

MŪRINIŲ KONSTRUKCIJŲ GARSO IZOLIAVIMAS PAPILDOMAIS LANKSČIAIS SLUOKSNIAIS

Marius Mickaitis¹, Aleksandras Jagniatinskas², Boris Fiks³

¹Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Pylimo g. 26/Trakų g. 1, LT-01132 Vilnius, Lietuva

^{2,3}Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Termoizoliacijos institutas, Linkmenų g. 28,
LT-08217 Vilnius, Lietuva

El. paštas: ¹mickaitis@gmail.com; ²aljagn@takas.lt; ³borisasf@termo.vgtu.lt

Įteikta 2010 12 01; priimta 2011 03 01

Santrauka. Siekiant sukaupti žinių, kaip užtikrinti naujų gyvenamųjų namų atitiktą privalomosios C garso klasės bei padidinto akustinio komforto A ir B garso klasių reikalavimams pagal STR 2.01.07:2003 reglamentą, teoriniais skaičiavimais bei eksperimentiniais tyrimais nustatytas butus skiriančių sienų ore sklindančio garso izoliavimo pagerėjimas įrengiant papildomą sienų dangą. Eksperimentiniai tyrimai buvo atliekami natūrinėmis sąlygomis matuojant silikatinių plytų ir keramzitbetonio blokelių mūro sienas. Darbe aprašyti teorinio skaičiavimo ir natūrinių matavimų modeliai vienparametrium oro garso izoliavimo rodikliui nustatyti. Parodyta, kaip natūrinių ore sklindančio garso izoliavimo matavimų rezultatai patalpose, kurių tūris didesnis nei 50 m³, gauti griežtai laikantis ISO 140 bei ISO 717 serijos standartų reikalavimų, priklauso nuo įvertinimo dažnių pločio. Remiantis šio darbo rezultatais nustatyta, kad svartinio oro garso izoliavimo pagerėjimas dažnių juostoje nuo 100 Hz iki 3150 Hz priklauso ne tik nuo dangos, bet ir nuo pagrindinės sienos charakteristikų. Žemųjų dažnių rezonansas, atsirandantis dėl papildomos sienos dangos, gali sumažinti svartinį garso izoliavimo rodiklį, nustatomą dažnių juostoje nuo 50 Hz iki 3150 Hz. Į tai būtina atsižvelgti projektuojant pastatų mūrinių konstrukcijų garso izoliavimo gerinimą papildomais lanksčiais sluoksniais ant tampriųjų ryšių.

Reikšminiai žodžiai: akustika, natūrinės sąlygos, akustiniai matavimai, atitvarinės konstrukcijos, papildoma dangą, ore sklindančio garso izoliavimo pagerėjimas.

1. Įvadas

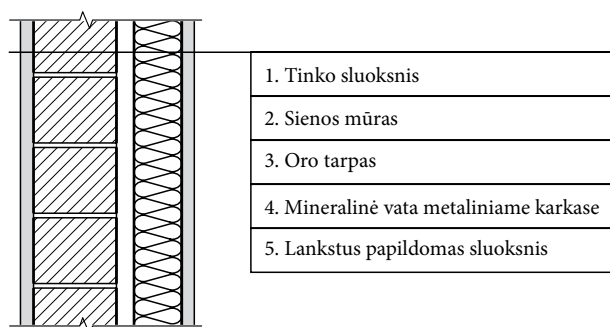
Pastatų atitvarinių konstrukcijų (sienų tarp butų) ore sklindančio garso izoliavimo reikalavimai nustatyti statybos techniniame reglamente „Pastatų vidaus ir išorės aplinkos apsauga nuo triukšmo“ (STR 2.01.07:2003). Pagal šio reglamento 1 lentelę naujų gyvenamųjų namų sienų tarp butų vienparametrium oro garso izoliavimo rodiklių vertės, įvertintos dažnių diapazone nuo 100 Hz iki 3150 Hz, turi būti ne mažesnės kaip 55 dB. Tokią akustinę kokybę paprastai turi laikančiosios pastato sienos, tačiau norint naudoti lengvasias nelaikančių sienų tarp butų konstrukcijas arba siekiant sumažinti šių sienų storį, susiduriama su akustinės kokybės problemomis, kai oro garso izoliavimo rodiklio vertė

neatitinka norminių reikalavimų (Rasmussen 2010a, 2010b). Platesnio dažnių diapazono įvertinimas, pvz., nuo 50 Hz iki 3150 Hz, leidžia geriau aprašyti pastato akustinę kokybę ir vis plačiau naudojamas normavimo tikslams.

Projektavimo etapu sienų tarp butų konstrukcijos atitiktis STR reikalavimams dažnai klaidingai vertinama pagal laboratorinę garso izoliavimo rodiklio vertę. Tačiau natūrinėmis sąlygomis būtina papildomai įvertinti apylankinio garso perdavimo įtaką (Rindel 2007). Šiomis sąlygomis nelaikančių sienų konstrukcijų oro garso izoliavimo rodiklių vertės gali sumažėti keturiais ir daugiau decibelais, atsižvelgiant į sieną supančias konstrukcijas (perdangas, grindis, fasadą, vidines sie-

nas) ir jungtis tarp jų. Tokiais atvejais jau baigtuose statyti pastatuose pagerinti akustinę kokybę iki galiojančių reikalavimų yra dvi galimybės: 1) nugriauti netinkamos konstrukcijos sieną ir įrengti naują arba 2) papildomais sluoksniais padidinti esamos konstrukcijos oro garso izoliavimo savybes.

Šio darbo tyrimų objektai yra konstrukcijos, kurias sudaro pagrindinė siena ir papildomas lengvosios lakštinės medžiagos sluoksnis, tarpiaisiais ryšiais tvirtinamas prie nagrinėjamos sienos arba prie jos supančių atitvarų, nenaudojant standumo ryšio. Tokios konstrukcijos principinė schema yra pateikta 1 pav.



1 pav. Principinis daugiasluoksnių konstrukcijų vaizdas

Fig. 1. A principle view of multilayer construction

Šiose konstrukcijose pagrindinis sienos elementas įrengiamas iš plačiai mūsų šalyje taikomų medžiagų: silikatinių plytų bei keramzitbartonio blokelių. Papildomą pagrindinės sienos dangą sudaro konstrukcijos, kuriose naudojamos gipskartonio (sausjo tinko) plokštės, mineralinė vata bei jų deriniai. Papildomos konstrukcijos tvirtinamos taikant „atrištą“ metalinį karkasą su oro tarpu nuo mūro sienos arba be jo.

Šiame darbe eksperimentiniais tyrimais natūrinėmis sąlygomis siekiama patikslinti teorines prielaidas ir pateikti plačiai naudojamų nelaikančiųjų mūrinių konstrukcijų ore sklindančio garso izoliavimo pagerinimo papildomais lanksčiais sluoksniais, esant tampriam tvirtinimui, analizę.

2. Daugiasluoksnių konstrukcijų ore sklindančio garso izoliavimo teorinis modelis

Vieno sluoksnio konstrukcijų (pagrindinio sienų elemento) garso izoliavimui didžiausią įtaką daro lankstymo bangos. Jos susidaro, kai sluoksnio storis h yra mažesnis nei $1/6\lambda$, čia λ – lankstymo bangos ilgis esant f dažniui. Tai reiškia, kad praktiškai visada žemųjų dažnių srityje iki 200 Hz bangos yra sužadinamos, o

kai kuriais atvejais ir iki 500 Hz. Statybinės atitvarinės konstrukcijos visada nagrinėjamos dažnių intervale, prasidedančiame bent nuo 100 Hz (arba dabar vis dažniau ir išplėstame diapazone nuo 50 Hz) iki bendroju atveju 3150 Hz (arba iki 5000 Hz), ir būtina atsižvelgti į atsirandančių lankstymo bangų poveikį garso perdavimui (Gerretsen 1986).

Sklindančio garso energija atitvarinėje konstrukcijoje sužadina lankstymo bangą. Teoriškai nagrinėjama begalinė konstrukcija sužadinama difuzinio garso lauku. Lankstymo bangų ypatumas tas, kad jų greitis priklauso tiek nuo medžiagos charakteristikų, tiek nuo bangos dažnio (Заборов 1989). Žemųjų dažnių diapazone lankstymo bangos greitis yra mažesnis nei garso greitis ore. Dėl to konstrukcijoje sužadinami priversiniai svyravimai ir energija iš jos mažai spinduliuojama. Dažnių srityje iki $(0,3-0,5) f_{rib}$ galioja masės dėsnis. Didėjant dažniui f virš bangų sutapimo reiškinio dažnio f_{rib} (žr. 1 formulę), konstrukcijos matmenys ir tvirtinimo sąlygos mažiau veikia garso izoliavimą nei jos storis:

$$f_{rib} = \frac{c^2}{1,8c_1h}, \quad (1)$$

$$c_1 = \sqrt{\frac{E}{\rho(1-\nu^2)}}, \quad (2)$$

čia: c – garso greitis ore, m/s; c_1 – išilginių bangų greitis medžiagoje; h – konstrukcijos storis, E – dinaminis spūdumo modulis; ρ – medžiagos tankis, kg/m³; ν – Puasono koeficientas.

Rezonansai, kurie daro įtaką garso izoliavimo mažėjimui, gali atsirasti dažnių intervale nuo f_{rib} iki $2f_{rib}$ (tai sudaro apie vieną oktavos dažnių juostos plotį). Kai $f > f_{rib}$, izoliavimą veikia cilindrinis lankstymo standumas D , kuris apibrėžiamas formule:

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)}. \quad (3)$$

Ribinį dažnį pagal atitvaros medžiagos cilindrinio lankstymosi standumą aprašo ši formulė:

$$f_{rib} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{\rho h}{D}}. \quad (4)$$

Garso izoliavimo padidėjimas dažnių intervale $f > f_{rib}$ teoriškai yra apie 7,5 dB/okt., t. y. didesnis negu skaičiuojami 6 dB/okt. pagal masės dėsnį. Kai žemųjų dažnių diapazone izoliavimas priklauso nuo konstrukcijos masės, vidutinių dažnių diapazone jis didėja 7,5 dB per oktavą. Aukštųjų dažnių diapazone izolia-

vimo charakteristika išreiškiama horizontaliaja tiese. Toks modelis taikomas konstrukcijoms, kurių plotinis tankis yra 100–1000 kg/m². Šių konstrukcijų izoliavimo rodiklį R_w , kai $m' > 150$ kg/m², siūloma apskaičiuoti pagal apytikrą formulę (LST EN 12354-1):

$$R_w = 37,5 \lg(m'/m'_0) - 42, \text{ dB.} \quad (5)$$

Kaip sumažinti rezonanso įtaką taikant lakštines medžiagas, parodyta Matsumoto *et al.* (2006), Uris *et al.* (2002) publikacijose. Jose laboratoriniai matavimai įrodo, kaip daugiasluoksniomis konstrukcijomis galima pasiekti oro garso izoliavimo rodiklio vertes, didesnes kaip 60 dB. Atliktais eksperimentais parodoma (Uris *et al.* 2006), kad subalansuotos lengvasvorės konstrukcijos viduje naudojant papildomą lakštinių sluoksnį (gipskartonio plokštę) pasireiškia žemojo dažnio rezonansai, 7 dB mažinantys oro garso izoliavimo rodiklio vertę. Į šį faktą būtina atsižvelgti, nes šiame darbe tiriamas būtent pagrindinių konstrukcijų garso izoliavimo pagerėjimas dėl dangos su papildomais lakštinių medžiagų sluoksniais.

Kai papildoma danga įrengiama tiesiogiai prie pagrindinės konstrukcijos (be rėmų arba lanksčiais ryšiais), tokių elementų rezonanso dažnis f_0 apskaičiuojamas pagal tokią formulę:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}, \quad (6)$$

čia: s' – izoliacinio sluoksnio dinaminis standis; m'_1 – pagrindinio konstrukcijos elemento vienetinio ploto masė; m'_2 – papildomos dangos vienetinio ploto masė.

Kai papildoma danga montuojama taikant metalinius arba medinius rėmus ar lentjuostas, kurie tiesiogiai nesujungti su pagrindinės konstrukcijos elementu, ir kai tuštumos užpildytos porėtąja izoliacine danga, kurios oro varža $r > 5$ kPa s/m², tokių elementų rezonanso dažnis f_0 apskaičiuojamas pagal formulę

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{0,111}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)}, \quad (7)$$

čia d – tuštumos gylis.

Remiantis šiuo rodikliu galima nustatyti atitvaros oro garso izoliavimo pagerėjimo rodiklį ir natūrinėmis sąlygomis (LST EN 12354-1:2004). Mūrinių konstrukcijų su papildomais lanksčiais izoliuojamaisiais sluoksniais atlikti teoriniai skaičiavimai nėra tobuli (Gerretsen 1994), ypač kai reikia įvertinti apylankinio garso

sklidimą pro gretimas atitvaras. Papildomų lanksčių sluoksnių įtaka visos konstrukcijos garso izoliavimui, įvertinant apylankinį sklidimą, buvo tirama eksperimentiniu būdu.

3. Daugiasluoksnių konstrukcijų ore sklindančio garso izoliavimo natūrinių matavimų modelis

Laboratorinis garso izoliavimo (sumažėjimo) koeficientas R apibrėžiamas kaip krintančios ant bandomosios atitvaros garso galios W_1 santykio su praleista per bandinį garso galia W_2 dešimteriopas dešimtainis logaritmas (LST EN 12354-1:2004):

$$R = 10 \lg (W_1 / W_2), \text{ dB.} \quad (8)$$

Natūrinėmis sąlygomis gaunamas tariamasis garso izoliavimo (sumažėjimo) koeficientas R' apibrėžiamas kaip krintančios ant bandomosios atitvaros garso galios W_1 santykio su visa į priimamo garso patalpą patenkančia garso galia dešimteriopas dešimtainis logaritmas, kai per bandinį praleidžiama garso galia W_2 yra papildoma per gretutines arba kitas statinio dalis praleidžiama garso galia W_3 :

$$R' = 10 \lg [W_1 / (W_2 + W_3)], \text{ dB.} \quad (9)$$

Garso energijos ir garso slėgio sietis difuzinio garso lauko sąlygomis leidžia garso izoliavimą skaičiuoti pagal formulę:

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

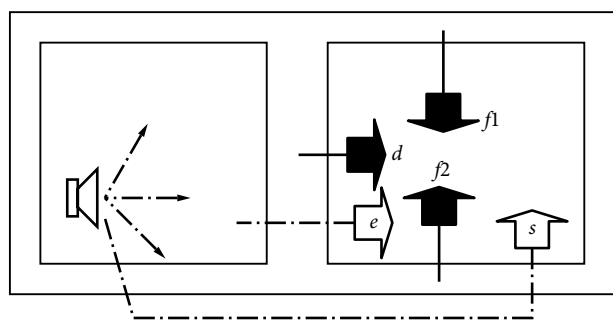
čia: L_1 – vidutinis garso slėgis siunčiamojo garso patalpoje; L_2 – vidutinis garso slėgis priimamojo garso patalpoje; S – bandinio plotas, lygus bandymo angos plotui (atliekant laboratorinius matavimus) arba patalpų skiriančios atitvaros bendros dalies plotui (natūrinėmis sąlygomis); A – lygiavertis garso sugerties plotas priimamo garso patalpoje.

Laboratorinėmis sąlygomis garso laukai abiejuose kameroje yra difuziniai, ir sklindantis į priimamo garso patalpą garsas praleidžiamas tik per bandinį, t. y. visi apylankiniai ir garso sklidimo konstrukcijomis keliai pakankamai nuslopinti. Reikalavimai apylankinių kelių slopinimui standartizuoti ir apibūdina laboratorinės įrangos viršutinę garso izoliavimo matavimo ribą, o natūrinėmis sąlygomis apylankinių kelių slopinimas priklauso nuo gretutinių konstrukcijų standumo ryšių perdavimo koeficientų, ir tai riboja pasiekiamą faktinį garso izoliavimą.

Natūrinėmis sąlygomis įvertinama visa papildomai priimamo garso patalpoje netiesiogiai perduodama akustinė energija, t. y. netiesioginis garso perdavimas iš siunčiamo garso patalpos į priimamo garso patalpą, vykstantis ne tiesioginio perdavimo, o ir kitais keliais (Jagniatinskis, Fiks 2004). Jį galima skirstyti į ore sklindantį garso perdavimą (pvz., per ventiliacijos sistemas, kabamąsias lubas ir koridorius) ir konstrukcijomis sklindantį garso perdavimą per vibraciją (pvz., per sienas, grindis, lubas). Pastarasis vadinamas apylankiniu garso perdavimu (2 pav.).

Tokiu būdu natūrinėmis sąlygomis išmatuotas (LST EN ISO 140-4:2002, LST EN ISO 140-14:2006, LST EN ISO 354:2006) garso izoliavimo koeficientas R' , kaip įprasta, bus mažesnis nei laboratorinis tos pačios atitvaros rodiklis R . Kad šis sumažėjimas būtų kuo tiksliau prognozuojamas, reikia papildomai žinoti nagrinėjamą atitvarą supančių elementų vibracinius ir akustinius rodiklius, ko daugeliu atvejų statybos sąlygomis padaryti nepavyksta.

Praktikoje dėl apylankinių ir netiesioginių garso perdavimo, taip pat dėl supančių nagrinėjamą sieną atitvarų savybių ir jungčių oro garso izoliavimo rodiklių vertės gali mažėti iki 10 dB. Šiais atvejais reikia atskirų išsamių tyrimų. Šiame darbe tokios problemos nenagrinėjamos.



2 pav. Įvairių garso sklidimo kelių į priimamo garso patalpą vaizdas: d – spinduliuojama tiesiogiai nuo skiriančios atitvaros; $f1$ ir $f2$ – spinduliuojama nuo apylankinių elementų; e – spinduliuojama nuo elementų (komponentų), įmontuotų į skiriančią atitvarą; s – spinduliuojama netiesiogiai nuo patalpoje garsą perduodančių konstrukcijų sistemų

Fig. 2. The illustration of different contributions to the total sound transmission to the room: d – radiated directly from the separating element; $f1$ and $f2$ – radiated from flanking elements; e – radiated from components mounted in the separating element; s – indirect transmission

4. Teorinių skaičiavimų ir natūrinių matavimų rezultatų analizė

Šiame skyriuje bus pateikti teorinių skaičiavimų (LST EN 12354-1:2004) ir natūrinių matavimų (LST EN ISO 140-4:2002) rezultatai bei eksperimentinių rezultatų vienparametris įvertinimai (LST EN ISO 717-1:1999) sienų konstrukcijų, kurių pagrindą sudaro plačiai statyboje naudojami mūro elementai, pvz., silikatinės plytos bei keramzitbetonio blokėliai.

Sienų konstrukcijos iš silikatinų plytų mūro

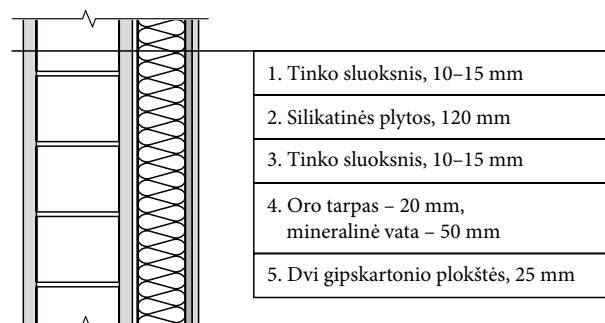
Daugiasluoksnės konstrukcijos brėžinys pateiktas 3 pav. Natūriniais matavimais buvo įrodyta, kad 120 mm storio silikatinų plytų mūras su mineraline vata ir gipskartoniui ant atrišto karkaso, įrengto tik iš vienos sienos pusės, gali tenkinti C garso klasės reikalavimus.

Palyginimui buvo nagrinėjama konstrukcija, kai vienodo karkaso simetrinė apdaila buvo įrengiama iš abiejų mūro pusių. Rezultatai pateikti 4 pav. ir 1 lentelėje. Šiuo atveju teorinių skaičiavimų rezultatai nepateikiami, nes nėra tokio tipo konstrukcijų rezonanso įtakos skaičiavimo metodikos.

Lyginant natūrinių tyrimų ir teorinių skaičiavimų rezultatus (1 lentelė), galima pastebėti, kad garso sklidimo per mūro plyšius įtaka garso izoliavimo rodikliui siekia iki 8 dB. Aptinkavus konstrukciją užtikrinamas mūro konstrukcijos sandarumas ir pasiekama tinkama praktiniam naudojimui 2 dB neatitiktis tarp matavimų ir skaičiavimų

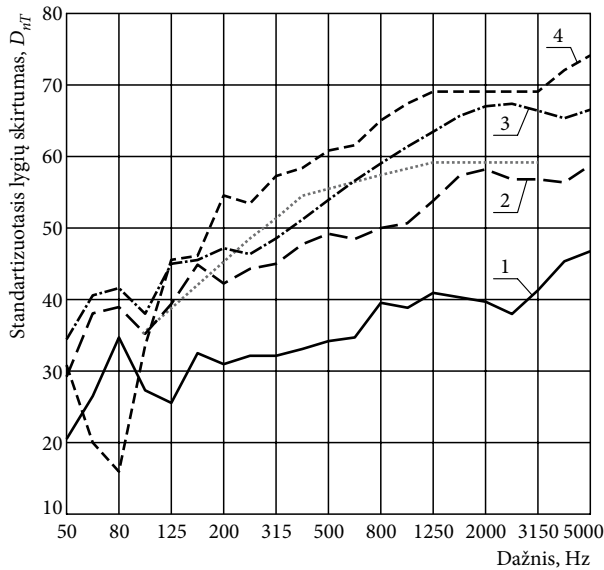
Sienų konstrukcijos iš keramzitbetonio blokėlių

Pirmame eksperimente tiriamas 250 mm pločio 800 kg/m^3 tankio keramzitbetonio blokėlių mūras, padengtas papildoma danga (5 pav.). Bandymų ir teorinio skaičiavimo rezultatai pateikti 6 pav. bei 2 lentelėje.



3 pav. Konstrukcijos iš silikatinų plytų mūro

Fig. 3. Wall construction from silicate bricks



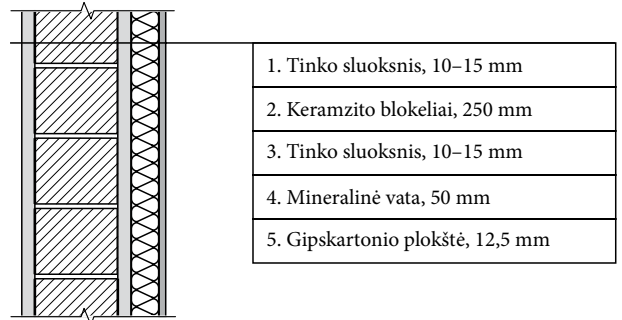
4 pav. Įvairių konstrukcijos sluoksnių D_{nT} rodiklio atskaitos 55 dB kreivės atžvilgiu (taškinė kreivė) kreivės dažnių juostose (3 pav.): 1 – sluoksniui Nr. 2; 2 – sluoksniams nuo Nr. 2 iki Nr. 5; 3 – sluoksniams nuo Nr. 1 iki Nr. 5; 4 – abipusė danga, sudaryta iš sluoksnių Nr. 5 ir 4, toliau sluoksniai Nr. 1 iki Nr. 5

Fig. 4. The correlation of readings of D_{nT} indicator with respect to curve 55 dB (dotted curve) with frequency (see Fig. 3): 1 – for layer No. 2; 2 – for layers No. 2–5; 3 – for layers from 1–5; 4 – bilateral; cover made of layers No. 5 and 4, further layers No. 1–5

1 lentelė. Silikato gaminių konstrukcijų vienparametrių oro garso izoliavimo rodiklių vertės

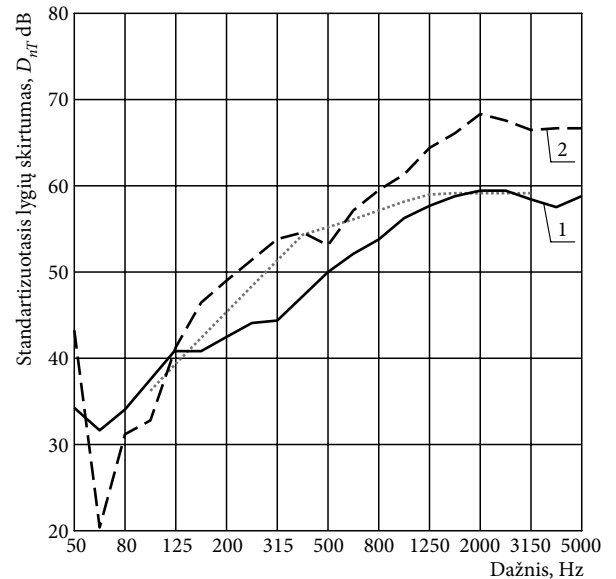
Table 1. The values of single parameter indicators of airborne sound insulation for wall construction from silicate bricks and blocks

Konstrukcija	Eksperimento rezultatai			Skaicia- vimo rezultatai
	$D_{nT,W}$ ($C; C_{tr}$) dB	$D_{nT,W}^+$ $C'_{50-3150}$ dB	R'_W dB	
3 pav. sluoksnis Nr. 2 (4 pav. – 1 kreivė)	38(-1; -2)	37	38	46
3 pav. sluoksniai Nr. 2–5 (4 pav. – 2 kreivė)	52(-1; -4)	51	52	58
3 pav. Sluoksniai Nr. 1–5 (4 pav. – 3 kreivė)	58(-1; -5)	57	57	59
3 pav. sluoksniai Nr. 5, 4, 1–5 (4 pav. – 4 kreivė)	63(-4; -11)	48	61	–



5 pav. Konstrukcijos iš keramzitbetonio blokelių

Fig. 5. Wall construction from expanded-clay concrete blocks



6 pav. D_{nT} rodiklio atskaitos 55 dB kreivės atžvilgiu (taškinė kreivė) priklausomybė nuo dažnio (5 pav.): 1 – konstrukcijai iš sluoksnių Nr. 1–3; 2 – konstrukcijai iš sluoksnių Nr. 1–5

Fig. 6. The correlation of readings of D_{nT} indicator with respect to curve 55 dB (dotted curve) with frequency (see Fig. 5): 1 – for construction from layers No. 1–3; 2 – for construction from layers No. 1–5

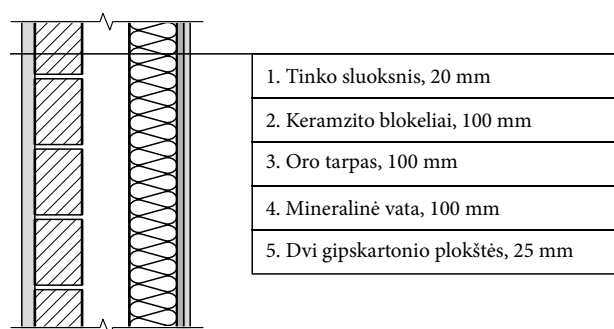
2 lentelė. Keramzitbetonio blokelių mūro konstrukcijų vienparametrių oro garso izoliavimo rodiklių vertės

Table 2. The values of single parameter indicators of airborne sound insulation for wall construction from expanded-clay concrete blocks

Konstrukcija	Eksperimento rezultatai			Skaicia- vimo rezultatai
	$D_{nT,W}$ ($C; C_{tr}$) dB	$D_{nT,W}^+$ $C'_{50-3150}$ dB	R'_W dB	
5 pav. 1–3 sluoksniai (6 pav. – 1 kreivė)	54(-2; -6)	52	52	46
5 pav. 1–5 sluoksniai (6 pav. – 2 kreivė)	59(-2; -8)	53	59	56
7 pav. (8 pav. kreivė)	55(-2; -6)	50	54	–

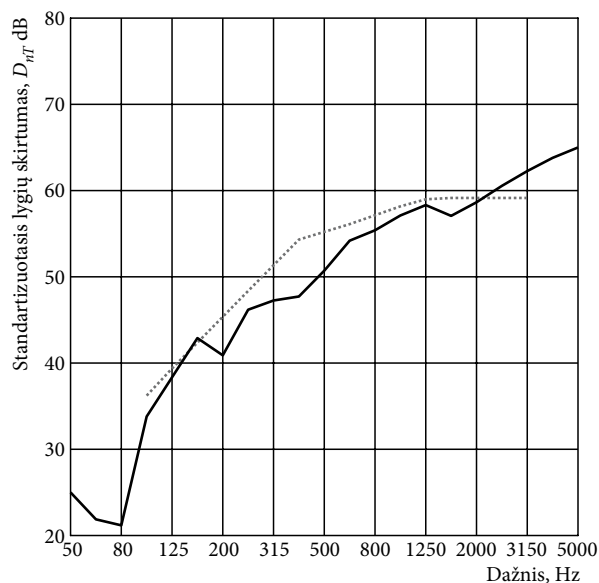
Antrame eksperimente 100 mm pločio 800 kg/m³ tankio keramzitbartonio blokelių mūriui papildoma dangą įrengiama ant atskiro ir visiškai atrišto metalinio karkaso (7 pav.). Bandymų rezultatai pateikti 8 pav. bei 2 lentelėje. Teorinio skaičiavimo rezultatai nepateikiami, kai pagrindinės konstrukcijos masė nesiekia 150 kg/m².

Lyginant natūrinių tyrimų ir teorinių skaičiavimų rezultatus (2 lentelė), galima pastebėti, kad garso sklindimas per korėtą blokelių keramzito užpildą veikia šiuo atveju iki 6 dB garso izoliavimo rodiklio skirtumą. Įrengus papildomą mūro konstrukcijos dangą garso izoliavimo pagerėjimas, neviršydamas paklaidos, atitinka teorinį.



7 pav. Keramzitbartonio blokelių konstrukcija su papildoma dangą, įrengta ant metalinio karkaso

Fig. 7. Wall construction from expanded-clay concrete blocks with an additional cover installed on the metal frame



8 pav. D_{nT} rodiklio atskaitos 55 dB kreivės atžvilgiu (taškinė kreivė) priklausomybė nuo keramzitbartonio blokelių mūro konstrukcijos dažnio (7 pav.)

Fig. 8. The correlation of readings of D_{nT} indicator with respect to curve 55 dB (dotted curve) with frequency for wall construction from expanded-clay concrete blocks (see Fig. 7)

Ore sklindančio garso izoliavimo pagerėjimo dėl papildomos dangos analizė (Jagniatinskis, Fiks 2000)

Iš pateiktų eksperimentų natūrinių matavimų rezultatų galima matyti, kad sienų oro garso izoliavimo pagerėjimas dėl papildomos dangos priklauso ir nuo pagrindinės sienų konstrukcijos, ir nuo taikomos papildomos dangos konstrukcijos bei šios dangos rezonansinio dažnio.

Kai rezonansinis dažnis yra žemiau garso izoliavimo rodiklio įvertinimo diapazono (100–3150 Hz), toks konstrukcinis sprendimas užtikrina statybos praktikoje reikalingą garso izoliavimo pagerėjimą.

3 lentelėje pateiktos oro garso izoliavimo rodiklių pagerėjimo vertės dėl papildomos dangos priklauso mai nuo fizikinių sienų mūro parametrų bei atsižvelgiant į įvertinimo dažnių juostos pradžios nuo 100 Hz arba nuo 50 Hz.

3 lentelė. Konstrukcijų oro garso izoliavimo pagerėjimas $\Delta D_{nT,W} (\Delta R'_W) \Delta D_{nT,W} + C'_{50-3150} (\Delta R'_W + C'_{50-3150})$ dėl papildomos dangos skirtingose dažnių juostose

Table 3. Improvement of airborne sound insulation in structures $\Delta D_{nT,W} (\Delta R'_W) \Delta D_{nT,W} + C'_{50-3150} (\Delta R'_W + C'_{50-3150})$ due to additional cover in different frequency bands

Konstrukcija		Oro garso izoliavimo pagerėjimas dėl papildomos dangos, dB	
		100 Hz–3150 Hz	50 Hz–3150 Hz
Silikatinių plytų mūras	3, 4 paveikslai	5	-9
Keramzitbartonio blokelių mūras	5, 6 paveikslai	5	1

Lyginant gautus rezultatus matyti, kad kai mūro sienos dangos yra lanksčios, esant tampriam tvirtinimui, rezonansinis dažnis atsiranda garso izoliavimo vienparametrio įvertinimo diapazone, pagerėjimo rodiklis gerokai mažėja.

5. Išvados

1. Natūriniais matavimais ir teoriniais skaičiavimais parodyta, kad ore sklindančio garso izoliavimo rodiklio pagerėjimas dėl lanksčios papildomos dangos priklauso ir nuo dangos, ir nuo pagrindinės konstrukcijos tipo bei jos plotinės masės. Bendruoju atveju pagerėjimas mažėja, didėjant pagrindinės konstrukcijos masei.

2. Atlikti mūrinių konstrukcijų su papildomais lanksčiais sluoksniais teoriniai skaičiavimai nedaug skiriasi nuo eksperimentinių tyrimų rezultatų, tik kai yra užtikrintas pakankamas mūro sienos sandarumas (pvz., papildomai tinkuojamos mūro siūlės).
3. Padengus mūro sienas papildomais sluoksniais, gali būti pasiekiamas daugiau nei 10 dB garso izoliavimo pagerėjimo efektyvumas, kai įvertinimo dažnių diapazonas nuo 100 iki 3150 Hz.
4. Eksperimentinių rezultatų analizės duomenimis, parodyta, kad taikant papildomą lakštinės medžiagos sluoksnį, garso izoliavimo pagerėjimas pagal svertinę 50–3150 Hz diapazono rodiklį yra mažesnis negu gautas 100–3150 Hz dažnių diapazone.
5. Atsižvelgiant į tendencijas pastatų akustinių savybių normavimo tikslais ore sklindančio garso izoliavimo rodiklį skaičiuoti nuo 50 Hz dažnio, mūrinių konstrukcijų garso izoliavimo gerinimo efektyvumas papildomais lanksčiais sluoksniais ant tampriųjų ryšių gali būti nepakankamas ir reikalingas papildomų tyrimų.

Literatūra

- Gerretsen, E. 1986. Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings, *Applied Acoustics* 19: 245–264. doi:10.1016/0003-682X(86)90001-0
- Gerretsen, E. 1994. European developments in prediction models for building acoustics, *Acta Acustica* 2: 205–214.
- Jagniatinskis, A.; Fiks, B. 2004. Application of Different Descriptors for In Situ Sound Insulation, *GESTS. International Transaction on Acoustic Science and Engineering* 2(1): 142–151.
- Jagniatinskis, A.; Fiks, B. 2000. Investigation of the accuracy in laboratory sound insulation measurements, *Statyba* [Civil Engineering] 6(3): 202–205.
- LST EN 12354-1. *Statybinė akustika. Statinių akustinių charakteristikų įvertinimas pagal jų elementų charakteristikas. 1 dalis. Ore sklindančio garso tarp patalpų izoliavimas* [Building acoustics. Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1. Airborne sound insulation between rooms]. Vilnius, 2004.
- LST EN ISO 140-4. *Akustika. Statinio atitvarų ir jo dalių garso izoliavimo matavimas. 4 dalis. Natūriniai oro garso izoliavimo tarp patalpų matavimai* [Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 4. Field measurements of airborne sound between rooms]. Vilnius, 2002.
- LST EN ISO 140-14. *Akustika. Statinio atitvarų ir jo dalių garso izoliavimo matavimas. 14 dalis. Ypatingų natūrinių sąlygų matavimo vadovas* [Acoustics. Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 14. Guide for special conditions in field measurements]. Vilnius, 2006.
- LST EN ISO 354. *Akustika. Garso sugerties matavimas aidėjimo kameroje* [Acoustics. Measurement of sound absorption in a reverberation room]. Vilnius, 2006.
- LST EN ISO 717-1. *Akustika. Statinių atitvarų ir statinio dalių garso izoliavimo įvertinimas. 1 dalis. Oro garso izoliavimas* [Acoustics. Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1. Airborne sound insulation]. Vilnius, 1999.
- Matsumoto, T.; Uchida, M.; Sugaya, H.; Tachibana, H. 2006. Development of multiple drywall with high sound insulation performance, *Applied Acoustics* 67: 595–608.
- Rasmussen, B. 2010a. Sound insulation between dwellings – Requirements in building regulations in Europe, *Applied Acoustics* 70: 373–385. doi:10.1016/j.apacoust.2009.08.011
- Rasmussen, B. 2010b. Sound insulation between dwellings – Descriptors applied in building regulations in Europe, *Applied Acoustics* 71: 171–180. doi:10.1016/j.apacoust.2009.05.002
- Rindel, J. H. 2007. *Sound insulation of buildings. InterNoise*. Istanbul, Turkey.
- STR 2.01.07. *Pastatų vidaus ir išorės apsauga nuo triukšmo* [Protection of building from internal and external noise]. Vilnius, 2003.
- Uris, A.; Sinisterra, J.; Bravo, J. M.; Llinares, J.; Estelles, H. 2002. Influence of screw spacings on sound reduction index in lightweight partitions, *Applied Acoustics* 63: 813–818. doi:10.1016/S0003-682X(01)00072-X
- Uris, A.; Bravo, J. M.; Gomez-Lozano, V.; Ramirez, P.; Llinares, J. 2006. Sound insulation of double frame partitions with an internal gypsum board layer, *Applied Acoustics* 67: 918–925. doi:10.1016/j.apacoust.2005.11.006
- Заборов, В. И. 1989. *Справочник по защите от шума и вибрации жилых и общественных зданий* [Zaborov, V. I. Handbook to protect against noise and vibration in residential and public buildings]. Киев: Будивельник. 160 с.

AIRBORNE SOUND INSULATION IMPROVEMENT ON MASONRY PARTITIONS USING ADDITIONAL PLASTERBOARD LAYERS

M. Mickaitis, A. Jagniatinskis, B. Fiks

Abstract. For the purposes of accumulating knowledge of how to comply with requirements for new buildings of obligatory sound class C or enhanced acoustic comfort sound classes A and B (Lithuanian Building Technical regulations STR 2.01.07:2003), the article discusses improvement on airborne sound insulation of partitions between dwellings using additional plasterboard layers. The results of an empirical approach were obtained performing in situ measurements of the partitions of masonry from silicate blocks and expanded-clay concrete blocks. Theoretical calculations without the evaluation of flanking paths are added. The paper looks at the peculiarities of in situ measurement methods and the estimation of the limiting uncertainty of the sound reduction index. It is showed that the values of the in situ measurements of the airborne sound reduction index in accordance with requirements EN ISO 140 and EN ISO 717 series for rooms having volume higher than 50 m³ varies depending on frequency range. It has been stated, that improvement on the weighed airborne sound reduction index in the frequency range from 100 Hz to 3150 Hz depends on the properties of additional layers and on the characteristics of the main constructions. Resonance in the low frequency range arising due to additional layers may reduce the weighed airborne sound reduction index defined in the frequency range from 50 Hz to 3150 Hz. This fact must be taken into account when designing improvement on masonry wall insulation using an additional layer in dwellings.

Keywords: acoustics, in situ conditions, acoustic measurements, partitions, additional layers, airborne sound insulation improvement.

Marius MICKAITIS. Dr, Assoc. Prof. and the Head of the Department of Building Structures, Vilnius Gediminas Technical University. Research interests: building acoustics, room acoustics, environmental noise.

Aleksandras JAGNIATINSKIS. Dr and the Head of the Acoustic Laboratory of the Science Institute of Thermal Insulation, Vilnius Gediminas Technical University. Doctor of technical sciences (Building acoustics), Moscow Building Physics Institute, 1985. Publications: the author of more than 50 research papers. Research interests: building acoustics, environmental noise management and sound measurements.

Boris FIKS. Dr, a senior research fellow of the Acoustics Laboratory of the Science Institute of Thermal Insulation, Vilnius Gediminas Technical University. Doctor of technical sciences (Ultrasound), Kaunas University of Technology, 1985. Research interests: acoustic measurements and their precision.