

Jerzy PAWLICKI, Maria KOVAĽAKOVÁ, Milan TOMKO

MODELOWANIE HAŁASU W OTOCZENIU TOROWISKA TRAMWAJOWEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono zagadnienie poziomu hałasu w okolicach drogi tramwajowej z wykorzystaniem modeli matematycznych. Otrzymane z obliczeń wartości porównano z wynikami bezpośrednich pomiarów poziomów równoważnych hałasu.

THE MODELLING OF NOISE IN THE TRAM TRACK-WAY ENVIRONMENT

Summary. An improved calculation model for prediction of levels of noise from tram traffic is presented. The model is based on presently-used calculation models for noise from traffic and the measurements of equivalent noise levels from tram traffic.

1. WPROWADZENIE

Poziom ciśnienia akustycznego wywołanego przez poruszający się po torze tramwaj można określić za pomocą bezpośrednich pomiarów lub modeli obliczeniowych. W przypadku budowy nowej drogi tramwajowej, podobnie jak innych obiektów emitujących hałas, zachodzi konieczność prognozowania poziomów hałasu. Wymaga to modelowania przewidywanych sytuacji za pomocą modeli matematycznych.

2. MODEL OBLICZENIOWY

Do liczbowego opisu klimatu akustycznego drogi tramwajowej są stosowane najczęściej metody VUVA [1] (nazywana dalej modelem A) i KGaDS [2] (model B). Obydwie uwzględniają podstawową zależność:

$$L_{Aeq} = r L_{Aeq} + \sum_{k=1}^6 \Delta L_{Ak} \quad (1)$$

gdzie:

L_{Aeq} – równoważny (ekwiwalentny) poziom dźwięku A w odległości $r = 7,5$ m od osi linii tramwajowej,

ΔL_{Ak} – poprawka, uwzględniająca:

- odległość i wysokość nad terenem z odbijającymi lub absorbującymi własnościami ($-\Delta L_{A1}$),
- pas zieleni ($-\Delta L_{A2}$),
- niską zabudowę ($-\Delta L_{A3}$),

- ekrany lub konfigurację terenu ($-\Delta L_{A4}$),
- przyległą zabudowę ($-\Delta L_{A5}$),
- długość odcinka linii tramwajowej ($-\Delta L_{A6}$).

Wzór (1) pozwala na obliczenie równoważnego poziomu hałasu wraz z zakłóceniami pochodzącymi z innych źródeł. W dalszej części skoncentrowano się na sposobie ustalenia równoważnego poziomu hałasu (${}^rL_{Aeq}$) w punkcie oddalonym o 7,5 m od osi toru znajdującego się 1,5 m powyżej niwelety. Oba modele różni przede wszystkim liczba uwzględnionych czynników wpływających na poziom emisji hałasu.

3. PREDYKCJA POZIOMU HAŁASU

3.1. Predykcja za pomocą modelu A

Danymi wejściowymi do obliczenia są: liczba pociągów tramwajowych w przekroju toru w ciągu godziny m , średnia prędkość v w km/h, rodzaj nawierzchni, która ma konstrukcję:

- tradycyjną (szyny na podkładach ułożonych na podsypce otwartej),
- tradycyjną (szyny na podkładach ułożonych na podsypce, przekrytej płytami),
- płyty wielkopowierzchniowej z szynami blokowymi (typ BKV).

Model uwzględnia następujące pojazdy szynowe:

- 2O (pociąg tramwajowy dwuwagonowy, klasyczny),
- 1O (pociąg tramwajowy jednowagonowy, klasyczny),
- 2T (pociąg tramwajowy dwuwagonowy z regulacją tyrystorową),
- 1T (pociąg tramwajowy jednowagonowy z regulacją tyrystorową).

Wartość poziomu równoważnego hałasu tramwajowego w odległości 7,5 m od osi toru oblicza się z zależności:

$${}^rL_{Aeq} = 10 \cdot \log X + 40, \quad (2)$$

przy czym wielkość X otrzymuje się z zależności:

$$X = 44,5 F_1 \cdot m. \quad (3)$$

Czynnik F_1 ze wzoru (3) przyjmuje wartość:

0,25 – dla $V = 30$ km/h, na torowisku klasycznym (otwartym) oraz typu BKV,

0,50 – dla $V = 30$ km/h, na torowisku klasycznym z płytą,

1,00 – dla $V = 60$ km/h, na wszystkich rodzajach torowisk,

1,65 – dla $V = 80$ km/h, na wszystkich rodzajach torowisk.

Przedstawione obliczenia wartości ${}^rL_{Aeq}$ dotyczą pociągów tramwajowych typu 2O. Zastosowanie modelu w odniesieniu do pozostałych składów wymaga wprowadzenia poprawek w zależności od natężenia ruchu pojazdów. Wartości poprawek dla $m \geq 50$ wynoszą: - 3,2 dB (A) dla typu pociągu 1O, -2,5 dB (A) – typ 2T i 5,0 dB (A) – typ 1T.

Jeśli liczba pociągów tramwajowych przejeżdżających przez przekrój torowiska w ciągu godziny $m < 50$, przyjmuje się poprawki: 1,5 dB (A) dla typu 1O, - 1.2 dB (A) dla typu 2T i - 2,5 dB (A) dla typu 1T.

3.2. Prognozowanie za pomocą modelu B

Równoważny poziom hałasu ${}^rL_{Aeq}$ w odległości odniesienia od osi toru oblicza się w tym modelu zgodnie ze wzorem:

$${}^rL_{Aeq} = 10 \cdot \log m^{1,24} \cdot \prod_{i=1}^n F_i, \quad (4)$$

gdzie:

F_i – czynniki mające istotny wpływ na kształtowanie się poziomu hałasu,

- m – liczba pociągów tramwajowych w przekroju torowiska w ciągu godziny (poj/h), przy czym $m \in \langle 1, 70 \rangle$,
- n – liczba czynników uwzględnionych w modelu,
- r – odległość odniesienia (7,5 m) od osi toru.

Model uwzględnia sześć czynników posiadających wpływ na wartość równoważnego poziomu hałasu.

- Prędkość tramwaju – czynnik F_1 .

Jego wartość oblicza się z uwzględnieniem konstrukcji nawierzchni [2]:

- tradycyjna z nawierzchnią warstwową pokrytą brukiem, bitumem lub płytą betonową:

$$F_1 = V^{1,6}, \quad (5)$$

- z płytą torową i szyną blokową (typ PKV):

$$F_1 = V^{1,9}, \quad (6)$$

- z odsłoniętą podsypką:

$$F_1 = V^{1,8}. \quad (7)$$

Prędkość tramwaju v [km/h] przyjmuje się z przedziału $\langle 1; 80 \rangle$.

- Pochylenie podłużne linii tramwajowej – czynnik F_2

Jazda tramwaju na pochyleniu linii charakteryzuje się większym zużyciem energii przy wznoszeniu i przyspieszeniu lub hamowaniu na spadku, co powoduje wzrost poziomu hałasu zgodnie ze wzorem:

$$F_2 = 10^{0,001S}, \quad (8)$$

gdzie:

S – pochylenie podłużne toru [%] z przedziału $\langle 0; 60 \rangle$.

- Zużycie faliste i szlifowanie szyn – czynnik F_3

Nierówności współpracujących powierzchni koła i szyny mają duże znaczenie dla poziomu hałasu. Zgodnie z [3] zależność ta ma postać:

$$F_3 = 10^{-0,01(3+l)} \cdot F_3, \quad (9)$$

dla $l \in \langle 1; 30 \rangle$, przy czym

$$F_3 = 10^{-0,0002V}. \quad (10)$$

- Czas eksploatacji tramwaju – czynnik F_4

Czynnik ten uwzględnia wpływ pogarszającego się stanu technicznego pojazdu na poziom hałasu

$$F_4 = T_{el}^{0,08}, \quad (11)$$

gdzie:

T_{el} – wiek tramwaju w latach, $T_{el} \in \langle 1; 15 \rangle$.

- Czas eksploatacji torowiska tramwajowego

Wprawdzie rodzaj konstrukcji nawierzchni torowej uwzględniono wcześniej przy obliczaniu wpływu prędkości na poziom hałasu, nie wzięto jednak pod uwagę problemu stanu technicznego (zużycia) będącego efektem czasu eksploatacji (wieku) torowiska [5]. Wpływ tego czynnika ma postać:

$$F_5 = T_{tr}^{0,62}, \quad (12)$$

gdzie:

T_{tr} – wiek drogi tramwajowej w latach liczonych od czasu jej budowy lub ostatniego remontu kapitalnego z przedziału $T_{tr} \in \langle 1; 30 \rangle$.

- Czynnik struktury rodzajowej potoku ruchu tramwajowego

Tabor stanowią tramwaje serii T_3 , T_6 , KT_8 (zestawione w pociągi jedno-, dwu- i trzywagony). Każdy składnik wzoru (13) oblicza się jako iloczyn wektorów udziału (\mathbf{P}) i wagi wpływu (\mathbf{V}) [6]. Czynniki ten oblicza się według formuły:

$$F_6 = ({}_{T_3}EF_6 + {}_{T_6}EF_6 + {}_{KT_8}EF_6)^{1,7}, \quad (13)$$

przy czym:

${}_{T_3}EF_6$ - składnik struktury potoku tramwajowego złożonego z taboru T_3 ,

${}_{T_6}EF_6$ - składniki struktury potoku tramwajowego złożonego z taboru T_6 ,

${}_{KT_8}EF_6$ - składnik struktury potoku tramwajowego złożonego z taboru KT_8 (wzory 14, 15 i 16):

$${}_{T_3}F_6 = ({}_{T_3}\mathbf{P}) \cdot ({}_{T_3}\mathbf{V}) = \begin{pmatrix} \frac{{}_{T_3}m_1}{m} & \frac{{}_{T_3}m_2}{m} & \frac{{}_{T_3}m_3}{m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 7,5 \\ 8,6 \\ 9,5 \end{pmatrix}, \quad (14)$$

gdzie:

m - liczba pociągów tramwajowych przedziału $\langle 1; 70 \rangle$,

${}_{T_3}m_1$ - liczba pociągów jednowagonych tramwajów serii T_3 z przedziału $\langle 1; m \rangle$,

${}_{T_3}m_2$ - liczba pociągów dwuwagonych serii T_3 z przedziału $\langle 1; m \rangle$,

${}_{T_3}m_3$ - liczba pociągów trzywagonych serii T_3 z przedziału $\langle 1; m \rangle$,

7,5; 8,6 i 9,5 - stałe wpływu jedno-, dwu- i trzywagonych pociągów serii T_3 .

$${}_{T_6}F_6 = ({}_{T_6}\mathbf{P}) \cdot ({}_{T_6}\mathbf{V}) = \begin{pmatrix} \frac{{}_{T_6}m_1}{m} & \frac{{}_{T_6}m_2}{m} & \frac{{}_{T_6}m_3}{m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 7,3 \\ 8,2 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (15)$$

gdzie:

m - liczba pociągów tramwajowych przedziału $\langle 1; 70 \rangle$,

${}_{T_6}m_1$, ${}_{T_6}m_2$, ${}_{T_6}m_3$ - liczba pociągów odpowiednio jedno-, dwu- i trzywagonych serii T_6 z przedziału $\langle 1; m \rangle$,

7,3 i 8,2 - stałe wpływu pociągów jedno- i dwuwagonych serii T_6 ,

0 - stałej wpływu zespołu trzywagonych nie ustalano.

$${}_{KT_8}F_6 = ({}_{KT_8}\mathbf{P}) \cdot ({}_{KT_8}\mathbf{V}) = \begin{pmatrix} \frac{{}_{KT_8}m_1}{m} & \frac{{}_{KT_8}m_2}{m} & \frac{{}_{KT_8}m_3}{m} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 8,1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (16)$$

gdzie:

m - liczba pociągów tramwajowych z przedziału $\langle 1; 70 \rangle$,

${}_{KT_8}m_1$, ${}_{KT_8}m_2$, ${}_{KT_8}m_3$ - liczba pociągów odpowiednio - jedno-, dwu- i trzywagonych serii KT_8 z przedziału $\langle 1; m \rangle$,

8,1 - stała wpływu tramwaju jednowagonych serii KT_8 ; dla pozostałych zespołów nie ustalono stałej wpływu.

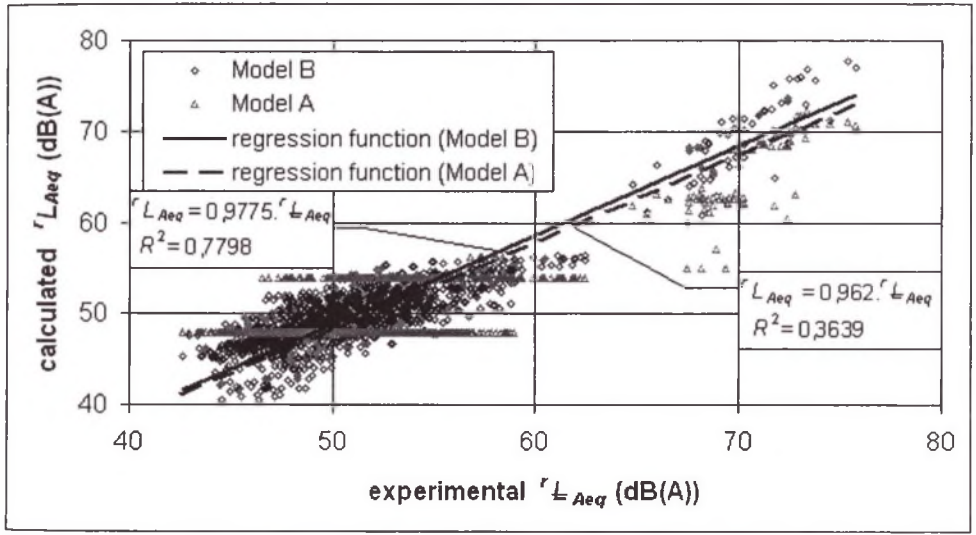
4. PORÓWNANIE MODELI

Porównania modeli A i B dokonano z wykorzystaniem statystycznej analizy zależności pomiędzy pomierzonymi L_{Acq} (1462 pomiary), a obliczonymi z wzorów (2) i (4) równoważnymi poziomami hałasu (zobacz rys.1).

5. WNIOSKI

Z analizy regresji wynika, że:

- Bliższy zależności funkcyjnej jest model B, dla którego współczynnik regresji wynosi $a_1 = 0,9775$ (przy $a_0 = 0$).
- Obydwa modele są istotne statystycznie, co potwierdza analiza korelacji na poziomie istotności $\alpha = 0,05$.
- Wyższą wartość współczynnika korelacji otrzymano w przypadku modelu B.



Rys. 1. Porównanie modeli A i B

Fig. 1. Comparison of models A and B

Literatura

1. Liberko, M.: Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy. VÚVA, Brno 1991.
2. Mandula, J., Salaiová, B.: Predikcia hladín hluku od električkovej dopravy. Horizonty dopravy roč. VII-4/1999, Žilina 1999, s. 1–5.
3. Mandula, J.: Model hlukového zaťaženia okolia tratí električkovej dopravy v SÚ Košice. Zborník prednášok z konferencie s medzinárodnou účasťou „Rozvoj dopravy v meste Košice a priľahlom regióne“, Košice 1997.
4. Mandula, J.: Sledovanie závislostí hladín hluku električiek od ich technického stavu. Zborník prednášok z konferencie „Dopravné riešenie sídelných útvarov“, Žilina 1997.
5. Mandula, J.: Príspevok k výpočtu hladín hluku od električkovej dopravy. Medzinárodná vedecká konferencia 60. výročie Stavebnej fakulty STU v Bratislave, november 1998, Bratislava, s. 403–406.
6. Mandula, J.: Numerické modelovanie hladín hluku od električkovej dopravy. Zborník z 2.celoštátnej konferencie so zahraničnou účasťou „Doprava v sídelných útvaroch“, október 1999, Žilina, s. 229–232.

Abstract

An improved calculation model for prediction of levels of noise from tram traffic is presented. The model is based on presently-used calculation models for noise from traffic and the measurements of equivalent noise levels from tram traffic. Unfavourable influence of tram communication on natural environment contains mainly ascendancy on environment acoustic climate.