

SPOSÓB USTALANIA WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW HAŁASU

$$L_{DWN}, L_N, L_{AeqD}, L_{AeqN}$$

Niniejszy załącznik określa sposób ustalania wartości wskaźników hałasu L_{DWN} , L_N , L_{AeqD} oraz L_{AeqN} . Wskaźniki te odnoszą się do hałasu w środowisku, emitowanego w wyniku eksploatacji dróg, linii kolejowych i tramwajowych, lotnisk, portów, instalacji i urządzeń.

Rozdział 1.

SPOSÓB USTALANIA WARTOŚCI WSKAŹNIKÓW HAŁASU L_{DWN} ORAZ L_N

I. Wstęp

Wartości długookresowych wskaźników hałasu L_{DWN} i L_N ustala się metodą obliczeniową. Metoda obliczeniowa wymaga weryfikacji pomiarowej.

Długookresowy średni poziom dźwięku A, L_{DWN} , wyznaczany w ciągu wszystkich dób w roku, z uwzględnieniem pory dnia, pory wieczoru i pory nocy, definiuje wzór (1):

$$L_{DWN} = 10 * \lg \left\{ \frac{12}{24} 10^{0.1L_D} + \frac{4}{24} 10^{0.1(L_W+5)} + \frac{8}{24} 10^{0.1(L_N+10)} \right\}, \quad (1)$$

gdzie: L_D - długookresowy średni poziom dźwięku A w porze dnia (06:00-18:00),

L_W - długookresowy średni poziom dźwięku A w porze wieczoru (18:00-22:00),

L_N - długookresowy średni poziom dźwięku A w porze nocy (22:00-06:00),

Przyjmijmy, że:

$$L_D = 10 \lg \langle E_D \rangle, \quad (2)$$

$$L_W = 10 \lg \langle E_W \rangle, \quad (3)$$

$$L_N = 10 \lg \langle E_N \rangle. \quad (4)$$

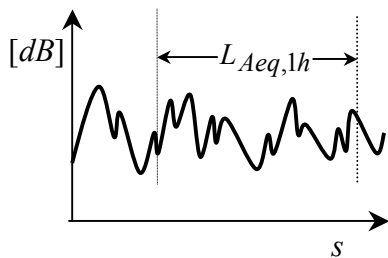
gdzie: $\langle E_D \rangle$, $\langle E_W \rangle$, $\langle E_N \rangle$ - względne wartości średniorocznych ekspozycji hałasu (dalej zwane *średnimi ekspozycjami hałasu*), odpowiednio dla pory dnia, pory wieczoru i nocy.

Kombinacja zależności (1-4) prowadzi do:

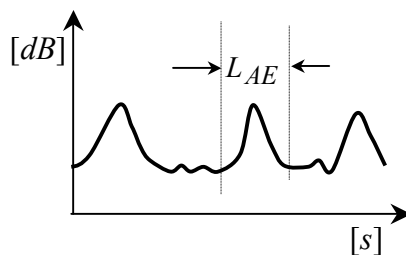
$$L_{DWN} = 10 * \lg \left\{ \frac{12}{24} \langle E_D \rangle + \frac{4 \cdot \sqrt{10}}{24} \langle E_W \rangle + \frac{8 \cdot 10}{24} \langle E_N \rangle \right\}. \quad (5)$$

W niniejszym Załączniku przedstawione są dwie metody ustalania wartości wskaźników hałasu L_{DWN} oraz L_N :

- dla hałasów ciągłych o nie hałasów nieciągłych o identyfikowalnych zdarzeniach dźwiękowych identyfikowalnych zdarzeniach dźwiękowych (rys.1),
- dla hałasów nieciągłych o identyfikowalnych zdarzeniach dźwiękowych (rys.2).



Rys.1



Rys.2

Przykładem hałasów ciągłych o nieidentyfikowalnych zdarzeniach dźwiękowych jest hałas drogowy o dużym natężeniu ruchu lub hałas przemysłowy generowany jednocześnie przez wiele urządzeń i instalacji. W takim przypadku trudno zidentyfikować pojedyncze zdarzenia dźwiękowe, związane z określonymi źródłami. Hałas taki może być opisany zbiorem jednogodzinnych równoważnych poziomów dźwięku A, $L_{Aeq,1h}$ (Norma PN-ISO 1996-1:1999 „Akustyka – Opis i pomiary hałasu środowiskowego – Podstawowe wielkości i procedury”).

Przykładem hałasów nieciągłych o identyfikowalnych zdarzeniach dźwiękowych jest hałas drogowy o małym natężeniu ruchu, hałas przemysłowy z czasowo pracującymi urządzeniami, hałas kolejowy lub hałas lotniczy. Tym razem pojedyncze zdarzenia dźwiękowe można łatwo zidentyfikować i opisać zbiorem poziomów ekspozycji, L_{AE} (Norma PN-ISO 1996-1:1999 „Akustyka – Opis i pomiary hałasu środowiskowego – Podstawowe wielkości i procedury”).

II. Generacja i propagacja hałasu

Różne natężenia i prędkości ruchu drogowego oraz zmienna aktywność urządzeń i instalacji przemysłowych są przyczyną tego, że generacja hałasu w *dni wolne od pracy* nie jest taka sama jak w *dni robocze*.

Należy przyjąć, że średnia liczba dni wolnych od pracy w roku wynosi 110. Wprowadzając ten fakt do opisu hałasu trzech pór doby i zastępując $\langle E_D \rangle$, $\langle E_W \rangle$ oraz $\langle E_N \rangle$ (wzór 5) tylko jednym symbolem $\langle E \rangle$, otrzymujemy:

$$\langle E \rangle = \frac{110}{365} \langle \tilde{E} \rangle + \frac{255}{365} \langle \hat{E} \rangle, \quad (6)$$

gdzie: $\langle \tilde{E} \rangle$ - średnioroczna ekspozycja hałasu w dni wolne od pracy,

$\langle \hat{E} \rangle$ - średnioroczna ekspozycja hałasu w dni robocze.

Obie powyższe wielkości uwzględniają sezonowe zmiany warunków generacji i propagacji hałasu.

Rozróżniamy korzystne warunki propagacji (indeks 1) oraz niekorzystne warunki propagacji (indeks 2). W Aneksie 1 podany jest sposób obliczania prawdopodobieństwa wystąpienia korzystnych warunków propagacji w porze dziennej, ξ_D , wieczornej, ξ_W , i nocnej, ξ_N .

W każdej porze doby (dzień, wieczór, noc), średnioroczna ekspozycja hałasu w dni wolne od pracy wynosi (wzór 7):

$$\langle \tilde{E} \rangle = \xi \cdot \langle \tilde{E}_1 \rangle + (1 - \xi) \cdot \langle \tilde{E}_2 \rangle, \quad (7)$$

gdzie: $\langle \tilde{E}_1 \rangle$ - średnioroczna ekspozycja hałasu podczas dni wolnych od pracy z *korzystnymi warunkami propagacji*,

$\langle \tilde{E}_2 \rangle$ - średnioroczna ekspozycja hałasu podczas dni wolnych od pracy z *niekorzystnymi warunkami propagacji*.

Natomiast średnio-rocza ekspozycja hałasu w dni robocze wynosi (wzór 8):

$$\langle \hat{E} \rangle = \xi \cdot \langle \hat{E}_1 \rangle + (1 - \xi) \langle \hat{E}_2 \rangle, \quad (8)$$

gdzie: $\langle \hat{E}_1 \rangle$ - średnioroczna ekspozycja hałasu podczas dni roboczych z *korzystnymi warunkami propagacji*,

$\langle \hat{E}_2 \rangle$ - średnio-rocza ekspozycja hałasu podczas dni roboczych z *niekorzystnymi warunkami propagacji*.

Kombinacja wzorów (6-8) prowadzi do średniorocznych ekspozycji hałasu dla pory dnia $\langle E \rangle = \langle E_D \rangle$; pory wieczoru, $\langle E \rangle = \langle E_W \rangle$; oraz pory nocy, $\langle E \rangle = \langle E_N \rangle$;

$$\langle E \rangle = \frac{110}{365} \left[\xi \cdot \langle \tilde{E}_1 \rangle + (1 - \xi) \cdot \langle \tilde{E}_2 \rangle \right] + \frac{255}{365} \left[\xi \cdot \langle \hat{E}_1 \rangle + (1 - \xi) \cdot \langle \hat{E}_2 \rangle \right]. \quad (9)$$

Zależność ta uwzględnia zmienną w czasie generację oraz zmienną w czasie propagację fali akustycznej.

III. Hałasy ciągłe o nieidentyfikowalnych zdarzeniach dźwiękowych

W przypadku hałasu przedstawionego na rys.1 nie można zidentyfikować i zmierzyć hałasu pojedynczych zdarzeń dźwiękowych, dlatego do jego opisu stosuje się jednogodzinne równoważne poziomy dźwięku A,

$$L = L_{Aeq,1h}. \quad (10)$$

Dla średniorocznych wartości *parametrów generacji hałasu* (np. natężeń ruchu, poziomów mocy akustycznej) oraz średniorocznych *parametrów propagacji hałasu* (np. prędkości wiatru) oblicza się średnioroczne wartości jednogodzinnych równoważnych poziomów dźwięku A - $\langle L \rangle$ (nazywane dalej *średnimi poziomami dźwięku*).

Hałas występujący podczas pory dnia, wieczoru i nocy opisywany jest odpowiednio wielkościami $\langle L_D \rangle$, $\langle L_W \rangle$ i $\langle L_N \rangle$.

Przykład 1

Niech zależność poziomu mocy samochodu osobowego (L_{WA}) od prędkości ruchu (V) ma postać opisaną wzorem (11):

$$L_{WA}(V) = a + b * \lg \left\{ \frac{V}{V_o} \right\}, \quad V_o = 1m/s, \quad (11)$$

gdzie: a i b -wartości stałe; zależne od stanu nawierzchni dróg, opon i silników w danym kraju; uzyskuje się je z pomiarów hałasu drogowego (wg. B.Anderson, H.Bendsen, *Noise emission from 4000 vehicle pass-bys*, Inter-Noise 2004),

Niech V_D , V_W i V_N oznaczają średnioroczne prędkości ruchu; kolejno podczas pory dnia, wieczoru i nocy. (Prędkość ruchu w nocy jest dużo większa niż podczas dnia). Wówczas, w przestrzeni otwartej, dla trzech pór doby, średnie poziomy dźwięku oblicza się ze wzorów (12-14),

$$\langle L_D \rangle = L_{WA}(V_D) + 10 * \lg \left\{ \frac{d_o^2}{2T_o d} \cdot \frac{n_D}{V_D} \right\} + C_D(d, h), \quad (12)$$

$$\langle L_W \rangle = L_{WA}(V_W) + 10 * \lg \left\{ \frac{d_o^2}{2T_o d} \cdot \frac{n_W}{V_W} \right\} + C_W(d, h), \quad (13)$$

$$\langle L_N \rangle = L_{WA}(V_N) + 10 * \lg \left\{ \frac{d_o^2}{2T_o d} \cdot \frac{n_N}{V_N} \right\} + C_N(d, h), \quad (14)$$

gdzie: $d_o = 1m$, $T_o = 3600s$

d - odległość horyzontalna odbiornika od osi jezdni, m

h - wysokość odbiornika nad gruntem, m

n_D, n_W, n_N - średnioroczne natężenia ruchu (wyrażone liczbą samochodów na godzinę) dla trzech pór doby,

C_D, C_W, C_N - średnioroczne poprawki meteorologiczne dla trzech pór doby, uwzględniające tłumienie przez grunt

Przy korzystnych i niekorzystnych warunkach propagacji mamy dwie średnioroczne poprawki meteorologiczne dla pory dnia, wieczoru i nocy: $(C_{D1}, C_{D2}); (C_{W1}, C_{W2})$ oraz (C_{N1}, C_{N2}) .

Z kolei dni wolne od pracy i dni robocze mogą różnić się średniorocznymi natężeniami ruchu: $(\tilde{n}_D, \hat{n}_D); (\tilde{n}_W, \hat{n}_W); (\tilde{n}_N, \hat{n}_N)$ i prędkościami ruchu $(\tilde{V}_D, \hat{V}_D); (\tilde{V}_W, \hat{V}_W); (\tilde{V}_N, \hat{V}_N)$.

III.1. Długa droga propagacji

Przy małej odległości, np. kilku metrów od źródła hałasu, dobowe i sezonowe zmiany parametrów decydujących o propagacji (zmiany temperatury, wilgotności oraz prędkości wiatru), tylko nieznacznie wpływają na wartości poziomów: $L_{Aeq,1h} \pm \delta L$ oraz $L_{AE} \pm \delta L$, przy czym $\delta L \ll 2dB$. Kiedy odległość rośnie, wpływ ten rośnie również, co przejawia się wzrostem δL .

Jeśli w odległości d_* dobowe i sezonowe zmiany parametrów propagacji prowadzą do zmiany poziomu o $\delta L = 2.5 dB$, to przy $d > d_*$ mamy do czynienia z *długą drogą propagacji*. I w takim przypadku, przy obliczaniu średniorocznych wartości $L_{Aeq,1h}$ oraz L_{AE} , nie można pomijać dobowych i sezonowych zmian parametrów propagacji.

Wówczas może wystąpić 12 kombinacji różnych warunków generacji i propagacji, którym odpowiada 12 średniorocznych poziomów dźwięku:

$\langle \tilde{L}_{D1} \rangle, \langle \tilde{L}_{W1} \rangle, \langle \tilde{L}_{N1} \rangle$ - poziomy w *dni wolne od pracy z korzystnymi warunkami propagacji*;

kolejno podczas pory dnia (D), pory wieczoru (W) i pory nocy (N),

$\langle \tilde{L}_{D2} \rangle, \langle \tilde{L}_{W2} \rangle, \langle \tilde{L}_{N2} \rangle$ - poziomy w *dni wolne od pracy z niekorzystnymi warunkami*

propagacji; kolejno podczas pory dnia (D), pory wieczoru (W) i pory nocy (N),

$\langle \hat{L}_{D1} \rangle, \langle \hat{L}_{W1} \rangle, \langle \hat{L}_{N1} \rangle$ - poziomy w *dni robocze z korzystnymi warunkami propagacji*;

kolejno podczas pory dnia (D), pory wieczoru (W) i pory nocy (N),

$\langle \hat{L}_{D2} \rangle, \langle \hat{L}_{W2} \rangle, \langle \hat{L}_{N2} \rangle$ - poziomy w *dni robocze z niekorzystnymi warunkami propagacji*;

kolejno podczas pory dnia (D), pory wieczoru (W) i pory nocy (N).

Dalej ze wzorów (2), (3), (4) i (9) otrzymujemy średnioroczne ekspozycje hałasu (wzór 5):

dla *pory dnia*,

$$\langle E_D \rangle = \frac{110}{365} \left[\xi_D 10^{0.1 \langle \tilde{L}_{D1} \rangle} + (1 - \xi_D) 10^{0.1 \langle \tilde{L}_{D2} \rangle} \right] + \frac{255}{365} \left[\xi_D 10^{0.1 \langle \hat{L}_{D1} \rangle} + (1 - \xi_D) 10^{0.1 \langle \hat{L}_{D2} \rangle} \right], \quad (15)$$

dla pory wieczoru,

$$\langle E_W \rangle = \frac{110}{365} \left[\xi_W 10^{0.1 \langle \tilde{L}_{W1} \rangle} + (1 - \xi_W) 10^{0.1 \langle \tilde{L}_{W2} \rangle} \right] + \frac{255}{365} \left[\xi_W 10^{0.1 \langle \hat{L}_{W1} \rangle} + (1 - \xi_W) 10^{0.1 \langle \hat{L}_{W2} \rangle} \right], \quad (16)$$

i dla pory nocy,

$$\langle E_N \rangle = \frac{110}{365} \left[\xi_N 10^{0.1 \langle \tilde{L}_{N1} \rangle} + (1 - \xi_N) 10^{0.1 \langle \tilde{L}_{N2} \rangle} \right] + \frac{255}{365} \left[\xi_N 10^{0.1 \langle \hat{L}_{N1} \rangle} + (1 - \xi_N) 10^{0.1 \langle \hat{L}_{N2} \rangle} \right]. \quad (17)$$

Symbole ξ_D , ξ_W oraz ξ_N oznaczają prawdopodobieństwa wystąpienia korzystnych warunków propagacji, kolejno w porze dnia, wieczoru i nocy.

Kombinacja wzorów (5,15-17) daje długookresowy średni poziom dźwięku A (L_{DWN}), uwzględniający wszystkie trzy pory doby, a kombinacja wzorów (4,17) prowadzi do długookresowego średniego poziomu dźwięku A tylko dla pory nocy, L_N .

Przykład 2

Załóżmy, że w pobliżu autostrady o dużym natężeniu ruchu obliczono:

$$\begin{aligned} \langle \tilde{L}_{D1} \rangle &= 70, & \langle \tilde{L}_{W1} \rangle &= 65, & \langle \tilde{L}_{N1} \rangle &= 60dB \\ \langle \tilde{L}_{D2} \rangle &= 65, & \langle \tilde{L}_{W2} \rangle &= 60, & \langle \tilde{L}_{N2} \rangle &= 55dB \\ \langle \hat{L}_{D1} \rangle &= 65, & \langle \hat{L}_{W1} \rangle &= 60, & \langle \hat{L}_{N1} \rangle &= 55dB \\ \langle \hat{L}_{D2} \rangle &= 60, & \langle \hat{L}_{W2} \rangle &= 55, & \langle \hat{L}_{N2} \rangle &= 50dB \end{aligned}$$

Niech prawdopodobieństwa sprzyjających warunków propagacji, $\xi_D = \xi_W = \xi_N = 0.3$ (patrz Aneks 1). Podstawiając powyższe wartości wzorów (15-17), dla trzech pór doby otrzymujemy,

$$\langle E_D \rangle = 27.2 \cdot 10^5, \quad \langle E_W \rangle = 8.6 \cdot 10^5, \quad \langle E_N \rangle = 2.7 \cdot 10^5$$

Następnie wzór (4) pozwala obliczyć długookresowy średni poziom dźwięku A dla nocy, $L_N = 54.3dB$, a wzór (5) długookresowy średni poziom dźwięku A, który uwzględnia pory dnia, wieczoru i nocy, $L_{DWN} = 64.3dB$.

Weryfikacja metody obliczeniowej

Obliczenia 12 średniorocznych wartości jednogodzinnych równoważnych poziomów dźwięku A, $\langle \tilde{L}_{...} \rangle$ oraz $\langle \hat{L}_{...} \rangle$, przeprowadza się za pomocą określonej metody obliczeniowej.

Dla jej weryfikacji należy wykonać przynajmniej kilka pomiarów jednogodzinnego równoważnego poziomu dźwięku A, $L_{Aeq,1h}$. Pomiarów te należy zrealizować podczas korzystnych i niekorzystnych warunków propagacji. Wyniki pomiarów powinny uwzględniać tło akustyczne (rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 stycznia 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz.U.03.35.308) oraz . rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2004 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz.U. nr 283, poz. 2842))

Dla przeprowadzenia obliczeń weryfikujących metodę obliczeniową, razem z pomiarami $L_{Aeq,1h}$ należy wykonać pomiary parametrów generacji (np. natężeń ruchu) oraz parametrów propagacji (np. prędkości i kierunku wiatru).

Niech ΔL_i oznacza różnicę pomiędzy zmierzoną wartością jednogodzinnego równoważnego poziomu dźwięku A i wartością $L_{Aeq,1h}$, obliczoną dla parametrów generacji i propagacji zmierzonych w trakcie pomiaru.

Ponieważ mapy akustyczne zawierają informacje o poziomach różniących się o 5 dB, dlatego warunkiem poprawności metody obliczeniowej jest nierówność opisana wzorem 18:

$$\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Delta L_i^2} \leq 2dB, \quad (18)$$

gdzie: M – liczba pomiarów i obliczeń $L_{Aeq,1h}$; różnicy ΔL_i nie uwzględnia się w powyższym wzorze, kiedy, przy zadanym prawdopodobieństwie ufności, jej bezwzględna wartość jest większa od empirycznej wartości odchylenia standardowego

III.2. Krótka droga propagacji

Zgodnie z definicją w części III.1, dla *krótkiej drogi propagacji* dobowe i sezonowe zmiany parametrów decydujących o propagacji (zmiany temperatury, wilgotności oraz prędkości wiatru) tylko nieznacznie wpływają na wartości poziomów: $L_{Aeq,1h} \pm \delta L$ oraz $L_{AE} \pm \delta L$, przy czym $\delta L \ll 2dB$. Sytuacja taka występuje np. w zabudowie urbanistycznej. Wówczas, dla dni wolnych od pracy oraz dla dni roboczych, można pominąć wpływ korzystnych i niekorzystnych warunków propagacji:

$$\langle \tilde{L}_{D1} \rangle \approx \langle \tilde{L}_{D2} \rangle \approx \langle \tilde{L}_D \rangle, \quad \langle \tilde{L}_{W1} \rangle \approx \langle \tilde{L}_{W2} \rangle \approx \langle \tilde{L}_W \rangle, \quad \langle \tilde{L}_{N1} \rangle \approx \langle \tilde{L}_{N2} \rangle \approx \langle \tilde{L}_N \rangle, \quad (19)$$

oraz

$$\langle \hat{L}_{D1} \rangle \approx \langle \hat{L}_{D2} \rangle \approx \langle \hat{L}_D \rangle, \quad \langle \hat{L}_{W1} \rangle \approx \langle \hat{L}_{W2} \rangle \approx \langle \hat{L}_W \rangle, \quad \langle \hat{L}_{N1} \rangle \approx \langle \hat{L}_{N2} \rangle \approx \langle \hat{L}_N \rangle. \quad (20)$$

Przybliżenia te sprowadzają wzory (14-16) do postaci,

$$\langle E_D \rangle = \frac{110}{365} 10^{0.1 \langle \tilde{L}_D \rangle} + \frac{255}{365} 10^{0.1 \langle \hat{L}_D \rangle}, \quad (21)$$

$$\langle E_W \rangle = \frac{110}{365} 10^{0.1 \langle \tilde{L}_W \rangle} + \frac{255}{365} 10^{0.1 \langle \hat{L}_W \rangle}, \quad (22)$$

$$\langle E_N \rangle = \frac{110}{365} 10^{0.1 \langle \tilde{L}_N \rangle} + \frac{255}{365} 10^{0.1 \langle \hat{L}_N \rangle}, \quad (23)$$

gdzie:

$\langle \tilde{L}_D \rangle, \langle \tilde{L}_W \rangle, \langle \tilde{L}_N \rangle$ - średnie poziomy dźwięku w *dni wolne od pracy*, kolejno w porze dnia, wieczoru i nocy,

$\langle \hat{L}_D \rangle, \langle \hat{L}_W \rangle, \langle \hat{L}_N \rangle$ - średnie poziomy dźwięku w *dni robocze*, kolejno w porze dnia, wieczoru i nocy.

Kombinacja wzorów (4) i (23) daje długookresowy średni poziomy dźwięku A dla pory nocy, L_N , a kombinacja wzorów (5) i (21-23) prowadzi do długookresowego średniego poziomu dźwięku A, który uwzględnia wszystkie trzy pory doby, L_{DWN} .

IV. Hałas nieciągłe o identyfikowalnych wydarzeniach dźwiękowych

Hałas przedstawiony na rys.2 składa się z identyfikowalnych zdarzeń dźwiękowych, które opisują poziomy ekspozycji L_{AE} . Zdarzeniami takimi są np. przejazdy pociągów, przeloty samolotów, działające z przerwami instalacje oraz urządzenia itd.

Dla średniorocznych wartości parametrów generacji (np. wysokość przelotu samolotu nad powierzchnią terenu) oraz średniorocznych wartości parametrów propagacji (np. prędkość wiatru), oblicza się średnioroczną wartość poziomu ekspozycji $\langle L_{AE} \rangle$, dalej zwaną *średnim poziomem ekspozycji*.

Poszczególne klasy zdarzeń akustycznych różnią się wartościami $\langle L_{AE} \rangle$.

Rozpatrzmy dwa przypadki:

- źródeł należących do jednej tylko kategorii (np. śmigłowce), którym towarzyszą 2 klasy zdarzeń dźwiękowych (dla korzystnych i niekorzystnych warunków propagacji),
- źródeł należących do m kategorii (np. śmigłowce, samoloty sportowe, wojskowe itd), którym towarzyszy $2m$ klas zdarzeń dźwiękowych (dla korzystnych i niekorzystnych warunków propagacji).

IV.1. Długa droga propagacji

Założmy, że spełnione są warunki *dużej drogi propagacji* (patrz część III.1). Niech źródła należące do jednej tylko kategorii poruszają się po identycznych torach. W takich okolicznościach korzystne i niekorzystne warunki propagacji prowadzą do dwóch klas zdarzeń dźwiękowych. Klasy te różnią się średnimi poziomami ekspozycji, $\langle L_{AE1} \rangle$ oraz $\langle L_{AE2} \rangle$.

W takim przypadku średnie ekspozycje hałasu (wzór 5) oblicza się według następujących wzorów:

dla *pory dnia*,

$$\langle E_D \rangle = \frac{n_D t_o}{12 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\xi_D \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE1} \rangle} + (1 - \xi_D) \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE2} \rangle} \right], \quad (24)$$

dla *pory wieczoru*,

$$\langle E_W \rangle = \frac{n_W t_o}{4 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\xi_W \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE1} \rangle} + (1 - \xi_W) \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE2} \rangle} \right], \quad (25)$$

i dla *pory nocy*,

$$\langle E_N \rangle = \frac{n_N t_o}{8 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\xi_N \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE1} \rangle} + (1 - \xi_N) \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE2} \rangle} \right]. \quad (26)$$

gdzie: $t_o = 1s$, $T_o = 3600s$,

n_D - liczba zdarzeń dźwiękowych w porze dnia (12 godzin x 365 dni roku),

n_W - liczba zdarzeń dźwiękowych w porze wieczoru (4 godziny x 365 dni roku),

n_N - liczba zdarzeń dźwiękowych w porze nocy (8 godzin x 365 dni roku),

ξ_D , ξ_W oraz ξ_N - prawdopodobieństwa korzystnych warunków propagacji, kolejno w porze dnia, wieczoru i nocy (wzory 15-17).

Biorąc pod uwagę korzystne i niekorzystne warunki propagacji, dla m kategorii źródeł hałasu otrzymujemy $2m$ klas zdarzeń dźwiękowych. Różnią się one średnimi poziomami ekspozycji,

$$\langle L_{AE1}^{(1)} \rangle; \langle L_{AE2}^{(1)} \rangle, \dots, \langle L_{AE1}^{(k)} \rangle; \langle L_{AE2}^{(k)} \rangle, \dots, \langle L_{AE1}^{(m)} \rangle; \langle L_{AE2}^{(m)} \rangle. \quad (27)$$

W takim przypadku wzory (24-26) zmieniają się w taki sposób, że

$$n \cdot 10^{0.1L_{AE}} \rightarrow \sum_{k=1}^m n_k \cdot 10^{0.1L_{AE}^{(k)}}. \quad (28)$$

Zatem dla m kategorii źródeł hałasu, średnie ekspozycje hałasu oblicza się z następujących wzorów:

dla *pory dnia*

$$\langle E_D \rangle = \frac{t_o}{12 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\xi_D \sum_{k=1}^m n_{Dk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE1}^{(k)} \rangle} + (1 - \xi_D) \sum_{k=1}^m n_{Dk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE2}^{(k)} \rangle} \right], \quad (29)$$

gdzie n_{Dk} - liczba zdarzeń dźwiękowych w porze dnia związanych ze źródłem k -tej kategorii, (12 godzin x 365 dni roku)

dla *pory wieczoru*:

$$\langle E_W \rangle = \frac{t_o}{4 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\xi_W \sum_{k=1}^m n_{Wk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE1}^{(k)} \rangle} + (1 - \xi_W) \sum_{k=1}^m n_{Wk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE2}^{(k)} \rangle} \right], \quad (30)$$

gdzie n_{Wk} - liczba zdarzeń dźwiękowych w porze wieczoru związanych ze źródłem k -tej, (4 godziny x 365 dni roku),

dla *pory nocy*:

$$\langle E_N \rangle = \frac{t_o}{8 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\xi_N \sum_{k=1}^m n_{Nk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE1}^{(k)} \rangle} + (1 - \xi_N) \sum_{k=1}^m n_{Nk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE2}^{(k)} \rangle} \right], \quad (31)$$

gdzie n_{Nk} - liczba zdarzeń dźwiękowych w porze nocy związanych ze źródłem k -tej kategorii, (8 godzin x 365 dni roku)

Ze wzorów (5, 29-31) oblicza się długookresowy średni poziom dźwięku A, uwzględniający wszystkie trzy pory doby, L_{DWN} , a ze wzorów (4) i (31) długookresowy średni poziom dźwięku A tylko dla nocy L_N .

Weryfikacja metody obliczeniowej

Obliczenia 12 średnio-rocznych wartości poziomu ekspozycji $\langle L_{AE1}^{(k)} \rangle$ oraz $\langle L_{AE2}^{(k)} \rangle$ wykonuje się za pomocą określonej metody obliczeniowej. Aby zweryfikować jej poprawność należy wykonać przynajmniej kilka pomiarów poziomu ekspozycji, podczas korzystnych- i niekorzystnych warunków propagacji, L_{AE1} i L_{AE2} (dla pojedynczych wydarzeń dźwiękowych). Wyniki pomiarów powinny uwzględniać tło akustyczne (rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 stycznia 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią

kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz.U.nr 35, poz.308) oraz . rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 grudnia 2004 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów wielkości emisji (Dz.U. nr 283, poz. 2842))

Dla przeprowadzenia obliczeń weryfikujących, pomiarom L_{AE1} i L_{AE2} powinny towarzyszyć jednoczesne pomiary parametrów generacji oraz parametrów propagacji.

Niech δL_i oznacza różnicę pomiędzy zmierzoną i obliczoną (dla parametrów generacji i propagacji odpowiadających pomiarowi) wartością poziomu ekspozycji.

Ponieważ mapy akustyczne zawierają informacje o poziomach różniących się o 5 dB, dlatego warunkiem stosowalności metody obliczeniowej jest nierówność opisana wzorem (32)

$$\sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \delta L_i^2} \leq 2dB, \quad (32)$$

gdzie : M -liczba pomiarów i obliczeń L_{AE1} i L_{AE2} : różnicy δL_i nie uwzględnia się w powyższym wzorze wtedy gdy, przy zadanym prawdopodobieństwie ufności, jej bezwzględna wartość jest większa od empirycznej wartości odchylenia standardowego.

IV.2. Krótka droga propagacji

Gdy spełnione są warunki *krótkiej drogi propagacji* (patrz część III.2) wówczas wpływ warunków meteorologicznych na propagację fali nie jest duży. Można wtedy pominąć obecność korzystnych i niekorzystnych warunków propagacji (wzór 33):

$$\langle L_{AE1}^{(k)} \rangle \approx \langle L_{AE2}^{(k)} \rangle \approx \langle L_{AE}^{(k)} \rangle, \quad k = 1, 2, \dots, m. \quad (33)$$

W konsekwencji wzory (29-31) przyjmują postać:

$$\langle E_D \rangle = \frac{t_o}{12 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\sum_{k=1}^m n_{Dk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} \right], \quad (34)$$

$$\langle E_W \rangle = \frac{t_o}{4 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\sum_{k=1}^m n_{Wk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} \right], \quad (35)$$

$$\langle E_N \rangle = \frac{t_o}{8 \cdot 365 \cdot T_o} \left[\sum_{k=1}^m n_{Nk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} \right], \quad (36)$$

gdzie: $t_o = 1s$

$T_o = 3600s.$

Podobnie jak poprzednio, ze wzorów (5,34-36) oblicza się długookresowy średni poziom dźwięku A, uwzględniający porę dnia, wieczoru i nocy, L_{DWN} , a ze wzorów (4) i (36) długookresowy średni poziom dźwięku A dla nocy, L_N :

$$L_{DWN} = 10 \lg \left\{ \sum_{k=1}^m n_{Dk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} + \sqrt{10} \sum_{k=1}^m n_{Wk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} + 10 \sum_{k=1}^m n_{Nk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} \right\} - 75dB, \quad (37)$$

$$L_N = 10 \lg \left\{ \sum_{k=1}^m n_{Nk} \cdot 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} \right\} - 70dB. \quad (38)$$

Kiedy średnie poziomy ekspozycji, $\langle L_{AE}^{(k)} \rangle$, są prawie „takie same”, to wtedy zamiast m klas występuje tylko jedna klasa zdarzeń dźwiękowych. Aby uściślić to twierdzenie, wprowadza się średnią wartość:

$$\bar{L}_{AE} = 10 \lg \left\{ \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m 10^{0.1 \langle L_{AE}^{(k)} \rangle} \right\}. \quad (39)$$

Kiedy odchylenia od średniej dla poszczególnych klas ($k = 1, 2, \dots, m$) spełniają nierówność (wzór 40):

$$\bar{L}_{AE} - \langle L_{AE}^{(k)} \rangle < \pm 2 \text{ dB}, \quad (40)$$

to wtedy można napisać

$$\langle L_{AE}^{(1)} \rangle \approx \dots \approx \langle L_{AE}^{(k)} \rangle \approx \dots \approx \langle L_{AE}^{(m)} \rangle \approx \langle L_{AE} \rangle. \quad (41)$$

Przybliżenie to sprowadza wzory (37) i (387) do postaci:

$$L_{DWN} \approx \langle L_{AE} \rangle + 10 \lg \{ n_D + \sqrt{10 n_W} + 10 n_N \} - 75 \text{ dB}, \quad (42)$$

oraz

$$L_N \approx \langle L_{AE} \rangle + 10 \lg \{ n_N \} - 67 \text{ dB}, \quad (43)$$

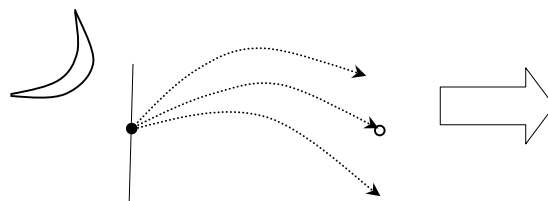
przy czym liczby zdarzeń dźwiękowych, występujących w porze dnia, wieczoru i nocy podczas całego roku: n_D , n_W i n_N , są sumami po wszystkich kategoriach źródeł:

$$n_D = \sum_{k=1}^m n_{Dk}, \quad n_W = \sum_{k=1}^m n_{Wk}, \quad n_N = \sum_{k=1}^m n_{Nk}. \quad (44)$$

ANEKS 1

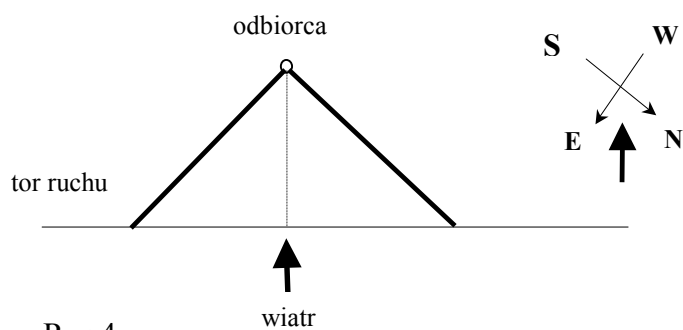
Korzystne i niekorzystne warunki propagacji hałasu związane są ze zjawiskiem refrakcji, które ma dwie przyczyny: zmienną, wraz z wysokością nad powierzchnią terenu, prędkość wiatru oraz zmienną, wraz z wysokością nad powierzchnią terenu, temperaturę powietrza. *Korzystne warunki* propagacji (indeks 1), tzn. ugięcia promieni w kierunku powierzchni ziemi (rys.3) powodują:

- wiatr od źródła hałasu do jego odbiorcy, wiejący najczęściej w porze dnia, lub
- inwersja temperatury, występująca najczęściej w porze wieczoru i nocy.



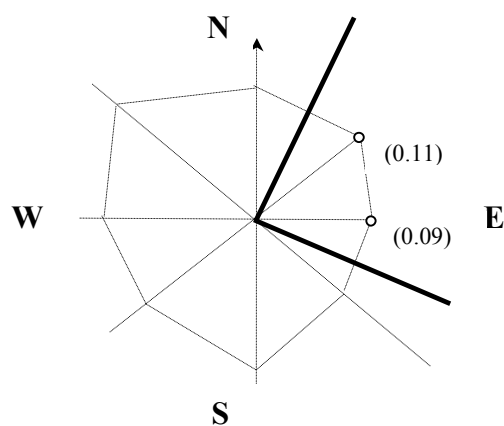
Rys.3.

Uznaje się że wiatr jest korzystny dla propagacji , kiedy jego prędkość na wysokości 3-11m nad powierzchnią terenu przekracza 1 m/s, a jego kierunek zawiera się wewnątrz kąta $\pm 45^\circ$ względem prostej łączącej odbiorcę dźwięku z najbliższym punktem toru ruchu (hałas drogowy, kolejowy, lotniczy) lub środkiem źródła hałasu o największej mocy akustycznej (hałas przemysłowy). Niniejszą sytuację obrazuje rys.4.



Rys.4

Prawdopodobieństwa kierunków wiatru (róże wiatrów) znajdują się w Atlasie Klimatu Polski (red. H. Lorenc, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005). Dane te można uzupełnić wynikami z automatycznych stacji meteorologicznych, zainstalowanych wzdłuż dróg krajowych



Rys.5

Niech prawdopodobieństwa wystąpienia ciszy atmosferycznej (indeks ca) w dowolnym regionie Polski wynosi p_{ca} (Atlas Klimatu Polski, red. H. Lorenc, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005).

Np. dla miasta Warszawy $p_{ca} = 0.10$, co oznacza że prawdopodobieństwo pojawienia się wiatru wynosi $1 - 0.10 = 0.90$. Zatem prawdopodobieństwo wystąpienie wiatru w dowolnym regionie Polski jest równe,

$$1 - p_{ca} \cdot \quad (45)$$

Kąt $\pm 45^\circ$, zobrażony na rys.4, przeniesiony na róże wiatrów (rys.5) pozwala obliczyć prawdopodobieństwo wiatru korzystnego (indeks wk) dla propagacji:
 $p_{wk} = 0.09 + 0.11 = 0.20$.

Ponieważ prawdopodobieństwo zaistnienia wiatru określa wzór (45), stąd prawdopodobieństwo korzystnych warunków propagacji jest iloczynem prawdopodobieństw, $(1 - p_{ca}) \cdot p_{wk}$.

Dalej, biorąc pod uwagę fakt że wiatr jest główną przyczyną korzystnych warunków propagacji w porze dnia (6:00-18:00), dlatego

$$\xi_D = (1 - p_{ca}) \cdot p_{wk} \quad (46)$$

Konsekwentnie, prawdopodobieństwo niekorzystnych warunków propagacji podczas dnia,

$$1 - \xi_D = 1 - (1 - p_{ca}) \cdot p_{wk} \quad (47)$$

Wieczorem (18:00-22:00) i nocą (22:00-6:00), główną przyczyną korzystnych warunków propagacji jest inwersja temperatury powietrza (indeks in). Warunkiem koniecznym jej istnienia jest konwekcja ciepłego powietrza przy bezchmurnych lub lekko zachmurzonym niebie.

Oznacza to, że prawdopodobieństwo wystąpienia inwersji temperatury, p_{in} , jest w przybliżeniu równe prawdopodobieństwu wystąpienia *dni pogodnych*.

Atlas Klimatu Polski (red. H. Lorenc, Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej, Warszawa 2005) podaje liczbę dni pogodnych dla całego roku, w różnych regionach Polski. Stąd można obliczyć przybliżoną wartość prawdopodobieństwa korzystnych warunków propagacji wieczorem i nocą

$$p_{in} = \xi_W = \xi_N \quad (48)$$

Np. z liczby dni pogodnych w Warszawie (40) w skali całego roku (365 dni) otrzymujemy:

$$p_{in} = 40 / 365.$$

Konsekwentnie, prawdopodobieństwo niekorzystnych warunków propagacji w porze wieczoru oraz nocy wynosi:

$$1 - \xi_W = 1 - p_{in}, \quad 1 - \xi_N = 1 - p_{in} \quad (49)$$