

OPTIMIZAREA STRUCTURILOR FONOABSORBANTE LA VEHICULELE FERROVIARE ÎN VEDEREA CREȘTERII CONFORTULUI

Drd. ing. Dan Simion STEPAN,
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolvent al Facultății de Mecanică, specializarea de Material rulant de cale ferată. Master în specializarea „Vehicule feroviare de mare viteză”, promoția 2005. În prezent doctorand cu frecvență la catedra de Ingineria Transporturilor. Autor a 15 lucrări la diferite conferințe naționale și internaționale. Colaborator la 4 contracte de cercetare cu beneficiari din țară. Membru al AGIR și B.EN.A.



Prof. dr. ing. habil. Ioana IONEL
Universitatea „Politehnica” din Timișoara

Profesor la Facultatea de Mecanică, catedra TMTAR, director al departamentului de Mașini Mecanice, Utilaje și Transporturi. Pe lângă o bogată activitate didactică în cadrul departamentului este Director coordonator la numeroase contracte de cercetare științifică interne și internaționale în domeniul mecanic, al transporturilor, energiilor neconvenționale, bio-combustibililor, emisiilor poluante, protecției mediului. Membru al organizațiilor științifice din țara și străinătate.

Drd. ing. Mircea MATEI
Universitatea „Politehnica” din Timișoara



Absolvent al specializării Material Rulant de Cale Ferată, Facultatea de Mecanică, Universitatea „Politehnica” din Timișoara, promoția 2008. În prezent este doctorand cu frecvență la catedra de Ingineria Transporturilor.

REZUMAT. Articolul de față analizează interacțiunea dintre infrastructură, vehicul și mediu în cazul traficului feroviar. Sunt prezentate câteva aspecte privind poluarea fonică la rularea vehiculelor. Nivelul de zgomot este dependent de geometria și de soluțiile tehnice adoptate la suprastructura căii.

Cuvinte cheie:

ABSTRACT. This paper analyses the interactions between infrastructure, vehicles and environmental for rail traffic. There are presented some aspects regarding the noise pollution of the railway polling stock vehicles. The noise level depends both on the railway configuration and the technical solution of the railway supra structure.

Keywords:

1. STADIUL ACTUAL AL DEZVOLTĂRII TRANSPORTULUI FERROVIAR ÎN ROMÂNIA

Căilor Ferate Române le revine rolul de a integra infrastructura feroviară națională în parametrii tehnici și operaționali de nivel european, pentru a fi parte compatibilă și interoperabilă a viitoarei rețele feroviare transe europene.

La nivelul Uniunii Europene, obiectivul principal pentru perioada 2007-2013 este creșterea transportului feroviar de călători de la 6% la 10% și pentru transportul de mărfuri pe calea ferată de la 8% la 15% .

Dezvoltarea infrastructurii de transport reprezintă o condiție necesară pentru implementarea cu succes și a celorlalte priorități de dezvoltarea ale României pentru perioada 2007–2013, contribuind la creșterea mobilității persoanelor și a mărfurilor, la integrarea polilor regionali de creștere cu rețeaua trans-europeană de transport, la combaterea izolării zonelor subdezvoltate și, nu în ultimul rând, la dezvoltarea infrastructurii de transport regionale și locale.

Procesul de dezvoltare durabilă vizează realizarea graduală a unor infrastructuri nepoluante/ „prietenos” cu mediul și eficiente coroborat cu cerințele de compatibilitate cu infrastructura europeană și globală.

Atingerea acestui obiectiv se va realiza prin extinderea transporturilor combinate și intermodale prin folosirea unui material rulant specializat, cu performanțe ridicate privind consumul de energie și de afectare a mediului, introducerea gestiunii centralizate a traficului de marfă (platforme intermodale), utilizarea de mijloace de transport performante tehnic și operațional, crearea condițiilor de izolare acustică (perdele forestiere de protecție sau structuri fonoabsorbante).

De asemenea, se are în vedere introducerea serviciilor integrate pe baze logistice în transporturi, creșterea utilizării tracțiunii electrice a trenurilor, realizarea de unități modulare la trenurile de marfă, extinderea utilizării ramelelor electrice și diesel în transportul feroviar de călători, inclusiv prin extinderea rețelei feroviare electrificate. Îmbunătățirea calității infrastructurii feroviare convenționale și a materialului rulant conduc la sporirea atractivității modului de transport feroviar, încadrându-se în obiectivul principal al Uniunii Europene pentru perioada 2007-2013 de a revigora sistemul de transport feroviar, oferind o alternativă nepoluantă, mai sigură din punctul de vedere al integrității mărfurilor și călătorilor transportați, față de alte moduri de transport.

O atenție deosebită va fi acordată prevederilor „Cărții Verzi asupra acțiunii împotriva zgomotului”, prin eliminarea emisiilor de zgomot de la sursă și protejării sănătății publice împotriva acestuia.

Înnoirea parcului de material rulant feroviar reprezintă una dintre căile de a atinge obiectivul instituirii unui transport durabil. Această măsură, ce conține componente tehnice, economice și legislative va asigura o sporire a siguranței în exploatare, reducerea tuturor factorilor de poluare, în special fonică și chimică, randamente energetice sporite precum și un confort sporit.

O altă direcție de dezvoltare presupune construcția sau reabilitarea unor linii pentru viteze sporite sau chiar de mare viteză, astfel încât să se poată realiza un transport internațional în regim rapid. Pentru realizarea acestui deziderat sunt necesare investiții majore în infrastructura și suprastructura căii astfel încât să existe condițiile tehnice și de siguranță pentru rularea unor tonaje sporite, la viteze superioare, cu un confort ridicat.

2. CONSTRUCȚIA STRUCTURILOR DE IZOLARE FONICĂ LA VEHICULELE FERROVIARE

Reducerea zgomotului la vehiculele feroviare trebuie realizată încă din faza de proiectare și de construcție, astfel încât utilizând cele mai noi tehnologii din domeniu să se obțină un confort ridicat atât în interiorul

vehiculelor cât și în zonele adiacente căii ferate. Pentru alegerea celor mai eficiente mijloace de combatere a zgomotului sunt necesare studii asupra mecanismelor de producere și de propagare a zgomotelor de la sursă la spațiile ce impun o protecție fonică corespunzătoare.

Transmiterea zgomotelor spre interiorul vehiculelor feroviare se face pe mai multe căi. Din zona de contact roată – șină, zgomotul se propagă în mediul din jurul căii ferate, o parte a fronturilor de undă se vor propaga spre structura cutiei, intrând în contact cu podeaua, pereții laterali și acoperișul vehiculului feroviar. La suprafața de contact dintre fronturile de undă și cutie apar vibrații provocate de variația presiunii acustice. Vibrațiile induse în acest mod se vor propaga din aproape în aproape, ajungând la suprafața interioară a cutiei. În continuare se vor transmite în acest mediu, determinând un anumit nivel de zgomot în interiorul vehiculului. Orice componentă din structura cutiei unui vagon sau locomotive prezintă o anumită transparență acustică. Această cale de transmitere este cea aeriană, zgomotul transmis fiind zgomot aerian. Tot pe această cale se mai transmit zgomotele de la instalațiile de forță de pe locomotive (motoare diesel, ventilatoare, motoare electrice, compresoare) sau de la instalațiile de climatizare - ventilare dispuse sub planșeul fiecărui vagon, precum și zgomotul aerodinamic generat la circulația vehiculului.

Un alt mod de transmitere a zgomotelor este calea solidă, mai precis însăși structura vehiculului feroviar. Vibrațiile pot fi transmise atât din exterior, de la aparatul de rulare cât și din interior de la orice instalație de forță sau auxiliară care funcționează pe locomotive sau vagoane.

Deși se folosesc elemente elastice de fixare, vibrațiile mașinilor se vor transmite integral sau parțial la șasiul vehiculului sau la pereții acestuia. Toate aceste elemente devin la rândul lor surse de zgomot care transmit mai departe aceste perturbații atât pe cale solidă cât și pe cale aeriană. În acest ultim caz, vibrațiile se transmit în interior dar și în exterior, în mediului înconjurător generând un câmp acustic în jurul sursei. Undele se vor propaga prin aer spre pereții incintei pe care îi penetrează datorită transparenței acustice ajungând în spațiul ce trebuie protejat, pe cale directă. O altă formă de propagare este cea indirectă la care propagarea se realizează prin tot pe cale aeriană spre pereții vehiculului de unde prin vibrații ale structurii ajung în spațiile protejate fonic.

A treia formă de propagare este pe cale secundară, respectiv prin aer spre exteriorul vehiculului în mediu înconjurător de unde prin intermediul ferestrelor, a ușilor pătrunde la interior, contribuind la mărirea nivelului de zgomot. În figura de mai jos sunt indicate căile

de propagare a zgomotului în cazul unei locomotive diesel - electrice.

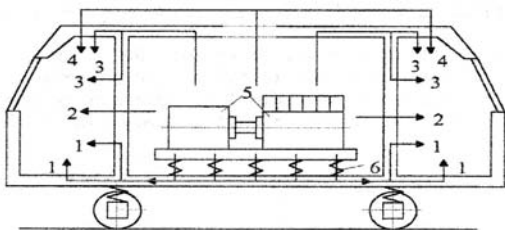


Fig. 1. Transmiterea zgomotului de la sursele interioare:
 1 – transmitere pe cale solidă; 2 – transmisie pe cale aeriană directă;
 3 – transmisie pe cale aeriană indirectă; 4 – transmisie pe cale aeriană secundară; 5 – grup motor diesel – generator; 6 – elemente elastice de rezemare și fixare.

3. IZOLAREA ACUSTICĂ CU ECRAN SIMPLU

Indiferent de tipul sursei de zgomot, zgomotul aerian pătrunde în interiorul vehiculului sau trece dintr-un compartiment într-altul al vehiculului prin elementele de structură ale cutiei. Acestea se comportă ca ecrane acustice care se opun, mai mult sau mai puțin, trecerii energiei acustice.

Prin ecran simplu se înțelege ecranul care este alcătuit dintr-un singur material, omogen din punct de vedere al proprietăților mecanice. De exemplu, la un vagon de călători, pot fi considerate ecrane simple pereții interiori confecționați din PFL sau alt material lemnos, geamurile de la ferestrele cu geam simplu. De asemenea, orientativ, se mai poate explica ipoteza ecranului simplu și la elementele de structură alcătuite din mai multe straturi din materiale diferite, cum ar fi podeaua și pereții exteriori ai cutiei, dacă diferitele straturi sunt bine solidarizate între ele.

Transmiterea zgomotului dintr-o parte în cealaltă a ecranului separator se explică, pe de o parte, prin propagarea directă a undelor acustice prin trei medii: aerul exterior, materialul ecranului și aerul interior, iar pe de altă parte, prin efectul de diafragmă prin care, sub acțiunea undelor incidente pe ecran, acesta vibrează ca o diafragmă și emite energie acustică la interior.

Se analizează mai întâi transmiterea zgomotului printr-un ecran sub aspectul propagării undelor acustice prin trei medii. Se consideră două medii nedisipative extinse la infinit, mediul exterior notat convențional cu 1 și mediul interior 2. Impedanțele caracteristice ale celor două medii sunt:

$$Z_{ai} = \rho_i c_i, \text{ pentru: } i=1,2 \quad (1)$$

unde: $\rho_{1,2}$ sunt densitățile mediilor;

$c_{1,2}$ – vitezele de propagare ale undelor sonore prin mediile respective.

Mediul interior este despărțit de mediul exterior printr-un ecran simplu, respectiv un mediu având grosimea d și extins, de asemenea, la infinit. Ecranul are impedența caracteristică:

$$Z_a^* = \rho^* c^* \quad (2)$$

unde: ρ^* este densitatea materialului din care este alcătuit ecranul;

c^* – viteza de propagare a sunetului prin ecran.

Se presupune că în mediul exterior se propagă o undă sonoră incidentă după normala la suprafața S_1 de separație cu ecranul simplu. Unda sonoră incidentă poate proveni de la o sursă acustică oarecare situată la o distanță suficient de mare de ecran pentru ca undele sonore să poată fi considerate unde plane.

Datorită fenomenului de reflexie – refracție, la suprafața de separație S_1 rezultă o undă reflectată care se propagă tot în mediul exterior și o undă transmisă în mediul ecranului, la suprafața de separație S_2 cu mediu interior, de asemenea, sub incidență normală. Interacțiunea unei incidente din mediul ecranului și o undă transmisă în mediul interior.

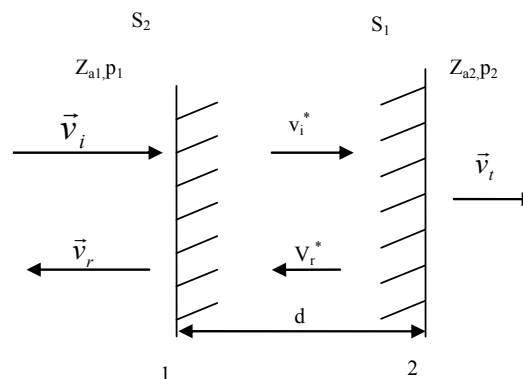


Fig. 2. Structura de izolare cu ecran simplu.

Expresia presiunii acustice la suprafața de separație va fi:

$$\bar{p}_1(x_1, t) = \bar{p}_i e^{j(\omega t - k_1 x_1)} + \bar{p}_r e^{j(\omega t + k_1 x_1)} \quad (3)$$

unde: \bar{p}_i și \bar{p}_r sunt amplitudinile complexe ale presiunilor acustice ale undelor incidente respectiv reflectate;

k_1 – este numărul de undă;

ω – pulsația;

t – timpul.

În mediul interior se propagă numai unda transmisă care este o undă progresivă. Expresia ei poate fi scrisă

în raport cu referențialul O_2x_2 a cărui origine se află la distanța d :

$$\bar{p}_2(x_2, t) = \bar{p}_i e^{j(\omega t - k_2 x_2)} \quad (4)$$

unde: \bar{p}_i este amplitudinea complexă a undei transmise în mediul interior;

k_2 – este numărul de undă al mediului interior;

Viteza undei transmise în mediul interior este:

$$\bar{v}_2(x_2, t) = \bar{v}_i e^{j(\omega t - k_2 x_2)} = \frac{\bar{p}_i}{Z_{a2}} e^{j(\omega t - k_2 x_2)} \quad (5)$$

Trebuie menționat faptul că s-a ținut seama că la trecerea undei sonore dintr-un mediu într-altul nu se modifică frecvența și că s-au aplicat legile reflexiei – refracției referitoare la unghiurile de incidență, reflexie și refracție.

Se pun condițiile de continuitate ale presiunii și vitezei. În dreptul suprafeței S_1 , adică la $x_1=0$, trebuie îndeplinite relațiile:

$$\bar{p}_1(0, t) = \bar{p}^*(0, t) \text{ și } \bar{v}_1(0, t) = \bar{v}^*(0, t) \quad (6)$$

Înlocuind expresiile presiunilor acustice și ale vitezelor date de relațiile se obține:

$$\bar{p}_i + \bar{p}_r = \bar{p}_i^* + \bar{p}_r^* \text{ și } \frac{\bar{p}_i - \bar{p}_r}{Z_{a1}} = \frac{\bar{p}_i^* - \bar{p}_r^*}{Z_a^*} \quad (7)$$

Se deduce expresia amplitudinii complexe a presiunii undei transmise în mediul interior:

$$\bar{p}_i = 2 \bar{p}_i \left[\left(1 + \frac{Z_{a1}}{Z_a^*} \right) \cos k^* d + j \left(\frac{Z_{a1}}{Z_a^*} + \frac{Z_a^*}{Z_{a2}} \right) \sin k^* d \right]^{-1} \quad (8)$$

În cazul când se cunoaște nivelul presiunii acustice pentru unda incidentă:

$$L_i = 10 \lg \frac{p_i^2}{p_0^2} \quad (9)$$

Indicele de atenuare se anulează în cazul când coeficientul de transmisie este $\tau = 1$

Energia acustică transmisă este egală cu energia acustică incidentă, iar nivelul presiunii acustice transmise este identic cu cel al presiunii acustice incidente, fapt ce indică că la transmisie nu mai apar unde reflectate. Ecranul devine total transparent din punct de vedere acustic. Indicele de atenuare se va anula dacă $\sin k^* d = 0$ și, respectiv în cazul când este îndeplinită condiția:

$$k^* d = n\pi \quad (10)$$

Pentru cazul când $n=1$, se va obține frecvența minimă la care ecranul simplu devine total transparent acustic:

$$f_1^* = \frac{c^*}{2d} \quad (11)$$

În concluzie la construcția unui vehicul feroviar se va lua în considerare frecvența minimă la care indicele de atenuare de anulează. Această valoare este foarte mare, peste frecvența zgomotului măsurat în practică.

4. IZOLAREA ACUSTICĂ CU ECRANE DUBLE

Indicele de atenuare crește odată cu dublarea masei ecranului dar numai într-o măsură relativ mică de aproximativ 5-6 dB. Astfel în practică se utilizează mai frecvent cu rezultate foarte bune izolarea fonică cu ecrane duble. Aceste ecrane au masa unitară însumată egală cu cea a ecranului pe care îl înlocuiesc, fiind dispuse la o distanță suficient de mare pentru a se evita cuplajele, ceea ce ar micșora indicele de atenuare. În acest caz legea masei arată că un ecran cu o masă unitară pe jumătate din masa ecranului considerat va avea la aceeași frecvență, un indice de atenuare cu 6 dB mai puțin. Utilizând însă două ecrane ușoare cu masa unitară totală egală cu cea a ecranului inițial, dar distanțate astfel încât să lucreze independent, se obține un indice de atenuare dublu față de cazul ecranării cu un singur ecran.

În majoritatea cazurilor toate structurile portante de la vehiculele feroviare sunt constructiv realizate sub formă de ecrane duble.

La o locomotivă sau vagon de călători podeaua este realizată sub formă stratificată, în exterior din tablă de 2 - 2,5 mm, grinzi din lemn de esență tare peste care se montează contraplaca din lemn rezemată pe grinzi prin intermediul unor garnituri de cauciuc. Datorită impedanței caracteristice a cauciucului diferite față de cea a oțelului din structura exterioară a podelei respectiv a grinzilor din lemn se realizează o reducere considerabilă a zgomotului transmis pe cale solidă de la exterior spre interiorul vehiculului.

Pereții laterali ai cutiei pot fi considerați tot ca două ecrane de izolare acustică. Spre exterior cutia vehiculului se confecționează din tablă sau din aluminiu (la construcțiile mai moderne) iar la interior din placaj tip PFL cu material plastic stratificat. Între cei doi pereți există un strat izolator din vată minerală cu proprietăți fonoabsorbante.

Geamurile exterioare sunt duble având aceleași proprietăți ca și ecranele duble. Pentru orice vehicul modern care circulă cu viteze mari se impune în mod

obligatoriu utilizarea geamurilor duble pentru atenuarea zgomotului transmis pe cale aeriană din exteriorul vehiculului.

Din punct de vedere al izolării fonice dar și termice se impune ca la toate construcțiile noi să se utilizeze ecranele de izolare duble.

5. MATERIALE FONOAORSORBANTE

Caracteristica principală a materialelor fonoabsorbante, cum sunt de exemplu vata minerală, pâslă, PFL poros ș.a., constă în aceea că ele au o structură poroasă. Porii comunică între ei prin canale sau deschizături ale materialului.

Datorită vâscozității aerului, atât între particulele de aer, cât și între acestea și pereții porilor apar forțe de frecare care transformă ireversibil în căldură o parte din energia acustică a undelor. De asemenea, conductibilitatea termică a aerului contribuie și ea la disiparea energiei acustice a undelor care traversează materialul fonoabsorbant. Odată cu aerul, se pun în mișcare și fibrele materialului care suferă mișcări de încovoiere. Frecările interne din fibrele materialului, care apar datorită deformațiilor acestora, au ca efect sporirea absorbției acustice a materialului.

Avându-se în vedere modul în care se realizează absorbția acustică, rezultă că este important ca porii materialului fonoabsorbant să fie deschiși și să se formeze canale adânci care să comunice între ele.

Absorbția acustică a materialelor fonoabsorbante este în strânsă legătură cu o serie de caracteristici fizice ale acestora. Dintre acestea cele mai importante sunt rezistența la trecerea aerului și porozitatea.

Porozitatea este dată de raportul dintre volumul porilor de aer și volumul total al materialului. La materialele fibroase, este mai comod să se calculeze porozitatea după formula

$$y = 1 - M_m / (V_m \rho_f) \quad (12)$$

în care: M_m este masa mostrei de material;

V_m – volumul mostrei;

ρ_f – este densitatea fibrelor.

Din punct de vedere acustic, proprietățile materialelor sunt constanta de propagare și impedanța acustică specifică. Cele două mărimi sunt reprezentate prin numere complexe. După cum s-a mai arătat, constanta de propagare este de forma

$$\bar{\gamma} = \alpha + j\beta \quad (13)$$

unde: α este constanta de atenuare;

P – constanta de fază și ea caracterizează viteza de propagare a sunetului în material.

Impedanța acustică specifică a materialului are expresia:

$$\bar{Z}_a = R_a + jX_a \quad (14)$$

în care R_a este rezistența acustică;

X_a – reactanța acustică.

Impedanța acustică specifică este definită în raport cu o undă plană progresivă. Aceasta presupune ca grosimea materialului să fie, cel puțin teoretic, infinită, iar din punct de vedere practic, suficient de mare astfel încât unda reflectată să fie neglijabilă. În cazul tratamentelor antifonice obișnuite, se utilizează materiale fonoabsorbante cu grosimi relativ mici ceea ce impune luarea în considerare a contribuției unei reflectate.

6. STRUCTURILE FONOAORSORBANTE

Structurile fonoabsorbante au în alcătuirea lor sisteme oscilante amortizate care absorb energia fonică datorită faptului că, sub acțiunea undelor sonore incidente, încep să vibreze, deci acumulează energie pe care o transformă parțial în căldură prin mecanismele de frecare descrise mai sus. Absorbția fonică dată de aceste structuri este maximă la frecvența de rezonanță pentru că, la această frecvență, viteza de oscilație ia valorile cele mai mari și, în consecință, are loc intensificarea fenomenelor de frecare, respectiv disiparea într-o proporție mai mare a energiei sonore.

Foarte eficiente și frecvent folosite sunt structurile fonoabsorbante care utilizează materiale poroase sau formă de saltele sau plăci moi acoperite cu ecrane protectoare, în mod obișnuit, ecranele sunt perforate având diverse forme ale orificiilor și sunt confecționate din foi metalice, material plastic etc. Perforațiile ecranului sunt necesare pentru a ușura ajungerea unei sonore la materialul fonoabsorbant. Ecranul are un important rol estetic, el asigurând un aspect corespunzător structurii fonoabsorbante.

Pentru reducerea puterii acustice a sistemului roată-șină se acționează atât asupra căii în ansamblu, cât și asupra aparatului de rulare.

Izolarea vibrațiilor șinei prin utilizarea sistemelor elastice de prindere și rezemare este foarte importantă mai ales în cazul structurilor metalice masive cum sunt cele din oțel de la poduri. La acestea, zgomotul este mai intens datorită radiației acustice a suprafețelor mari, metalice care nu sunt în suficientă măsură amortizate.

În ultima perioadă se trece la utilizarea frânei disc și renunțarea la frâna cu saboți, pentru a se îmbunătăți astfel puterea de frânare la viteze superioare de circulație, dar și pentru reducerea uzurii la suprafața de rulare a roților.

În vederea micșorării zgomotului produs de roată, s-au adoptat o serie de dispozitive care au rolul de a amortiza vibrațiile structurale ale roții și de a atenua radiația acustică a acesteia. Amortizoarele de zgomot utilizate sunt montate în locașuri practicate la interiorul coroanei roții pentru că, în această zonă, măsurătorile au relevat cel mai ridicat nivel al vibrațiilor.

Un amortizor de zgomot este alcătuit din pachetele de lamele metalice strânse cu ajutorul unor șuruburi. Între lamele sunt intercalate straturi de cauciuc siliconic.

Vibrațiile coroanei se transmit lamelelor care tind să se miște una față de cealaltă. Între lamele se dezvoltă forțe de amortizare care transformă în căldură o parte din energia mecanică de vibrație a roții. Din această cauză, nivelul vibrațiilor roții este mai mic și, pe cale de consecință, radiația acustică a roții se reduce. Roata poate fi prevăzută și cu unul sau două ecrane fixate de lamelele amortizoarelor de zgomot. Ecranele au rolul de a împiedica într-o anumită măsură propagarea undelor sonore emise de roată.

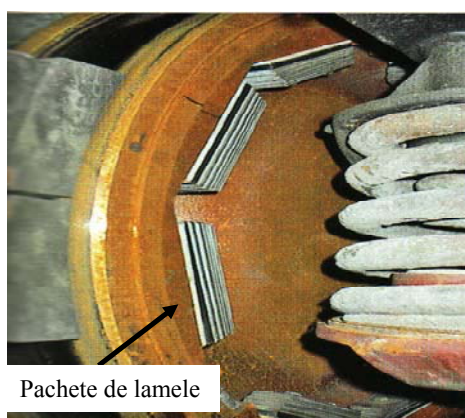


Fig. 3. Roată cu elemente metalice în pachet.

O atenție specială trebuie acordată măsurilor de combatere a zgomotului aerodinamic, în special la trenurile care circulă cu viteze sporite. Pentru reducerea turbioanelor care apar în jurul cutiei vehiculului, este necesar ca suprafața exterioară a vehiculului să aibă o formă aerodinamică, mai ales în cazul vehiculelor motoare din capul trenului sau ramei. În acest sens se poate menționa faptul că la toate trenurile de mare viteză primul vehicul are o formă aerodinamică care, pe lângă reducerea rezistenței la înaintare, contribuie la diminuarea zgomotului de natură aerodinamică.

De asemenea, suprafețele exterioare trebuie să fie netede și să nu prezinte, pe cât posibil, discontinuități ca intrânduri și ieșinduri.

La vehiculele moderne, ușile și ferestrele sunt aduse în planul suprafeței exterioare a cutiei. Dispozitivele de

intercomunicație trebuie să aibă o lungime suficientă pentru a compensa rotația relativă între capetele a două vehicule alăturate în timpul circulației în curbă. La vehiculele care circulă cu viteze mari și care beneficiază de o cale specială, cu raze mari de curbura, această rotație relativă este în mod corespunzător mai mică și deci lungimea dispozitivului de intercomunicație poate fi mai mică. În acest mod se reduce zona slab protejată din punct de vedere fonic și se reduce, de asemenea, turbulența indusă de discontinuitatea suprafeței exterioare a trenului datorată prezenței dispozitivului de intercomunicație.

Zgomot aerodinamic mai poate produce și aparatul aflat sub cutie și fixat de șasiul acesteia. Pentru reducerea acestui zgomot, construcția cutiei este carenată: pereții laterali sunt prelungiți sub podeaua cutiei iar construcția este închisă printr-un planșeu fals. Aparatul se află în interiorul carenajului. Se asigură astfel o suprafață netedă în această zonă ceea ce conduce la scăderea turbulenței curgerii aerului. În plus, carenajul de sub cutie reprezintă o barieră suplimentară deosebit de eficientă în calea zgomotului de rulare. Pentru a diminua efectul undelor staționare ce pot să se formeze la interiorul carenajului, suprafața interioară este tratată cu materiale fonoabsorbante. Carenajul nu se poate aplica în zona boghiurilor standard.



Fig. 4. Carenaj la partea inferioară a șasiului

Pentru a compensa acest lucru, podeaua are o izolare fonică mai groasă. De observat acum cât de avantajoasă este dispunerea boghiurilor la capetele cutiei, ca la TGV unde, datorită acestui aranjament al boghiurilor, cutia poate fi carenată aproape pe întreaga lungime. În fine, mai trebuie adăugat faptul că planșeul fals, căptușit cu materiale izolatoare, îmbunătățește și izolația termică a vagonului și acest lucru este cu atât mai important, cu cât pierderile de căldură ale vagonului cresc odată cu viteza de circulație.

Pentru combaterea zgomotului transmis, de la motor, pe cale aeriană se pot utiliza ecrane dispuse între motor și cabinele de conducere ale locomotivei (ex. LDE 2100 CP modernizată).

La țevile de eșapare se folosesc atenuatoare de rezonanță cu camere.

Pentru combaterea zgomotelor transmise pe cale solidă este necesar să se asigure izolarea sașiuului cutiei de vibrațiile motorului diesel. Motorul este așezat pe o suspensie alcătuită din elemente elastice de cauciuc. Dimensionarea elementelor elastice se face astfel încât frecvențele proprii ale sistemului oscilant să fie mai mici decât frecvențele vibrațiilor produse de funcționarea motorului.

O atenție specială trebuie acordată problemei protejării contra poluării fonice a zonelor din apropierea căii ferate. Pentru realizarea acestui scop se pot utiliza ecrane acustice de protecție care se amplasează de-a lungul căii, cât mai aproape de aceasta. Construcția ecranelor acustice trebuie concepută în funcție de topografia zonei protejate, urmărindu-se asigurarea stabilității, rezistenței și a fiabilității ecranelor.

În figura 5. se prezintă un ecran acustic din beton precomprimat.



Fig.5. Ecran din beton precomprimat standard pentru stații c.f.

Înălțimea ecranului este în mod obișnuit de 2,5 m deasupra șinei, dar se construiesc ecrane și mai înalte, în special pe linii magistrale în apropierea zonelor rezidențiale.

Este de preferat ca ecranul să aibă o construcție înclinată pentru a se evita reflexiile multiple între ecran și caroseria vehiculelor.

Eficiența ecranelor este indiscutabilă: măsurătorile efectuate în spatele ecranului la 25 m de axa căii și la 3,5 m deasupra șinei, în timpul trecerii unei rame cu viteza de 300 km/h, au arătat că nivelul zgomotului s-a diminuat cu 13 dB comparativ cu măsurarea în câmp liber (fără ecran). Această atenuare poate fi mai mare la

viteze mai mici, ea ajungând la 18 dB la circulația cu viteza de 200 km/h. Explicația acestui aspect este legată de faptul că, odată cu creșterea vitezei, crește și zgomotul aerodinamic care este produs de turbioanele ce se formează la înălțimi de 2 - 4 m deasupra șinei, iar eficiența ecranelor față de sursele de zgomot aerodinamic aflate la aceste înălțimi este mai redusă. Dezavantajele ecranelor de protecție antifonică constă mai ales în costul ridicat și în dificultatea de a le încadra în peisajul zonei protejate, ele fiind inestetice.



Fig. 6. Ecran fonoabsorbant înalt pentru linii magistrale de mare viteză

7. CONCLUZII

Indiferent de tipul vehiculului feroviar sau de viteza de deplasare în noile condiții impuse de legislația europeană sunt necesare măsuri de atenuare și de combatere a zgomotului, în special în zonele aglomerate sau în cele rezidențiale. Aplicarea acestor măsuri se va face atât la vehiculele feroviare cât și la infrastructura și suprastructura căii, astfel încât să rezulte un nivel de zgomot care să se încadreze în limitele impuse.

BIBLIOGRAFIE

1. *** ASRO *Railway applications*, București, 2007.
2. *** AEIFS *Specificații tehnice pentru sisteme convenționale*, 2004.
3. Stepan, D, Dungan, L., Ursu-Neamț, G., *Controlul poluării fonice la calea ferată*, The International Conference HME, Scientific Bulletin of the Politehnica University, Timișoara, 2008.
4. Masoero, M., Papi, D., *Standardul European de zgomot la în transportul feroviar*, 1996.
5. A. Frid, S. Leth *Norme privind controlul nivelului de zgomot*, Journal Sound and Vibration, 2007.
6. *** SR ISO 1996-2:1995, *Acustică - mărime de bază. Partea 1.*
7. *** SR ISO 1996-2:1995, *Acustică poluarea mediului, Partea 2: Achiziția datelor.*