

8 kwietnia 2019 r.

Informacja Partnera Społecznego dot. dyskusji o konieczności budowy ekranów akustycznych

Wykonawca udostępnił Partnerowi Społecznemu dnia 21 marca 2019 r. raport o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko wraz z załącznikami przygotowany na jego zlecenie przez Pracownię Ochrony Środowiska „Kraska” z Zielonej Góry w grudniu 2018 r. Materiały zostały przesłane celem ustalenia czy zawierają kompletne informacje potrzebne Zamawiającemu do obiektywnej oceny podstaw do złożenia wniosku o zmianę decyzji środowiskowej do Regionalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska w zakresie odstąpienia od budowy ekranów akustycznych na modernizowanym odcinku linii kolejowej nr 1 między Częstochową a Zawierciem.

Zgodnie z ustaleniami ze spotkania w Fundacji im. Stefana Batorego 27 lutego 2019 r. obie strony będą podejmować działania zmierzające do porozumienia w tej materii. Z jednej strony miały one opierać się na dostarczeniu rzetelnych i kompletnych analiz uzasadniających zmianę decyzji środowiskowej przez Wykonawcę, z drugiej na dopuszczeniu przez Zamawiającego do złożenia wniosku pod warunkiem braku z jego strony merytorycznych zastrzeżeń do materiału Wykonawcy. Notatka ze spotkania zaakceptowana przez wszystkie strony dostępna jest na paktuczciwosci.pl. Ponieważ Zamawiający podniósł w korespondencji mailowej z 8 marca, że Wykonawca uchybił temu ustaleniu, nie przedstawiając modelu akustycznego i wyników pomiaru hałasu, które prowadziłyby do sformułowanego we wspomnianym raporcie wniosku o potrzebie rezygnacji z budowy ekranów akustycznych, Partner Społeczny postanowił niezależnie zweryfikować te informacje. Poniżej udostępniamy pełną treść opinii konsultantów technicznych Fundacji na ten temat.

Z analizy raportu o oddziaływaniu na środowisko będącego załącznikiem do wniosku o zmianę decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla przedsięwzięcia pn. „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa-Zawiercie” wynika:

zgodnie z informacjami zawartymi w raporcie:

- 1) **Rozdział 5.5.4:** *Jako metodę obliczeniową do określania parametrów akustycznych trasy komunikacyjnej wykorzystano metodykę obliczania mocy akustycznej oraz zasięgu oddziaływania hałasu szynowego wymaganą Dyrektywą 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady Unii Europejskiej z dnia 25 czerwca 2002r. w sprawie oceny i kontroli poziomu hałasu w środowisku. Zgodnie z załącznikiem do*



FUNDACJA
BATOREGO

IM. STEFANA

ul. Sapieżyńska 10a
00-215 Warszawa
tel. 22 536 02 00
fax 22 536 02 20
batory@batory.org.pl
www.batory.org.pl



PAKT UCZCIWOŚCI

Projekt
finansowany
przez Komisję
Europejską



powyższej dyrektywy jako metoda oceny wskaźników dla hałasu szynowego wymagana jest holenderska krajowa metoda obliczeń RMR 2002 (EU);

2) Rozdział 5.5.5: Obliczenia przeprowadzono przy użyciu programu SoundPlan7.3 realizującego wymagane metodyki;

Należy zauważyć, że obliczenia realizowane przy użyciu programu SoundPlan 7.3 wykorzystującego holenderską metodykę obliczeniową uwzględniają poziomy emisji hałasu dla taboru o innych klasach i charakterystyce niż użytkowane w Polsce.

W związku z powyższym przy ocenie emisji hałasu dla projektowanych przedsięwzięć kolejowych zasadne jest wprowadzenie dodatkowej kalibracji do warunków występujących w Polsce.

Zgodnie z wynikami prowadzonych obecnie analiz porealizacyjnych na zakończonych już modernizowanych szlakach kolejowych brak wprowadzenia dodatkowych kalibracji może powodować różnice rzędu 5-8 dB pomiędzy poziomami emisji prognozowanymi w raporcie o oddziaływaniu na środowisko emisjami a pomiarami porealizacyjnymi.

W przedstawionym przez Wykonawcę raporcie do zmiany decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach nie zamieszczono informacji o wprowadzeniu takich dodatkowych kalibracji dla taboru poruszającego się linią kolejową nr 1 jak również dla taboru poruszającego się na liniach kolejowych uwzględnionych jako oddziaływanie skumulowane.

Wykonawca nie wprowadził również informacji w raporcie czy zostały wykonane pomiary hałasu w stanie istniejącym będące szczególnie istotne przy kalibracji modelu dla oceny oddziaływania skumulowanego wynikającego ze znajdujących się w sąsiedztwie linii kolejowej o nr: 4, 61, 155, 700, 702, 703.

Dodatkowo Wykonawca w rozdziale 5.5.5 *Obliczenia propagacji hałasu w środowisku – stan projektowany w horyzoncie 2023* wskazał następujące założenia przyjęte przy realizacji obliczeń:

- *w obliczeniach uwzględniono poprawkę -2 dB na całej długości analizowanej linii kolejowej z uwagi na spodziewaną poprawę stanu technicznego istniejącego taboru kolejowego i wprowadzanie do użytku nowszych modeli w związku z:*
- ✓ *wymaganiami Komisji Europejskiej (Decyzja nr 2011/229/UE z dnia 4 kwietnia 2011r. "Tabor kolejowy - hałas", zm. 2012/464/UE z 23 lipca 2012r.), która nakłada na cały tabor kolejowy poruszający się w obrębie transeuropejskiej sieci kolei*

- konwencjonalnych, obowiązek dotrzymania bardziej restrykcyjnych wartości dopuszczalnych hałasu (stacjonarnego, ruszania, przejazdu oraz hałasu wewnątrz kabiny maszynisty),*
- ✓ *dążeniem Komisji Europejskiej do wprowadzenia obowiązku zapewnienia obniżenia poziomów emisji hałasu pociągów towarowych poprzez wymianę stalowych klocków hamulcowych na kompozytowe do roku 2020 – 2022 (redukcja hałasu o około 8 dB).*

W obliczeniach hałasu nie uwzględniono ryzyka wynikającego z braku realizacji ww. założeń mających docelowo wpłynąć obniżenie emisji hałasu kolejowego.

Wyżej wskazane założenia i elementy nie ujęte w obliczeniach mogą powodować niedoszacowanie emisji hałasu z linii kolejowej nr 1, które zostało przedstawione w raporcie o zmianę decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach w zakresie braku konieczności budowy ekranów akustycznych.

Raport będący załącznikiem do zmiany decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach wprowadza zmiany w zakresie projektu polegające na braku potrzeby budowy ekranów akustycznych. Wykonawca nie zastępuje ekranów innymi elementami ochrony przed hałasem (np. matami antywibracyjnymi).

W opracowaniu nie zawarto również informacji jakie zmiany zaszły w zakresie i technicznych założeniach projektu od momentu realizacji raportu do wniosku o uzyskanie decyzji środowiskowej a złożonym wnioskiem o zmianę przedmiotowej decyzji, które to uzasadniałyby przedstawiane zmiany w zakresie emisji hałasu. Czy nastąpiły jakieś istotne zmiany w zakresie prognozy ruchu lub konstrukcji torowiska, które to wpływają na zmniejszenie poziomów emisji hałasu do poziomów dopuszczalnych na całym odcinku linii kolejowej objętym projektem? Wymaga to szczegółowego wyjaśnienia przez autorów raportu.

Biuro Budowy, 42-200 Częstochowa, ul. Faradaya 53

ZAW/2019/04/ 2603 /AW

Częstochowa, dn. 23.04.2019 r.

**Fundacja Batorego
Ul. Sapieżyńska 10a
00-215 Warszawa****Kontrakt: ZAPROJEKTOWANIE I WYKONANIE ROBÓT W RAMACH PROJEKTU POIŚ 5.2 – 6 „PRACE NA LINII KOLEJOWEJ NR 1 NA ODCINKU CZĘSTOCHOWA - ZAWIERCIE”****Umowa nr: 90/106/0072/17/Z/I z 20.07.2017 r.****Dotyczy: Informacja Partnera społecznego dot. Dyskusji o konieczności budowy ekranów akustycznych**

Wykonawca ZUE S.A mając na względzie otrzymaną w dniu 08.04.2019r informację Partnera Społecznego w zakresie toczonej dyskusji o konieczności budowy ekranów akustycznych przekazuje w załączniku stanowisko ekspertów tj. Pracowni Hałasu Sp.z.o.o, która w ramach uzyskanego zlecenia dokonała ponownej analizy modelu akustycznego otrzymanego od Zamawiającego, wskazując jednoznacznie na brak potrzeby budowy ekranów akustycznych. Tym samym stoiemy na stanowisku, że przyjęte założenia nie powodują niedoszacowania emisji hałasu z linii kolejowej nr 1 oraz innych znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie.

W nawiązaniu do powyższych Wykonawca pozostaje w gotowości do spotkania ekspertów dla udzielenia dalszych wyjaśnień w przypadku kolejnych pytań bądź wątpliwości.

Z poważaniem,

ZUE S.A.
Dyrektor Kontaktów
mgr Artur Wieszorek**Załączniki:**

1. Pismo Pracowni Hałasu z dnia 11.04.2019r + opracowanie Algorytmu Obliczeń Hałasu Drogowego i Kolejowego

Otrzymują:

1. Adresat
2. a/a

Do wiadomości:

1. Pani Renata Krok Dyrektor Projektu PKP PLK S.A CRI ul. Krótka 27A, 42-200 Częstochowa
2. Pan Mirosław Oleksy Inżynier Projektu, Biuro Kontraktowe MP Mosty, ul. Krótka 27A, 42-200 Częstochowa

Wrocław, dn. 11.04.2019 r.

ZUE S.A.
ul. Kazimierza Czapieńskiego 3
30-048 Kraków

Dotyczy: Dokumentu „Informacja Partnera Społecznego dot. dyskusji o konieczności budowy ekranów akustycznych – wniosek o zmianę decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach dla przedsięwzięcia „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie”.

W związku z przekazanymi wątpliwościami dot. modelu akustycznego sporządzonego na potrzeby ponownej oceny oddziaływania na środowisko przedsięwzięcia „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie”, Wykonawca pragnie złożyć wyjaśnienia do powyższych:

Ad.1 Oddziaływanie na środowisko w zakresie emisji hałasu zostało określone zgodnie z wytycznymi zawartymi w „Dyrektywie 2002/49/WE z dnia 25 czerwca 2002 r. odnoszącej się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku oraz ustawy Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r (t. j. Dz. U. z 2016 r. poz. 672 z późn. zm.). Do obliczenia emitowanego hałasu kolejowego posłużono się holenderską metodyką RMR dotyczącą obliczania poziomów dźwięku pochodzących od pojazdów szynowych, opublikowaną w „Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaal '96. Ministerie Volkshuisvesting. Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 listopad 1996”, którą wskazuje w/w dyrektywa. Brak jest referencyjnej metody obliczeniowej odzwierciedlającej wprost realia polskie – rodzaje taboru i trakcji, nie mniej jednak holenderska metodyka RMR zaadoptowana została na potrzeby krajowe, co zostało ujęte w opracowaniu: „ALGORYTMY OBLICZEŃ HAŁASU DROGOWEGO I KOLEJOWEGO (opis polski) zawarte w metodach zalecanych przez Dyrektywę 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 odnoszącej się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku”, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska – Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa 2007 r. (w załączeniu). Obliczenia akustyczne dla stanu projektowanego, wykonane w ramach ponownej oceny oddziaływania na środowisko przedsięwzięcia „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie”, wykonane zostały w odniesieniu do realiów krajowych (zgodnie z wymogami adaptacji metody RMR) oraz przy utrzymaniu wszelkich założeń przyjętych w pierwotnym Raporcie o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia pn.: „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie”, aut. PKP PLK S.A., Warszawa, grudzień 2016 r. Powyższe odnosi się bezpośrednio do parametrów modelowanych źródeł hałasu przyjętych przez PKP PLK S.A. dla stanu projektowanego, w odniesieniu do prognozy ruchu na rok 2023, mianowicie zamieszczone w pierwotnym raporcie, w rozdziale 4.5

„Klimat akustyczny” kompleksowe informacje (dane o ruchu, przyporządkowane rodzaje trakcji oraz poprawki kalibracyjne) zostały wprowadzone do zaktualizowanego modelu obliczeniowego, nie pozostawiając możliwości żadnej dodatkowej kalibracji źródeł hałasu szynowego (cyfrowy model terenu oraz poprawność odtworzenia modelu akustycznego dla stanu projektowanego bez uwzględnienia oddziaływania skumulowanego podlegały wiosną roku 2018 weryfikacji przez Biuro Ochrony Środowiska PKP PLK S.A. i przekazane uwagi zostały w całości uwzględnione w przekazanym ponownie do weryfikacji modelu obliczeniowym). Odtworzony został bezpośrednio zwalidowany model akustyczny opisany przez PKP PLK S.A. Parametry trakcji zostały założone zgodnie z danymi zawartymi w pierwotnym raporcie w Tabeli 19 Zastosowane parametry torowisk na str. 61. Założenia powyższe zostały przyjęte do opracowania przez PKP PLK S.A. i na nich bazowano. Tab. poniżej.

cyt.

Tabela 1 Zastosowane parametry torowisk

Oznaczenie odcinka	Stan Istniejący			Stan projektowany		
	Rodzaj toru	Rodzaj rozłączenia torów	wartość poprawki [dB]	Rodzaj toru	Rozłączenia torów	wartość poprawki [dB]
odcinek 1	3	1	1	1	1	-2
odcinek 2	5	3	4	1	1	-2
odcinek 3	3	1	1	1	1	-2
odcinek 4	3	1	1	1	1	-2
odcinek 5	3	1	2	1	1	-2
odcinek 6	3	1	2	1	1	-2
odcinek 7	3	3	2	1	1	-2

Zaznaczyć należy, że zaktualizowany model akustyczny, sporządzony na potrzeby ponownej oceny oddziaływania na środowisko przedsięwzięcia „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie” oparty jest na parametrach przyjętych w zwalidowanym modelu akustycznym sporządzonym przez PKP PLK S.A. na potrzeby pierwotnego raportu i po weryfikacji wprowadzonych nastaw oraz cyfrowego modelu terenu można go uznać za równoważny.

Modernizacja taboru kolejowego jest procesem długofalowym, nie mniej jednak ma ona miejsce w chwili obecnej. Na podstawie akredytowanych badań hałasu kolejowego wykonanych przez LB firmy Pracownia Hałasu sp. z o.o. w ramach realizacji zadania pn.: „Analiza porealizacyjna w zakresie ochrony akustycznej terenów wymagających ochrony przed hałasem dla przedsięwzięcia: Poprawa dostępności linii nr 94 Kraków Płaszów – Oświęcim poprzez modernizację odcinka Kraków Bonarka – Kraków Swoszowice dla linii kolejowej nr 94 Kraków Płaszów – Skawina” na zlecenie PKP PLK S.A.

W celu określenia wpływu stanu technicznego taboru towarowego na poziom emisji hałasu do środowiska dokonano porównania zdarzeń akustycznych dla klasy pociągów towarowych zarejestrowanych w trakcie badań terenowych w punkcie pomiarowym P2 (w trakcie trwania jednej doby pomiarowej w dniach 10-11.01.2018 r.) charakteryzującą

się zbliżoną liczbą wagonów oraz prędkością przejazdu. Analiza pozwoliła na wskazanie dwóch zdarzeń zestawionych w poniższej tabeli.

Tabela nr 1. Porównanie zaobserwowanych zdarzeń akustycznych w punkcie P2.

Klasa pojazdu szynowego	Kierunek ruchu	Tor	Liczba wagonów z lokomotywą	Prędkość [km/h]	Zmierzona wartość LAE (SEL) [dB]	Data przejazdu	Godzina przejazdu
1	2	3	4	5	6	7	8
towarowy	P	Kraków Swoszowice	43	46	80,7	11.01.2018 r.	04:05:43
towarowy	P	Kraków Swoszowice	41	48	87,9	11.01.2018 r.	08:33:06

Różnica poziomów ekspozycyjnych dla przejazdu pociągu towarowego „głośniego” i przejazdu pociągu towarowego „cichego” wynosi 7,2dB. Wartość ta została uwzględniona, w uzgodnieniu z PKP PLK S.A., przy modelowaniu źródła hałasu odpowiadającego klasie pojazdów szynowych „towarowe” o lepszych parametrach akustycznych na potrzeby wariantu I środków minimalizujących oddziaływanie linii nr 94.

Powyższe dane pomiarowe ukazują realny wpływ, odbywającej się obecnie modernizacji taboru kolejowego, szczególnie w klasie pociągów towarowych charakteryzujących się największą uciążliwością akustyczną.

W ramach realizacji ponownej oceny oddziaływania na środowisko przedsięwzięcia „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie” nie prowadzono dodatkowych badań terenowych, wykorzystano natomiast założenia projektowe przyjęte dla pierwotnego modelu zwalidowanego na wyniki badań terenowych wykonane przez akredytowane Laboratorium Badawcze KFB (certyfikat akredytacji AB1271) zgodnie z metodyką zawartą w rozporządzeniu w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. 2011 nr 140 poz. 824 z późn. zm.) w 14 punktach pomiarowych.

Zaktualizowany model akustyczny został opracowany na podstawie dok. KONCEPCJA PROGRAMOWO – PRZESTRZENNA 1.1 Roboty torowe i odwodnienie – odcinek 1 od km 229,350 do km 247,500 – Rewizja 2 oraz założeń zawartych w pierwotnym Raplocie o oddziaływaniu na środowisko przedsięwzięcia pn.: „Prace na linii kolejowej nr 1 na odcinku Częstochowa - Zawiercie”, aut. PKP PLK S.A., Warszawa, grudzień 2016 r.

Z wyrazami szacunku

mgr inż. Radosław Jeżyna

.....Przewodniczący.....

Sprawę prowadzi:
Radosław Jeżyna
tel. 71 728 08 25
kom. 695 44 62 46

**ALGORYTMY OBLICZEŃ
HAŁASU DROGOWEGO I KOLEJOWEGO
(opis polski)**

zawarte w metodach zalecanych przez

**Dyrektywę 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady
z dnia 25 czerwca 2002 odnoszącej się do oceny i zarządzania
poziomem hałasem w środowisku**

Z uwzględnieniem dodatkowych zapisów z dokumentu:

**Commission Recommendation of 6th August 2003 concerning the guidelines on the revised
interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and
railway noise, and related emission data (2003)**

oraz normy

**PN-ISO 9613-2:2002. „Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni
otwartej. Ogólna metoda obliczania”**

WARSZAWA, 2007



Spis treści

1.	Wprowadzenie	4
2.	Obliczenia i pomiary hałasu kolejowego.....	6
2.1.	Informacje wprowadzające.....	6
2.2.	Kategorie pojazdów szynowych.....	7
2.3.	Całkowita wartość emisji dźwięku	11
2.3.1.	Wartość poziomu emisji dla każdej sekcji	11
2.3.2.	Dane wejściowe.....	12
2.3.3.	Maksymalne prędkości.....	13
2.4.	Wartości poziomu emisji dźwięku dla pasma oktawowego	14
2.4.1.	Wysokość źródła dźwięku.....	14
2.4.2.	Szyny.....	14
2.4.3.	Stosowane wskaźniki	15
2.5.	Metoda obliczeń	16
2.6.	Poziom emisji w przypadku torów położonych na mostach o konstrukcji betonowej i stalowej.....	22
2.6.1.	Konstrukcje betonowe.....	22
2.6.2.	Konstrukcje stalowe	23
2.6.3.	Prędkości maksymalne	23
2.7.	Elementy standardowej metody obliczeniowej	23
2.7.1.	Definicje używanych terminów	23
2.7.2.	Geometryczne odwzorowanie sytuacji.....	24
2.7.3.	Obszar zastosowania metody	25
2.7.4.	Model obliczeniowy propagacji dźwięku	25
2.7.5.	Modelowanie różnych sytuacji praktycznych	26
2.7.6.	Współczynnik odbicia	26
2.7.7.	Rozbieżność geometryczna	27
2.7.8.	Absorpcja atmosferyczna	27
2.7.9.	Wpływ powierzchni ziemi	27
2.7.10.	Współczynnik korekcji meteorologicznej	27
2.8.	Obliczanie propagacji hałasu w pasmach oktawowych (metoda SRM II).....	28
2.8.1.	Definicje używanych terminów	28
2.8.2.	Wzór podstawowy do wyznaczenia równoważnego poziomu dźwięku A, L_{Aeq}	30
2.8.3.	Sumowanie	30
2.9.	Modelowanie sytuacji.....	31
2.9.1.	Źródła liniowe	31
2.9.2.	Rodzaje budowy podłoża	31
2.9.3.	Różnice w wysokości gruntu.....	31
2.9.4.	Płyty ekranujące	34
2.9.5.	Ekran i obiekty ekranujące.....	34
2.9.6.	Perony.....	35
2.9.7.	Konstrukcje mostów.....	35
2.9.8.	Konstrukcje dźwiękochłonne	36
2.9.9.	Odbicia	36
2.9.10.	Budynki mieszkalne a punkty odbioru	36
2.10.	Tłumienie spowodowane rozbieżności geometryczną ΔL_{GU}	37
2.10.1.	Dane.....	37



2.10.2.	Obliczenia.....	37
2.10.3.	Wnioski.....	37
2.11.	Tłumienie spowodowane propagacją w przestrzeni otwartej ΔL_{OD}	37
2.11.1.	Tłumienie atmosferyczne D_L	38
2.11.2.	Tłumienie przez grunt D_B	38
2.11.3.	Współczynnik korekcji meteorologicznej C_M	41
2.11.4.	WSPÓLCZYNNIK TŁUMIENIA PRZEZ EKRALOWANIE ΔL_{SW}	41
2.11.5.	Określanie absorpcji charakterystycznej dla pociągów.....	46
2.11.6.	Zmiana poziomów dźwięku w wyniku odbić ΔL_R	47
2.11.7.	Spektrum równoważnego poziomu dźwięku w pasmach oktaowych.....	48
2.12.	Rejestr emisji - zawartość.....	48
2.13.	Sporządzenie strategicznych map hałasu.....	50
2.13.1.	Wartość poziomu emisji.....	50
2.13.2.	Warunki meteorologiczne.....	51
2.13.3.	Punkty odbioru.....	51
3.	Charakterystyka metody obliczania hałasu drogowego 'XPS 31-133'.....	52
3.1.	Wstęp.....	52
3.2.	Wskaźniki hałasu.....	52
3.3.	Wpływ warunków meteorologicznych na propagację hałasu.....	53
3.4.	Źródło.....	56
3.5.	Określenie emisji z drogi.....	58
3.5.1.	Omówienie metody.....	58
3.5.2.	Podział na jednakowe odcinki i przedziały czasowe.....	58
3.5.3.	Emisja.....	60
3.5.4.	Korekcja dla nawierzchni drogi.....	62
3.5.5.	Kierunkowość źródła.....	63
3.5.6.	Profile podłużne.....	65
3.5.7.	Pasy ruchu.....	65
3.5.8.	Natężenie ruchu (Q).....	66
3.5.9.	Prędkość (V).....	66
3.6.	Propagacja dźwięku.....	66
3.6.1.	Lokalizacja punktu odbioru.....	66
3.6.2.	Geometria i opis terenu.....	66
3.6.3.	Elementarna trasa propagacji.....	67
3.6.4.	Odchyłka geometryczna.....	67
3.6.5.	Absorbcja atmosferyczna.....	68
3.6.6.	Wpływ powierzchni ziemi.....	68
3.6.7.	Dyfrakcja.....	72
3.6.8.	Odbicia od powierzchni pionowych.....	80
3.6.9.	Poprawki meteorologiczne i obliczanie poziomów długookresowych.....	81
3.7.	Podsumowanie.....	86
4.	Bibliografia.....	87



1. WPROWADZENIE

Najpóźniej do dnia 30 czerwca 2007 r. państwa członkowskie Unii Europejskiej zapewnią wykonanie, dla wszystkich aglomeracji mających ponad 250 000 mieszkańców oraz dla wszystkich głównych dróg przez które rocznie przejeżdża ponad sześć milionów pojazdów, głównych linii kolejowych, po których rocznie przejeżdża 60 000 pociągów oraz głównych portów lotniczych, na ich terytorium, strategicznych map akustycznych wykazujących stan w poprzednim roku kalendarzowym, oraz zatwierdzenie ich przez właściwe władze.

W odniesieniu do map akustycznych Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 odnoszącej się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dz. Urz. WE L 189 z 18.07.2002, str. 12, z późn. zm.; Dz. Urz. UE Polskie wydanie specjalne rozdz., 15, t. 7; str. 101) wymaga stosowania ujednoczonych w Państwach Członkowskich metod oceny (obliczeniowo - pomiarowych). W okresie przejściowym¹ Dyrektywa dopuszcza jedno z dwóch rozwiązań:

1. Zastosowanie zalecanych metod przejściowych (interim methods),
2. Przyjęcie własnych metod krajowych pod warunkiem dostosowania ich do obliczania nowych wskaźników oceny hałasu, zdefiniowanych w Dyrektywie².

Jako metody przejściowe przyjęto w załączniku do Dyrektywy 2002/49/WE:

1. Hałas drogowy

Francuska krajowa metoda obliczania poziomów dźwięku „NBPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), o której mowa w Arrêtè du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routièeres, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6 [24] oraz francuska norma „XPS 31-133”.

2. Hałas od pojazdów szynowych

W odniesieniu do hałasu pochodzącego od ruchu kolejowego stosowana powinna być holenderska krajowa metoda obliczania poziomów dźwięku pochodzących od pojazdów szynowych, opublikowana w „Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaai '96. Ministerie Volkshuisvesting. Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 listopad 1996”.

3. Hałas przemysłowy

Model propagacji dźwięku, zawarty w PN-ISO 9613-2:2002. „Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej .Ogólna metoda obliczania”³.

Ponadto, w rok po Dyrektywie wydano dokument metodyczny:

4. Commission Recommendation of 6th August 2003 concerning the guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data (notified under document number C(2003) 2807). (Official Journal of the European Union L 212/49),

¹ Który potrwa pewnie jeszcze 2- 3 lata

² Wskaźniki te przeniesiono do ustawy P.o.ś.

³ w Dyrektywie 2002/49/WE podano oryginalne nazwy i oznaczenia norm ISO. Tutaj, w przypadku tej normy i następnych podano oznaczenia polskie



w którym sprecyzowano, jakiego typu modyfikacje w/w metod krajowych są niezbędne w celu dostosowania ich do obliczania nowych wskaźników oceny hałasu.

Biorąc pod uwagę fakt, iż do momentu wdrożenia regulacji Dyrektywy 2002/49/WE w Polsce nie zostały opracowane krajowe metody oceny hałasu drogowego i kolejowego wraz z odpowiednio rozbudowanymi narzędziami informatycznymi⁴, do realizacji map należało zastosować rozwiązanie polegające na przyjęciu europejskich metod przejściowych.

Algorytmy stosowane w przejściowych metodach oceny hałasu stanowią podstawę narzędzi obliczeniowych (pakietów oprogramowania) dostępnych na rynku europejskim, a w tym także – na rynku polskim. Jednakże algorytmy te nie w programach tych nie występują w sposób jawny.

Jednym z podstawowych problemów zachowania właściwej jakości mapy akustycznej jest przygotowanie danych wejściowych o odpowiedniej (dużej) jakości. Istotnym elementem zapewnienia jakości tych danych jest znajomość ich wykorzystania w procesie obliczeniowym. Dotyczy to w istotnym stopniu przygotowania wejściowych map numerycznych i numerycznych modeli terenu (NMT), choć oczywiście nie tylko.

W związku z powyższym zaistniała potrzeba, aby osobom, które:

- zakupiły oprogramowanie, zawierające omawiane algorytmy metod przejściowych,***
- wykorzystują je do realizacji map akustycznych, odpowiadających realiom polskim***

udostępnić te algorytmy w postaci jawnej (nie zakodowanej) w języku polskim.

Dodatkowo, udostępnienie w sposób jawny omawianych algorytmów pozwoli na eliminowanie wielu nieporozumień i wątpliwości, w przypadku zaistnienia konieczności uzgadniania, lub sprawdzania jakości opracowań opartych na obliczeniach prowadzonych przy pomocy metod przejściowych.

Niniejsze opracowanie odpowiada na te potrzeby. Zawiera ono opracowanie (nie jest to dosłowne tłumaczenie, a raczej adaptacja) algorytmów dla metod obliczania:

- hałasu drogowego,
- hałasu od pojazdów szynowych.

zgodnych z w/w dokumentami oryginalnymi (francuskim i holenderskim).

Części opracowania, w których zawarto tekst odpowiadający oryginalnym algorytmom został zapisany normalnym drukiem. Natomiast fragmenty tekstu, w których przytoczono rozszerzenia metodyczne pochodzące z:

- Normy PN-ISO 9613-2 (patrz wyżej pkt 3),

⁴ Metody takie wprawdzie istniały, lecz operowały one nadmiernymi uproszczeniami i były w zasadzie do wykorzystania w niewielkich projektach badawczych, lecz nie w realizacji map akustycznych dużych obszarów



- Dokumentu "Commission Recommendation of 6th August 2003..." (patrz wyżej pkt 4)

wyróżniono innym kolorem druku.

2. OBLICZENIA I POMIARY HAŁASU KOLEJOWEGO

2.1. INFORMACJE WPROWADZAJĄCE

Holenderski model emisji hałasu zaproponowany w Dyrektywie 2002/49/WE może być używany we wszystkich krajach członkowskich, z uwagi na fakt, iż:

- ◆ Standardowa baza danych zawiera dostatecznie dużą liczbę przykładów holenderskiego i nie holenderskiego taboru na szynach holenderskich, żeby służyć za użyteczny przewodnik adaptacji miejscowych danych oraz kwalifikowania pociągów do istniejących klas,
- ◆ Model emisji hałasu nie jest ograniczony do możliwości zastosowania jedynie holenderskich parametrów. W rzeczywistości towarzysząca mu metoda pomiarowa pozwala każdemu z państw członkowskich efektywnie pozyskiwać własne dane do zastosowania w istniejącym holenderskim modelu emisji,
- ◆ Standardowa baza danych może i powinna zostać zastąpiona dokładniejszymi danymi pochodzącymi z określonego kraju. Stworzenie uogólnionej dla całej Europy bazy danych wymagałoby współpracy odpowiednich władz i prywatnych zarządców kolei wszystkich krajów członkowskich. Rodzaje krajowych taborów i szyn państw członkowskich oraz informacje o nich dostępne w chwili obecnej różnią się znacznie i prawdopodobnie pozostaną różne. Parametry takie jak chropowatość szyn nie mogą podlegać generalizacji i należy brać je pod uwagę w każdym z państw członkowskich,
- ◆ Istnieją inne bazy danych dotyczące emisji hałasu kolejowego. Większość z nich jest specyficzna dla ruchu kolejowego określonych krajów - państw członkowskich (krajowy i zagraniczny tabor kolejowy na krajowych torach). Nie wszystkie z nich są wystarczająco kompletne. Jeśli to tylko możliwe powinny być one przeliczone przez kraje członkowskie, tak, aby pasowały do holenderskiego modelu emisji.

Pierwsza metoda obliczeniowa została opublikowana w roku 1996, druga unowocześniona w roku 2002. Zawiera ona następujące modyfikacje:

- metody pomiarowe do określenia wartości emisji dźwięku dla nowych lub nieuwzględnionych dotąd rodzajów transportu kolejowego.
- metodę uwzględniania w obliczeniach kondycji torów (zużycie faliste)
- modyfikacje w obliczeniach współczynnika odbicia,

Dla celów mapowania hałasu do zawartości dokumentu muszą zostać wprowadzone pewne zmiany. I tak:

- rozdziały dotyczące metod przeprowadzania pomiarów, nie zostały tutaj zamieszczone, ponieważ ich treść wykracza poza zakres niniejszego zadania;
- dodano odniesienie do europejskich parametrów mapowania hałasu L_{dwn} , $L_{dzień}$, L_{noc} , $L_{wieczór}$;
- z rozdziału 9 zostały zaadoptowane jedynie fragmenty mające związek z niniejszym zadaniem; zostały one umieszczone w odpowiednich rozdziałach w roli wprowadzenia.



Ponadto zostały usunięte wszelkie odwołania do ustawodawstwa holenderskiego oraz sytuacji charakterystycznych dla tego kraju.

2.2. KATEGORIE POJAZDÓW SZYNOWYCH

Przed przystąpieniem do obliczenia *równoważnego poziomu dźwięku* należy wszystkie pojazdy poruszające się po określonej linii kolejowej oraz zgodne z odpowiednimi wytycznymi dotyczącymi działania przypisać do następujących kategorii pojazdów kolejowych. Kategorie te zostały wstępnie wyszczególnione na podstawie rodzaju napędu oraz układu hamulcowego.

Kategoria 1.: Pociągi pasażerskie z hamulcami klockowymi

- wyłącznie pociągi pasażerskie z żeliwnymi klockami włącznie z lokomotywą, jak również pociągi należące do serii Dutch 1964 oraz pociągi pasażerskie należące do Deutsche Bahn (DB)
- wagon pocztowy z silnikiem elektrycznym.

Kategoria 2.: Pociągi pasażerskie z hamulcami tarczowymi i klockowymi

- elektryczne pociągi pasażerskie przede wszystkim z hamulcami tarczowymi oraz dodatkowymi hamulcami klockowymi, włącznie z lokomotywą, np. InterCity-Material IMC-III, ICR oraz DDM-1,
- pociągi pasażerskie należące do Francuskiego Towarzystwa Kolejowego (SNCF) oraz Trans Europe Express (TEE),
- elektrowozy takie, jak te z serii 1100, 1200, 1300, 1500, 1600 oraz 1700 należące do Belgijskiego Towarzystwa Kolejowego (B).

Kategoria 3.: Pociągi pasażerskie z hamulcami tarczowymi

Wyłącznie pociągi pasażerskie z hamulcami tarczowymi i głośnym silnikiem, jak na przykład pociągi podmiejskie (SGM, sprinter).

Kategoria 4.: Pociągi towarowe z hamulcami klockowymi

Wszystkie typy pociągów towarowych z żeliwnymi hamulcami klockowymi.

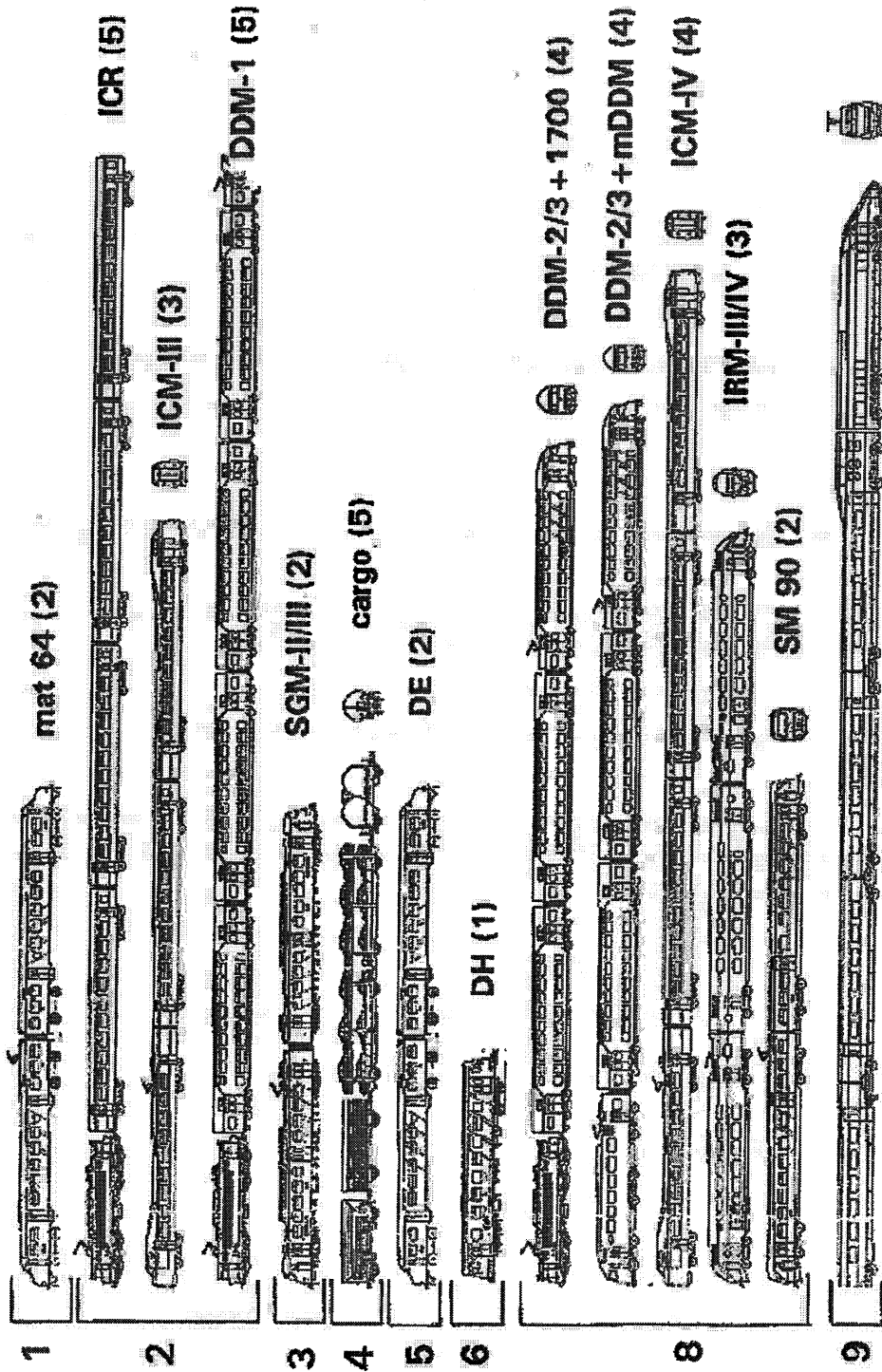
Kategoria 5.: Pociągi z lokomotywą spalinową z hamulcami klockowymi

Wyłącznie pociągi pasażerskie z napędem spalinowo – elektrycznym, z żeliwnymi hamulcami klockowymi włącznie z lokomotywą, np. DE I, DE II, DE III, lokomotywy spalinowe, np. z serii 2200/2300 oraz 2400/2500.



Kategoria 6.: Pociągi z lokomotywą spalinową z hamulcami tarczowymi

Wyłącznie pociągi pasażerskie z napędem spalinowo – hydraulicznym, z hamulcami tarczowymi i głośnym silnikiem.



rys. nr 1. Kategorie pociągów wyodrębnione dla potrzeb wytycznych dotyczących obliczania i mierzenia hałasu kolejowego: typy (liczba jednostek).

Kategoria 7.: Pociągi metra oraz szybkie tramwaje z hamulcami tarczowymi

Pociągi metra oraz szybkie tramwaje.

Kategoria 8.: Pociągi InterCity oraz pociągi osobowe z hamulcami tarczowymi

- wyłącznie pociągi pasażerskie o napędzie elektrycznym, z hamulcami tarczowymi wyłącznie z lokomotywą, np. pociągi InterCity ICM-IV, IRM oraz SM90,
- wyłącznie pociągi pasażerskie o napędzie elektrycznym z hamulcami tarczowymi, z dodatkowymi klockami żeliwnymi oraz ze spieków metali wyłącznie z lokomotywą, np. pociągi InterCity ICM-III oraz DDM-2/3.

Kategoria 9.: Pociągi szybkobieżne z hamulcami klockowymi i tarczowymi

Pociągi elektryczne szczególnie z hamulcami tarczowymi oraz dodatkowymi klockami żeliwnymi zamontowanymi w lokomotywie, np. TGV-PBA lub HLSSouth.

Kategoria 10.: Tymczasowo zarezerwowana dla pociągów szybkobieżnych typu ICE-3 (M) (HST East)

Pojazdy nie wymienione tutaj są przypisywane do następnej odpowiedniej kategorii w oparciu rodzaj ich napędu, system hamulcowy oraz maksymalną prędkość.

Rysunek 1.1 przedstawia pociągi różnych kategorii oraz orientacyjne szkice jednostek.

Uwaga: Wymienione wyżej kategorie pociągów odpowiadają sytuacji na kolei holenderskiej. W większości przypadków żadnej z wymienionych rodzajów pociągów nie będzie można przenieść bezpośrednio w warunki polskie.

Każda jednostka z jakiegokolwiek danej kategorii jest pojedynczym źródłem emisji dźwięku. W przypadku pociągów przedstawionych na rysunku lokomotywy oraz wagony pasażerskie lub inne są brane pod uwagę jako oddzielne jednostki. W przypadku zintegrowanych pociągów połączone sekcje powinny być brane pod uwagę jako jedna jednostka.



2.3. CAŁKOWITA WARTOŚĆ EMISJI DŹWIĘKU

2.3.1. Wartość poziomu emisji dla każdej sekcji

Wzór podstawowy ma postać:

$$E = 10 \lg \left(\sum_{c=1}^y 10^{E_{nr,c}/10} + \sum_{c=1}^y 10^{E_{r,c}/10} \right) \quad (2.1)$$

gdzie:

- $E_{nr,c}$ oznacza poziom emisji dla pociągów nie hamujących należących do danej kategorii,
- $E_{r,c}$ oznacza poziom emisji dla pociągów hamujących,
- c oznacza kategorię pociągu,
- i oznacza ogólną liczbę istniejących kategorii.

Wartości poziomu emisji dla każdej kategorii pojazdów szynowych wyznacza się ze wzorów:

$$E_{nr,c} = a_c + b_c \lg v_c + 10 \lg Q_c + C_{b,c}$$

$$E_{r,c} = a_{r,c} + b_{r,c} \lg v_c + 10 \lg Q_{r,c} + C_{b,c} \quad (2.2)$$

Standardowe wartości poziomu emisji a_c , b_c , $a_{r,c}$ oraz $b_{r,c}$ podane są w poniższej tabeli:

tabela 1. Standardowe wartości poziomu emisji jako funkcje kategorii pociągu c

Kategoria	Pociągi nie hamujące		Pociągi hamujące	
	a_c	b_c	a_c	b_c
1	14,9	23,6	16,4	25,3
2	18,8	22,3	19,6	23,9
3	20,5	19,6	20,5	19,6
4	24,3	20,0	23,8	22,4
5	46,0	10,0	47,0	10,0
6	20,5	19,6	20,5	19,6
7	18,0	22,0	18,0	22,0
8	25,7	16,1	25,7	16,1
9	22,0	18,3	22,0	18,3



2.3.2. Dane wejściowe

W celu obliczenia wartości poziomu emisji potrzebne są następujące dane:

Q_c średnia liczba pociągów niehamujących, należących do rozpatrywanej kategorii pociągów [h^{-1}],

$Q_{r,c}$ średnia liczba pociągów hamujących, należących do rozpatrywanej kategorii pociągów [h^{-1}],

v_c średnia prędkość wagonów kolejowych [km/h],

b rodzaj torów [-].

Przez „pociąg hamujący” należy rozumieć pociąg, w którym układ hamulcowy jest uruchomiony.

W celu określenia wartości poziomu emisji E należy korzystać z listy kategorii pociągów (§ 1.1), odróżniając przy tym pociągi hamujące od nie hamujących.

Wyróżnia się następujące typy torów kolejowych:

- tory kolejowe na podkładach betonowych składających z jednego lub dwóch bloków leżące na podsypce (kod indeksu $b = 1$),
- tory kolejowe na podkładach drewnianych lub betonowych z płytkami żebrowymi leżące na podsypce (kod indeksu $b = 2$),
- tory kolejowe o szynach niespawanych leżące na podsypce, tory z łączeniami lub zwrotnicami (kod indeksu $b = 3$),
- tory kolejowe z blokami (kod indeksu $b = 4$),
- tory kolejowe z blokami i na nasypie (kod indeksu $b = 5$)
- tory kolejowe z regulowanym przytwierdzeniem szyn (kod indeksu $b = 6$)
- tory kolejowe z regulowanym przytwierdzeniem szyn leżące na podsypce (kod indeksu $b = 7$)
- tory kolejowe z torami wpuszczonymi w podłoże (kod indeksu $b = 8$)
- tory kolejowe na przejazdach kolejowych

$C_{b,c}$ wskazuje różnicę w emisji pomiędzy wagonami poruszającymi się po torach leżących na betonowych podkładach a tymi, które poruszają się po innych typach torów w identycznych warunkach. Wartość $C_{b,c}$ została podana w tabeli 2.

Dla przejazdów kolejowych dodaje się 2 dB do wartości przedstawionych w tabeli 2. stosownie do rodzaju torów kolejowych przed i za przejazdem. Jeżeli wartości te różnią się, używa się konstrukcji z najwyższymi wartościami.

tabela 2. Współczynnik korekcji $C_{b,c}$ jako funkcja kategorii pojazdu szynowego oraz typu torów b

Kategoria	b = 1	b = 2	b = 3	b = 4	b = 5	b = 6 ⁵	b = 7	b = 8
1	0	2	4	6	3	-	0	2
2	0	2	5	7	5	-	0	3
3	0	1	3	5	2	-	0	2
4	0	2	5	7	4	-	0	2
5	0	1	2	4	4	-	0	2
6	0	1	3	5	2	-	0	2
7 ⁶	0	1	-	-	-	-	-	-
8	0	2	4	6	3	-	0	2
9	0	2	4	6	3	-	0	2

tabela 3. Współczynnik korekcji dla różnych typów połączeń w konstrukcjach betonowych i stalowych

Typ konstrukcji	Typ torów kolejowych	Kod indeksu b (SRM 1)
Mosty typu TT oraz U	zmiennie wyposażenia	4
Mosty belkowe i płytowe	rozjazdy na podsypce (drewniane lub betonowe)	1 lub 2
	zmiennie wyposażenia	4
	zmiennie wyposażenia na podsypce	7
Mosty z pomostem stalowym	przytwierdzenie blokowe	4
	przytwierdzenie blokowe na podsypce	5
	szyny wpuszczone w pomost	8

2.3.3. Maksymalne prędkości

Poziom ekspozycji dla różnych prędkości pociągów może być określany przy pomocy maksymalnej prędkości dla danej kategorii tak, jak to zostało przedstawione w tabeli 4.

⁵ Tory o indeksie b = 6 zostaną omówione dalej.

⁶ Pociągi należące do kategorii 7. zostaną również omówione.



tabela 4. Maksymalna wyliczalna prędkość dla danej kategorii

Kategoria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maksymalna (obliczeniowa) prędkość [km/h]	140	160	140	100	140	120	100	160	300	330

W przypadku pojazdów nie wymienionych w bazie danych kategorii pociągów przyjmuje się maksymalną prędkość podaną przez producenta.

2.4. WARTOŚCI POZIOMU EMISJI DŹWIĘKU DLA PASMA OKTAWOWEGO

2.4.1. Wysokość źródła dźwięku

Wartości emisji dla pasma oktawowego dla kategorii od 1. do 8. są wyznaczane dla dwóch różnych wysokości źródeł dźwięku:

- na poziomie główki szyny (wartość poziomu emisji L_E^{bs}),
- 0,5 m powyżej główki szyny (wartość poziomu emisji L_E^{as}).

Dla kategorii 9., wartości poziomu emisji dla pasma oktawowego są wyznaczane dla czterech różnych wysokości źródła dźwięku:

- 0,5 m powyżej główki szyny (wartość poziomu emisji L_E^{as}),
- 2,0 m powyżej główki szyny (wartość poziomu emisji L_E^{2m}),
- 4,0 m powyżej główki szyny (wartość poziomu emisji L_E^{4m}),
- 5,0 m powyżej główki szyny (wartość poziomu emisji L_E^{5m}).

2.4.2. Szyny

W celu wyznaczenia wartości poziomu emisji dla danego źródła dźwięku korzysta się z kategorii pojazdów szynowych podanych wyżej. Wielkość emisji jest jednocześnie standaryzowana, w zależności od typu torów oraz ich kondycji, w następujący sposób:

Wyróżnia się również następujące typy torów kolejowych:

- tory kolejowe na podkładach betonowych składających z jednego lub dwóch bloków leżące na nasypie (kod indeksu bb = 1),
- tory kolejowe na podkładach drewnianych lub betonowych z płytkami żebrowymi leżące na nasypie (kod indeksu bb = 2),
- tory kolejowe o szynach nie spawanych leżące na podsypce, tory z łączeniami lub zwrotnicami (kod indeksu bb = 3),
- tory kolejowe z blokami (kod indeksu bb = 4),



- tory kolejowe z blokami i na nasypie (kod indeksu $bb = 5$)
- tory kolejowe z regulowanym przytwierdzeniem szyn (kod indeksu $bb = 6$)
- tory kolejowe z regulowanym przytwierdzeniem szyn leżące na podsypce (kod indeksu $bb = 7$)
- tory kolejowe z szynami wpuszczonymi w podłoże (kod indeksu $bb = 8$)
- tory kolejowe na przejazdach kolejowych.

Podczas wyznaczania wartości poziomu emisji dokonywane są również rozróżnienia w zależności od liczby przerw w połączeniach torów występujących na rozpatrywanym szlaku:

- szyny bez złączeń (całkowicie zespawane tory) z / bez zwrotnic lub przejazdów nie mających złączeń (kod indeksu $m = 1$),
- szyny ze złączeniami (= tory ze złączeniami) lub izolowana zwrotnica ($m = 2$),
- zwrotnice i przejazdy ze złączeniami ($m = 3$),
- więcej niż 2 zwrotnice na 100 m ($m = 4$).

2.4.3. Stosowane wskaźniki

Dla wyliczenia wartości poziomu emisji dla pasma oktawowego niezbędne są następujące wskaźniki:

Q_c	oznacza liczbę nie hamujących pociągów w rozpatrywanej kategorii pojazdów szynowych [h^{-1}],
$Q_{r,c}$	oznacza liczbę hamujących pociągów w rozpatrywanej kategorii pojazdów szynowych [h^{-1}],
v_c	oznacza prędkość nie hamujących pojazdów szynowych [kmh^{-1}],
$v_{r,c}$	oznacza prędkość hamujących pojazdów szynowych [kmh^{-1}],
bb	typ torów / kondycja torów [-],
m	szacunkowe występowanie przerw w połączeniach szyn [-],
n	liczba punktów lub stacji węzłowych na rozpatrywanym szlaku emisji [-],
a	długość omawianego szlaku emisji równa przynajmniej długości punktu lub stacji kolejowej [m].

Przez „pociąg hamujący” należy rozumieć pociąg, w którym układ hamulcowy został uruchomiony.



2.5. METODA OBLICZEŃ

Obliczenia przebiegają w następujący sposób⁷:

$$L_{E,i}^{bs} = 10 \lg \left(\sum_{c=1}^8 10^{E_{bs,nr,j,c}/10} + \sum_{c=1}^8 10^{E_{bs,r,j,c}/10} \right) \quad (2.3)$$

W modelu obliczeniowym dla kategorii 9. nie występuje wartość $L_{E,i}^{bs}$:

$$L_{E,i}^{as} = 10 \lg \left(\sum_{c=1}^9 10^{E_{as,r,j,c}/10} + \sum_{c=1}^9 10^{E_{as,nr,j,c}/10} + \sum_{c=1}^9 10^{E_{hamulki,j,c}/10} + 10^{E_{whk,j}/10} + 10^{E_{duski,j}/10} \right) \quad (2.4)$$

$$L_{E,i}^{2m} = 10 \lg \left(10^{E_{2m,j,c}/10} \right) \quad (2.5)$$

$$L_{E,i}^{4m} = 10 \lg \left(10^{E_{4m,j,c}/10} \right) \quad (2.6)$$

$$L_{E,i}^{5m} = 10 \lg \left(10^{E_{5m,j,c}/10} \right) \quad (2.7)$$

Poniższe wzory stosuje się dla kategorii 1.,2.,3.,6.,7. i 8.:

$$E_{bs,nr,j,c} = E_{nr,j,c} - 1$$

$$E_{bs,r,j,c} = E_{r,j,c} - 1$$

$$E_{as,nr,j,c} = E_{nr,j,c} - 7$$

$$E_{as,r,j,c} = E_{r,j,c} - 7$$

Poniższe wzory stosuje się dla kategorii 4. i 5.:

⁷ Równania zostały zmodyfikowane w celu poprawienia błędów występujących w metodzie RMR 1996 i zmiany te są podobne do korekt wprowadzonych do metody RMR 2002.



$$E_{bs,nr,i,c} = E_{nr,i,c} - 3$$

$$E_{bs,r,i,c} = E_{r,c} - 3$$

$$E_{as,nr,i,c} = E_{nr,i,c} - 3$$

$$E_{as,r,i,c} = E_{r,i,c} - 3$$

Poniższe wzory stosuje się dla kategorii 9.:

$$E_{as,nr,i,c} = E_{nr,i,9-as}$$

$$E_{as,r,i,c} = E_{r,i,9-as}$$

$$E_{2m,i,c} = E_{i,9-2m}$$

$$E_{4m,i,c} = E_{i,9-4m}$$

$$E_{5m,i,c} = E_{i,9-5m}$$

oraz:

$$E_{nr,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_c + 10 \lg Q_c + C_{bb,i,m} \quad (2.8)$$

$$E_{r,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_{r,c} + 10 \lg Q_{r,c} + C_{bb,i,m} \quad (2.9)$$

$$E_{hamulec,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_{r,c} + 10 \lg Q_{r,c} + C_{hamulec,i,c} \quad (2.10)$$

dla $c = 5$



$$E_{diesel,i} = 10 \lg \left(\frac{10^{(a_{diesel,i} + b_{diesel,i} \lg v_s + 10 \lg Q_s)/10}}{+ 10^{(a_{diesel,i} + b_{diesel,i} \lg v_{r,s} + 10 \lg Q_{r,s})/10}} \right) \quad (2.11)$$

dla $c = 3$ oraz $c = 6$

$$E_{silnik,i} = 10 \lg \left(\frac{10^{(a_{silnik,i} + b_{silnik,i} \lg v_c + 10 \lg Q_c)/10}}{+ 10^{(a_{silnik,i} + b_{silnik,i} \lg v_{r,c} + 10 \lg Q_{r,c})/10}} \right) \quad (2.12)$$

dla $c = 9$

$$E_{9-2m,i} = 10 \lg \left(\frac{10^{(a_{9-2m,i} + b_{9-2m,i} \lg v_9 + 10 \lg Q_9)/10}}{+ 10^{(a_{9-2m,i} + b_{9-2m,i} \lg v_{r,9} + 10 \lg Q_{r,9})/10}} \right) \quad (2.13)$$

$$E_{9-4m,i} = 10 \lg \left(\frac{10^{(a_{9-4m,i} + b_{9-4m,i} \lg v_9 + 10 \lg Q_9)/10}}{+ 10^{(a_{9-4m,i} + b_{9-4m,i} \lg v_{r,9} + 10 \lg Q_{r,9})/10}} \right) \quad (2.14)$$

$$E_{9-5m,i} = 10 \lg \left(\frac{10^{(a_{9-5m,i} + b_{9-5m,i} \lg v_9 + 10 \lg Q_9)/10}}{+ 10^{(a_{9-5m,i} + b_{9-5m,i} \lg v_{r,9} + 10 \lg Q_{r,9})/10}} \right) \quad (2.15)$$

Wartości kodów indeksów dla poziomu emisji można zaczerpnąć z tabel 5. oraz 6.

tabela 5. Kody indeksu poziomu emisji a_c oraz b_c jako funkcje kategorii pojazdów szynowych $c = 1$ do 8 oraz pasma oktawowego (i)

Kategoria	Kod indeksu	Pasma oktawowe z centrum częstotliwości [Hz]							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
1	a	20	55	86	86	46	33	40	29
	b	19	8	0	3	26	32	25	24
2	a	51	76	91	84	46	15	24	36
	b	5	0	0	7	26	41	33	20
3	a, v < 60	54	50	66	86	68	68	45	39
	v ≥ 60	36	15	66	68	51	51	27	21
	b, v < 60	0	10	10	0	10	10	20	20

	$v \geq 60$	10	30	10	10	20	20	30	30
3 silnik	$a, v < 60$	72	88	85	51	62	54	25	15
	$v \geq 60$	72	35	50	68	9	71	7	-3
	$b, v < 60$	-10	-10	0	20	10	20	30	30
	$v \geq 60$	-10	20	20	10	40	10	40	40
4	a	30	74	91	72	49	36	52	52
	b	15	0	0	12	25	31	20	13
5	$a, v < 60$	41	90	89	76	59	58	51	40
	$v \geq 60$	41	72	89	94	76	58	51	40
	$b, v < 60$	10	-10	0	10	20	20	20	20
	$v \geq 60$	10	0	0	0	10	20	20	20
5 diesel	a	88	95	107	113	109	104	98	91
	b	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
6	$a, v < 60$	54	50	66	86	68	68	45	39
	$v \geq 60$	36	15	66	68	51	51	27	21
	$b, v < 60$	0	10	10	0	10	10	20	20
	$v \geq 60$	10	30	10	10	20	20	30	30
6 silnik	$a, v < 60$	72	88	85	51	62	54	25	15
	$v \geq 60$	72	35	50	68	9	71	7	-3
	$b, v < 60$	-10	-10	0	20	10	20	30	30
	$v \geq 60$	-10	20	20	10	40	10	40	40
7	a	56	62	53	57	37	36	41	38
	b	2	7	18	18	31	30	25	23
8	a	31	62	87	81	55	35	39	35
	b	15	5	0	6	19	28	23	19

tabela 6. Kody indeksu emisji a_c oraz b_c dla lokomotyw oraz wagonów ciągniętych / pchanych, dla pojazdów szynowych kategorii $c = 9$ dla źródła dźwięku oraz pasma oktawowego (i)

Kategoria	Kod indeksu	Pasma oktawowe z częstotliwością środkową [Hz]							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Lokomotywa									
9-as	a	7	14	57	52	57	66	47	71
	b	27	28	12	18	18	15	21	5
9-2m	a	9	10	1	41	8	17	0	23



	b	26	28	36	22	37	34	39	24
9 – 4m	a	5	11	13	56	- 27	- 19	- 37	- 12
	b	27	28	31	15	50	47	53	36
9 – 5m	a	11	18	28	28	- 50	- 41	- 84	- 34
	b	25	26	25	25	59	56	73	45
Jednostki ciągnięte / pchane									
9 – as	a	3	10	57	50	53	62	43	67
	b	27	28	12	18	18	15	21	5
9 – 2m	a	3	10	57	46	47	55	37	61
	b	27	28	12	18	18	15	21	5
9 – 4m	a	1	8	54	40	40	49	30	54
	b	27	28	12	18	18	15	21	5
9 – 5m	a	3	10	54	0	0	0	0	0
	b	27	28	12	0	0	0	0	0

Uwaga: W skład pojedynczego pociągu typu Thalys / HST wchodzi dwa silniki oraz 8 ciągniętych / pchanych jednostek. Dodatkowe informacje zawarto w rozdziale 8.

Parametr $C_{hamulec,i,c}$ wyznacza się zgodnie z tabelą 7.:

tabela 7. Współczynnik korekcji $C_{hamulec, i,c}$ dla hałasu hamulców jako funkcja kategorii pojazdu szynowego oraz pasma oktawowego (i)

Pasma oktawowe	$C_{hamulec,i,c}$			
	$c = 1, 4, 5$	$c = 2$	$c = 7$	$c = 3, 6, 8, 9$
1	- 20	- 20	- 8	- 20
2	- 20	- 20	- 7	- 20
3	- 20	- 20	- 20	- 20
4	- 2	0	- 20	- 20
5	2	1	- 20	- 20
6	3	2	- 20	- 20
7	8	5	- 20	- 20
8	9	5	- 5	- 20

Współczynnik korekcji dla typu torów $C_{bb,i,m}$ został podany w tabeli 9., ale efekt nierówności torów został włączony do tego współczynnika jako funkcja przerw występujących w połączeniach szyn (m).



Dla $m = 1$, oznacza, że $C_{bb,m,i}$ będzie obliczane dla różnych kategorii pociągów jako:

$$C_{bb,i,m} = C_{bb,i} \quad (2.16)$$

Dla $m = 2, 3$ lub 4 :

$$C_{bb,i,m} = C_{3,i} + 10 \lg(1 + f_m A_i) \quad (2.17)$$

gdzie: $C_{bb,i}$ korekcja torów przedstawiona w tabeli 9.

f_m współczynnik z tabeli 8.

A_i współczynnik z tabeli 10.

Współczynnik f_m może przyjmować następujące wartości, gdy m nie jest równe 1:

tabela 8.

Opis	Typ m	f_m
Tory ze złączeniami	2	1/30
1 izolowana zwrotnica	2	1/30
2 zwrotnice na 100 m	3	6/100
Więcej niż 2 zwrotnice na 100 m (lokomotywnia)	4	8/100

tabela 9. Współczynnik korekcji $C_{bb,i}$ jako funkcja elementów konstrukcji / typu toru (bb) oraz pasma oktawowego

Pasma oktawowo	$C_{bb,i}$							
	bb = 1	bb = 2	bb = 3	bb = 4	bb = 5	bb = 6	bb = 7	bb = 8
1	0	1	1	6	6	-	6	5
2	0	1	3	8	8	-	1	4
3	0	1	3	7	8	-	0	3
4	0	5	7	10	9	-	0	6
5	0	2	4	8	2	-	0	2
6	0	1	2	5	1	-	0	1
7	0	1	3	4	1	-	0	0
8	0	1	4	0	1	-	0	0



Wartości parametru A_i można zaczerpnąć z tabeli 10.:

tabela 10. Indeks kodu dla poziomu emisji hałasu w przypadku występowania wpływu A_i jako funkcja pasma oktawowego (i)

Pasma oktawowe	A_i
1	3
2	40
3	20
4	3
5, 6, 7, 8	0

2.6. POZIOM EMISJI W PRZYPADKU TORÓW POŁOŻONYCH NA MOSTACH O KONSTRUKCJI BETONOWEJ I STALOWEJ

2.6.1. Konstrukcje betonowe

Dla konstrukcji betonowych i stosowanych typów torów poziom emisji zarówno hałasu toczącego się pociągu, jak i z samej konstrukcji jest przedstawiony w tabeli ze współczynnikiem korekcji torów (tabela 6 oraz 9.). Z tego też powodu, przy niskich częstotliwościach, skuteczność ekranów montowanych na konstrukcjach jest przeceniana. W konsekwencji model obliczeń jest odpowiedni tylko w przypadku ekranów o maksymalnej wysokości 2 m powyżej główki szyny. Dla wyższych ekranów konieczna jest bardziej precyzyjna analiza akustyczna.

Współczynnik korekcji dla różnych typów torów usytuowanych na różnych typach konstrukcji betonowych można zaczerpnąć z tabeli 11.

tabela 11. Współczynnik korekcji dla różnych typów torów na konstrukcji betonowej. Kody indeksów podane w tej tabeli odsyłają do kodów przedstawionych w tabeli 9

Typ konstrukcji	Typ torów kolejowych	Kod indeksu b (SRM 1)
Mosty typu TT oraz U	zmiennie wyposażenia	4
Mosty belkowe i płytowe	rozjazdy na podsypce (drewniane lub betonowe)	1 lub 2
	zmiennie wyposażenia	4
	zmiennie wyposażenia na podsypce	7
Mosty z pomostem stalowym	przytwierdzenie blokowe	4
	przytwierdzenie blokowe na podsypce	5
	szyny wpuszczone w pomost	8



2.6.2. Konstrukcje stalowe

Dla konstrukcji stalowych oraz typów konstrukcji zamontowanych torów, zmiana poziomu emisji jest zawarta w analogicznym współczynniku korekcji dla torów jako wynik emisji hałasu toczącego się pociągu (tabele 6 oraz 9). Składowa poziom emisji dźwięku z samej konstrukcji jest zawarta w końcowym poziomie emisji przez dodanie poprawki $\Delta L_{E,most}$ (zmiana emisji dla mostów).

W rezultacie, skuteczność ekranów montowanych na konstrukcjach jest przeceniana. W rzeczywistości bowiem, jeśli bierze się pod uwagę obliczenia dla konstrukcji stalowych, jest ona wątpliwa.

W przypadku mostów wyposażonych w ekrany, dodatkowy współczynnik zmiany poziomu emisji musi zostać określony przez pomiary.

2.6.3. Prędkości maksymalne

W rozdziale tym poziom emisji dla danych prędkości pociągów może być wyznaczony przy pomocy maksymalnej prędkości dla danej kategorii, jak przedstawiono w tabeli 12.

tabela 12. Maksymalna obliczeniowa prędkość dla danej kategorii pociągu

Kategoria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Maksymalna obliczeniowa prędkość [km/h]	140	160	140	100	140	120	100	160	300	330

Dla pociągów nie wymienionych w bazie danych, przyjmuje się maksymalną prędkość podaną przez producenta.

2.7. ELEMENTY STANDARDOWEJ METODY OBLICZENIOWEJ

2.7.1. Definicje używanych terminów

Punkt odbioru

Punkt odbioru to punkt, w którym powinien być określany równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} w dB. Podczas określania zanieczyszczenia hałasem na szczytowej frontowej ścianie, punkt odbioru powinien znajdować się przy branej pod uwagę ścianie.

Źródło liniowe

Źródło zastępcze znajdujące się 0,25 m powyżej środka toru, które przedstawia usytuowanie toru kolejowego.

Linia ograniczająca

Linia, która wskazuje granice sektora emisji dla punktu odbioru (rysunek 2 - symbol I).

Wysokość główki szyny

Wysokość główki szyny w odniesieniu do powierzchni odniesienia (symbol h_{bs}).

Wysokość punktu odbioru

Wysokość punktu odbioru w odniesieniu do lokalnego poziomego gruntu (symbol h_w).

Odległość od źródła liniowego

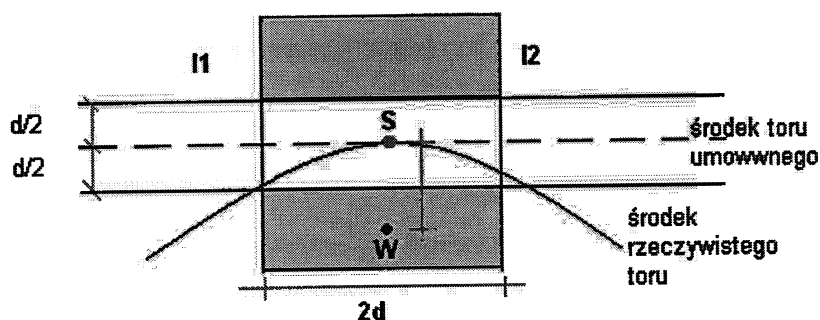
Najkrótsza odległość pomiędzy punktem odbioru a źródłem liniowym (symbol r).

Odległość od źródła liniowego w poziomie

Najkrótsza odległość w poziomie pomiędzy punktem odbioru a źródłem liniowym (symbol d).

2.7.2. Geometryczne odwzorowanie sytuacji

Linia łącząca biegnie od punktu odbioru W do środka toru (długość WS = d). W odległości $2d$ od W i równoległe do WS znajdują się linie ograniczające I₁ oraz I₂. Linia przebiegająca przez S i prostopadła do WS przedstawia środek umownego toru kolejowego (model toru rzeczywistego).



rys. nr 2. Rzut poziomy rozpatrywanego obszaru wykonany dla sprawdzenie warunków stosowalności

2.7.3. Obszar zastosowania metody

Metoda obliczeniowa z użyciem charakterystyki częstotliwościowej A jest oparta na uproszczonej sytuacji, w której możliwe jest zastosowanie – w odniesieniu do obszaru zastosowania metody – następujących warunków dla rozważanego obszaru ograniczanego przez linie I_1 oraz I_2 :

- środek toru rzeczywistego nie może przekraczać zaciemnionego obszaru na rysunku 2.,
- widok ze strony punktu odbioru nie może być ograniczony o więcej niż 30° ,
- jeżeli linia kolejowa składa się z więcej niż jednego odcinka, wtedy wartości poziomu emisji dla tych odcinków nie mogą różnić się o więcej niż 10 dB,
- odległość d od punktu odbioru do środka linii kolejowej musi stanowić co najmniej 1,5 – krotność odległości pomiędzy zewnętrznymi torami linii kolejowej,
- na rozważanym obszarze nie powinny występować żadne konstrukcje na linii kolejowej oraz nie powinny występować różnice w wysokości większe niż 3 m w stosunku średniej wysokości.

Obiekty ekranujące oraz budynki pomiędzy linią kolejową a punktem odbioru nie są brane pod uwagę.

2.7.4. Model obliczeniowy propagacji dźwięku

Równoważny poziom dźwięku A L_{Aeq} w dB dla hałasu kolejowego oblicza się z zależności:

$$L_{Aeq} = E_s + C_{odbcie} - D_{odległość} - D_{powietrze} - D_{gleba} - D_{meteo} \quad (2.18)$$

gdzie:

C_{odbcie}	wartość korekcji dla możliwych odbić pochodzących od budynków lub innych powierzchni pionowych,
$D_{odległość}$	wielkość tłumienia spowodowana rozbieżnością geometryczną,
$D_{powietrze}$	wielkość tłumienia spowodowana absorpcją atmosferyczną,
D_{gleba}	wielkość tłumienia wynikająca z wpływu powierzchni ziemi,
D_{meteo}	wartość korekcji meteorologicznej,
E_s	złożona wartość poziomu emisji obliczana z:

$$E_s = 10 \lg \frac{1}{127} \sum_{i=1}^n \Phi_i 10^{E_i/10} \quad (2.19)$$

gdzie:

E_i	wartość poziomu emisji dla odcinka i taka, jak to określono w poprzednich rozdziałach.
Φ_i	kąt, pod którym odcinek jest widziany z punktu odbioru,



n liczba odcinków na badanym obszarze.

2.7.5. Modelowanie różnych sytuacji praktycznych

Źródło liniowe

W modelowaniu danych geometrycznych punktem odniesienia dla obliczeń w płaszczyźnie pionowej jest główka szyny (BS), a dla obliczeń w płaszczyźnie poziomej – środek toru.

Odbicia

Przy korzystaniu z wartości odbicia dla powierzchni usytuowanych naprzeciwko punktu odbioru, muszą być spełnione następujące warunki:

- powierzchnie muszą odbijać dźwięk,
- powierzchnie muszą być usytuowane pionowo i równoległe do torów,
- powierzchnie muszą być wyższe niż wysokość punktu odbioru (h_w),
- odległość mierzona w poziomie (d_r) od źródła liniowego musi być mniejsza niż 100 m oraz musi być mniejsza niż mierzona w poziomie czterokrotna odległość (d_w) pomiędzy punktem odbioru a źródłem liniowym.

Punkty odbioru

Punkty odbioru dla budynków muszą znajdować się na wysokości powyżej 5 m nad poziomem gruntu. Dla budynków mieszkalnych o trzech lub większej liczbie pięter, punkt ten wyznacza się u góry poziomu piętra (1m poniżej kalenicy). W celu wyznaczenia hałasu środowiskowego, położenie punktu odbioru wyznacza się 1,5, m nad lokalnym poziomem gruntu.

2.7.6. Współczynnik odbicia

Współczynnik odbicia C_{odbicie} wylicza się z:

$$C_{\text{odbicie}} = f_{\text{obj}} \quad (2.20)$$

gdzie:

f_{obj} oznacza część obiektu, który jest w odległości do $4(d_r + d_w)$, równoległy do torów i symetryczny do punktu odbioru. Jest całkowitą długością mierzoną po jednej stronie torów, ponad którymi rozciągają się powierzchnie odbijające dźwięk w relacji do odległości $4(d_r + d_w)$,

d_r mierzona w poziomie odległość pomiędzy obiektem odbijającym a źródłem liniowym,

d_w mierzona w poziomie odległość pomiędzy punktem odbioru a źródłem liniowym.



2.7.7. Rozbieżność geometryczna

Tłumienie $D_{odległość}$ oblicza się ze wzoru:

$$D_{odległość} = 10lgr \quad (2.21)$$

gdzie: r – najkrótsza odległość pomiędzy punktem odbioru a źródłem liniowym.

2.7.8. Absorpcja atmosferyczna

Tłumienie $D_{powietrze}$ oblicza się ze wzoru:

$$D_{powietrze} = 0,016r^{0,9} \quad (2.22)$$

gdzie: r – najkrótsza odległość pomiędzy punktem odbioru a źródłem liniowym.

2.7.9. Wpływ powierzchni ziemi

Tłumienie D_{grunt} oblicza się ze wzoru:

$$D_{grunt} = 3B^{0,5} \left(1 - e^{-0,0,3r} \right) \left(1,25e^{-0,75(0,6h_r+0,5)} + e^{-0,9h_r} \right) + 1,6B - 1,8 - 3(1-B) \left(1 - e^{\frac{-0,0,1r}{h_r+h_r+0,4}} \right) \quad (2.23)$$

gdzie: B – współczynnik dla gruntu: część gruntu pomiędzy punktem odbioru a źródłem, która nie jest utwardzona.

Współczynnik dla gruntu B jest częścią rzutu poziomego linii łączącej punkt odbioru oraz środek toru, która przebiega ponad nieutwardzonym gruntem. Grunt nieutwardzony to: podsypka, trawa, grunty orne z lub bez upraw, połacie piasku oraz gleba bez roślinności.

2.7.10. Współczynnik korekcji meteorologicznej

Współczynnik korekcji meteorologicznej D_{meteo} oblicza się ze wzoru:

$$D_{meteo} = 3,5 \left(1 - e^{-0,0,4 \frac{r}{h_w+0,6h_w+0,5}} \right) \quad (2.24)$$

Jeżeli wynik otrzymany przy pomocy tego wzoru jest wartością ujemną, przyjmuje się D_{meteo} równe 0.



2.8. OBLICZANIE PROPAGACJI HAŁASU W PASMACH OKTAWOWYCH (METODA SRM II)

2.8.1. Definicje używanych terminów

Punkt odbioru

Jest to punkt, w którym powinien być określany równoważny poziom dźwięku. Podczas wyznaczania zanieczyszczenia hałasem na fasadzie budynku, punkt odbioru znajduje się na powierzchni fasady.

Sektor

Sektor – obszar ograniczony przez dwie pionowe powierzchnie, których granice są zgodne z liniami prostopadłymi przechodzącymi przez punkt odbioru.

Powierzchnia sektora

Powierzchnia pomiędzy dwoma ograniczającymi powierzchniami sektora.

Kąt otwarcia sektora

Kąt pomiędzy dwoma powierzchniami ograniczającymi a obszarem poziomym. Maksymalny kąt otwarty sektora wynosi 5°.

Całkowity kąt otwarcia sektora

Suma poszczególnych kątów otwarcia ze wszystkich sektorów, które mają jakiegokolwiek znaczenie przy wyznaczaniu równoważnego poziomu dźwięku A w dB.

Kąt obserwacji

Kąt o wierzchołku w punkcie odbioru, w którym obiekt jest widziany w rzucie poziomym.

Źródło liniowe

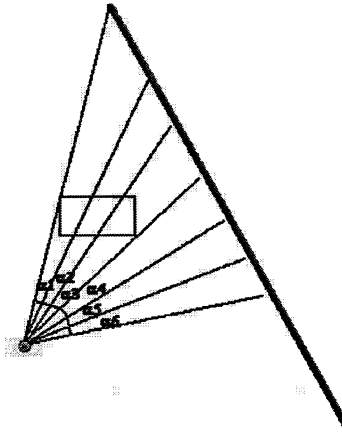
Linia powyżej środka toru przebiegająca na określonym poziomie powyżej główki torów (BS), która przedstawia lokalizację źródła emisji hałasów. W zależności od typu pojazdu można wyróżnić dwa do czterech linearnych źródeł hałasów.

Segment źródła liniowego

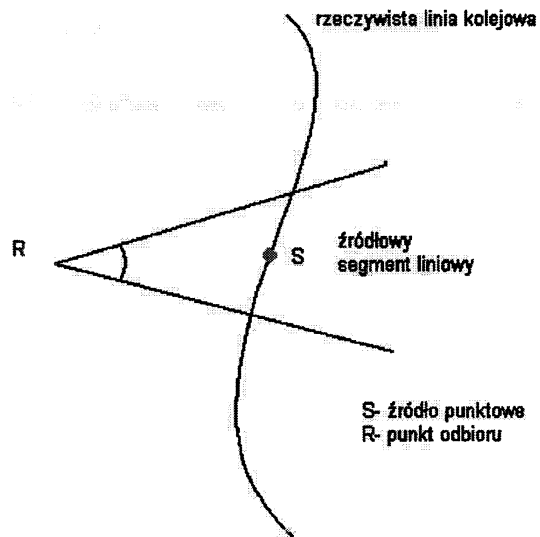
Linia prosta pomiędzy punktami przecięcia się źródła liniowego z przestrzeniami ograniczającymi sektor.

Źródło punktowe

Punkt przecięcia płaszczyzny sektora z segmentem źródła liniowego.



rys. nr 3



rys. nr 4



2.8.2. Wzór podstawowy do wyznaczenia równoważnego poziomu dźwięku A, L_{Aeq}

Równoważny poziom dźwięku A L_{Aeq} w dB oblicza się w następujący sposób:

$$L_{Aeq} = 10 \lg \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N 10^{\Delta L_{eq,i,j,n}} 10 \quad (2.25)$$

gdzie:

$\Delta L_{eq,i,j,n}$ równoważny poziom dla odpowiedniego pasma oktawowego (kod indeksu i), sektora (kod indeksu j) oraz źródła punktowego (kod indeksu n).

$\Delta L_{eq,i,j,n}$ zawiera następujące wartości:

$$\Delta L_{eq,i,j,n} = L_E + \Delta L_{GU} - \Delta L_{OD} - \Delta L_{SW} - \Delta L_R - 58,6 \quad (2.26)$$

gdzie:

L_E wartość poziomu emisji dla wysokości źródła oraz pasma oktawowego zgodnie z rozdziałem 3.4.,

ΔL_{GU} tłumienie spowodowane rozbieżnością geometryczną (rozdział 5.4.),

ΔL_{OD} tłumienie spowodowane propagacją w przestrzeni (rozdział 5.5.),

ΔL_{SW} ekranowania – jeżeli występuje (rozdział 5.6.)

ΔL_R tłumienie przez odbicia – jeżeli występuje (rozdział 5.7.).

2.8.3. Sumowanie

W operacji sumowania korzysta się z pasm oktawowych z nominalnymi częstotliwościami środkowymi 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 oraz 8000 Hz. Klasyfikacja sektorów musi być przeprowadzana w taki sposób, aby geometria w każdym danym sektorze nadawała się do opisanego w kategoriach geometrii przestrzeni sektora. W celu uzyskania dobrej interpretacji emisji hałasu dopuszcza się tylko jedną drogę propagacji dla sektora. Maksymalny kąt otwarcia sektora jest ustalony na poziomie pięciu stopni. Liczba sektorów J jest zależna od całkowitego kąta otwarcia punktu odbioru oraz od wymaganej klasyfikacji sektora.

Liczba źródeł punktowych N sektora zależy od tego, jak często segment źródła liniowego przecina się z przestrzenią sektora.

2.9. MODELOWANIE SYTUACJI

2.9.1. Źródła liniowe

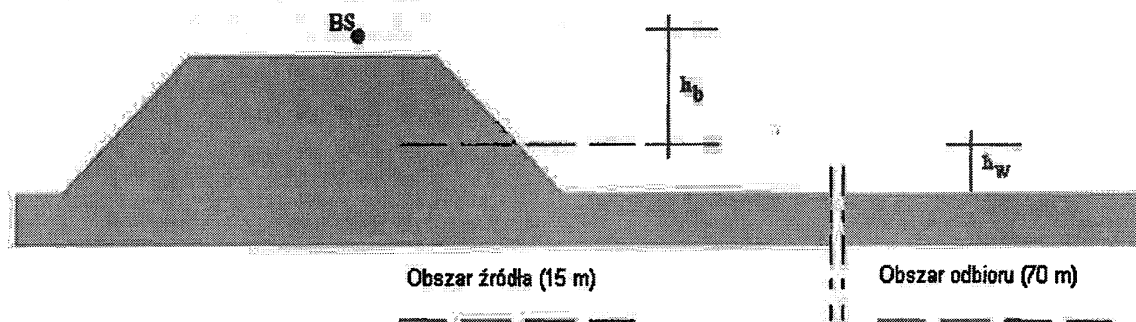
Punktem wyjścia dla modelowania sytuacji geometrycznych są: dla wymiarów pionowych główka pociągu (BS), zaś dla wymiarów poziomych środek toru. Linie, które przecinają środek toru na różnych poziomach w stosunku do BS są przedstawiane w modelu jako źródła liniowe. Dla kategorii 9. istnieją cztery źródła liniowe na poziomie 0,5 m, 2,0 m, 4,0 m oraz 5,0 m nad poziomem BS. Najlepiej jest dokonać podziału toru na sekcje emisji o długościach nie mniejszych niż 100 m. W celu wymodelowania ważnych elementów graficznych zaleca się pracę z mniejszymi długościami, szczególnie jeżeli wspomniana sekcja jest zbyt duża tak, jak to się dzieje w przypadku zakrętów, ekranów oraz w tym podobnych sytuacjach.

2.9.2. Rodzaje budowy podłoża

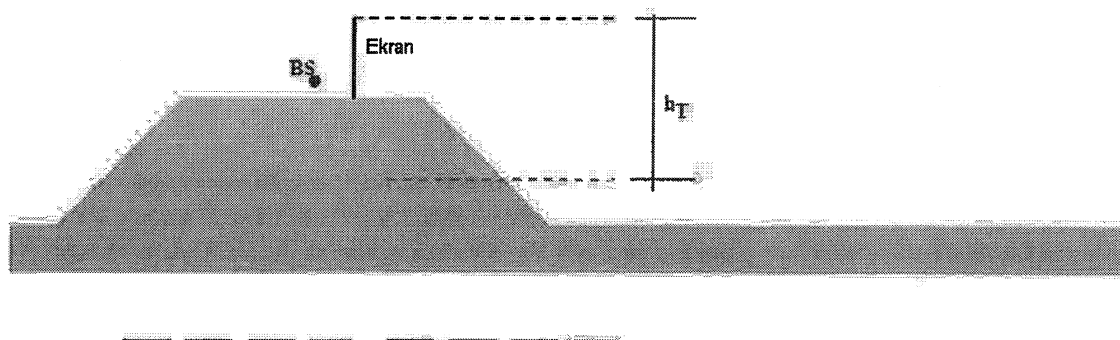
Z akustycznego punktu widzenia wyróżnia się dwa rodzaje budowy podłoża: twardy oraz nie-twardy. Termin „akustycznie twardy” odnosi się do podsyпки, trawników, gruntów rolnych z lub bez upraw, połaci piasku, gleby bez roślinności.

2.9.3. Różnice w wysokości gruntu

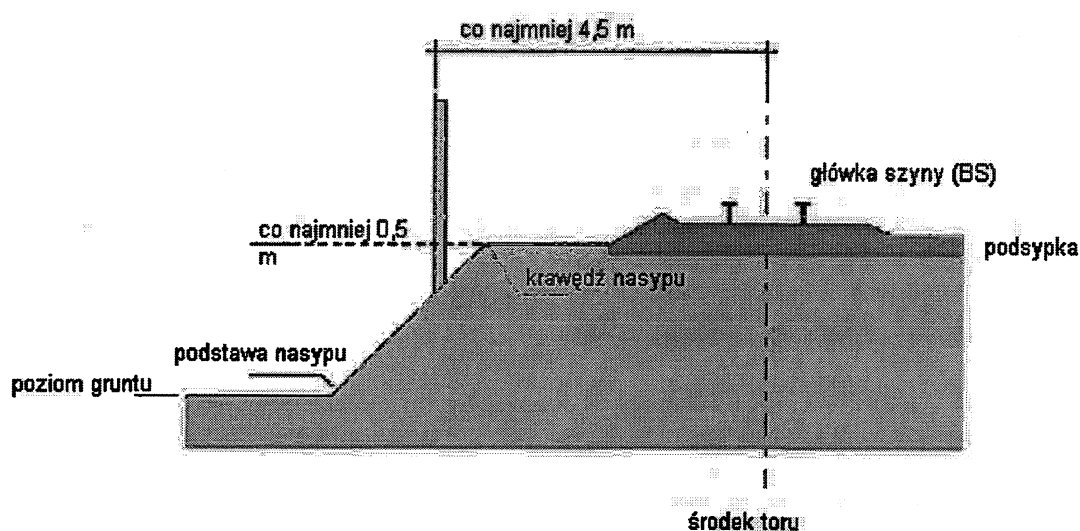
Wysokość źródła, ekranu oraz punktu odbioru są wyznaczane w relacji do średniej wysokości branego pod uwagę terenu. Tą średnią wysokość wyznacza się przez profil w wybranym sektorze jako średnią ponad daną odległością poziomą. Średni poziom gruntu w obszarze źródła może być zatem stosowany dla źródła i średnia wysokość gruntu w promieniu 5 m od równoważnego ekranu może być stosowana wobec ekranu (rysunki 5 oraz 6).



rys. nr . 5 Wysokość w stosunku do średniego poziomu gruntu. Z powodu położenia torów na podwyższeniu, średni poziom gruntu znajduje się w obszarze źródła nieco powyżej górnej krawędzi gruntu w pobliżu nasypu.



rys. nr 6 Ekran ustawiony na nasypie. Średni poziom gruntu po lewej stronie znajduje się nieco poniżej górnej krawędzi, zaś z prawej nieco powyżej, blisko nasypu. Sytuacja po stronie prawej jest charakteryzowana przez współczynnik h_T .

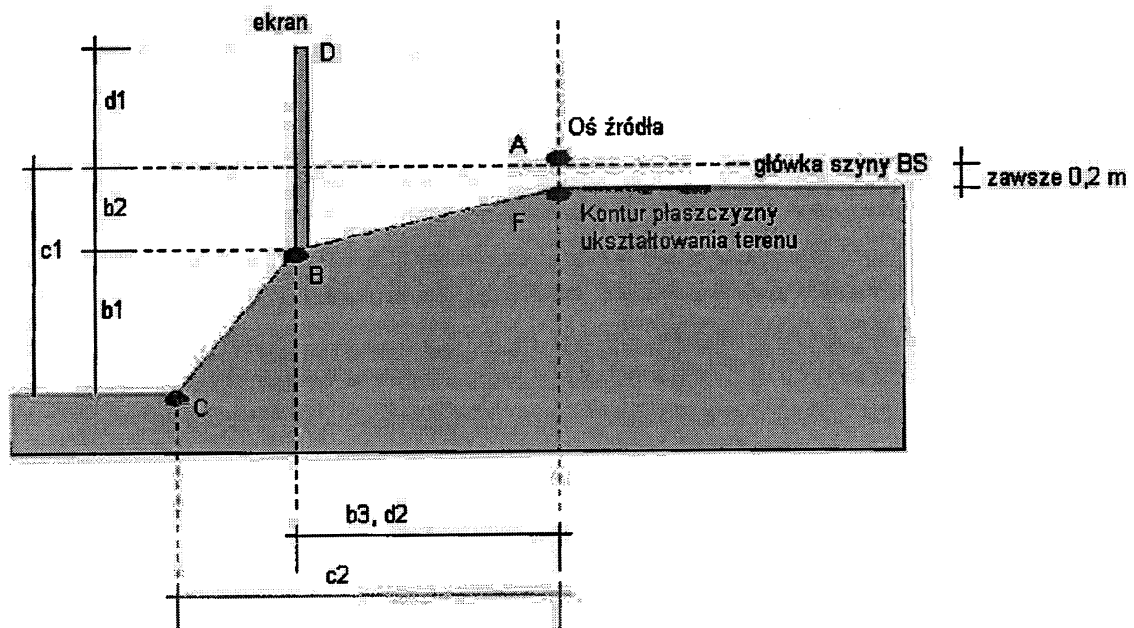


rys. nr 7 Przekrój standardowego nasypu

Rysunek 7 przedstawia przekrój rzeczywistego nasypu kolejowego. Rysunek 5.4. przedstawia odpowiedni model. W czasie tworzenia modelu należy stosować się do następujących reguł:

- w centrum modelu jest pas ruchu; pas ten modeluje się dokładnie pomiędzy szynami dla każdego toru (odległość pomiędzy obiema szynami wynosi 1,42 m).
- każdy pas (A) modeluje się na wysokości rzeczywistego BS oraz dokładnie w centrum toru (pomiędzy szynami).
- poziomiec oraz barierę ograniczającą $C_p = 2$ d (F) modeluje się na wysokości 0,2 m poniżej każdego toru (podsyпка tłumiąca znajduje się 0,2 m poniżej BS).

- nasyp (EE) modeluje się jako poziomice równoległą do bariery ograniczającej (B) na wysokości rzeczywistej w stosunku do BS (b_1) i do górnej krawędzi gruntu (b_2) oraz w odległości 4,5 m od następnego pasa. Jeżeli rzeczywista odległość pomiędzy środkiem toru a nasypem odbiega od wspomnianej powyżej odległości 4,5 m o więcej niż 1 m, wtedy rzeczywista odległość brana pod uwagę jest modelowana jako b_3 (w większości przypadków różnica wynosi poniżej 1 m, a wtedy nasyp jest umieszczony 0,5 m poniżej BS).
- ekran umieszczony na krawędzi nasypu modeluje się jako barierę (D) z jego rzeczywistą wysokością powyżej BS (d_1) oraz w jego rzeczywistej odległości od centrum toru (d_2); w większości przypadków ekrany znajdują się 4,5 m od środka toru.
- podstawę nasypu (c) modeluje się jako warstwicę na wysokości rzeczywistej górnej krawędzi gruntu powyżej BS (c_1) i w rzeczywistej odległości od środka torów (c_2).
- dla określenia stopnia nachylenia nasypu używa się proporcji 1 : 1,5. Krawędź gruntu odpowiada linii, przy której płaska część nasypu zaczyna się obniżać. Zgodnie z definicją znajduje się ona 4,5 m od najbliższego źródła liniowego.
- krawędź gruntu jest ograniczona przez barierę dźwiękochłonną ($C_p = 2$ dB).
- w przypadkach, w których jest podsypka, cała pozioma powierzchnia gruntu ma charakter tłumiący o tyle, o ile rzeczywiste sekcje twarde w rozpatrywanym obszarze nie są szersze niż 1 m.



rys. nr 8 Model przekroju przez standardowy nasyp

W przypadku gdy rzeczywiste poziome wymiary nasypu (różne szerokości nasypu, różne stopnie nachylenia) odbiegają od wymiarów standardowego nasypu o więcej niż 0,5 m, należy używać rzeczywistych wymiarów.



2.9.4. Płyty ekranujące

Wysokość ścian płyt ekranujących, lokalna wysokość górnej krawędzi gruntu oraz odległość modeluje się analogicznie do wartości rzeczywistych. Podłoże barier ekranujących modeluje się 0,2 m poniżej BS. Ściany modeluje się jako bariery pochłaniające ($C_p = 0$ dB). Współczynnik korekcji dla konstrukcji powyżej tunelu zależy od samej rozpatrywanej konstrukcji.

W przypadku płyt ekranujących z okładziną tłumiącą (patrz rozdział 2.9.8.) źródła liniowe znajdują się na określonej wysokości powyżej BS.

W przypadku płyt ekranujących bez okładziny tłumiącej źródła liniowe, usytuowane poniżej górnego poziomu ekranu, modelowane są na wysokości krawędzi lub na wysokości dachu pociągu. W rezultacie maksymalna wysokość wynosi 4,0 m.

Żadne źródła liniowe nie są modelowane dla rzeczywistej sekcji tunelu.

2.9.5. Ekran i obiekty ekranujące

Aby dany obiekt można było zaliczyć do obiektów ekranujących, musi on:

- mieć izolacyjność akustyczną o co najmniej 10 dB większą niż wynosi jego skuteczność, czyli – innymi słowy – jego masa musi wynosić co najmniej 40 kg/m^2 oraz nie może mieć rozpoznawalnych kolumn czy też otworów;
- mieć kąt obserwacji odpowiadający przynajmniej kątowi otwarcia branego pod uwagę sektora;

Ekran znajdujący się blisko torów powinny pochłaniać hałas (od strony toru) lub powinny pochylać się przynajmniej o 15% (patrz również rozdział 5.3.10.).

Ekran odbijający znajdujący się w pobliżu torów, których stopień nachylenia jest zerowy, mogą być modelowane jako ekrany pochłaniające. Najbardziej wydajną wysokość ekranu ponad BS ($= h_{s,eff}$) oblicza się w następujący sposób:

$$h_{s,eff} = h_s \frac{(1+a)}{2} \quad (2.27)$$

gdzie: a oznacza pochłaniającą część ekranu.

Najniższy półmetrowy odcinek ekranu musi spełniać funkcję pochłaniającą we wszystkich przypadkach.

Ekran akustyczny znajdujący się w pobliżu torów są – jeśli to możliwe – pochłaniające. Rozdział 2.9.8. wyjaśnia, kiedy ekran jest uważany za pochłaniający.



W celu wyliczenia efektywności ekranów akustycznych, które są zamontowane na krawędzi nasypu, w metodach obliczeniowych bierze się pod uwagę 100% ekranów pochłaniających dla wszystkich pasm oktawowych.

W przypadku ekranów pochłaniających modeluje się rzeczywistą wysokość powyżej BS. W przypadku ekranów odbijających hałas lub ekranów częściowo odbijających hałas można dla oceny najbardziej wydajnej wysokości ekranu wykorzystać wspomniany powyżej wzór. Warunki, w których ekran może zostać uznany za pochłaniający, zostały opisane w rozdziale 2.9.8.

Rzeczywista skuteczność ekranowania jest prawdopodobnie niższa w przypadku, gdy brany pod uwagę ekran jest położony bliżej niż 4,5 m od środka toru lub gdy ekran znajduje się wyżej niż 4,0 m ponad BS i więcej niż 4,5 m od toru.

2.9.6. Perony

Wysokość peronu ustala się na poziomie 0,8 m ponad BS. Perony modeluje się dwiema ograniczającymi ekranami pochłaniającymi po każdej stronie peronu położonymi 0,2 m od środka torów. W przypadku bariery znajdującej się w pobliżu torów, należy wziąć pod uwagę grunt pod torem (0,2 m poniżej BS) oraz odpowiednią wysokość górnej krawędzi gruntu. Współczynnik korekcji C_p wyznacza się biorąc pod uwagę obecność lub brak okładziny (patrz również: tabele 5.4. oraz 5.3.10.). Perony otwarte z obu stron (tj. takie, które nie mają bocznych ani zewnętrznych ścian) nie są modelowane jako ekrany. Perony otwarte jedynie na stronę torów można rozpatrywać jako pochłaniające.

2.9.7. Konstrukcje mostów

W przypadku konstrukcji mostów modeluje się rzeczywiste wysokości i odległości. Typ mostu określa się zgodnie z rozdziałem 3.5. Jeżeli konstrukcja nie jest pochłaniająca, cały pomost mostu modeluje się jako twardy. W przypadku torów leżących na podsypce lub torów wpuszczonych w pomost z co najmniej 15 cm podsypki, cały pomost mostu modeluje się jako podłoże pochłaniające pod warunkiem jednak, że szerokość sekcji twardego pomostu nie przekracza 1 m. W tym drugim przypadku brane pod uwagę sekcje modeluje się jako podłoże twarde. Mosty stalowe modeluje się jako podłoże pochłaniające.

Stalowe mosty belkowe, mostów z belki T, modeluje się jako ograniczoną barierę pochłaniającą (patrz: tabela 5.4. oraz rozdział 5.3.10.).

W przypadku mostów o konstrukcjach typu U lub M, brzeg modeluje się dwiema ograniczonymi ekranami pochłaniającymi na obu stronach. Dla bariery w pobliżu toru jako odnośnego poziomu gruntu przyjmuje się grunt pod torami (- 0,2 m BS).

Współczynnik korekcji C_p wyznacza się biorąc pod uwagę obecność lub brak okładziny (patrz: tabela 5.4. oraz §5.3.10.).

W przypadku konstrukcji betonowych ekrany modeluje się do wysokości 2,0 m zgodnie z ustaleniami dotyczącymi barier. Dla wyższych ekranów bezpośrednie odbicie hałasu od konstrukcji może mieć konsekwencje, których nie można obliczyć bez dalszych informacji oraz dokładniejszych pomiarów akustycznych.



W przypadku konstrukcji stalowych z ekranami dźwiękochłonnymi, nie jest możliwe oszacowanie efektu ekranowania. Wobec mostów należy zastosować dodatkowe obliczenia.

2.9.8. Konstrukcje dźwiękochłonne

Okładziny, konstrukcje obiektów ekranujących, peronów oraz ścian tuneli mogą być również uważane za pochłaniające, jeżeli ich specyficzne pochłanianie jest większe lub równe 5 dB. Pochłanianie to zostanie omówione szczegółowo w rozdziale 5.7.

2.9.9. Odbicia

Jeżeli w obrębie sektora znajdują się obiekty spełniające następujące warunki, obliczając L_{Aeq} bierze się pod uwagę również hałas odbity, który dobiega do punktu odbioru.

Wpływ odbić na L_{Aeq} wylicza się w następujący sposób: sektor usytuowany przed powierzchnią odbijającą, oglądany z punktu odniesienia, jest zastępowany poprzez przeniesienie tego punktu na powierzchnię odbijającą.

Aby powierzchnię można było zaliczyć do powierzchni odbijających, musi ona:

- być pionowa,
- mieć kąt obserwacji, który odpowiada kątowi otwarcia odpowiedniego sektora,
- być usytuowana co najmniej 2,0 m ponad powierzchnią podłoża, gdy pod uwagę bierze się cały kąt sektora,
- mieć współczynnik pochłaniania $< 0,8$,
- być na tyle oddalona od torów, aby ekranowanie i odbicie od przejeżdżających pociągów nie musiało być brane pod uwagę,

Wpływ odbić na L_{Aeq} musi zostać zbadany nieco dokładniej, gdy:

- powierzchnie odbijające tworzą z pionem kąt większy niż 5° ,
- powierzchnie odbijające posiadają nieregularności o tej samej wadze, co odległość pomiędzy powierzchnią i punktem odniesienia lub odległość pomiędzy powierzchnią a źródłem punktowym.

W przypadku odbić wielokrotnych, odbicie jest brane pod uwagę wielokrotnie. Wpływ źródeł punktowych nie jest brany pod uwagę w przypadku, gdy hałas dociera do punktu odniesienia po czterech lub większej liczbie odbić. W obszarach wiejskich wystarcza najczęściej jedno odbicie.

2.9.10. Budynki mieszkalne a punkty odbioru

Przeciętna wysokość pojedynczej kondygnacji w budynku mieszkalnym wynosi 3 m. Pochyły dach jest również uważany za kondygnację. Jednakże modelowanie dachu spadzistego jako kondygnacji nie powinno generować nierzeczywistych odbić w kierunku punktu odniesienia.

Punkty odbioru na fasadzie budynku powinny być wybrane na poziomie pierwszego piętra (odpowiada to wysokości 5 m ponad powierzchnią podłoża), a w przypadku budynków mieszkalnych o trzech lub większej liczbie kondygnacji – na szczycie górnej kondygnacji (tj. 1 m



poniżej kalenicy). Punkt odbioru ustalony na poziomie 1,5 m ponad górną krawędzią gruntu może być również wybrany jako miejsce odpowiednie dla oszacowania temperatury oraz oceny skuteczności ekranowania.

Punkty odbioru muszą być modelowane w taki sposób, aby odbicia od fasady przed punktem odbioru nie miały wpływu na poziom ciśnienia akustycznego.

2.10. TŁUMIENIE SPOWODOWANE ROZBIEŻNOŚCI GEOMETRYCZNĄ ΔL_{GU}

2.10.1. Dane

W celu wyliczenia rozbieżności geometrycznej, potrzebne są następujące dane:

- r odległość pomiędzy źródłem a punktem odniesienia mierzona wzdłuż najkrótszej linii łączącej [m],
- ν kąt pomiędzy obszarem sektora a sekcją źródła liniowego [w stopniach],
- Φ kąt otwarcia sektora [w stopniach].

2.10.2. Obliczenia

ΔL_{GU} oblicza się w następujący sposób:

$$\Delta L_{GU} = 10 \lg \frac{\Phi \sin \nu}{r} \quad (2.28)$$

2.10.3. Wnioski

Jeżeli kąt ν przyjmuje wartość mniejszą niż wynosi wartość kąta otwarcia branego pod uwagę sektora, należy przeprowadzić dodatkowe badania w celu określenia ΔL_{GU} .

2.11. TŁUMIENIE SPOWODOWANE PROPAGACJĄ W PRZESTRZENI OTWARTEJ ΔL_{OD}

Na straty na drodze transmisji ΔL_{OD} składają się następujące czynniki:

$$\Delta L_{OD} = D_L + D_B + C_M \quad (2.29)$$

gdzie:

- D_L tłumienie atmosferyczne,
- D_B tłumienie przez grunt,
- C_M współczynnik korekcji meteorologicznej.



2.11.1. Tłumienie atmosferyczne D_L

Podaną wartość $\delta_{\text{powietrze}}$ wyprowadza się z trzeciego pasma częstotliwości wg ISO-DIS 3891 w temperaturze 10° i przy wilgotności wynoszącej 80%. Szczególnie w przypadku pasm o wysokiej częstotliwości zostały dodane pewne kompensacje ze względu na intensywny charakter absorpcji.

2.11.1.1. Dane

W celu obliczenia D_L niezbędne są następujące dane:

r odległość pomiędzy źródłem a punktem odniesienia mierzona wzdłuż najkrótszej linii łączącej [m].

2.11.1.2. Obliczenia

Obliczenia przebiegają następująco:

$$D_L = r\delta_{\text{powietrze}} \quad (2.30)$$

gdzie: $\delta_{\text{powietrze}}$ oznacza współczynnik tłumienia przez powietrze.

Wartości $\delta_{\text{powietrze}}$ można zaczerpnąć z tabeli 5.1.

tabela 13 Współczynnik tłumienia przez powietrze $\delta_{\text{powietrze}}$ jako funkcja pasma oktawowego (i)

Pasma oktawy		$\delta_{\text{powietrze}}$ [dB/m]
Kod indeksu [-]	Średnia częstotliwość [Hz]	
1	63	0
2	125	0
3	250	0,001
4	500	0,002
5	1000	0,004
6	2000	0,010
7	4000	0,023
8	8000	0,058

2.11.2. Tłumienie przez grunt D_B

Podział gruntu na trzy obszary wymagany jest z tego względu, iż w modelu rozprzestrzenia się dźwięku występują również odbicia od gruntu w pobliżu źródła oraz punktu odbioru – jeżeli odległość pomiędzy źródłem a obserwatorem jest wystarczająco duża – również na obszarze pomiędzy dwoma wcześniej wymienionymi (środkowym). Każdy z tych obszarów może mieć inną strukturę, a wtedy potrzebne są trzy różne współczynniki absorpcji.



Termin „akustycznie twardy” (o dużej impedancji) odnosi się do: chodników, asfaltu i innych szczelnych powierzchni, powierzchni wody, itp.

Termin „akustycznie nie-twardy” odnosi się do: powierzchni trawników, gruntów ornych z lub bez upraw, połaci piasku, gleby nie porośniętej żadną roślinnością.

2.11.2.1. Wprowadzenie

Podczas wyznaczania tłumienia przez grunt D_B mierzona w poziomie odległość pomiędzy źródłem a punktem odniesienia (symbol r_o) dzielona jest na trzy obszary: obszar źródła, obszar punktu odbioru oraz obszar pomiędzy dwoma wcześniej wymienionymi (środkowy). Obszar źródła ma długość 15 m, zaś obszar punktu odbioru ma długość 70 m. Pozostały obszar pomiędzy źródłem a punktem odbioru stanowi obszar środkowy.

Jeżeli odległość pomiędzy źródłem a punktem odbioru jest mniejsza niż 85 m, wtedy długość obszaru środkowego jest równa zero.

Jeżeli odległość r_o jest mniejsza niż 70 m, wtedy obszar punktu odbioru jest równy odległości r_o .

Jeżeli odległość r_o jest mniejsza niż 15 m, wtedy zarówno długość obszaru źródła, jak i obszaru punktu odniesienia jest równa odległości r_o .

Współczynnik tłumienia (przez grunt) oblicza się dla wszystkich trzech obszarów. Udział absorpcji odpowiada stosunkowi długości sekcji do rozpatrywanego terenu – jeżeli nie jest on akustycznie twardy – podzielonemu przez całkowitą długość branego pod uwagę obszaru.

2.11.2.2. Dane

Dla obliczenia tłumienia przez grunt niezbędne są następujące współczynniki:

- r_o mierzona w poziomie odległość pomiędzy źródłem a punktem odniesienia [m],
- h_b wysokość źródła punktowego powyżej średniego poziomu gruntu w obrębie obszaru źródła,
- h_w wysokość punktu odbioru ponad średnim poziomem gruntu w obrębie obszaru punktu odniesienia,
- B_b współczynnik absorpcji w obszarze źródła [-],
- B_m współczynnik absorpcji w obszarze środkowym [-],
- B_w współczynnik absorpcji w obszarze punktu odbioru,
- S_w wydajność tłumienia przez grunt w obszarze punktu odbioru [-],
- S_b wydajność tłumienia przez grunt w obszarze źródła.

Jeżeli h_b wynosi mniej niż zero, wtedy dla h_b oraz h_w przyjmuje się wartość zero.

Jeżeli w sektorze nie występują ekrany, wtedy zarówno S_w , jak i S_b przypisuje się wartość jeden. Jeżeli ekrany występują, wtedy wartość S_w oraz S_b oblicza się przy pomocy równań 5.9a oraz 5.9b tak, jak pokazano to w rozdziale 5.6.

2.11.2.3. Obliczenia

Równania 5.6a oraz 5.6e są oparte na równaniach z tabeli 14.

tabela 14. Równanie 5.6a dla e wyłącznie do określania tłumienia przez grunt D_B jako funkcji pasma oktawowego. Symbole wydrukowane kursywą odpowiadają wartościom, które muszą być zastąpione zmiennymi x oraz y w $\gamma(x,y)$.

Pasma oktawowe		Tłumienie przez grunt
indeks [-]	częstotliwość średnia [Hz]	
1	63	$-3\gamma_0(h_h + h_w, r_0) - 6$
2	125	$[(S_h\gamma_2(h_h, r_0) + 1)B_b] - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + [(S_w\gamma_2(h_h, r_0) + 1)B_w] - 2$
3	250	$[(S_h\gamma_3(h_h, r_0) + 1)B_b] - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + [(S_w\gamma_3(h_h, r_0) + 1)B_w] - 2$
4	500	$[(S_h\gamma_4(h_h, r_0) + 1)B_b] - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + [(S_w\gamma_4(h_h, r_0) + 1)B_w] - 2$
5	1000	$[(S_h\gamma_5(h_h, r_0) + 1)B_b] - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + [(S_w\gamma_5(h_h, r_0) + 1)B_w] - 2$
6	2000	$B_b - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + B_w - 2$
7	4000	$B_b - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + B_w - 2$
8	8000	$B_b - 3(1-B_m)\gamma_0(h_h + h_w, r_0) + B_w - 2$

Funkcje γ są wyznaczane w następujący sposób:

$$\text{dla } y \geq 30x \quad \gamma_0(x, y) = 1 - 30 \frac{x}{y} \quad (2.31)$$

$$\text{dla } y < 30 \quad \gamma_0(x, y) = 0$$

$$\gamma_2(x, y) = 3,0 \left[1 - e^{-y/50} \right] e^{-0,12(x-5)^2} + 5,7 \left[1 - e^{-2,810^{-4}y^2} \right] e^{-0,09x^2} \quad (2.32)$$

$$\gamma_3(x, y) = 8,6 \left[1 - e^{-y/50} \right] e^{-0,09x^2} \quad (2.33)$$

$$\gamma_4(x, y) = 14,0 \left[1 - e^{-y/50} \right] e^{-0,46x^2} \quad (2.34)$$

$$\gamma_5(x, y) = 5,0 \left[1 - e^{-y/50} \right] e^{-0,90x^2} \quad (2.35)$$

Wartości w nawiasach za funkcjami wziętymi pod uwagę w równaniach 5.6a do 5.6e włącznie (wydrukowane kursywą) służą do zastępowania zmiennych x oraz y .



2.11.3. Współczynnik korekcji meteorologicznej C_M

Obliczenia tłumienia przez grunt oparte są na propagacji hałasu z wiatrem. Współczynnik korekcji C_M dostosowuje poziom dźwięku do długoterminowych średnich warunków.

2.1.3.1. Dane

W celu wyliczenia współczynnika korekcji meteorologicznej C_M niezbędne są następujące informacje:

- r_o mierzona w poziomie odległość pomiędzy źródłem a punktem odniesienia [m],
- h_b wysokość źródła punktowego powyżej średniego poziomu gruntu w obrębie obszaru źródła,
- h_w wysokość punktu odniesienia ponad średnim poziomem gruntu w obrębie obszaru punktu odniesienia.

2.11.3.2. Obliczenia

Obliczenia przebiegają następująco:

$$\text{dla } r_o > 10 (h_b + h_w): \quad C_M = 3,5 - 35 \frac{h_b + h_w}{r_o} \quad (2.36)$$

$$\text{dla } r_o \leq 10 (h_b + h_w): \quad C_M = 0 \quad (2.37)$$

2.11.4. WSPÓŁCZYNNIK TŁUMIENIA PRZEZ EKRALOWANIE ΔL_{SW}

Włącznie z współczynnikami S_w oraz S_b z równań tłumienia przez grunt 2.36 do 2.37.

2.11.4.1. Opis

Jeżeli obiekty znajdujące się w obrębie sektora mają kąt obserwacji, który odpowiada kątowi otwarcia branego pod uwagę sektora i jeżeli możemy założyć, że obiekty te wchodzą w interferencję z emitowanym dźwiękiem, współczynnik tłumienia ΔL_{SW} jest brany pod uwagę razem ze zredukowanym tłumieniem przez grunt (wyrażonym w kategoriach S_w oraz S_b zgodnie z równaniem 5.5).

Wzór na obliczanie tłumienia przez obiekt o zróżnicowanym kształcie zawiera dwa współczynniki. Pierwszy współczynnik odnosi się do ekranowania przez równoważny idealny ekran (cienka pionowa płaszczyzna). Wysokość równoważnego ekranu odpowiada wysokości przeszkody. Górna krawędź ekranu odpowiada najwyższej krawędzi przeszkody. Jeżeli jest możliwe umieszczenie ekranu w różnych pozycjach, to wybiera się pozycję, w której występuje największe tłumienie.

Drugi współczynnik jest istotny tylko wtedy, jeśli profil odbiega od tego, który posiada idealny ekran. Profil jest definiowany jako przekrój płaszczyzny sektora tłumiącego obiektu. Tłumienie



przez obiekt jest równe tłumieniu przez równoważny ekran minus współczynnik korekcji C_p w zależności od profilu.

Jeżeli w sektorze występuje kilka obiektów tłumiących, wtedy brany jest pod uwagę jedynie ten obiekt, który – wobec braku innych – powoduje największe tłumienie.

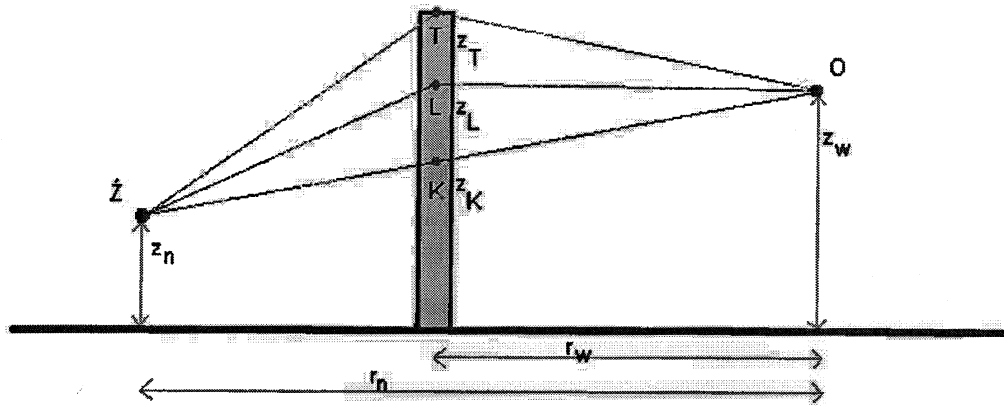
2.11.4.2. Dane

W celu obliczenia tłumienia niezbędne są następujące dane:

- z_b wysokość źródła względem wysokości współrzędnej (= płaszczyzna pozioma, gdzie $z = 0$) [m],
- z_w wysokość punktu odniesienia względem wysokości współrzędnej (= płaszczyzna pozioma, gdzie $z = 0$) [m],
- z_T wysokość szczytu ekranu względem wysokości współrzędnej [m],
- r_o mierzona w poziomie odległość pomiędzy źródłem a punktem odniesienia [m],
- h_b wysokość źródła punktowego powyżej średniego poziomu gruntu w obrębie obszaru źródła [m],
- h_w wysokość punktu odniesienia ponad średnim poziomem gruntu w obrębie obszaru punktu odniesienia [m],
- h_T wysokość górnej krawędzi idealnego ekranu względem średniego poziomu gruntu w promieniu 5 m dookoła ekranu; jeżeli wartości dla obu stron ekranu różnią się, h_T przyjmuje wartość wyższą,
- r odległość pomiędzy źródłem a punktem odbioru mierzona wzdłuż najkrótszej linii łączącej [m],
- r_w mierzona w poziomie odległość pomiędzy punktem odniesienia a barierą [m],
- profil obiektu ekranującego.

2.11.4.3. Obliczenia

- zredukowane tłumienie przez grunt wyrażone przez współczynniki S_w oraz S_b z równań 5.6a do 5.6e,
- współczynnik tłumienia przez ekranowanie ΔL_{SW} .



rys. nr 9. Obszar sektora z idealnym ekranem oraz zaznaczonymi punktami K , T oraz L .

Dla obliczeń tych niezbędne jest określenie trzech punktów na ekranie:

- K punkt przecięcia się ekranu z linią wzorku (= bezpośrednio pomiędzy źródłem a punktem odniesienia),
- L punkt przecięcia się ekranu z zakrzywionym promieniem dźwięku, który osiąga punkt odbioru od strony źródła punkowego dla wiatru niosącego (w kierunku punktu odbioru),
- T górną krawędź ekranu.

Linia przerywana BLW stanowi schematyczne przedstawienie zakrzywionego promienia dźwięku dla wiatru w kierunku do punktu odbioru.

Należy odnaleźć trzy punkty na wysokościach Z_K , Z_L oraz Z_T odpowiednio powyżej wysokości współrzędnej. Odległość pomiędzy punktami K i L oblicza się w następujący sposób:

$$Z_L - Z_K = \frac{r_w (r_o - r_w)}{26r_o} \quad (2.38)$$

Również:

r_L jest sumą częściowych odległości BL i LW,

r_T jest sumą częściowych odległości BT i TW.

Współczynniki S_w i S_b wzięte z równań 5.5a do 5.5h włącznie oblicza się w następujący sposób:



$$S_w = 1 - \frac{r_o - r_w}{r_o} \frac{3h_e}{3h_e + h_w + 1} \quad (2.39)$$

jeżeli $h_e < 0$, wtedy $S_w = 1$

$$S_b = 1 - \frac{r_w}{r_o} \frac{3h_e}{3h_e + h_b + 1} \quad (2.40)$$

jeżeli $h_e < 0$, wtedy $S_b = 1$

h_e jest efektywną wysokością ekranu obliczaną w następujący sposób:

$$h_e = Z_T - Z_L \quad (2.41)$$

Współczynnik tłumienia ΔL_{SW} oblicza się w następujący sposób:

$$\Delta L_{SW} = HF(N_f) - C_p \quad (2.42)$$

gdzie:

H skuteczność ekranowania,

$F(N_f)$ funkcja z argumentem N_f (= liczba Fresnela),

C_p współczynnik korekcji zależny od profilu.

Jeżeli współczynnik tłumienia ΔL_{SW} wyliczony z równania 5.11 jest ujemny, wtedy przyjmuje się: $\Delta L_{SW} = 0$.

H wyznacza się następująco:

$$H = 0,25h_T 2^{i-1} \quad (2.43)$$

gdzie i oznacza indeks pasma oktawowego.

Maksymalną wartością H jest 1.

Definicję funkcji F można zaczerpnąć z równań 5.13a do 5.13f włącznie tak, jak zostało to przedstawione w tabeli 5.3. Wartości dla C_p można zaczerpnąć z tabeli 5.4.



tabela 15. Definicja funkcji F ze zmiennymi N_f dla 5 interwałów N_f (równania 5.13a do 5.13f włącznie)

Odpowiednia dla interwału N_f		Definicja $F(N_f)$
od	do	
$-\infty$	-0,314	0
-0,0016	-0,0016	$-3,682 - 9,288 \lg N_f - 4,482 \lg^2 N_f - 1,170 \lg^3 N_f - 0,128 \lg^4 N_f $
+0,0016	-0,0016	5
+0,0016	+1,0	$12,909 + 7,495 \lg N_f + 2,612 \lg^2 N_f + 0,073 \lg^3 N_f - 0,184 \lg^4 N_f - 0,032 \lg^5 N_f$
+1,0	+16,1845	$12,909 + 10 \lg N_f$
+16,1845	$+\infty$	25

tabela 16. Współczynnik korekcji C_p w zależności od profilu. T oznacza górny kąt przekroju obiektu

C_p	Obiekt ($T =$ górny kąt w stopniach)
0 dB	<ul style="list-style-type: none"> ▣ cienka ściana z kątem pionowym $\leq 20^\circ$ ▣ dolna elewacja, gdzie $0^\circ \leq T \leq 70^\circ$ ▣ wszystkie dolne elewacje, jeżeli całkowita wysokość jest mniejsza niż dwukrotność wysokości ściany ▣ wszystkie budynki
2 dB	<ul style="list-style-type: none"> ▣ krawędź wypełnionego składowiska odpadów ▣ dolna elewacja, gdzie $70^\circ \leq T \leq 165^\circ$ ▣ wszystkie dolne elewacje, jeżeli całkowita wysokość jest większa niż dwukrotność wysokości ściany ▣ pochłaniający hałas brzeg peronu od strony toru ▣ brzeg peronu nie graniczący z torem ▣ brzeg linii kolejowej biegnącej po wiadukcie lub moście – z wyjątkiem mostów typu U oraz torów typu M ▣ pochłaniający hałas brzeg mostu typu U od strony linii kolejowej ▣ pochłaniający hałas brzeg mostu typu U nie graniczący z linią kolejową ▣ pochłaniający hałas tor typu M, od strony linii kolejowej ▣ brzeg toru typu M nie graniczący z linią kolejową
5 dB	<ul style="list-style-type: none"> ▣ krawędź (nie pochłaniająca)⁸ strony peronu graniczącej z linią kolejową ▣ krawędź (nie pochłaniająca)⁹ strony peronu granicząca z linią kolejową na moście typu U

⁸ patrz §5.3.10.



	krawędź (nie pochłaniająca) ¹⁰ od strony toru typu M, granicząca z linią kolejową
--	--

$$N_f = 0,37\varepsilon^{2^{i-1}} \quad (2.44)$$

gdzie ε oznacza tor akustyczny, określony w następujący sposób:

$$\text{dla } z_T \geq z_K \quad \varepsilon = r_T - r_L \quad (2.45)$$

$$\text{dla } z_T < z_K \quad \varepsilon = 2r - r_T - r_L \quad (2.46)$$

W przypadkach, gdy profil obiektu ekranującego nie odpowiada żadnemu profilowi w tabeli 15., wtedy tłumienie dla tego obiektu trzeba wyznaczyć przy pomocy dodatkowych analiz.

2.11.4.4. Wnioski

Jeżeli izolacyjność akustyczna obiektu ekranującego jest mniejsza niż 10 dB powyżej obliczonego tłumienia ΔL_{SW} , całkowity efekt obniżenia hałasu musi zostać wyznaczony za pomocą dalszych, pogłębionych analiz.

2.11.5. Określanie absorpcji charakterystycznej dla pociągów

Współczynnik pochłaniania α zostaje uśredniony przy pomocy współczynników odzwierciedlających średnią charakterystykę częstotliwościową A dla ruchu.

Zgodnie z tym ΔL może być odczytywana dla wszystkich pasm 1/3-oktawowych przy pomocy równania 5.16 dla wartości absorpcji ze średnią ważoną wartością α . ΔL zaokrągla się do pełnego dB, a przyjmowaną wartością maksymalną jest 10dB.

tabela 16. Współczynniki ważące K_i dla hałasu kolejowego do zastosowania w wyznaczaniu jednostkowej wartości w dB dla wartości absorpcji ekranów akustycznych

Tercje [Hz]	Dla ruchu kolejowego		
	Spektrum [dB]	Spektrum [dB]	K_i [-]
100	- 16,2	- 24,0	1
125		- 21,0	2
160		- 19,2	3



200		-17,0	5
250	-10,0	-15,0	8
315		-13,2	12
400		-11,7	17
500	-6,1	-10,8	21
630		-10,4	23
800		-10,0	25
1000	-4,9	-9,7	27
1250		-9,4	29
1600		-9,4	29
2000	-5,0	-9,4	29
2500		-10,6	22
3150		-17,1	5
4000	-15,0	-21,0	2
5000		-24,0	1

Gdzie dla ruchu kolejowego $\Sigma K_i = 261$

Specyficzna dla ruchu absorpcja może być wyrażona w dB przy pomocy równania 5.15.

$$\Delta L_{A,\alpha,ruch} = -10 \lg \left(\frac{\Sigma(K_i * \alpha_i)}{\Sigma K_i} \right) \quad (2.47)$$

2.11.6. Zmiana poziomów dźwięku w wyniku odbić ΔL_R

2.11.6.1. Dane

W celu wyliczenia zmiany poziomów dźwięku zachodzącej w wyniku absorpcji spowodowanej przez odbicia potrzebne są następujące dane:

- N_{ref} liczba odbić (patrz również: rozdział 5.3.) pomiędzy punktem źródłowym a punktem odniesienia [-],
- rodzaj odbijającego obiektu.



2.11.6.2. Obliczenia

Obliczenia wyglądają następująco:

$$\Delta L_R = N_{ref} \delta_{ref} \quad (2.48)$$

gdzie: δ_{ref} redukcja poziomu przez odbicie

2.11.6.3. Wyniki

W przypadku budynków równanie $\delta_{ref} = 0,8$ zachowuje ważność dla wszystkich pasm oktawowych. W przypadku pozostałych obiektów równanie $\delta_{ref} = 1$ zachowuje ważność dla wszystkich pasm oktawowych pod warunkiem, udowodnienia właściwości tłumiących obiektu. Wtedy, równanie $\delta_{ref} = 1 - a$ zachowuje ważność dla pasma oktawy, gdzie a jest współczynnikiem pochłaniania dźwięku dla obiektu w rozważanym paśmie oktawy. Najwyższą wartością przyjmowaną przez N_{ref} jest 3.

2.11.7. Spektrum równoważnego poziomu dźwięku w pasmach oktawowych

W celu precyzyjnego wyznaczenia równoważnego poziomu dźwięku w budynkach mieszkalnych najlepiej mieć dostęp do spektrum pasma oktawowego, które jest wykorzystywane w przypadku pół hałasu właściwych fasadom. Przy pomocy opisanej metody otrzymuje się osiem przybliżonych wartości równoważnego poziomu dźwięku dla różnych pasm oktawowych. Zawiera się już w tym korzystanie z charakterystyki częstotliwościowej A. We wszystkich raportach należy określić odpowiednie spektrum pasma oktawowego równoległe z równoważnym poziomem dźwięku A w dB.

Równoważny poziom dźwięku A w paśmie oktawowym i oznaczany symbolem $L_{eq,i}$ oblicza się w następujący sposób:

$$L_{eq} = 10 \lg \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N 10^{\Delta L_{eq,j,j,n}/10} \quad (2.49)$$

gdzie definicje wartości oraz ich znaczenia są takie same jak w równaniu 5.1a.

2.12. REJESTR EMISJI - ZAWARTOŚĆ

Rejestr emisji zawiera wszystkie parametry wymagane przy wyznaczaniu wartości poziomu emisji:

- mapę ze wskazanym położeniem toru na rozpatrywanym terenie
- opis torów wraz z punktem początkowym i końcowym oraz – jeśli to możliwe – ze wszystkimi stacjami i ich lokalizacjami;
- natężenie ruchu pociągów w ciągu godziny uśrednione dla okresu roku, dnia, okresu wieczornego oraz nocnego z określeniem kategorii pojazdów szynowych oraz z rozróżnieniem na pociągi hamujące i nie hamujące;



- średnia prędkość dla danej kategorii pojazdu szynowego dla danej sekcji oraz – jeśli to konieczne – okres oceny;
- opis konstrukcji torów oraz – jeśli takowe występują – opis konstrukcji mostów, przejazdów kolejowych, zwrotnic oraz tym podobnych szczegółów.

Mając na uwadze fakt, iż dane te mają być wykorzystane bezpośrednio w badaniach akustycznych, muszą pozostawać w zgodzie z minimalnymi wymogami dotyczącymi dokładności. Nie należy zaniedbywać problemu skuteczności: zbieranie i przechowywanie danych wymaga pewnego wysiłku, który może znacznie się zwiększyć w przypadku, gdy wymagania będą zbyt ostre.

Wymagania dla każdego typu danych wymienionych powyżej zostały opisane poniżej:

Mapa

Skale map nie są narzucane, ponieważ zależą od stopnia złożoności. W większości przypadków mapy w skali 1/25 000 całkowicie wystarczają, jednak dla pewnych obszarów miejskich wymagane są mapy w skali 1/10 000. Ponadto wymagane jest stworzenie bezstopniowej regulowanej wersji elektronicznej mapy dla każdej trasy w celu zobrazowania połączenia z danymi.

Tory

Początek i koniec każdego toru musi zostać dokładnie określony w metrach. Dla tras o wielu torach, każdy tor musi zostać określony z osobna. Dla położenia stacji wystarczy ogólne wskazanie z dokładnością do 100m oraz podanie nazwy.

Natężenie ruchu

Natężenie ruchu musi być określone dla każdego toru w jednostkach na godzinę z zaokrągleniem do 0,1 jednostki. Sprawozdanie musi być wykonane dla każdego pojazdu zgodnie z §1. w ciągu okresu dziennego, wieczornego i nocnego.

Profil prędkości

Prędkości na trasie uśrednione dla okresu roku ustala się dla każdej kategorii pojazdu szynowego z zaznaczeniem, gdzie pojazdy te używają hamulców w normalnych warunkach użytkowania.

Tor

Położenie początku i końca konstrukcji opisanych w rozdziale 1. należy wskazać z dokładnością do 1 m. W bardzo złożonych sytuacjach wystarczy (np. wiele zwrotnic na odcinku mniejszym niż 100 m) wskazanie liczby połączeń szyn w zależności od całkowitej liczby zwrotnic.

Ekran (nieobowiązkowe)

Jeżeli położenie ekranu jest włączone do rejestru, w sprawozdaniu muszą się znaleźć następujące dane:



- początek i koniec [m],
- tor, wzdłuż którego znajduje się ekran,
- określenie strony, po której znajduje się ekran,
- wysokość [m].

Wysokość (nieobowiązkowa)

Wysokość musi zostać podana dla odcinka co najmniej 100m toru w dm powyżej NAP.

2.13. SPORZADZENIE STRATEGICZNYCH MAP HAŁASU

2.13.1. Wartość poziomu emisji

Poziom emisji obliczony w punkcie odbioru spełnia kryteria strategicznego mapowania hałasu, jeżeli rejestr emisji zawiera odpowiednie dane:

- dla $L_{dzień}$ roczne średnie natężenie pojazdów w ciągu okresu dziennego dla każdej kategorii pojazdu,
- dla $L_{wieczór}$ roczne średnie natężenie pojazdów w ciągu okresu wieczornego dla każdej kategorii pojazdu,
- dla L_{noc} roczne średnie natężenie pojazdów w ciągu okresu nocnego dla każdej kategorii pojazdu.

Ogólny parametr szacunkowy L_{dwn} wylicza się zgodnie z procedurą zawartą w aneksie I do EC-6660:

$$L_{dwn} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} (12 \cdot 10_{L_{dzień/10}} + 4 \cdot 10_{(L_{wieczór} + 5)/10} + 8 \cdot 10_{(L_{noc} + 10)/10}) \quad (2.50)$$

gdzie:

- $L_{dzień}$ oznacza średni długotrwały poziom dźwięku ważony według charakterystyki częstotliwościowej A tak, jak to określono w normie ISO 1996-2:1987 wyznaczany przez wszystkie dzienne okresy roku;
- $L_{wieczór}$ oznacza średni długotrwały poziom dźwięku ważony według charakterystyki częstotliwościowej A tak, jak to określono w normie ISO 1996-2:1987 wyznaczany przez wszystkie wieczorne okresy roku;
- L_{noc} oznacza średni długotrwały poziom dźwięku ważony według charakterystyki częstotliwościowej j A tak, jak to określono w normie ISO 1996-2:1987 wyznaczany przez wszystkie nocne okresy roku;



2.13.2. Warunki meteorologiczne

Jeżeli podobne warunki meteorologiczne mają być zastosowane do innych tymczasowych metod obliczania, należy przyjąć następujące założenia:

Warunki korzystne rozprzestrzenia się dźwięku (z wiatrem):

- okres dzienny 50%
- okres wieczorny 75%
- okres nocny 100%.

Jest to możliwe jedynie dla pasma oktawowego metody SRM II. W metodzie tej podstawowy wpływ gruntu jest oparty na efekcie zakrzywienia dla warunków propagacji z wiatrem (teoria Maekwy). Współczynnik korekcji meteorologicznej C_{meteo} ma zastosowanie do ogólnych obliczeń. Dlatego też $C_{meteo} = 0$ prowadzi do obliczeń propagacji z wiatrem. Połączenie udziału procentowego warunków propagacji z wiatrem oraz ogólnych warunków meteorologicznych prowadzi do wymaganych wartości.

2.13.3. Punkty odbioru

Zgodnie z END punkty odniesienia muszą być:

- usytuowane na wysokości 4 m;
- usytuowane w odległości 2 m od fasady;
- obliczane bez odbić na branej pod uwagę fasadę.

W metodzie SRM I oraz SRM II jest to możliwe – odbicia nie są brane pod uwagę.



3. CHARAKTERYSTYKA METODY OBLICZANIA HAŁASU DROGOWEGO 'XPS 3L-L33'

3.1. WSTĘP

W Dyrektywie 2002/49/WE zalecaną tymczasową metodą obliczeniową dla hałasu drogowego jest francuska krajową metodą obliczeniową 'NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)', do której odnosi się 'Arrêté du 5 mai 1995 relatif au Bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article' oraz francuska norma 'XPS 31-133'. Metoda ta opisuje szczegółową procedurę obliczania poziomów hałasu wywołanego ruchem ulicznym w pobliżu drogi, biorąc pod uwagę czynniki meteorologiczne mające wpływ na rozprzestrzenianie hałasu.

Poniżej przedstawiony zostanie opis metody NMPB, która w pewnych szczególnych przypadkach dostosowana została do warunków polskich.

Metoda ta realizowana jest według następującej procedury:

- Podział liniowego źródła na źródła punktowe,
- Określenie poziomu mocy akustycznej dla każdego utworzonego źródła punktowego,
- Poszukiwanie tras propagacji dźwięku pomiędzy każdym ze źródeł punktowych a punktem odbioru (trasa bezpośrednia, trasa odbita i/lub ugięta),
- Dla każdej z tras propagacji prowadzenie kolejno obliczeń dotyczących: tłumienia dla warunków korzystnych, tłumienia dla warunków jednorodnych, obliczenia poziomu długotrwałego.
- Obliczenie poziomu całkowitego (skumulowanie poziomów długotrwałych dla każdej z tras).

3.2. WSKAŹNIKI HAŁASU

W metodzie NMPB-Routes-96 oraz we francuskiej normie "XP S 31-133" podstawową wielkością opisującą emisję dźwięku w pobliżu drogi jest długookresowy poziom dźwięku A

W metodzie oryginalnej zostały ustalone dwa przedziały czasowe: dzienny (6 – 22h) i nocny (22 – 6h). Zastosowanie metody dla potrzeb badań zgodnie z Dyrektywą 2002/49/WE wymagało wprowadzenia podziału doby na trzy okresy (patrz niżej).

Długookresowy średni poziom dźwięku uwzględnia natężenie ruchu w ciągu roku oraz warunki meteorologiczne (gradient pionowy prędkości wiatru oraz gradient pionowy temperatury powietrza).

Wpływ warunków meteorologicznych na długookresowy średni poziom dźwięku jest szczegółowo opisany wraz z definicją dla różnych rodzajów propagacji dźwięku. Udział procentowy występowania różnych rodzajów propagacji dźwięku przedstawiono na mapie obejmującej (prawie) cały obszar Francji. W normie "XP S 31-133" mapa jest zastąpiona tabelą zawierającą dane dla 40 miast (regionów).



Według Dyrektywy 2002/49/UE, zgodnie z artykułem 5, do przygotowania i korekty strategicznych map hałasu powinny być zastosowane następujące wskaźniki hałasu, zdefiniowane w Artykule 3 i później Załączniku I:

Zgodnie z artykułem 5 Dyrektywy 2002/49/EU do oceny hałasu drogowego zaproponowano następujące wskaźniki (2 wskaźniki podstawowe i 2 pomocnicze):

L_{dwn} – poziom dziennie-wieczorno-nocny

L_n – poziom w porze nocnej

L_d – poziom w porze dziennej

L_w – poziom w porze wieczornej

Poziom L_{dwn} liczony jest za pomocą wskaźników L_d , L_w , L_n ze wzoru:

$$L_{dwn} = 10 \lg \frac{1}{24} \left[12 * 10^{\frac{L_{dzien}}{10}} + 4 * 10^{\frac{L_{wieczor} + 5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_{noc} + 10}{10}} \right]$$

(3.1)

Wszystkie te wskaźniki są długookresowymi średnimi poziomami dźwięku skorygowanego za pomocą charakterystyki częstotliwościowej A, zgodnie z normą ISO 1996-2:1987 r., wyznaczonymi w ciągu doby dla okresu całego roku. Zgodnie z tą normą uśrednianie poziomu dźwięku zależy zarówno od różnic emisji dźwięku jak i odchyłek warunków meteorologicznych wpływających na propagację dźwięku. Podczas gdy różnice w natężeniu ruchu można łatwo wyeliminować biorąc pod uwagę liczbę pojazdów dla reprezentatywnego roku, odchylenia warunków meteorologicznych sprawiają o wiele większe kłopoty.

Wzór przedstawiony powyżej stosuje się dla domyślnej długości pory wieczornej. Dyrektywa 2002/49/UE dopuszcza możliwość skrócenia pory wieczornej o 1 lub 2 godziny. W tym wypadku należy odpowiednio wydłużyć porę dzienną i/lub porę nocną. Poziom dźwięku w punkcie odbioru można obliczyć ze wzoru:

$$L_{dwn} = 10 \lg \frac{1}{24} \left(t_d * 10^{\frac{L_{dzien}}{10}} + t_w * 10^{\frac{L_{wieczor} + 5}{10}} + t_n * 10^{\frac{L_{noc} + 10}{10}} \right), \quad (3.2)$$

gdzie:

t_d - wybrana długość okresu dziennego,

t_w - wybrana długość okresu wieczornego i $2 \leq t_w \leq 4$,

t_n - wybrana długość okresu nocnego,

3.3. WPLYW WARUNKÓW METEOROLOGICZNYCH NA PROPAGACJĘ HAŁASU

W powietrzu ponad powierzchnią gruntu temperatura oraz prędkość wiatru są zawsze różne na różnych wysokościach; różnice te są spowodowane gradientem temperatury, który może być



dodatni lub ujemny oraz zwiększaniem prędkości wiatru wraz z wysokością. Zmiany temperatury powietrza oraz zmiany prędkości wiatru powodują dodatni lub ujemny gradient prędkości dźwięku.

Uogólniając można rozróżnić trzy podstawowe rodzaje propagacji:

- warunki propagacji są jednorodne (fale dźwiękowe są liniami prostymi),
- warunki propagacji są korzystne (propagacja dźwięku w obecności gradientu pionowego dodatniego, fale dźwiękowe są odchylane ku dołowi),
- warunki propagacji są niekorzystne (propagacja dźwięku w obecności gradientu pionowego ujemnego, fale dźwiękowe są odchylane ku górze).

W rzeczywistości jednak występuje bardzo duża ilość możliwych kombinacji pomiędzy efektami termicznymi i wiatrem. Ponadto zjawiska te są zmienne w czasie i w przestrzeni. Z faktu tego wynika, iż poziom dźwięku w dużych odległościach od źródła należałoby rozpatrywać jako zjawisko przypadkowe.

Z drugiej zaś strony odpowiednie charakterystyki związane z wpływem rodzaju terenu nie mogą być oddzielone od warunków propagacji fal akustycznych, bowiem w zależności od kształtu promieni akustycznych, ilość energii akustycznej, która kontaktuje się z terenem jest większa lub mniejsza. Ponadto, problem ten dodatkowo komplikuje charakter topografii terenu. Na rysunku w Załączniku 1 pokazano zmiany wartości poziomu dźwięku, w zależności od czynników meteorologicznych.

Aby uwzględnić ten wpływ w obliczaniu długookresowego poziomu dźwięku metodą NMPB zostało zastosowane następujące podejście: poziomy dźwięku są obliczane dla dwóch konwencjonalnych warunków propagacji: warunki korzystne oraz warunki jednorodne. Dwa poziomy dźwięków wyliczone dla dwóch różnych warunków są włączone do średniego długookresowego poziomu dźwięku, udział procentowy występowania dwóch różnych warunków jest różny dla pory dnia i nocy i różne dla różnych kierunków źródło-punkt odbioru.

Do NMPB zostały załączone 2 tabele i 18 map Francji, przedstawiających procentowy rozkład długookresowego występowania korzystnych warunków meteorologicznych z krokiem co 20 ° dla dnia i nocy, opartych na analizie 40 stacji meteorologicznych rozmieszczonych na terenie całej Francji, zgodnie z kryteriami przedstawionymi w załączniku I. Norma XP S 31-133 zawiera tylko tablice, bez map.

W ogólnych rozważaniach zawartych w NMPB stwierdzono, że wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się dźwięku jest mierzalny, jeśli odległość pomiędzy źródłem a punktem odbioru jest większa niż 100 m. Następnie cytowany jest Francuski Dekret z 5 maja 1995 roku, który nakazuje wzięcie pod uwagę rzeczywistych warunków meteorologicznych dla punktów odbioru zlokalizowanych w odległości ponad 250 m od drogi przy projektowaniu przebiegu dróg. Jednakże nie ma jasnego stanowiska jakiej odległości mają dotyczyć obliczenia korzystnej propagacji dźwięku.

W normie XP S 31-133 nie sprecyzowano odległości dla jakiej ma być rozważana korzystna propagacja dźwięku.

W obu dokumentach przedstawiono kilka warunków zastosowania danych dotyczących występowania korzystnej propagacji dźwięku, takich jak:



- Względnie płaski teren niewielką ilością roślin wysokich (dopuszczalne są pojedyncze drzewa)
- Powierzchnia pokryta trawą (optymalna wysokość szaty roślinnej: 10cm)
- Brak większych powierzchni wodnych (jeziora, rzeki)
- Czysty obszar propagacji: brak obiektów o większej powierzchni lub wysokości w odniesieniu do wymiarów obszaru propagacji, a także niezbyt wiele małych obiektów (dopuszczalna jest niewielka ilość rozproszonych obiektów)
- Maksymalna wysokość obszaru: 500m n. p.m

Wynika z tego, że dane, nawet jeżeli są dostępne, nie mogą być wykorzystane w większej liczbie przypadków.

Jeżeli obszar nie spełnia powyższych warunków, określone są następujące możliwości:

- Wykorzystanie lokalnych, istniejących danych meteorologicznych; praca może być wykonana w oparciu o schemat przedstawiony w załączniku I i wymaga udziału specjalisty w dziedzinie mikro-meteorologii
- Wykorzystanie lokalnych danych meteorologicznych zebranych specjalnie na potrzeby projektu; praca bardziej kompleksowa niż wspomniana powyżej
- Wykorzystanie pewnych standardowych wartości, w takiej sytuacji wystąpienie warunków korzystnych propagacji jest maksymalizowane, co prowadzi do zawyżonych wartości długotrwałych poziomów dźwięku (zapewnia lepszą ochronę mieszkańców); mogą być wykorzystane następujące dane dla każdego kierunku:
 - 100% warunków korzystnych dla pory nocnej
 - 50% warunków korzystnych dla pory dziennej

W celu zastosowania modelu NMPB do obliczania hałasu drogowego przy tworzeniu strategicznych map hałasu, zgodnie z Dyrektywą 2002/49/UE, powinno się zdefiniować czy, kiedy i do jakich procentowych wartości powinna być uwzględniana korzystna propagacja dźwięku.

Z wymienionych powyżej szczegółów zawartych w NMPB, należy rozważyć:

- Czy metoda powinna być wykorzystana jako metoda tymczasowa, a więc nie powinna być skomplikowana i kosztowna
- Dane meteorologiczne opisane w NMPB, wykorzystywane tylko na niektórych rodzajach płaskich powierzchni poniżej 500 m nie mogą być w żaden sposób wykorzystane w krajach górskich (tj. Austria czy północne Włochy, gdzie większość głównych tras przelotowych wiedzie przez Alpy)

W takim razie najlepszym rozwiązaniem będzie wybór metody z użyciem standardowych wartości dla tymczasowej metody Dyrektywa 2002/49/UE, np. obliczenia dla

- 100% warunków korzystnych dla pory nocnej



- 50% warunków korzystnych dla pory dziennej

Dodatkowo powinna być wzięta pod uwagę pora wieczorna: ponieważ z meteorologicznego punktu widzenia pora wieczorna jest „nocą” w zimie i „dniem” w lecie, proponuje się następujący sposób obliczeń:

- 75% warunków korzystnych dla pory wieczornej

Długookresowy poziom $L_{dlugookresowy}$ jest obliczany za pomocą następującego wzoru:

$$L_{dlugookresowy} = 10 \lg \left[p 10^{0,1L_F} + (1 - p) 10^{0,1L_H} \right] \quad (3.3)$$

gdzie:

L_F jest poziomem dźwięku obliczanym przy korzystnych warunkach propagacji dźwięku,

L_H jest poziomem dźwięku obliczanym w jednorodnych warunkach propagacji dźwięku,

p określa możliwość pojawienia się warunków meteorologicznych korzystnych dla propagacji dźwięku.

Poziom dźwięku w warunkach korzystnych oblicza się dla każdego pasma oktawowego i dla każdej drogi propagacji od jednego u źródła punktowego na drodze do punktu odbioru, ze wzoru:

$$L_F = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{dif,F} \quad (3.4)$$

Poziom dźwięku w warunkach jednorodnych oblicza się dla każdego pasma oktawowego i dla każdej drogi propagacji od jednego u źródła punktowego na drodze do punktu odbioru, ze wzoru:

$$L_H = L_w - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,H} - A_{dif,H} \quad (3.5)$$

Tłumienie wynikające z rozbieżności geometrycznej A_{div} i tłumienie wynikające z pochłaniania przez atmosferę A_{atm} jest takie samo w obu wzorach. Różnica występuje w przypadku tłumienia wynikającego z wpływu gruntu $A_{grd,x}$ i tłumienia wynikającego z dyfrakcji $A_{dif,x}$: dyfrakcja i wpływ gruntu są zależne od warunków propagacji. Dalsze szczegóły dotyczące tych warunków przedstawione są poniżej.

3.4. ŹRÓDŁO

Model opiera się na podziale drogi lub pojedynczego źródła liniowego na elementarne źródła punktowe.

Poprzez wycinek akustycznie jednorodny rozumie się fragment infrastruktury drogowej, dla której:

- emisja hałasu spowodowanego przez ruch drogowy nie zmienia się, lub zmienia się w sposób nieznaczny,
- profil poprzeczny drogi (liczba pasów jezdnych, ich szerokość itp.) wzdłuż rozważanego odcinka drogi pozwala na zastosowanie tego samego sposobu podziału źródła na źródła elementarne.

Infrastruktura drogowa zostaje w metodzie tej podzielona na tyle wycinków jednorodnych, ile wynosi potrzeba zastosowania się do tych dwóch podstawowych zasad.

Dokonując podziału wykorzystać można następujące metody:

- podział równokątowy – analizowana droga podzielona jest promieniami wychodzącymi z punktu odbioru odległymi od siebie o stały kąt (kąt mniejszy lub równy 10°), moc akustyczna każdego źródła jest zmienna. Każdy fala akustyczna rozpoczynająca się w punkcie odbioru jest środkiem stożka w przekroju pionowym.

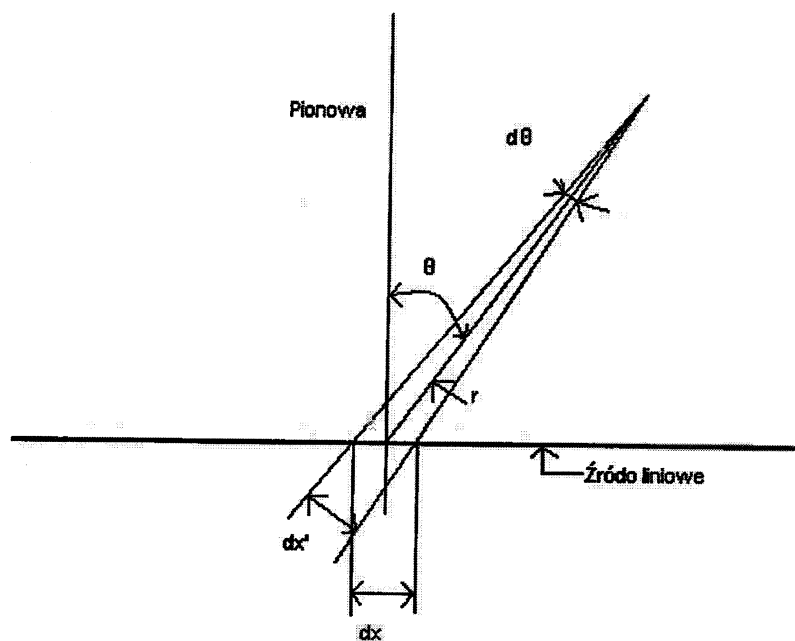
Długość danego elementu źródła liniowego odcięta przez sektor kątowy można obliczyć ze wzoru:

$$dx = \frac{rd\theta}{\cos\theta} \quad (3.5)$$

gdzie:

r – odległość pozioma pokrywająca się z promieniem, który przecina linię źródła w sposób bezpośredni lub po wielokrotnych dyfrakcjach oraz odbiciach.

θ – jest kątem pomiędzy prostopadłą do źródła liniowego a drogą propagacji dźwięku.



rys. nr 10. Założenia metody stożkowej używanej w NMPB

- podział na odcinki równej długości - analizowana droga podzielona jest na źródła punktowe jednakowo od siebie oddalone (krok mniejszy od 20 m, długość odcinka powinna być mniejsza niż połowa odległości źródło – punkt odbioru, moc akustyczna każdego źródła jest stała.
- Podział źródła zmienny: w niektórych przypadkach, szczególnie, gdy punkty odbioru są położone w pobliżu drogi lub jeśli są one szczególnie zamaskowane, może okazać się





niezbędne lokalne modyfikowanie podziału na źródła punktowe, ograniczające odległości pomiędzy sąsiednimi źródłami punktowymi.

Zaleca się usytuowanie źródła punktowego na wysokości 0,5 m ponad powierzchnią drogi.

Emisję ze źródła określa poziom mocy akustycznej przypadający na 1 m długości drogi (jak opisano w następnych rozdziałach), zgodnie z EN 1793-3..

3.5. OKREŚLENIE EMISJI Z DROGI

Metoda obliczania hałasu drogowego „XP S 31-133” może zostać podzielona na dwie części:

- Emisja hałasu,
- Propagacja hałasu.

Rozdział ten jest w szczególności poświęcony określeniu emisji dźwięku w praktyce oraz poszukiwaniu odpowiedzi na wszelkie możliwe pytania użytkowników.

3.5.1. Omówienie metody

Francuska metoda obliczeniowa może być podzielona na dwa etapy: określenie emisji dźwięku wywołanego przez ruch drogowy oraz wyliczenie propagacji hałasu. Podział ten zaznaczony jest na schemacie 1 czerwoną, kropkowaną linią. Schemat ten podsumowuje francuską metodę obliczania hałasu drogowego. Główne działania przedstawione są za pomocą żółtych pól i grubych strzałek. Kolejne działania obrazują błękitne pola i zielone trapezy, zawierające wymagane informacje.

Każde działanie związane z emisją dźwięku przedstawione jest poniżej w formie tabel zawierających następujące informacje:

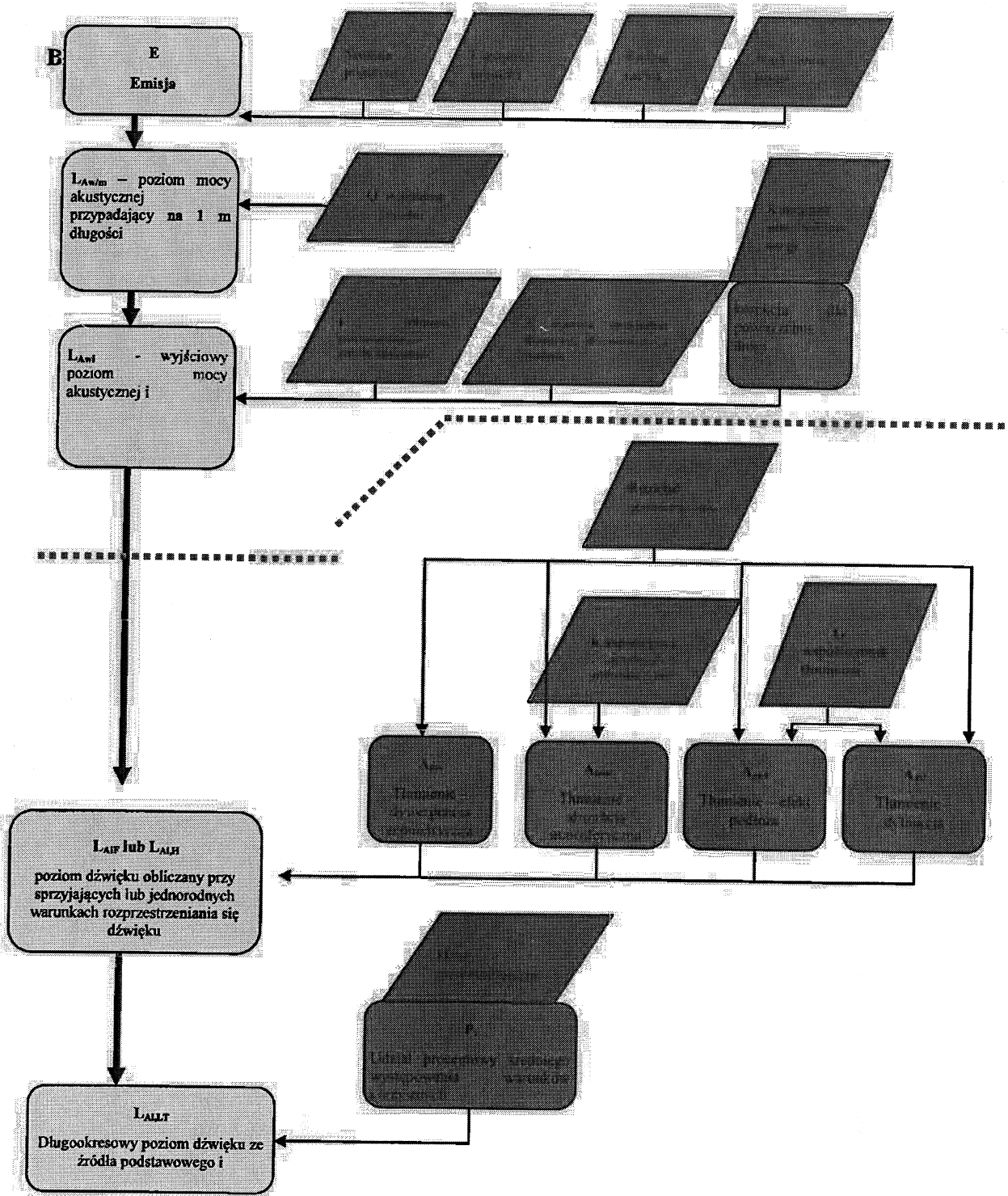
- Podstawowy wzór podkreślony przez kolorowe tło zgodne z kodem kolorów pól na schemacie
- Sformułowanie, definicja i znaczenie parametrów
- Adnotacje dotyczące wartości parametrów (propozycja, rada lub komentarz)

3.5.2. Podział na jednakowe odcinki i przedziały czasowe

W celu stworzenia modelu drogi, w pierwszej kolejności należy ją podzielić na jednakowe odcinki zależności od rodzaju ruchu. Nie oznacza to, że rodzaj ruchu drogowego jest stały, lecz na tym samym odcinku w ciągu dnia można zaobserwować jedynie niewielkie różnice. W rezultacie, droga ze skrzyżowaniem i sygnalizacją świetlną zostanie podzielona na cztery określone odcinki:

- Powyżej sygnalizacji świetlnej, sektor, w którym prędkość jest stała
- Dojazd do sygnalizacji świetlnej, sektor, w którym pojazdy hamują
- Oddalanie się od sygnalizacji świetlnej, sektor, w którym pojazdy przyśpieszają
- Poniżej sygnalizacji świetlnej, sektor, w którym prędkość jest powtórnie stała

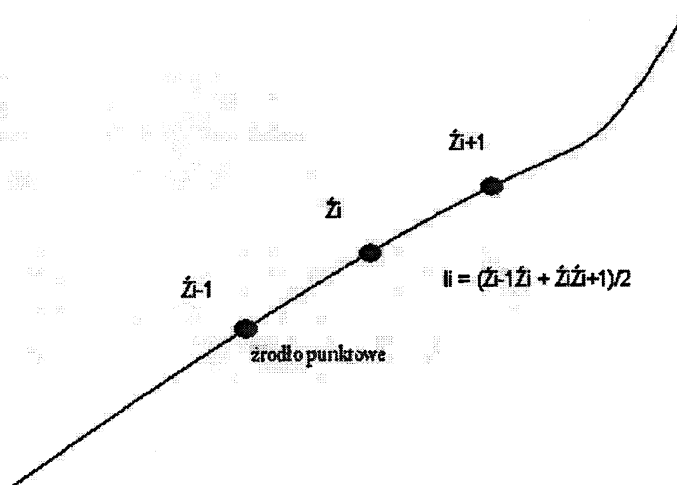
Przykład ten jest szczegółowo omawiany w dalszej części tego rozdziału.



Dla każdego sektora, charakterystyka ruchu musi być określona dla co najmniej jednego z trzech okresów referencyjnych (dzień, wieczór, noc). Jeśli charakterystyka znacznie się różni w trakcie jednego lub więcej z tych okresów, powinien zostać wprowadzony podział na podstawowe okresy. W rezultacie, w przypadku drogi, na której nie występują żadne przeszkody i gdzie ruch koncentruje się w godzinach pomiędzy 7 i 9 oraz 17 i 19 (to znaczy w czasie dnia), ze zmianą rodzaju przepływu (z płynnego na pulsacyjny), należy rozważyć 5 okresów: dzień - od 7 do 9, dzień - od 9 do 17, dzień - od 17 do 19, wieczór oraz noc. Jeżeli różnice dotyczą wyłącznie liczby pojazdów przejeżdżających przez analizowany sektor, nie ma potrzeby dzielenia na podstawowe okresy. W tym wypadku pod uwagę będzie brana całkowita liczba pojazdów.

3.5.3. Emisja

Emisja hałasu drogowego musi być określona przynajmniej dla każdego przedziału czasowego (dzień, wieczór i noc), w oparciu o typowe średnie roczne charakterystyki ruchu.



rys. nr 11. Podział drogi na odcinki

Jeżeli średnie charakterystyki ruchu są stałe podczas tych okresów, emisja jest wyliczana na podstawie średnich warunków ruchu.

Jeżeli charakterystyki ruchu ulegają zmianom podczas tych okresów, musi być zastosowany najkrótszy przedział czasu o takiej samej charakterystyce (np. ten sam rodzaj ruchu drogowego, ta sama struktura ruchu drogowego oraz znikome różnice prędkości co do wymaganej dokładności).



Dla każdego z tych przedziałów czasowych, wyliczana jest emisja dźwięku zgodnie z podstawową metodą. W tym przypadku, średni poziom natężenia dźwięku jest określany przy uwzględnieniu poprawki poziomu dźwięku powierzchni drogi.

Głównymi parametrami wpływającymi na emisję dźwięku z pojedynczego samochodu są:

- Typ samochodu,
- Prędkość,
- Potok ruchu,
- Profil podłużny.

Zależny od częstotliwości, podstawowy, wyjściowy poziom mocy akustycznej L_{Awj} , w dB, złożonego punktowego źródła dźwięku i w danym paśmie oktawowym j jest obliczany przy użyciu następującego równania:

$$L_{Awj} = L_{Aw/m} + 10\log(l_j) + R(j) + \Psi \quad (3.6)$$

gdzie:

- Ψ jest poprawką poziomu dźwięku powierzchni drogi
- l_j jest długością odcinka źródła liniowego odwzorowaną przez składowe źródło punktowe i w metrach
- $R(j)$ jest poprawką w dB dla pasm oktawowego j podaną w Tabeli 1
- $L_{Aw/m}$ jest całościowym poziomem mocy akustycznej na każdy metr wzdłuż pasa drogi przypisanego do określonego źródła liniowego wyrażanym w dB i otrzymywanym z:

$$L_{Aw/m} = 10\text{Log}\left(10_{(E_{lv} + 10\log Q_{lv})/10} + 10_{(E_{hv} + 10\log Q_{hv})/10}\right) + 20 \quad (3.7)$$

gdzie:

E_{lv} oznacza emisję dźwięku dla pojazdów lekkich jak określono w nomogramie 2.,

E_{hv} oznacza emisję dźwięku dla pojazdów ciężkich jak określono w nomogramie 2.,

Q_{lv} oznacza natężenie lekkiego ruchu ulicznego w odnośnym interwale,

Q_{hv} oznacza natężenie ciężkiego ruchu ulicznego w odnośnym interwale,

tabela 19. Znormalizowane przy pomocy charakterystyki częstotliwościowej A spektrum pasma oktawowego hałasu komunikacyjnego obliczone dla trzeciej oktawy spektrum NN 1793-3

j	Pasma oktawowo (w Hz)	Wartości $R_{(j)}$ (w dB)
1	125	-14,5
2	250	-10,2

3	500	- 7,2
4	1000	- 3,9
5	2000	- 6,4
6	4000	- 11,4

3.5.4. Korekcja dla nawierzchni drogi

3.5.4.1. Wprowadzenie

Powyżej pewnej prędkości całkowity hałas emitowany przez pojazd jest zdominowany przez hałas powstający poprzez kontakt opony z nawierzchnią. Zależy on od prędkości pojazdu, typu nawierzchni drogowej (szczególnie w przypadku powierzchni porowatej oraz tłumiącej dźwięk) oraz od typu opony. „Guide du Bruit 1980” zawiera standardy emisji hałasu dla standardowej nawierzchni drogowej. Sugeruje się korzystanie z poniższego schematu przy korekcji dla powierzchni drogi. Schemat ten jest zgodny z postanowieniami EN ISO 11819-1.

3.5.4.2. Definicje typów nawierzchni

- *gładki asfalt (betonowy lub bitumiczny)*: odnośna powierzchnia określona w EN ISO 11819-1. Jest to beton, albo masa bitumiczna gęsta, o gładkiej fakturze i ze szczelinami o maksymalnej wielkości 11 – 16 mm.
- *powierzchnia porowata*: jest to powierzchnia z co najmniej 20% pustych przestrzeni wewnątrz. Powierzchnia musi mieć mniej niż 5 lat (ograniczenie związane z wiekiem bierze pod uwagę tendencję powierzchni porowatych do stopniowej utraty absorpcyjności w miarę upływu czasu i zapadania się pustych przestrzeni. Efekt tłumienia hałasu dla tej powierzchni jest funkcją prędkości pojazdu).
- *beton lub asfalt poślobiony koleinami*: zawiera zarówno beton, jaki i asfalt o szorstkiej powierzchni.
- *plyty chodnikowe o gładkiej fakturze*: płyty chodnikowe położone od siebie w odległości mniejszej niż 5 mm
- *plyty chodnikowe o porowatej fakturze*: płyty chodnikowe położone od siebie w odległości większej lub równej 5 mm.
- *inne*: jest to otwarta kategoria, w której Państwa Członkowskie mogą umieszczać korekcje dla innych rodzajów nawierzchni. Dla zapewnienia zharmonizowanego korzystania i rezultatów dane muszą być otrzymywane zgodnie z normą EN ISO 11819 – 1. Otrzymane dane powinny zostać wpisane do tabeli 3. Dla oszacowania procentowego udziału pojazdów



ciężkich należy użyć indeksu SPBI. Należy użyć 10%, 20%, 30% w celu wyliczenia SPBI dla każdego z trzech zakresów procentowych określonych w tabeli 3 (0 – 15%, 16 – 25% oraz >25%).

tabela 19. Standardowy schemat korekcji dla nawierzchni

Prędkość	< 60 km/h			61 – 80 km/h			81 – 110 km/h		
	0-15%	16-25%	> 25%	0-15%	16-25%	> 25%	0-15%	16-25%	> 25%
% pojazdów ciężkich									
Typ nawierzchni									

Zalecany schemat korekcji

tabela 20. Proponowany schemat korekcji dla rodzaju nawierzchni

Kategoria nawierzchni drogowej	Współczynnik korekcji poziomu hałasu Ψ		
	0 – 60 km/h	61 – 80 km/h	81 – 130 km/h
Nawierzchnia porowata	- 1 dB	- 2 dB	- 3 dB
Gładki asfalt (betonowy lub bitumiczny)	0 dB		
Beton lub asfalt poźłobiony koleinami	+ 2 dB		
Płyty chodnikowe o gładkiej fakturze	+ 3 dB		
Płyty chodnikowe o porowatej fakturze	+ 6 dB		

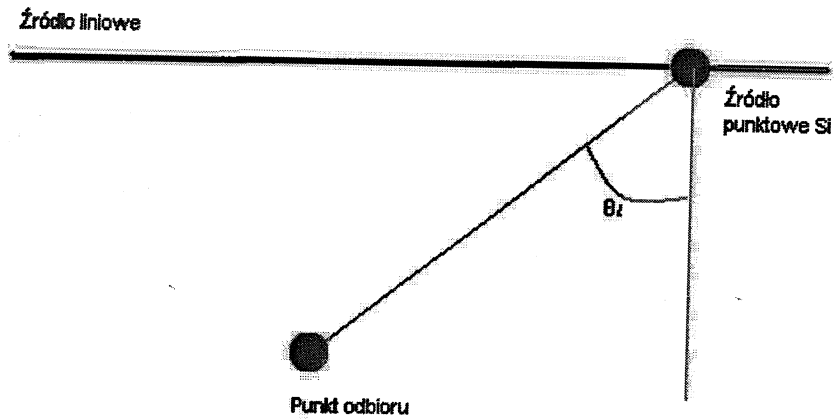
3.5.5. Kierunkowość źródła

3.5.5.1. Kierunkowość w płaszczyźnie poziomej

$$D_{ni} = 10 \log [4 \cos(\theta_i) / \pi] \text{ w dB} \quad (3.8)$$

gdzie:

θ_i - jest kątem pomiędzy linią źródło – punkt odbioru a a normalną przechodzącą przez źródło punktowe do źródła liniowego



rys. nr 12. Przekrój poprzeczny

3.5.5.2. Kierunkowość w płaszczyźnie pionowej

$$D_w = 40/3[(2\sin(2\varphi_i))/3 - \sin \varphi_i] \log[(f_c + 600)/200] \text{ dla } \varphi_i > 0$$

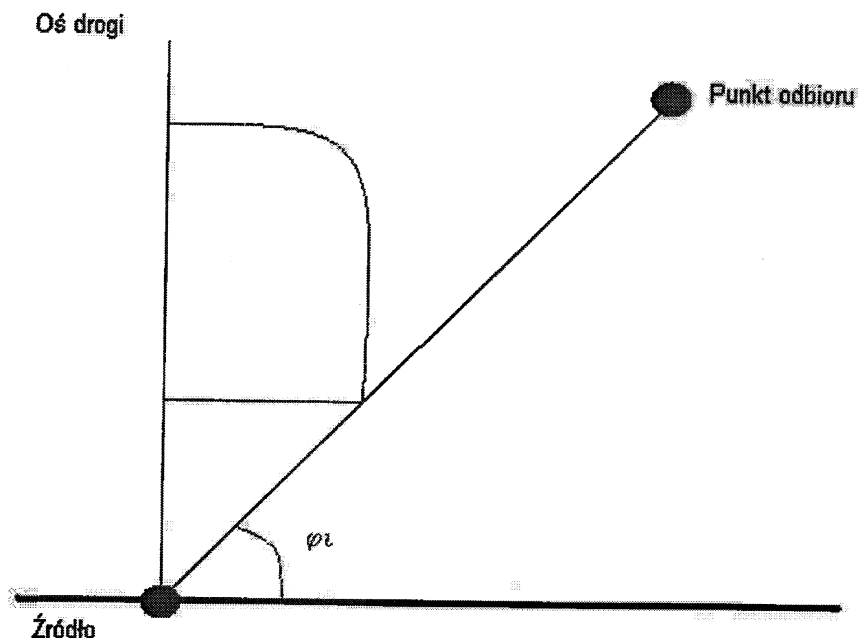
$$D_w = 0 \text{ dla } \varphi_i \leq 0$$

(3.9)

gdzie:

φ_i - jest kątem międzypionowym odwzorowaniem pierwszego segmentu trasy propagacji pomiędzy źródłem S_i a punktem odbioru R, a przekrojem pionowym linii źródła

f_c - jest częstotliwością środkową dla pasm oktawowych [hz]



rys. nr 13. Przekrój pionowy

3.5.6. Profile podłużne

Dźwięk emitowany przez samochody poruszające się po płaskiej drodze jest inny niż po drodze z nachyleniem. Dlatego też wyróżnia się trzy profile podłużne drogi:

- Trasa pozioma – nachylenie w kierunku ruchu jest mniejsze niż 2%,
- Trasa wznosząca się – nachylenie skierowane ku górze w kierunku ruchu jest większe niż 2%,
- Trasa opadająca – nachylenie skierowane ku dołowi w kierunku ruchu jest większe niż 2%,

3.5.7. Pasy ruchu

Do obliczeń komputerowych niezbędne jest dokładne usytuowanie każdego z pasów ruchu (w płaszczyznach x, y i z). Poszczególne oprogramowania stosują różne rozwiązania w tej dziedzinie.

Jednakże źródło dźwięku musi być zawsze umiejscowione 0,5m nad powierzchnią drogi po środku pasa ruchu.

Uwaga: Zwykle programy komputerowe automatycznie umiejscawiają źródła dźwięku (np. gdy podana jest oś drogi).



3.5.8. Natężenie ruchu (Q)

Natężenie ruchu zwykle podawane jest jako liczba pojazdów poruszających się po całej drodze. Większość programów komputerowych rozkłada natężenie ruchu równo na każdy z pasów ruchu. Niektóre programy umożliwiają wprowadzenie gęstości ruchu dla poszczególnych pasów ruchu, w innych dana ta może być obligatoryjna.

Jednakże powinny być dostarczone wyróżnione wartości :

- Pojazdy lekkie i ciężkie (pojazdy ciężkie $\geq 3,5$ t netto) oraz
- Przedziały czasu (dzień, wieczór i noc)

Uwaga: Natężenie ruchu zwykle podawane jest jako liczba pojazdów na godzinę (w takich przypadkach prędkość powinna być podawana w km/h). IM-RT zezwala na stosowanie liczby pojazdów na sekundę (w takich przypadkach prędkość powinna być podawana w m/s).

3.5.9. Prędkość (V)

W celu uproszczenia, parametr „prędkość pojazdu” jest w tej metodzie używany dla całego zakresu prędkości (od 20 do 120 km/h) wyróżniony dla lekkich i ciężkich lekkich i ciężkich (pojazdy ciężkie $\geq 3,5$ t netto).

Według IM-RT, prędkość (V) jest definiowana jako prędkość środkowa V50 (prędkość środkowa V50 oznacza prędkość, którą przekracza 50 % pojazdów). Można również stosować prędkość środkową w kombinacji z odchyleniem standardowym prędkości.

Wszystkie średnie prędkości, wyliczone na podstawie którejkolwiek w ww. metod, które okażą się niższe niż 20 km/h, są traktowane jako prędkość 20 km/h.

3.6. PROPAGACJA DŹWIĘKU

3.6.1. Lokalizacja punktu odbioru

Punkt odbioru O powinien być położony na wysokości $4 \pm 0,2$ m nad poziomem terenu.

Metoda obliczeniowa NMPB zakłada propagację hałasu w polu swobodnym. Punkty odbioru należy usytuować w odległości 2 m od elewacji budynku. Wpływ fasad budowli na poziom całkowity dźwięku jest uwzględniany poprzez dodanie do obliczonego już poziomu dźwięku 3 dB lub poprzez wykonanie obliczeń z uwzględnieniem zjawiska odbicia od płaszczyzn pionowych.

3.6.2. Geometria i opis terenu

Digitalizacja wyników własności geometrycznych terenu w trójwymiarowym schemacie rozpatrywanego terenu. Schemat powinien zawierać przynajmniej następujące obiekty służące do opisu terenu:

- Poziomice terenu lub punkty wysokości opisujące zmiany poziomu terenu
- Drogi
- Sztuczne przeszkody: budynki i ściany



Bezwzględna wysokość „z” określająca wysokość terenu powyżej bezwzględnego „0” przypisane do każdej pozycji punktu wysokości. Oprogramowanie wykorzystuje te informacje do wyliczenia cyfrowego modelu terenu. Wyższe partie terenu są przeszkodą dla propagacji dźwięku i oprogramowanie powinno to uwzględnić.

Zależnie od aktualnego zaprogramowania, droga jest linią składającą się z elementów, które odnoszą się albo do ustalonego usytuowania źródła lub do linii referencyjnej, z której program komputerowy wylicza aktualne usytuowanie źródła, lub też jest złożonym elementem, który odpowiada całej infrastrukturze drogowej na której program umieszcza źródło(a) liniowe. W zależności od decyzji programisty, wymagane są różne dane wejściowe. Należy zanotować, że NMPB/XP S 31-133 traktuje płaszczyznę drogi jako powierzchnię odbijającą na potrzeby obliczania propagacji (nie należy mylić z poprawką ze względu na rodzaj powierzchni dla danych dotyczących emisji dźwięku !). Ważne jest natomiast zapewnienie możliwości określenia całkowitej szerokości odbicia od płaszczyzny drogi.

Wszystkie sztuczne przeszkody inne niż rzeczywiste przeszkody terenowe, są przeszkodami dla propagacji dźwięku. NMPB/XP S 31-133 bierze pod uwagę zarówno dyfrakcję jak i odbicie. W przypadku odbicia, oprogramowanie musi zapewniać narzędzia umożliwiające przypisanie współczynnika absorpcji akustycznej dla odbijającej przeszkody. Należy odnotować, że standardowo NMPB/XP S 31-133 oblicza odbicie od przeszkód pionowych. Wyliczanie odbicia od innych przeszkód wymaga algorytmu skanowania trójwymiarowego (3D).

3.6.3. Elementarna trasa propagacji

Wszystkie obecnie stosowane metody obliczeń propagacji hałasu w terenie otwartym są metodami geometrycznymi. Polegają one na poszukiwaniu trasy propagacji pomiędzy źródłem a punktem odbioru. Trasa propagacji przedstawia więc tor przemieszczania się energii akustycznej.

Należy wziąć pod uwagę dwa rodzaje tras propagacji:

1. Trasę bezpośrednią od źródła do punktu obserwacji: jest to trasa liniowa w rzucie na płaszczyznę poziome, uwzględniająca zjawisko ugięcia i/lub odbicia od powierzchni terenu.
2. Trasę odbitą na przeszkodach pionowych (lub o nieznacznym pochyleniu): tego typu trasy oparte są na metodzie źródeł pozornych.

Jak wspomniano wcześniej, podstawowa różnica pomiędzy warunkami jednorodnymi, a korzystnymi propagacji, leży w kształcie kierunku trasy propagacji; a więc liniowym jeśli chodzi o warunki jednorodne oraz liniowym, zagiętym w stronę podłoża, dla warunków korzystnych.

Podczas analizowania przebiegu trasy propagacji w metodzie NMPB zakłada się liniowość trasy podczas padania na powierzchnię gruntu bądź przeszkodą. Krzywiznę trasy propagacji uwzględnia się natomiast w zależnościach dotyczących wpływu rodzaju podłoża oraz zjawiska dyfrakcji. Taki sposób podejścia do zagadnienia jest jednocześnie zgodny z normą ISO 9613-2.

3.6.4. Odchyłka geometryczna

Tłumienie spowodowane rozbieżnością geometryczną uwzględnia fakt, że energia fali akustycznej słabnie wraz z odległością od źródła.

Dla źródła punktowego, z którego energia jest wypromieniowana kuliście, tłumienie to można obliczyć ze wzoru:



$$A_{div} = 10 \log(4\pi d^2) + 11 \approx 20 \log(d) + 11 \quad (3.10)$$

d – jest bezpośrednią odległością między źródłem a punktem odbioru.

3.6.5. Absorbcja atmosferyczna

W czasie propagacji fal akustycznych w atmosferze, efekt lepkości, dyfuzji termicznej oraz wpływ relaksacji wibracji i obrotowości cząstek powietrza, prowadzi do absorbcji dźwięku przez powietrze. W metodzie tej absorbcja obliczona jest zgodnie z normą ISO 9613-1 w zależności od częstotliwości dźwięku, temperatury otoczenia i wilgotności względnej powietrza.

Dla długości propagacji d , tłumienie to oblicza się ze wzoru:

$$\Delta_{atm} = A d / 1000 \quad (3.11)$$

A – absorbcja atmosferyczna obliczona zgodnie z normą ISO 9613-1 [dB/km]

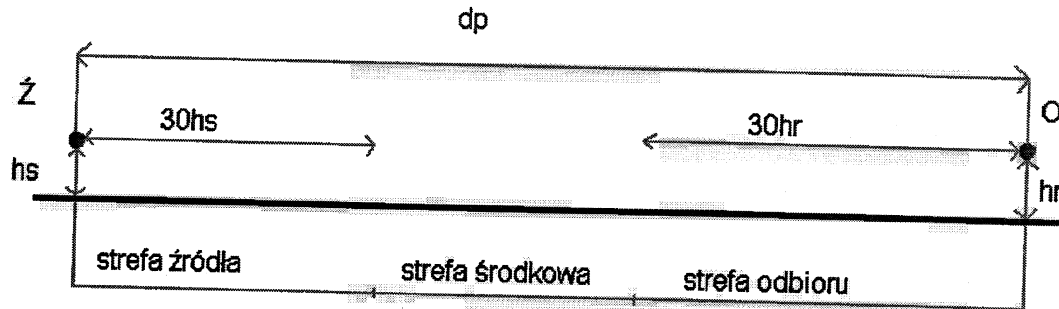
3.6.6. Wpływ powierzchni ziemi

Tłumienie przez grunt A_{gr} jest głównie wynikiem interferencji fali akustycznej odbitej od powierzchni gruntu i fali rozprzestrzeniającej się bezpośrednio od źródła do punktu odbioru.

Zakrzywienie drogi propagacji ku powierzchni ziemi (propagacja z wiatrem) gwarantuje, że tłumienie jest głównie określone przez powierzchnię gruntu w pobliżu źródła i w pobliżu punktu odbioru. Ta metoda obliczania wpływu gruntu ma zastosowanie tylko do gruntu w przybliżeniu płaskiego poziomego lub o stałym nachyleniu. Dla tłumienia przez grunt (patrz rysunek 1) określono trzy charakterystyczne strefy:

- a) strefę źródła, rozciągającą się od źródła w kierunku punktu odbioru na odległość $30 h_s$, przy czym odległość maksymalna wynosi d_p (h_s jest wysokością usytuowania źródła, a d_p rzutem (na płaszczyznę gruntu) odległości między źródłem i punktem odbioru);
- b) strefę odbioru, rozciągającą się od punktu odbioru w kierunku źródła na odległość $30 h_r$, przy czym odległość maksymalna wynosi d_p (h_r jest wysokością usytuowania punktu odbioru);
- c) strefę środkową, rozciągającą się pomiędzy strefą źródła i strefą odbioru. Jeśli $d_p < (30 h_s + 30 h_r)$, to strefy źródła i odbioru nakładają się i strefa środkowa nie istnieje.

Zgodnie z tym schematem, tłumienie gruntu nie wzrasta z długością strefy środkowej, lecz zależy przede wszystkim od właściwości strefy źródła i strefy odbioru.



rys. nr 14. Trzy charakterystyczne strefy do określenia tłumienia gruntu

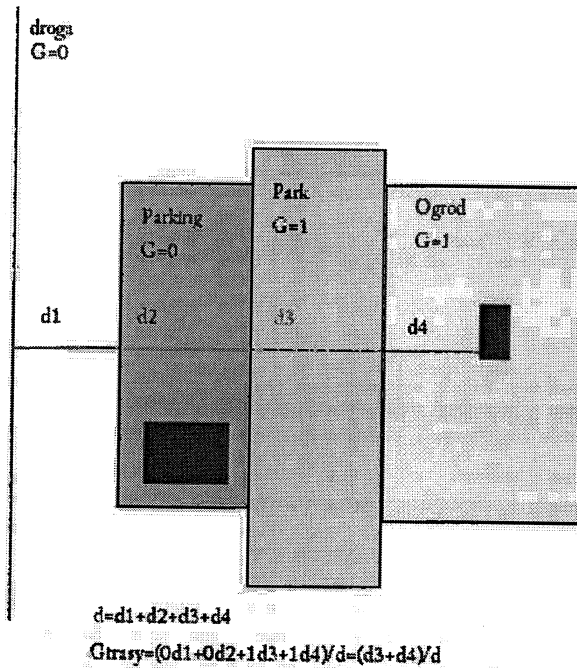
Właściwości akustyczne każdej strefy gruntu są określone przez wskaźnik gruntu G . Określono trzy następujące kategorie powierzchni odbijającej.

- Grunt twardy**, który obejmuje bruk, wodę, lód, beton i wszystkie inne powierzchnie o małej porowatości. Na przykład ubita ziemia, która często występuje na obszarach przemysłowych, może być uważana za grunt twardy. Dla gruntu twardego, $G=0$.
UWAGA 10 Zaleca się przypomnienie, że niniejszy arkusz normy ISO 9613 nie obejmuje warunków inwersji nad wodą.
- Grunt porowaty**, który obejmuje powierzchnię ziemi pokrytą trawą, drzewami lub inną zielenią i wszystkie inne powierzchnie gruntu odpowiednie dla rozwoju roślinności, np. pola uprawne. Dla gruntu porowatego $G=1$.
- Grunt mieszany**: jeśli powierzchnia składa się zarówno z gruntu twardego, jak i porowatego, to G przyjmuje się z zakresu od 0 do 1, przyjmując wartość równą ułamkowi gruntu porowatego.

3.6.6.1. Obliczenia tłumienia dla propagacji w warunkach korzystnych

W celu obliczenia tłumienia przez grunt dla określonego pasma oktawowego, ze wzorów podanych w tabelicy 3, najpierw oblicza się składową tłumienia A_s dla strefy źródła, określoną współczynnikiem tłumienia gruntu G_s , następnie składową tłumienia A_r dla strefy punktu odbioru, określoną współczynnikiem tłumienia gruntu G_r i składową tłumienia A_m dla strefy środkowej opisaną współczynnikiem tłumienia gruntu G_m . (Alternatywnie, wartości funkcji a' , b' , c' i d' podane w tabelicy 3 można otrzymać bezpośrednio z wykresów podanych na rysunku 2). Całkowite tłumienie przez grunt należy określić ze wzoru (9):

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (3.12)$$



rys. nr 15. Określenie współczynnika G_{trasy} wzdłuż drogi propagacji (przykład)

W przypadku obliczeń tłumienia spowodowanego chłonnością terenu dla warunków jednorodnych meteorologicznych, gdzie kierunki propagacji są liniowe, nie ma potrzeby podziału terenu na strefy. Przyjmuje się zatem współczynnik terenu G , jeden dla całości propagacji w sposób pokazany powyżej. Jeżeli na drodze propagacji dźwięku znajdują się różne rodzaje podłoża uśrednioną wartość należy obliczyć ze wzoru:

$$G_{trasy} = (G_1 d_1 + G_2 d_2 + \dots + G_i d_i) / d \quad (3.13)$$

gdzie:

$$d_1 + d_2 + \dots + d_i = d \text{ (odległość bezpośrednia propagacji)}$$

tabela 21. Wzory stosowane do obliczenia składowych tłumienia przez grunt A_s , A_r i A_m w pasmach oktaowych

Częstotliwość środkowa pasma oktaowego Hz	A_s lub A_r ¹⁾ dB	A_m dB
63	- 1,5	- 3 q ²⁾
125	- 1,5 + $G \times a'(h)$	- 3 q (1 - G_m)
250	- 1,5 + $G \times b'(h)$	
500	- 1,5 + $G \times c'(h)$	
1000	- 1,5 + $G \times d'(h)$	
2000	- 1,5 (1 - G)	
4000	- 1,5 (1 - G)	
8000	- 1,5 (1 - G)	
<p>UWAGI</p> <p>$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \times d_p^2})$</p> <p>$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50})$</p> <p>$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/50})$</p> <p>$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d_p/50})$</p> <p>1) Do obliczenia A_s przyjmuje się $G = G_s$ i $h = h_s$. Dla obliczenia A_r przyjmuje się $G = G_r$ i $h = h_r$. Wartości G dla różnych powierzchni gruntu podano w 7.3.1.</p> <p>2) $q = 0$ dla $d_p \leq 30(h_s + h_r)$</p> <p>$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p}$ dla $d_p > 30(h_s + h_r)$</p> <p>gdzie d_p jest rzutem (na płaszczyznę gruntu) odległości między źródłem i punktem odbioru, w metrach.</p>		

Obniżenie poziomu dźwięku wynikające z rodzaju terenu jest głównie rezultatem interferencji pomiędzy dźwiękiem odbitym od podłoża i dźwiękiem przemieszczającym się od źródła w kierunku punktu odbioru. Jest więc to zjawisko fizycznie związane z naturą terenu, nad którym odbywa się propagacja.

Jednocześnie zależne jest ono w znacznym stopniu od warunków meteorologicznych panujących podczas propagacji. Od nich to zależy bowiem krzywizna kierunku trasy przebiegu fali akustycznej



nad terenem, dając bardziej lub mniej widoczny efekt tłumienia odpowiednio na terenach bliskich źródła, bliskich punktowi odbioru lub w strefie pośredniej.

W konsekwencji, omawiana metoda opisuje dwa różne sposoby bazujące na tych samych zasadach, obliczania spadku hałasu wywołanego efektem podłoża, dla warunków atmosferycznych korzystnych oraz dla warunków jednorodnych.

Obliczenia wykonywane dla warunków korzystnych są w pełni zgodne a normą ISO 9613-2.

3.6.6.2. Obliczenia tłumienia dla propagacji w warunkach jednorodnych

Obniżenie poziomu hałasu wynikające a wpływu rodzaju terenu w warunkach jednorodnych jest więc obliczane według następujących zależności:

Jeżeli $G_{trasy} \neq 0$

$$A_{sol,H} = -10 \log \left[4 \frac{k^2}{d_p^2} \left(z_s^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_s + \frac{C_f}{k} \right) \left(z_o^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_o + \frac{C_f}{k} \right) \right] \geq -3(1 - G_{trasy}) \quad (3.14)$$

gdzie:

$$k = 2\pi f/c$$

f_c - jest częstotliwością środkową rozważanego pasma oktawowego (Hz) (25,250, 500, 1000, 2000, 4000 Hz)

c - prędkość dźwięku w powietrzu przyjmowana jako 340 m/s.

$$C_f = d_p \frac{1 + 3\omega d_p e^{-\sqrt{\omega} d_p}}{1 + \omega d_p} \quad (3.15)$$

ω - współczynnik określany poniższą zależnością w funkcji częstotliwości (f)

oraz współczynnika G_{trasy}

$$\omega = 0,0185 \frac{f^{2,5} G_{trasy}^{2,6}}{f^{1,5} G_{trasy}^{2,6} + 1,3 f^{0,75} G_{trasy}^{1,3} + 1,16 \cdot 10^6} \quad (3.16)$$

Jeżeli $A_{sol,H}$ jest mniejsze niż $-3(1 - G'_{trasy})$ należy przyjąć $A_{sol,H} = -3(1 - G'_{trasy})$.

Wyrażenie $-3(1 - G'_{trasy})$ uwzględnia fakt, że przy znacznym oddaleniu od siebie źródła i punktu odbioru, pierwsze odbicie w rejonie źródła nie ma miejsca od płaszczyzny jezdni lecz dopiero w terenie naturalnym.

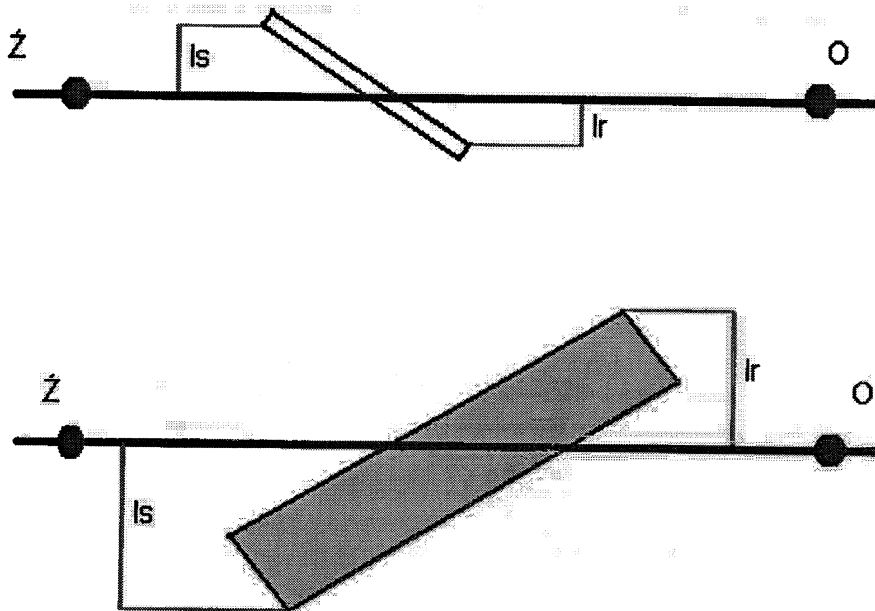
Jeżeli $G_{trasy} = 0$ wówczas $A_{sol,H} = -3$ dB.

3.6.7. Dyfrakcja

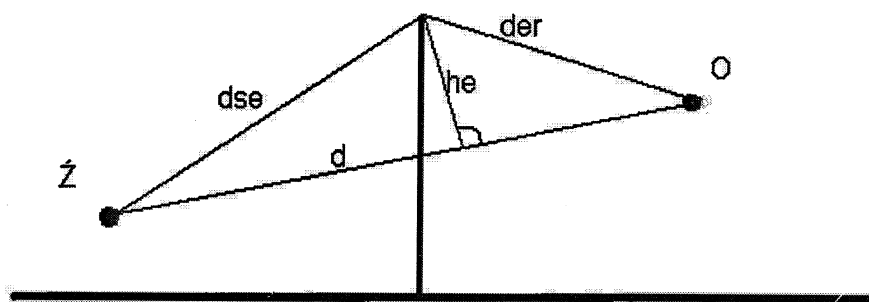
Generalnie należy uwzględniać ugięcie fali akustycznej na krawędziach każdej z przeszkód na trasie propagacji od źródła do odbiorcy. Jeśli jednak trasą propagacji przebiega "dostatecznie wysoko", powyżej krawędzi uginającej, nie ma potrzeby uwzględniania tego zjawiska według zasad opisanych poniżej.

Należy wówczas uwzględnić trasę bezpośredniej propagacji, ze szczególnym naciskiem na zjawisko wpływu rodzaju podłoża.

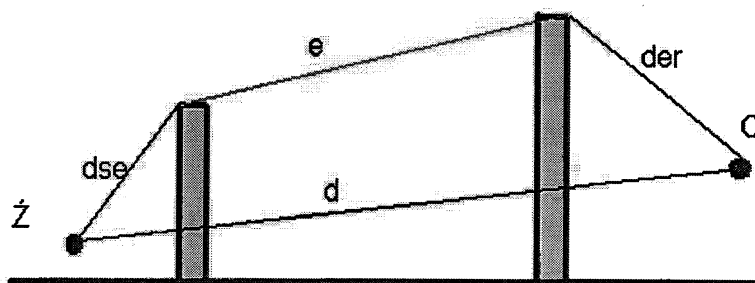
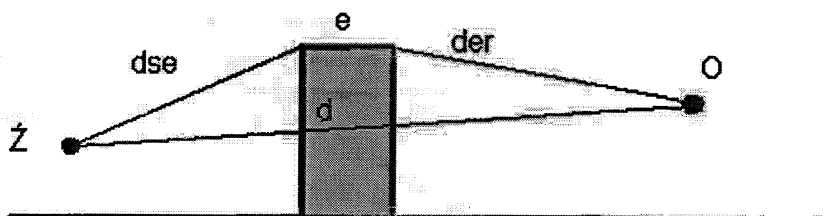
W praktyce stosuje się porównanie różnicy przebiegu tras do wartości $\lambda/20$ dla 500 Hz tj. do wartości -0,034 m. Jeśli różnica przebiegu tras jest mniejsza niż -0,034 m, w obliczeniach zjawiska dyfrakcji nie uwzględnia się założenia, że źródło i punkt odbioru "widzą się wzajemnie", a obliczenia dla wszystkich pasm oktawowych przebiegają zgodnie a punktem poprzednim. W przeciwnym przypadku należy wykonać obliczenia zgodnie z zasadami podanymi poniżej dla każdego z pasm oktawowych. Reguła ta obowiązuje dla każdego z przypadków warunków meteorologicznych propagacji (jednorodnych czy korzystnych, zarówno dla dyfrakcji pojedynczej jak i wielokrotnej).



rys. nr 16 Przeszkody pomiędzy źródłem a punktem odbioru



rys. nr 17. Dyfrakcja pojedyncza



rys. nr 18. Dyfrakcja podwójna



Dla czystej dyfrakcji, bez uwzględniania wpływu rodzaju terenu, tłumienie hałasu jest określone z zależności:
jeżeli $(40/\lambda)C''\delta \geq -2$, wówczas:

$$\Delta_{dif} = 10 \log[3 + (40/\lambda)C''\delta] \quad (3.17)$$

- jeżeli $(40/\lambda)C''\delta < -2$, to $\Delta_{dif} = 0$ dB

gdzie:

λ - jest długością fali dla środkowej częstotliwości rozpatrywanego pasma oktawowego, m,

δ - jest różnicą trasy propagacji pomiędzy trasą ugiętą a trasą bezpośrednią, m

C'' - jest współczynnikiem uwzględniającym wielokrotność zjawiska dyfrakcji:

$C'' = 1$ dla pojedynczego ugięcia oraz:

$$C'' = \frac{1 + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)} \quad (3.18)$$

dla dyfrakcji wielokrotnej, gdzie e (m) jest odległością całkowitą pomiędzy skrajnymi punktami ugięcia.

Obliczone wartości Δ_{dif} mają jednak pewne ograniczenia:

- jeżeli $\Delta_{dif} < 0$, wówczas należy przyjąć $\Delta_{dif} = 0$ dB,

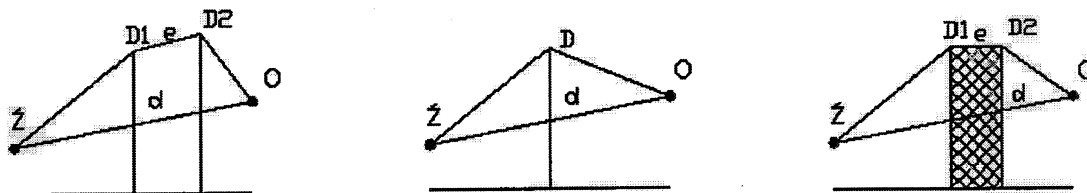
- jeżeli $\Delta_{dif} > 25$, wówczas przyjmuje się $\Delta_{dif} = 25$ dB dla ugięcia na krawędzi poziomej,

Brak jest górnego ograniczenia wartości dla ugięcia na krawędzi pionowej (dyfrakcja boczna).

3.6.7.1. Obliczanie różnicy tras propagacji

Różnica tras propagacji δ jest obliczana w płaszczyźnie pionowej, zawierającej źródło i punkt odbioru według podanych poniżej schematów, w funkcji analizowanej sytuacji:

- warunki jednorodne



rys. nr 19. Sposób obliczania różnicy tras propagacji dla dyfrakcji pojedynczej i dyfrakcji wielokrotnej w warunkach jednorodnych (D, D1, D2 - punkty powodujące dyfrakcję)

Dyfrakcja jednokrotna:

$$\delta = \tilde{Z}D + DO - d \quad (3.19)$$

Dyfrakcja wielokrotna

$$\delta = \tilde{Z}D1 + e + D2O - d \quad (3.20)$$

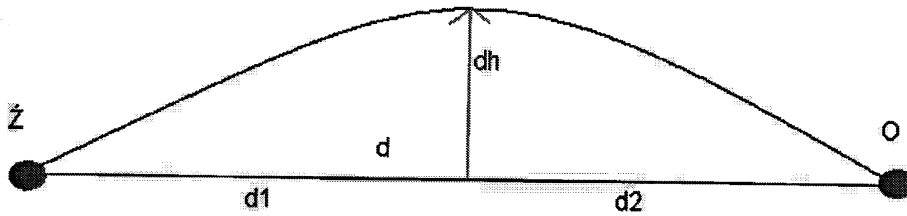
- warunki korzystne

W warunkach korzystnych efekt krzywizny trasy (kierunku) propagacji powoduje, że punkt A (przecięcia trasy bezpośredniej z powierzchnią przeszkody powodującej dyfrakcję) przemieszcza się ku górze o wielkość Δh .

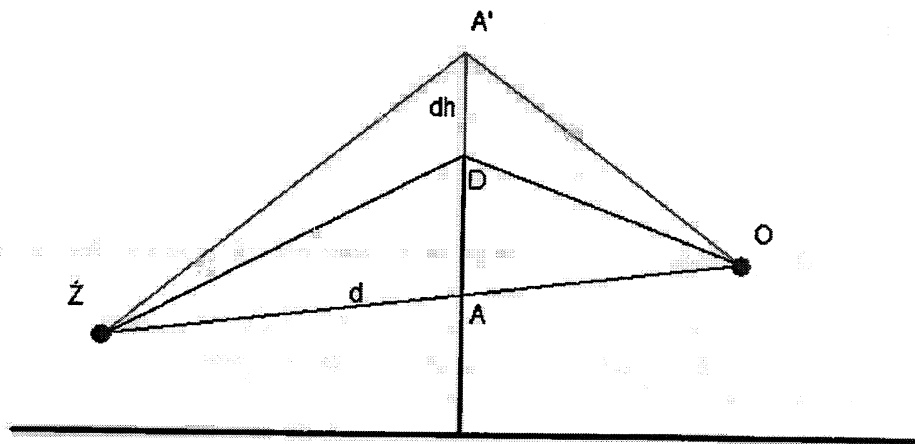
Wielkość Δh wyrażoną w metrach oblicza się zgodnie z równaniem:

$$\Delta h = \frac{d_1 d_2}{2\gamma} \quad (3.21)$$

gdzie: γ - reprezentuje promień krzywizny trasy akustycznej; wielkość ta (γ) jest przyjmowana jako $8d$, gdzie d jest odległością bezpośrednią propagacji wyrażoną w metrach. Promień krzywizny γ nie może być mniejszy niż 1000 m. Jeżeli $\gamma \leq 1000$ m, wówczas należy przyjąć $\gamma = 1000$ m.

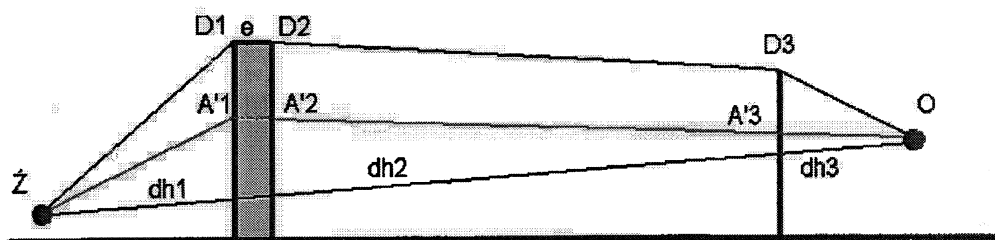


rys. nr 20.



rys. nr 21

$$\dot{Z}D + DO - (\dot{Z}A' + A'O)$$



rys. nr 22.

$$\delta = \sqrt{ZD1 + D1D2 + D2D3 + D3O} - (\sqrt{ZA'1 + A'1A'2 + A'2A'3 + A'3O})$$

Jeżeli krzywizna trasy powoduje, że punkt \dot{Z} (źródło) i punkt odbioru O „widzą się” bezpośrednio, wówczas różnica tras jest pomijana.

Dla przypadku wielokrotnych dyfrakcji przy obliczeniach różnicy tras δ należy zastosować poniższe zasady:

- określić położenie punktu A_s' - wychodząc z obliczonej wielkości A_{bs} w stosunku do prostej ZO dla każdego elementu powodującego dyfrakcję,
- wyeliminować wierzchołki, które prowadzą do dyfrakcji negatywnej (widzenie bezpośrednie),
- określić najkrótszą trasę promienia łączącego źródło z punktem odbioru, przechodzącą przez każdą z uwzględnianych krawędzi powodujących dyfrakcję

3.6.7.2. Obliczenie wielkości tłumienia spowodowanego dyfrakcją

Tłumienie hałasu spowodowane zjawiskiem dyfrakcji uwzględnia efekt rodzaju terenu po stronie źródła oraz po stronie punktu odbioru. Obliczenia dokonywane są według następujących zależności ogólnych:

$$A_{dif} = \Delta_{dif(\dot{Z}, O)} + \Delta_{sol(\dot{Z}, D)} + \Delta_{sol(D, O)} \quad (3.22)$$

gdzie:

$\Delta_{dif(\dot{Z}, O)}$ - jest tłumieniem wynikającym z dyfrakcji pomiędzy źródłem Z, a punktem odbioru O,

$\Delta_{sol(\dot{Z}, D)}$ - jest tłumieniem wynikającym z rodzaju terenu po stronie źródła, związanym ze zjawiskiem dyfrakcji, po stronie źródła,

$\Delta_{sol(D, O)}$ - jest tłumieniem wynikającym z rodzaju terenu po stronie punktu odbioru, związanym ze zjawiskiem dyfrakcji, po stronie obserwatora.

Obliczenie wielkości $\Delta_{sol(\dot{Z}, D)}$:



$$\Delta_{sol(Z,D)} = -20 \log \left[1 + \left(10^{\frac{-A_{sol(Z,D)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{-(\Delta_{dif(Z,O)} - \Delta_{dif(Z,O)})}{20}} \right] \quad (3.23)$$

gdzie:

$A_{sol(Z,D)}$ - jest tłumieniem wynikającym z rodzaju terenu pomiędzy źródłem Z i punktem dyfrakcji D; dla płaszczyzny jezdni, w sytuacji gdy wierzchołek dyfrakcji nie jest nadzbyt oddalony, można przyjąć to wielkość jako -3 dB (w warunkach jednorodnych i korzystnych),

W pozostałych przypadkach wielkość $A_{sol(Z,D)}$, oblicza się zgodnie z metodologią dotyczącą wpływu rodzaju terenu dla przypadku korzystnej propagacji, lub warunków jednorodnych z zachowaniem następujących zależności:

$$z_0 = z_{D,Z}$$

$$d = ZD$$

dla warunków korzystnych:

$$G_Z = 0$$

$$G_p = G_o = G'_{trasy} - \text{obliczonej pomiędzy } Z \text{ i } D,$$

dla warunków jednorodnych:

$$G = G'_{trasy} - \text{obliczone pomiędzy } Z \text{ i } D.$$

$\Delta_{dif(Z,O)}$ - jest tłumieniem wynikającym z czystej dyfrakcji pomiędzy źródłem pozornym Z' i punktem odbioru O.

$\Delta_{dif(Z,O)}$ - jest tłumieniem wynikającym z czystej dyfrakcji pomiędzy źródłem Z i punktem odbioru O.

Obliczenie wielkości $\Delta_{sol(D,O)}$:

$$\Delta_{sol(D,O)} = -20 \log \left[1 + \left(10^{\frac{-A_{sol(D,O)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{-(\Delta_{dif(Z,O)} - \Delta_{dif(Z,O)})}{20}} \right] \quad (3.24)$$

gdzie:

$A_{sol(D,O)}$ - jest tłumieniem wynikającym z efektu terenu pomiędzy punktem dyfrakcji D, a punktem odbioru O, obliczonym dla przypadku warunków korzystnych, lub warunków jednorodnych zgodnie z metodologią dotyczącą wpływu rodzaju terenu, przy następujących

założeniach:

$$z_z = z_{D,O}$$

$$d = DO$$

Dla warunków korzystnych:

$$G_Z = G_p = G_o = G_{trasy} - \text{obliczone pomiędzy } D \text{ i } O.$$

Dla warunków jednorodnych:

$G = G_{\text{trasy}}$ - obliczone pomiędzy D i O

W tym przypadku nie uwzględnia się współczynnika G'_{trasy} bowiem źródłem nie jest już droga, a punkt dyfrakcji

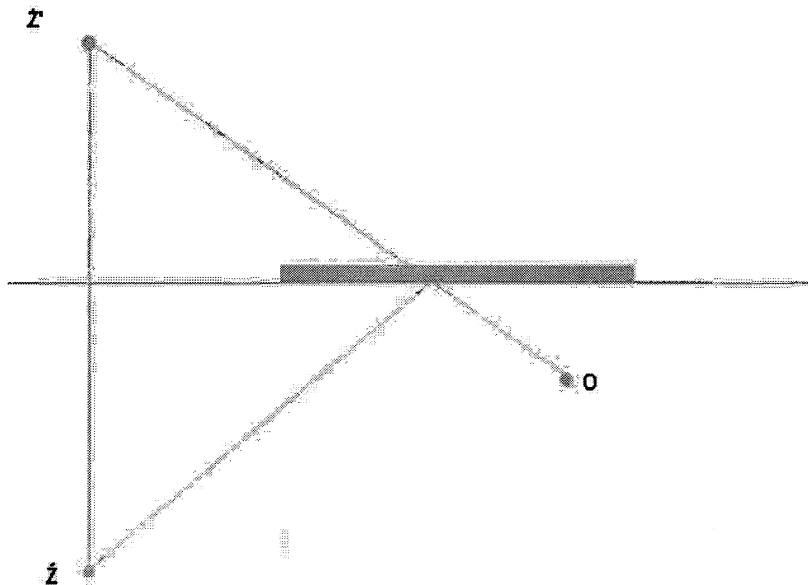
Tak więc to współczynnik G_{trasy} uwzględniany w obliczeniach wpływu terenu jako element zmniejszający w postaci „-3(1- G_{trasy})

$\Delta_{\text{dif}}(Z, O)$ - jest tłumieniem wynikającym z czystej dyfrakcji pomiędzy źródłem Z i punktem odbioru pozornym O'.

$\Delta_{\text{dif}}(Z, O)$ - jest tłumieniem wynikającym z dyfrakcji pomiędzy źródłem Z i punktem odbioru O.

3.6.8. Odbicia od powierzchni pionowych

W badaniach geometrycznych propagacji dźwięku, nie jest możliwe rozróżnienie małych powierzchni od dużych, jednak przy padaniu fal akustycznych na krawędzie ścian lub ekranów, część energii ulegająca dyfrakcji powoduje przeszacowanie poziomu dźwięku. W celu zmniejszenia tego problemu, użyto algorytmu dyfrakcji zwrotnej.



rys. nr 23. Źródło rzeczywiste i pozorne dla odbicia od przeszkody



Odbicia od pionowych przeszkód traktowane jako propagacja hałasu od źródeł poziomych. W taki sposób rozważane odbicia od elewacji budynków oraz ekranów akustycznych

Jeżeli L_w jest poziomem mocy źródła Z , a α jest współczynnikiem absorpcji akustycznej powierzchni przeszkody, poziom mocy źródła poziomego Z' jest równy:

$$L_{w'} = L_w + 10 \log(1 - \alpha) \quad (3.25)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

W dalszej kolejności, dla źródła pozornego stosuje się obliczenia tłumienia wynikającego z propagacji na trasie: źródło pozorne-punkt odbioru, tak jak dla trasy bezpośredniej z zachowaniem wszystkich omówionych wcześniej zasad i reguł.

3.6.9. Poprawki meteorologiczne i obliczanie poziomów długookresowych

Wpływ czynników meteorologicznych na propagację hałasu w terenie otwartym jest tym większy im odległość punktu obserwacji od źródła jest większa i im bliżej powierzchni ziemi znajduje się punkt odbioru.

Zmiany poziomu dźwięku w znacznych odległościach od źródła są spowodowane zmianą prędkości dźwięku, wywołaną poprzez zmiany temperatury powietrza oraz zmiany prędkości wiatru.

3.6.9.1. Procentowe określenie (p) możliwości pojawienia się warunków meteorologicznych korzystnych

Wpływ warunków meteorologicznych na rozprzestrzenianie się dźwięku ma miejsce, jeśli odległość pomiędzy źródłem a punktem odbioru jest większa niż 100 m (najnowsze francuskie wytyczne określają tę odległość na 250 m od drogi).

W terenie płaskim zjawiska mikrometeorologiczne zależą tylko od wysokości położenia punktu obserwacji powyżej terenu. Dla odległości maksymalnej pomiędzy źródłem, a punktem odbioru rzędu 800 m (źródło i punkt odbioru na ziemi), wysokość dla której zjawisko to jest odczuwalne jest rzędu od 0 m do 30 m.

Na rozprzestrzenianie się dźwięku mają wpływ:

- Temperatura: Wymiana ciepła pomiędzy powierzchnią ziemi a dolnymi warstwami atmosfery prowadzi do zmian temperatury powietrza w funkcji wysokości ponad powierzchnią ziemi, a więc jednocześnie do zmiany prędkości dźwięku.
- Prędkość wiatru: Z uwagi na nierównomierność (szorstkość) powierzchni terenu, prędkość wiatru jest zawsze wyższa na większej wysokości niż na powierzchni ziemi.

Uogólniając można rozróżnić trzy podstawowe rodzaje propagacji, które zależą od formy profilu pionowego prędkości dźwięku:

- Propagacja dźwięku w obecności gradientu pionowego negatywnego tzw. warunki niekorzystne propagacji (Temperatura maleje z wysokością ponad terenem. Zjawisko takie ma miejsce w ciągu dnia nasłonecznionego. Wiatr jest przeciwny do kierunku rozchodzenia się fali. Prędkość dźwięku maleje więc wraz z oddalaniem się od powierzchni ziemi.



Kierunek propagacji fali akustycznej jest odchylany ku górze. W tych warunkach, poziom dźwięku w znacznych odległościach jest niższy niż dla warunków jednorodnych. Należy także zwrócić uwagę na fakt, iż w pobliżu źródła powstaje pewna strefa cienia, gdzie żaden bezpośredni promień nie dociera i gdzie poziom dźwięku jest bardzo niski.)

- Propagacja dźwięku w obecności gradientu pionowego dodatniego, tzw. warunki korzystne propagacji (nocą, przy bezchmurnym niebie powierzchnia ziemi wypromieniowuje energię ciepłą do atmosfery. Ochładzanie się powierzchni ziemi następuje znacznie szybciej niż powietrza. Temperatura powietrza jest wyższa na większych wysokościach jest to tzw. sytuacja inwersji temperatury. Kierunek wiatru jest zgodny z kierunkiem propagacji fali akustycznej. Prędkość dźwięku więc maleje w pobliżu powierzchni terenu. Promienie dźwięku są odchylane ku dołowi. Powoduje to, że poziom dźwięku w znacznych odległościach od źródła jest wyższy niż w warunkach jednorodnych. Tego typu warunki meteorologiczne są więc warunkami korzystnymi dla propagacji fali akustycznej. Przykładowo, w ciągu dnia warunki korzystne są uzyskiwane przy wietrze niosącym o prędkości powyżej 1.5 m/s przy pogodzie pochmurnej i przy prędkości powyżej 3 m/s dla pogody słonecznej. Nocą takie warunki są uzyskiwane przy pogodzie bezwietrznej lub przy wietrze niosącym.)
- Propagacja dźwięku w obecności gradientu pionowego zerowego tzw. warunki jednorodne (wystąpienia połączonych warunków termicznych i aerodynamicznych dla danego terenu charakteryzuje dużą zmienność w czasie. Jednocześnie należy zauważyć, że sytuacje mikrometeorologiczne bez wpływu tych efektów są raczej mało spotykane. Warunki takie są tłumaczone brakiem gradientu pionowego prędkości dźwięku. Zjawisko to może jednak powstać dla dwóch typów warunków:
 - Prędkość wiatru jest zerowa i temperatura powietrza jest stała w funkcji wysokości liczonej od poziomu terenu. Może to mieć miejsce w sposób przelotny przy wschodzie i zachodzie słońca lub w warunkach pełnej, grubej pokrywy chmur, ograniczającej wymianę ciepła pomiędzy powierzchnią ziemi a atmosferą
 - Efekty termiczne oraz aerodynamiczne znoszą się nawzajem, Może to mieć miejsce np. nocą podczas wiatru przeciwnego do kierunku propagacji fal akustycznych przy niebie bezchmurnym lub także podczas dnia słonecznego w obecności wiatru niosącego.

Powyżej opisane warunki prowadzą do propagacji dźwięku wzdłuż linii prostych, są to tzw. warunki jednorodne propagacji fal dźwiękowych.

W rzeczywistości warunki termiczne i aerodynamiczne są względnie niezależne. Można obserwować często sytuacje meteorologiczne mające częściowy tylko wpływ na zjawiska refrakcji.

W rzeczywistości jednak występuje bardzo duża ilość możliwych kombinacji pomiędzy efektami termicznymi jak i wiatrem. Ponadto zjawiska te są zmienne w czasie i w przestrzeni. Z faktu tego wynika, iż poziom dźwięku w dużych odległościach od źródła należałoby rozpatrywać jako zjawisko przypadkowe.

Z drugiej zaś strony odpowiednie charakterystyki związane z wpływem rodzaju terenu nie mogą być oddzielone od warunków propagacji fal akustycznych, bowiem w zależności od kształtu promieni akustycznych (zagięte w stronę podłoża, odgięte ku górze, prostoliniowe) ilość energii która kontaktuje się z terenem jest większa lub mniejsza. Ponadto, problem dodatkowo komplikuje charakter topografii terenu. Wszystkie to zjawiska wskazują, że wpływ warunków meteorologicznych na propagację fal akustycznych jest trudny do precyzyjnego określenia. Możliwe jest przybliżone jego oszacowywanie.



Niniejsza metoda pozwala na obliczanie poziomu dźwięku dla dwóch rodzajów warunków umownych:

1. Warunki określane jako korzystne (poziom dźwięku oznaczany L_F). Poziomy obliczane są reprezentatywnymi dla średniej sytuacji obserwowanej w obecności pozytywnego pionowego gradientu prędkości dźwięku. Można więc powiedzieć, to jest to pewien rodzaj uśrednionego poziomu dźwięku dla warunków korzystnych.

2. Warunki określane jako jednorodne (poziom dźwięku oznaczany L_H). Ogólnie można stwierdzić, że tego typu warunki występują niezwykle rzadko lub prawie wcale. Są to jednak warunki najłatwiejsze do modelowania, ponieważ promienie akustyczne mają wówczas charakter liniowy. W chwili obecnej brak jest jeszcze prostej metody operacyjnej pozwalającej na szybkie obliczanie poziomu dźwięku w warunkach niekorzystnych. Dlatego też w metodzie NMPB zastosowano zabieg zwiększenia poziomu dźwięku w warunkach niekorzystnych poprzez poziom dźwięku odpowiadający warunkom jednorodnym. Powoduje to podniesienie poziomu dźwięku ponad rzeczywisty, ale z uwzględnieniem większego marginesu bezpieczeństwa.

Wiadomo jest, że w danej sytuacji terenowej, częstość pojawiania się warunków korzystnych zależy od kierunku źródło-punkt odbioru, bowiem warunki te zależą od kierunku wiatrów na danym terenie. Zależność winna więc być zastosowana dla każdego układu źródło elementarne- punkt odbioru, a więc poziom całkowity dźwięku w długim okresie czasu będzie sumą energetyczna składowych w długim okresie czasu od każdego ze źródeł elementarnych. Aby więc wykonać pełne obliczenia uwzględniające warunki meteorologiczne na propagację hałasu należy dysponować dla danego terenu znajomością częstości pojawiania się warunków korzystnych dla wszystkich możliwych kierunków propagacji źródło-punkt odbioru.

Dlatego też przystosowując francuska metodę rozprzestrzenia się dźwięku wokół dróg do warunków krajowych należy:

- Wykorzystać dane lokalne meteorologiczne (z okresu co najmniej 10-letni) – w Polsce prace nad wykorzystaniem lokalnych danych trwają już od kilku lat, jednak na obecnym etapie wiedzy nie można ich jeszcze wykorzystać,
- Wykorzystać dane specjalnie przeprowadzone dla danego projektu (tylko w przypadkach ściśle uzasadnionych),
- Wykorzystać pewne standardowe wartości, w takiej sytuacji wystąpienie warunków korzystnych propagacji jest maksymalizowane, co prowadzi do zawyżonych wartości długotrwałych poziomów dźwięku, jednak lepiej chroni mieszkańców. Unia Europejska zaleca użycie następujących wartości: dla każdego kierunku $p = 100\%$ warunków korzystnych dla pory nocnej, $p=75\%$ warunków korzystnych dla pory wieczornej i $p = 50\%$ warunków korzystnych dla pory dziennej.

Przy braku aktualnie w naszym kraju odpowiednio przetworzonych danych meteorologicznych do potrzeb obliczeniowych tej metody, wszystkie powyżej wymienione możliwości mogłyby być zastosowane, w zależności od konkretnej sytuacji, jednak zaleca się użycie ostatniej metody.



3.6.9.2. Wpływ warunków meteorologicznych

tabela 22 Różne warunki propagacji dźwięku w zależności od zauważalnych wskaźników meteorologicznych

U1: silny wiatr (3 do 5 m/s) pod wiatr w kierunku źródło-punkt odbioru	T1: dzień, silne promieniowanie, sucha powierzchnia i słaby wiatr
U2: wiatr umiarkowany (1 do 3 m/s) wiatr z przeciwnego kierunku lub silny wiatr, lekko pod wiatr	T2: warunki jak w T1 ale przynajmniej jeden nie ma zastosowania
U3: bezwietrznie lub brak bocznego wiatru	T3: słonecznie, świt lub (overcast i wietrznie niezbyt wilgotna powierzchnia)
U4: wiatr umiarkowany lekko z wiatrem lub silny wiatr prawie zawsze nie w kierunku punktu odbioru ($\cong 45^\circ$)	T4: noc lub (chmury albo deszcz)
U5: z kierunkiem wiatru	T5: noc, bezchmurne nieco i słaby wiatr

Kombinacja warunków U_i i T_i daje następujące klasy warunków propagacji dźwięku. Szare pola dotyczą niemożliwych warunków meteorologicznych.

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	*
T3	-	-	Z	*	*
T4	-	Z	+	+	++
T5		+	+	++	

- Silne odchylenie fali dźwięku ku górze powoduje bardzo silne tłumienie (sytuacja "niekorzystna")
- Odchylenie fali dźwięku ku górze powoduje względnie silne tłumienie ("sytuacja "niekorzystna")
- Z Propagacja dźwięku wzdłuż linii prostych bez zakłóceń przez efekty meteorologiczne (sytuacja "jednorodna")
- + Odchylenie fali dźwięku ku dołowi powoduje umiarkowane zwiększenie poziomu dźwięku ("sytuacja "korzystna")
- ++ Silne odchylenie fali dźwięku ku dołowi powoduje względnie duże zwiększenie poziomu dźwięku ("sytuacja "korzystna")

tabela 23 Współczynnik tłumienia atmosferycznego w dB/km w zależności temperatury i wilgotności względnej

temperatura	wilgotność względna	częstotliwość (Hz)					
°C	%	125	250	500	1000	2000	4000
0	40		0,92	2,63	9,00	29,8	75,2
	50	0,41	0,82	2,08	6,83	23,8	71,0
	60	0,40	0,78	1,78	5,50	19,3	63,3
	70	0,39	0,76	1,61	4,64	16,1	55,5
	80	0,38	0,76	1,51	4,06	13,8	48,8
	90	0,37	0,76	1,45	3,66	12,1	43,2
5	40	0,47	0,92	2,10	6,48	22,7	72,5
	50	0,46	0,89	1,82	5,08	17,5	60,2
	60	0,44	0,89	1,69	4,29	14,2	50,2
	70	0,42	0,90	1,64	3,80	12,0	42,7
	80	0,39	0,90	1,63	3,50	10,5	37,0
	90	0,37	0,90	1,64	3,31	9,39	32,7
10	40	0,52	1,04	1,98	5,07	16,8	59,0
	50	0,49	1,05	1,90	4,26	13,2	46,7
	60	0,45	1,05	1,90	3,86	11,0	38,4
	70	0,41	1,04	1,93	3,66	9,66	32,8
	80	0,38	1,02	1,97	3,57	8,76	28,7
	90	0,35	1,00	2,00	3,54	8,14	25,7
15	40	0,54	1,23	2,18	4,51	13,1	45,7
	50	0,48	1,22	2,24	4,16	10,8	36,2
	60	0,43	1,18	2,31	4,06	9,50	30,3
	70	0,38	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4
	80	0,34	1,07	2,40	4,15	8,31	23,7
	90	0,31	1,02	2,41	4,25	8,07	21,7
20	40	0,52	1,39	2,63	4,65	11,2	36,1
	50	0,45	1,32	2,73	4,66	9,86	29,4
	60	0,39	1,23	2,79	4,80	9,25	25,4
	70	0,34	1,13	2,80	4,98	9,02	22,9
	80	0,30	1,04	2,77	5,15	8,98	21,3
	90	0,27	0,97	2,71	5,30	9,06	20,2



3.7. PODSUMOWANIE

Różnice i podobieństwa pomiędzy NMPB i Dyrektywą 2002/49/UE oraz niezbędne nowelizacje i uzupełnienia są podsumowane w poniższej tabeli.

tabela 24 Hałas drogowy – opis metody obliczeniowej

Temat	Wynik porównania – zadanie
Wskaźnik hałasu	Dla długookresowego średniego poziomu dźwięku według charakterystyki częstotliwościowej A wyznaczonej jako średnia dla okresu całego roku, w zależności od źródeł emisji i transmisji dźwięku powinny być wprowadzone jednakowe okresy: dzień, wieczór i noc.
Punkt odbioru	4 m powyżej powierzchni ziemi zgodnie z Dyrektywą 2002/49/UE, o.k.
Źródło	Powinny zostać opisane dane źródłowe lub lepiej metoda mająca na celu zdefiniowanie danych dotyczących emisji dźwięku, które zostaną wykorzystane do obliczenia modelu NMPB dla wszystkich pojazdów poruszających się po drogach krajowych Może zostać wykorzystana metoda podziału dróg na podstawowe źródłowa punktowe, o.k.
Propagacja	2 rodzaje propagacji: jednorodna i korzystna
Wpływ warunków meteorologicznych	Określenie procentowego występowania warunków korzystnych: ogólna propozycja to: 50 % dla dnia, 75 % dla wieczoru, 100 % dla nocy
Rozbieżność geometryczna	o.k.
Pochłanianie przez atmosferę	Powinna być załączona tabela zawierająca współczynnik tłumienia atmosferycznego w zależności od temperatury i wilgotności względnej, typowych dla regionów Europy, umożliwiającą wybór odpowiednich danych dla poszczególnych krajów.
Wpływ powierzchni ziemi	o.k.
Dyfrakcja	o.k., dodatkowa informacja nt. odbicia od powierzchni pionowych powinna stanowić pełny tekst tj. ma to miejsce w XP S 31-133
Odbicie	o.k.

Należy podkreślić, że metoda obliczeniowa propagacji dźwięku przedstawiona w NMPB i w identycznych normach francuskich wydaje się bardzo praktyczna i niezawodna, jako że metoda opublikowana w 1996 roku została wprowadzona do norm francuskich w 2001 roku. Nie jest ona



jednak identyczna z normą ISO 9613-2, która jest rekomendowana jako metoda obliczeniowa dla hałasu przemysłowego.

Skoro metoda jest stosowana do obliczania propagacji hałasu drogowego, powinna być również stosowana do propagacji hałasu kolejowego oraz do propagacji hałasu przemysłowego. Nie wydaje się zasadne stosowanie różnych metod obliczeniowych do wyliczania propagacji różnych źródeł dźwięku (jako że wszystkie źródła są podzielone na źródła punktowe do celów obliczeniowych propagacji dźwięku).

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 w sprawie oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dz.U. WE L 189 z dnia 18 lipca 2002 r)
- [2] Dyrektywa 2007/2/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 marca 2007 r. ustanawiająca infrastrukturę informacji przestrzennej we Wspólnocie Europejskiej (INSPIRE) (Dz.U. WE L 108 z 25.4.2007)
- [3] PN-ISO 9613-2:2002. „Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania”
- [4] PN-ISO 8297: 2003 „Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej zakładów przemysłowych z wieloma źródłami hałasu w celu oszacowania wartości poziomu ciśnienia akustycznego w środowisku. Metoda techniczna”
- [5] The French national computation method “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPCSTB)”, referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6
- [6] French standard XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de l’atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, AFNOR, 2001
- [7] Guide du Bruit des Transports Terrestres – Prévision des niveaux sonores, Ministère de l’Environnement et du Cadre de Vie/Minsitère des Transports/CETUR, Novembre 1980
- [8] SRM II - The Netherlands national computation method published in ‘Reken- en Meetvoorschrift Railverkeerslawaaï ’96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Publikatiereeks Verstoring, Nr. 14/1997, VROM, November 1996