Tadeusz ZAKRZEWSKI[1]

METODY PROGNOZOWANIA HAŁASU KOMUNIKACYJNEGO

1. Wprowadzenie

Planowany w najbliższych latach w Polsce dynamiczny rozwój dróg komunikacyjnych w zakresie autostrad i kolei żelaznych stawia przed projektantami ważny problem określenia zasięgu hałasu komunikacyjnego emitowanego do środowiska. Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 13.05.1995r. *„autostrady, drogi ekspresowe i kolejowe"* zostały zaliczone do inwestycji szkodliwych dla środowiska. Powyższe rozporządzenie określa wymagania ,które powinny spełniać oceny dotyczące oddziaływania na środowisko .Podstawą tych ocen jest określenie zasięgu oddziaływania hałasu w postaci linii jednakowego poziomu L_{Adop} .W kraju nie ma obecnie jednej obowiązującej metody prognozowania zasięgu hałasu komunikacyjnego. Stosowane są metody opracowane w różnych ośrodkach krajowych i zagranicznych [1,2,3].

Do najczęściej stosowanych metod modelowania matematycznego pola akustycznego w terenie otwartym zalicza się metodę elementów skończonych i brzegowych jak również modele geometryczne oparte na metodzie promieniowej i metodzie źródeł pozornych [4]. Pewną odmianą metody promieniowej jest metoda stożków oparta na francuskiej bazie danych obliczeniowych i zastosowana w oprogramowaniu MITHRA [5].

W pracy przedstawiono szereg współczesnych metod obliczeniowych zasięgu hałasów komunikacyjnych z uwzględnienie geometrii układu źródło dźwięku – obiekt chroniony.

2. Prognozowanie hałasu drogowego

Hałas komunikacyjny , a w szczególności hałas drogowy ,jest obecnie jednym z głównych zagrożeń dla środowiska .Prognozowanie poziom hałasu w bezpośrednim otoczeniu ciągów komunikacyjnych zależy od bazy danych środowiskowych, obejmujących zarówno parametry ruchu jak również techniczne parametry drogi. Zespół ekspertów francuskich w ramach opracowanego programu MITHRA proponuje do obliczenia mocy akustycznej przypadającej na metr długości pasa jezdnego wykorzystanie następującej zależności funkcyjnej [5] :

[1] Dr hab., Profesor Politechniki Śląskiej, Katedra Procesów Budowlanych, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail : tadzak@poczta.wp.pl

$$LW = LW_{VL} + 10\log\left[\frac{D + D \cdot \%PL \cdot (EQ - 1)/100}{V}\right] - 30 \qquad (2.1.)$$

gdzie : LW – moc akustyczna przypadająca na 1 mb drogi ,
LW_{VL} – moc akustyczna pojedynczego pojazdu lekkiego,
D - ilość pojazdów na godzinę przypadająca na pas jezdni ,
%PL – procentowy udział pojazdów ciężkich w potoku,
EQ – przelicznik pojazdów ciężkich na lekkie (wg. tabeli 2.1),
V – średnia prędkość strumienia pojazdów , km/h .

Przelicznik pojazdów lekkich i ciężkich (EQ) przyjmuje się w oparciu o normę francuską NF S. 31.085 wg. danych zawartych w tab.2.1.

Tablica 2.1. Przelicznik pojazdów ciężkich na pojazdy lekkie w funkcji pochylania jezdni wg. NF S 31085

EQ		POCHYLENIE DROGI %				
		≤ 2	3	4	5	≥6
prędkość	120 km/h	4	5	5	6	6
	100 km/h	5	5	6	6	7
	80 km/h	7	9	10	11	12
	50 km/h	10	13	16	18	20

Moc akustyczną pojedynczego pojazdu lekkiego można uzyskać z następującej zależności :

$$LW_{VL} = 46 + 30\log V + C \qquad (2.2)$$

gdzie : C = 0 dla ruchu płynnego ,
C = 2 dla ruchu pulsującego ,
C = 3 dla przypadku silnego przyśpieszenia .

Zespół ekspertów działający w ramach Międzynarodowej Organizacji Standaryzacji (ISO) proponuje do oceny hałaśliwości nawierzchni wykorzystanie maksymalnego poziomu dźwięku emitowanego przez pojedyncze pojazdy ,występujące w rzeczywistym potoku ruchu .

W oparciu o wyniki pomiarów (L_{max} – V) ustala się funkcje regresji dla poszczególnych grup pojazdów i badanych nawierzchni wg. wzoru :

$$L_{max,i}(V) = L_{max,i}(90) + a\log(V/90) \qquad (2.3)$$

gdzie : $L_{max,i}(V)$ – maksymalny poziom hałasu w punkcie pomiaru podczas przejazdu pojedynczego statystycznego pojazdu i-tej grupy z prędkością V,
$L_{max,i}(90)$ – maksymalny poziom hałasu w punkcie pomiaru podczas przejazdu pojedynczego statystycznego pojazdu i-tej grupy z prędkością 90 km/h ,
a - współczynnik regresji liniowej.

Ustalona na podstawie pomiarów wartość L_{max} (90) dla statystycznego pojazdu osobowego na poszczególnych nawierzchniach drogowych ,jest proponowana jako kryterium klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości.

Bezpośredni pomiar wartości L_{max} (dla czasu t = 0,2 – 0,25 s) jest trudny technicznie, z tego względu określenie maksymalnego poziomu hałasu może być dokonane przez pomiar równoważnego maksymalnego (chwilowego) poziomu dźwięku $L_{eq\,max}$ (1s) przy pomocy całkującego miernika poziomu hałasu.

W przypadku pojedynczego źródła punktowego poruszającego się ze stała prędkością V o wszechkierunkowej charakterystyce promieniowania ,poziom równoważny hałasu określa się ze wzoru :

$$L_{eq}(T) = L_{max} - 10\log T + 10\log(d/V) + 10\log\theta \qquad (2.4)$$

gdzie : d – odległość od poruszającego się źródła punktowego , m,
V – prędkość źródła , m/s ,
θ - kąt widzenia źródła.

Przyjmując warunki pomiaru T = 1 s , θ = π wówczas wartość poziomu maksymalnego hałasu generowanego podczas przejazdu pojedynczego samochodu jest równa :

$$L_{max} = L_{eq\,max}(1s) - 10\log(\pi d/V) \qquad (2.5)$$

W tablicy 2.2 zamieszczono wyznaczone w ten sposób funkcje regresji i współczynniki korelacji dla dróg o różnych nawierzchniach .

Tabela 2.2. Wyniki badań hałaśliwości nawierzchni drogowych o różnej strukturze

L.P	CHARAKTERYSTYKA NAWIERZCHNI	L_{MAX}(90) [DB]	WSPÓŁCZYNNIK A	WSPÓŁCZYNNIK KORELACJI
1.	Beton asfaltowy, stan średni „18”	77,1	25,6	0,74
2.	Beton asfaltowy,stan dobry „19”	75,1	34,6	0,69
3.	Kostka kamienna ,stan średni , „66”	85,8	34,0	0,77
4.	Beton cementowy	80,9	30,3	0,71
5.	Powierzchniowe utrwalanie	81,3	30,3	0,81
6.	Beton asfaltowy 0/10	75,1	22,8	0,77
7.	Beton asfaltowy 0/14	79,2	23,1	0,75
8.	Dywanik drenujący 0/10, grub.4 cm	72,7	22,5	0,72

Wpływ na poziom hałasu toczenia ma rodzaj i struktura nawierzchni a w szczególności technologia wykonania górnych warstw nawierzchni ,uziarnienie kruszywa i tekstura powierzchni jezdni.

Spośród nawierzchni bitumicznych najbardziej hałaśliwe są nawierzchnie z betonu asfaltowego o uziarnieniu 0/14. Do najbardziej cichych zalicza się nawierzchnie porowate (zwane także dywanikami drenującymi) ,charakteryzują się one nieciągłością stosowanych frakcji kruszywowych i modyfikowanymi bitumami.

Przedstawiona analiza wpływu struktury nawierzchni drogowej na poziom dźwięku generowanego w procesie toczenia kół po nawierzchni stanowi jedną z możliwości obniżenia hałasu komunikacyjnego.

3. Prognozowanie hałasu kolejowego

Hałas komunikacji kolejowej w przypadku pojedynczego źródła jest hałasem nieciągłym ,występującym w czasie przemieszczania się pojazdy na określonym odcinku drogi. Ten typ hałasu uważa się za szczególnie uciążliwy ,zarówno ze względu na dużą wartość poziomu ciśnienia akustycznego jak również tonalny charakter dźwięków występujących w widmie takiego hałasu.

Szczególnie istotnym zagadnieniem w ocenie hałasu kolejowego jest modyfikacja stosowanych dotąd metod obliczeniowych hałasu kolejowego.

Stosowane metody obliczeniowe muszą uwzględniać w dość szerokim zakresie bazę danych środowiskowych od których zależy w mniejszym lub większym stopniu uciążliwość oddziaływania hałasu w bliskim sąsiedztwie torów i obiektów kolejowych. Do podstawowych czynników kształtujących wielkość poziomu i propagacje dźwięku w otoczeniu linii kolejowych należy zaliczyć :

- rodzaj taboru kolejowego (pociągi osobowe i towarowe) ,
- rodzaj jednostek napędzających (lokomotywy elektryczne, spalinowe i tp.) ,
- konstrukcja i stopień zużycia szyn ,
- rodzaj podłoża i konstrukcja podkładów ,
- natężenie ruchu i prędkość jazdy ,
- długość pociągów ,
- warunki otoczenia środowiskowego (obiekty urbanistyczne ,tłumienie gruntu),
- warunki meteorologiczne .

Do podstawowych parametrów oceny uciążliwości hałasu kolejowego zalicza się maksymalny poziom dźwięku A ($L_{A\ max}$) lub poziom ekwiwalentny ($L_{A\ eq}$). Poziom maksymalny określa się dla najdłuższego pociągu generującego największy hałas na danej linii kolejowej.

Poziom ekwiwalentny oblicza się wg. określonego algorytmu wyznaczonego przez zależność :

$$L_{Aeq} = 10\log\left\{\sum_{j=1}^{n} 10^{0,1\left[L_{Aeqj} + 10\log\left(N_j\right)\right]}\right\} \tag{3.1}$$

gdzie : N_j – liczba pociągów danej grupy poruszających się z różną prędkością,
L_{Aeqj} – poziom ekwiwalentny dla każdego pociągu z każdej grupy .

W pierwszej fazie obliczeń określa się maksymalny poziom hałasu w punkcie odniesienia zlokalizowanym w odległości od 25 do 30 m od linii toru. Poziom dźwięku związany z przejazdem pociągu , w dowolnym punkcie otoczenia można opisać zależnością :

$$L_{rc} = L_{Aeq} - \Delta L_r - L_p - L_g - L_e - L_o \tag{3.2}$$

gdzie : L_{Aeq} – maksymalny lub ekwiwalentny poziom dźwięku ,
ΔL_r – zmniejszenie poziomu dźwięku wynikające z wpływu odległości ,
L_p – tłumienie dźwięku przez powietrze ,
L_g – tłumienie dźwięku wynikające z pokrycia terenu ,

L_e – tłumienie dźwięku przez elementy urbanistyczne występujące w terenie,

L_o – korekcja uwzględniająca wpływ powierzchni odbijających.

Spadek maksymalnego poziomu dźwięku wynikający z wpływu odległości źródła od linii toru można wyznaczyć z zależności :

$$\Delta L_r = 10\log\left[\frac{1}{4d_o^2+l^2}+\frac{1}{2ld_o}arc\ tg\left(\frac{1}{2d_o}\right)\right]-10\log\left[\frac{1}{4d^2+l^2}+\frac{1}{2ld}arc\ tg\left(\frac{1}{2d}\right)\right] \quad (3.3)$$

gdzie : d_o – odległość pierwotna obserwatora od linii toru ,

d - odległość wynikająca ze zmiany położenia obserwatora względem linii toru,

l – długość pociągu .

Poziom maksymalny dźwięku w odległości d od toru można również wyznaczyć na podstawie znajomości poziomu ekwiwalentnego z zależności :

$$L_{A\max}(d,l) = L_{Aeq}(d,l) - 10\log\left(\frac{\pi}{4vTd}\right) + 10\log\left[\frac{1}{4d^2+1}+\frac{1}{2ld}arctg\left(\frac{1}{2ld}\right)\right] \quad (3.4)$$

gdzie : v – prędkość ruchu pociągu ,

T – czas oceny poziomu dźwięku.

Wyszczególnione modela obliczeniowe za wielkość charakteryzującą emisję hałasu pociągu przyjmują poziom dźwięku w małej odległości od linii toru. Znacznie bardziej korzystne za bazę obliczeniową jest przyjęcie poziomu mocy akustycznej dźwięku generowanego przez cały pociąg. Traktując pociąg jako liniowe źródło dźwięku otrzymuje się wówczas następującą zależność bazową umożliwiającą wyznaczenie poziomu maksymalnego i ekwiwalentnego:

$$L_{A\max}(d,l) = L_{Aw}(d,l) + 10\log\left\{\frac{1}{\pi}\left[\frac{1}{4d^2+1}+\frac{1}{2ld}arc\ tg\left(\frac{1}{2ld}\right)\right]\right\}$$

$$L_{Aeq}(d,l) = L_{Aw} - 10\log(4vTd) \quad (3.5)$$

Modele, w których pociąg traktowany jest jako liniowe źródło dźwięku nie pozwalają na odwzorowanie bardziej złożonych form ruchu pociągów ,które występują na dworcach kolejowych czy też stacjach rozrządowych .

Modele obliczeniowe mogą dostarczyć wiarygodnych wyników prognoz tylko w przypadku gdy są oparte na wiarygodnej bazie danych środowiskowych .

4. Charakterystyka oprogramowania „MITHRA"

Wszystkie funkcje związane z przeprowadzeniem obliczeń akustycznych w oparciu o oprogramowanie „MITHRA" zawarte są w module obliczeniowym. Moduł wyposażony jest w kilka funkcji obliczeniowych obejmujących następujące elementy :

- Funkcja „promień" – w postaci modułu interaktywnego ,pozwalającego na przedstawienie dróg promieni dźwiękowych pomiędzy źródłem hałasu a obiektem chronionym ,umożliwia przeprowadzenie obliczeń dla każdego poprowadzonego promienia;
- Obliczenia w punkcie obserwacji – w postaci modułu pozwalającego na przeprowadzenie obliczeń w punkcie zlokalizowania obiektu chronionego ;
- Mapa horyzontalna hałasu – w postaci modułu umożliwiającego obliczenia akustyczne w postaci mapy hałasu z uwzględnieniem specyfiki terenu i wysokości obiektu chronionego ;
- Mapa pionowa hałasu – w postaci modułu umożliwiającego obliczenia akustyczne i prezentację wyników w przekroju pionowym ;
- Serwer obliczeniowy – w postaci modułu umożliwiającego przeprowadzenie całego procesu obliczeniowego w oparciu o wprowadzone dane.

Przedstawione oprogramowanie poprzez wprowadzenie właściwych parametrów obliczeniowych może być stosowane do indywidualnego przypadku analizowanego terenu.

Modelowanie propagacji hałasu w terenie otwartym jak również w strefie zabudowanej, powinno zawierać wszystkie parametry, które mają wpływ na rozchodzenie się hałasów w rozpatrywanym obszarze.

Literatura

[1] Liebiedowska B. : Hałas wokół autostrad - Metody prognozowania. Monografie. Wyd. Pol. Łódzkiej, Łódź ,1998r

[2] Praca zbiorowa : Bruit des infrastructure routiere – methode de calcul incluant les effets meteorologiques – CERTU, CSTB, LCPC, SETRA , 1997R

[3] Praca zbiorowa : Metody pomiarów hałasu zewnętrznego w środowisku , PIOŚ , Warszawa 1992r.

[4] Kucharski R. : Obliczeniowe metody oceny klimatu akustycznego w środowisku. Instrukcje IOŚ. Warszawa 1998r.

[5] Manuel Technique „MITHRA" ,Societe „01 dB ,1997r.

METHODS FOR PREPATION OF TRAFFIC NOISE PROGNOSES

Summary

Reliable methods for preparation of traffic noise prognoses are very important in the appraisal of the acoustic climate of the environment and in blocks of flats situated near to the communication ways. The complexity of vibroacoustic processes which are generated in the neighbourhood of these ways makes attempts of assessment of the influence of the traffic noise on the environment acoustic climate rather difficult and not precise enough. The recent development of mathematical models which describe generation and propagation of the noise produced by the traffic means makes numerical simulations possible.