

Nomograme pentru calculul simplificat de proiectare de dimensionare a barierelor acustice

Abacuses for acoustic barrier sizing during design stage

Mihai Vlad IONIȚA⁽¹⁾, Vlad IORDACHE⁽²⁾

Centrul de Cercetare CAMBI, Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania
E-mails: ⁽¹⁾ v.mihaivlad@yahoo.com, ⁽²⁾ viordach@yahoo.com,

Rezumat

În mediul urban diferite aparatele de instalații menite să mențină confortul la interiorul clădirilor devin vectori de poluare acustică urbană. Barierele acustice reprezintă metoda recomandată pentru protecție la zgomotul acestor surse punctuale de zgomot. Metoda de dimensionare a barierelor acustice întâlnite în mediul urban este dificil de folosit pentru astfel de surse punctiforme de zgomot. În acest studiu vom dezvolta o metodă mai simplificată de dimensionare a barierelor acustice menținând aceeași precizie caracteristică metodei clasice. Sunt construite nomograme de calcul simplificat de dimensionare a barierei acustice care sunt utilizabile pentru diferite poziții în spațiu ale punctelor de recepție, mai multe frecvențe și mai multe înălțimi de bariere acustice. Studiul de caz prezentat în articol dovedește rapiditatea și ușurința în utilizare a acestor nomograme în dimensionarea barierelor acustice.

Cuvinte cheie: protecției la zgomot, acustica urbană, bariere acustice, nomograme 2D calcul

Abstract

In urban environment, various heating ventilation and air conditioning appliances designed to maintain comfort indoors become urban acoustic pollution vectors. Acoustic barriers are the recommended method of noise protection for these noise sources. The sizing method of these acoustic barriers encountered in the urban environment is not an easy task for local noise sources. In this study we will develop a simplified method for acoustic barriers sizing, maintaining the same precision characteristic to the classical method. Simple sizing abacuses for acoustic barriers are built that are usable for different space locations of reception points, for several frequencies and several acoustic barrier heights. The case study presented in the article proves the rapidity and ease of use of these abacuses in the dimensioning of acoustic barriers.

Keywords: noise protection, urban acoustics, acoustic barriers, design 2D abacus

1. Introducere

Protecția la zgomot reprezintă astăzi una din cerințele de proiectare des întâlnite în vederea respectării cerinței F din cadrul verificărilor tehnice de proiectare. Astăzi, mai multe aparate de instalații (chillere, pompe de căldură, pompe compresoare, VRV-uri, Rooftopuri, și altele) pe lângă rolul lor în menținerea confortului interior clădirii deserveite, totuși reprezintă vectori de poluare sonoră conduc uneori la încălcarea normele de protecție la zgomot în spațiul urban [1] .

Astfel rolul inginerilor și al arhitecților este acela de a găsi soluții de protecție la zgomot. O astfel de soluție pentru protecția la zgomotul generat de aparatele de instalații, o reprezintă barierele acustice. Proiectarea acestor bariere acustice consta în determinarea poziției acestei bariere acustice, a lungimii și înălțimii ei. Proiectarea unei astfel de bariere acustice este relativ delicată deoarece consta într-o combinație de măsuri arhitecturale (relativ la poziția acesteia), de măsuri constructive (sustinerea și rezistența la acțiunea vântului) aparte de dimensionarea acustică a acesteia. Lungimea unei astfel de bariere acustice ține cont de lungimea de undă, și de poziția spațială a receptorului care va fi protejat. Înălțimea barierei acustice reprezintă un element de proiectare care se realizează de cele mai multe ori cu ajutorul diagramei Maekawa [2]. Deși, și alte teorii au fost dezvoltate în funcție de tipul de relief, de forma barierei acustice [3], de grosimea acesteia sau de existența unui capac înclinat [4] [5] și de tipul sursei de zgomot (punctiformă sau lineară) [6], totuși Diagrama Makawa rămâne astăzi metoda cu cea mai largă utilizare.

Acest calcul de dimensionare pe baza teoriei lui Maekawa, reprezintă o metodă greu utilizabilă de ingineri și arhitecți datorită complexității calculului necesar a fi realizat conform cerințelor naționale [7] pentru întreg spectrul de frecvențe. În acest studiu propunem o metodă simplificată pentru dimensionarea înălțimii unei bariere acustice, metodă bazată pe aceeași teorie. Astăzi nu există nomograme de calcul simplificat pentru această dimensiune. Ne propunem realizarea de nomograme de calcul cu scop ingineresc, pentru dimensionarea acestor bariere acustice, aplicabile pentru diferite geometrii și amplasamente diferite între locația sursei de zgomot și a punctului receptor ce se dorește a fi protejat.

În articol se prezintă metoda de construire a nomogramelor simplificatoare de calcul de dimensiune a înălțimii barierei acustice pe baza teoriei Maekawa, rezultatele acestei analize (nomogramele de dimensionare) și un scurt studiu de caz prin care să se exemplifice folosirea acestei metode.

2. Metoda

În acest capitol vom prezenta geometria analizată și metoda folosită pentru întocmirea nomogramelor de calcul.

Geometria analizată la nivel urban (Figura 1) presupune trei elemente diferite:

- o sursă de zgomot (stradă, chiller, pompă, ventilator sau în general un echipament zgomotos), care se va considera în analiza noastră ca fiind staționară și plasată la 1 m înălțime față de sol;
- o barieră acustică plasată la 1 m distanța față de sursa de zgomot care pornește de la nivelul pamantului până la înălțimea proiectată. Pare evident că o astfel de barieră acustică ar trebui să depășească în majoritatea cazurilor nivelul la care este amplasată sursa de zgomot. În această analiză ne propunem să studiem cinci înălțimi diferite ale barierei acustice: a) 1m reprezentând limita inferioară, b) 2m, c) 3m, d) 4m și e) 5m. Ne oprim la o înălțime maximă de 5 m deoarece pentru înălțimi mai mari asigurarea stabilității acestei barierei acustice la acțiunea vântului necesită un studiu și o etapă de proiectare separate și mai laborioasă. Din punct de vedere structural se recomandă ca bariera să aibă o masă specifică mai mare de 10 kg/m^2 , astfel încât unda sonoră principală să fie unda difractată (unda care ocolește bariera acustică) și nu cea care traversează perpendicular bariera acustică. Bariera nu trebuie să contină găuri, fisuri sau alte tipuri de neetanseități.
- zona protejată de bariera acustică este zona din spatele acestei barierei acustice care nu este văzută direct de sursa de zgomot (zona hașurată din Figura 1). Pentru orice punct din această zonă, unda sonoră provenind de la sursa de zgomot suferă o difracție în partea de sus a barierei acustice. În cazul acestui studiu analizăm cinci înălțimi diferite ale barierei acustice (cinci geometrii diferite) și pentru fiecare situație zona protejată va fi diferită.

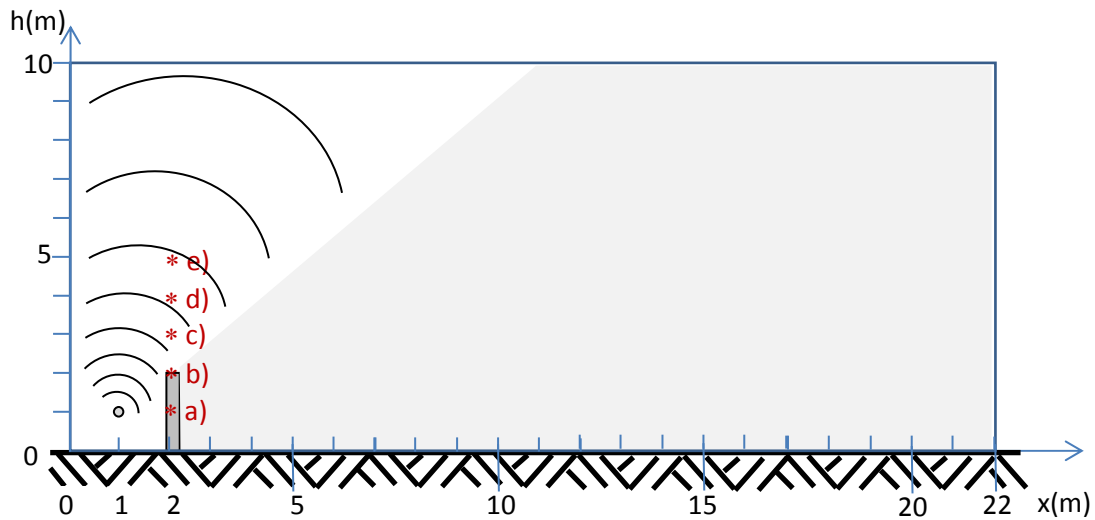


Figura 1. Geometrie barieră acustică și zona protejată

Înainte de montarea unei astfel de bariere acustice nivelul de zgomot din punctele aflate în zona protejată se datora undei propagate direct de la sursa de zgomot (S) spre punctul analizat (P), parcurgând o distanță d (m) (Figura 2). Iar după montarea barierei acustice nivelul de zgomot este datorat undei difractate, adică undei generate

de sursa de zgomot (S) și care ocolește bariera acustică în punctul cel mai înalt al barierei acustice (O) pentru a ajunge la punctul receptor (P), parcurgând astfel o distanță mai mare, $A+B$ (m), decât în situația față de bariera acustică.

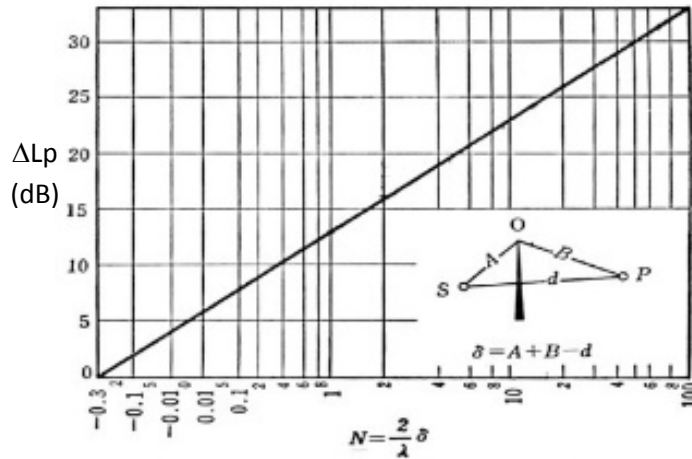


Figura 2. Atenuarea nivelului de zgomot datorat barierei acustice [6]

Pentru determinarea atenuării nivelului de zgomot, realizată de către o anumită barieră acustică, se va determina mai întâi numărul lui Fresnel N (-) (Ecuația 1) [8].

$$N = 2 \cdot \frac{A + B - d}{\lambda}, \quad (1)$$

unde λ (m) este lungimea de undă și este variabilă în funcție de frecvență. Cunoscând valoarea lui N , se intră în diagrama de calcul din Figura 2 (Diagrama Maekawa pentru surse de zgomot punctiforme) și se determină pe axa verticală atenuarea introdusă de bariera acustică ΔL_p (dB).

În realitate sursa de zgomot nu este un generator de semnal, care să emită o singură undă pe o singură frecvență, ci emite pe întreg spectrul de frecvențe, și ca urmare atât numărul lui Fresnel cât și atenuarea nivelului de zgomot vor fi diferite în funcție de frecvență. Normele de protecție la zgomot din România [7] impun valori limită maxime admisibile pentru fiecare frecvență atât pentru spațiul urban stradal [1] cât și pentru fațadele clădirilor [9], și prin urmare bariera acustică trebuie dimensionată astfel încât să îndeplinească simultan toate condițiile corespunzătoare tuturor frecvențelor spectrului sonor.

Astfel calculul de dimensionare devine destul de complex datorită complexității geometriei și a diferitelor analize ce trebuie realizate simultan pentru toate frecvențele. Scopul acestui studiu este de a simplifica acest calcul de dimensionare a

unei bariere acustice prin realizarea de nomograme de calcul rapid al atenuării nivelului de zgomot în punctul de recepție.

3. Rezultate

Metoda de calcul prezentată în capitolul anterior a fost aplicată pentru fiecare configurație geometrică (fiecare înălțime de panou). Receptorul a fost plasat într-o grilă de poziții de calcul cu pas de 1 m pe orizontală (între 1 m - 21 m în spatele barierei acustice) și pas de 0.5m pe verticală (între nivelul pământului și 10 m înălțime). Pentru toate aceste puncte de recepție a fost aplicată metoda de calcul, fiind calculați parametrii : distanță A, distanță B, distanță d, distanță δ , numărul lui Fresnel N, și valoarea atenuării nivelului de zgomot ΔL_p , pentru fiecare frecvență. Pentru pozițiile receptorului din cadrul matricei de poziții de calcul unde receptorul nu este protejat de bariera acustică (zona "neumbrită") s-a impus o valoare nulă a atenuării nivelului de zgomot.

Pentru realizarea nomogramelor simplificatoare de calcul de dimensionare, aceste atenuări ale nivelului de zgomot au fost calculate pentru fiecare poziție de receptor, fiecare frecvență și fiecare înălțime de barieră acustică, iar în acest capitol vom prezenta în formă de nomogramă, variația atenuării nivelului de zgomot pentru trei frecvențe: 250Hz (corespunzătoare frecvențelor joase), 1000Hz (corespunzătoare frecvențelor mediane) și 4000Hz (corespunzătoare frecvențelor înalte).

În Figura 3, corespunzătoare frecvenței de 250 Hz, putem compara efectul celor cinci tipuri de bariere acustice. În cazul barierei de înălțime 1m (Figura 3a) zona protejată este cea mai redusă și este aplicabilă pentru protecția acustică a unor locații aflate la nivelul solului sau sub acest nivel (depinde de relief), aplicabilitatea acestei configurații fiind mai redusă. Se observă de asemenea că protecția pe care o asigură această barieră de 1m înălțime este de 5-6 dB la nivelul solului, adică o protecție scăzută. În cazul barierei de înălțime 2m (Figura 3b), zona protejată este mai mare, iar atenuarea nivelului de zgomot de la nivelul solului este de aproximativ 10-12 dB.

Pentru bariera de 3m înălțime (Figura 3c), zona protejată este mai largă, iar atenuarea nivelului de zgomot de la nivelul solului este de 15-17 dB. Pentru bariera de 4m înălțime atenuarea nivelului de zgomot de la nivelul solului crește spre 17-20 dB, iar pentru bariera de 5m înălțime ajunge la 19-21 dB. Ca și tendință generală se remarcă faptul că, cu cât crește înălțimea barierei cu atât zona protejată este mai mare și atenuarea nivelului de zgomot este mai mare.

În afara zonei protejate de bariera acustică s-a considerat că efectul barierei acustice este nul, bariera nu este interpusă în calea undei directe). Astfel, valorile minime ale atenuării sunt întâlnite pe linia de separație dintre zona protejată de bariera cea neprotejată. Se observă de asemenea că locația unde efectul de atenuare al barierei

acustice este cel mai ridicat este în imediata apropiere a barierei, în spatele acesteia. În această locație, pentru bariera de 1 m înălțime atenuarea este de 7 dB, iar pentru bariera de 5 m înălțime atenuarea este de 22 dB.

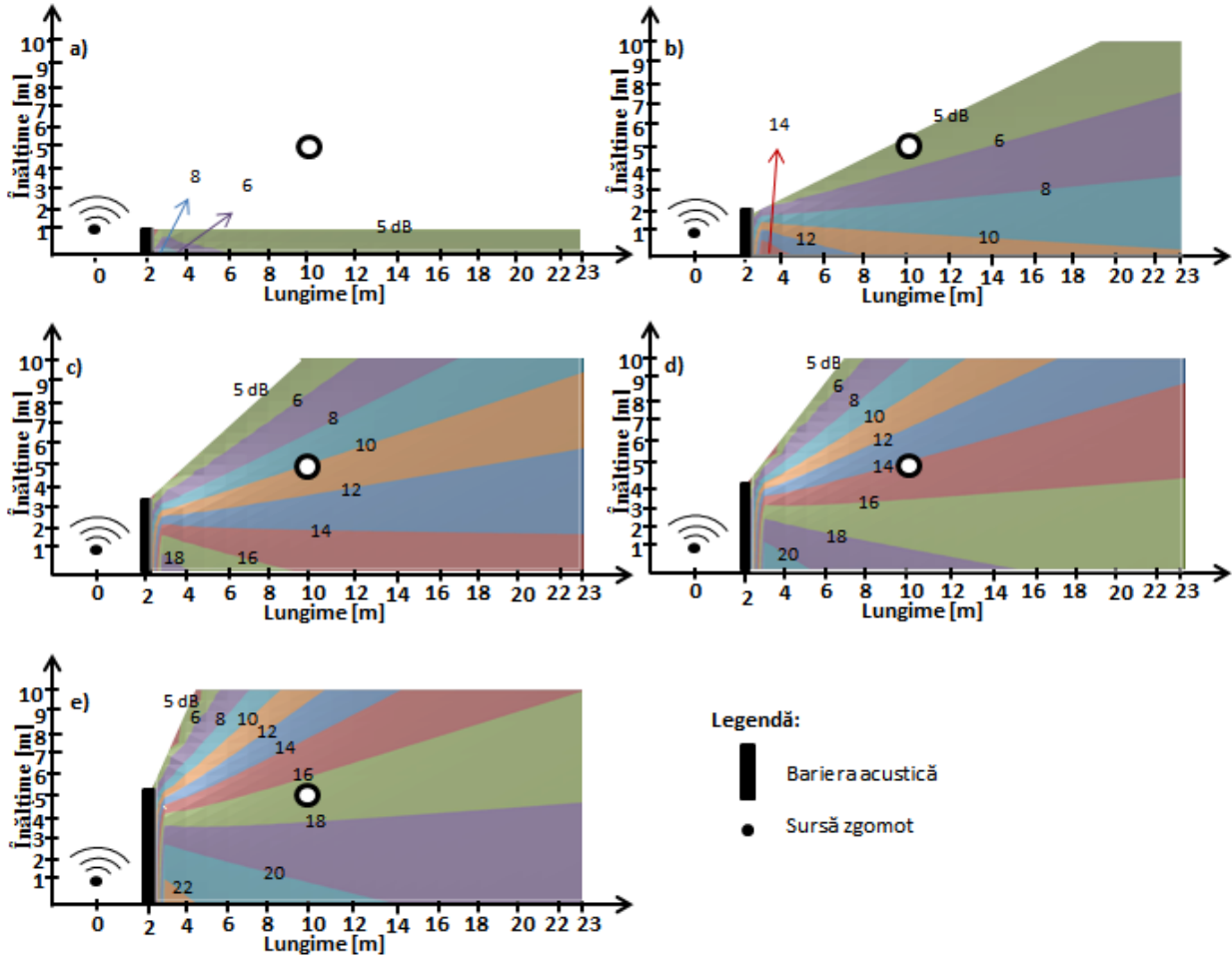


Figura 3. Atenuările nivelului de zgomot la frecvența de 250 Hz pentru bariera fonoabsorbantă de înălțime a) 1m; b) 2m; c) 3m; d) 4m; e) 5m

Dacă considerăm un punct necesar a fi protejat aflat la o distanță pe orizontală de 10 m față de sursa de zgomot și pe înălțime de 4 m (punct marcat cu cerculeț alb în Figura 1), se observă la bariera de 1m înălțime nu asigură nici o protecție, cea de 2m asigură o atenuare de 5.3 dB, bariera de 3m, o atenuare de 10 dB, cea de 4m, o atenuare de 14.1 dB, iar bariera de 5m asigură o atenuare de 16.4 dB.

În Figura 4, corespunzătoare frecvenței de 1000Hz, se observă aceeași tendință generală: cu cât înălțimea barierei crește cu atât zona protejată este mai mare și valoarea atenuării acustice este mai ridicată. Atenuarea maximă realizată de bariera acustică cea mai înaltă este de aproximativ 28 dB, mai mare decât valoarea de 22 dB corespunzătoare frecvenței de 250 Hz. Pentru un receptor aflat la 8 m în spatele

Nomograme pentru calculul simplificat de proiectare de dimensionare a barierelor acustice

barierei acustice și la 2 m înălțime efectul barierei de 2 m înălțime la 1000 Hz este acela de atenuare a nivelului de zgomot cu aproximativ 6 dB față de situația când nu era montată bariera acustică.

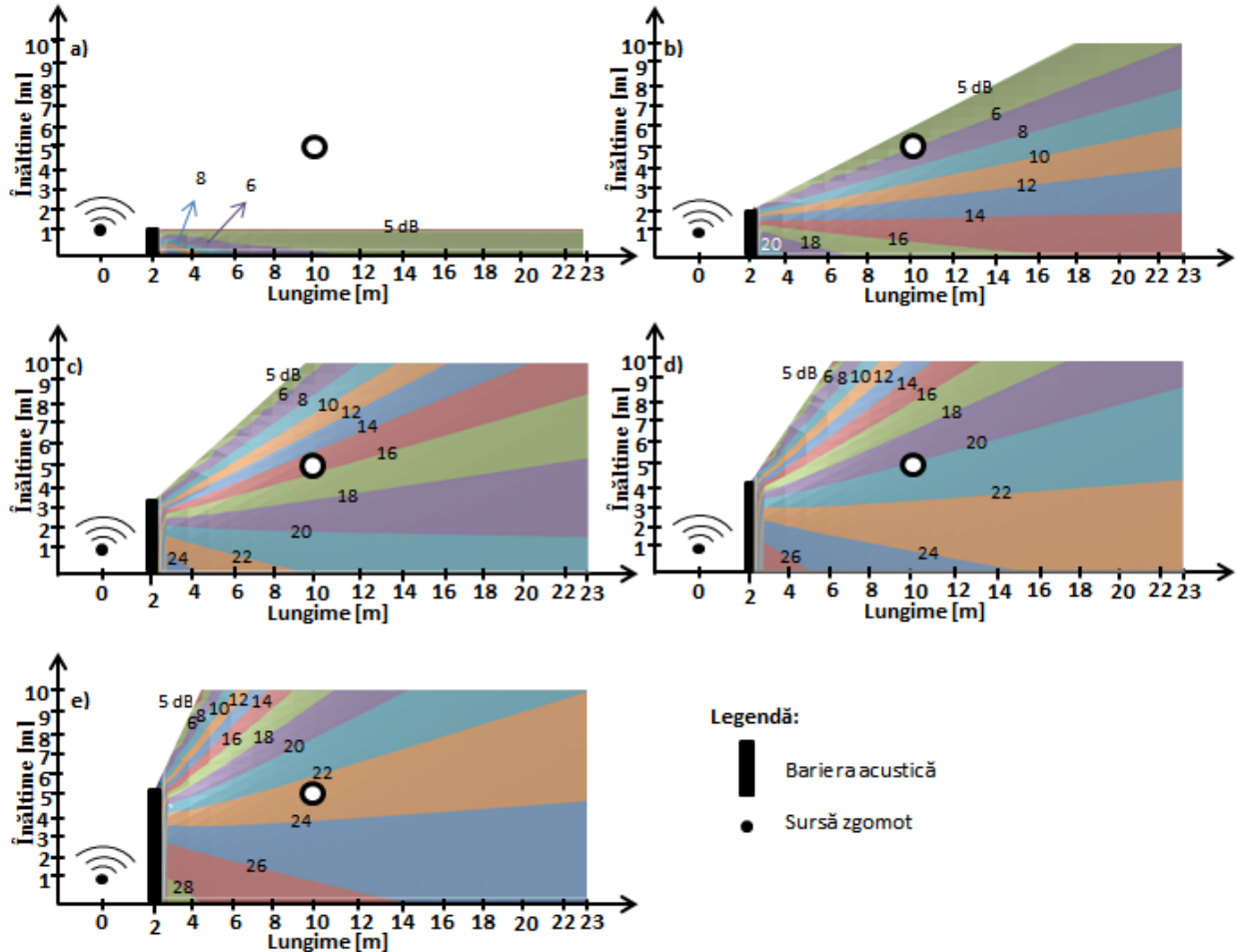


Figura 4. Atenuările nivelului de zgomot la frecvența de 1000 Hz pentru bariera fonoabsorbantă de înălțime a) 1m; b) 2m; c) 3m; d) 4m; e) 5m

În Figura 5, corespunzătoare frecvenței de 4000Hz, se observă aceeași tendință generală, întâlnită și la frecvențele de 250Hz și 1000Hz: cu cât înălțimea barierei crește cu atât zona protejată este mai mare, iar valoarea atenuării acustice este mai ridicată. Atenuarea maximă realizată de bariera acustică cea mai înaltă este de aproximativ 34 dB, mai mare decât valoarea de 28 dB corespunzătoare frecvenței de 1000 Hz.

Aceste nomograme au fost construite cu un caracter aplicativ, astfel încât să poată fi folosite de către ingineri și arhitecți pentru determinarea înălțimii minime a unei bariere acustice.

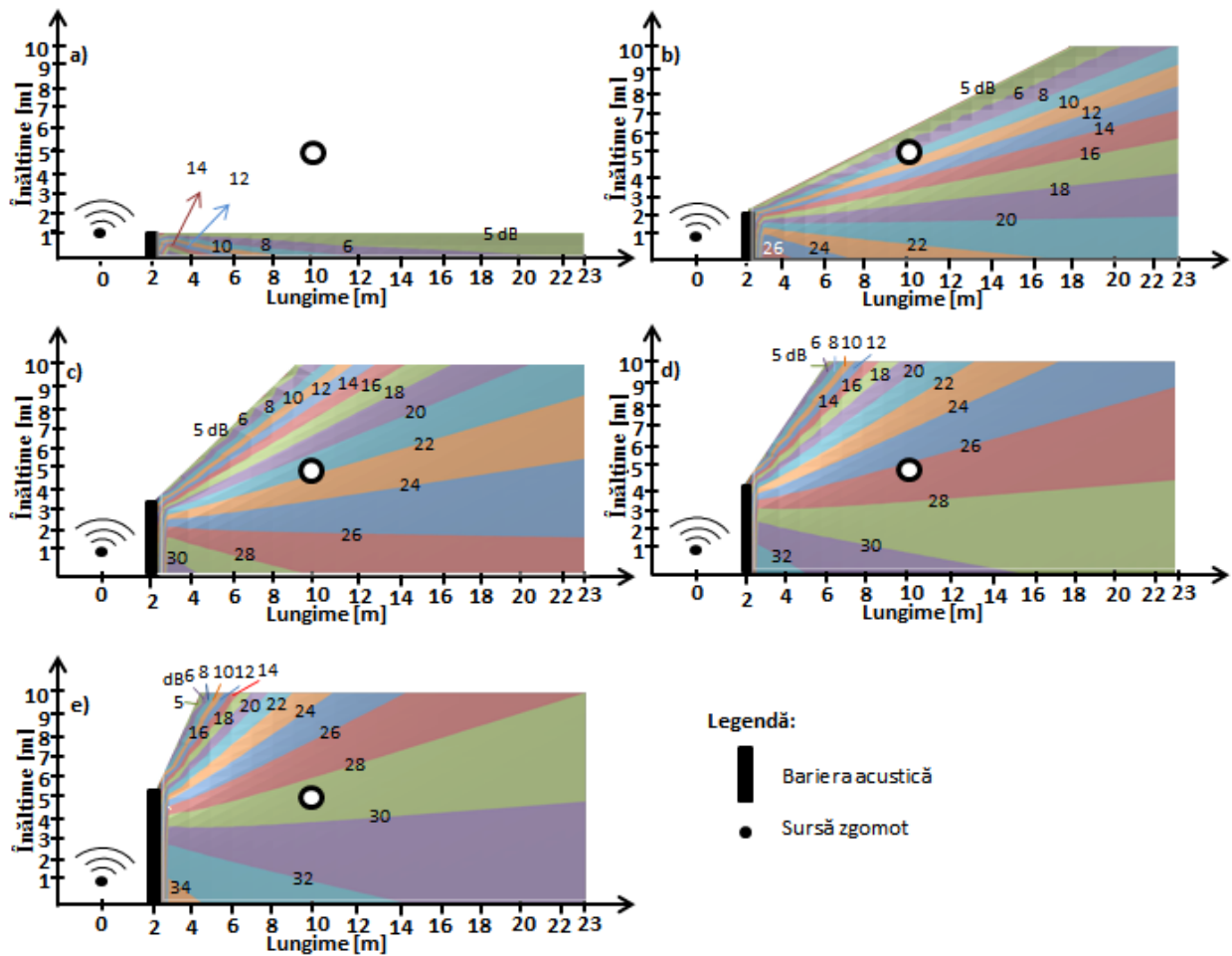


Figura 5. Atenuările nivelului de zgomot la frecvența de 4000 Hz pentru bariera fonoabsorbantă de înălțime a) 1m; b) 2m; c) 3m; d) 4m; e) 5m

4. Studiu de caz

În acest capitol este exemplificat modul în care aceste nomograme pot fi folosite pentru a dimensiona corect înălțimea unei bariere acustice.

Să considerăm cazul unei surse de zgomot de tip chiller montat în terasa unei clădiri de birouri la 2 m distanță de aticul clădirii. Zona de recepție este blocul vecin, unde la fațadă se impune un nivel de zgomot de 45 dB la 1000Hz. Considerăm distanța între chiller și apartamentul plasat la aceeași înălțime cu chillerul de 10 m, iar nivelul de zgomot generat de chiller în dreptul apartamentului de 63 dB, deci cu 18 dB peste nivelul de zgomot maxim admisibil.

Să considerăm că se montează o barieră acustică lângă aticul clădirii, deci la 2 m de chiller și 8 m de punctul de recepție (fațada clădirii). Vom considera o înălțime a

barieri de 1 m peste nivelul chillerului. Deci pentru frecvența 1000 Hz, ne aflăm în cazul Figurii 4b de unde vom citi o atenuare de 16 dB datorată montării acestei bariere acustice. Prin urmare, nivelul de zgomot după montarea barierei acustice va fi de $63 \text{ dB} - 16 \text{ dB} = 47 \text{ dB}$, și tot va depăși valoarea maximă admisibilă de 45 dB. Vom opta pentru o barieră acustică mai înaltă (2 m peste nivelul chillerului). Ne aflăm în cazul Figurii 4c și citim din nomogramă o atenuare de 21 dB, ceea ce ne conduce la un nivel de zgomot de $63 \text{ dB} - 21 \text{ dB} = 42 \text{ dB}$, valoare care respectă condiția impusă inițial (maximul admisibil de 45 dB).

Acest exemplu demonstrează simplitatea folosirii acestor nomograme de calcul de dimensionare rapidă a înălțimii barierelor acustice, reprezentând o unealtă folosită de arhitecții și inginerii.

5. Concluzii

Metoda Maekawa de calcul a atenuării nivelului de zgomot caracteristică unei bariere acustice a fost aplicată pentru mai multe poziții de receptori. Rezultatele au fost folosite pentru construirea unei nomograme de calcul simplificat de dimensionare a înălțimii unei bariere acustice. Mai multe astfel de nomograme au fost construite pentru trei frecvențe diferite (250Hz, 1000Hz, 4000Hz) și pentru cinci înălțimi diferite de bariere acustice (1m, 2m, 3m, 4m, 5m).

Studiul de caz dovedește tocmai faptul că aceste nomograme contribuie în mod esențial la simplificarea calculului de dimensionare a înălțimii unui panou acustic menținând la aceeași precizie ca și metoda clasică.

Mai mult, acest studiu reprezintă și o validare a acestui demers în vederea realizării de alte metode simplificatoare pentru alte geometrii și cazuri speciale unde metoda clasică poate deveni deasemeni dificil de aplicat într-un calcul rapid de proiectare.

Recunoaștere

Acest studiu a fost susținut de Autoritatea Națională Română pentru Cercetare Științifică și Inovare, CNCS/CCCDI - UEFISCDI, prin proiectul numărul PN-III-P2-2.1-PED-2016-1951, în cadrul PNCDI III.

Bibliografie

[1] "SR 10009:2017 - Acustică. Limite admisibile ale nivelului de zgomot din mediul ambiant."

[2] Z. Maekawa, "A simple estimation method for noise reduction by various shaped barriers," *Revista de Acustica*, vol. XXI, pp. 32-37, 1990.

- [3] K. W. W. H. Kasess CH, "Deriving correction functions to model the efficiency of noise barriers with complex shapes using boundary element simulations.," *Applied Acoustics*, vol. 102, pp. 88-99, 2016.
- [4] U. J. Kurze and G. S. Anderson, "Sound attenuation by barriers," *Applied Acoustics*, vol. 4, no. 1, pp. 35-53, 1971.
- [5] Y. M. Lam, "Using Maekawa's chart to calculate finite length barrier insertion loss," *Applied Acoustics*, vol. 42, no. 1, pp. 29-40, 1994.
- [6] Z. Maekawa, "Noise reduction by screens," *Applied Acoustics*, vol. 1, no. 3, pp. 157-173, 1968.
- [7] "Normativ C125:2012 - Normativ privind acustica în construcții și zone urbane".
- [8] R. Peng and L. Tang, "Narrowing effect of focused polychromatic laser with small Fresnel number," *Optics Communications*, pp. 2707-2710, 2011.
- [9] "SR 6161-1:2008 Acustica în construcții. Partea 1: Măsurarea nivelului de zgomot în construcții civile. Metode de măsurare".