utóbbi kapcsolat azonban nem adható meg zárt alakú összefüggések segítségével, csak a definíció közölhető, a példa kedvéért általános X és Y típusú hullámterjedésre, lásd az (5) összefüggést.

$$R_{i,j,situ} = \frac{R_{i,situ} + R_{j,situ}}{2} + 10 \lg \frac{S_i}{\sqrt{S_i S_j}} + D_{v,i,j,situ} \quad (1)$$

$$R_{i,situ} = R_{i,lab} - 10 \lg \frac{T_{i,situ}}{T_{i,lab}} \quad (2)$$

$$D_{v,i,j,situ} = K(i,j) - 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{\alpha_{i,situ} \alpha_{j,situ}}} \quad (3)$$

$$\gamma_{ij} = D_{v,i,j} + 10 \lg \frac{l_{ij} c T_i T_j f}{2.2 \pi^2 S_i S_j \sqrt{f_{ci} f_{cj}}} \quad (4)$$

$$\gamma_{ij} = 10 \lg \frac{W_{i,be,X}}{W_{j,át,Y}} \quad (5)$$

Az elmúlt években a kerámia alapanyagú építőelemekből felépülő falszerkezetek épületen belüli hangszigetelése témakörében többek között az alábbi feladatok oldottuk meg:

- I. $K(ij)$ értékének publikált meghatározási módja miatt szükség volt arra, hogy felülvizsgáljuk a vas-tag, üreges elemekből felépülő szerkezeti csomópontok esetében mennyi lesz $K(ij)$ értéke;
- II. Áttekintve a lakóépületekben előforduló szerkezeti csomópontokat, módszert és adatokat kellett adni arra, hogy az aszimmetrikus T alakú szerkezeti csomópontok milyen $K(ij)$ értékkel rendelkeznek.
- III. A méretezésre alkalmazott [3] szabványos eljárás csak bizonytalan közlést tesz a pontosságra, azaz az egyedi mért eredmény és a számítással meghatározott eredmény közötti eltérésre. Ezért a számítási becslések eredményeinek alkalmazhatósága szempontjából részletesebben kellett foglalkozni a pontosság témakörével.

Az I. feladat megoldási lépései a következők voltak:

1. Méretarányos, szimmetrikus T alakú szerkezeti csomópont modellt építettünk fel, lásd a 2. ábrát. A homlokzati falnak megfelelő, 1 és 3 indexű falrész Porotherm 38 N+F falazóelemből, a lakáselválasztó falnak megfelelő, 2 indexű falrész Porotherm 30 hanggátló téglából készült. A két fal között a csatolás a kivitelezési szabályoknak megfelelően lett kialakítva. A három falszakasz három, egymástól szerkezetiileg független, rugalmasan alátámasztott – tehát testhang szigetelt – vasbeton gerendán állt. Mindhárom falszakasz beltéri, illetve kültéri vakolat alkalmazásával vakolva volt.
2. A rezgéseltetés – a lépéshangszigetelés-vizsgálat analógiája alapján – szapora kalapácsütésekkel történt, így a stacioner rezgési körülmények között lehetett a 3 elem közötti rezgésszint különbségeket megállapítani. A szerkezeti utózengezési idők pedig szabványos méréssel voltak meghatározhatók. Ezen mérési adatokból a $K(ij)$ értéket számíthatók, lásd a fent megadott összefüggéseket.

A számított $K(ij)$ eredményeket a 3. grafikon mutatja be az egyik kísérletre (merev, dilatálatlan kapcsolat). Az ábrán a számított $K(ij)$ a [3] szabvány szerinti, tömegarányból megadott adatok. A mérési eredmények átlagát és a számított $K(ij)$ értékeket nyílak kötik össze.

Az eredmények az alábbiak szerint értékelhetők:

- A frekvenciafüggés a mély és közepes hangok tartományában nem jelentős, így merev peremkapcsolatok esetén az egyszerűsített, átlag értékeken alapuló számítás alkalmazható;
- A tömegarányon alapuló számítás és a mérési eredmények átlagából kiadódó $K(ij)$ értékek között az 1-3 terjedési irány értékénél az eltérés 3 dB-nél kisebb, tehát nem jelentős. Az 1-2 és a 3-2 iránynál az eltérés meghaladja az 5 dB-t, a mért érték a nagyobb. Ez azt jelenti, hogy ha a tömegarányból számított $K(32)$ és $K(12)$ értékkel számítjuk a kerülőutas hangterjedést, akkor alulról közelítjük az eredményt.

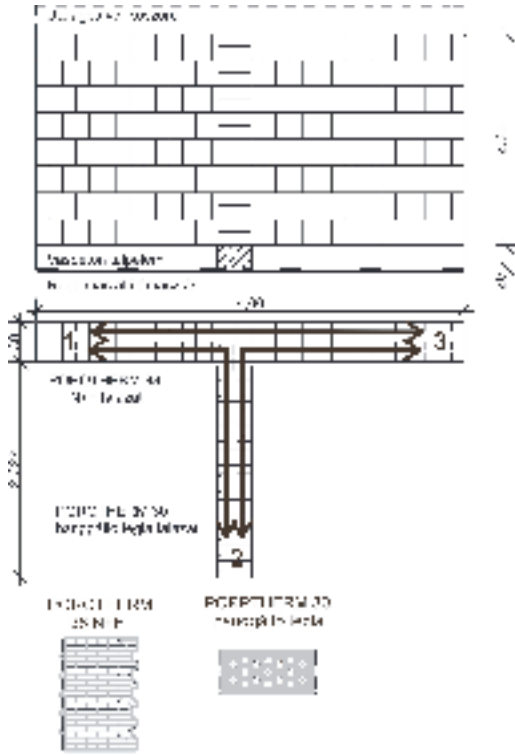
A II. feladatnál a következőképpen kellett eljárni.

1. általában a csomópontok méretezéshez alkalmazható valamilyen csillapítási jellemzőjét – $D_{v,ij}$ vagy $K(ij)$ – empirikusan, majd a laboratóriumi, vagy helyszíni mérési eredmények statisztikai feldolgozásával szokták megadni. Az aszimmetrikus T alakú szerkezeti csomópont esetében ez az eljárás nem alkalmazható, mert a csomópontban részvevő falszerkezetek specifikusak, és nem valószínű, hogy statisztikai értékelésre alkalmas adatmennyiséget sikerül előállítani. Ezért más eljárást kell választani.
2. A (3-5) összefüggések fizikai tartalmát elemezve látható, hogy általánosságban a $c(ij) = \gamma(ij) - K(ij)$ különbség a csomópontok formájától független, a szerkezetek jellemzőitől függ csak.
3. A fenti sajátosság alapján az ismert $K(ij)$ értékekkel rendelkező szimmetrikus T alakú csomópontra meghatároztuk a $c(ij) = \gamma(ij) - K(ij)$ különbséget. Ennek érdekében számítógépes program rendszer készült, amely a hajlító, nyíró és longitudinális hullámterjedések figyelembe vételével, félvégtelen terek közötti hullámterjedésekkel számolva kiszámítja γ_{ij} értékeit.
4. Elméleti megfontolások alapján a $c(ij) = \gamma(ij) - K(ij)$ különbség a szimmetrikus és aszimmetrikus T alakú csomópontokban azonos lesz, így a 3. lépés számításait megismételve aszimmetrikus csomópontokra meghatározhatók az aszimmetrikus T alakú csomópont $K(ij)$ értékei is. Természetesen nagymennyiségű próbaszámítást kellett elvégezni, hogy a fajlagos tömegek arányához elegendő pontossággal illeszthessünk görbéket, az egyes szerkezeti összetevők adatait pedig valóságos építőanyagok, elemek és épületszerkezetek adatai alapján vettük fel (beton, mészhomok elemekből, könnyűbeton elemekből, kerámia alapanyagú elemekből, stb. készült falak kombinációi).

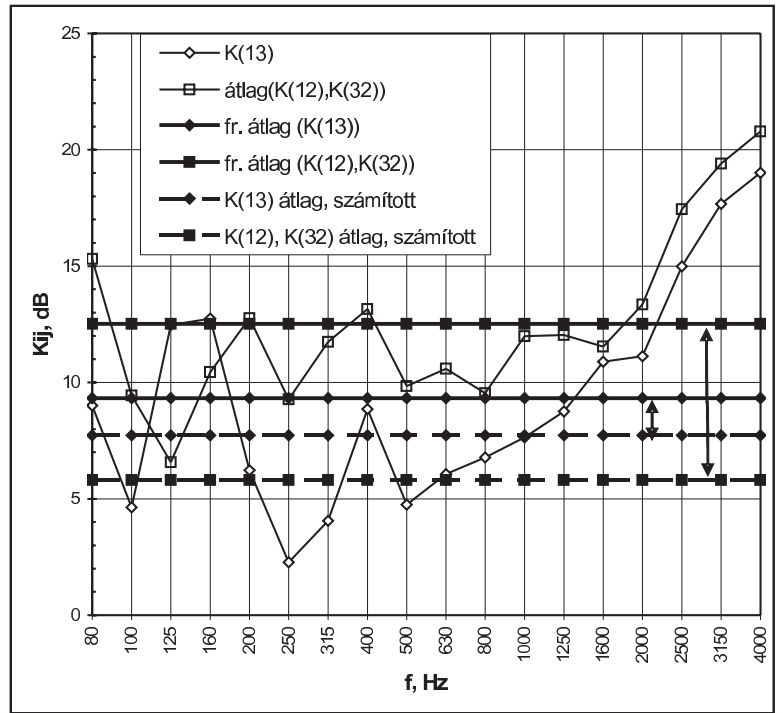
A 4-5. ábrák a számítás részleteit szemléltetik az 1-2 testhang terjedési irányra, a 6. ábra pedig összefoglalóan mutatja be az aszimmetrikus T alakú csomópontok csomópont $K(ij)$ értékeit.

A III. feladat megoldása során az alábbi lépések történtek:

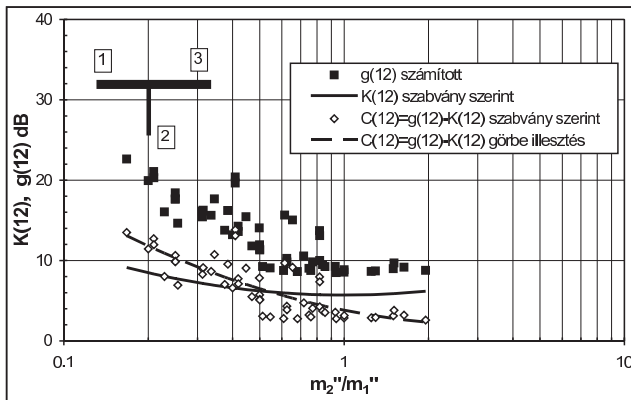
1. Összegyűjtöttük olyan lakóépületekben végzett helyszíni léghangszigetelési mérések eredményeit, amelyek mérések helyszínei a szükséges mértékig fel voltak tárva (méretek, határoló szerkezetek, burkolatok, anyagféleségek); Az adatgyűjtés nem reprezentatív, az az igény, hogy a helyszín fel legyen tárva, erős szűrőnek bizonyult;
2. Specifikáltuk a lakóépületekben jellegzetesen előforduló alaprajzi elrendezéseket, ezek leggyakrabban előforduló része a 7. ábrán látható. A szereplő szerkezeti csomópontok X, szimmetrikus és aszimmetrikus T, L alakúak;
3. Adatgyűjtést végeztünk a szereplő építőanyagokra és épületszerkezetekre. Ahol rendelkezésre állt, ott a kerülőutas nélküli laboratóriumban meghatáro-



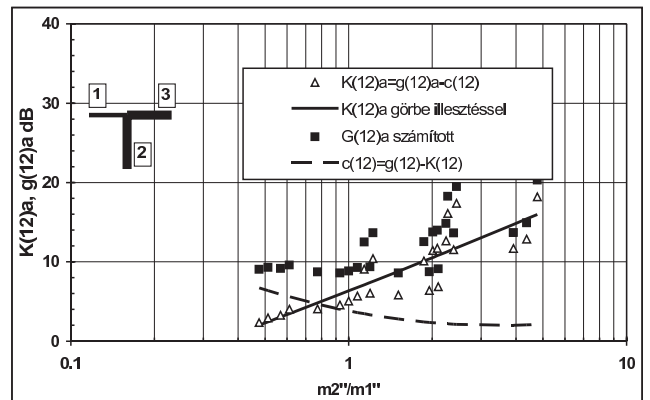
2. ábra: T alakú csomópont laboratóriumi modellje



3. ábra: Mérési eredmények Porotherm 30 hanggátló téglából és Porotherm 38 N+F falazóelemből készült T alakú falmodel csomópontonra



4. ábra: Aszimmetrikus T alakú csomópont rezgéscsökkentési tényezőjének meghatározása, példa, 1-3. lépés



5. ábra: Aszimmetrikus T alakú csomópont rezgéscsökkentési tényezőjének meghatározása, példa, 4. lépés

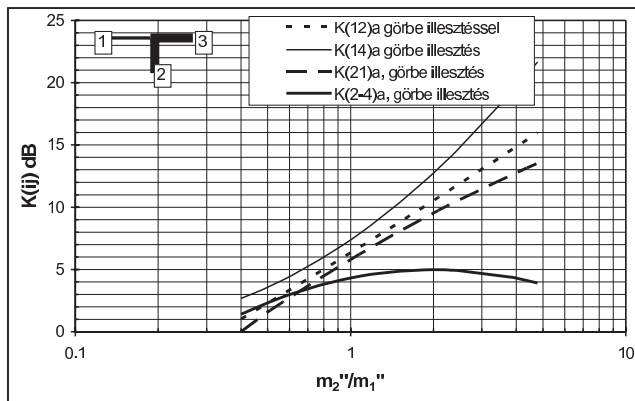
zott hangszigetelési jellemzőket (termékjellemező) vettük alapul. Ahol ez nem áll rendelkezésre, ott a fajlagos tömeg alapján becsültük meg a léghangszigetelési termékjellemezőket. Az úszópadló akusztikai hatását az úsztató réteg termékjellemezője alapján becsültük.

4. Egyszerűsített módszerrel, tehát a súlyozott és átlagolt adatokkal meghatároztuk a helyszíni léghangszigetelés súlyozott és átlagos értékét és összevetettük ezt a mérési eredményekkel. Ennek az összevetésnek az eredményét mutatja be grafikus formában a 8. ábra.

A kiegészített egyszerűsített [3] méretezési módszer alapján meghatározott helyszíni hangszigetelési jellemző

felhasználását illetően a következtetések az alábbiak:

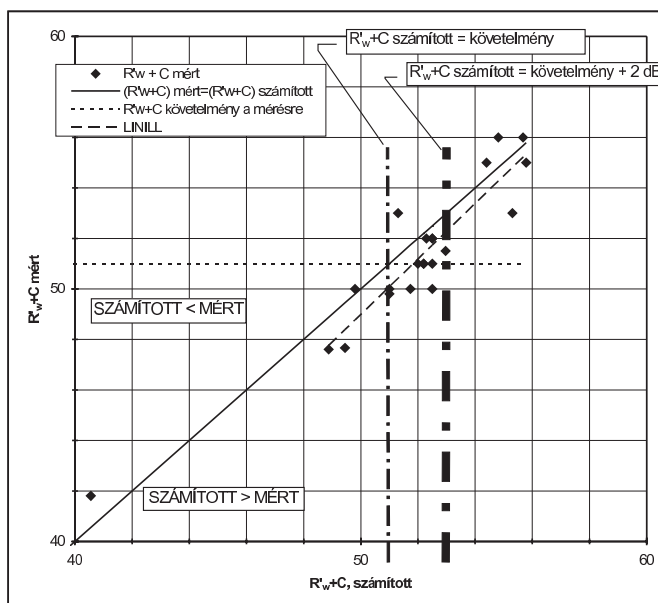
- Ha egy helyszíni szituációra vonatkozó számítás eredménye pontosan teljesíti az $R'_w + C \geq 51$ dB hangszigetelési követelményt, az nem garantálja azt, hogy egy szabványos mérési módszer szerint végzett ellenőrzés ugyanarra a szituációra szintén a követelmény teljesülését fogja eredményezni;
- A fenti megállapítás alapján az ellenőrző számítás eredményét az $R'_w + C = 51$ dB érték környezetében három zónára kell osztani:
- Ha a számítás eredménye kisebb, mint 51 dB, akkor a helyszíni méréssel végzett ellenőrzés szerint az $R'_w + C \geq 51$ dB hangszigetelési követelmény várhatóan nem teljesül;



6. ábra: Aszimmetrikus T alakú csomópont rezgéscsökkentési tényezői a különböző terjedési irányokban



7. ábra: Alaprajzi elrendezések, amelyekre a próbaszámítások történtek



8. ábra: A méretezési eljárás pontossága

- Ha a számítás eredménye $R'_w + C \geq 53$ dB, akkor az 51 dB értékű helyszíni követelmény várhatóan teljesülni fog;
- Ha a számítás eredménye 51 dB és 53 dB között van, akkor további megfontolások, ellenőrzések szükségesek.

Az ebben a fejezetben összefoglaltak részletesebben is megtalálhatók többek között a [7, 8, 9] hivatkozásokban.

4. A kávatégla alkalmazásával összefüggő akusztikai feladatok

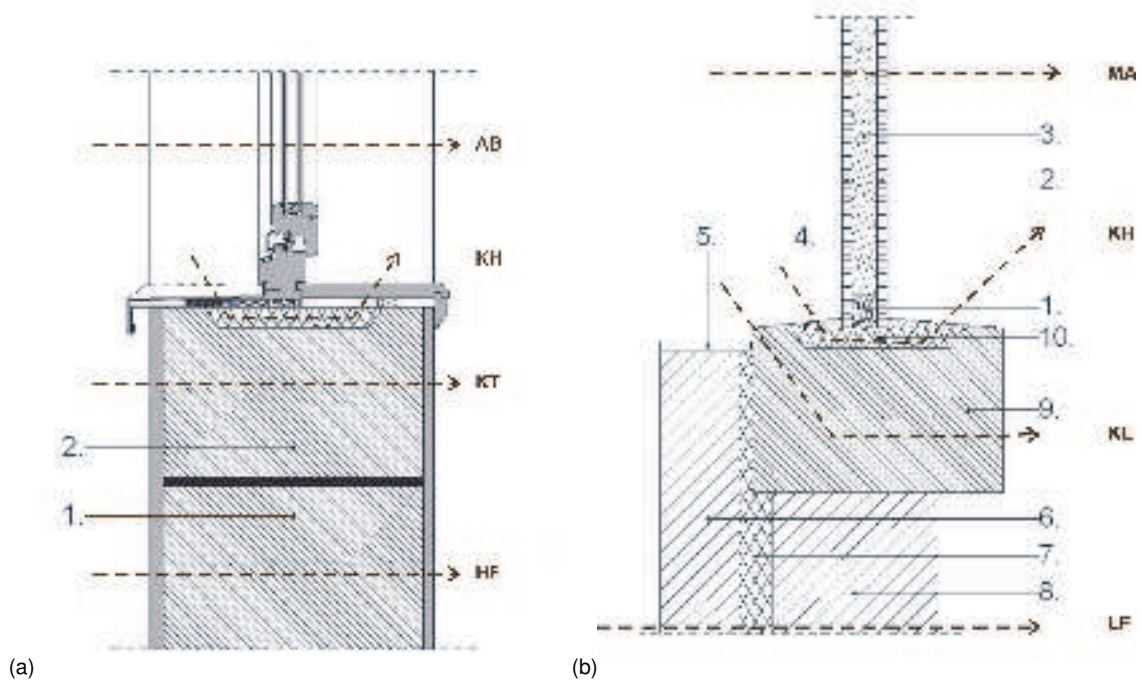
A kávatégla kerámia alapanyagú falazóelem, melyet az ablakok körüli kerülőutas hőterjedés lecsökkentése érdekében fejlesztettek ki és kezdtek alkalmazni. Belső szerkezete a falsíkkal párhuzamos, lamellás jellegű, tehát a hőszigetelés igények alapján fejlesztették ki, gyakorlatilag megfelel az azonos vastagságú, hőszigetelési igények alapján kifejlesztett falazóblokk belső szerkezetének.

Egyik oldalán néhány centiméter széles és mély hornyot tartalmaz, amelyet a beépítés során kemény PS habbal töltenek ki. Az ablakokat három oldalról (alsó vízszintes és a két függőleges) veszi körül. Egy jellemző beépítés függőleges metszete látható a 9(a). ábrán. Az 1. elem a hőszigetelő falazóblokk, a 2. jelű elem az egész méretű kávatégla.

Az ábrán bejelöltük a helyszíni körülmények közötti hangterjedési utakat is, ezek, és a rájuk jellemző hangszigetelés az alábbiak:

AB hangterjedés az éppen alkalmazott ablakon keresztül, ez ablakok hangszigetelésének szabványos mérésével [10, 11] meghatározható;

KH hangterjedés a kávatéglaiba illesztett, vakolattal, párkánnyal, könyöklővel takart hőszigetelő lemezen keresztül, erre a hangterjedésre nincs adat, nincs vizsgálati módszer; ez a hangterjedés tipikusan kerülőutas jellegű;



9. ábra: (a) Ablak helyszíni beépítési csomóponti vázlat kávatéglával, függőleges metszet. (b) Ablak modell laboratóriumi beépítés függőleges metszet vázlata.

KT közvetlen hangterjedés a kávatéglán keresztül; miután a kávatégla belső szerkezete megegyezik a hőszigetelő falazóelemek belső szerkezetével, a kávatégla közvetlen hanggátlását azonosnak vehetjük a hőszigetelő falazóelemekből készülő fal hanggátlásával;

HF közvetlen hangterjedés a hőszigetelési célból kifejlesztett homlokzati falazóelemekből készült falon keresztül; e hangterjedés vizsgálatára szabványos mérési módszer áll rendelkezésre, így a hangterjedés számszerűen is ismertnek tekinthető.

A fentiek alapján a homlokzati szerkezetek közlekedési zaj elleni védelem céljából történő méretezésének megalapozásához két megoldandó feladat határozható meg:

I. Számszerűsíteni kell a KH jelű hangterjedési utat, olyan módon, hogy a mérési módszer illeszkedjen a hangszigetelés vizsgálatok általános és részletes szabályaihoz;

II. Ki kell egészíteni a homlokzat hangszigetelésének méretezésével összefüggő két szabványt [10, 11].

A megoldás lépései a következők voltak

1. Létre kellett hozni egy „műablakot”, melynek peremvastagsága megegyezik a szokásosan alkalmazott ablak profilok vastagságával (56 mm, illetve 68 mm);
2. Meg kellett határozni ennek a „műablaknak” a lég-hanggátlását szabványos beépítésben, szabványos körülmények között [10, 11];
3. Az ablak vizsgálatra szolgáló falnyílást át kellett építeni olyan módon, hogy a három él mentén a

falnyílás körül a kávatégla legyen beépítve az alkalmazás szabályainak megfelelően, vagy azt modellezve; ennek a beépítésnek függőleges metszete látszik a 9(b). ábrán; Az ábrán a számozott szerkezeti elemek jelentése a következő:

1: a műablak pereme; 2. a műablak kéreg lemezei; 3: a műablak belsejében a száraz homokkal kitöltött üreg; 4. a polisztirol lemez takarása; 5: rés záró gipszkarton lemez; 6, 8: laborfal téglából; 7. szálás szigetelőanyaggal kitöltött dilatáció a laborfal rétegei között; 9: Kávatégla; 10. PS anyagú hőszigetelő lemez;

4. Szabványos mérési eljárással meghatároztuk az ábrán látható elrendezés lég-hanggátlását laboratóriumi beépítésben; a mért eredmény a következő, az ábrán is bejelölt hangterjedések eredője:

MA Hangterjedés a műablakon keresztül, ez a hangterjedés, illetve hangszigetelés a 2. pont szerint ismert;

KL Közvetlen hangterjedés a kávatéglán keresztül, ez a hangterjedés azonosnak tekinthető a hőszigetelő falazóelemből készült falazat lég-hanggátlásával, ismert, de figyelembe kell venni a méreteket is;

LF hangterjedés a laborfalon keresztül, ez a vizsgáló laboratórium, mint mérő berendezés jellemzője, ezért ismert, egyébként a jelen esetben elhanyagolható;

KH hangterjedés a kávatéglába illesztett, takart hőszigetelő lemezen keresztül.

5. Az ismert elemekből, a méreteket is figyelembe véve energia alapú kivonással meghatározható a

PS lemezen keresztül vezető hangterjedési út hangszigetelési jellemzője a D_n jelű szabványos hangnyomásszint különbség, vagy az R jelű, lényegében kerülőutas léghanggátlás.

Az összefüggések ismertek, illetve elemi egyenlet rendezéssel levezethetők, ezért közlésük helyett egy mérési eredmény sorozatot mutatunk be grafikusán a 10. ábrán.

Az eredményt, azaz a beépítési mérethez vonatkozó kerülőutas léghanggátlási számot a 160 Hz – 5000 Hz tartományban lehetett meghatározni, 160 Hz alatt a kerülőutas hatás e módszer szerint nem különíthető el.

A következők állapíthatók meg:

- Létezik és számításba veendő a kerülőutas hangterjedés a kávéatéglához tartozó PS hőszigetelő lemezen keresztül;
- E hangterjedés lerontja a beépített ablak léghanggátlását és még a nem túl nagy hanggátlású ablakszerkezeteknél is ($R_w > 36$ dB) figyelembe kell venni;
- A jelenség méretfüggő, a négyzet alakú ablakokra kisebb a súlya, mint a téglalap alakú ablakokra, hiszen ez utóbbi szerkezeti formáknál a kerület/terület arány nagyobb.

További feladatok a teljesség igénye nélkül:

- Nagyobb hanggátlású „műablak” kifejlesztése;
- A kávéatéglás ablak beépítés szerkezeti részleteinek pontosítása, az ablak optimális helyének meghatározása a falnyílásban;
- A takaróelemek hatásának részletes vizsgálata;
- A méretek hatásának ellenőrzése.

Az ebben a fejezetben ismertetett anyag a [12] hivatkozásban található részletesebben.

5. Példák a termékfejlesztéssel és az alkalmazási korlátok megállapításával kapcsolatos feladatokra

A termékfejlesztéssel összefüggő, illetve a termékek akusztikai célú alkalmazásával összefüggő feladatok az alábbi két, egymással természetesen összefüggő témakörhöz kapcsolódnak:

I. A 90-es évek elején erőteljesen megjelentek a hőszigetelési célból kifejlesztett homlokzati falazóelemek. Ezekről a belső hangszigetelés méretezésével kapcsolatos egyes elméleti stúdiumok ismertetése során volt már szó. E kerámia alapanyagú, üreges, a falsíkkal párhuzamos lamellákból felépülő falazóelemekből készült falak hanggátlása sokkal kisebb, mint azt fajlagos tömegük alapján becsülni lehet. E témakörrel számos publikáció született, a jelenség tanulmányozásának és empirikus leírásának korai szakaszából származnak a [13, 14] cikkek.

Tapasztalatunk szerint a vastagsági rezonancia jelensége ténylegesen megfigyelhető a falazat akusz-

tikai viselkedésében, de nem ez az oka a hanggátlás csökkenésnek.

E témakörben a lehetőség részben annak vizsgálata volt, hogy jelent-e a lecsökkent hanggátlás alkalmazási korlátot a közlekedési zaj elleni védelem feladatának megoldása során. Másrészt részleteiben elemezve a hangszigetelés jelenség fizikai okait kiegészítő burkolatokkal sikerült a hangszigetelés fokozását elérni.

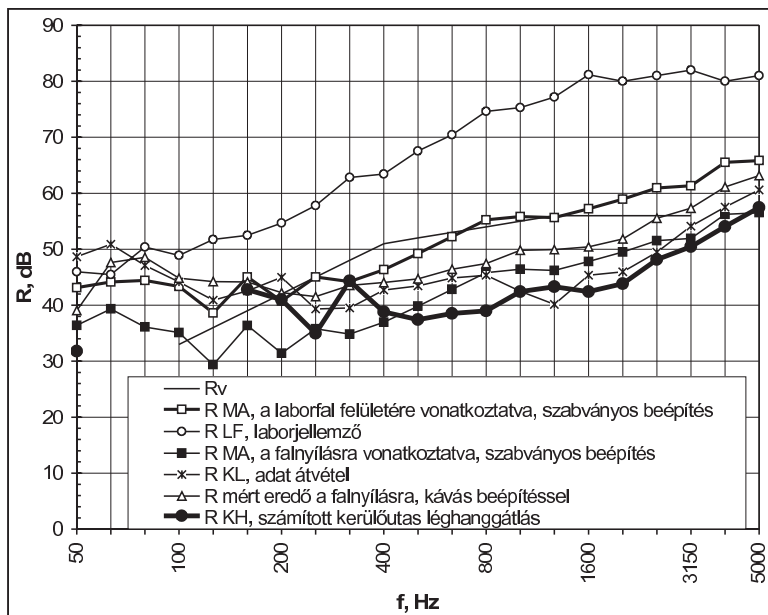
II. A 90-es évek elejére a lakásépítésben kialakult szerkezeti megoldások közül hiányzott az a falszerkezet, amelyet lakások között, illetve lakások és közlekedő területek között biztonsággal alkalmazni lehet a szükséges hangszigetelés elérése szempontjából. Tulajdonképpen a 25-ös kisméretű téglából készült fal volt az egyetlen szerkezeti megoldás a homogén, tehát burkolatok nélküli falszerkezetek közül. Ezért volt jelentős eredmény a Porotherm 30 hanggátló téglá megjelenése, amely 30 cm vastagságával és 520 kg/m^2 -t meghaladó fajlagos tömegével általánosan alkalmazható, biztonságos megoldást nyújtott.

A hangszigetelési és szerkezeti sajátosságok, valamint a hazai hangszigetelési követelmények rendszere vezetett a Porotherm 30/24 hanggátló téglá bevezetésére, amelyből mind 30 cm, mind 24 cm vakolatlan vastagságú falazat készíthető, ilyen módon nemcsak a lakások közötti falszerkezetekre jelent megoldást, hanem a közlekedő terület-lakás kapcsolatra is.

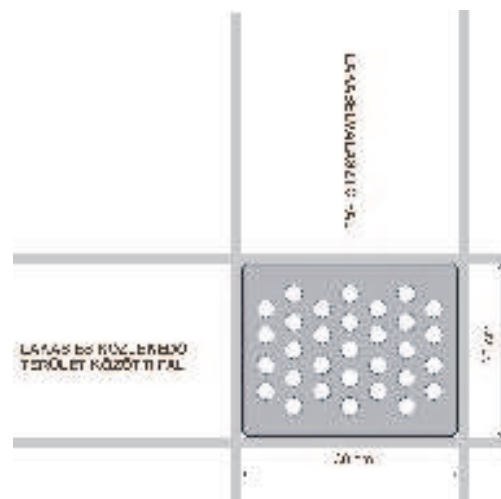
Az I. feladat kapcsán a következő részfeladatokat oldottuk meg:

1. Rendszereztük a közlekedés okozta homlokzati zajterhelés adatait nappali és éjszakai időszakban, jellegzetes, méretezésnél felvehető értékeket állapítottunk meg;
2. Rendszereztük a lakóépületek alaprajzi példáit és típus alkalmazásokat állapítottunk meg;
3. Az [5] szabvány segítségével próbaszámításokat végeztünk az 1. és 2. halmaz elemeire, az eredményeket értékeltük.
4. Megállapítottuk, hogy városi főútvonalak mellett levő, tehát a nappali időszakban $L_{Aeq} \geq 70$ dB közlekedési zajnak kitett lakóépületek esetében a homlokzat hangszigetelésének méretezése során fokozott gonddal kell eljárni, mert sok olyan alaprajzi és méret kombináció fordul elő, ahol a szükséges hangszigetelés elérésének korlátja a lakószobák homlokzati falszerkezetének nem elegendő hanggátlása. A kritikus időszak inkább az éjszakai, a kritikus alaprajzi helyzet leginkább a sarok elhelyezés.

A II. feladat megoldásához elméleti eszközként a 3. fejezetben ismertetett eredményekre támaszkodtunk. Részletes tömeg elemzéseket és a habarcsokra vonatkozóan összehasonlító jellegű rugalmassági modulus méréseket végeztünk. Modelleztük a lehetséges kivitelezési



10. ábra: Mérési eredmények bemutatása



11. ábra: A Porotherm 30/24 falazóelem alkalmazási lehetőségei

és falazóelem hibákat is. Ezen munkarészek alapján az alábbiakat lehetett általánosan kijelenteni:

1. A vasbeton vázas, kitöltő falas és a téglá teherhordó falas építési módokkal épülő lakóépületekben a Porotherm 30/24 hanggátló téglából készülő falszerkezet alkalmas lakáselválasztó falként, 30 cm vastagságban beépítve. A szokásos falazó és vakoló habarcsok nem befolyásolják érdemben a hanggátlást. A falazási hézagok legfeljebb 1.5 cm szélesek lehetnek. A vakolat minimális vastagsága 1 cm. Hasonlóképpen alkalmas a Porotherm 30 hanggátló téglá is, a feltételek azonosak.
2. Mindkét falazóelemre vonatkozóan az alkalmazás további akusztikai számítások nélkül akkor lehetséges, ha a födém monolit vasbeton szerkezetű, vagy ezzel egyenértékű, például PROFIPANEL. A födém legalább 20 cm vastag. Előnyben kell részesíteni az úszópadló alkalmazását, a padlóburkolat legalább 25 dB-lel kell hogy javítsa a burkolatlan födém lépéshang szigetelését. A homlokzaton megengedhető a hőszigetelési célból kifejlesztett kerámia alapanyagú falazóelemekből készülő falazatok alkalmazása.
3. Meghatároztuk a falazóelem minimális tömegét. A kivitelezési módot illetően megállapítottuk, hogy mind az álló, mind a fekvő hézagokat teljes keresztmetszetben ki kell tölteni habarccsal, a legfelső sor felett vázas épületekben legfeljebb 2 cm magas PU hab kitöltés lehetséges. A PU hab réteget le kell takarni vakolattal.
4. A falazat hanggátlását egyik esetben sem rontja le, ha bevésett vezetéseket helyeznek el benne. A fali elektromos csatlakozó dobozokat a szemközti oldalon legalább 0.5 méter távolságra kell elhelyezni.
5. A Porotherm 30/24 falazóelemből 24 cm vastag-

ságban beépítve készülhet a lakás és közlekedő terület közötti falazat, az 1-4 pontban részletezett kivitelezési szabályok betartásával. A kétféle alkalmazást szemlélteti a 11. ábra.

6. Összefoglalás

Az épületek akusztikai minőségével összefüggő feladatok megoldása során elengedhetetlen az akusztikai minőség megtervezéséhez szükséges műszaki ismeretek megszerzése, megalapozása. Maga az épületakusztikai tervezés akkor hatékony, ha illeszkedik az építészeti tervezéshez, részletesebben a szilárdsági, épületszerkezeti, hő és páratechnikai tervezéshez.

A szükséges műszaki ismeretek megszerzése elméleti, számításos és kísérleti modellezés alapján egyaránt lehetséges, mindig valóságos körülményekből kell kiindulni és a modellezés eredményeit vissza kell vezetni a tervekben, műszaki leírásokban megtestesülő gondolatokhoz.

A mi szellemi és gazdasági környezetünkben nem várható el, hogy minden egyes lakóépület létrehozásához akusztikai tervezés is történjen. Ha azonban lehatároljuk az épület rendeltetését, körülírjuk az alkalmazandó anyagokat és szerkezeteket, akkor kidolgozható olyan információs anyag, amely az adott körben az akusztikai minőség létrehozásához szükséges ismereteket gyakorlatorientáltan, más szakterületek számára alkalmazhatóan foglalja össze.

Hivatkozások

- [1] F. Reis. Theory and practical application of elastical coupling in double walls. In *Proceedings of InterNoise 2004*, Prague, 2004.
- [2] F. Reis. *Az épületakusztika alapjai, épületek akusztikai tervezésének gyakorlata*. Terc Kiadó kft., Budapest, 2003.

- [3] MSZ EN 12354-1:2000. Épületakusztika. Épületek akusztikai minőségének becslése az elemek teljesítőképessége alapján. 1. rész: Helyiségek közötti léghangszigetelés. Technical report, 2000.
- [4] MSZ 15601-1:2007. Épületakusztika. 1. rész: Épületen belüli hangszigetelési követelmények. Technical report, 2007.
- [5] MSZ 15601-2:2007. Épületakusztika. 2. rész: Homlokzati szerkezetek hangszigetelési követelményei. Technical report, 2007.
- [6] MSZ EN 12354-3:2000. Épületakusztika. Épületek akusztikai minőségének becslése az elemek teljesítőképessége alapján. 3. rész: Homlokzatok léghangszigetelése külső zaj ellen. Technical report, 2007.
- [7] F. Reis. Product standards – measuring standards – prediction standards. In *Proceedings of 19th International Congress on Acoustics*, Madrid, Spain, 2007.
- [8] F. Reis. The sound insulation of hollowed blocks from the point of view of sound insulation between rooms. In *Proceedings of EuroNoise 2003*, Naples, Italy, 2003.
- [9] F. Reis. Vibration transmission of asymmetric T form junctions. In *Proc of the 17th International Congress on Acoustics*, Rome, Italy, 2001.
- [10] MSZ EN ISO 140-3:1998. akusztika. Épületek és épületelemek hangszigetelésének vizsgálata. 3. rész: Épületelemek léghangszigetelésének laboratóriumi vizsgálata. Technical report, 1998.
- [11] MSZ EN ISO 140-1:2000. akusztika. Épületek és épületelemek hangszigetelésének vizsgálata. 1. rész: Kertülő utas hangátvitel nélküli laboratóriumi mérőhelyiségekre vonatkozó követelmények. Technical report, 2000.
- [12] F. Reis. The acoustical effect of reveal blocks, from measuring method to prediction. In *Proc of Acoustics08*, Paris, France, 2008.
- [13] K. Gösele. Verringerung der Luftschaldämmung von Wänden durch Dickenresonanzen. *Bauphysik*, 12, 1990.
- [14] K. Gösele and R. Kurz. Schall-längsdämmung von leichten, massiven Aussenwänden bei übereinanderliegenden Räumen. *Bauphysik*, 14, 1992.