

---

Katalog danych  
dotyczących infrastruktury  
transportowej oraz  
środków transportu w  
Polsce w odniesieniu do  
wymagań Dyrektywy  
2015/996

---

Wytyczne Głównego Inspektora  
Ochrony Środowiska

---

Rok 2021

---

## **Autorzy opracowania:**

Pełnomocnik – Lider:

### **LEMITOR Ochrona Środowiska Sp. z o.o. Sp.k.**

ul. Jana Długosza 40  
51-162 Wrocław

### **AKUSTIX Sp. z o.o.**

ul. Wiosny Ludów 54  
62-081 Przeźmierowo

### **JAROSŁAW KOWALCZYK ECOPLAN**

ul. Zagrodowa 18  
45-416 Opole

## SPIS TREŚCI

<b>1</b>	<b>WPROWADZENIE</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>CEL PRACY</b> .....	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>OGÓLNA METODA OBLICZANIA HAŁASU TRANSPORTOWEGO</b> .....	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>HAŁAS DROGOWY</b> .....	<b>14</b>
4.1	OBLICZANIE POZIOMU HAŁASU DROGOWEGO .....	14
4.2	DANE WEJŚCIOWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA STRATEGICZNYCH MAP HAŁASU DROGOWEGO .....	16
4.3	KATEGORIE POJAZDÓW .....	18
4.4	PRĘDKOŚĆ RUCHU POJAZDÓW .....	26
4.5	NAWIERZCHNIE DROGOWE .....	31
4.5.1	Nawierzchnie drogowe stosowane w Polsce .....	41
4.5.1.1	SMA – mastyks grysowy .....	43
4.5.1.2	SMA-LA (SMA NL) – mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni .....	43
4.5.1.3	DAC (AC) – beton asfaltowy.....	44
4.5.1.4	BBTM – beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw.....	45
4.5.1.5	ZOAB (PAC/PA) - asfalt porowaty jednowarstwowy .....	46
4.5.1.6	DPAC - asfalt porowaty dwuwarstwowy .....	46
4.5.1.7	CC – beton cementowy .....	47
4.5.1.8	EACC – beton cementowy teksturowany metodą odkrytego kruszywa.....	48
4.5.1.9	PS – kostka kamienna .....	49
4.5.1.10	SB – betonowa kostka brukowa .....	50
4.5.1.11	SS – cienka warstwa na zimno .....	50
4.5.2	Metodyka doboru odpowiedniej nawierzchni w programie obliczeniowym .....	51
4.5.2.1	Rekomendowane odpowiedniki nawierzchni krajowych i ich parametry w CNOSSOS-EU ....	55
4.5.2.2	Implementacja rekomendowanych nawierzchni w programach obliczeniowych .....	57
4.5.3	Stan nawierzchni drogowej.....	64
4.5.4	Błędy wynikające z doboru niewłaściwego rodzaju i stanu nawierzchni drogowej.....	66
4.6	NATĘŻENIE RUCHU .....	71
4.6.1	Pomiary natężenia ruchu .....	71
4.6.2	Natężenie ruchu w miastach.....	73
4.6.3	Natężenie ruchu na drogach poza miastami (wg metodyk GDDKiA) .....	75
4.6.4	Wyznaczanie średniego dobowego ruchu rocznego.....	76
4.7	KONTROLA DOKŁADNOŚCI DANYCH WEJŚCIOWYCH.....	79
<b>5</b>	<b>HAŁAS SZYNOWY</b> .....	<b>83</b>
5.1	OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA METODY OBLICZENIOWEJ CNOSSOS-EU W ZAKRESIE HAŁASU KOLEJOWEGO .....	83
5.2	DANE WEJŚCIOWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA STRATEGICZNEJ MAPY HAŁASU KOLEJOWEGO .....	85
5.3	TABOR SZYNOWY .....	87
5.3.1	Metodyka przypisywania istniejącego taboru szynowego w Polsce do kategorii określonych w CNOSSOS-EU.....	90
5.3.2	Natężenie ruchu .....	93
5.3.3	Średnia prędkość składu i prędkość maksymalna .....	96
5.3.4	Pojazdy szynowe w składzie oraz liczba osi .....	97
5.3.5	Błędy wynikające z niewłaściwego przypisania składów do kategorii pojazdów wg klasyfikacji CNOSSOS-EU.....	98
5.3.6	Błędy wynikające z niewłaściwego doboru typu pojazdu szynowego z bibliotek programów obliczeniowych .....	99

5.4	TOROWISKA.....	104
5.4.1	Przykłady typów torowisk występujących w Polsce .....	104
5.4.1.1	Torowiska kolejowe.....	104
5.4.1.2	Torowiska tramwajowe .....	112
5.4.2	Dobór elementów nawierzchni kolejowej w programie obliczeniowym.....	115
5.4.2.1	Dobór rodzaju torowiska i przekładki torowej .....	115
5.4.2.2	Dobór parametru chropowatości .....	116
5.4.2.3	Dobór liczby połączeń szyn na 100 m toru .....	117
5.4.2.4	Dobór promienia krzywizny toru .....	118
5.4.2.5	Dobór rodzaju mostu lub wiaduktu.....	122
5.4.2.6	Urządzenia redukujące emisję hałasu kolejowego stosowane w Polsce.....	128
5.4.3	Błędy wynikające z niewłaściwego doboru typu torowiska .....	129
5.5	WYKONYWANIE BADAŃ HAŁASU KOLEJOWEGO - ZALECANIA .....	134
<b>6</b>	<b>HAŁAS LOTNICZY.....</b>	<b>136</b>
6.1	DANE WEJŚCIOWE NIEZBĘDNE DO WYKONANIA MAPY HAŁASU LOTNICZEGO .....	136
6.2	DEFINICJE.....	137
6.3	POZYSKANIE I MODELOWANIE TRAJEKTORII OPERACJI LOTNICZYCH .....	143
6.3.1	Przykłady błędów związanych z modelowaniem torów lotu i ich obciążenia.....	147
6.4	SPOSÓB MODELOWANIA PROCEDUR STARTÓW I LĄDOWAŃ .....	148
6.5	WYZNACZANIE ŚREDNIOROCZNEJ LICZBY RÓŻNYCH RODZAJÓW OPERACJI LOTNICZYCH.....	151
6.6	ODWZOROWANIE W MODELU DRÓG KOŁOWANIA ORAZ MIEJSC POSTOJOWYCH SAMOLOTÓW .....	153
6.7	CHARAKTERYSTYKA AKUSTYCZNA STATKÓW POWIETRZNYCH – WYNIKI POMIARÓW.....	154
<b>7</b>	<b>SPIS TABEL .....</b>	<b>171</b>
<b>8</b>	<b>SPIS RYSUNKÓW .....</b>	<b>173</b>
<b>9</b>	<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>177</b>

## SPIS ZAŁĄCZNIKÓW

Załącznik I	Tabor szynowy
Załącznik II	Hałas drogowy – sprawozdania z pomiarów
Załącznik III	Hałas szynowy – sprawozdania z pomiarów
Załącznik IV	Hałas lotniczy – sprawozdania z pomiarów
Załącznik V	Hałas drogowy - opis pomiarów, dobór nawierzchni, natężenie ruchu
Załącznik VI	Hałas lotniczy - opis pomiarów, wykresy, katalog statków powietrznych
Załącznik VII	Hałas szynowy – opis pomiarów, wykresy

## 1 WPROWADZENIE

Strategiczne mapy hałasu, od czwartej edycji będą realizowane według wspólnej metody oceny hałasu stosowanej w krajach członkowskich UE, określonej w Załączniku do Dyrektywy Komisji (UE) 2015/996<sup>1</sup> zawierającej metody oceny na potrzeby ustalania wartości wskaźników hałasu, o których jest mowa w art. 6 Dyrektywy 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady<sup>2</sup>, zwanej dalej metodą CNOSSOS-EU. Metoda ta służy do obliczania długookresowych wskaźników oceny hałasu, z uwzględnieniem zjawisk towarzyszących propagacji hałasu w środowisku, na podstawie modelu emisji hałasu z różnych źródeł, uwzględniając charakterystyczne dla tych źródeł mechanizmy generacji hałasu. Podstawowe charakterystyki parametrów emisji zostały wyznaczone w wyżej wymienionej Dyrektywie, jednak ze względu na specyfikę lokalną kraje członkowskie we własnym zakresie powinny stworzyć własne katalogi emisji.

Niniejszy dokument ma służyć jako przewodnik właściwego przyporządkowania krajowej infrastruktury transportowej do źródeł hałasu zdefiniowanych w CNOSSOS-EU, w zakresie niezbędnym do opracowania strategicznej mapy hałasu, z wykorzystaniem komercyjnego oprogramowania dostępnego obecnie bez bibliotek źródeł hałasu uwzględniających specyfikę krajową w odniesieniu do rodzaju eksploatowanych pojazdów i infrastruktury transportowej. Wskazane tu dane, metody i sposoby postępowania analizowano z uwzględnieniem potrzeb strategicznych map hałasu, dlatego są one właściwe w odniesieniu do prognozowania długookresowych poziomów hałasu, uwzględniających roczny okres uśredniania i nie mogą być bezkrytycznie stosowane do prognozowania wskaźników jednodobowych, których używa się obecnie do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska.

Przedstawione tu podejście rekomenduje się do stosowania przy sporządzaniu strategicznych map hałasu przynajmniej do czasu wprowadzenia zapowiadanych zmian w metodzie CNOSSOS-EU,<sup>3</sup> nad którymi w czasie przygotowania tego dokumentu trwają jeszcze prace w Komisji Europejskiej.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Dyrektywa Komisji (UE) 2015/996 z dnia 19 maja 2015 r. ustanawiająca wspólne metody oceny hałasu zgodnie z dyrektywą 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady

<sup>2</sup> Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku

<sup>3</sup> A.Kok, A. van Beek, Amendments for CNOSSOS-EU, Description of issues and proposed solutions, RIVM Letter report 2019-0023 of 22 August 2019

<sup>4</sup> [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/PIN/?uri=PI\\_COM:Ares%282020%294118194](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/PIN/?uri=PI_COM:Ares%282020%294118194)

## 2 CEL PRACY

Celem tego dokumentu jest standaryzacja źródeł, zakresu i rodzaju danych wejściowych, sposób ich wprowadzania do programów obliczeniowych i przede wszystkim przypisania krajowych charakterystyk emisji hałasu transportu drogowego, szynowego i lotniczego do parametrów zdefiniowanych w CNOSSOS-EU.

Metoda CNOSSOS-EU w odniesieniu do źródeł hałasu drogowego, szynowego i przemysłowego, charakteryzuje się zmienionym modelem emisji i propagacji hałasu w odniesieniu do stosowanych do tej pory metod przejściowych (NMPB-96, SRM II, ISO 9613-2). W przypadku hałasu lotniczego na razie stosowana jest ta sama metoda ECAC CEAC Doc. 29 edycja 3, przy czym jak wynika z prac Komisji Europejskiej,<sup>4</sup> należy się spodziewać w najbliższej przyszłości wdrożenia edycji 4 tej metody.

Główne zmiany w odniesieniu do hałasu drogowego związane są ze zmianą definicji i liczby kategorii pojazdów oraz poziomów emisji hałasu w zależności od prędkości i rodzaju nawierzchni drogi. W przypadku hałasu kolejowego zmiany również są znaczne i dotyczą przede wszystkim: podziału na kategorie pociągów, sposobu charakterystyki pojedynczego składu oraz sposobu opisu torowiska.

Poziomy emisji źródeł hałasu transportowego wyrażone są przez kilkanaście parametrów, których wyznaczenie wymaga zawansowanych metod pomiarowych i wieloletnich badań na dużej próbie statystycznej. Komisja Europejska gromadziła te dane w ramach wielu projektów (Harmonoise, Imagine, Rosanne, itd.) przez kilkanaście lat. Jednak badania te nie obejmowały Polski. Ponadto, w Polsce nie podjęto jeszcze własnych badań w celu wyznaczenia charakterystyk źródeł hałasu wg metodyk referencyjnych, stosowanych na potrzeby parametryzacji źródeł hałasu w modelu CNOSSOS-EU. Dokument ten ma wypełnić powstałą lukę. W niniejszej pracy zastosowano metodę polegającą na wskazaniu najlepszego dopasowania charakterystyk lokalnych (krajowych) źródeł hałasu drogowego i szynowego (poziomy emisji hałasu statków powietrznych w metodzie CNOSSOS-EU są takie same jak w stosowanej dotychczas metodzie przejściowej) - zdefiniowanych przez trzy podstawowe komponenty: rodzaj pojazdu, infrastrukturę (niezbędną do jego eksploatacji), warunki/parametry eksploatacji - do parametrów emisji opisujących te trzy elementy w CNOSSOS-EU. Jako kryterium dopasowania przyjęto najmniejszą możliwą różnicę pomiędzy średnim zmierzonym poziomem hałasu i poziomem obliczonym wg CNOSSOS-EU, przy czym parametrem mierzonym był – dla hałasu drogowego, szynowego i lotniczego - ekspozycyjny poziom hałasu,  $L_{AE}$ , rejestrowany podczas pojedynczego zdarzenia akustycznego oraz dodatkowo – dla hałasu drogowego – dobowy równoważny poziom dźwięku wyznaczony podczas Generalnych Pomiarów Hałasu na drogach krajowych w roku 2020. Do tego celu wykorzystano pomiary własne, realizowane w ramach tego zadania (szczegółowo przedstawione w załącznikach) oraz wybrane wyniki badań udostępnione przez GDDKiA (ww. GPH2020) oraz PKP PLK S.A., spełniające wymagania określone dla poligonu badań referencyjnych (wyznaczanie charakterystyk źródeł hałasu), tj. dla warunków generacji i propagacji hałasu odpowiednich do wyznaczania parametrów charakteryzujących źródła hałasu (pomiary blisko źródła, teren płaski, brak obiektów odbijających, niski poziom tła, itd.).

Wyżej wymieniona metoda przypisania rzeczywistych krajowych źródeł hałasu transportowego do CNOSSOS-EU na tym etapie nie powinna być przyjmowana jako kompletna, dlatego przynajmniej czwarta edycja strategicznych map hałasu, której planowe zakończenie przypada w 2022 roku, musi obligatoryjnie zawierać walidację pomiarową wyników obliczeń w odniesieniu do rzeczywistych warunków lokalnych.

Dokument ten stanowi uzupełnienie i rozszerzenie zagadnień omówionych w przewodniku pt. „Dobre praktyki wykonywania strategicznych map hałasu”,<sup>5</sup> znanego dalej „Wytycznymi GIOŚ”.

**Stosowanie metod, danych czy sposobów postępowania przedstawionych w tym dokumencie nie oznacza braku potrzeby walidacji modelu akustycznego pomiarami hałasu w środowisku. W przypadku braku własnych procedur, walidację można wykonać wg propozycji przedstawionej we Wytycznych GIOŚ.**

---

<sup>5</sup> Dobre praktyki wykonywania strategicznych map hałasu, Wytyczne Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, Warszawa, maj 2021 r.



### 3 OGÓLNA METODA OBLICZANIA HAŁASU TRANSPORTOWEGO

#### Metoda obliczania równoważnego poziomu dźwięku

Model obliczania hałasu transportowego w metodzie CNOSSOS-EU wywodzi się z koncepcji pojedynczego zdarzenia (wydarzenia) akustycznego. Wypadkowy poziom hałasu, którego wskaźnikiem jest równoważny poziom dźwięku,  $L_{AeqT}$ , a w ocenie strategicznej – długookresowy równoważny poziom dźwięku (wyrażany wskaźnikami  $L_{DWN}$  i  $L_N$ ) jest złożeniem pojedynczych zdarzeń (przejazd samochodu, pociągu, tramwaju, przelot samolotu), których miarą jest poziom ekspozycji hałasu,  $L_{AE}$ :<sup>6</sup>

$$L_{AE} = 10 \cdot \log \left( \frac{E_A}{p_0^2 \cdot t_0} \right), \quad \text{Równanie 3-1}$$

gdzie  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  [Pa] - ciśnienie akustyczne odniesienia,  $t_0 = 1$  [s] - czas odniesienia, a wielkość  $E_A$  oznacza ekspozycję hałasu, która opisuje historię zmian chwilowego kwadratu ciśnienia akustycznego  $p_A^2$  (z uwzględnieniem korekcji częstotliwościowej, którą we wszystkich przytoczonych tu wzorach reprezentuje indeks „A”) w czasie:

$$E_A = \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \quad \text{Równanie 3-2}$$

Jeżeli hałas jest superpozycją zdarzeń należących tylko do jednej kategorii, wtedy równoważny poziom dźwięku można obliczyć, jeśli znamy **średni** poziom ekspozycji hałasu wydarzeń tej kategorii oraz liczbę wydarzeń,  $N$ , w czasie oceny  $T$  (iloraz  $N/T$  oznacza natężenie ruchu)

$$L_{AeqT} = L_{AE} + 10 \cdot \log \left( \frac{N \cdot t_0}{T} \right) \quad \text{Równanie 3-3}$$

Na hałas transportowy składa się wiele kategorii wydarzeń akustycznych. Wtedy powyższy wzór przyjmuje postać ogólną<sup>7</sup>

$$L_{AeqT} = 10 \log \left[ \frac{t_0}{T} \sum_{m=1}^M N_m \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AE,m}} \right] \quad \text{Równanie 3-4}$$

gdzie sumowanie odbywa się po wszystkich kategoriach zdarzeń, których łącznie jest  $M$  (podział na kategorie jest przedmiotem dalszych rozdziałów tego dokumentu) Dla każdej kategorii musi być znane natężenie ruchu,  $N_m$ , oraz statystycznie reprezentatywna miara pojedynczego wydarzenia, tj. średni poziom ekspozycji hałasu,  $L_{AE,m}$ .

#### Metoda obliczania hałasu pojedynczego zdarzenia akustycznego

Powyższe wzory prowadzą do wniosku, że w celu wyznaczenia równoważnego poziomu dźwięku potrzebne jest obliczenie ekspozycji hałasu,  $E_A$ . W tym celu potrzebny jest model matematyczny, uwzględniający mechanizmy generacji i propagacji hałasu, który pozwala na obliczenie chwilowej wartości kwadratu ciśnienia akustycznego (Równanie 3-2). Metoda CNOSSOS-EU opiera się, tak jak metody stosowane już od ok. 50 lat, na najprostszym

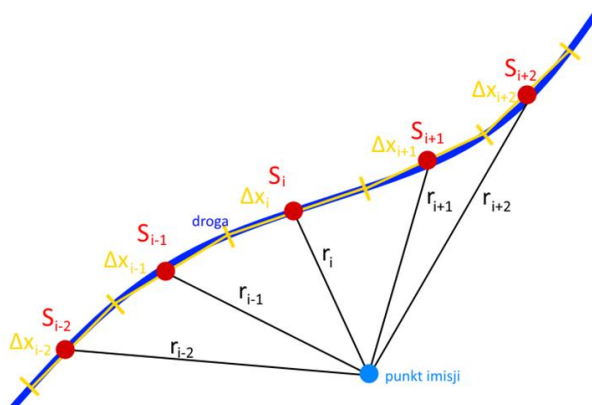
<sup>6</sup> PN-ISO 1996-1:2006, *Akustyka. Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 1: Wielkości podstawowe i procedury oceny*

<sup>7</sup> Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. 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. z 2011r. Nr 140, poz. 824 ze zm.)

możliwym modelu źródła rzeczywistego, które zastępuje się przy pomocy bezkierunkowego źródła punktowego, poruszającego się (na wybranym odcinku) ruchem jednostajnym nad nieskończenie twardą półpłaszczyzną (transport lądowy) lub w przestrzeni otwartej (transport powietrzny), w środowisku, w którym nie uwzględnia się żadnych zjawisk towarzyszących propagacji hałasu, za wyjątkiem spadku amplitudy z odległością. Przy takich założeniach, chwilowy kwadrat ciśnienia akustycznego jest równy<sup>8</sup>

$$p_A^2 = \frac{W_A \cdot \rho_0 c}{2\pi r^2} \quad \text{Równanie 3-5}$$

gdzie  $W_A$  oznacza chwilową moc akustyczną źródła położonego w odległości  $r$  od obserwatora. Wyraz  $'2\pi'$  opisuje promieniowanie hałasu w półprzestrzeń i dotyczy źródła poruszającego się nad powierzchnią ziemi. Dla statków powietrznych, podczas ruchu wysoko nad powierzchnią ziemi, wyraz ten przyjmuje postać  $'4\pi'$ . Podczas ruchu źródła, w każdej chwili zmienia się odległość do punktu obserwacji i może się zmieniać moc akustyczna, która jest miarą hałasu emitowanego w jednostce czasu. Z tego powodu, dokładne obliczenie ekspozycji hałasu,  $E_A$ , jest bardzo skomplikowane, a najczęściej niemożliwe. Dlatego stosuje się uproszczenia i przybliżenia. Przede wszystkim, rzeczywisty krzywoliniowy tor ruchu źródła dzieli się na odcinki (segmenty), na których zakłada się ruch jednostajny prostoliniowy, co pozwala przyjąć, że emisja hałasu (moc akustyczna na tym odcinku jest stała). Jeżeli odcinki nie są zbyt długie, wtedy można hałas związany z ruchem po całym odcinku „skupić” w źródle zastępczym zlokalizowanym w jego środku, co pokazano na poniższym rysunku (Rys. 3-1)



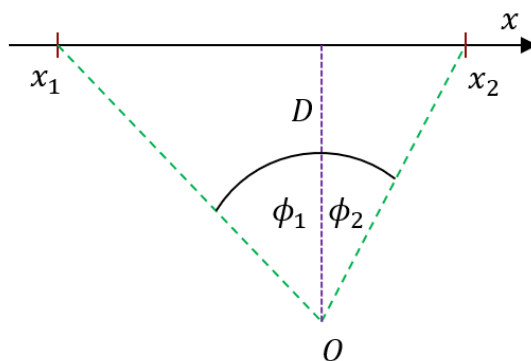
Rys. 3-1 Podział rzeczywistego toru ruchu na segmenty  $\Delta x$  z przypisanym źródłem zastępczym  $S$

Przy powyższych założeniach, ekspozycja hałasu dla jednego segmentu z Rys. 3-1, przyjmuje postać (Równanie 3-2)<sup>8</sup>

$$E_A = \int_{t_1}^{t_2} p_A^2(t) dt \rightarrow \frac{W_A \rho_0 c}{2\pi v} \rightarrow \int_{x_1}^{x_2} \frac{dx}{r^2(x)} \rightarrow \frac{W_A \rho_0 c}{2VD} \frac{1}{\pi} (\phi_2 - \phi_1) \quad \text{Równanie 3-6}$$

gdzie  $\rho_0 c$  to impedancja fali płaskiej w powietrzu,  $V$  [m/s] oznacza stałą prędkość ruchu w segmencie, wyznaczanym przez punkty  $(x_1, x_2)$  oraz o długości kątowej  $(\phi_2 - \phi_1)$  segmentu, wyrażonej w radianach, widzianej przez obserwatora, który położony jest w odległości  $D$  [m] od toru ruchu (Rys. 3-2).

<sup>8</sup> Makarewicz R., *Hałas w środowisku*, Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań, 1996



Rys. 3-2 Segment toru ruchu wyznaczony przez punkty  $(x_1, x_2)$  oraz kąt widzenia  $(\phi_1, \phi_2)$  tego segmentu z punktu obserwacji,  $O$ , położonego w odległości  $D$  metrów od toru ruchu

W odniesieniu do modelu hałasu w metodzie CNOSSOS-EU warto zauważyć, że iloraz  $W_A/V$  w powyższym wzorze (Równanie 3-6) ma wymiar Joul/metr (energia/długość). W odniesieniu do czasu jednostkowego,  $t_0$ , daje to moc akustyczną promieniowaną z 1 m toru ruchu źródła (gęstość liniowa mocy akustycznej).

Poziom ekspozycji hałasu dla jednego segmentu jest równy

$$L_{AE} = L_{WA} + 10 \cdot \log \left( \frac{s_0}{2VD \cdot t_0} \right) + 10 \cdot \log \left[ \frac{1}{\pi} (\phi_2 - \phi_1) \right], \quad \text{Równanie 3-7}$$

przy czym  $s_0 = 1 \text{ m}^2$ . W przypadku ruchu po prostej (segment nieskończenie długi), sprowadza się do znanej i prostej postaci,

$$L_{AE} = L_{WA} + 10 \cdot \log \left( \frac{s_0}{2VD \cdot t_0} \right), \quad \text{Równanie 3-8}$$

która wykorzystywana jest do wyznaczenia poziomu mocy akustycznej źródła w ruchu,  $L_{WA}$ ,<sup>10</sup> na podstawie pomiaru,  $L_{AE}$ . Na tej podstawie w metodzie CNOSSOS-EU określany jest wpływ różnych czynników wpływających na poziom hałasu (np. wpływ rodzaju nawierzchni drogi, sposobu mocowania szyn do podkładów czy wznoszenia podczas operacji startu samolotu).

### Podstawowa charakterystyka źródła w metodzie CNOSSOS-EU

Źródło hałasu transportowego w CNOSSOS-EU jest scharakteryzowane przez równoważny poziom mocy akustycznej przypadający na jeden metr drogi,  $L_{W',eq,line}$ . Parametr ten wynika z powyższych wzorów. Po podstawieniu Równanie 3-6 do Równanie 3-3 oraz uwzględniając, że moc akustyczna odniesienia wynosi  $W_0 = p_0^2 \cdot s_0 / \rho_0 c = 10^{-12} \text{ Watt}$ , czyli

$$L_{AeqT} = 10 \cdot \log \left[ \frac{N}{T} \cdot \frac{W_A \cdot \rho_0 c}{2VD p_0^2} \cdot \frac{1}{\pi} (\phi_2 - \phi_1) \right] \quad \text{Równanie 3-9}$$

oraz przyjmując następujące założenia:

- referencyjny czas oceny wynosi 1 godzina,  $T_{1h} = 1 \text{ godz.} = 3600 \text{ s}$ ,
- prędkość źródła jest wyrażana w km/godz., czyli

$$V[m/s] = v[km/godz.] \times \frac{1000}{3600}$$

- liczba wydarzeń w czasie jednej godziny to  $Q = N_{1h} [\text{szt.}]$ ,

wtedy jednogodzinny równoważny poziom dźwięku wynosi:

$$L_{Aeq, 1h} = 10 \cdot \log \left[ \frac{W_A}{W_0} \cdot \frac{Q}{v \times 1000} \cdot \frac{(\phi_2 - \phi_1)}{2\pi D} \right] \quad \text{Równanie 3-10}$$

W nawiązaniu do wcześniejszego komentarza dotyczącego ilorazu  $W_A/V$ , wyrażenie w powyższym równaniu oznaczone kolorem opisuje równoważną moc akustyczną promieniowaną z 1 m toru ruchu, na którym w czasie 1 godziny ma miejsce Q zdarzeń akustycznych. Ostatecznie,

$$L_{Aeq, 1h} = L_{WA} + 10 \cdot \log \left[ \frac{Q}{v \times 1000} \right] + 10 \cdot \log \left[ \frac{(\phi_2 - \phi_1)}{2\pi D} \right] \quad \text{Równanie 3-11}$$

przy czym wyrażenie oznaczone kolorem oznacza wyrażony w decybelach [dB] **równoważny poziom mocy akustycznej promieniowanej z 1 m toru ruchu, na którym w czasie 1 godziny ma miejsce Q zdarzeń akustycznych**, a w metodzie CNOSSOS-EU jest oznaczony jako

$$L_{W',eq,line} = L_{WA} + 10 \cdot \log \left[ \frac{Q}{v \times 1000} \right] \quad \text{Równanie 3-12}$$

### Wpływ grup zdarzeń akustycznych na wypadkowy poziom dźwięku

Ze względu na strategiczny charakter map hałasu, porównywanych ze sobą w skali kraju i Unii Europejskiej, bardzo często pojawia się zagadnienie znaczenia niektórych źródeł hałasu, w odniesieniu do ich wpływu na długookresowy poziom dźwięku,  $L_{DWN}$  i/lub  $L_N$ .

Z kluczowej dla tego zagadnienia zależności, opisanej przez Równanie 3-4 wynika, że zależy to od dwóch czynników jednocześnie, tj. zarówno od średniego poziomu hałasu pojedynczego zdarzenia, jak i od liczby tych wydarzeń. Zagadnienie można sprowadzić do oceny wpływu dwóch grup zdarzeń. Niech grupa 2 oznacza tę, której pominięcie w modelu akustycznym jest przedmiotem analizy. Uwzględniając obydwie grupy, wypadkowy poziom dźwięku wynosi:

$$L_{AeqT} = 10 \cdot \log \left[ \frac{t_0}{T} (N_1 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AE,1}} + N_2 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{AE,2}}) \right] \quad \text{Równanie 3-13}$$

a z pominięciem grupy 2, poziom wypadkowy jest obliczony w przybliżeniu

$$\tilde{L}_{AeqT} \approx L_{AE,1} + 10 \cdot \log \left( \frac{N_1 \cdot t_0}{T} \right) \equiv L_{AeqT,1} \quad \text{Równanie 3-14}$$

Różnica wartości dokładnej i przybliżonej, wyrażona przez:

$$\Delta_L = L_{AeqT} - \tilde{L}_{AeqT} = 10 \cdot \log \left[ 1 + \frac{N_2}{N_1} \cdot 10^{0,1 \cdot \delta} \right] \quad \text{Równanie 3-15}$$

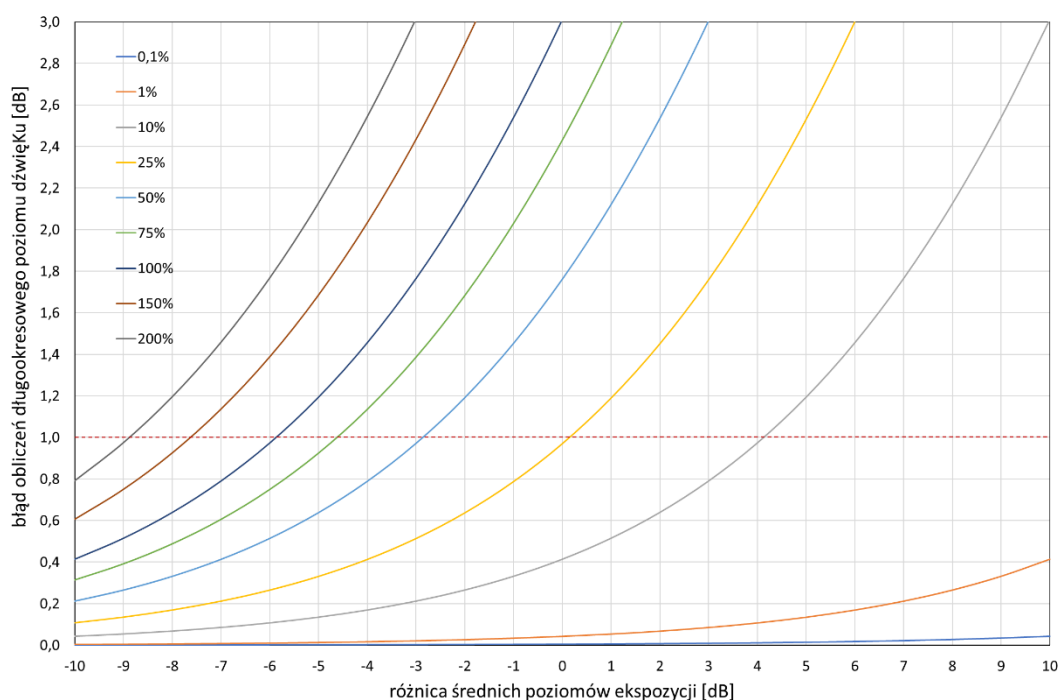
jest miarą jakości przybliżenia, wyrażoną w decybelach. W równaniu tym, wielkość  $\delta$  oznacza różnicę poziomów ekspozycji hałasu,

$$\delta = L_{AE,2} - L_{AE,1}$$

która może przyjmować wartości dodatnie lub ujemne, w zależności od tego czy grupa pomijana charakteryzuje się odpowiednio większym lub mniejszym poziomem ekspozycji hałasu średniego zdarzenia akustycznego.

Miara jakości przybliżenia,  $\Delta_L$ , jest zawsze nieujemna, czyli zawsze pominięcie grupy 2 przekłada się na zaniżenie obliczonego poziomu dźwięku. Zwykle przyjmuje się, że dopuszczalny błąd przybliżenia nie może przekroczyć 1 dB,<sup>9</sup> co wynika z odniesienia do niepewności rozszerzonej metod pomiarowych i obliczeniowych (która jest większa lub znacznie większa) oraz do progu różnicowego percepcji hałasu (dla większości populacji zmiana poziomu o 1 dB jest niezauważalna).

Na Rys. 3-3 pokazano błąd niedoszacowania poziomu dźwięku,  $\Delta_L$ , związanego z pominięciem grupy zdarzeń, w zależności od ich liczby w porównaniu z liczebnością zdarzeń w grupie uwzględnionej w obliczeniach (100% na tym rysunku oznacza równą liczbę operacji w obu grupach) oraz w zależności od różnicy,  $\delta$ , ich średniego poziomu hałasu pojedynczego zdarzenia względem średniego poziomu hałasu pojedynczego zdarzenia w grupie uwzględnionej w obliczeniach.



Rys. 3-3 Wpływ pominięcia w obliczeniach wybranych grup zdarzeń akustycznych na długookresowy poziom dźwięku, w zależności od różnicy średniego poziomu ekspozycji hałasu i natężenia ruchu względem grupy zdarzeń akustycznych uwzględnionych w obliczeniach

<sup>9</sup> Nie ma to bezpośredniego związku z dokładnością modelu, o czym mowa w rozdziale 4.7.

## 4 HAŁAS DROGOWY

W rozdziale tym zawarto informacje dotyczące danych niezbędnych do obliczenia poziomu hałasu drogowego na potrzeby strategicznej mapy hałasu wg metody CNOSSOS-EU, adaptując ją do warunków krajowych, z uwzględnieniem zagadnień takich jak:

- nowy podział na kategorie pojazdów,
- nowa kategoryzacja nawierzchni drogowych,
- parametry eksploatacyjne i ich wpływ na wyniki obliczeń,
- źródła i sposoby pozyskania potrzebnych danych.

### 4.1 Obliczanie poziomu hałasu drogowego

Model hałasu drogowego jest opisany w rozdziale 2.2 załącznika do Dyrektywy 2015/996. Obliczenia prowadzi się w pasmach oktawowych z przedziału od 63 Hz do 8 kHz, oddzielnie dla każdej kategorii pojazdów, tworzących łącznie strumień ruchu. Pojazdy podzielone są na pięć kategorii, co jest istotną zmianą w porównaniu z dotychczas stosowaną metodą obliczeniową oraz metodą pomiarową stosowaną w naszym kraju. Każdy pojazd z tych pięciu kategorii jest modelowany jako bezkierunkowe źródło punktowe, umieszczone 5 cm nad akustycznie twardą powierzchnią drogi. Odbicie od nawierzchni drogi, które występuje zawsze, jest uwzględnione (wbudowane) w parametrach modelu. Emisja hałasu strumienia pojazdów jest modelowana jako nieruchome i kierunkowe źródło liniowe i jest wyrażona poprzez równoważny poziom mocy akustycznej przypadający na jeden metr drogi,  $L_{W',eq,line}$  (rozd. 3). Ten wypadkowy poziom reprezentuje sumę emisji wszystkich pojedynczych przejazdów, z uwzględnieniem czasu, w którym pojazd przebywał w analizowanym segmencie drogi. Jak pokazano w rozdz. 3, poziom  $L_{W',eq,line}$  jest obliczany na podstawie znajomości podstawowej wielkości charakteryzującej poziom emisji każdego źródła hałasu, tj. przez poziom mocy akustycznej,  $L_W$ .<sup>10</sup>

W metodzie CNOSSOS-EU model pojazdu drogowego uwzględnia dwa główne źródła (mechanizmy generacji) hałasu:

- hałas toczenia, spowodowany wzajemnym oddziaływaniem opony i nawierzchni,
- hałas układu napędowego pojazdu, emitowany przez silnik, układ wydechowy, itp.

W przypadku pojazdów lekkich, średnich oraz ciężarowych (należących do kategorii *odpowiednio*  $m = 1, 2$  oraz  $3$ , rozdz. 4.3) całkowity poziom mocy akustycznej (w danym paśmie oktawowym,  $i$ ) odpowiada sumie logarytmicznej poziomu mocy akustycznej hałasu toczenia i poziomu mocy akustycznej hałasu emitowanego z układu napędowego. W przypadku pojazdów dwukołowych (kategoria  $m = 4$ ) za całkowitą moc akustyczną odpowiada wyłącznie poziom mocy akustycznej jednostki napędowej.

Poziomu mocy akustycznej opisujący każde z dwóch uwzględnianych źródeł hałasu oblicza się dla każdej kategorii pojazdu ( $m$ ), w zależności od średniej prędkości  $v_m$  [km/godz.], według wyrażenia w postaci:

<sup>10</sup> PN-EN ISO 80000-8:2020-09, Wielkości i jednostki -- Część 8: Akustyka, PKN, 2020

$$L_{W,i,m}(v_m) = A_{i,m} + B_{i,m} * f(v_m) + \Delta L_{W,i,m}(v_m) \quad \text{Równanie 4-1}$$

uwzględniającej referencyjne warunki emisji hałasu, wyrażone przez wyznaczone empirycznie współczynniki  $A_{i,m}$ ,  $B_{i,m}$  [dB], różne dla hałasu toczenia i hałasu układu napędowego. Wartości tych współczynników zostały określone w Tabeli F-1 w Dyrektywie 2015/996.

Funkcja  $f(v_m)$  wyraża logarytmiczną (dla hałasu toczenia) i liniową (dla hałasu układu napędowego) zależność poziomu mocy akustycznej od prędkości, odniesioną do prędkości referencyjnej, która w CNOSSOS-EU wynosi  $v_{ref} = 70$  km/godz. Wpływ obydwóch źródeł na wypadkowy poziom mocy akustycznej zależy - dla danej kategorii pojazdów spośród  $m = 1, 2, 3$  - od prędkości i generalnie, wraz ze wzrostem prędkości coraz wyraźniej dominuje hałas toczenia. Pokazano to na przykładzie dwóch kategorii w rozdz. 4.4.

Funkcja  $\Delta L_{W,i,m}(v_m)$  zawiera sumę współczynników korekcyjnych, które uwzględniają odmienną sytuację rzeczywistej scenarii od warunków referencyjnych.

Warunki referencyjne, dla których funkcja  $\Delta L_W = 0$  dB, określone są następująco:

- stała prędkość pojazdów,
- brak pochylenia podłużnego jezdni,
- jezdnia w poziomie terenu,
- temperatura powietrza  $t_{ref} = 20^\circ\text{C}$ ,
- wirtualna referencyjna nawierzchnia jezdni, zdefiniowana jako wykonana ze średnio zagęszczonego betonu asfaltowego (DAC) 0/11 i mieszanki grysowo-mastyksowej (SMA) 0/11, w wieku pomiędzy 2 a 7 lat oraz w dobrym stanie utrzymania, określonym jako reprezentatywny,
- równa jezdnia,
- sucha nawierzchnia jezdni,
- wszystkie pojazdy wyposażone w opony bez kolców.

Funkcja korygująca  $\Delta L_W$  zależy od rodzaju źródła hałasu. Różne czynniki uwzględnia się w przypadku hałasu toczenia i hałasu jednostki napędowej. Odstępstwo od ww. warunków referencyjnych uwzględniane jest poprzez następujące czynniki:

- rodzaj nawierzchni drogi,
- gradient (pochylenie podłużne) jezdni – jazda w górę lub w dół,
- wpływ opon z kolcami,
- lokalna zmiana prędkości - przyspieszanie lub hamowanie spowodowane obecnością skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, ronda lub inną infrastrukturą wymuszającą zmianę prędkości (np. bramki autostradowe, znak stop, itp.),
- wpływ temperatury powietrza (i pośrednio nawierzchni drogi) na wielkość emisji hałasu generowanego na styku nawierzchnia-opona.

W metodzie nie są uwzględnione w sposób bezpośredni:

- stan techniczny nawierzchni jezdni,
- wpływ mokrej nawierzchni drogi.

W porównaniu z dotychczas stosowaną metodą obliczania hałasu drogowego, NMPB-96, nowymi elementami uwzględnionym w modelu źródła hałasu są przede wszystkim:

- wprowadzenie dwóch mechanizmów (źródeł) generacji hałasu,

- obniżenie wysokości zastępczego źródła hałasu (co w analizach porównawczych może wpłynąć m.in. na ocenę skuteczności ekranowania),
- uwzględnienie wpływu stosowania opon z kolcami,
- uwzględnienie wpływu temperatury powietrza na poziom hałasu toczenia.

#### **4.2 Dane wejściowe niezbędne do wykonania strategicznych map hałasu drogowego**

Opracowanie mapy akustycznej dla hałasu drogowego wymaga zebrania danych związanych z samym źródłem hałasu i powiązaną infrastrukturą, które determinują emisję oraz danych charakteryzujących środowisko, które determinują warunki propagacji hałasu i są takie same dla wszystkich rodzajów hałasu objętych mapami strategicznymi.

Dane charakteryzujące źródło hałasu, dotyczące:

- pojazdów:
  - kategorie pojazdów poruszających się na danej drodze,
  - liczba pojazdów danej kategorii,
  - udział procentowy pojazdów wyposażonych w opony z kolcami oraz liczba miesięcy, w których te opony są stosowane,
- infrastruktury drogowej:
  - lokalizacja drogi w terenie – przebieg osi jezdni oraz niweleta drogi,
  - położenie drogi względem otaczającego terenu - w poziomie terenu, na moście, wiadukcie, estakadzie, nasypie lub w wykopie,
  - geometria drogi – szerokość jezdni, liczba pasów ruchu,
  - tekstura górnych warstw nawierzchni – rodzaj nawierzchni i stan utrzymania,
- ruchu drogowego:
  - natężenie ruchu, z uwzględnieniem podziału na kategorie pojazdów i na porę dnia ( $6^{00}$  -  $18^{00}$ ), porę wieczoru ( $18^{00}$  -  $22^{00}$ ) oraz porę nocy ( $22^{00}$  -  $6^{00}$ ),
  - średnie prędkości pojazdów, z uwzględnieniem podziału na kategorie pojazdów oraz pory doby,
  - charakterystyka płynności ruchu - wskazanie odcinków, na których ruch nie odbywa się ze stałą prędkością, tj. występuję ruch przyspieszony lub opóźniony,
- warunki meteorologiczne – temperatura powietrza.

Dane charakteryzujące środowisko akustyczne (patrz Wytyczne GIOŚ), dotyczące:

- ekranów akustycznych:
  - lokalizacja w terenie – współrzędne wierzchołków,
  - wymiary ekranów – długości i wysokości
  - kształt ekranu (np. ekran prosty, ekran pochylony, z daszkiem, itp.),
  - właściwości materiałowe – ekran pochłaniający, odbijający, mieszany, sparametryzowane jednolicebowym współczynnikiem dźwiękochłonności i dźwiękoizolacyjności, wyrażonym w dB,
- terenów objętych ochroną akustyczną: informacje o lokalizacji i rodzaju terenów chronionych,
- warstwy pokrycia terenu (współczynnika gruntu, G),



- budynków, budowli i urządzeń:
  - geometria budynku (położenie i wysokość),
  - rodzaje budynku – informacje o funkcji budynku (np. mieszkalny, niemieszkalny, szkoła, szpital, itp.),
  - współczynnik tłumienia (odbicia), określony dla każdej fasady,
  - liczba kondygnacji, lokali mieszkalnych i liczba mieszkańców,
  - specjalna izolacja akustyczna – informacja czy występuje,
  - cicha elewacja – informacja czy występuje.
- numerycznego modelu terenu.

### Opony z kolcami

Jest to element metody CNOSSOS-EU, który w naszym kraju nie ma zastosowania ze względu na bardzo ograniczoną możliwość prawną stosowania takich opon. Stąd, w praktyce jest to zagadnienie **nie uwzględniane** w mapie strategicznej.

### Temperatura powietrza a hałas drogowy

Wg zależności przedstawionych CNOSSOS-EU, roczna zmienność średniej dobowej temperatury w naszym kraju może odpowiadać za zmianę poziomu emisji hałasu drogowego rzędu 3 dB, od ok. +2 dB zimą do -1 dB latem, względem temperatury referencyjnej  $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$ . Wpływ temperatury powietrza na poziom hałasu toczenia został omówiony we Wytycznych GIOŚ. Na podstawie analizy danych meteorologicznych stwierdzono, że:

- dla całego obszaru objętego mapą strategiczną (miasto o liczbie mieszkańców większej niż 100 tysięcy lub drogi czy linie kolejowe, w granicach województwa) można przyjąć jednorodną średnią temperaturę otoczenia, zbieżną z wartością przyjętą w modelu akustycznym do uwzględnienia wpływu pochłaniania przez powietrze,
- przy braku bardziej szczegółowych danych **na potrzeby obliczeń hałasu drogowego zaproponowano przyjęcie średniorocznej wartości temperatury otoczenia równej  $10^{\circ}\text{C}$**  (wtedy korekta na emisję hałasu toczenia wynosi 0,8 dB dla pojazdów kategorii 1 oraz 0,4 dB dla pojazdów kategorii 2 i 3),
- niewielkie średnioroczne różnice temperatur, dla różnych miejsc obszaru mapowania, czy pomiędzy porą dzienną, wieczorną i nocną - rzędu kilku stopni – mają nieistotny wpływ na średnioroczną wielkość emisji hałasu; w pracy <sup>11</sup> pokazano, że przy średniej rocznej różnicy temperatury powietrza pomiędzy porą dzienną i nocną rzędu  $5^{\circ}\text{C}$  pominięcie tej różnicy w obliczeniach poziomu hałasu wprowadza błąd systematyczny nie większy niż 0,2 dB (malejący przy małych prędkościach i dużym udziale pojazdów ciężkich w potoku ruchu),
- tym niemniej, jeśli dla obszaru mapowania dostępne są szczegółowe dane o średniorocznej temperaturze powietrza można je uwzględnić w obliczeniach.

<sup>11</sup> Kirisits Ch. i in., *Variations and uncertainties calculating noise indices using the new annex II methods of the European noise directive*, Inter Noise 2015, San Francisco

### 4.3 Kategorie pojazdów

Zgodnie z Dyrektywą 2015/966 pojazdy poruszające się po drogach dzieli się na 5 kategorii przedstawionych w Tab. 4-1. Każda kategoria stanowi w metodyce CNOSSOS-EU homogeniczną pod względem emisji hałasu grupę pojazdów, dla których przyjęte zostały identyczne parametry funkcji odwzorowujących mechanizmy generacji hałasu związane m.in. z prędkością ruchu, gradientem czy nawierzchnią drogą.

Tab. 4-1 Kategorie pojazdów drogowych wg klasyfikacji CNOSSOS-EU

Kategoria	Nazwa	Opis		Kategoria pojazdu w UE
1	Lekkie pojazdy silnikowe	Samochody osobowe, samochody dostawcze ≤ 3,5 tony, samochody typu SUV <sup>12</sup> , pojazdy wielofunkcyjne (MPV) <sup>13</sup> , włącznie z przyczepami i przyczepami turystycznymi		M <sub>1</sub> i N <sub>1</sub>
2	Średnie pojazdy ciężarowe	Średnie pojazdy ciężarowe, samochody dostawcze > 3,5 tony, autobusy, samochody kempingowe itd., dwuosiove i posiadające opony bliźniacze na tylnej osi		M <sub>2</sub> , M <sub>3</sub> oraz N <sub>2</sub> , N <sub>3</sub>
3	Pojazdy ciężarowe	Pojazdy ciężarowe, autokary turystyczne, autobusy, z trzema lub więcej niż trzema osiami		M <sub>2</sub> i N <sub>2</sub> z przyczepą, M <sub>3</sub> i N <sub>3</sub>
4	Dwukołowe pojazdy silnikowe	4a	Motorowery dwu-, trzy- i czterokołowe	L <sub>1</sub> , L <sub>2</sub> , L <sub>6</sub>
		4b	Motocykle z przyczepą boczną i bez, motocykle trzy – i czterokołowe	L <sub>3</sub> , L <sub>4</sub> , L <sub>5</sub> , L <sub>7</sub>
5	Kategoria otwarta	Zostanie zdefiniowana wedle przyszłych potrzeb		Nie dotyczy

#### Kategoria 1 – lekkie pojazdy silnikowe

Zgodnie z zapisami Dyrektywy 2015/996 do kategorii 1 (lekkie pojazdy silnikowe) należą:

- samochody osobowe,
- samochody dostawcze ≤ 3,5 tony,
- samochody typu SUV (pojazdy sportowo-użytkowe),
- pojazdy wielofunkcyjne (MPV).

W odniesieniu do Dyrektywy 2007/46/WE <sup>14</sup> pojazdy z kategorii 1 są definiowane jako pojazdy:

- zaprojektowane i wykonane do przewozu osób, mające nie więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy (M<sub>1</sub>),
- zaprojektowane i wykonane do przewozu ładunków, których maksymalna masa nie przekracza 3,5 tony (N<sub>1</sub>).

<sup>12</sup> Pojazdy sportowo-użytkowe

<sup>13</sup> Pojazdy wielofunkcyjne

<sup>14</sup> Dyrektywa 2007/46/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 września 2007 r. ustanawiająca ramy dla homologacji pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz układów, części i oddzielnych zespołów technicznych przeznaczonych do tych pojazdów (Dz.U. I. 263 z 0.10.2007, s. 1)

W przypadku, gdy do wymienionych pojazdów dołączona jest przyczepa lub przyczepa turystyczna, pojazdy takie nadal należą do kategorii 1. Przyczepa nie jest uwzględniana w obliczeniach jako osobny pojazd. Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe pojazdy należące do kategorii 1 (zdjęcia z zasobów własnych).



Rys. 4-1 Przykłady pojazdów należących do kategorii 1

## Kategoria 2 – średnie pojazdy ciężarowe

Zgodnie z zapisami Dyrektywy 2015/996 do kategorii 2 (średnie pojazdy ciężarowe) należą następujące pojazdy dwuosiowe i posiadające opony bliźniacze na tylnej osi:

- średnie pojazdy ciężarowe,
- samochody dostawcze > 3,5 tony,
- autobusy,
- samochody kempingowe itd.

W odniesieniu do Dyrektywy 2007/46/WE pojazdy z kategorii 2 są definiowane jako pojazdy:

- zaprojektowane i wykonane do przewozu osób, mające więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy, których maksymalna masa nie przekracza 5 ton (M<sub>2</sub>),
- zaprojektowane i wykonane do przewozu osób, mające więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy, których maksymalna masa przekracza 5 ton (M<sub>3</sub>),
- zaprojektowane i wykonane do przewozu ładunków, których maksymalna masa przekracza 3,5 tony, ale nie przekracza 12 ton (N<sub>2</sub>),
- zaprojektowane i wykonane do przewozu ładunków, których maksymalna masa przekracza 12 ton (N<sub>3</sub>).

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe pojazdy należące do kategorii 2 (zdjęcia z zasobów własnych).



Rys. 4-2 Przykłady pojazdów należących do kategorii 2

### Kategoria 3 – pojazdy ciężarowe

Zgodnie z zapisami Dyrektywy 2015/996 do kategorii 3 (pojazdy ciężarowe) należą następujące pojazdy z trzema lub więcej osiami:

- pojazdy ciężarowe,
- autokary turystyczne,
- autobusy.

W odniesieniu do Dyrektywy 2007/46/WE pojazdy z kategorii 3 są definiowane jako pojazdy:

- zaprojektowane i wykonane do przewozu osób, mające więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy, których maksymalna masa nie przekracza 5 ton ( $M_2$ ) z przyczepą,
- zaprojektowane i wykonane do przewozu osób, mające więcej niż osiem siedzeń oprócz siedzenia kierowcy, których maksymalna masa przekracza 5 ton ( $M_3$ ),
- zaprojektowane i wykonane do przewozu ładunków, których maksymalna masa przekracza 3,5 tony, ale nie przekracza 12 ton ( $N_2$ ) z przyczepą,
- zaprojektowane i wykonane do przewozu ładunków, których maksymalna masa przekracza 12 ton ( $N_3$ ).

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe pojazdy należące do kategorii 3 (zdjęcia z zasobów własnych).



Rys. 4-3 Przykłady pojazdów należących do kategorii 3

Dwukołowe pojazdy silnikowe ze względu na zróżnicowanie w emitowanym przez nie poziomie hałasu rozpatruje się w dwóch podkategoriach kategorii 4.

#### **Kategoria 4a - Motorowery dwu-, trzy- i czterośladowe**

Zgodnie z zapisami Dyrektywy 2015/996 do kategorii 4a należą motorowery dwu-, trzy- i czterośladowe.

W odniesieniu do Rozporządzenia (UE) nr 168/2013<sup>15</sup> pojazdy z kategorii 4a są definiowane jako:

- lekkie dwukołowe pojazdy silnikowe, w tym rowery z napędem i dwukołowe motorowery (L1),
- trzyśladowe motorowery, przeznaczone zarówno do przewozów pasażerów jak i do celów użytkowych (L2),
- lekkie czterośladowce – drogowe i przeznaczone zarówno do przewozów pasażerów jak i do celów użytkowych (L6).

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe pojazdy należące do kategorii 4a.



Rys. 4-4 Przykłady pojazdów należących do kategorii 4a<sup>16,17</sup>

#### **Kategoria 4b - Motocykle z przyczepą boczną i bez, motocykle trzy- i czterośladowe**

Zgodnie z zapisami Dyrektywy 2015/996 do kategorii 4b należą motocykle z przyczepą boczną i bez, motocykle trzy- i czterośladowe.

W odniesieniu do Rozporządzenia (UE) nr 168/2013 pojazdy z kategorii 4 są definiowane jako pojazdy:

- dwukołowe motocykle o niskich, średnich i wysokich osiągnięciach oraz motocykle enduro i trialowe (L3),
- dwukołowe motocykle z wózkiem bocznym (L4),
- trzyśladowy pojazd silnikowy, przeznaczony zarówno do przewozów pasażerów jak i do celów użytkowych (L5),

<sup>15</sup> ROZPORZĄDZENIE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY (UE) NR 168/2013 z dnia 15 stycznia 2013 r. w sprawie homologacji i nadzoru rynku pojazdów dwu- lub trzyśladowych oraz czterośladowców

<sup>16</sup> Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Motorower#/media/Plik:Romet\\_777\\_in\\_Kraków.jpg](https://pl.wikipedia.org/wiki/Motorower#/media/Plik:Romet_777_in_Kraków.jpg)

<sup>17</sup> Źródło: <https://motocykle-rowery.pl/pl/p/E-SCOOTER-trojkolowiec-Elektryczny-skuter-trzykolowy/10076>

- ciężkie czterokołowce – drogowe A1 i A2, terenowe, pojazdy typu side-by-side buggy oraz ciężkie czterokołowce przeznaczone do przewozu pasażerów jak i do celów użytkowych (L7).

Poniższe zdjęcia przedstawiają przykładowe pojazdy należące do kategorii 4b.



Rys. 4-5 Przykłady pojazdów należących do kategorii 4b <sup>18,19,20,21,22</sup>

<sup>18</sup> Źródło: [https://pl.wikipedia.org/wiki/Motocykl#/media/Plik:Suzuki\\_GSXR\\_750\\_1996.JPG](https://pl.wikipedia.org/wiki/Motocykl#/media/Plik:Suzuki_GSXR_750_1996.JPG)

<sup>19</sup> Źródło: <https://libertymotors.pl/produkt/ktm-690-enduro-r-2021/>

<sup>20</sup> Źródło: <https://autoakademia.pl/samochody-b1-l7e/>

<sup>21</sup> Źródło: <https://www.rkmotocykle.pl/honda/honda-gl1500-ct-valkyrie-f6c-z-wozkiem-bocznym-i560>

<sup>22</sup> Źródło: <https://www.jednoslad.pl>

## Kategoria 5

Zgodnie z zapisami Dyrektywy 2015/996 piąta kategoria pojazdów została zdefiniowana jako klasa otwarta dla nowych rodzajów pojazdów, które mogą się pojawić w przyszłości i będą się znacznie różniły pod względem emisji hałasu od pozostałych czterech kategorii. Aktualnie metodyka nie definiuje żadnych parametrów emisji hałasu dla tej kategorii pojazdów. Co więcej, kategoria ta nie została zaimplementowana w żadnym z komercyjnych programów realizujących obliczenia akustyczne, a więc użytkownik nie ma możliwości jej wykorzystania także w oparciu o samodzielnie zdefiniowane parametry emisji.

Często w kontekście 5 kategorii pojazdów porusza się temat pojazdów elektrycznych czy hybrydowych, które w zakresie małych prędkości ruchu (< 60 km/h) charakteryzują się niewielką emisją hałasu w porównaniu z pojazdami wyposażonymi w spalinową jednostkę napędową. Przy większych prędkościach ruchu, gdy dominującym staje się hałas toczenia czy hałas aerodynamiczny, pojazdy te akustycznie nie różnią się od klasycznych. Stąd też wyodrębnianie pojazdów elektrycznych jako osobnej kategorii miałyby ograniczone zastosowanie wyłącznie dla odcinków dróg o małych prędkościach ruchu, a więc podlegających mapowaniu akustycznemu w obrębie aglomeracji. Aktualny udział pojazdów elektrycznych w ogólnym potoku ruchu jest niewielki, na co wskazują statystyki: na ponad 31 mln pojazdów zarejestrowanych w Polsce <sup>23</sup> tylko niecałe 31 tys. ma napęd elektryczny lub hybrydowy, w tym niecałe 20 tys. poj. osobowych, około 860 pojazdów ciężarowych i dostawczych, 440 autobusów i blisko 10 tys. motocykli i motorowerów <sup>24</sup>. Oznacza to, że udział pojazdów o napędzie elektrycznym i hybrydowym nie przekracza aktualnie 1%, a więc w oczywisty sposób nie ma znaczenia dla wypadkowej emisji hałasu drogowego (Rys. 3-3).

W szczególnych sytuacjach, gdy ruch pojazdów elektrycznych (np. autobusów) jest istotny także w kontekście zidentyfikowanych problemów z oddziaływaniem akustycznym w danym miejscu (np. skargi na hałas) należy wykonać pomiary kalibracyjne i w oparciu o ich wyniki skorygować poziom emisji w modelu akustycznym, zgodnie ze wskazówkami zawartymi w przewodniku Wytyczne GIOŚ.

### Błąd spowodowany nieprawidłową klasyfikacją pojazdów

Nieprawidłowa klasyfikacja pojazdów może mieć wiele przyczyn, w tym zła widoczność (noc), czy trudność klasyfikacji pojazdów kategorii 2, zarówno w odniesieniu do kategorii 1, jak i kategorii 3. Wpływa to ostatecznie na natężenie ruchu poszczególnych kategorii, a przez zależność (Równanie 3-4) na obliczony poziom hałasu.

<sup>23</sup> Dane Polskiego Związku Przemysłu Motoryzacyjnego (PZPM) - <https://www.pzpm.org.pl/Rynek-motoryzacyjny/Park-pojazdow-zarejestrowanych/Tabele-Park-pojazdow-zarejestrowanych-w-Polsce-1990-2018>.

<sup>24</sup> Dane Polskiego Związku Przemysłu Motoryzacyjnego (PZPM) oraz Polskiego Stowarzyszenia Paliw Alternatywnych (PSPA) - <https://globenergia.pl/liczba-samochodow-z-napedem-elektrycznym-w-polsce-zblizanie-do-20-tys>.



Nie ma na razie danych, które by pozwoliły określić wielkość błędu związanego z nieprawidłowym przyporządkowaniem pojazdów kategorii 2. Z drugiej strony, można wyznaczyć dopuszczalny błąd standardowy (przyjmując jako wartość progową np. 1 dB) na podstawie wzorów z rozdziału 3, wykonując podobne przeliczenia, które doprowadziły do Rys. 3-3 (Równanie 3-15). W tym celu obliczono wpływ pojazdów kategorii 2 i kategorii 3 na wypadkowy równoważny poziom dźwięku, względem poziomu dźwięku pochodzącego tylko od pojazdów kategorii 1 (w obliczeniach pominięto kat. 4, gdyż jej udział w SDRR jest znikomy). Można wykazać, że wpływ pojazdów kategorii 2 i 3 łącznie, na wypadkowy poziom hałasu, wyrażony względem poziomu hałasu powodowanego przez pojazdy kategorii 1 (całkowity poziom hałasu to poziom hałasu powodowany przez pojazdy kat. 1 +  $\Delta_{kat.2+3}$ ) wynosi

$$\Delta_{kat.2+3} = 10 \cdot \log \left\{ 1 + \frac{N_3}{N_1} \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{AE,3} - L_{AE,1})} \cdot \left[ 1 + \frac{N_2}{N_3} \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{AE,2} - L_{AE,3})} \right] \right\}, \quad \text{Równanie 4-2}$$

gdzie  $N_m$  oznaczają natężenia ruchu, a  $L_{AE,m}$  – średnie poziomy ekspozycji hałasu pojazdów kategorii  $m = 1, 2$  i  $3$ .

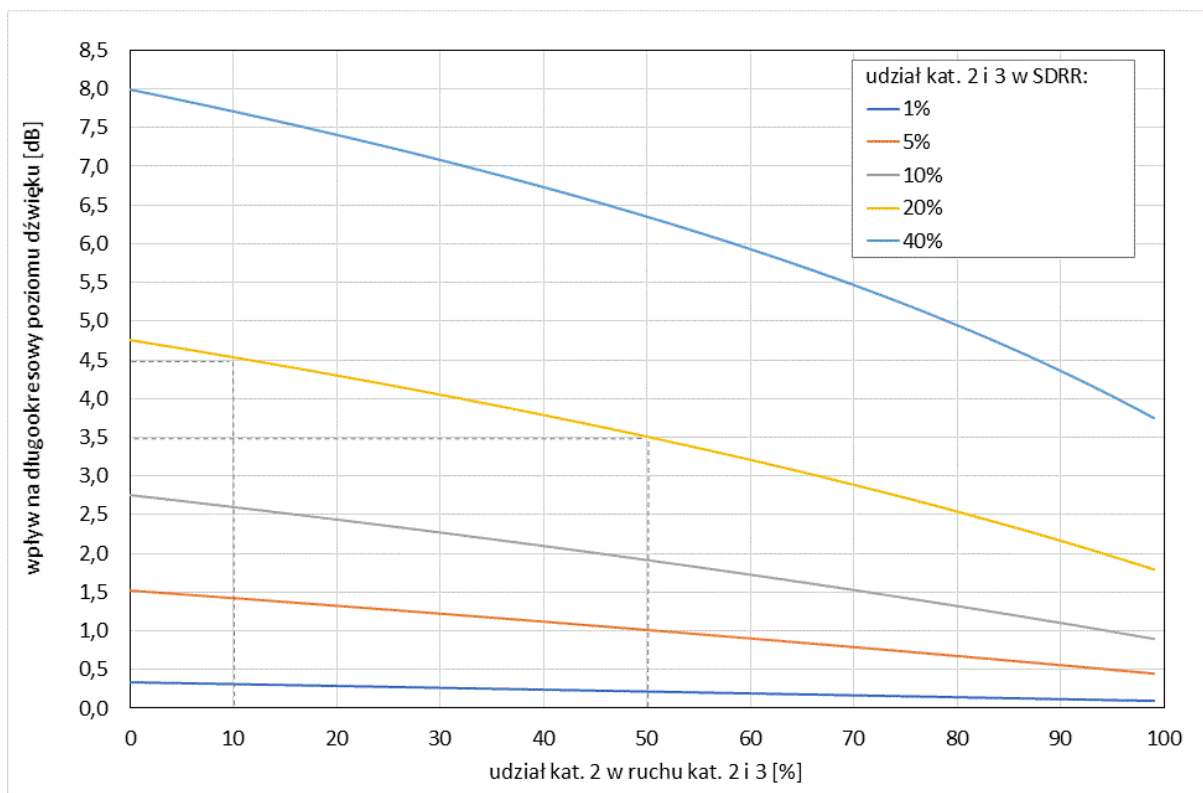
Obliczenia wykonano przy następujących założeniach:

- pojazdy kategorii 2 i kategorii 3 stanowią łącznie: 1%, 5%, 10%, 20% i 40%, całego potoku ruchu (pojazdy kategorii 1 stanowią zatem odpowiednio: 99%, 95%, 90%, 80% i 60% ruchu),
- w potoku pojazdów kategorii 2 i kategorii 3 udział pojazdów kategorii 2 zmienia się w zakresie 0 % - 100 %,
- średnia różnica poziomów ekspozycji hałasu, wyznaczona na podstawie danych przedstawionych w załączniku V, z uwzględnieniem różnych nawierzchni i całego przedziału prędkości wynosi:
  - kat. 3 – kat. 1 → +9 dB,
  - kat. 2 – kat. 1 → +3 dB,
  - kat. 3 – kat. 2 → +6 dB.

Wyniki obliczeń przedstawiono na Rys. 4-6, w funkcji udziału pojazdów kategorii 2 w łącznym strumieniu ruchu pojazdów kat. 2 i kat.3, a parametrem krzywych jest łączny udział tych dwóch kategorii w całkowitym strumieniu pojazdów (z uwzględnieniem kat. 1). W odniesieniu do dopuszczalnego błędu standardowego (1 dB) na wykresie tym należy znaleźć przedział na osi odciętych, który generuje różnicę poziomów do 1 dB.

Dla przykładu, jeśli łączny udział pojazdów kat. 2 i kat. 3 wynosi 20% całkowitego natężenia ruchu (seria 4 na Rys. 4-6), a rzeczywisty udział kat. 2 w ruchu kat. 2 i 3 jest równy 30%, co daje  $\Delta_{kat.2+3} = 4,0$  dB, to przedział błędu 1 dB zawiera się w zakresie (wyznaczonym dla przykładu symetrycznie jako  $\pm 0,5$  dB) od udziału kat. 2 na poziomie 10 % ( $\Delta_{kat.2+3} = 4,5$  dB) do udziału poziomu 50% ( $\Delta_{kat.2+3} = 3,5$  dB).

Z Rys. 4-6 wynika, że przy małym łącznym udziale procentowym kat. 2 i kat. 3, zakres zmian wartości funkcji  $\Delta_{kat.2+3}$  nie jest większy niż 1 dB (serie 1 i 2 na tym rysunku). Oznacza to, że dla małego udziału procentowego tych dwóch kategorii, do 5%, podział pojazdów na te kategorie nie ma istotnego znaczenia dla dokładności obliczeń poziomu dźwięku.



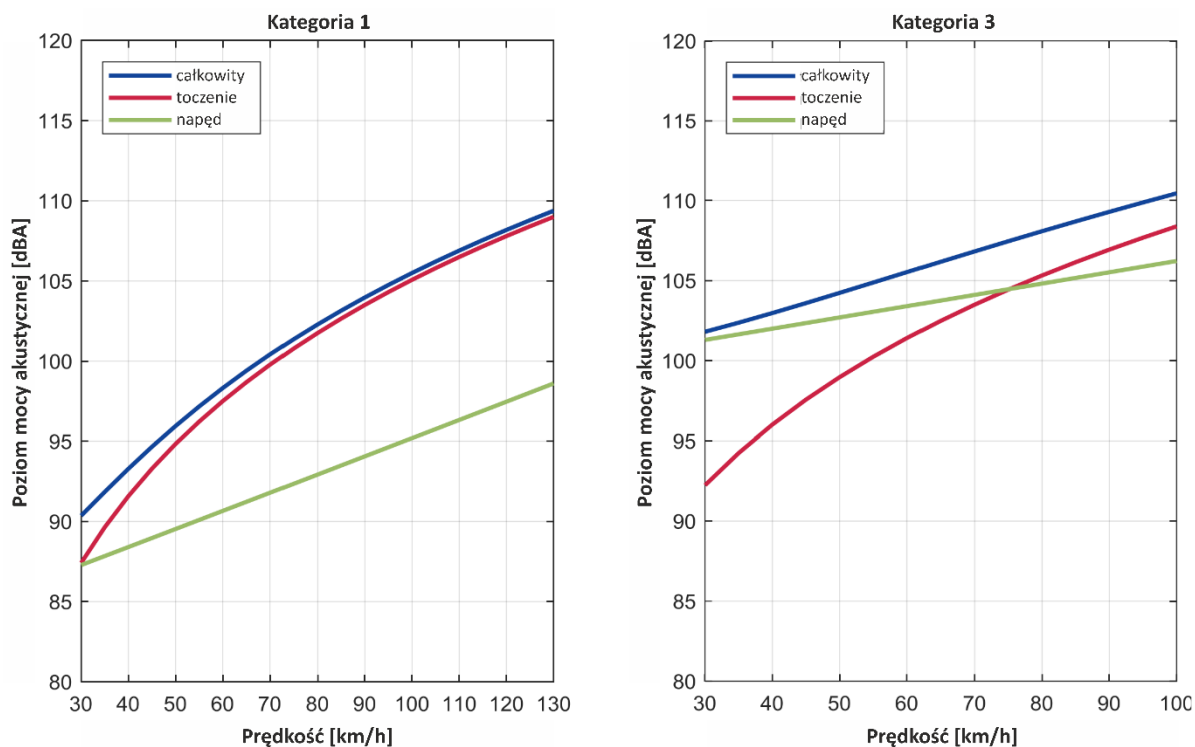
Rys. 4-6 Wpływ pojazdów kategorii 2 i kategorii 3 na wypadkowy poziom hałasu drogowego, w zależności od udziału tych kategorii w całkowitym natężeniu ruchu (SDRR), w funkcji udziału kategorii 2

#### 4.4 Prędkość ruchu pojazdów

W metodyce CNOSSOS-EU dla danego jednorodnego odcinka drogi, zakłada się że wszystkie pojazdy należące do danej kategorii poruszają się z tą samą średnią prędkością. Rzeczywista wartość średniej prędkości pojazdów danej kategorii zależy od szeregu czynników, tj.:

- klasy drogi,
- rodzaju i stanu nawierzchni,
- zagospodarowania terenu otaczającego drogę,
- obowiązującego ograniczenia prędkości,
- istniejących urządzeń spowalniających czy uspokajających ruch,
- natężenia i płynności ruchu pojazdów,
- uwarunkowań lokalnych, np. obecność zakrętów, przejść dla pieszych, przejazdów rowerowych, przystanków autobusowych, itp.,
- warunków atmosferycznych,
- pory doby.

Średnia prędkość pojazdów jest istotnym elementem wpływającym na wyniki obliczeń równoważnego poziomu dźwięku. Równania opisujące poziom mocy akustycznej źródeł hałasu drogowego wprost zależą od przyjętej średniej prędkości pojazdów (rozdział 4.1). Prędkość pojazdu przekłada się zarówno na zmianę hałasu toczenia, jak i jednostki napędowej (Rys. 4-7). Jest czynnikiem decydującym także o wielkości poprawek związanych z typem nawierzchni jezdni (rozdział 4.5), gradientem jezdni oraz udziałem pojazdów wyposażonych w opony z kolcami.



Rys. 4-7 Wpływ prędkości na poziom mocy akustycznej pojazdów 1 i 3 kategorii<sup>25</sup>

Poprawność obliczeń wskaźników oceny hałasu wykorzystywanych w strategicznych mapach hałasu uwarunkowana jest dokładnością wyznaczenia średnich prędkości dla poszczególnych kategorii pojazdu  $m$  oraz pór doby (pora dnia: godz. 6<sup>00</sup> - 18<sup>00</sup>, pora wieczoru: godz. 18<sup>00</sup> - 22<sup>00</sup>, pora nocy: godz. 22<sup>00</sup> - 6<sup>00</sup>). Średnie prędkości ruchu pojazdów na danym odcinku drogi należy określić na podstawie pomiarów lub gdy nie ma takich możliwości na podstawie innych dostępnych danych.

### Pomiar prędkości

Pomiary prędkości ruchu pojazdów mogą być wykonywane przy pomocy radarów ręcznych lub automatycznych (metoda bezpośrednia) lub poprzez rejestrację czasu przejazdu pojazdów na odcinku bazowym o znanej długości (metoda pośrednia). Istotne jest, aby obecność stanowiska pomiarowego nie wpływała na zachowanie kierowców i tym samym nie zmieniała (zaniżała) typowej prędkości ruchu pojazdów na badanym odcinku drogi. Stąd też konieczne jest odpowiednie maskowanie stanowiska pomiarowego lub wykorzystanie urządzeń pomiarowych o dużym zasięgu, pozwalającym na wykonywanie pomiarów ze znacznej odległości. Pomiary powinny obejmować cały czas odniesienia (pomiar ciągły lub próbkowanie w stałych odstępach czasu), tak aby wynik reprezentował średnią prędkość ruchu pojazdów zmieniającą się niejednokrotnie w obrębie pory dnia, wieczoru i nocy. Wyznaczona prędkość powinna reprezentować zarówno ruch swobodny, jak i kolumnowy (zator, kongestia) w przypadku, gdy taki występuje na drodze. Pomiary powinny obejmować przejazdy pojedynczych pojazdów, jak i grup. W przypadku pojazdów w grupie nie powinno się wybierać pojazdu pierwszego lub ostatniego. Liczba pomiarów prędkości dla każdej kategorii pojazdów

<sup>25</sup> Peeters B., Gijssjan van Blokland, *Correcting the CNOSSOS-EU road noise emission values*, Euronoise 2018

i pory doby jest wystarczająca, jeśli jej zwiększanie nie zmienia wyznaczonej do tej pory wartości średniej prędkości.

W celu wyznaczenia średniej prędkości ruchu pojazdów oprócz pomiarów wykonywanych bezpośrednio w tym celu można wykorzystać także pomiary prędkości współtowarzyszące pomiarom hałasu (w tym GPH) lub dostępne wyniki gromadzone przez stacjonarne i odcinkowe systemy pomiaru prędkości ruchu pojazdów, systemy kontroli ruchu pojazdów czy systemów inteligentnego transportu w aglomeracjach.

### **Określanie średniej prędkości ruchu na podstawie innych danych**

Obecnie nie istnieje jednolite w skali kraju repozytorium średnich prędkości ruchu pojazdów na poszczególnych odcinkach dróg. Nie ma też możliwości wykonania pomiarów dla każdego jednolitego akustycznie odcinka drogi objętego strategiczną mapą hałasu. Dlatego wykorzystując informację o klasie drogi, rodzaju jezdni oraz obszarach zabudowanych można zdobyć wstępną wiedzę do przypisania prędkości dopuszczalnych. Te informacje powinny być uszczegółowione przy pomocy m.in.:

- pomiarów prędkości ruchu prowadzonych na podobnych / sąsiednich odcinkach dróg,
- ograniczeń prędkości wprowadzanych znakami drogowymi – wizja lokalna, usługi typu StreetView, otwarta baza danych OpenStreetMap,
- obecność urządzeń spowalniających, uspokajających ruch: progi i szykany drogowe, poduszki berlińskie, wyniesione skrzyżowania i przejścia dla pieszych, przystanki wiedeńskie, radary i fotoradary, odcinkowe pomiary prędkości, skrzyżowania z sygnalizacją świetlną, rondo, skrzyżowania równorzędne, przejścia dla pieszych, przejazdy kolejowe itp.

W oparciu o wyniki pomiarów (w tym także GPH dla dróg krajowych z 2015 i 2020 roku) można wyznaczyć ogólną zależność pomiędzy klasą drogi, obowiązującymi ograniczeniami prędkości ruchu a rzeczywistą zmierzoną średnią prędkością ruchu pojazdów, którą zaprezentowano w Tab. 4-2. Z uwagi na wykorzystanie przede wszystkim wyników pomiarów realizowanych zgodnie z obowiązującą metodyką pomiarową, która uwzględnia podział potoku pojazdów wyłącznie na lekkie i ciężkie oraz uwzględnia wyłącznie porę dnia i nocy (bez wyodrębniania pory wieczornej) zestawienie to nie jest kompletne i wyczerpujące. Zestawienie to niekoniecznie odzwierciedla rzeczywistą średnią prędkość na danym odcinku drogi. Podobne wyniki analizy kilkudziesięciu przekrojów pomiarowych przedstawiono w projekcie RID – Zadanie 6, realizowanym dla GDDKiA w 2017 roku.<sup>26</sup> **Jeśli znana jest rzeczywista średnia prędkość na danym odcinku drogi to powinna być ona użyta w modelu akustycznym.** Dla miast, gdzie z założenia wyznaczanie danych wejściowych (takich jak poziom hałasu, natężenie i prędkość ruchu) nie obejmuje wszystkich ulic, w praktyce tworzy się schematy przypisania średniej prędkości do grupy ulic, w zależności od czynników takich jak wymienione

<sup>26</sup> Projekt RID - Ochrona przed hałasem drogowym, Zadanie 6. Opracowanie sposobów i zasad ustalania miarodajnych wartości parametrów ruchu oraz wybór metod pomiarowych do analiz hałasu, projekt nr: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL, 2017, <https://www.gov.pl/web/gddkia/rid>

w Tab. 4-2, w postaci odstępstwa od prędkości dopuszczalnej  $\Delta v$ . Wtedy średnia prędkość przyjmowana do obliczeń akustycznych wynosi:  $v_{\text{średnia}} = v_{\text{dop}} + \Delta v$ .

Tab. 4-2 Zestawienie średnich rzeczywistych prędkości ruchu pojazdów 1 i 3 kategorii z wartościami dopuszczalnymi dla poszczególnych klas i odcinków dróg krajowych

klasa drogi	liczba jezdni	dodatkowe ograniczenie prędkości dopuszczalnej wprowadzane znakami	prędkość dopuszczalna [km/h]		średnia zmierzona prędkość [km/h]			
					DZIEŃ		NOC	
			<3,5 t. <sup>(1)</sup>	> 3,5 t. <sup>(1)</sup>	1 kat.	3 kat.	1 kat.	3 kat.
A	2	brak <sup>(2)</sup>	140	80	129	93	122	87
S	2	brak <sup>(2)</sup>	120	80	109	83	117	88
S	1	brak <sup>(2)</sup>	110	80	86	76	105	85
GP, G	2	brak <sup>(2)</sup>	100	80	82	69	97	78
GP, G	2	do 90 km/h	90	80	69	64	90	72
GP, G	2	do 70 km/h	70	70	68	54	100	74
GP, G	2	do 60 km/h	60	60	58	52	67	61
GP, G	2	teren zabudowany	50	50	59	49	64	57
GP, G	1	brak <sup>(2)</sup>	90	70	70	64	88	79
GP, G	1	do 70 km/h w jednym kierunku	80 <sup>(3)</sup>	70	65	60	92	79
GP, G	1	do 70 km/h	70	70	65	59	72	66
GP, G	1	do 60 km/h	60	60	59	51	70	60
GP, G	1	teren zabudowany	50	50	57	51	69	60

<sup>(1)</sup> wg Kodeksu Drogowego ograniczenia prędkości obowiązują w zależności od masy pojazdu;

<sup>(2)</sup> obowiązują prędkości zgodnie z Kodeksem Drogowym;

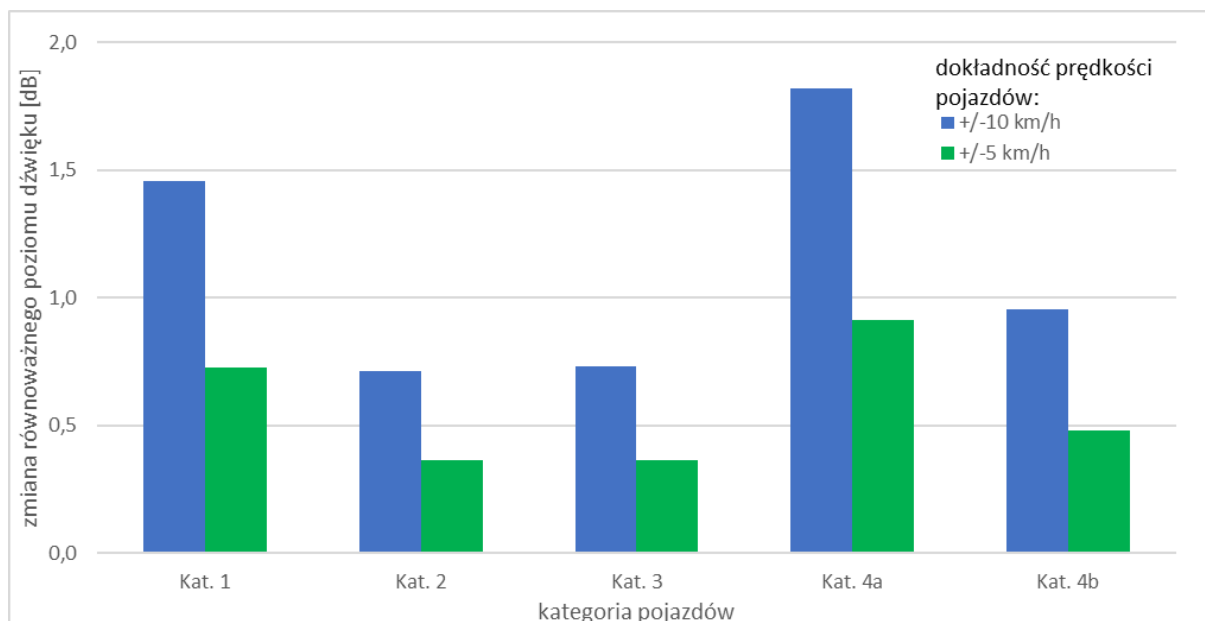
<sup>(3)</sup> średnia arytmetyczna prędkość dla odcinka drogi.

### Błędy wynikające z niewłaściwie określonych prędkości ruchu pojazdów

Jak już wspomniano, prędkość ruchu pojazdów jest istotnym czynnikiem, od którego w metodyce CNOSSOS-EU uzależnione są wszystkie składowe mechanizmy generacji hałasu drogowego. Stąd też, w oczywisty sposób, wartości obliczanych na potrzeby strategicznych map hałasu wskaźników  $L_{\text{DWN}}$  i  $L_{\text{N}}$  w bezpośredni sposób, poprzez Równanie 4-1, zależą od poprawności określenia rzeczywistej średniej prędkości ruchu pojazdów.

Na potrzeby niniejszego opracowania przeprowadzono obliczenia obrazujące wpływ zmiany prędkości ruchu pojazdów poszczególnych kategorii (na kilku wybranych nawierzchniach drogowych) na zmianę poziomu dźwięku. Obliczenia te, zrealizowane zgodnie z metodyką CNOSSOS-UE, obejmują szeroki zakres prędkości odpowiadający rzeczywistym prędkościom ruchu pojazdów na różnych klasach dróg objętych strategicznymi mapami hałasu. Szczegółowe wyniki zaprezentowano w rozdziale 6 załącznika V.

W celu wskazania ogólnej zależności ilościowej, na Rys. 4-8, przedstawiono zmianę obliczonego poziomu dźwięku wynikającą ze zmiany prędkości ruchu o  $\pm 10$  i  $\pm 5$  km/godz. w stosunku do prędkości rzeczywistej. Wyniki przedstawiono w postaci uśrednionej dla całego zakresu badanych prędkości, od 30 do 140 km/godz., dla poszczególnych kategorii pojazdów. Zmiana ta jest równoznaczna z błędem standardowym jakim obarczona będzie obliczana wartość poziomu dźwięku związana z dokładnością wyznaczonej i przyjmowanej w obliczeniach prędkości ruchu pojazdów.



Rys. 4-8 Średnia zmiana równoważnego poziomu dźwięku w zależności od dokładności pomiaru prędkości ruchu pojazdów poszczególnych kategorii

Jak wynika z zestawienia na Rys. 4-8, określenie średniej prędkości ruchu z dokładnością  $\pm 10$  km/godz. generuje błąd standardowy<sup>27</sup> obliczanego poziomu dźwięku na poziomie  $\pm 1,4$  dB dla pojazdów kategorii 1 oraz  $\pm 0,7$  dB dla pojazdów kategorii 2 i 3. Dwukrotne zwiększenie dokładności wyznaczenia prędkości ruchu pojazdów (do  $\pm 5$  km/godz.) pozwala na dwukrotne zmniejszenie możliwego błędu obliczanej wartości poziomu dźwięku, uzyskując odpowiednio  $\pm 0,7$  dB dla pojazdów 1 kategorii oraz  $\pm 0,35$  dB dla pojazdów 2 i 3 kategorii.

### Wpływ ruchu niejednostajnego

Wielkość efektu przyspieszania i hamowania zależy od rodzaju skrzyżowania oraz kategorii pojazdu. W skrajnym przypadku może powodować zmianę poziomu do ok. 8 dB (pojazd ciężarowy przy samym skrzyżowaniu) względem ruchu jednostajnego.<sup>11</sup> Z konstrukcji modelu wynika jednak, że obszar oddziaływania tego efektu jest niewielki. Zwiększenie lub zmniejszenie emisji hałasu względem ruchu jednostajnego jest brane pod uwagę dla chwilowego położenia źródła w odległości nie większej niż 100 m od skrzyżowania. Z punktu widzenia strategicznej mapy hałasu jest to więc oddziaływanie niewielkie. Z tego powodu, w dokumencie źródłowym metody CNOSSOS-EU<sup>28</sup> wskazano, że efekt ten jest znaczny dla pojedynczych pojazdów, jednak trudny do oszacowania dla całego strumienia ruchu, dlatego że zależy od: zachowania pojedynczych pojazdów (różna dynamika jazdy: łagodna, neutralna, agresywna), chwilowego natężenia (swobody) ruchu, cyklu sygnalizacji świetlnej (determinującej procent pojazdów zatrzymujących się), itd. Błąd oszacowania procentu pojazdów zatrzymujących się (hamujących i przyspieszających) może być większy niż

<sup>27</sup> Wpływ prędkości na niepewność rozszerzoną obliczonego poziomu dźwięku przedstawiono w rozdziale 4.7

<sup>28</sup> JRC Report on Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), 2012; źródło: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/common-noise-assessment-methods-europe-cnosos-eu>

sam wpływu efektu ruchu niejednostajnego na długookresowy poziom hałasu. Dlatego, **w większości sytuacji efekt ruchu niejednostajnego może być pominięty w strategicznej mapie hałasu drogowego.** Uwzględnienie tego efektu może być potrzebne, jeśli w mapie strategicznej mają być uwzględnione np. efekty wprowadzenia określonych działań ograniczających emisję hałasu, np. stosowanie „zielonej fali” lub zmiana rodzaju (przebudowa) skrzyżowania.

#### 4.5 Nawierzchnie drogowe

Głównym (i dominującym dla pojazdów 1 kategorii, Rys. 4-7) źródłem hałasu poruszających się po drodze pojazdów jest hałas toczenia się opon po nawierzchni. Dominującą rolę odgrywają w tym przypadku właściwości nawierzchni drogowej,<sup>29</sup> co omówiono w Wytycznych GIOŚ.

Na drogach międzymiastowych najczęściej występują nawierzchnie bitumiczne lub betonowe, w miastach występują też nawierzchnie z kostki, a na drogach dojazdowych o mniejszym natężeniu występują nawierzchnie gruntowe lub kruszywowe. Parametry nawierzchni, które wpływają na hałas drogowy to:

- tekstura (makrotekstura, megatekstura, mikrotekstura),
- nierówność,
- porowatość,
- grubość warstwy,
- przyczepność,
- sztywność.

Względną klasyfikację hałaśliwości nawierzchni stosowanych w naszym kraju przedstawia poniższa tabela.<sup>30</sup>

Tab. 4-3 Klasyfikacja hałaśliwości nawierzchni

Kategoria	Poziom dźwięku CPXI [dBA]	Przykładowe nawierzchnie
Niska hałaśliwość (NC)	< 93,5	Pojedyncze nawierzchnie porowate (PAC) o uziarnieniu kruszywa poniżej 10 mm
		Podwójne nawierzchnie porowate (DPAC)
		Nawierzchnie poroelastyczne (PERS)
Zredukowana hałaśliwość (ZH)	93,5 ÷ 96,4	Nawierzchnie mastykowo grysowe (SMA) i betony asfaltowe o uziarnieniu poniżej 10 mm
		Cienka dywaniki bitumiczne (BBTM) o uziarnieniu kruszywa poniżej 10 mm
		Pojedyncze nawierzchnie porowate (PAC) o uziarnieniu kruszywa powyżej 10 mm
Normalna hałaśliwość (NH)	96,5 ÷ 99,5	Nawierzchnie mastykowo grysowe (SMA) o uziarnieniu kruszywa powyżej 10 mm
		Cienkie dywaniki bitumiczne (BBTM) o ziarnieniu 10 - 16 mm
		Betony asfaltowe (DAC) o uziarnieniu poniżej 16 mm
		Betony cementowe (CC) o optymalnym teksturowaniu

<sup>29</sup> Ochrona przed hałasem drogowym – Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości (Projekt RID, Akronim Projektu: OT1-1D/PH-PW-PWR-IBDiM-PL)

<sup>30</sup> Mioduszewski P., *Przegląd hałaśliwości różnych typów nawierzchni drogowych na podstawie wyników pomiarów metodą CPX*, III Ogólnopolskie Forum Specjalistyczne - Nawierzchnie Drogowe, Kraków, 2015

Podwyższona hałaśliwość (PH)	99,6 ÷ 102,5	Powierzchniowe utrwalenia (PU)
		Uszorstnione nawierzchnie mastykowo grysowe (SMA)
		Betony asfaltowe (DAC) o uziarnieniu powyżej 16 mm
		Klasyczne betony cementowe (CC)
		Betonowa kostka brukowa (CB) przy optymalnych układach połączeń
Nadmierna hałaśliwość (NNH)	> 102,5	Betony cementowe (CC) poprzecznie rowkowane
		Betonowa kostka brukowa (CB) bez optymalizacji połączeń
		Kostka kamienna (PS)

W metodyce CNOSSOS-EU jako referencyjną nawierzchnię jezdni przyjęto nawierzchnię wykonaną ze średnio zagęszczonego betonu asfaltowego (DAC) 0/11 lub mieszanki grysowo-mastykowej (SMA) 0/11, w wieku od 2 do 7 lat. Warunki dla nawierzchni referencyjnej przedstawiono w rozdziale 4.1.

W przypadku innego rodzaju nawierzchni lub gdy nawierzchnia pod wpływem czasu utraciła swoje właściwości konieczne jest zastosowanie poprawki korygującej.

Funkcja uwzględniająca wpływ nawierzchni na hałas toczenia, uwzględniana w Równanie 4-1, wyrażona jest zależnością:

$$\Delta L_{WR,road,i,m} = \alpha_{i,m} + \beta_m \log\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right), \quad \text{Równanie 4-3}$$

a funkcja opisująca wpływ nawierzchni na hałas jednostki napędowej wyrażona jest przez zależność:

$$\Delta L_{WP,road,i,m} = \min\{\alpha_{i,m}; 0\}, \quad \text{Równanie 4-4}$$

gdzie:

$\alpha_{i,m}$  - widmowy wskaźnik korygujący przy prędkości referencyjnej  $v_{ref}$ , dla przejazdu pojazdu kategorii  $m$ , dla pasma częstotliwości  $i$ ;

$\beta_m$  - współczynnik określający wpływ prędkości na wielkość hałasu toczenia dla pojazdu kategorii  $m$ , współczynnik ten zależy od częstotliwości.

Funkcja  $\Delta L_{WP,road}$  przyjmuje wartość nie większą niż 0 dB. Oznacza to, że tzw. ciche nawierzchnie ograniczają/redukują hałas jednostki napędowej, natomiast inne nawierzchnie (np. kostka brukowa, itp.) nie powodują jego zwiększenia.

Z powyższych wzorów w bezpośredni sposób wynika, że dany rodzaj nawierzchni drogowej charakteryzowany jest w metodyce CNOSSOS-EU zestawem wartości dwóch parametrów:  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$ . Przyjmują one różne wartości dla różnych kategorii pojazdów ( $m = 1, 2$  lub  $3$ ) oraz w przypadku parametru  $\alpha_{i,m}$  także dla różnych pasm częstotliwości. W Dyrektywie 2015/996 zdefiniowano zestaw wartości parametrów  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$  dla czternastu różnych nawierzchni drogowych (tabela F-4 w załączniku II do Dyrektywy). Wartości tych współczynników, które zaprezentowano poniżej w tabeli (Tab. 4-4) oraz na rysunkach (Rys. 4-9, Rys. 4-10, Rys. 4-11), stanowią wersję uaktualnioną w związku z aktualnie procedowanymi zmianami w Dyrektywie.<sup>31</sup>

<sup>31</sup> Dokument C(2020)9101 – Dyrektywa delegowanej komisji (UE) .../... zmieniająca, w celu dostosowania do postępu naukowo-technicznego, załącznik II do dyrektywy 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wspólnych metod oceny hałasu

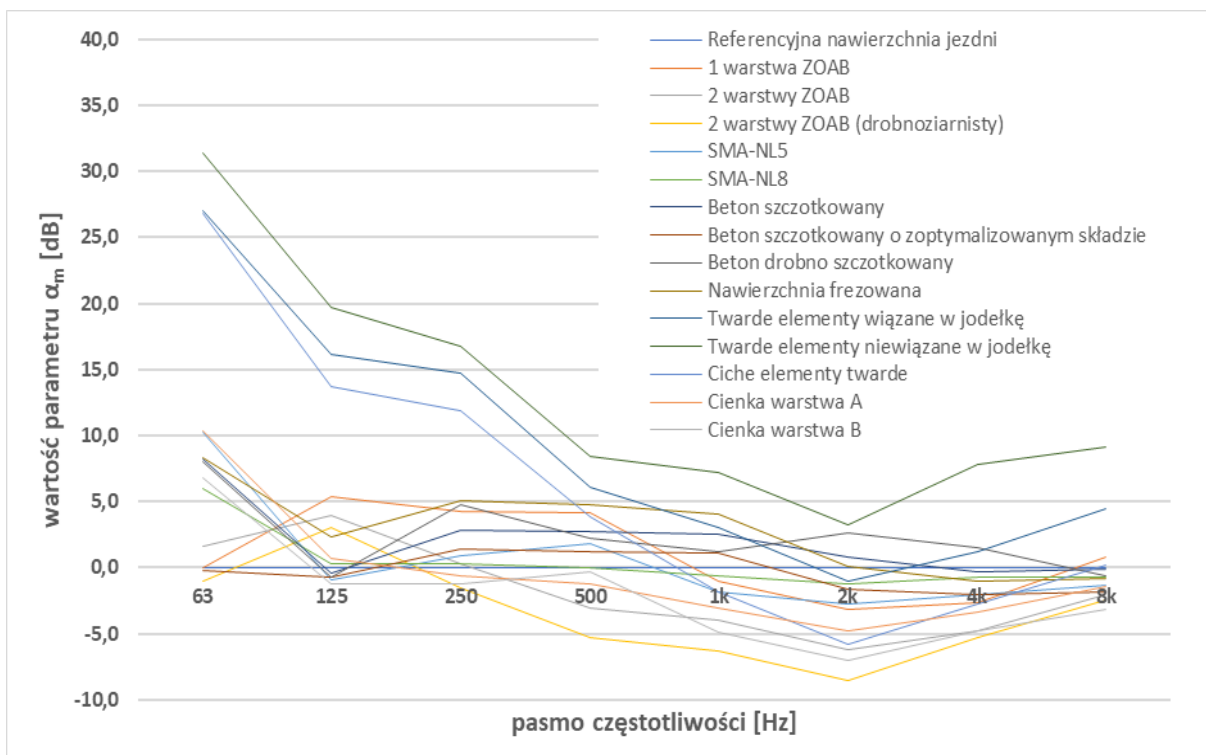


Z poniższego zestawienia (Tab. 4-4) dla różnych nawierzchni uwzględnionych w metodyce CNOSSOS-EU wynika ograniczenie stosowalności poszczególnych nawierzchni w modelu, do określonego dla tej nawierzchni indywidualnego zakresu prędkości. Ograniczenie to wynika z zakresu prędkości objętego badanymi podstawowymi, z których wyznaczano parametry  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$ . Przykładowo dla dwuwarstwowej, drobnoziarnistej nawierzchni ZOAB, korekcję poziomu emisji stosuje się tylko w zakresie od 80 do 130 km/h. Poza tym zakresem prędkości korekcji nie stosuje się, a więc obliczana emisja hałasu nie odbiega od tej dla nawierzchni referencyjnej.

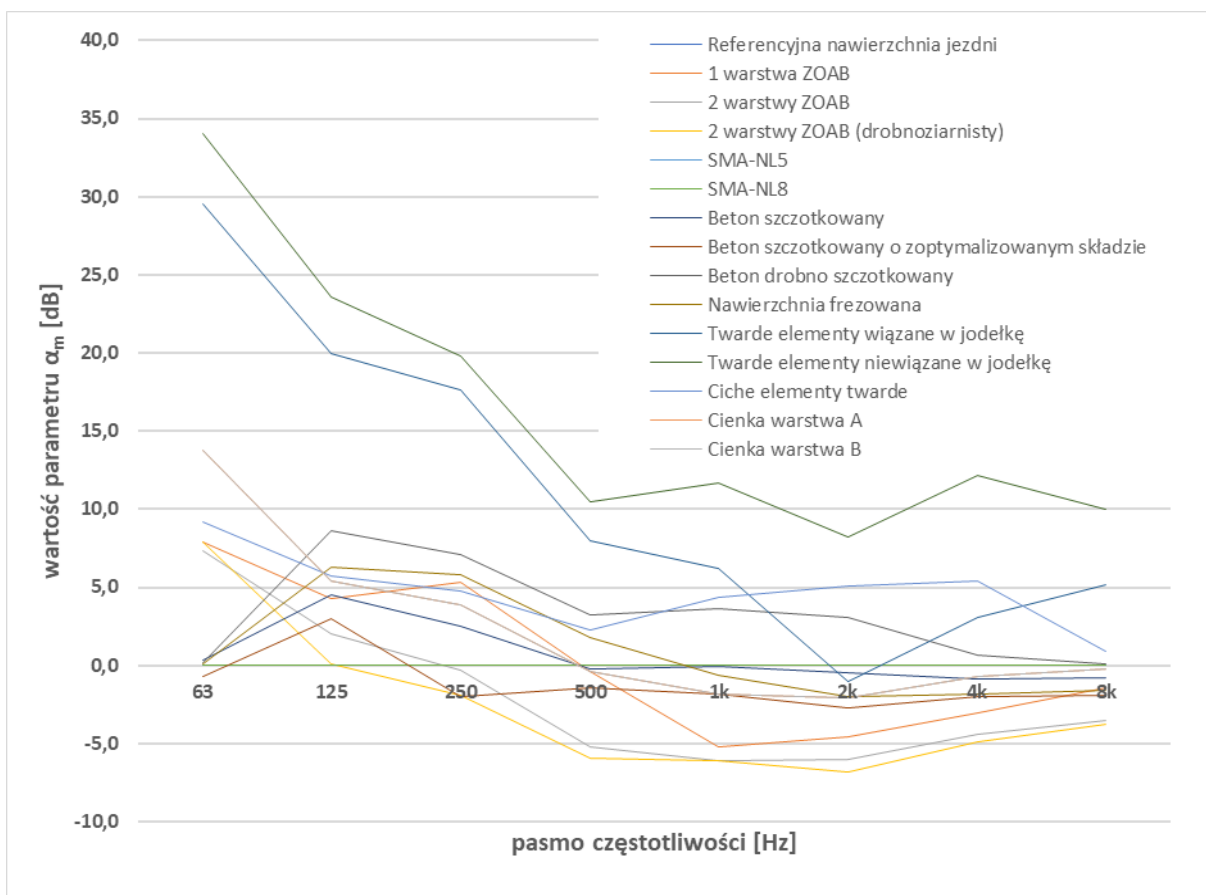
Tab. 4-4 Współczynniki opisujące wpływ rodzaju nawierzchni na hałas toczenia i hałas układu napędowego wg aktualnie procedowanych zmian w CNOSSOS-EU

Opis	Minimalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$								$\beta$	
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Referencyjna nawierzchnia jezdni	--	--	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1 warstwa ZOAB	50	130	1	0,0	5,4	4,3	4,2	-1,0	-3,2	-2,6	0,8	-6,5	
			2	7,9	4,3	5,3	-0,4	-5,2	-4,6	-3,0	-1,4	0,2	
			3	9,3	5,0	5,5	-0,4	-5,2	-4,6	-3,0	-1,4	0,2	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2 warstwy ZOAB	50	130	1	1,6	4,0	0,3	-3,0	-4,0	-6,2	-4,8	-2,0	-3,0	
			2	7,3	2,0	-0,3	-5,2	-6,1	-6,0	-4,4	-3,5	4,7	
			3	8,3	2,2	-0,4	-5,2	-6,2	-6,1	-4,5	-3,5	4,7	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2 warstwy ZOAB (drobnoziarnisty)	80	130	1	-1,0	3,0	-1,5	-5,3	-6,3	-8,5	-5,3	-2,4	-0,1	
			2	7,9	0,1	-1,9	-5,9	-6,1	-6,8	-4,9	-3,8	-0,8	
			3	9,4	0,2	-1,9	-5,9	-6,1	-6,7	-4,8	-3,8	-0,9	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
SMA-NL5	40	80	1	10,3	-0,9	0,9	1,8	-1,8	-2,7	-2,0	-1,3	-1,6	
			2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
SMA-NL8	40	80	1	6,0	0,3	0,3	0,0	-0,6	-1,2	-0,7	-0,7	-1,4	
			2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Beton szcztokowany	70	120	1	8,2	-0,4	2,8	2,7	2,5	0,8	-0,3	-0,1	1,4	
			2	0,3	4,5	2,5	-0,2	-0,1	-0,5	-0,9	-0,8	5,0	
			3	0,2	5,3	2,5	-0,2	-0,1	-0,6	-1,0	-0,9	5,5	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Beton szcztokowany o zoptymalizowanym składzie	70	80	1	-0,2	-0,7	1,4	1,2	1,1	-1,6	-2,0	-1,8	1,0	
			2	-0,7	3,0	-2,0	-1,4	-1,8	-2,7	-2,0	-1,9	-6,6	
			3	-0,5	4,2	-1,9	-1,3	-1,7	-2,5	-1,8	-1,8	-6,6	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Beton drobno szcztokowany	70	120	1	8,0	-0,7	4,8	2,2	1,2	2,6	1,5	-0,6	7,6	
			2	0,2	8,6	7,1	3,2	3,6	3,1	0,7	0,1	3,2	
			3	0,1	9,8	7,4	3,2	3,1	2,4	0,4	0,0	2,0	
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Nawierzchnia frezowana	50	130	1	8,3	2,3	5,1	4,8	4,1	0,1	-1,0	-0,8	-0,3	

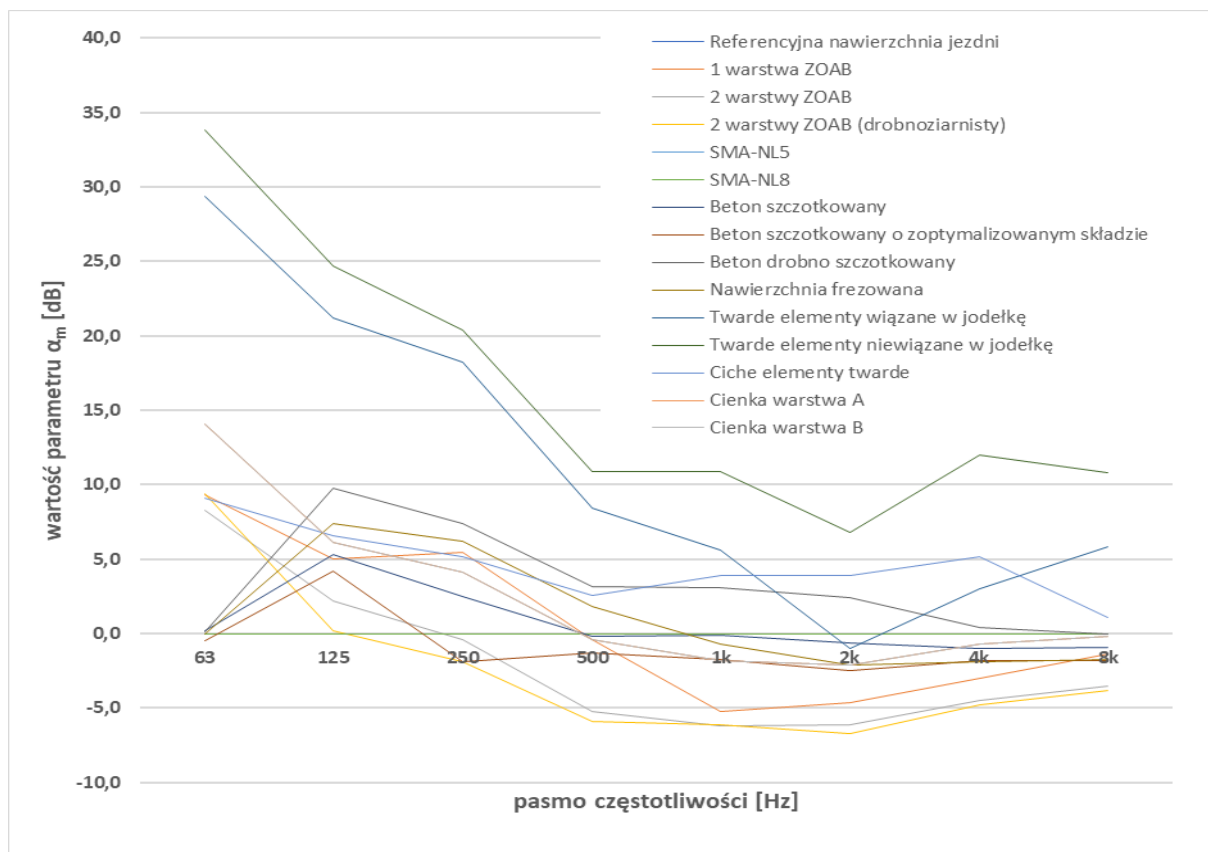
Opis	Minimalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$							$\beta$	
				63	125	250	500	1000	2000	4000		8000
			2	0,1	6,3	5,8	1,8	-0,6	-2,0	-1,8	-1,6	1,7
			3	0,0	7,4	6,2	1,8	-0,7	-2,1	-1,9	-1,7	1,4
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			1	27,0	16,2	14,7	6,1	3,0	-1,0	1,2	4,5	2,5
Twarde elementy związane w jodełkę	30	60	2	29,5	20	17,6	8,0	6,2	-1,0	3,1	5,2	2,5
			3	29,4	21,2	18,2	8,4	5,6	-1,0	3	5,8	2,5
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			1	31,4	19,7	16,8	8,4	7,2	3,3	7,8	9,1	2,9
Twarde elementy niewiązane w jodełkę	30	60	2	34	23,6	19,8	10,5	11,7	8,2	12,2	10,0	2,9
			3	33,8	24,7	20,4	10,9	10,9	6,8	12,0	10,8	2,9
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			1	26,8	13,7	11,9	3,9	-1,8	-5,8	-2,7	0,2	-1,7
Ciche elementy twarde	30	60	2	9,2	5,7	4,8	2,3	4,4	5,1	5,4	0,9	0,0
			3	9,1	6,6	5,2	2,6	3,9	3,9	5,2	1,1	0,0
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			1	10,4	0,7	-0,6	-1,2	-3,0	-4,8	-3,4	-1,4	-2,9
Cienka warstwa A	40	130	2	13,8	5,4	3,9	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,5
			3	14,1	6,1	4,1	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,3
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			1	6,8	-1,2	-1,2	-0,3	-4,9	-7,0	-4,8	-3,2	-1,8
Cienka warstwa B	40	130	2	13,8	5,4	3,9	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,5
			3	14,1	6,1	4,1	-0,4	-1,8	-2,1	-0,7	-0,2	0,3
			4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
			1	6,8	-1,2	-1,2	-0,3	-4,9	-7,0	-4,8	-3,2	-1,8



Rys. 4-9 Wartości widmowe parametru  $\alpha$  dla pojazdów kategorii 1 dla różnych nawierzchni drogowych



Rys. 4-10 Wartości widmowe parametru  $\alpha$  dla pojazdów kategorii 2 dla różnych nawierzchni drogowych



Rys. 4-11 Wartości widmowe parametru  $\alpha$  dla pojazdów kategorii 3 dla różnych nawierzchni drogowych

Inne kraje UE (m.in. Niemcy, Austria, Finlandia), na podstawie obszernych badań, wyznaczyły własne współczynniki hałaśliwości nawierzchni, parametry  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_{m'}$ , odpowiadające ich warunkom lokalnym.

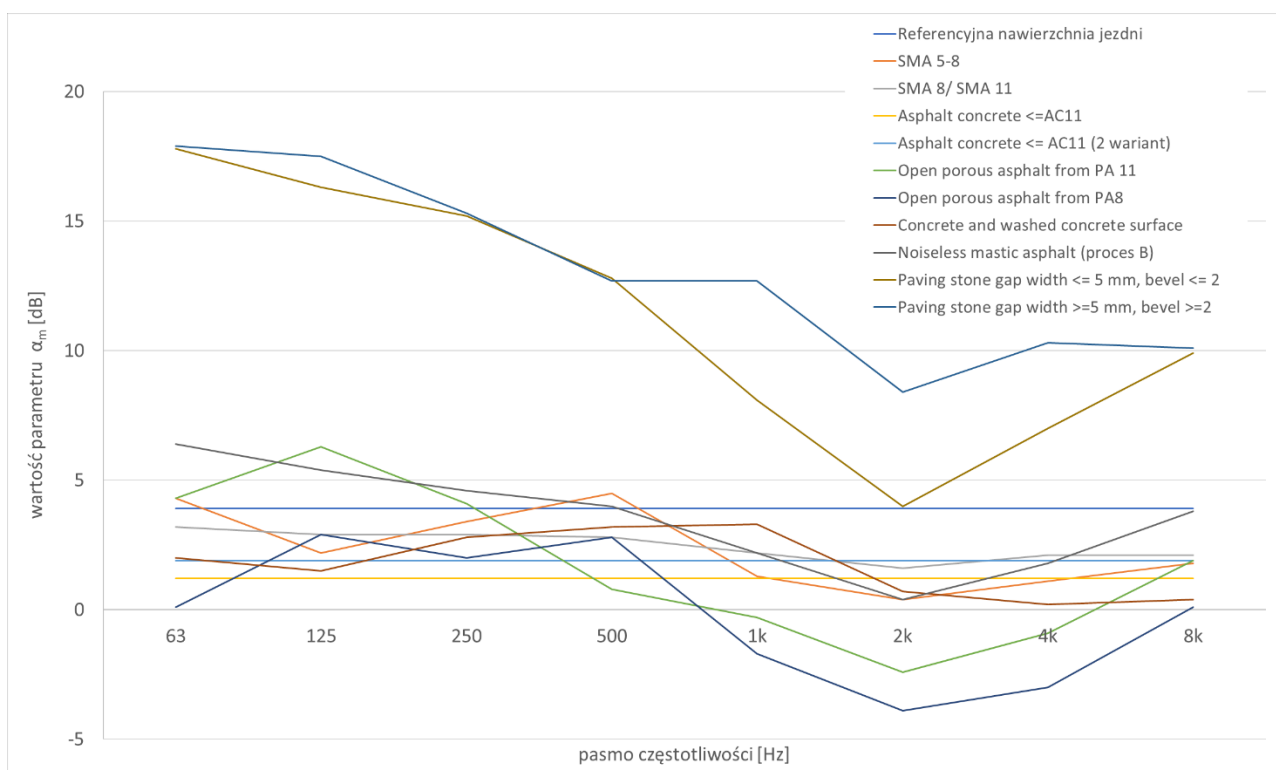
W poniższej tabeli (Tab. 4-5) i na wykresach (Rys. 4-12, Rys. 4-13, Rys. 4-14) przedstawiono współczynniki krajowe dla Niemiec, opisane w dokumencie „Baza danych metod obliczania hałasu otoczenia ze źródeł przyziemnych (drogi, koleje, przemysł i handel) (BUB-D)”,<sup>32</sup> stanowiący załącznik 4 do publikacji metod obliczania hałasu w środowisku, zgodnie z § 5 ust. 1 rozporządzenia w sprawie mapowania hałasu (34. BImSchV). Dokument w dalszej części tego opracowania będzie przywoływany jako BUB-D.

<sup>32</sup> Datenbank für die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB-D) - Anlage 4

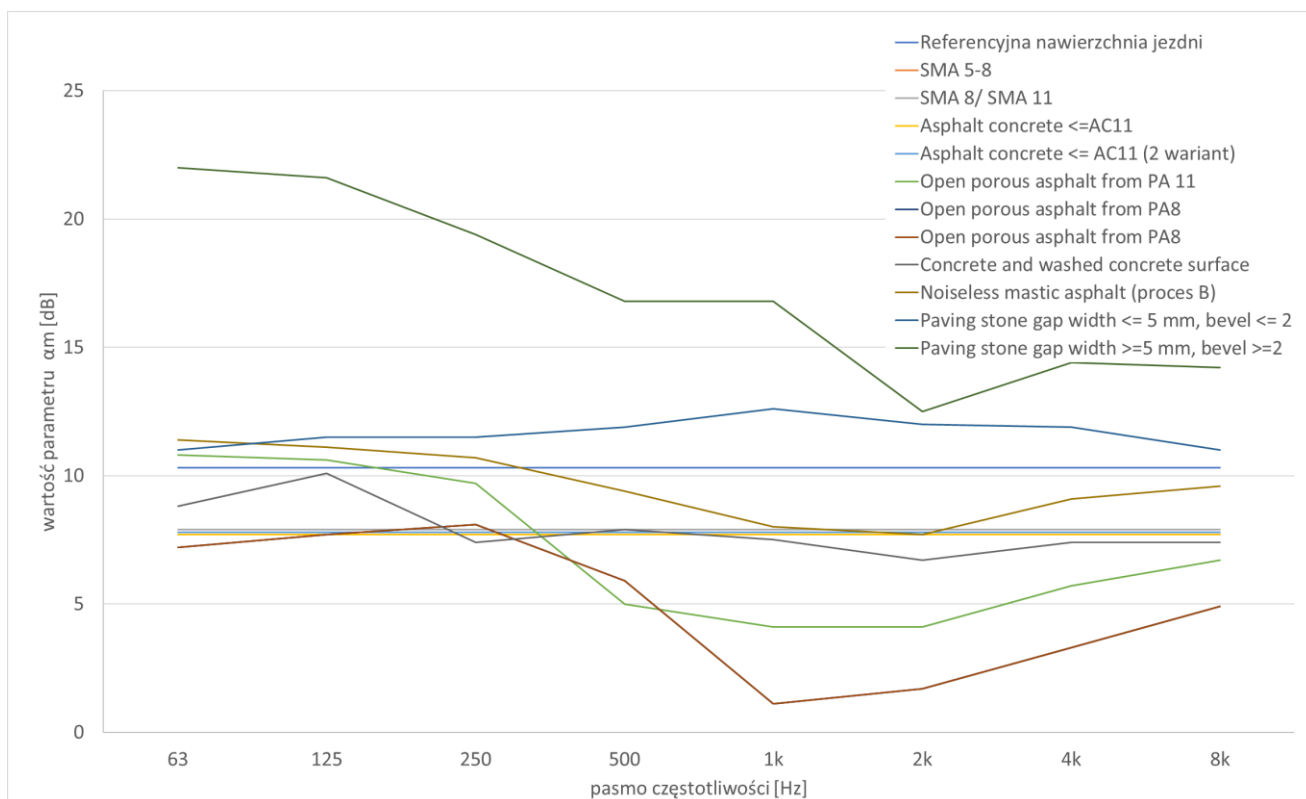
Tab. 4-5 Współczynniki korekcyjne w zależności od rodzaju nawierzchni dla Niemiec wg BUB-D

Opis	Minimalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$								$\beta_m$	
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
Reference	30	140	1	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	-3,8
	30	90	2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	7,5
	30	90	3	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	0,2
	30	45	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	30	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SMA 5-8	30	60	1	4,3	2,2	3,4	4,5	1,3	0,4	1,1	1,8	1,8	-1,0
	30	60	2	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	12,0
	30	60	3	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	6,8	-10,0
	30	45	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	30	60	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SMA 8 - 11	70	140	1	3,2	2,9	2,9	2,8	2,2	1,6	2,1	2,1	2,1	-3,4
	70	140	2	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	7,9	15,0
	70	140	3	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	6,5	17,0
	0	0	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Asphalt concrete <=AC11 (30-60 km/h)	30	60	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	-1,5
	30	60	2	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	13,0
	30	60	3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	-5,0
	30	45	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	30	60	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Asphalt concrete <= AC11 (70-140 km/h)	70	140	1	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	-3,7
	70	140	2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	13,5
	70	140	3	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	17,0
	0	0	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Open porous asphalt from PA11	70	140	1	4,3	6,3	4,1	0,8	-0,3	-2,4	-0,9	1,9	1,9	-3,0
	70	140	2	10,8	10,6	9,7	5,0	4,1	4,1	5,7	6,7	6,7	18,7
	70	140	3	9,5	9,3	8,4	3,7	2,8	2,8	4,4	5,4	5,4	21,7
	0	0	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Open porous asphalt from PA8	70	140	1	0,1	2,9	2,0	2,8	-1,7	-3,9	-3,0	0,1	0,1	-2,5
	70	140	2	7,2	7,7	8,1	5,9	1,1	1,7	3,3	4,9	4,9	23,2
	70	140	3	5,7	6,2	6,6	4,4	-0,4	0,2	1,8	3,4	3,4	26,7
	0	0	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Concrete and washed concrete surface	70	140	1	2,0	1,5	2,8	3,2	3,3	0,7	0,2	0,4	0,4	-3,0
	70	140	2	8,8	10,1	7,4	7,9	7,5	6,7	7,4	7,4	7,4	15,4
	70	140	3	7,4	8,7	6,0	6,5	6,1	5,3	6,0	6,0	6,0	18,4

Opis	Minimalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Maksymalna prędkość, przy której współczynnik ma zastosowanie [km/h]	Kategoria	$\alpha_m$								$\beta_m$
				63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
	0	0	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Noiseless mastic asphalt (process B)	70	140	1	6,4	5,4	4,6	4,0	2,2	0,4	1,8	3,8	-3,0
	70	140	2	11,4	11,1	10,7	9,4	8,0	7,7	9,1	9,6	15,0
	70	140	3	10,0	9,7	9,3	8,0	6,6	6,3	7,7	8,2	17,5
	0	0	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Paving stone gap width <= 5 mm, bevel <= 2	30	60	1	17,8	16,3	15,2	12,8	8,1	4,0	7,0	9,9	4,3
	30	60	2	11,0	11,5	11,5	11,9	12,6	12,0	11,9	11,0	-2,0
	30	60	3	8,9	9,4	9,4	9,8	10,5	9,9	9,8	8,9	-12,2
	30	45	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	30	60	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Paving stone gap width >=5 mm, bevel >=2	30	60	1	17,9	17,5	15,3	12,7	12,7	8,4	10,3	10,1	2,2
	30	60	2	22,0	21,6	19,4	16,8	16,8	12,5	14,4	14,2	-3,6
	30	60	3	20,0	19,6	17,4	14,8	14,8	10,5	12,4	12,2	-12,6
	30	45	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	30	60	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

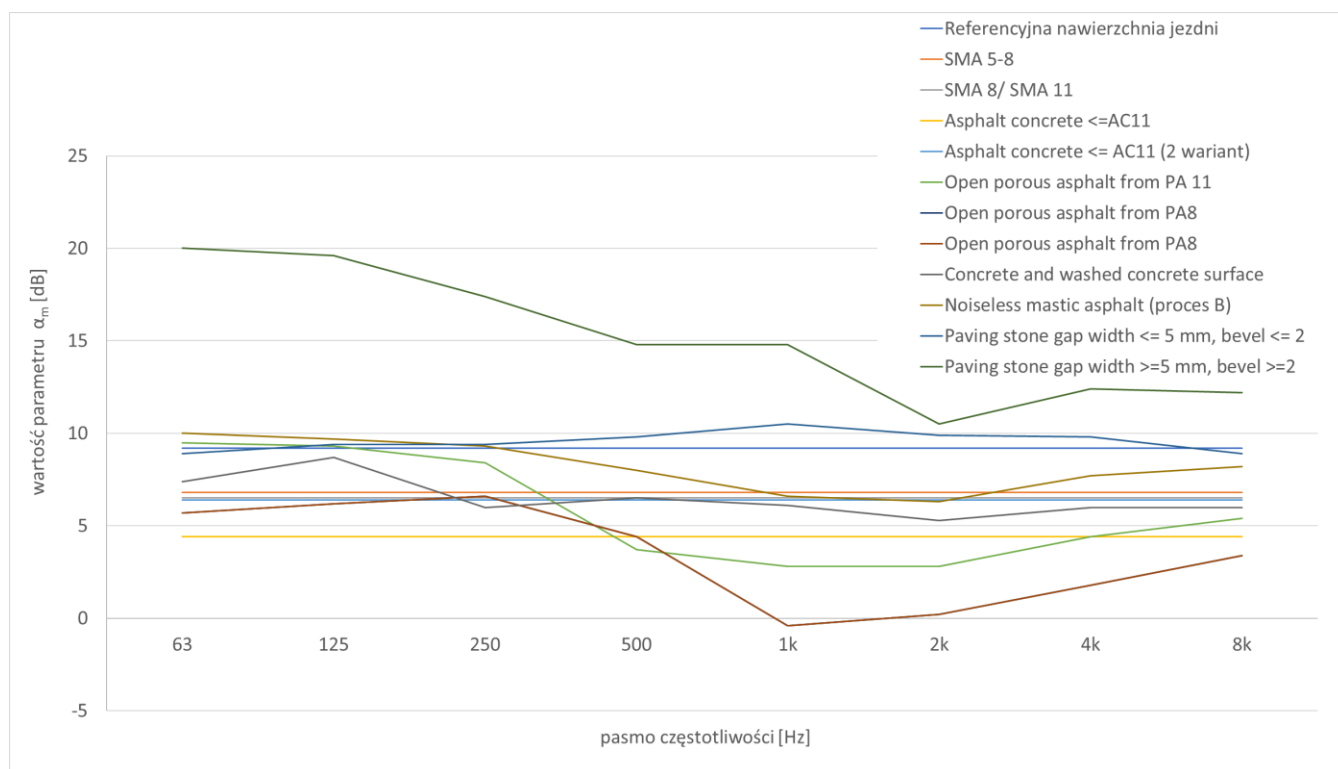


Rys. 4-12 Wartości widmowe parametru  $\alpha$  dla pojazdów kategorii 1 dla różnych nawierzchni drogowych, dla Niemiec wg dokumentu BUB-D



Rys. 4-13 Wartości widmowe parametru  $\alpha$  dla pojazdów kategorii 2 dla różnych nawierzchni drogowych, dla Niemiec wg dokumentu BUB-D





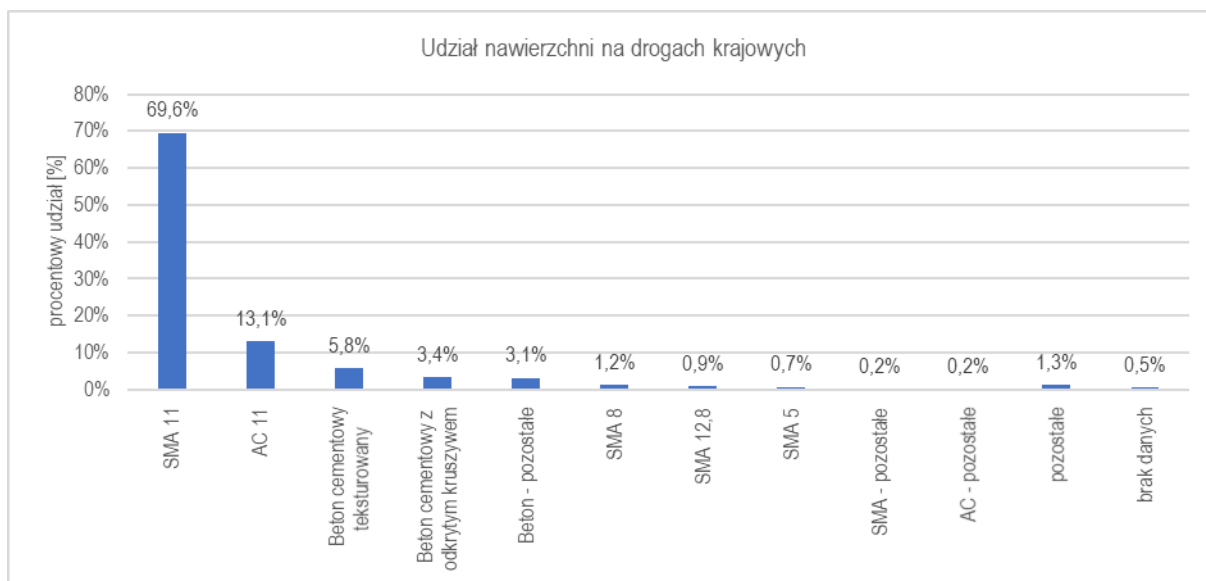
Rys. 4-14 Wartości widmowe parametru  $\alpha$  dla pojazdów kategorii 3 dla różnych nawierzchni drogowych, dla Niemiec wg dokumentu BUB-D

#### 4.5.1 Nawierzchnie drogowe stosowane w Polsce

W oparciu o dane udostępnione przez GDDKiA na potrzeby niniejszego dokumentu, obejmujące 10 500 km dróg w trzynastu województwach, wykonano zestawienie najczęściej występujących nawierzchni na drogach krajowych w Polsce. Udział poszczególnych nawierzchni zestawiono na poniższym rysunku (Rys. 4-15) oraz w tabeli (Tab. 4-6).

Tab. 4-6 Udział procentowy różnych nawierzchni drogowych na drogach krajowych w Polsce

Lp.	Typ nawierzchni	procentowy udział [%]
1.	SMA 11	69,60%
2.	AC 11	13,14%
3.	Beton cementowy teksturowany (CC)	5,81%
4.	Beton cementowy z odkrytym kruszywem	3,36%
5.	Beton - pozostałe	3,10%
6.	SMA 8	1,23%
7.	SMA 12,8	0,89%
8.	SMA 5	0,68%
9.	SMA - pozostałe	0,21%
10.	AC - pozostałe	0,16%
11.	pozostałe	1,27%
12.	brak danych	0,54%



Rys. 4-15 Udział procentowy różnych nawierzchni drogowych na drogach krajowych w Polsce; opracowanie własne w oparciu o dane udostępnione przez GDDKiA

Powyższe zestawienia wskazują, że **najbardziej powszechną nawierzchnią na sieci dróg krajowych w Polsce są mieszanki mastykowo grysowe SMA, obejmujące około 73% dróg.** W tym, nawierzchnie SMA o uziarnieniu 0/11 obejmują blisko 70% dróg, a mieszanki SMA o innym uziarnieniu występują na około 3% dróg. Drugą najczęściej występującą nawierzchnią dróg jest beton asfaltowy (AC), obejmujący ponad 13% dróg, przy czym tu również dominuje stosowanie kruszywa o uziarnieniu 0/11. Nawierzchnie z betonu cementowego łącznie obejmują 12% dróg, w tym nawierzchnie teksturowane (tkaniną jutową lub szcztokowane) blisko 6% i nawierzchnie z odkrytym kruszywem - ponad 3%.

W odniesieniu do stanu rzeczywistego, uwzględniając dominujące występowanie nawierzchni SMA 11, AC 11 oraz CC (beton cementowy teksturowany) na drogach krajowych w Polsce, w niniejszym opracowaniu zwrócono szczególną właśnie na te nawierzchnie w procedurze weryfikacji wyników modelowania wg metodyki CNOSSOS-EU. Weryfikację tą oparto na dwustopniowej analizie wyników pomiarów. Wykorzystano w tym celu pomiary podstawowe, dla pojedynczych przejazdów, zrealizowane w ramach niniejszej pracy, jak i na wynikach Generalnego Pomiaru Hałasu z 2020 r. (GPH 2020), udostępnionych przez GDDKiA, które zawierają wyniki pomiarów dla całej doby (w każdym przekroju pomiar obejmuje kilkanaście / kilkadziesiąt tysięcy przejazdów).

Brak danych dotyczących nawierzchni stosowanych na pozostałych drogach podlegających mapowaniu akustycznemu (drogi wojewódzkie, czy drogi w obrębie aglomeracji) uniemożliwia na razie ocenę, czy ww. zestawienie jest wyczerpujące. Niemniej, prezentowane tu analizy uzupełniono o nawierzchnie z kostki kamiennej oraz nawierzchnie SMA 8, które dość często spotykane są na terenach zabudowanych (podlegających ochronie przed hałasem), a przez to mają wpływ na wyniki mapowania akustycznego.

#### 4.5.1.1 SMA – mastyks grysowy

Mastyks grysowy (SMA – ang. stone mastic asphalt) to mieszanka mineralno-asfaltowa o dużej zawartości grysów - grubego, łamanego kruszywa stanowiącego ok 60-80% mieszanki, zawierająca stabilizator mastyksu.

Cechy SMA:

- uziarnienie nieciągłe,<sup>29</sup>
- zwarta struktura,
- szorstkość,
- odporność na działanie czynników atmosferycznych oraz odkształcenia trwałe,
- nieprzepuszczalność wody i powietrza.

Ze względu na łatwość w jej utrzymaniu nawierzchnia jest często stosowana w Polsce. W mieszankach SMA do warstw ścieralnych wykorzystuje się mieszanki o maksymalnym wymiarze ziaren 5, 8, 10 lub 11 mm (SMA 5, SMA 8, SMA 10, SMA 11). Dobór odpowiedniej mieszanki uwarunkowany jest kategorią ruchu na drodze i wymogami odnośnie hałaśliwości. Klasyfikację hałaśliwości nawierzchni przedstawiono w Tab. 4-3.

Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach projektu RID odnotowano wzrost generowanego hałasu na nawierzchniach typu SMA o około 1-2 dB w ciągu dwóch pierwszych lat jej eksploatacji i stabilizację właściwości akustycznych w latach następnych. Przy czym większym początkowym wzrostem hałasu cechują się nawierzchnie o mniejszym stopniu maksymalnego uziarnienia kruszywa.

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-16) przedstawiono przykład nawierzchni SMA.



Rys. 4-16 Przykład nawierzchni SMA 8<sup>33</sup>

#### 4.5.1.2 SMA-LA (SMA NL) – mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni

Mastyks grysowy o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni (SMA-LA – ang. split mastic asphalt, niem. Larmarm / SMA NL – ang. split mastic asphalt noiseless) to mieszanka mineralno-asfaltowa, składająca się z dużej zawartości kruszywa grubego o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni. W zależności od wymiarów ziaren kruszywa stosowane są mieszanki:

<sup>33</sup> Źródło: zasoby własne

- SMA 5 LA przeznaczona do stosowania jako warstwa o grubości 20 – 30 mm,
- SMA 8 LA przeznaczona do stosowania jako warstwa o grubości 25 – 40 mm.

Nawierzchnia wykonana z SMA-LA wykazuje redukcję hałasu na poziomie ok. 2,5 dB. Ten typ nawierzchni jest rozwiązaniem ekonomicznym, jednak nie nadaje się do stosowania na łukach i tam, gdzie występują siły ścinające pod powierzchnią opony. Trwałość konstrukcyjna i akustyczna tego typu nawierzchni jest większa niż asfaltu porowatego (PAC), ale mniejsza niż betonu asfaltowego (DAC) i mastyksu grysowego (SMA).

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-17) przedstawiono przykład nawierzchni SMA-LA.



Rys. 4-17 Przykład nawierzchni SMA-LA <sup>29</sup>

#### 4.5.1.3 DAC (AC) – beton asfaltowy

Beton asfaltowy (DAC – ang. dense asphalt concrete / AC – ang. asphalt concrete) to mieszanka mineralno – asfaltowa z kruszywa o ciągłym uziarnieniu oraz lepiscza asfaltowego. Charakteryzuje się dobrą trwałością na czynniki atmosferyczne i odkształcenia trwałe. Stosowane są mieszanki o maksymalnych wymiarach ziaren 5, 8, 11, 12 i 16 mm (DAC 5, DAC 8, DAC 11, DAC 12 i DAC 16). Beton asfaltowy może służyć jako warstwa ścieralna, wiążąca lub zasadnicza. Z tego powodu można spotkać się z dodatkową literą „S” zawartą na końcu skrótowego oznaczenia informującą, że chodzi o warstwę ścieralną nawierzchni (np. DAC 5S).

Nawierzchnie z betonu asfaltowego w większości zakwalifikować można do kategorii nawierzchni o normalnej hałaśliwości (zgodnie z Tab. 4-3).

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-18) przedstawiono przykład betonu asfaltowego.



Rys. 4-18 Przykład nawierzchni DAC <sup>34</sup>

#### 4.5.1.4 BBTM – beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw

Beton asfaltowy do bardzo cienkich warstw (BBTM – fr. Beton bitumineuse tres mince) to mieszanka mineralno-asfaltowa o nieciągłym uziarnieniu i otwartej strukturze. Nawierzchnia z BBTM nie wymaga stosowania specjalnych czynności konserwacyjnych jak w przypadku asfaltu porowatego. Jej trwałość jest mniejsza od trwałości standardowej nawierzchni o kilka lat. Stosowane są mieszanki o maksymalnych wymiarach kruszywa 5, 6, 8, 11 i 16 mm (BBTM 5, BBTM 6, BBTM 8, BBTM 11, BBTM 16). W zależności od wymiarów kruszywa nawierzchnie z BBTM klasyfikowane są jako nawierzchnie o normalnej lub podwyższonej hałaśliwości (zgodnie z Tab. 4-3).

Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach projektu RID ustalono, że nawierzchnia wykonana z BBTM wykazuje właściwości redukujące poziom hałasu od 1,0 do 4,5 dB. Nawierzchnie BBTM stosuje się do wykonywania warstw ścieralnych o grubości 20-30 mm dla wszystkich kategorii ruchu (KR1-KR7).

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-19) przedstawiono przykład nawierzchni BBTM.



Rys. 4-19 Przykład nawierzchni BBTM <sup>35</sup>

<sup>34</sup> Źródło: [https://www.123rf.com/photo\\_78247469\\_road-pavement-rough-gray-asphalt-concrete-seamless-flat-background-texture-top-view.html](https://www.123rf.com/photo_78247469_road-pavement-rough-gray-asphalt-concrete-seamless-flat-background-texture-top-view.html)

<sup>35</sup> Źródło: [http://www.barba-tp.fr/wp-content/uploads/2014/02/enrobe\\_vf.jpg](http://www.barba-tp.fr/wp-content/uploads/2014/02/enrobe_vf.jpg)

#### 4.5.1.5 ZOAB (PAC/PA) - asfalt porowaty jednowarstwowy

Asfalt porowaty jednowarstwowy (ZOAB – ang. zeer open asphaltbeton / PAC – ang. porous asphalt concrete / PA – ang. porous asphalt) to mieszanka mineralno-asfaltowa o bardzo dużej zawartości wolnych przestrzeni, posiadająca otwartą strukturę umożliwiającą przepływ wody i powietrza<sup>36</sup>. Dzięki temu charakteryzuje się właściwościami drenażowymi oraz redukującymi hałas toczenia. Jednak w celu zapewnienia dobrych właściwości akustycznych należy ją czyścić i konserwować w celu zapobiegania zatykania się porów, które absorbują część hałasu toczenia i są istotą tego rozwiązania. Prawdopodobnie ze względu na duże wymagania w zakresie utrzymania, zarówno bieżącego jak i zimowego, nawierzchnia ta jest rzadko stosowana w Polsce.

Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach projektu RID ustalono, że nawierzchnia wykonana z jednej warstwy asfaltu porowatego wykazuje redukcję hałasu na poziomie co najmniej 2 dB. Asfalt porowaty stosuje się do warstw ścieralnych oraz warstw wiążących nawierzchni dla kategorii ruchu KR3 - KR7. Do warstw ścieralnych stosuje się kruszywa o maksymalnym wymiarze ziaren 8 lub 11 mm (PA 8 lub PA 11).

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-20) pokazano przykład asfaltu porowatego jednowarstwowego.



Rys. 4-20 Przykład nawierzchni PA – jedna warstwa<sup>37</sup>

#### 4.5.1.6 DPAC - asfalt porowaty dwuwarstwowy

Asfalt porowaty dwuwarstwowy (DPAC – ang. double-layer porous asphalt concrete) to nawierzchnia składająca się z dwóch warstw asfaltu porowatego, co prowadzi do zwiększonej redukcji poziomu hałasu. Nawierzchnia dwuwarstwowa wykonana z mieszanek różniących się od siebie maksymalnym wymiarem zastosowanego kruszywa dodatkowo poprawia jego właściwości obniżające poziom hałasu. Do górnej warstwy stosuje się kruszywa o maksymalnym wymiarze ziaren 8, 11 lub 16 mm, a do warstwy dolnej wykorzystuje się kruszywo o maksymalnym uziarnieniu 16 mm (DPAC8+16, DPAC11+16, DPAC16+16). Nawierzchnie z asfaltu porowatego dwuwarstwowego zakwalifikować można do kategorii nawierzchni o niskiej hałaśliwości (zgodnie z Tab. 4-3). Na podstawie badań

<sup>36</sup>Gardziejczyk W., *Hałaśliwość nawierzchni drogowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, 2018

<sup>37</sup> Źródło: <http://www.phillydesignblog.com/wp-content/uploads/2011/05/porous-pavement-closeup.jpg>

przeprowadzonych w ramach projektu RID ustalono, że nawierzchnia wykonana z dwóch warstw asfaltu porowatego obniża poziom hałasu około dwukrotnie w porównaniu do nawierzchni jednowarstwowej. Utrzymanie zakładanych właściwości akustycznych nawierzchni wiąże się z jej odpowiednią konserwacją.

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-21) przedstawiono przykład asfaltu porowatego dwuwarstwowego.



Rys. 4-21 Przykład nawierzchni PA – dwie warstwy<sup>29</sup>

#### 4.5.1.7 CC – beton cementowy

Beton cementowy (CC ang. cement concrete) to mieszanka kruszywa, spoiwa cementowego oraz wody. Właściwości nawierzchni zależne są od konstrukcji i sposobu wykonania jednak ogólną zaletą nawierzchni sztywnych (wykonanych z betonu cementowego) jest większa trwałość w porównaniu do nawierzchni bitumicznych. Ze względu na zwartą strukturę, nawierzchnie te są znacząco mniej podatne na szkodliwy wpływ warunków atmosferycznych i zanieczyszczeń. Utrzymanie nawierzchni z betonu cementowego w dobrym stanie wymaga zdecydowanie mniej zabiegów niż w przypadku nawierzchni asfaltowych.

Odpowiedni typ nawierzchni powinien być dostosowany do specyfiki ruchu, możliwości utrzymania i warunków klimatycznych. Obecnie w Polsce stosuje się głównie nawierzchnie niezbrojone, dyblowane i kotwione, które są stosowane dla kategorii ruchu KR3-KR7. Jednak najbardziej istotnym czynnikiem pod względem akustyki i bezpieczeństwa jest szorstkość nawierzchni otrzymywana poprzez jej teksturowanie.

Teksturowanie osiąga się jedną z poniższych metod:

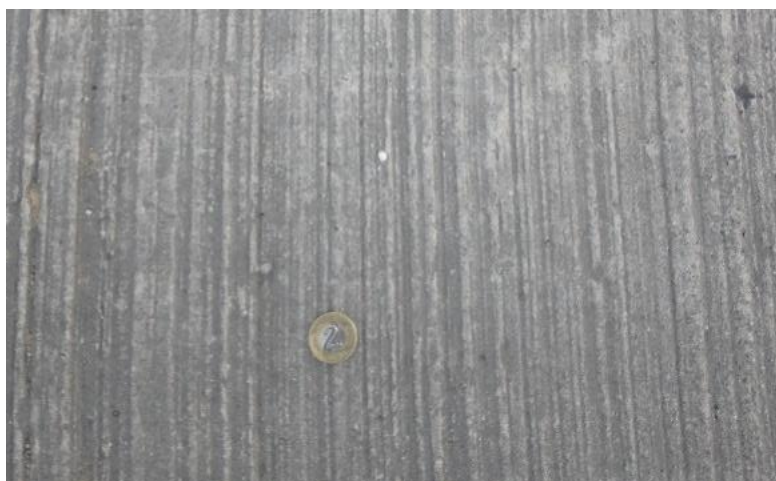
- ręczne lub mechaniczne przeciąganie w kierunku podłużnym tkaniny jutowej – tekstura powierzchni rzędu 0,2-0,6 mm, trwałość 1-3 lat,
- przecieranie w kierunku poprzecznym świeżo ułożonej mieszanki betonowej stalową szczotką o szerokości 0,45 do 0,7 m - tekstura rzędu 1-1,5 mm, trwałość 3-5 lat,
- rowkowanie poprzeczne za pomocą widełek metalowych – tekstura rzędu 1,5-2 mm, trwałość 3-8 lat,
- przeciąganie juty z rowkowaniem podłużnym za pomocą grzebieni lub widełek – tekstura rzędu 2-5 mm, trwałość 6-10 lat,

- opóźnianie hydratacji cementu, a następnie wypłukanie niezwiązanej warstwy cementowej strumieniem wody lub poprzez wyszczotkowanie. Nawierzchnia teksturowana w ten sposób jest osobno wyszczególniona i została opisana w podrozdziale 4.5.1.8.

Pomijając nawierzchnię teksturowaną metodą odkrytego kruszywa (nawierzchnia EACC, którą opisano w podrozdziale 4.5.1.8), nawierzchnie z betonu cementowego, w zależności od metody teksturowania, zakwalifikować można do kategorii nawierzchni o normalnej, podwyższonej lub zwiększonej hałaśliwości (zgodnie z Tab. 4-3).

Najmniej korzystne pod względem akustycznym są nawierzchnie teksturowane poprzecznie. Ten sposób teksturowania zwiększa hałaśliwość nawierzchni. Zarówno pod względem akustyki jak i z punktu widzenia bezpieczeństwa najlepszym sposobem teksturowania jest przeciąganie juty z rowkowaniem podłużnym. Zapewnia ono największe obniżenie hałasu, jednocześnie zwiększając przyczepność koła z nawierzchnią.

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-22) przedstawiono przykładowe zdjęcie betonu cementowego rowkowanego.



Rys. 4-22 Przykład nawierzchni CC poprzecznie rowkowanej<sup>38</sup>

#### 4.5.1.8 EACC – beton cementowy teksturowany metodą odkrytego kruszywa

Beton cementowy teksturowany metodą odkrytego kruszywa (EACC – ang. exposed aggregate cement concrete) to mieszanka kruszywa, spoiwa cementowego oraz wody teksturowana tak aby pozbyć się wierzchniej warstwy z zaprawy cementowej, która przykrywa kruszywo. Powierzchnia w technologii odkrytego kruszywa charakteryzuje się dobrymi właściwościami pod względem akustycznym. Na podstawie badań przeprowadzonych w ramach projektu RID stwierdzono, że tak wykonana nawierzchnia betonowa jest konkurencyjna w stosunku do nawierzchni typu SMA pod względem hałaśliwości, a jednocześnie zachowuje dłużej swoje właściwości niż nawierzchnie asfaltowe.

<sup>38</sup> Źródło: zasoby własne



Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-23) przedstawiono przykładowe zdjęcie betonu cementowego z odkrytym kruszywem



Rys. 4-23 Przykład nawierzchni z betonu cementowego teksturowanego metodą odkrytego kruszywa <sup>39</sup>

#### 4.5.1.9 PS – kostka kamienna

Kamienna kostka drogowa (PS – ang. paving stone) wykonywana jest ze skał magmowych, osadowych i przeobrażonych<sup>40</sup>. W zależności od kształtu, jakości surowca skalnego, dokładności wykonania oraz wymiaru zasadniczego rozróżnić można różne typy kostki. Wszystkie rodzaje nawierzchni z kostki kamiennej zakwalifikować można do kategorii nawierzchni o nadmiernej hałaśliwości zgodnie z tabelą (Tab. 4-3).

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-24) poniżej przedstawiono przykładowe zdjęcie nawierzchni z kostki kamiennej.



Rys. 4-24 Przykład nawierzchni z kostki kamiennej <sup>41</sup>

<sup>39</sup> Źródło: [https://www.investim.com.pl/oferta/541\\_Amfibolit%20-%20barwa%20ciemnoszara\\_grys-amfibolitowy-frakcji-2-5-mm](https://www.investim.com.pl/oferta/541_Amfibolit%20-%20barwa%20ciemnoszara_grys-amfibolitowy-frakcji-2-5-mm)

<sup>40</sup> SST D-05.03.01 Nawierzchnia z kostki kamiennej

<sup>41</sup> Źródło: zasoby własne

#### 4.5.1.10 SB – betonowa kostka brukowa

Betonowa kostka brukowa (CB – ang. concrete brick) to prefabrykowany element budowlany, przeznaczony do budowy warstwy ścieralnej nawierzchni, wykonany metodą wibroprasowania z betonu niezbrojonego niebarwionego lub barwionego, jedno- lub dwuwarstwowego, charakteryzująca się kształtem, który umożliwia wzajemne przystawanie elementów<sup>42</sup>.

Nawierzchnie z kostki brukowej charakteryzują się niskim kosztem wykonania oraz trwałością i odpornością na czynniki atmosferyczne. Niestety nawierzchnie wykonane z betonowej kostki brukowej charakteryzują się nadmierną hałaśliwością, zgodnie z tabelą (Tab. 4-3).

Na Rys. 4-25 przedstawiono zdjęcie przykładowej nawierzchni z betonowej kostki brukowej.



Rys. 4-25 Przykład nawierzchni z betonowej kostki brukowej<sup>43</sup>

#### 4.5.1.11 SS – cienka warstwa na zimno

Cienka warstwa na zimno (SS – ang. slurry seal) to mieszanka mineralno-emulsyjna wykorzystywana w postaci cienkiego dywanika bitumicznego jako warstwa uszczelniająca i/lub uszorstniająca.<sup>44</sup>

Wybór uziarnienia mieszanki mineralnej zależy od obciążenia ruchem, dopuszczalnej prędkości ruchu oraz stanu zużycia i twardości istniejącej nawierzchni. Mieszanki od 0 do 2 mm i od 0 do 4 mm stosowane są na drogach obciążonych ruchem mniejszym od średniego i przy prędkościach ruchu poniżej 60 km/h, natomiast mieszanki od 0 do 6 mm, od 0 do 8 mm i od 0 do 11 mm – na pozostałych drogach i przy prędkościach ruchu powyżej 60 km/h.

Na poniższym zdjęciu (Rys. 4-26) przedstawiono zdjęcie przykładowej nawierzchni z cienkiej warstwy na zimno.

<sup>42</sup> SST D-05.03.23 Nawierzchnia z betonowej kostki brukowej

<sup>43</sup> Źródło: <https://www.bogmar.bydgoszcz.pl/z-kostki-brukowej.htm>

<sup>44</sup> SST D-41.05.00 Wykonanie nawierzchni metodą na zimno ze Slurry Seal



Rys. 4-26 Przykład nawierzchni z cienkiej warstwy na zimno <sup>45</sup>

#### 4.5.2 Metodyka doboru odpowiedniej nawierzchni w programie obliczeniowym

Programy realizujące obliczenia akustyczne z metodyką CNOSSOS-EU mają biblioteki parametrów  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$  dla czternastu rodzajów nawierzchni. Aktualnie wartości tych parametrów zaimplementowane w programach są zgodne z opublikowanymi w Dyrektywie 2015/996. Należy jednak podkreślić, że w procedowanych zmianach Dyrektywy (dokument C(2020)9101) wartości te w sposób istotny odbiegają od pierwotnych (uaktualnione wartości zaprezentowano w tabeli (Tab. 4-4). Należy zatem spodziewać się, że po uchwaleniu przez KE procedowanych zmian metodyki CNOSSOS-EU, nowe wartości parametrów  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$  zostaną wprost zaimplementowane w programach obliczeniowych. Niemniej już dziś, użytkownik tych programów może samodzielnie uzupełnić biblioteki nawierzchni drogowych wprowadzając skorygowane wartości  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$  (rozdział 4.5.2.2).

Niezależnie od powyższego, zgodnie z rekomendacjami zawartymi w Dyrektywie, inne kraje UE (m.in. Niemcy, Austria, Finlandia), na podstawie przeprowadzonych badań własnych wyznaczyły współczynniki hałaśliwości nawierzchni, odpowiadające ich warunkom krajowym. W rozdziale 4.5 w tabeli (Tab. 4-5) i na wykresach (Rys. 4-12, Rys. 4-13, Rys. 4-14) przedstawiono współczynniki krajowe dla Niemiec, opisane w dokumencie BUB-D. Należy pamiętać, że wartości tych parametrów dla danej kategorii nawierzchni stanowią uzyskane metodami statystycznymi najlepsze dopasowanie z wielu badaniach na różnych drogach.

Przyporządkowanie najczęściej występujących w Polsce nawierzchni drogowych, na podstawie ogólnodostępnych danych, do klasyfikacji w metodyce CNOSSOS-EU jest utrudnione przez dużą ilość różnych metod, miar i współczynników widmowych, stosowanych w badaniach wpływu rodzaju nawierzchni drogowych na emisję hałasu. Dwie podstawowe metody, *SPB*<sup>46</sup> (*Statistical Pass-By method*) i *CPX*<sup>47</sup> (*Close Proximity method*), nie dają

<sup>45</sup> Źródło: <http://www.budomost.com.pl/uslugi-budomost/slurry-seal>

<sup>46</sup> PN-EN ISO 11819-1:2004, *Akustyka -- Pomiar wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy -- Część 1: Metoda statystyczna pomiaru podczas przejazdu*

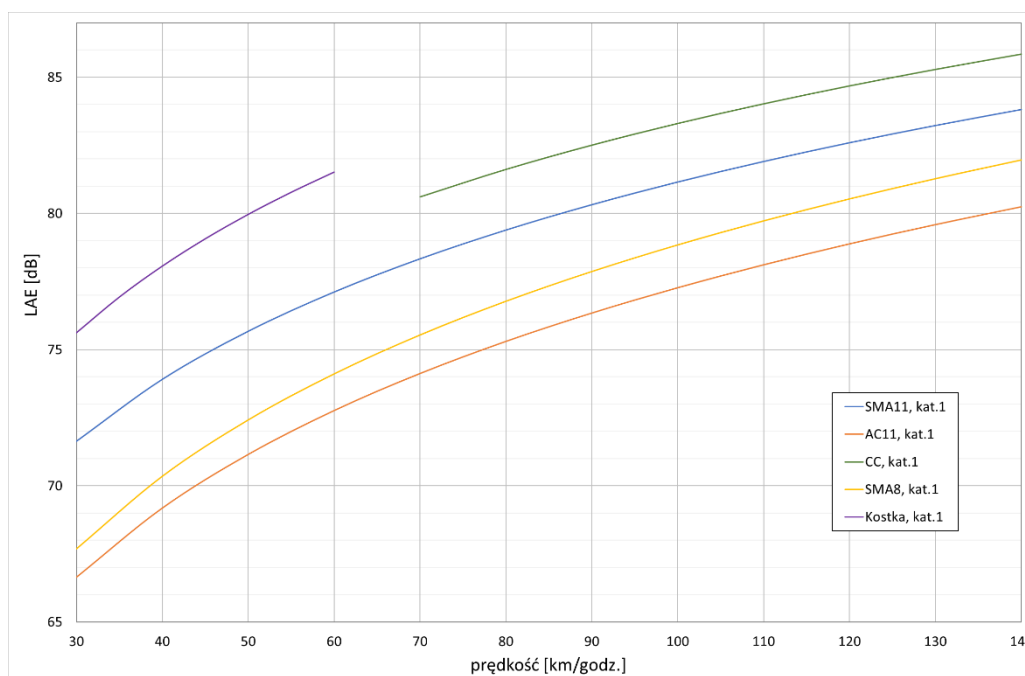
<sup>47</sup> PN-EN ISO 11819-2:2017-06, *Akustyka -- Pomiar wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy -- Część 2: Metoda pomiaru w polu bliskim*

skorelowanych wyników.<sup>36</sup> Mimo, iż w wielu badaniach przyjmuje się identyczną nawierzchnię referencyjną (SMA 0/11) to wyniki badań dla konkretnej nawierzchni - w postaci względnych różnic poziomów mierzonych na danej nawierzchni i nawierzchni referencyjnej - nie pozwalają na bezpośrednie ich porównanie z parametrami określonymi w Dyrektywie 2015/996. Stąd też, aby z dostępnego w programach obliczeniowych katalogu nawierzchni wybrać tą najlepiej odpowiadającą rzeczywistym parametrom nawierzchni zastosowanej na danym odcinku drogi, optymalnym i rekomendowanym rozwiązaniem jest wykonanie pomiarów walidacyjnych.

W ramach niniejszego opracowania dokonano preselekcji nawierzchni z katalogu dostępnych danych, które rekomenduje się do stosowania na zasadzie pierwszego wyboru (który może się zmienić w procedurze walidacji). W tym celu wykonano pomiary hałasu dla pięciu najczęściej stosowanych w Polsce nawierzchniach drogowych oraz wykorzystano wyniki pomiarów GPH 2020. Na tej podstawie, z dostępnych baz danych wybrano współczynniki nawierzchni,  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$ , metodą statystyczną opartą na zasadzie najlepszego dopasowania.

Pomiary polegały na rejestracji poziomów ekspozycji hałasu,  $L_{AE}$ , pojedynczych przejazdów z podziałem na kategorie pojazdów, w scenarii pomiarowej odpowiadającej wymaganiom normy PN-EN ISO 11819-1,<sup>46</sup> gdyż metoda SPB jest rekomendowana do wyznaczania wpływu nawierzchni drogowych na potrzeby modelu CNOSSOS-EU.<sup>28, 36, 53, 54</sup>

Na podstawie pomiarów dla pojedynczych przejazdów, dla każdej badanej nawierzchni i kategorii pojazdów wyznaczono empiryczną zależność poziomu ekspozycji hałasu,  $L_{AE}$ , od prędkości. Wyniki te przedstawiono w rozdziałach 1.3 i 2 załącznika V. Tutaj, dla przykładu, na Rys. 4-27 pokazano uzyskane zależności dla pojazdów kategorii 1.



Rys. 4-27 Zależność poziomu ekspozycji hałasu od prędkości dla pojazdów kategorii 1 wyznaczona z pomiarów dla pięciu najczęściej występujących nawierzchni w Polsce

Empiryczne zależności  $L_{AE}$  od prędkości porównywano z wynikami obliczeń  $L_{AE}$  dla nawierzchni zdefiniowanych w Dyrektywie 2015/996, aneksie C(2020)1901 oraz niemieckich wytycznych krajowych BUB-D. Ze względu na wymogi metody SPB, scenaria pomiarowa jest prosta do modelowania (teren płaski, punkt pomiarowy blisko źródła, brak odbić i wpływu innych zjawisk towarzyszących propagacji) i źródłem błędów obliczeń jest tylko charakterystyka źródła hałasu. Obliczenia  $L_{AE}$  wg metody CNOSSOS-EU wykonano dla 39 rodzajów nawierzchni, określonych we ww. dokumentach. Obliczone wartości poziomów ekspozycji hałasu dla poszczególnych nawierzchni, w funkcji prędkości, przedstawiono w rozdziale 3.1 załącznika V. Różnicę poziomów zmierzonych (dokładniej: poziomów dopasowanych do wyników pomiarów jak pokazano na Rys. 4-27) i obliczonych wyznaczono w funkcji prędkości, z krokiem co 10 km/godz. Jako miarę jakości dopasowania badanej nawierzchni przyjęto odchylenie standardowe różnic z całego przedziału prędkości. Kryterium wyboru była najmniejsza różnica. Do porównania, z listy wszystkich 39 dostępnych nawierzchni katalogowych, przyjmowano tylko nawierzchnie o podobnej technologii, nawet jeśli błąd dopasowania innych nawierzchni był mniejszy.

Dla trzech rodzajów nawierzchni, występujących rzadziej i w mniejszym stopniu objętych strategicznymi hałasami, uzyskano dopasowanie, które przedstawiono w Tab. 4-7.

Tab. 4-7 Wybrane nawierzchnie drogowe objęte badaniami z proponowanymi odpowiednikami katalogowymi o parametrach zapewniających najlepszą zgodność

Oznaczenie nawierzchni	Nawierzchnia badana	Przypisana nawierzchnia	Odchylenie standardowe różnic [dB]		
			Kategoria 1	Kategoria 2	Kategoria 3
SMA8	Mastyks grysowy o maksymalnym wymiarze ziaren 8 mm	Referencyjna (END'2015)	0,2	0,3	-2,0
PS	Kostka kamienna	Twarde elementy niewiązane w jodełkę (END+A'2020)	1,0	-3,7 (*)	-6,0 (*)
CC	Beton cementowy poprzecznie rowkowany	Concrete and washed concrete surface (BUB-D)	-1,3	0,8	2,5

(\*) nawierzchnia, na której udział pojazdów kategorii 2 i kategorii 3 jest pomijalnie mały

Dla dwóch najczęściej występujących w Polsce nawierzchni, SMA11 (*mastyks grysowy o maksymalnym wymiarze ziaren 11 mm*) i AC11 (*beton asfaltowy o maksymalnym wymiarze ziaren 11 mm dla warstwy ścieralnej*), na podstawie powyższej procedury wytypowano pięć odpowiedników nawierzchni katalogowych, o potencjalnie najlepszym dopasowaniu.

Są to następujące nawierzchnie, o współczynnikach podanych w rozdziale 3.1 załącznika V:

- Referencyjna (END'2015) – wg Dyrektywy,
- Twarde elementy niewiązane w jodełkę (END+A'2020) – wg zmiany w Dyrektywie,
- Reference (BUB-D),
- Asphalt concrete <=AC11 (BUB-D),
- Concrete and washed concrete surface (BUB-D),

Dla tych wstępnie wybranych nawierzchni zastosowano dodatkowe kryterium weryfikacji, polegające na porównaniu obliczeń z wynikami całodobowych pomiarów hałasu w warunkach

rzeczywistych, na drogach o dużym natężeniu ruchu i dużym udziale pojazdów ciężkich. W tym celu wykorzystano wyniki GPH'2020, zawierające pomiary równoważnego poziomu dźwięku w porze dziennej i nocnej,  $L_{AeqD}$  i  $L_{AeqN}$ . Dla nawierzchni SMA11 wytypowano 22 punkty pomiarowe, a dla nawierzchni AC11 – 13 punktów. Jako kryterium wyboru przyjęto nawierzchnię zapewniającą najlepsze dopasowanie, wyrażone poprzez warunek zgodności metody pomiarowej i obliczeniowej określony przez wzór (9) w rozporządzeniu Ministra Środowiska „w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku ...”.<sup>7</sup> Szczegółowe analizy przedstawiono w rozdziale 4 załącznika V.

**Dla nawierzchni SMA11 najlepiej dopasowanym odpowiednikiem jest nawierzchnia niemiecka „Reference (BUB-D)”.** Średnia różnica między wynikami obliczeń i pomiarów w ramach GPH'2020 wyniosła 1,1 dB dla pory dnia oraz 0,1 dB dla pory nocy. Został też spełniony warunek równoważności metody obliczeniowej i pomiarowej na poziomie 1,2 dB dla pory dnia oraz 1,5 dB dla pory nocy.

**Dla nawierzchni AC11S najlepiej dopasowanym odpowiednikiem jest nawierzchnia niemiecka „Asphalt Concrete AC11”.** Średnia różnica między wynikami obliczeń i pomiarów w ramach GPH'2020 wyniosła 0,8 dB dla pory dnia oraz 1,5 dB dla pory nocy. Został też spełniony warunek równoważności metody obliczeniowej i pomiarowej na poziomie 2,3 dB dla pory dnia oraz 2,1 dB dla pory nocy.

**Spełnienie warunku równoważności metody pomiarowej i obliczeniowej oznacza, że wskazane powyżej najlepsze odpowiedniki nawierzchni krajowych mogą być stosowane w modelu akustycznym bezpośrednio, bez dodatkowych współczynników korygujących.**

#### 4.5.2.1 Rekomendowane odpowiedniki nawierzchni krajowych i ich parametry w CNOSSOS-EU

Na podstawie analiz przedstawionych w poprzednim rozdziale, w Tab. 4-8 przedstawiono podsumowanie w postaci rekomendowanych odpowiedników nawierzchni krajowych.

**Jeżeli nie ma możliwości pozyskania dokładniejszych danych to na potrzeby strategicznej mapy hałasu, do odwzorowania w modelu rzeczywistych własności akustycznych krajowych nawierzchni drogowych, rekomenduje się stosowanie odpowiedników tych nawierzchni, które wskazano w Tab. 4-8.**

Tab. 4-8 Krajowe nawierzchnie drogowe i ich rekomendowane odpowiedniki

Oznaczenie nawierzchni	Opis nawierzchni	Rekomendowany odpowiednik nawierzchni
SMA11	Mastyks grysowy o maksymalnym wymiarze ziaren 11 mm	Reference (BUB-D)
AC11S	Beton asfaltowy o maksymalnym wymiarze ziaren 11 mm dla warstwy ścieralnej	Asphalt concrete <=AC11 <u>30-60</u> km/h (BUB-D) oraz Asphalt concrete <= AC11 <u>70-140</u> km/h (BUB-D)
SMA8	Mastyks grysowy o maksymalnym wymiarze ziaren 8 mm	Referencyjna (END'2015)
PS	Kostka kamienna	Twarde elementy niewiązane w jodełkę (END+A'2020)
CC	Beton cementowy poprzecznie rowkowany	Concrete and washed concrete surface (BUB-D)

Charakterystyki akustyczne nawierzchni rekomendowanych jako odpowiedniki nawierzchni krajowych, wyrażone parametrami  $\alpha_{i,m}$  oraz  $\beta_m$  (Równanie 4-3 i Równanie 4-4), które zdefiniowano w dokumentach źródłowych:

- Dyrektywa 2015/996 → (END'2015),
- dokument C(2020)9101<sup>31</sup> - procedowane zmiany do ww. Dyrektywy → (END+A'2020),
- BUB-D,<sup>32</sup>

zestawiono w tabeli poniżej (Tab. 4-9). **Współczynniki wskazane w tej tabeli należy traktować jako pierwszy wybór, który w modelu akustycznym tworzonym na potrzeby strategicznej mapy hałasu powinien podlegać procedurze walidacji pomiarami.** Zgodnie z Wytycznymi GIOŚ, pomiary walidacyjne nie muszą być prowadzone na wszystkich drogach objętych mapą. Można wykorzystać wyniki pomiarów z dróg, które w uzasadniony sposób można uznać za porównywalne pod względem emisji hałasu (ta sama konstrukcja i stanu nawierzchni).

Tab. 4-9 Wartości parametrów emisji dla rekomendowanych odpowiedników nawierzchni krajowych

Lp	Oznaczenie nawierzchni	Rekomendowany odpowiednik	Prędkość [km/godz.] – zakres stosowalności		Kategoria pojazdów	$\alpha_m$								$\beta_m$		
			od	do		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000			
						-	-	-	-	-	-	-	-		-	
1.	AC11S	Asphalt concrete <=AC11 30-60 km/h (BUB-D)	30	60	1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	-1,5	
			30	60	2	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	7,7	13	
			30	60	3	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	-5	
			30	45	4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
			30	60	4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
		Asphalt concrete <= AC11 70-140 km/h (BUB-D)	70	140	1	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	-3,7
			70	140	2	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	7,8	13,5
			70	140	3	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4	17
			--	--	4a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
			70	140	4b	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2.	SMA11	Reference (BUB-D)	30	140	1	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	-3,8	
			30	90	2	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	10,3	7,5	
			30	90	3	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	9,2	0,2	
			30	45	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
			30	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3.	SMA8	Referencyjna (END'2015)	--	--	1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
			--	--	2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
			--	--	3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
			--	--	4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
4.	PS	Twarde elementy niewiązane w jodełkę (END+A'2020)	30	60	1	31,4	19,7	16,8	8,4	7,2	3,3	7,8	9,1	2,9		
					2	34	23,6	19,8	10,5	11,7	8,2	12,2	10,0	2,9		
					3	33,8	24,7	20,4	10,9	10,9	6,8	12,0	10,8	2,9		
					4a/4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
5.	CC	Concrete and washed concrete surface (BUB-D)	70	140	1	2,0	1,5	2,8	3,2	3,3	0,7	0,2	0,4	-3,0		
			70	140	2	8,8	10,1	7,4	7,9	7,5	6,7	7,4	7,4	15,4		
			70	140	3	7,4	8,7	6,0	6,5	6,1	5,3	6,0	6,0	18,4		
			--	--	4a	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		
			70	140	4b	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		

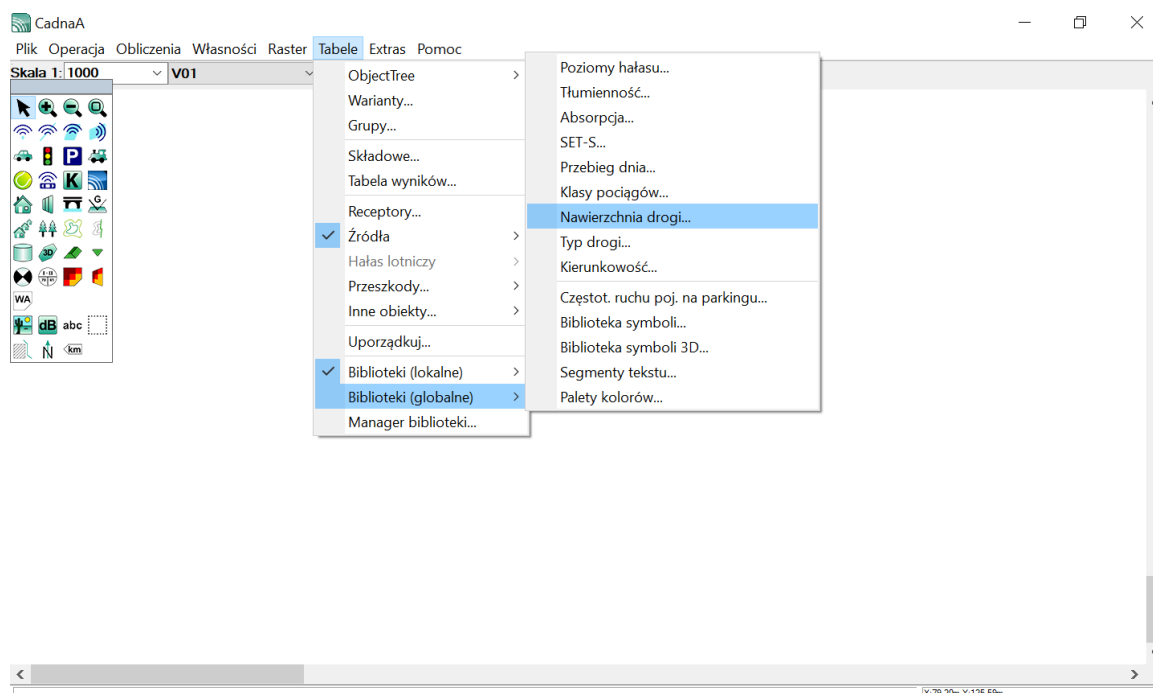


#### 4.5.2.2 Implementacja rekomendowanych nawierzchni w programach obliczeniowych

W przypadku braku dokładniejszych danych, do odwzorowania w modelu emisji dla krajowych nawierzchni drogowych, w poprzednim rozdziale zarekomendowano stosowanie odpowiedników tych nawierzchni wskazanych w Tab. 4-8. W czasie przygotowywania tego opracowania nie wszystkie programy obliczeniowe posiadają w swoich bibliotekach zaimplementowane współczynniki nawierzchni, określone w aneksie C(2020)9101 oraz niemieckiej metodyce BUB-D. Aby mieć możliwość korzystania z tych nawierzchni, należy ich współczynniki wprowadzić do biblioteki programu obliczeniowego. Wartości współczynników nawierzchni wybranych jako najlepsze odpowiedniki nawierzchni krajowych przedstawiono w Tab. 4-9. W tym rozdziale przedstawiono sposób wprowadzania tych współczynników do programów obliczeniowych.

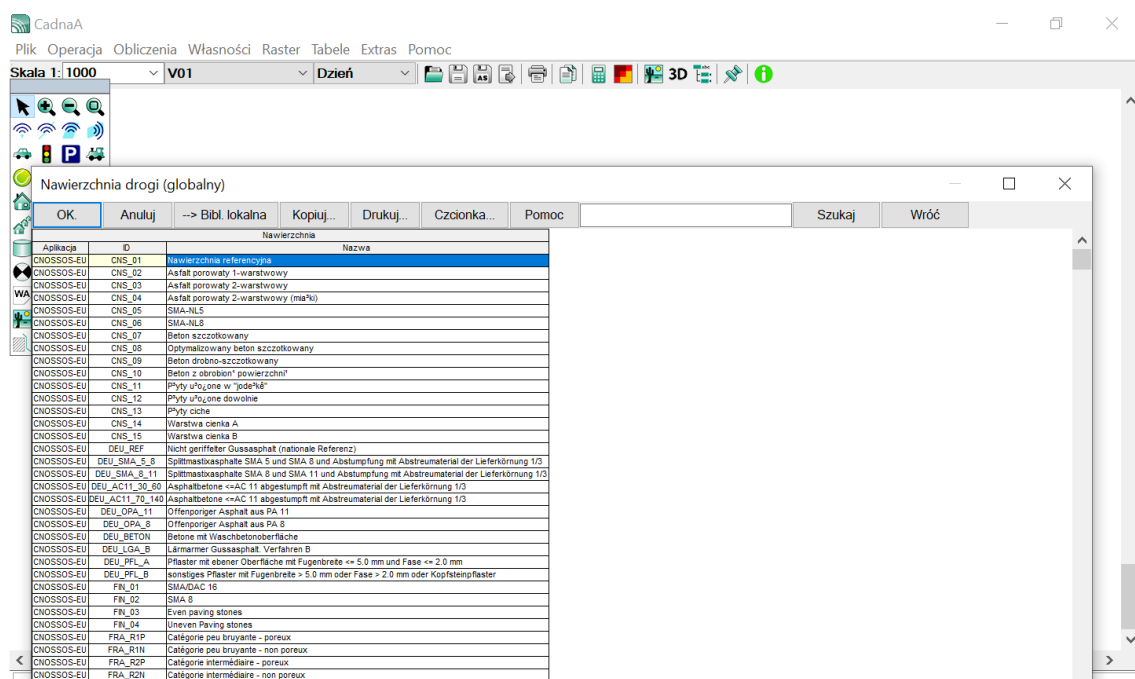
##### Import parametrów nawierzchni drogowych – program CadnaA

Należy przejść do biblioteki globalnej i z menu głównego wybrać: Tabele > Biblioteki(globalne) > Nawierzchnia drogi...



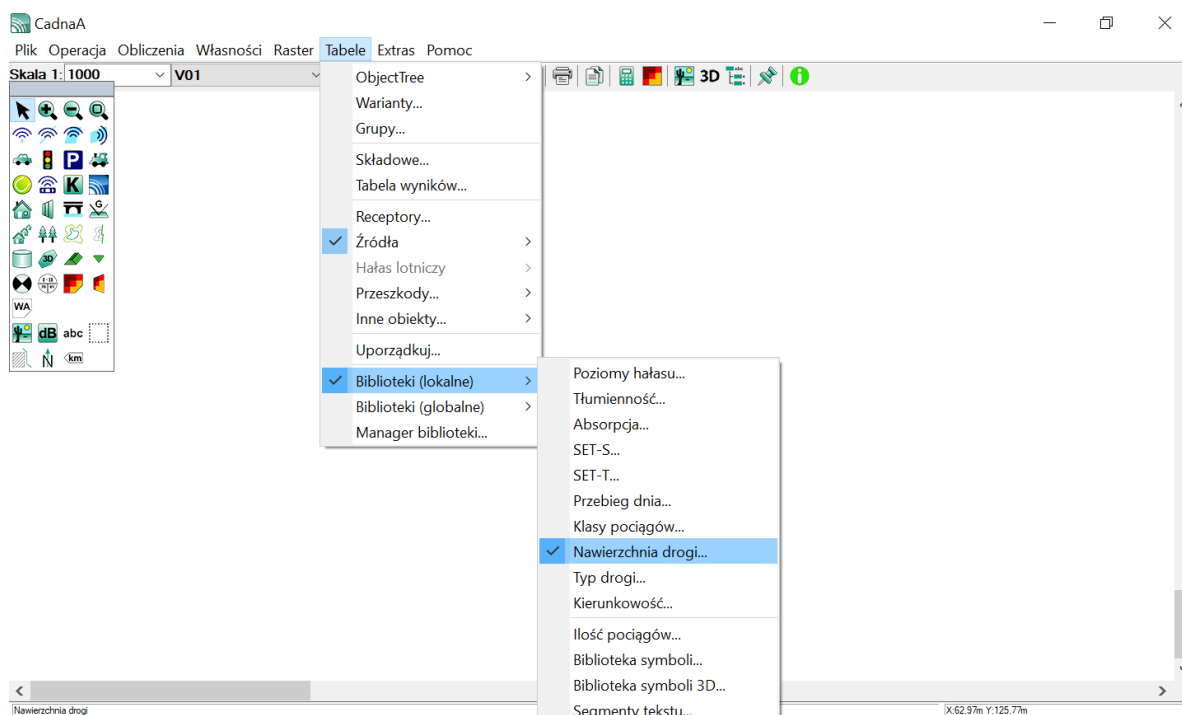
Rys. 4-28 Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 1

Należy wybrać nawierzchnię (np. Nawierzchnia referencyjna), a następnie skopiować do biblioteki lokalnej naciskając przycisk „--> Bibl. Lokalna”



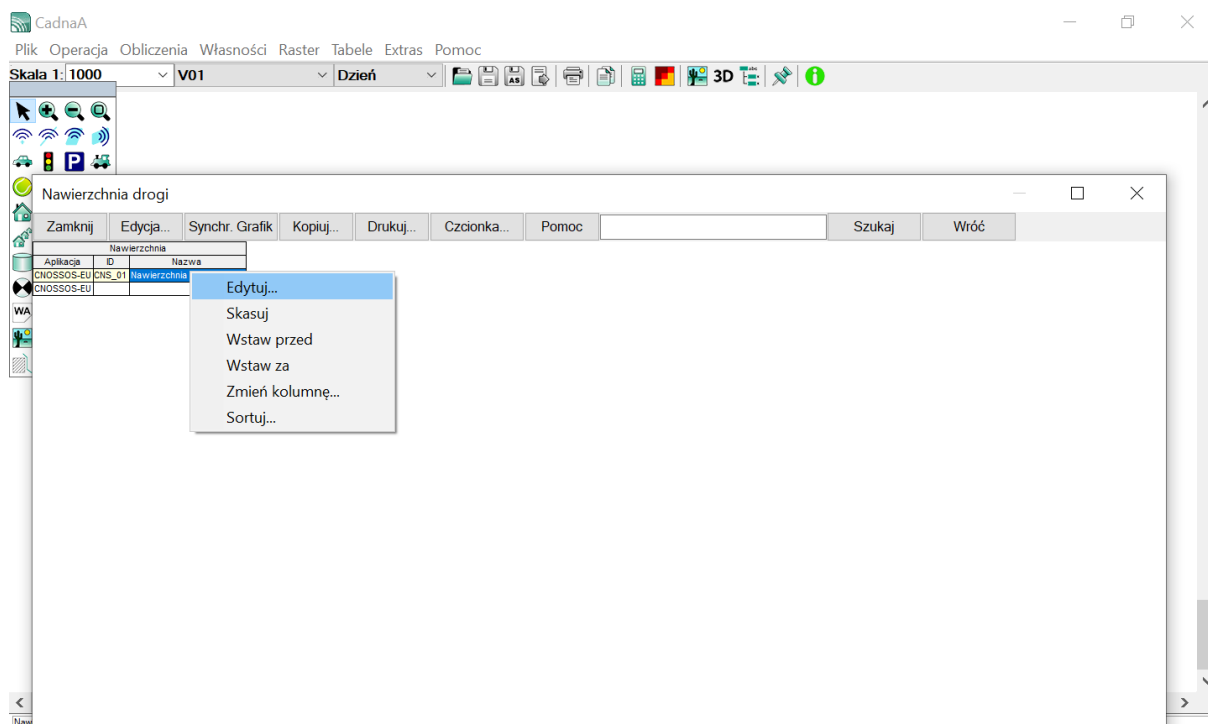
Rys. 4-29 Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 2

Należy przejść do biblioteki lokalnej. Z menu głównego należy wybrać: Tabele > Biblioteki(lokalne) > Nawierzchnia drogi...



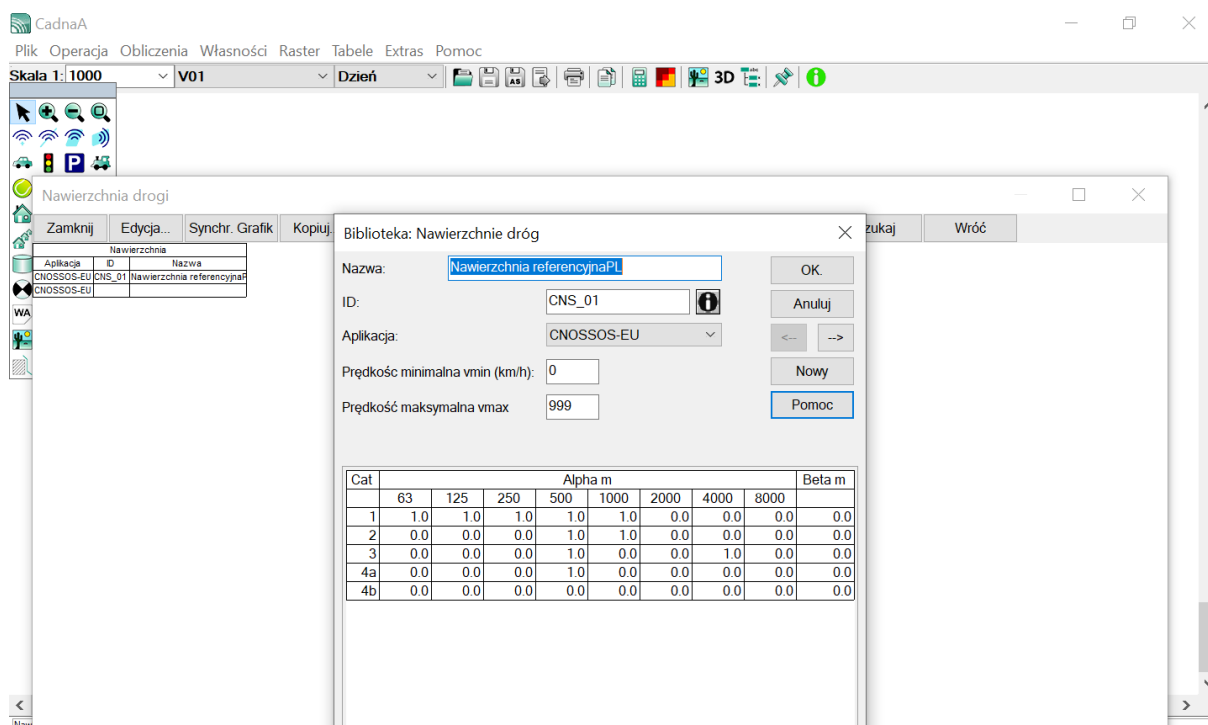
Rys. 4-30 Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 3

Należy rozpocząć edycję nawierzchni drogowej klikając prawym przyciskiem myszy a następnie z menu rozwijanego „Edytuj...”



Rys. 4-31 Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 4

Należy wprowadzić dane z katalogu.

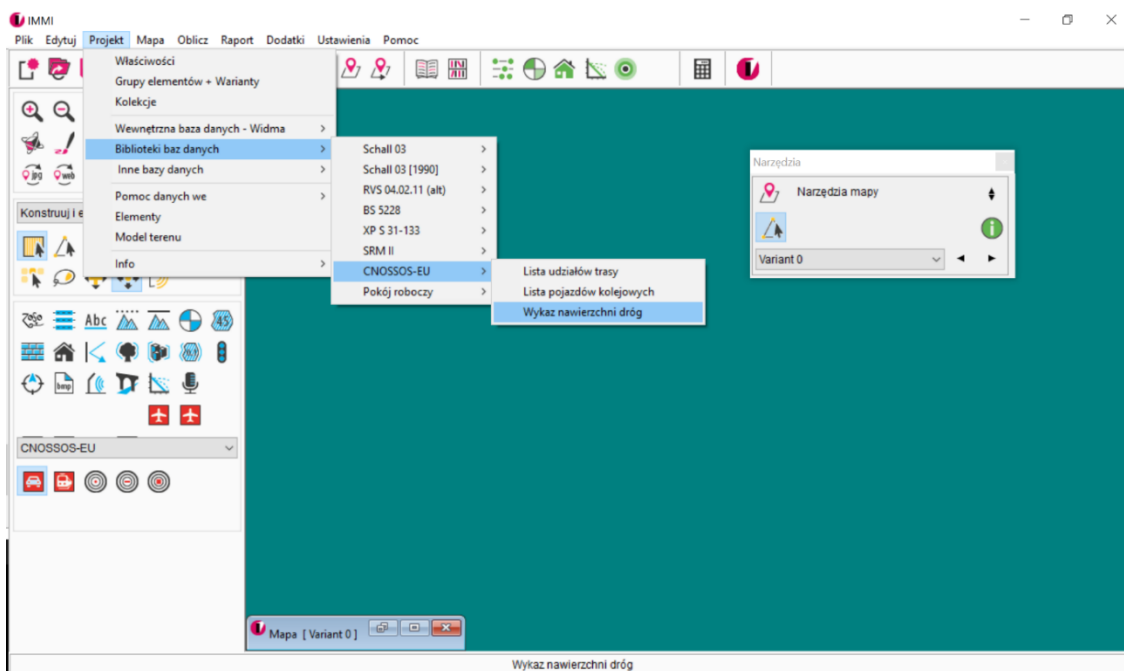


Rys. 4-32 Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 5

Należy zatwierdzić zmiany przyciskiem „OK” i przejść do kolejnej nawierzchni.

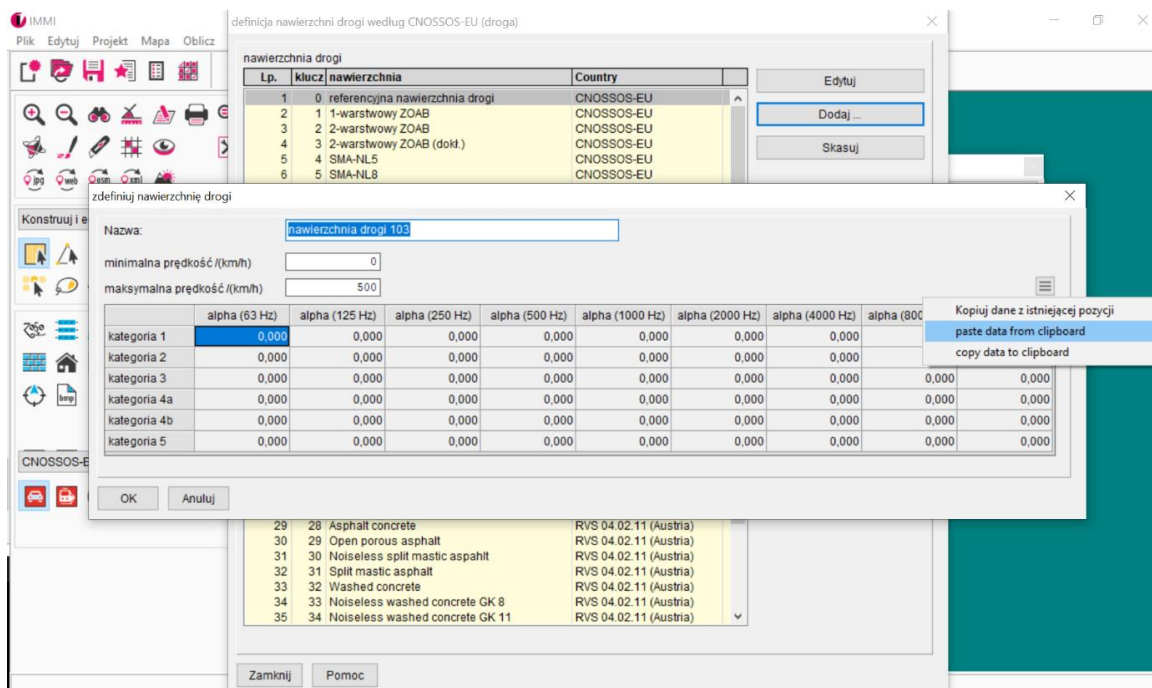
## Import parametrów nawierzchni drogowych – program IMMI

Należy przejść do biblioteki. Z menu głównego należy wybrać: Projekt > Biblioteki baz danych > CNOSSOS-EU > Wykaz nawierzchni dróg



Rys. 4-33 Import parametrów nawierzchni drogowych – IMMI – krok 1

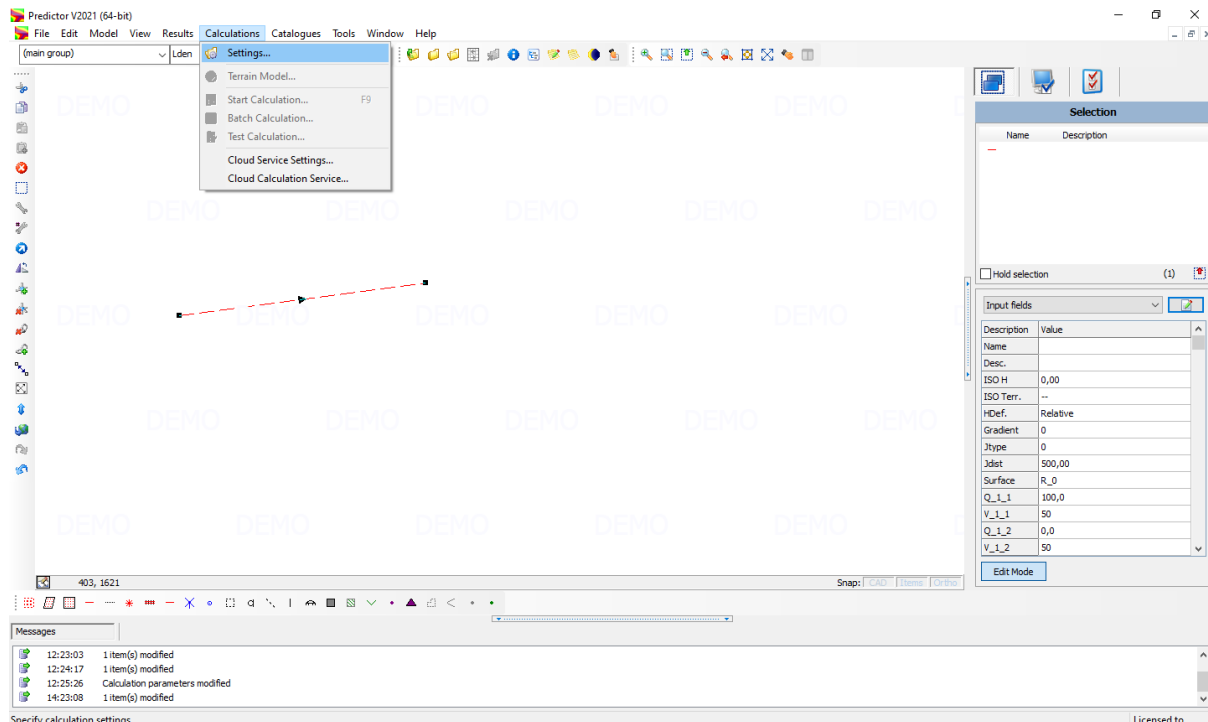
Należy zdefiniować nową nawierzchnię klikając przycisk „Dodaj...” następnie przycisk i „paste data from clipboard” co pozwoli wkleić dane ze schowka (uprzednio skopiowane z niniejszego katalogu).



Rys. 4-34 Import parametrów nawierzchni drogowych – IMMI – krok 2

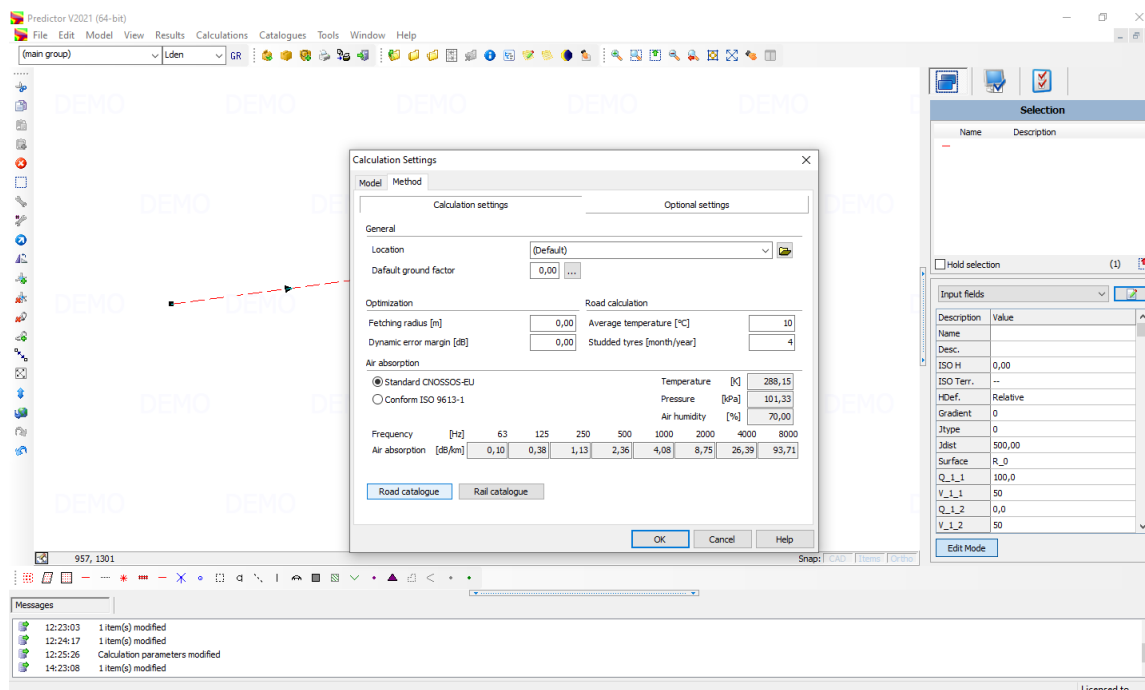
## Import parametrów nawierzchni drogowych – program Predictor - Lima

Należy przejść do ustawień obliczeń. Z menu głównego należy wybrać: Calculation > Settings...



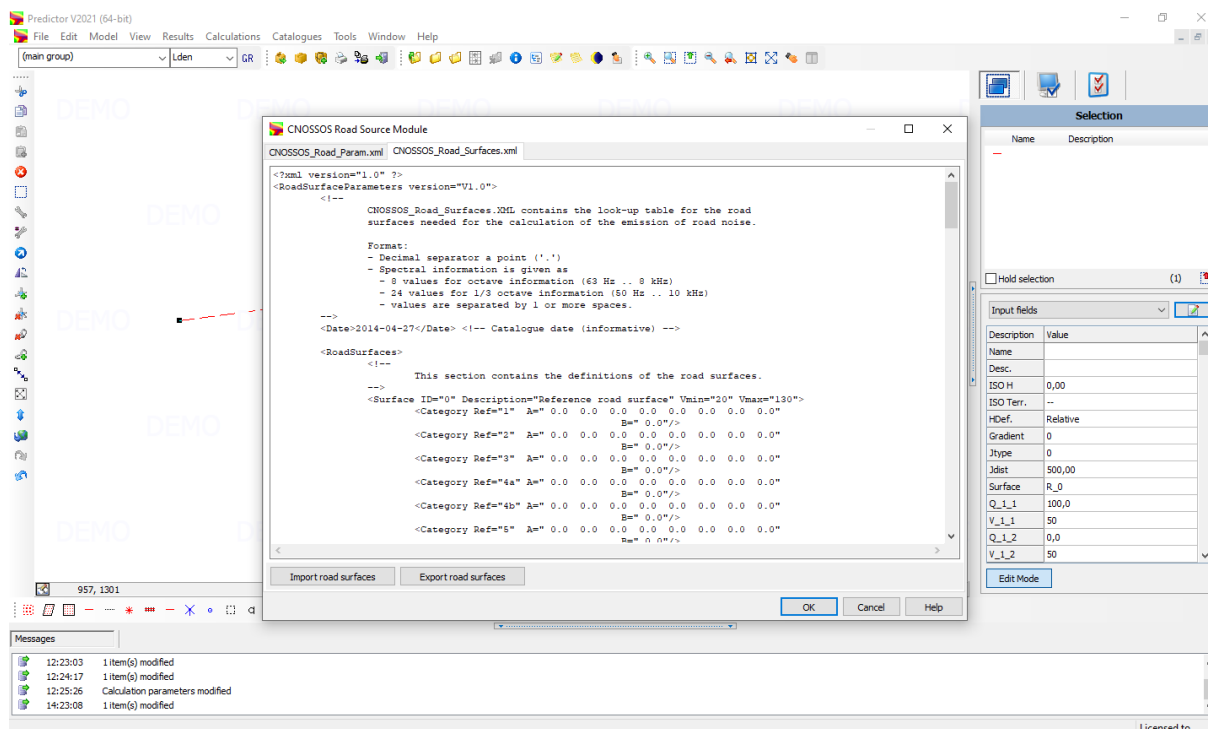
Rys. 4-35 Import parametrów nawierzchni drogowych – Predictor-Lima – krok 1

Należy wybrać kartę „Method” a następnie naciskamy przycisk „Road catalogue”



Rys. 4-36 Import parametrów nawierzchni drogowych – Predictor-Lima – krok 2

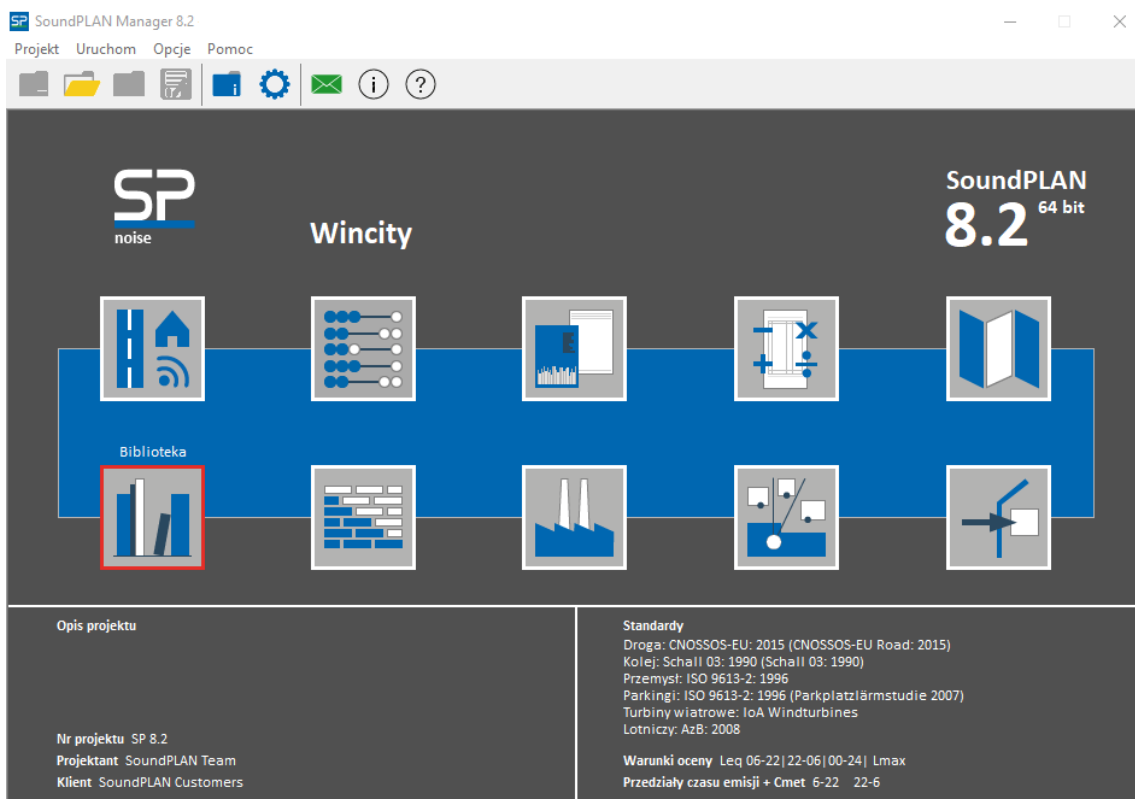
Należy wybrać kartę „CNOSSOS\_Road\_Surfaces.xml” a następnie nacisnąć przycisk „Import road surfaces” a następnie wybrać odpowiednio przygotowany plik xml.



Rys. 4-37 Import parametrów nawierzchni drogowych – Predictor-Lima – krok 3

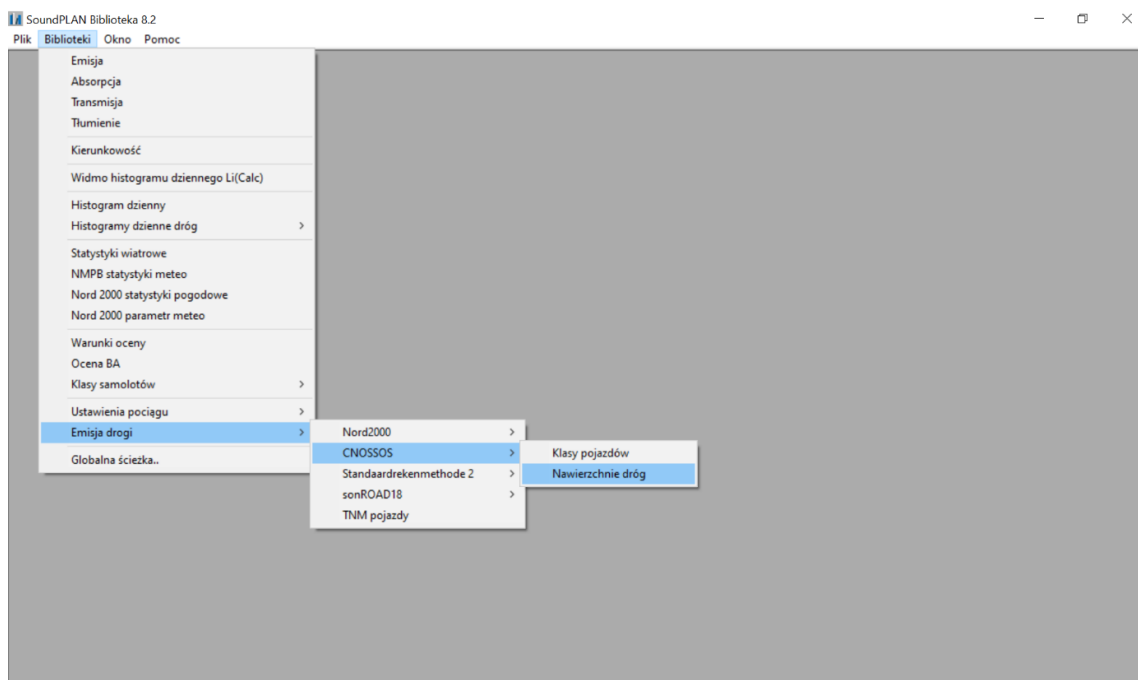
### Import parametrów nawierzchni drogowych – program SoundPlan

Należy przejść do Biblioteki. Z okna głównego programu należy wybrać: Biblioteka





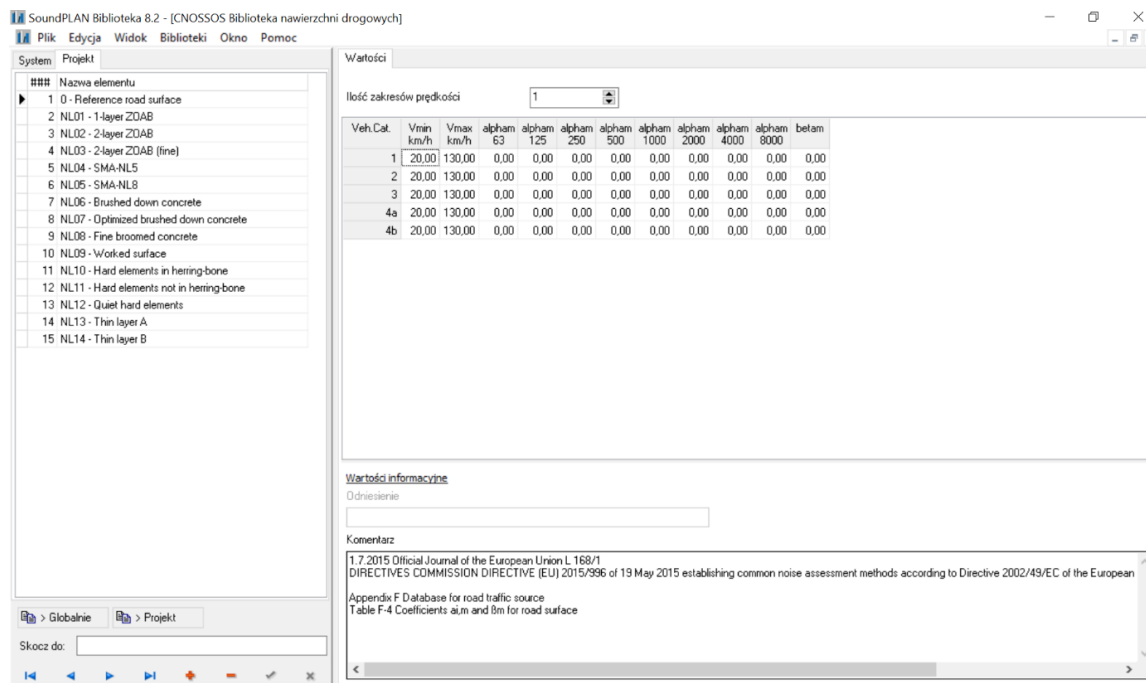
Rys. 4-38 Import parametrów nawierzchni drogowych – Sound Plan 8.2 – krok 1

Należy otworzyć bibliotekę nawierzchni drogowych dla CNOSSOS. Z menu głównego wybieramy Biblioteki > Emisja Drogi >CNOSSOS > Nawierzchnia dróg.



Rys. 4-39 Import parametrów nawierzchni drogowych – Sound Plan 8.2 – krok 2

Należy dodać nowy rodzaj nawierzchni naciskając znak  a następnie przenieść dane z niniejszego katalogu i zapisać naciskając przycisk .



Rys. 4-40 Import parametrów nawierzchni drogowych – Sound Plan 8.2 – krok 3

### 4.5.3 Stan nawierzchni drogowej

#### Wpływ stanu nawierzchni drogowej na wielkość emisji poziomu hałasu

Na stan nawierzchni wpływa wiele czynników począwszy od jakości i rodzaju wytworzonej mieszanki, poprzez jej ułożenie i teksturowanie w przypadku nawierzchni betonowych, po niewłaściwe metody jej utrzymania ze względu na warunki atmosferyczne i eksploatację.

Z upływem czasu starzeniu ulega lepszycze, powstają ubytki ziaren kruszywa, koleiny i wyboje. Znaczącym elementem wydłużającym dobry stan nawierzchni jest jej regularne czyszczenie. W obszernej i aktualnej monografii krajowej „*Hałaśliwość nawierzchni drogowych*”,<sup>36</sup> zwraca się uwagę, że problemy z utrzymaniem czystości oraz utrzymaniem zimowym prowadzą do sytuacji, w której tzw. „ciche nawierzchnie” (nawierzchnie o mniejszej emisji hałasu od nawierzchni referencyjnej) po kilku latach eksploatacji charakteryzują się podobnymi właściwościami jak nawierzchnie o zwartej strukturze i podobną emisją hałasu.

W przypadku nawierzchni o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni mogą występować lokalnie miejsca o zwiększonej hałaśliwości w porównaniu do całości nawierzchni. Powodem powstawania takich miejsc są zanieczyszczenia powierzchni i zatykanie się porów najczęściej w rejonie zjazdów na pola i łąki, wjazdów na posesje, czy w rejonie skrzyżowań. W przypadku nawierzchni o zwartej strukturze nie stwierdza się na ogół występowania miejscowych zmian właściwości. Dlatego w przypadku nawierzchni o zwiększonej zawartości wolnych przestrzeni ważnym aspektem jest dobór przekroju pomiarowego do badań hałasu. Ocena wpływu stanu nawierzchni realizowana jest wtedy metodą bezpośredniego pomiaru.

Pod wpływem obciążenia ruchem, warunków atmosferycznych i zanieczyszczeń warstwy ścieralnej stan nawierzchni ulega nieustająco pogorszeniu i zmieniają się jej pierwotne właściwości powodując zwiększenie poziomu hałasu.

Na podstawie przeprowadzonych badań, z akustycznego punktu widzenia można wyróżnić trzy okresy pogarszania się stanu nawierzchni. W pierwszym okresie pod wpływem zatykania się porów następuje nieznaczny wzrost poziomu dźwięku. Okres ten trwa do 3 lat. W okresie od 3 do 6 lat wzrost poziomu dźwięku w pewnym stopniu się stabilizuje, a tempo wzrostu zależy od charakterystyki ruchu i prędkości pojazdów. Ostatni etap, który występuje po około 6–8 latach, charakteryzuje się całkowitą utratą dobrych właściwości akustycznych pod wpływem zatkania większości porów.

#### Metodyka uwzględnienia stanu nawierzchni w programie obliczeniowym

Metodyka CNOSSOS-EU nie umożliwia bezpośredniego uwzględniania w obliczeniach stanu nawierzchni drogowej. Wynika to ze zastosowanego w tej metodzie statystycznego charakteru modelu emisji hałasu, który opracowany został w oparciu o badania prowadzone na porównywalnych poligonach badań, obejmujących w zakresie nawierzchni drogowej miejsca o stosunkowo dobrze utrzymanej nawierzchni (warunki referencyjne, rozdz. 4.1).

Występowanie kolein, spękań, miejscowych ubytków, nierówności (w tym również elementów takich jak studzienki, odpływy, progi zwalniające, pasy i oznaczenia akustyczno-wibracyjne) itp. wymyka się możliwości usystematyzowania i sparametryzowania, a przez to



objęcia szerokim spektrum badań, które pozwoliłyby na wprowadzenie do modelu emisji specyficznych i wiarygodnych poprawek. Ich występowanie ma najczęściej lokalny charakter i przez to również oddziaływanie akustyczne o małym zasięgu, wykraczającym poza poziom uszczegółowienia strategicznych map hałasu.

**Jeśli w procesie mapowania, stan nawierzchni drogowej na konkretnym odcinku drogi ma szczególne znaczenie**, np. wskutek występowania licznych skarg na hałas lub stan zidentyfikowany przez służby utrzymania jako zły, **wtedy rekomendowane jest przeprowadzenie dla tego odcinka walidacyjnych pomiarów hałasu**, które posłużą do kalibracji modelu akustycznego tego odcinka drogi, poprzez wprowadzenie manualnych poprawek do poziomu emisji hałasu wybranej nawierzchni. W takich sytuacjach należy zwrócić szczególną uwagę, aby warunki realizacji pomiarów hałasu odzwierciedlały średnioroczną strukturę i prędkości ruchu pojazdów charakteryzujące dany odcinek drogi w mapie.

### **Mokra nawierzchnia drogi**

Analizując wpływ stanu nawierzchni na wielkość emisji hałasu do środowiska należy poruszyć również kwestię mokrej nawierzchni, występującej w trakcie opadów atmosferycznych, a także bezpośrednio po ich ustaniu. Badania empiryczne potwierdzają, że przy mokrej nawierzchni, kiedy pokrywa ją warstwa wody, pojawia się dodatkowy hałas, związany z wychłapywaniem wody spod kół (*splash noise*). W efekcie hałas towarzyszący przejazdowi pojazdów wzrasta, a także zmienia się jego barwa. Potwierdzeniem tych empirycznych wrażeń są np. wyniki krajowych badań,<sup>48</sup> które jednoznacznie wskazują, że przy mokrej nawierzchni hałas wzrasta, a wzrost ten uzależniony jest od rodzaju stosowanych opon, ale również od rodzaju nawierzchni. Wzrost emisji hałasu jest większy w przypadku nawierzchni porowatych (woda zatyka pory tworząc nawierzchnię gładką), niż dla nawierzchni z betonu asfaltowego, czy kostki kamiennej. Wpływ ten jest również zależny od prędkości pojazdów. Dla średniej prędkości pojazdów 50 km/godz. poziom hałasu wzrasta nawet o 2,7 dB, przy prędkości 80 km/godz. – stwierdzono wzrost na poziomie 0,3-1,5 dB, a przy prędkości 110 km/godz. - zawiera się w przedziale 0,3 – 0,8 dB.

Metodyka CNOSSOS-EU nie uwzględnia w obliczeniach mokrej nawierzchni drogowej. Wiąże się to z następującymi czynnikami:

- standardowe metodyki pomiarowe, w tym stosowana w naszym kraju metodyka referencyjna pomiarów hałasu drogowego w środowisku,<sup>7</sup> nie uwzględniają możliwości badania hałasu w takich warunkach, co powoduje brak możliwości zarówno walidacji, jak i weryfikacji, modelu akustycznego,
- udział czasu, w którym nawierzchnia drogowa pozostaje mokra w ciągu roku obejmuje ok. od 10 do 30% w zależności od regionu Europy, przy czym warunkiem koniecznym wystąpienia efektu nie jest mokra nawierzchnia, a obecność wody na nawierzchni, oznacza to, że rzeczywisty wpływ mokrej nawierzchni na wartość długoterminowych wskaźników oceny hałasu jest niewielki,

<sup>48</sup> Gardziejczyk W., *Comparison of vehicle noise on dry and wet road surface*, Foundations of Civil and Environmental Engineering, No. 9 2007, Poznan University of Technology

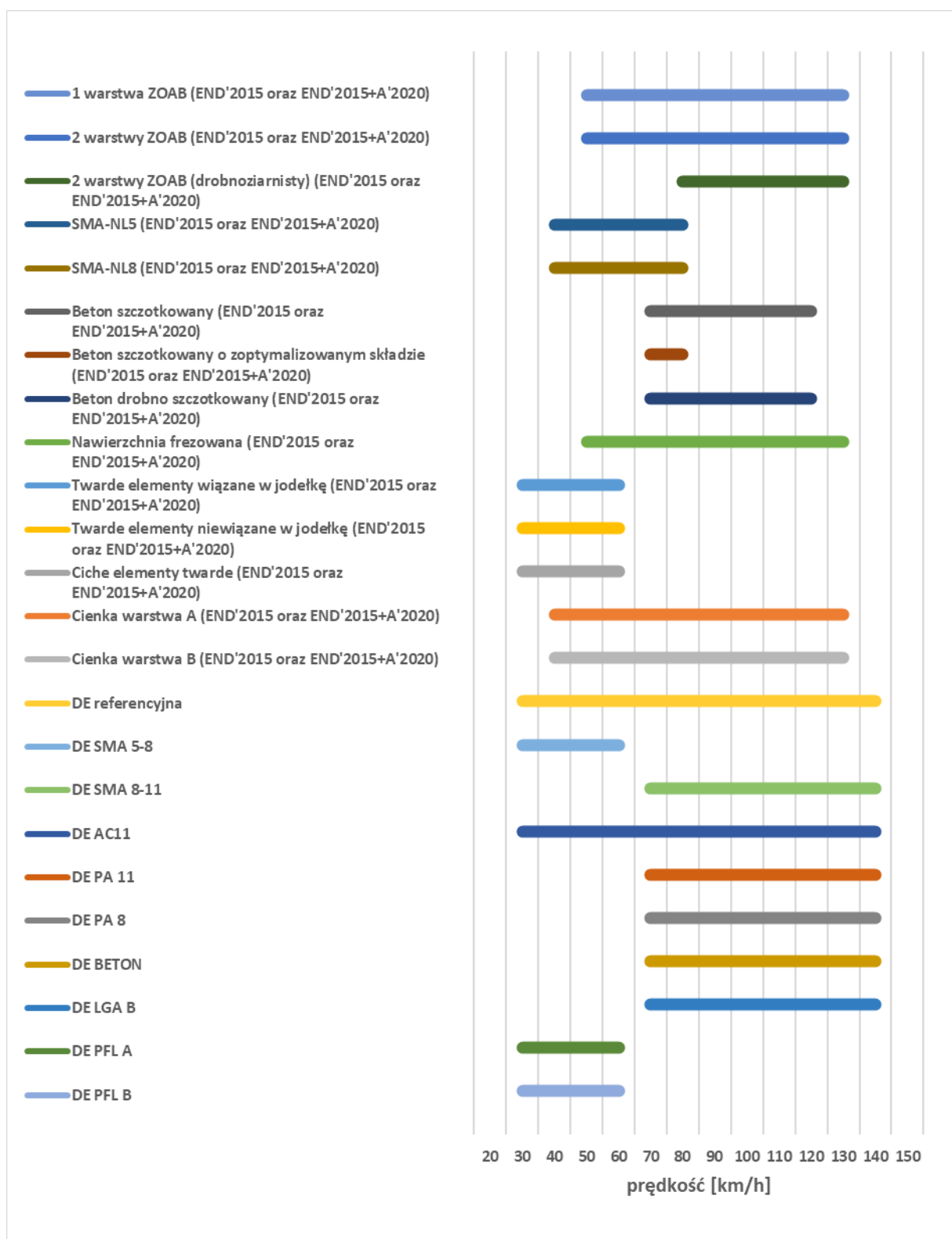
- oszacowanie rzeczywistego wpływ na poziom hałasu jest dodatkowo utrudnione przez zależność średniej prędkości i natężenia ruchu od intensywności opadów,
- losowa natura zjawiska, wynikająca z zależności od: prędkości pojazdu, rodzaju opon, rodzaju nawierzchni, grubości warstwy wody oraz czasu trwania zjawiska po ustaniu opadów, a także trudny do wyznaczenia czas występowania tego efektu w ujęciu średniorocznym (z podziałem na pory doby) powoduje, że błąd oszacowania tego efektu jest zbyt duży w porównaniu z wielkością samego efektu.

Aby oszacować błąd pominięcia tego efektu na długookresowy poziom dźwięku (bez uwzględnienia wpływu na zmniejszenie natężenia ruchu i prędkości pojazdów) można posłużyć się Rys. 3-3 przyjmując, że roczna liczba pojazdów poruszająca się po mokrej nawierzchni jest wprost proporcjonalna do czasu występowania tego zjawiska. Przyjmując przeciętny wzrost hałasu o ok. 2 dB oraz roczny czas występowania zjawiska na poziomie 10 % (przeciętny czas opadów w Polsce wynosi 20% czasu w roku), wzrost poziomu średniorocznego (np.  $L_{DWN}$ ) po uwzględnieniu mokrej nawierzchni wynosi nie więcej niż 0,8 dB.

Biorąc pod uwagę ww. trudności w sparametryzowaniu zjawiska, a przede wszystkim brak wskazania w CNOSSOS-EU, **nie rekomenduje się uwzględniania mokrej nawierzchni jezdni w mapie strategicznej hałasu drogowego.**

#### **4.5.4 Błędy wynikające z doboru niewłaściwego rodzaju i stanu nawierzchni drogowej**

Wpływ nawierzchni drogowej na wielkość emisji hałasu jest zmienny w funkcji prędkości i struktury ruchu drogowego. Dlatego też wielkość błędu wynikająca z nieprawidłowego przyporządkowania nawierzchni drogowych silnie uzależniona jest od ww. czynników. Np. wybór nawierzchni drogowej SMA-NL5 dla odcinka drogi, na którym średnia prędkość pojazdów przekracza 80 km/h nie zostanie w ogóle uwzględniony w obliczeniach, gdyż zgodnie z metodyką CNOSSOS-EU poprawka poziomu emisji dla tej nawierzchni ograniczona jest do zakresu prędkości 40-80 km/h.



Rys. 4-41 Zakres prędkości dla jakich zastosowanie mają w metodycie CNOSSOS-EU poszczególne nawierzchnie drogowe

W metodzie CNOSSOS-EU jednym z najbardziej kluczowych czynników wpływających na emisję hałasu jest nawierzchnia drogowa. Zastosowany rodzaj nawierzchni drogowej wpływa zarówno na hałas toczenia, jak również na pochłanianie hałasu pochodzącego od jednostki napędowej. W metodzie CNOSSOS-EU nawierzchnia drogowa charakteryzowana

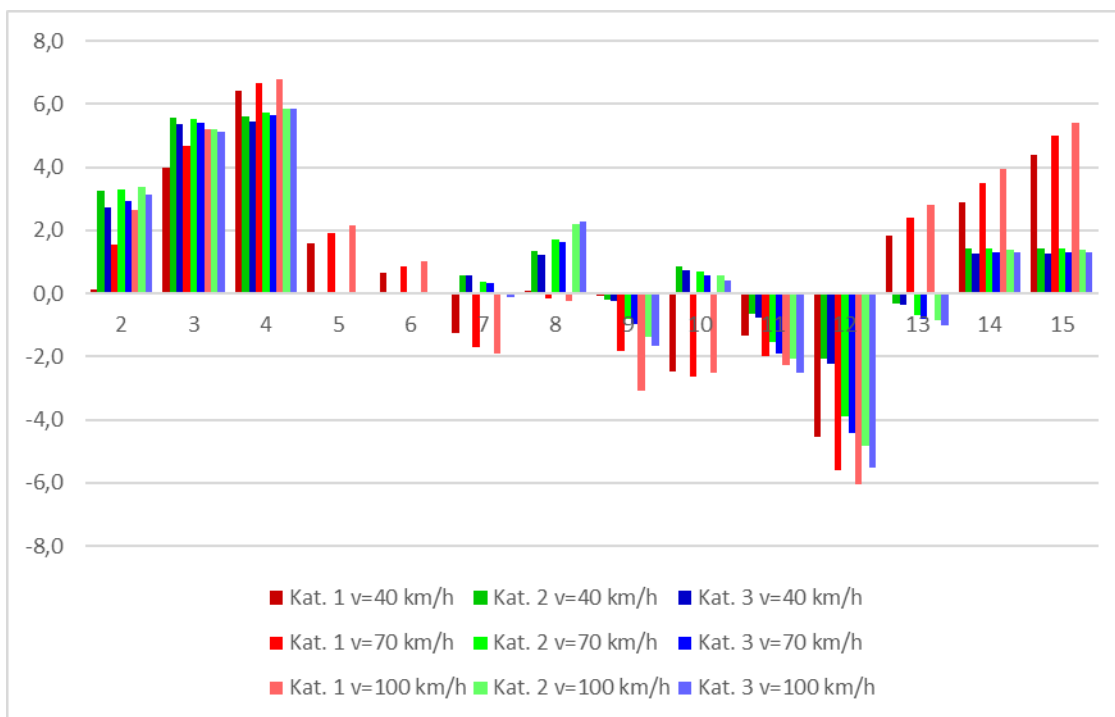
jest współczynnikami  $\alpha$  i  $\beta$ . Każda z nawierzchni posiada zakres prędkości, przy której jest uwzględniany jej wpływ. W poniższych tabelach przedstawiono wpływ błędnego doboru nawierzchni na uzyskany wynik poziomu dźwięku. Błąd przedstawiono dla trzech kategorii pojazdów (kat. 1 - lekkie, kat. 2 - średnie, kat. 3 - ciężkie) i w odniesieniu do trzech prędkości pojazdów (40 km/h, 70 km/h oraz 100 km/h). Błąd określono dla 14 nawierzchni domyślnie zdefiniowanych w metodzie CNOSSOS-EU w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej (nr 1).

Tab. 4-10 Analizowane nawierzchnie drogowe

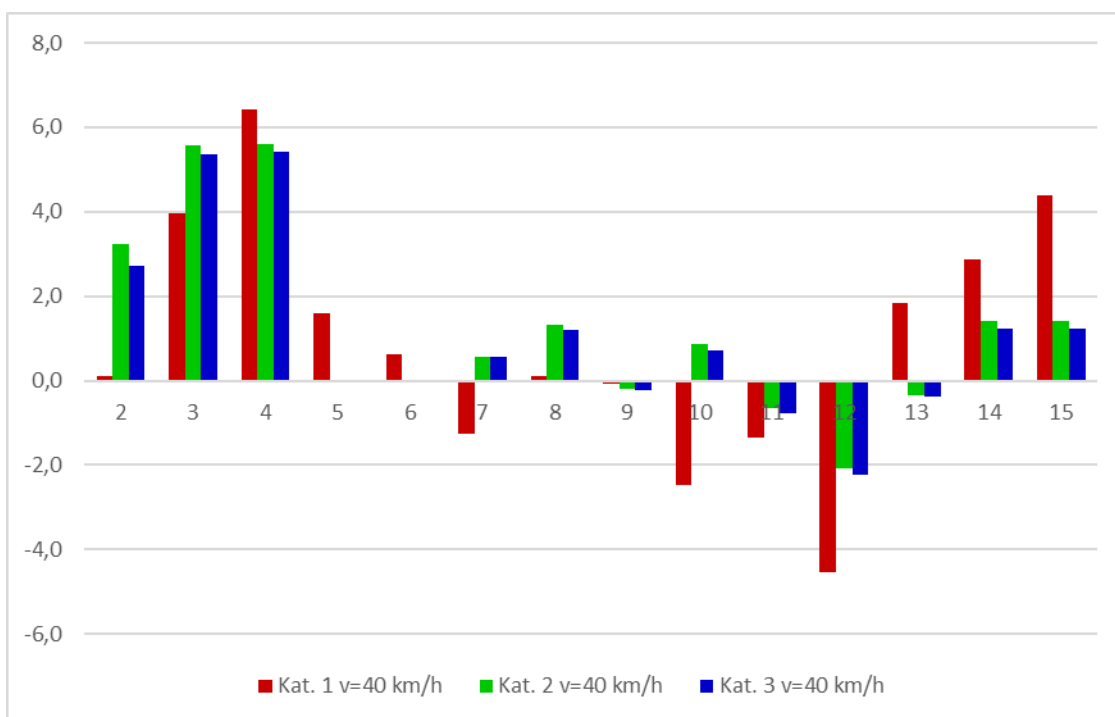
Lp.	Numer nawierzchni	Opis nawierzchni
1.	1	Nawierzchnia referencyjna
2.	2	Asfalt porowaty 1-warstwowy
3.	3	Asfalt porowaty 2-warstwowy
4.	4	Asfalt porowaty 2-warstwowy (miałki)
5.	5	SMA-NL5
6.	6	SMA-NL8
7.	7	Beton szcztokowany
8.	8	Optymalizowany beton szcztokowany
9.	9	Beton drobno-szcztokowany
10.	11	Płyty ułożone w "jodełkę"
11.	12	Płyty ułożone dowolnie
12.	13	Płyty ciche
13.	14	Warstwa cienka A
14.	15	Warstwa cienka B

Tab. 4-11 Błąd oszacowania poziomu dźwięku

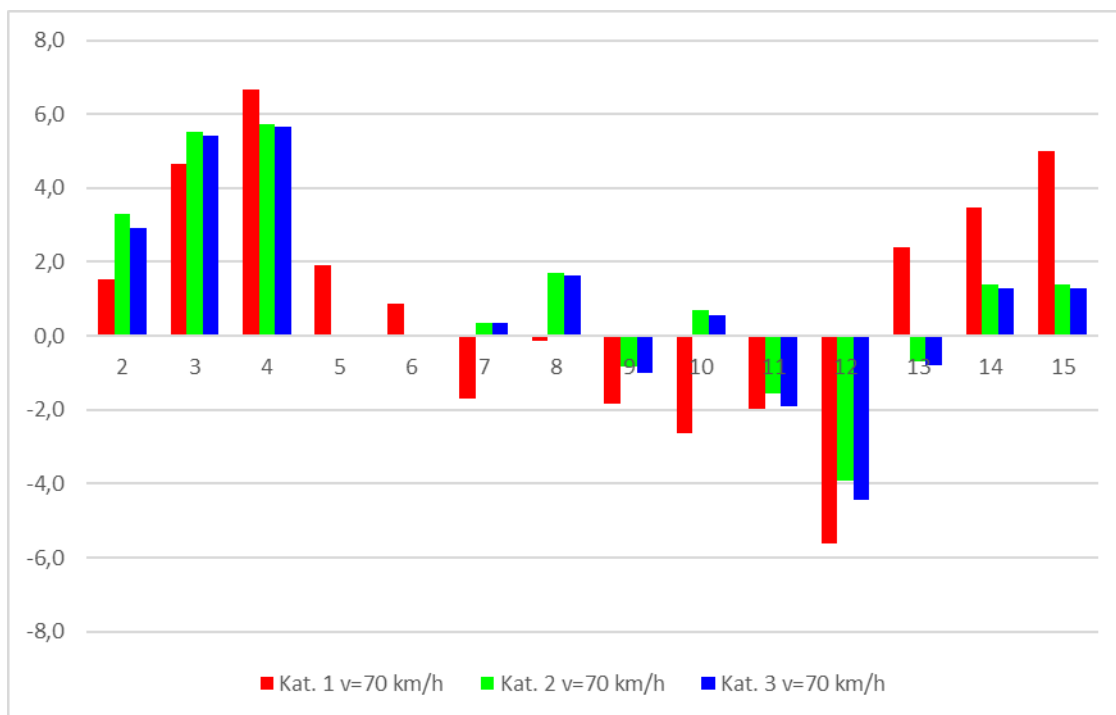
Lp.	Nr nawierzchni	Błąd oszacowania poziomu dźwięku [dBA]								
		v=40 km/h			v=70 km/h			v=100 km/h		
		Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3
1.	2	0,1	3,2	2,7	1,5	3,3	2,9	2,6	3,4	3,1
2.	3	4,0	5,6	5,4	4,7	5,5	5,4	5,2	5,2	5,1
3.	4	6,4	5,6	5,4	6,7	5,7	5,7	6,8	5,8	5,9
4.	5	1,6	0,0	0,0	1,9	0,0	0,0	2,2	0,0	0,0
5.	6	0,6	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
6.	7	-1,2	0,6	0,6	-1,7	0,4	0,3	-1,9	0,0	-0,1
7.	8	0,1	1,3	1,2	-0,1	1,7	1,6	-0,2	2,2	2,3
8.	9	-0,1	-0,2	-0,2	-1,8	-0,8	-1,0	-3,1	-1,4	-1,7
9.	10	-2,5	0,9	0,7	-2,6	0,7	0,6	-2,5	0,6	0,4
10.	11	-1,4	-0,7	-0,8	-2,0	-1,6	-1,9	-2,3	-2,1	-2,5
11.	12	-4,5	-2,1	-2,2	-5,6	-3,9	-4,4	-6,0	-4,8	-5,5
12.	13	1,8	-0,3	-0,4	2,4	-0,7	-0,8	2,8	-0,8	-1,0
13.	14	2,9	1,4	1,2	3,5	1,4	1,3	3,9	1,4	1,3
14.	15	4,4	1,4	1,2	5,0	1,4	1,3	5,4	1,4	1,3



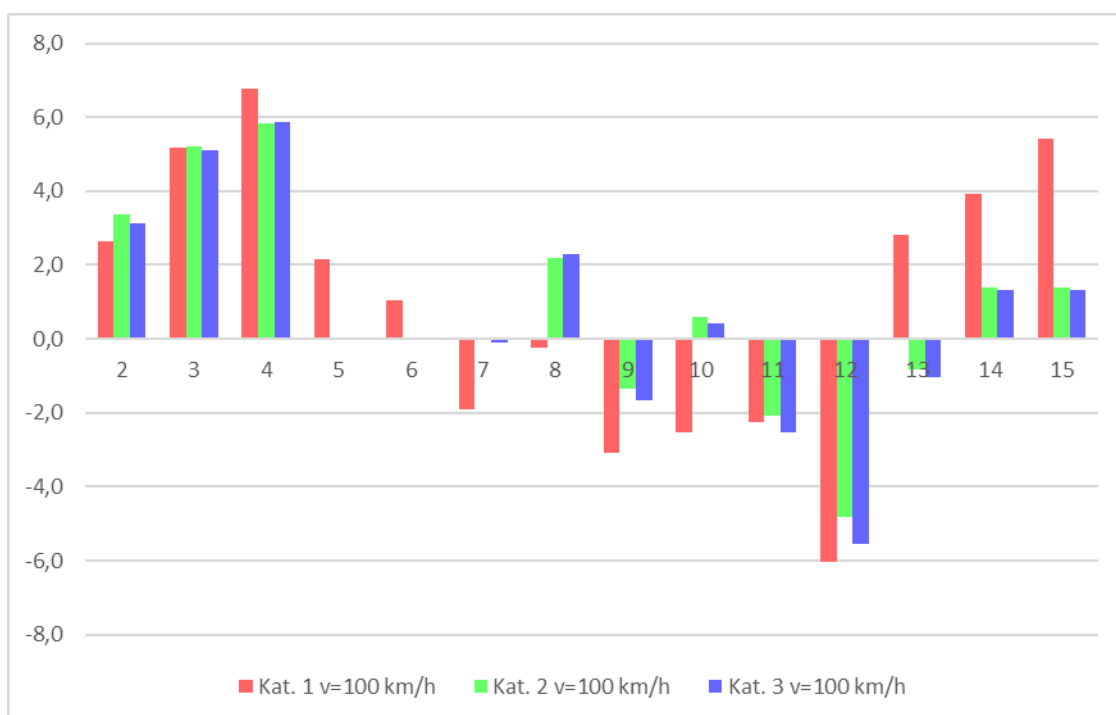
Rys. 4-42 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów oraz prędkości (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej)



Rys. 4-43 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów dla prędkości v=40 km/h (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej)



Rys. 4-44 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów dla prędkości v=70 km/h (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej)



Rys. 4-45 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów dla prędkości v=100 km/h (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej)

**Błąd powodowany przez dobór nieodpowiedniej nawierzchni może osiągnąć  $\pm 6$  dB. W związku z powyższym dobór nawierzchni jest czynnikiem znacząco wpływającym na dokładność modeli obliczeniowych.**

## 4.6 Natężenie ruchu

Natężenie ruchu jest jednym z kluczowych czynników, który wpływa na emisję hałasu transportowego. W celu określenia wielkości strumienia ruchu konieczne jest wykorzystanie dokładnych danych zawierających informacje o wielkości i strukturze ruchu, z podziałem na porę doby oraz dla poszczególnych kategorii pojazdów, wprowadzonych przez metodykę CNOSSOS-EU. Sposoby wyznaczenia natężenia ruchu przedstawiono w kolejnych rozdziałach.

Zgodnie z definicją wskaźników oceny hałasu stosowanych w mapach strategicznych, wartości natężenia ruchu, wprowadzone do programu obliczeniowego powinny odzwierciedlać średnioroczne wartości potoku ruchu na badanej drodze. W tym celu niezbędny jest średnioroczny dobowy ruch roczny (SDRR), który uwzględnia zmiany sezonowe i tygodniowe (dni robocze, dni wolne od pracy). Średni dobowy ruch roczny (SDRR) jest liczbą pojazdów, które przejeżdżają przez obserwowany przekrój drogi w ciągu 24 godzin następujących po sobie, średnio w ciągu roku.<sup>49</sup> Źródłem danych o SDRR są:

- Generalny Pomiar Ruchu (GPR) przeprowadzany, co 5 lat na drogach krajowych (w tym autostradach) i drogach wojewódzkich,
- dane z punktów poboru opłat,
- dane z systemów sterowania ruchem, czy systemów inteligentnego transportu w miastach,
- pomiary natężenia ruchu pojazdów, w tym towarzyszące pomiarom hałasu,
- modele ruchu opracowywane i walidowane pomiarami.

Sposób obliczania SDRR jest zagadnieniem z zakresu inżynierii ruchu. Dlatego przedstawione poniżej opisy metod pomiarowych i obliczeniowych SDRR stanowią przegląd informacji zawartych w metodykach branżowych oraz w bazie wiedzy GDDKiA.

W zależności od stosowanego oprogramowania, natężenie ruchu wprowadza się do modelu akustycznego w postaci średniego jednogodzinnego natężenia ruchu dla danej pory doby lub w postaci natężenia całkowitego dla tej pory doby.

### 4.6.1 Pomiary natężenia ruchu

Pomiary natężenia ruchu bezpośrednio na potrzeby mapy akustycznej wykonuje się, gdy nie ma danych z innych wiarygodnych zasobów (GPR, system sterowania ruchem, model ruchu sieci dróg objętych mapowaniem). Wtedy ważnym elementem jest wybór przekroju pomiarowego i przypisanie go jako reprezentatywny do jednorodnego odcinka drogi. Odcinek drogi „jednorodny pod względem akustycznym” to odcinek bez (istotnych) skrzyżowań, o takiej samej (podobnej) strukturze ruchu i prędkości poruszających się pojazdów, rodzaju i stanie nawierzchni drogi oraz o jednorodnym pochyleniu podłużnym.

<sup>49</sup> Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, 2012

Pomiary natężenia mogą odbywać się przy alternatywnym wykorzystaniu jednej z nw. metod, w zależności od rodzaju drogi i dostępnych środków.

### Pomiar automatyczny

Pomiar automatyczny jest wykonywany przy wykorzystaniu urządzeń, które pozwalają na określenie struktury rodzajowej i kierunkowej bez udziału człowieka. Pomiar ten cechuje się wysoką dokładnością. Obecnie na stałe zainstalowane są liczniki na bramownicach kontrolnych typu PEF systemu poboru opłat viaTOLL, które mogą być wykorzystane na potrzeby pomiaru automatycznego. Dodatkowo, można stosować liczniki, które zostały zatwierdzone na podstawie testów przez Departament Przygotowania Inwestycji Wydział Analiz Ruchu (DPI WAR GDDKiA). Obecnie wykorzystuje się liczniki Sick, które rozmieszczone na bramownicy tworzą kurtynę laserową. Liczba pojazdów jest wyznaczana z podziałem na kategorie, zgodnie z klasyfikacją 8+1 (tabela: Tab. 4-15). Dane można importować z systemu przetwarzania danych w siedzibie GDDKiA.

### Pomiar półautomatyczny

Sumaryczna liczba aut jest zliczana automatycznie przez urządzenie, natomiast struktura oraz kierunkowość strumienia ruchu określana jest w sposób ręczny, poprzez zliczanie z nagrania wideo lub przez obserwatorów w terenie. Na Stacjach Ciągłych Pomiarów Ruchu (SCPR) instalowane jest kilka rodzajów liczników umożliwiających pomiar półautomatyczny. Zasada działania większości wymienionych poniżej liczników opiera się na pętlach indukcyjnych wbudowanych w wierzchnią warstwę nawierzchni drogi:

- Golden River Marksman (licznik GR) – licznik brytyjskiej firmy Golden River, obecnie w użyciu dwie wersje licznika - Marksman 660 i Marksman 680. Dane z liczników można uzyskać bezpośrednio (ręcznie) lub poprzez dostęp zdalny,
- PAT – urządzenie pomiarowe grupy CAT TRAFFIC. Dane z liczników zbierane są zdalnie z wykorzystaniem modemów sieci GSM,
- RPP – urządzenie pomiarowe firmy Verum, obecnie w użyciu trzy wersje licznika – RPP5, RPP3 i RPP2. Licznik służy do rejestrowania pojazdów, ich prędkości chwilowej oraz do klasyfikacji pojazdów zgodnie z klasyfikacją 8+1. Dane pobierane są bezpośrednio z licznika,
- WIM (Weight – In – Motion) – system pomiarowy, który służy do rejestrowania danych o ruchu oraz mierzy nacisk osi i masy całkowitej pojazdów bez konieczności ich zatrzymywania. W porównaniu do poprzednich czujników jego zasada działania nie zawsze opiera się na pętlach indukcyjnych. Dane zbierane są zdalnie i przekazywane na odpowiedni serwer Centrum Zarządzania Ruchem.

### Pomiar metodą wideo rejestracji

W przekroju pomiarowym wykonywany jest zapis wideo, który umożliwi następnie zliczenie pojazdów poprzez odtwarzanie nagrania i wpisywanie do formularza. Metoda ta zapewnia wysoką dokładność, ze względu na możliwość sprawdzenia każdej sylwetki auta i zakwalifikowania do odpowiedniej kategorii, a w przypadku wątpliwości istnieje możliwość wielokrotnej korekty.



Przy pomiarze metodą wideo rejestracji trzeba zapewnić odpowiednią jakość nagrania, tak aby prezentowany ruch pojazdów w przekroju jezdni był możliwy do zidentyfikowania pod względem przypisania do odpowiedniej klasy, niezależnie od pory doby. Ważne jest, żeby kamera umiejscowiona była w miejscu oświetlonym w porze nocy lub miała swoje dodatkowe sztuczne oświetlenie. Przed przystąpieniem do rejestracji należy upewnić się, że kamera rejestruje wszystkie pasy jezdni, w taki sposób, aby możliwe było zliczenie wszystkich pojazdów i zakwalifikowania ich do odpowiedniej kategorii (pojazdy nie mogą pokrywać się na szerokości rejestrowanego przez kamerę przekroju drogi).

#### Pomiar ręczny

Pomiar ręczny wykonywany jest bezpośrednio przez obserwatora, poprzez zaznaczanie w formularzu bezpośredniego każdego przejeżdżającego pojazdu lub używając liczników ręcznych i wpisując do formularzy pomiarowych sumy pojazdów z kolejnych okresów pomiarowych, których długość zależy m.in. od natężenia ruchu.

#### **4.6.2 Natężenie ruchu w miastach**

W praktyce, w mieście dane dotyczące natężenia ruchu pozyskuje się: wykonując pomiary bezpośrednio na potrzeby mapowania, pozyskując dane z Inteligentnego Systemu Transportowego (ITS), bądź na podstawie modelu ruchu.

#### Pomiary

Pomiary wykonuje się jedną z metod opisanych w rozdziale powyżej. **Zaleca się wykonanie pomiarów całodobowych. Możliwe jest wykonanie krótszych pomiarów, ale wtedy istotny jest wybór godzin pomiarów i wymagane jest przeliczenie zmierzonych wartości na ruch dobowy.**

W celu wyznaczenia dobowego natężenia ruchu na podstawie pomiarów krótszych niezbędna jest wiedza o godzinowym rozkładzie natężenia ruchu w dobie, w podziale na kategorie pojazdów zgodne z Dyrektywą 2015/996, dla klasy drogi objętej pomiarem.

W przypadku pomiarów krótszych niż całodobowe zaleca się wykonanie w każdym przekroju co najmniej czterech pomiarów w ciągu doby, w następujących przedziałach czasu:

- dla pory dnia: 06:00 – 9:00, 14:00 – 17:00 (godziny szczytu),
- minimum jedna godzina dla pory wieczoru,
- minimum jedna godzina dla pory nocy, przed północą lub po godz. 04:00.

Informacje odnośnie przeliczania dobowego natężenia ruchu na wartości średniodobowego ruchu rocznego (SDRR) znajdują się w Załączniku V, w rozdziale 5.1.

#### Dane z systemu ITS oraz modele ruchu

Zarówno dane z inteligentnego systemu transportowego ITS oraz dane wyznaczone w oparciu o modele ruchu mogą posłużyć jako dane wejściowe do obliczeń SDRR.

Dane z wcześniej wspomnianych źródeł mogą mieć różny format. Dlatego sposób przetwarzania tych danych na potrzeby opracowania strategicznej mapy hałasu musi zostać opracowany indywidualnie.

Należy jednak wskazać, że dotychczas w miastach nie były przeprowadzane pomiary natężenia ruchu z podziałem na cztery kategorie pojazdów wprowadzone metodyką CNOSSOS-EU. Z tego względu, przejściowo konieczne jest dostosowanie dostępnych danych do wymagań metodyki CNOSSOS-EU. W tym celu można posłużyć się wyznaczonymi we własnym zakresie danymi lokalnymi lub **skorzystać z wartości rekomendowanych w metodykach, na których oparty jest CNOSSOS-EU, tj. w dokumentach Nord 2000<sup>50</sup> oraz Harmonoise,<sup>51</sup> które przedstawiono w poniższych tabelach.**

Tab. 4-12 Typowy rozkład ruchu na kategorie w zależności od klasy drogi wg metodyki Nord 2000

Rodzaj ruchu	Opis	Udział [%]		
		Kat. 1	Kat. 2	Kat. 3
A	Droga szybkiego ruchu 100-130 km/h	85	5	10
B	Droga szybkiego ruchu w mieście	85	5	10
C	Droga główna 80-90 km/h	85	10	5
D	Droga miejska 60-70 km/h	90	5	5
E	Droga miejska 50 km/h lub droga dojazdowa w obszarze zamieszkania	95	5	0
F	Droga osiedlowa 30-40 km/h	100	0	0

Tab. 4-13 Typowy rozkład ruchu na pory doby w zależności od klasy drogi wg metodyki Nord 2000

Rodzaj ruchu	Opis	Udział [%]			Udział [%]			Udział [%]		
		Dzień	Wieczór	Noc	Dzień	Wieczór	Noc	Dzień	Wieczór	Noc
A	Droga szybkiego ruchu 100-130 km/h	80	10	10	75	10	15	70	10	20
B	Droga szybkiego ruchu w mieście	80	10	10	75	10	15	70	10	20
C	Droga główna 80-90 km/h	80	10	10	85	5	10	80	5	15
D	Droga miejska 60-70 km/h	80	10	10	85	5	10	75	10	15
E	Droga miejska 50 km/h lub droga dojazdowa w obszarze zamieszkania	80	10	10	85	5	10	75	10	15
F	Droga osiedlowa 30-40 km/h	80	10	10	85	5	10	75	10	15

<sup>50</sup> User's Guide Nord 2000 Road, Danish Environmental Protection Agency, 2006

<sup>51</sup> Sandberg U., Harmonoise technical report, Work Package 1.1 - Vehicle Categories for Description of Noise Sources, id: HAR11TR-030108-VTI04, 2003

Tab. 4-14 Typowy rozkład procentowych samochodów ciężarowych na kat. 2 i kat. 3 w zależności od klasy drogi, wg metodyki Harmonoise

Rodzaj drogi	Proporcja domyślna, jeśli nie dokonano rozróżnienia		Proporcja domyślna, jeśli dokonano rozróżnienia	
	Kat. 2	Kat. 3	Kat. 2	Kat. 3
Główne drogi o dużym udziale ciężkiego ruchu tranzytowego (np. trasy europejskie)	40%	60%	10%	90%
Drogi miejskie (z wyłączeniem ulic o dużym natężeniu ruchu tranzytowego)	40%	60%	90%	10%
Wszystkie pozostałe drogi (drogi i ulice nie sklasyfikowane do powyższych typów)	40%	60%	40%	60%

GDDKiA realizuje pomiary ruchu w ramach Generalnego Pomiaru Ruchu w cyklu pięcioletnim. Pomiary wykonywane są na istniejącej sieci dróg krajowych z pominięciem odcinków dróg, które są zlokalizowane w miastach na prawach powiatu. Dodatkowo Generalny Pomiar Ruchu wykonywany jest na drogach wojewódzkich, z wyłączeniem odcinków zlokalizowanych w miastach na prawach powiatu, przez właściwych terytorialnie zarządców. W 2020 roku metodyka wykonania pomiarów na drogach wojewódzkich została opracowana przez GDDKiA, co zapewnia porównywalność wyników uzyskanych dla dróg krajowych i wojewódzkich.

#### 4.6.3 Natężenie ruchu na drogach poza miastami (wg metodyk GDDKiA)

Metodyka wykonywania pomiarów na drogach krajowych w ramach GPR 2020 została szczegółowo określona w „Wytycznych organizacji i przeprowadzenia i Generalnego Pomiaru Ruch w 2020 roku na drogach krajowych”. Opracowanie dostępne jest na stronie GDDKiA, pod adresem: <https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/pl/3959/GPR-2020>.

Metodyka wykonywania pomiarów na drogach wojewódzkich w ramach GPR 2020 została szczegółowo określona w „Wytycznych organizacji i przeprowadzenia i Generalnego Pomiaru Ruch w 2020 roku na drogach wojewódzkich”. Opracowanie dostępne jest na stronie GDDKiA, pod adresem [https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/frontend/web/userfiles/articles/g/generalny-pomiar-ruchu-w-roku-20\\_32755/Wytyczne\\_GPR\\_2020\\_%20drogi\\_wojewodzkie.pdf](https://www.archiwum.gddkia.gov.pl/frontend/web/userfiles/articles/g/generalny-pomiar-ruchu-w-roku-20_32755/Wytyczne_GPR_2020_%20drogi_wojewodzkie.pdf).

Więcej szczegółów nt. tych wytycznych podano w rozdz. 5.2 Załącznika V.

**Podział na kategorie pojazdów stosowany w GPR 2020 przedstawiono w tabeli poniżej. Podział ten nie jest zgodny z wymaganiami CNOSSOS-EU. Dlatego w tabeli tej pokazano również przyporządkowanie kategorii CNOSSOS-EU. Przypisanie nie jest jednoznaczne, dlatego potrzebne są dane z pomiarów dodatkowych, a jeśli one również nie wystarczą lub są niedostępne (pomiarów dodatkowych nie prowadzi się na drogach wojewódzkich) wtedy rekomenduje się stosowanie typowych udziałów w potoku ruchu, wg metod Nord 2000 i Harmonoise, przedstawionych w tabelach powyżej, w rozdz. 4.6.2. Podobny sposób przypisania przyjęto w innych krajach.**<sup>52, 53, 54</sup>

<sup>52</sup> Pallas M.A. i in., *Experimental confrontation of medium-heavy vehicle noise emission to the CNOSSOS-EU prediction method*, Euronoise 2018, Crete

<sup>53</sup> Pallas M.A. i in., *Determination of a noise emission model for French medium-heavy vehicles*, Inter Noise 2019, Madrid

<sup>54</sup> Leon G. i in., *Implementation of CNOSSOS-EU method for road noise in Italy*, ICA 2019, Aachen

Tab. 4-15 Podział pojazdów na kategorie wg GPR 2020– drogi krajowe

Pomiar	Kategorie pojazdów wg GPR	CNOSSOS-EU
Pomiar podstawowy	a - rowery	-
	b – motocykle, motorowery (skutery), quady	4 a i 4 b
	c – samochody osobowe (do 9 miejsc z kierowcą), mikrobusy (w GPH 2020 do mikrobusów zalicza się pojazdy silnikowe przystosowane do przewozu osób, posiadające do 24 miejsc łącznie z kierowcą), pickupy i samochody kempingowe, z przyczepą lub bez	1
	d – lekkie samochody ciężarowe (dostawcze) o dopuszczalnej masie całkowitej 3,5 t, z przyczepą lub bez	1
	e - samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 t bez przyczep, samochody specjalne, ciągniki siodłowe bez naczep	2 i 3
	f - samochody ciężarowe o dopuszczalnej masie całkowitej powyżej 3,5 t z jedną lub więcej przyczep, ciągniki siodłowe z naczepami, ciągniki balastowe z przyczepami standardowymi lub niskopodwoziowymi	2 i 3
	g - autobusy, trolejbusy	2 i 3
	h - ciągniki rolnicze z przyczepami lub bez, maszyny samobieżne (np. walce drogowe, koparki itp.)	3
Pomiar dodatkowy	samochody ciężarowe sztywne 2–osiowe bez przyczep	2
	samochody ciężarowe sztywne 3–osiowe i 4–osiowe bez przyczep	3
	ciągniki siodłowe z naczepami 1–osiowymi i 2–osiowymi	3
	ciągniki siodłowe z naczepami 3–osiowymi	3
	samochody ciężarowe sztywne z przyczepami	3
	inne nietypowe samochody ciężarowe	3
	samochody elektryczne, hybrydowe i inne o napędzie alternatywnym (o ile będą możliwe do zidentyfikowania np. planowane do wprowadzenia nalepki identyfikacyjne lub specjalne tablice rejestracyjne)	1
	samochody ciężarowe przewożące kontenery,	3
	autocysterny	3
	mikrobusy posiadające od 9 do 24 miejsc z kierowcą	2
	autobusy i autokary 2-osiowe	2
autobusy i autokary posiadające 3 lub więcej osi	3	

#### 4.6.4 Wyznaczanie średniego dobowego ruchu rocznego

##### Drogi krajowe i drogi wojewódzkie

Generalnie Pomiary Ruchu (GPR) służą m.in. określeniu wartości SDRR. Dane rejestrowane podczas tych pomiarów są najbardziej zbliżone do rzeczywistej sytuacji, dlatego gdy jest to tylko możliwe należy wykorzystywać je do strategicznych map hałasu.

Informacje o sposobie wyznaczania współczynników SDRR można znaleźć w aktualnej wersji dokumentu *“Metoda przeprowadzenia generalnego pomiaru ruchu”*<sup>55</sup> opracowanego przez GDDKiA.

Jeśli nie można skorzystać z GPR, wtedy metodyka wyznaczania SDRR na drogach pozamiejskich jest oparta na instrukcji *“Metody szacowania Średniego Dobowego Ruchu”*

<sup>55</sup> Kaplar I., Maśkiewicz J., *Wytyczne część 1. Metody przeprowadzenia generalnego pomiaru ruchu w 2020 roku*, GDDKiA, Warszawa, 2019

Rocznego (SDRR) na podstawie pomiarów krótkotrwałych – 24 godzinnych”<sup>56</sup> opracowanej również przez GDKKiA. Zgodnie z tym dokumentem, metody mogą być stosowane wyłącznie dla odcinków (przekrojów pomiarowych) dróg krajowych zlokalizowanych poza miastami o liczbie mieszkańców powyżej 40 tys. i polegają na oszacowaniu SDRR proporcjonalnie do zmian jakie zachodzą w rozkładach ruchu drogowego (tygodniowych, miesięcznych) zarejestrowanych przez Stacje Ciągłych Pomiarów Ruchu (SCPR).

Wyróżnione zostały 2 metody szacowania wielkości SDRR zależne od możliwości przyporządkowania wyników pomiaru do stanowisk pomiarowych.

### Metoda I (zalecana)

Metodę można stosować, gdy do danego przekroju pomiarowego można bezpośrednio przypisać stację SCPR, o podobnych rozkładach ruchu.

Dane o natężeniu z danej stacji SCPR uzyskać należy pobierając najnowszy dostępny raport o ruchu na danym stanowisku, znajdujący się na stronie GDDKiA w sekcji: „Raporty dla poszczególnych stanowisk” w zakładce: Serwis GDDKiA -> Drogi i Mosty -> Pomiary, prognozy i analizy ruchu -> Stacje Ciągłych Pomiarów Ruchu

Z danych tabelarycznych należy wyznaczyć odpowiednie współczynniki tygodniowych i sezonowych wahań ruchu dobowego i korzystając z poniższych zależności wyznaczyć SDRR:

$$SDR \text{ w miesiącu} = \frac{\text{Ruch zmierzony}}{\text{współczynnik tygodniowych wahań ruchu dobowego}} \quad \text{Równanie 4-5}$$

$$SDRR = \frac{SDR \text{ w miesiącu}}{\text{współczynnik sezonowych wahań ruchu dobowego}} \quad \text{Równanie 4-6}$$

### Metoda II

Metodę stosuje się, gdy nie ma możliwości przypisania do przekroju pomiarowego stanowiska SCPR zgodnie z warunkami opisanymi w metodzie I (stanowisko SCPR nie może być uznane za referencyjne dla danego przekroju pomiarowego). Jest to mniej dokładna metoda szacowania, która wykorzystuje uśrednione wskaźniki tygodniowych i sezonowych wahań ruchu dla wszystkich dróg krajowych. Uwzględniony jest charakter gospodarczy oraz turystyczno-rekreacyjny charakter ruchu. Wartości SDRR wyznaczane są z tych samych zależności co w metodzie I.

Aby zminimalizować błąd oszacowania, pomiary natężenia ruchu najlepiej wykonać w dni robocze, w okresie od 1 kwietnia do 15 czerwca lub od 10 września do 31 października, poza tygodniami, w których występują święta.

### Przykład obliczeniowy

<sup>56</sup> Wydział Sieci Drogowej i Analiz Ruchu Departamentu Studiów GDDKiA, *Metody szacowania Średniego Dobowego Ruchu Rocznego (SDRR) na podstawie pomiarów krótkotrwałych – 24 godzinnych*, GDDKiA, 2017

Metoda I nie różni się od metody II w aspekcie obliczeń (wykorzystywane są te same wzory), dlatego poniżej zaprezentowano przykład obliczeń dla metody II.

Informacje, które stanowią podstawę do wyznaczenia SDRR - pomiary wykonane zostały w październiku, we środę, charakter ruchu na drodze określono jako gospodarczy, a zmierzone natężenie ruchu wynosi 4 521 poj./dobę.

W pierwszej kolejności należy wyznaczyć SDR w miesiącu. W tym celu należy z tabeli odnoszącej się do tygodniowych wahań ruchu dobowego określić właściwy współczynnik. Poniżej zaprezentowano przykładowe zestawienie zawierające współczynniki tygodniowych wahań ruchu dobowego.

Tab. 4-16 Współczynniki tygodniowych wahań ruchu dobowego wg GDDKiA

Charakter ruchu na odcinku drogi	miesiące	dni tygodnia						
		poniedziałek	wtorek	środa	czwartek	piątek	sobota	niedziela
gospodarczy	wszystkie	1,04	1,02	<b>1,03</b>	1,05	1,14	0,88	0,84
turystyczno-rekreacyjny	czerwiec, lipiec, sierpień, wrzesień	0,97	0,88	0,91	0,94	1,11	1,08	1,11
	pozostałe	0,98	0,99	1,00	1,03	1,17	0,91	0,93

Na podstawie powyższych danych oraz z równania (Równanie 4-5) można wyznaczyć SDR w miesiącu wykonywania pomiaru:

$$SDR \text{ w miesiącu} = \frac{4\,521 \text{ [poj./dobę]}}{1,03} = 4\,389 \text{ [poj./dobę]}$$

Następnie, na podstawie zestawienia zawierającego sezonowe wahania ruchu dobowego należy określić wartość współczynnika odpowiedniego dla miesiąca października, co można zrobić wg danych z tabeli poniżej.

Tab. 4-17 Współczynniki sezonowych wahań ruchu dobowego wg GDDKiA

charakter ruchu na odcinku drogi	miesiące											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
gospodarczy	0,83	0,89	0,94	0,98	1,02	1,05	1,11	1,122	1,06	<b>1,04</b>	0,99	0,96
turystyczno-rekreacyjny	0,77	0,84	0,83	0,90	0,96	1,12	1,46	1,46	1,03	0,93	0,85	0,85

Na podstawie powyższych danych i równania (Równanie 4-6) otrzymuje się wartość SDRR:

$$SDRR = \frac{4\,389 \text{ [poj./dobę]}}{1,04} = 4\,220 \text{ [poj./dobę]}$$

## Drogi powiatowe i gminne

W celu określenia wskaźnika SDRR na drogach powiatowych i gminnych zalecane jest wykonanie pomiarów w odpowiednim okresie roku i tygodnia, zgodnie z zaleceniami GDDKiA w dokumencie „Zasady prowadzenia pomiarów ruchu i określania wielkości SDRR na drogach

powiatowych i gminnych”<sup>57</sup>. Całodobowe pomiary ruchu należy przeprowadzać we wtorki, środy lub czwartki, w okresie od 1 kwietnia do 15 czerwca lub od 10 września do 31 października (z wyjątkiem dni świątecznych i przedłużonych weekendów oraz tygodni, w których występują święta). Pomiar powinien być rozpoczęty o godzinie 6<sup>00</sup> (rano) we wtorek, środę lub czwartek i zakończony o godzinie 6<sup>00</sup> (rano) w dniu następnym. Wyniki pomiarów wykonanych w tych okresach przyjmuje się jako wartości SDRR bez uwzględniania współczynników rozszerzenia.

Błąd oszacowania wielkości SDRR ze względu na ustaleniu go jako bezpośredni wynik pomiarów całodobowych mieści się w granicach 5-15%. Jednak trzeba mieć na uwadze fakt, że podczas jednodniowego pomiaru możliwe jest uwzględnienie sytuacji nietypowej. Zwiększenie liczby dób pomiarowych zawsze zwiększa dokładność, ale jest związane z kosztami. Przy przeprowadzaniu pomiarów dwudniowych, wielkość SDRR należy wyznaczyć jako średnią arytmetyczną wartości SDRR z każdego dnia pomiarowego. Przy pomiarach dwudniowych zaleca się, aby pomiary nie były wykonywane bezpośrednio jeden po drugim lub w odstępie tygodnia, ale w tym samym dniu tygodnia.

Niepewność oszacowania natężenia ruchu SDRR przekłada się bezpośrednio na niepewność obliczonego poziomu hałasu. Zagadnienie to zostało omówione w rozdziale 4.7.

#### 4.7 Kontrola dokładności danych wejściowych

Metoda CNOSSOS-EU wymaga odpowiedniej dokładności danych wejściowych. Jest ona ustalona na poziomie niepewności rozszerzonej  $\pm 2$  dB(A), przy standardowym poziomie ufności 95% i współczynniku rozszerzenia  $k = 2$ . Niepewność ta dotyczy pojedynczego parametru charakteryzującego poziom emisji hałasu ze źródła, przy założeniu, że wszystkie pozostałe parametry pozostają niezmiennicze. Zagadnienie to dotyczy wszystkich źródeł hałasu i w taki sam sposób jak tu pokazano na przykładzie hałasu drogowego.

Nie ma standardowej metody szacowania niepewności obliczeń poziomu hałasu w środowisku. Zwykle podstawą są wytyczne ogólne przewodnika GUM,<sup>58</sup> które formalnie dotyczą metod pomiarowych. Nieobligatoryjne wytyczne dla metod obliczeniowych są zawarte w normie ISO 1996-2:2017(E)<sup>59</sup> i są one w tej postaci stosowane m.in. w metodzie Nord 2000.<sup>50</sup>

<sup>57</sup> Kaplar I., Maśkiewicz J., *Zasady prowadzenia pomiarów ruchu i określania wielkości SDRR na drogach powiatowych i gminnych*, GDDKiA, Warszawa, 2018

<sup>58</sup> ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM:1995); wydanie polskie: *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik*, Główny Urząd Miar, 1999

<sup>59</sup> ISO 1996-2:2017(E) *Acoustics. Description and measurements of environmental noise. Part 2: Determination of sound pressure levels*

Jeżeli długookresowy poziom dźwięku,  $L$ , jest zmienną zależną od danych (zmiennych) wejściowych,  $X_i$  (np. od prędkości, natężenia ruchu, gradientu drogi, itd.), to całkowita niepewność standardowa obliczenia jego poziomu wynosi: <sup>58</sup>

$$u_L = \sqrt{\sum_i (c_i \cdot u_{xi})^2} \quad \text{Równanie 4-7}$$

gdzie  $c_i$  są współczynnikami wrażliwości poziomu wypadkowego na wpływ danej zmiennej zależnej, a  $u_{xi}$  są niepewnościami standardowymi zmiennych niezależnych, wyrażonymi (w praktyce) w postaci odchylenia (błędu) standardowego. Niepewność rozszerzona,  $U_L$ , zgodnie z założeniami określonymi w pierwszym akapicie, otrzymujemy przez pomnożenie powyższego równania przez współczynnik rozszerzenia o wartości  $k = 2$ :

$$U_L = k \cdot u_L = 2 \cdot \sqrt{\sum_i (c_i \cdot u_{xi})^2} \quad \text{Równanie 4-8}$$

Metoda CNOSSOS-EU odnosi wymaganie dotyczące dokładności (rozdział 2.1.2 załącznika II do Dyrektywy 2015/996) do pojedynczej zmiennej niezależnej, stąd niepewność rozszerzona obliczenia poziomu  $L$  ze względu na niepewność jednej zmiennej upraszcza się do postaci:

$$U_{L,i} = 2 \cdot (c_i \cdot u_{xi}) \quad \text{Równanie 4-9}$$

Współczynniki  $c_i$  oblicza się jako pochodną cząstkową zmiennej zależnej w kierunku danej zmiennej niezależnej. <sup>58</sup> W metodzie CNOSSOS-EU większość danych wejściowych,  $X$ , związana jest z wynikowym poziomem hałasu,  $L$ , zależnością logarymiczną, którą można zapisać w ogólnej postaci:

$$L \sim a \cdot \log(X) \quad \text{Równanie 4-10}$$

Wtedy współczynnik wrażliwości poziomu wypadkowego na wpływ danej zmiennej zależnej wynosi:

$$c_i = \frac{\partial L}{\partial x} = \frac{a \cdot \log(e)}{x} \quad \text{Równanie 4-11}$$

### Przykład obliczeniowy

Na przykładzie dwóch parametrów emisji, średniej prędkości ruchu oraz natężenia ruchu, z zależności opisujących poziom mocy akustycznej źródła drogowego w funkcji tych zmiennych wiadomo, że: <sup>1, 59</sup>

- dla prędkości pojazdów,  $v$ , dla kategorii 1 (pojazdy lekkie):  $a = 30$ ,

$$L \sim 30 \cdot \log(v) \quad \text{Równanie 4-12}$$

- dla natężenia ruchu,  $Q$ :  $a = 10$ ,

$$L \sim 10 \cdot \log(Q) \quad \text{Równanie 4-13}$$

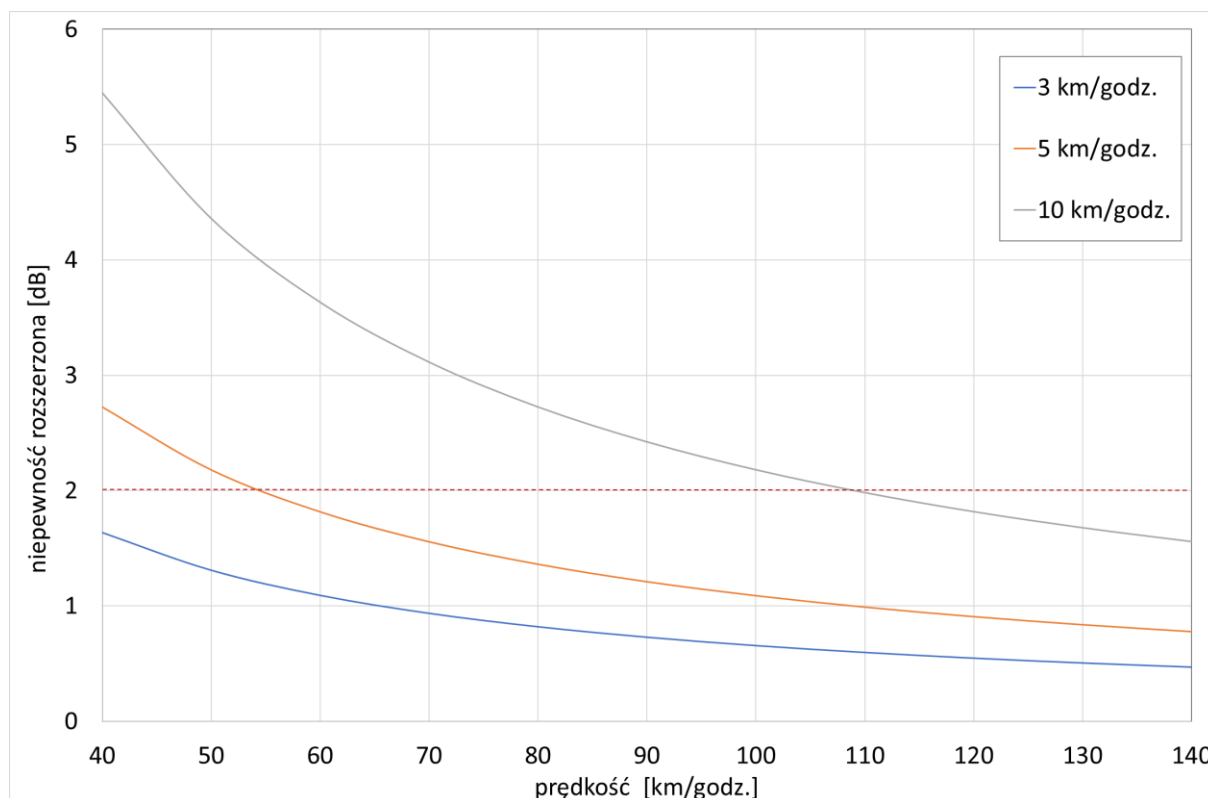
Z powyższego wynika, że współczynniki wrażliwości wynoszą, odpowiednio dla prędkości i natężenia ruchu:



$$c_v = \frac{\partial L}{\partial v} = \frac{10,9}{v} \quad \text{Równanie 4-14}$$

$$c_Q = \frac{\partial L}{\partial Q} = \frac{4,3}{Q} \quad \text{Równanie 4-15}$$

W metodzie Nord 2000 zakłada się, że błąd standardowy analizowanych tu danych wejściowych wynosi: <sup>50</sup> 3 km/godz. dla prędkości oraz 10 % dla natężenia ruchu, czyli  $0,1 \cdot Q$ . Dla tych (i innych) odchyłeń standardowych na rysunkach poniżej pokazano wpływ tych odchyłeń na niepewność rozszerzoną obliczenia poziomu  $L$ , która nie może przekroczyć 2 dB.

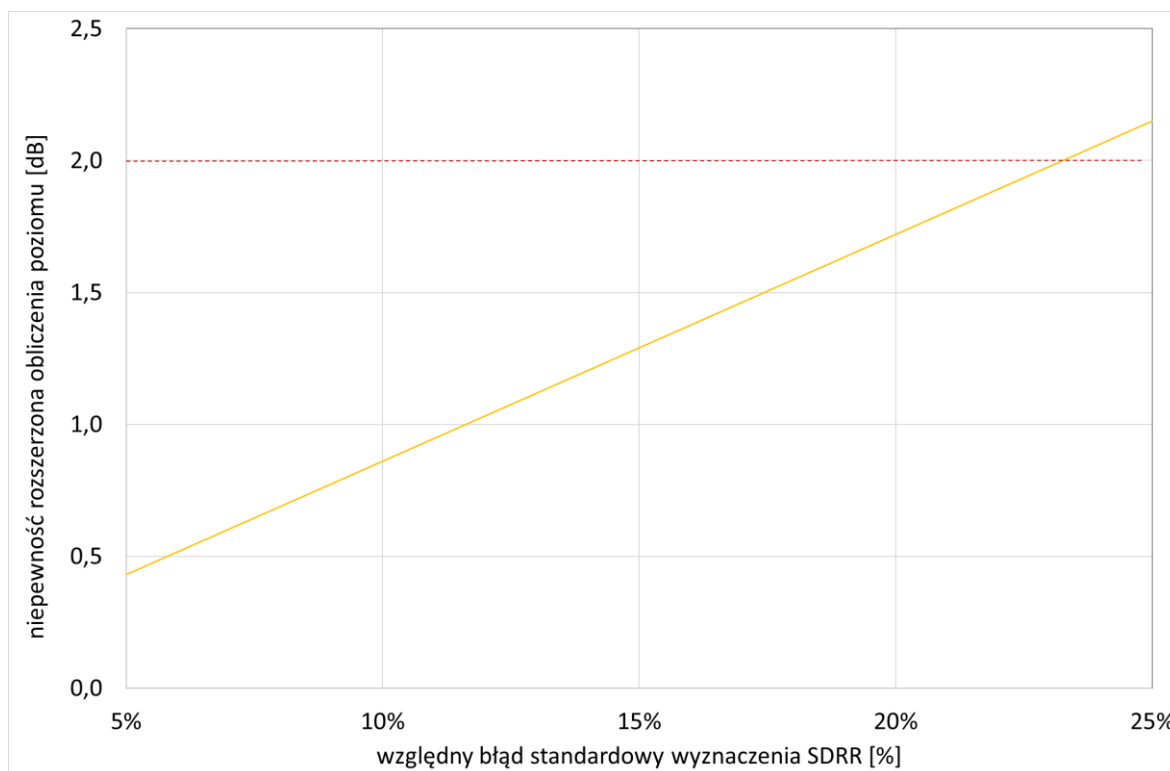


Rys. 4-46 Wpływ niepewności standardowej wyznaczenia średniej prędkości ruchu pojazdów kategorii 1 na niepewność rozszerzoną obliczenia długookresowego poziomu dźwięku

Z Rys. 4-46 wynika, że dla błędu standardowego wyznaczenia średniej prędkości strumienia pojazdów lekkich rzędu 3 km/godz. wymagana dokładność będzie zachowana, w całym analizowanym zakresie rzeczywistych prędkości ruchu. Przy błędzie 5 km/godz. wymagana dokładność będzie zapewniona dla średniej rzeczywistej prędkości ruchu powyżej ok. 60 km/godz., a błąd wyznaczenia średniej prędkości na poziomie 10 km/godz. jest dopuszczalny tylko dla prędkości autostradowych, powyżej 110 km/godz. Na tej podstawie należy stwierdzić, że **błąd standardowy wyznaczenia średniej prędkości pojazdów nie może przekraczać 5 km/godz., a wartość rekomendowana to 3 km/godz.**

Dla natężenia ruchu błąd jest wyrażony względnie jako procent całkowitego natężenia ruchu,  $p$ , czyli  $u_Q = p \cdot Q$ . Stąd otrzymujemy, że niepewność rozszerzona związana z tym parametrem wynosi:  $2 \cdot (c_Q \cdot u_Q) = 2 \cdot 4,3 \cdot p$ . Z Rys. 4-47, na którym analizowano wpływ błędu standardowego w przedziale  $p = 5\% - 25\%$  wynika, że **obliczanie długookresowego poziomu**

**dźwięku jest relatywnie mało wrażliwe na błąd standardowy wyznaczenia SDRR.** Dopuszczalna dokładność będzie zachowana nawet przy ok. 20 % błędzie wyznaczenia natężenia ruchu SDRR. Tym niemniej, **rekomenduje się błąd wyznaczenia natężenia ruchu nie większy niż 10 %**, co przekłada się na niepewność obliczenia poziomu dźwięku poniżej 1 dB.



Rys. 4-47 Wpływ niepewności standardowej wyznaczenia średniego dobowego natężenia ruchu pojazdów na niepewność rozszerzoną obliczenia długookresowego poziomu dźwięku

## 5 HAŁAS SZYNOWY

W rozdziale zawarto podstawową charakterystykę metodyki obliczeniowej CNOSSOS-EU w zakresie niezbędnym do przeprowadzenia obliczeń hałasu szynowego, z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania, przy realizacji strategicznych map hałasu.

Podano zakres danych niezbędnych do opracowania poprawnego modelu obliczeniowego hałasu kolejowego i źródła, z których mogą one zostać pozyskane, względnie opracowane we własnym zakresie w oparciu o zasoby i informacje dostępne w Internecie.

Dokonano wyczerpującej identyfikacji pojazdów szynowych wykorzystywanych na terenie Polski wraz z przypisaniem kodów klasyfikacyjnych – deskryptorów, zgodnie z tabelą 2.3.a Dyrektywy 2015/996.

Kluczowym elementem opracowania jest powiązanie istniejącego taboru i infrastruktury kolejowej występującej w Polsce z bazą danych, w jaką wyposażona została metodyka obliczeniowa, która dostępna jest w programach obliczeniowych służących do realizacji strategicznych map akustycznych.

Podano także wielkość błędów, jakie mogą być generowane zarówno w wyniku błędnego przyjęcia parametrów pojazdów/składów kolejowych oraz jako efekt niedoskonałości samej metody obliczeniowej.

W wielu miejscach metody obliczeniowej CNOSSOS-EU zastrzeżono konieczność indywidualnego podejścia do określania emisji hałasu w szczególnych miejscach, takich jak mosty (w szczególności mosty stalowe), skrzyżowania torów itp. Badania przeprowadzone w ramach realizacji niniejszego katalogu potwierdziły możliwość występowania dużych rozbieżności pomiędzy wynikami obliczeń, a rzeczywistym poziomem hałasu w szczególnych przypadkach. Przypadki te zostały zidentyfikowane, a w podsumowaniu podano dodatkowe wytyczne odnośnie postępowania w takich sytuacjach.

### 5.1 Ogólna charakterystyka metody obliczeniowej CNOSSOS-EU w zakresie hałasu kolejowego

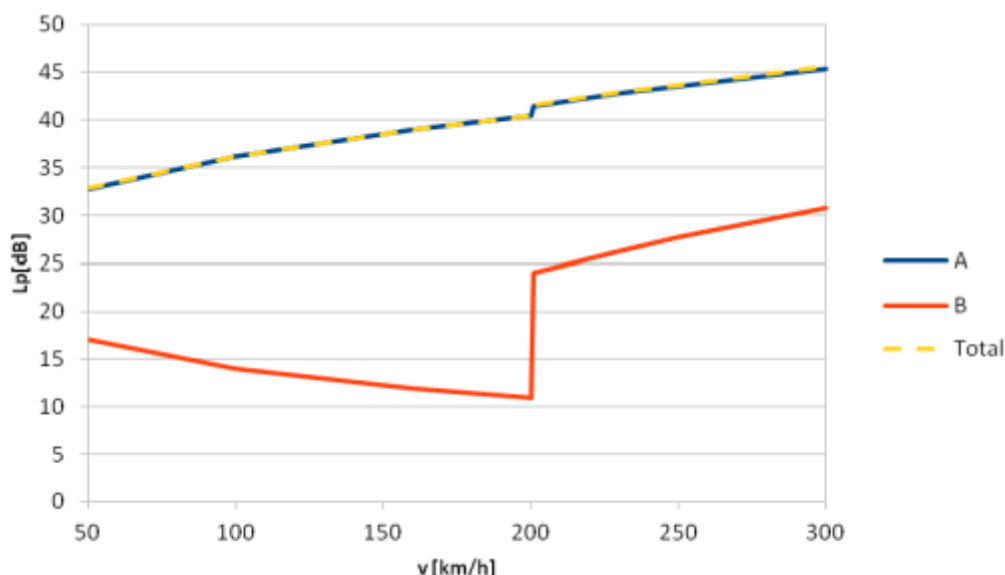
Metodyka CNOSSOS w zakresie hałasu kolejowego wprowadza stosunkowo nowe, elastyczne podejście do konfigurowania składów poruszających się po linii kolejowej. Podstawową jednostką charakteryzującą się określonymi wartościami podstawowych parametrów decydujących o emisji hałasu jest **pojazd** szynowy. Przez pojazd szynowy rozumie się część pociągu (np. lokomotywę, wagon, wagon z napędem, wagon ciągniony, wagon towarowy, zespół trakcyjny) która może być odłączna i przemieszczana niezależnie od całego składu. **Pociąg** składa się zatem z zespołu pojazdów. Sposób oznaczania poszczególnych pojazdów szynowych za pomocą deskryptorów omówiony został w rozdziale 5.3 – Tabor szynowy.

Kolejnym elementem modelu są **torowiska**, których charakterystyka stanowi drugi kluczowy element decydujący o poziomie emisji hałasu do środowiska. Rodzaje torowisk i parametry je charakteryzujące omówiono szczegółowo w rozdziale 5.4.1 – Torowiska. Podobnie jak

w przypadku pojazdów szynowych, każda konfiguracja torowiska opisywana jest przez deskryptor konstruowany w oparciu o tabelę 2.3.b Dyrektywy.

Tabor kolejowy oraz torowisko są źródłem danych wejściowych do określenia kierunkowej, jednostkowej mocy akustycznej dwóch zastępczych, liniowych źródeł hałasu (Równanie 3-12) określonych w Dyrektywie jako A i B. Źródło A znajduje się na wysokości 0,5 m ponad główkę szyny, a jego moc akustyczna uzależniona jest w głównej mierze od zjawisk akustycznych występujących na styku koło – szyna – podtorze, w związku z chropowatością kół i szyn. Moc akustyczna źródła A uzależniona może być także od takich elementów pociągu jak trakcja, przekładnie i silniki elektryczne. Hałas aerodynamiczny również może być generowany na niskich wysokościach i wtedy jest to uwzględnione w mocy akustycznej źródła A. Na wybranych odcinkach moc akustyczna źródła A jest powiększana także przez hałas uderzeniowy w przypadku połączeń łubkowych, rozjazdów czy skrzyżowań torów, piski na odcinkach łuków oraz dodatkowy hałas powodowany obecnością mostów (w szczególności mostów o konstrukcji stalowej). Źródło zastępcze B lokalizowane na wysokości 4 m nad główką szyny odzwierciedla oddziaływania związane głównie z hałasem aerodynamicznym w przypadku szybkich pociągów, ale także z hałasem generowanym przez pantograf i - często - wyposażenie członu napędowego.

Udział zastępczych źródeł hałasu A i B w wypadkowym poziomie hałasu dla pociągów pasażerskich pokazano na Rys. 5-1. Udział źródła B w całym zakresie prędkości jest niemalże pomijalny, co wskazuje, że aspekty związane z hałasem aerodynamicznym mogą być pominięte przy tworzeniu strategicznych map hałasu, także z uwagi na rzeczywiste prędkości pociągów, które aktualnie w Polsce nie przekraczają 200 km/godz.



Rys. 5-1 Udział źródeł A i B w wypadkowym (total) poziomie hałasu dla pociągów pasażerskich w zależności od prędkości<sup>60</sup>

<sup>60</sup> Kirisits Ch. i in., *Variations and uncertainties calculating noise indices using the new annex II methods of the European noise directive*, InterNoise 2015, San Francisco

Opisane powyżej zależności występujące w metodzie obliczeniowej stwarzają konieczność posiadania odpowiedniego rodzaju danych, których zakres niezbędny do wykonania obliczeń został przedstawiony w kolejnym rozdziale.

## 5.2 Dane wejściowe niezbędne do wykonania strategicznej mapy hałasu kolejowego

Poza danymi charakteryzującymi otoczenie linii kolejowej, wykorzystywanymi przy opracowaniu wszystkich innych map tematycznych (np. model terenu, model zabudowy, itd.) do opracowania mapy akustycznej w zakresie hałasu szynowego konieczne jest pozyskanie następujących rodzajów danych:

- rodzaje i natężenie ruchu pojazdów szynowych w układzie średniorocznym odrębnie w okresie dnia wieczoru i nocy,
- charakterystyka linii kolejowych (w szczególności informacje charakteryzujące samo torowisko, mające kluczowe znaczenie dla jakości obliczeń).

Znaczna ilość danych może zostać pozyskana z publicznie dostępnych baz danych oraz serwisów mapowych<sup>61</sup>, niemniej jednak kluczowe dane do opracowania map powinny zostać pozyskane u zarządzających infrastrukturą kolejową. W przypadku wielu linii kolejowych nawet dobowe badanie ruchu nie jest na tyle reprezentatywne, aby pozwoliło oszacować średnie roczne natężenia ruchu kolejowego. Ze względu na naturę tego środka transportu, nie ma też metod statystycznych, które pozwalałyby na opracowanie takich szacunków. Stąd też dane te powinny pochodzić z oficjalnych źródeł, tym bardziej że wyniki mapowania stanowiąc będą podstawę do opracowania programów ochrony środowiska przed hałasem. Te w dalszej kolejności przełożą się na wymierne koszty dla zarządzających liniami kolejowymi.

Metodyka obliczeniowa CNOSSOS-EU w zakresie obliczeń hałasu kolejowego wymaga dysponowania danymi, które zostały zestawione w poniższych tabelach (patrz: Tab. 5-1- Tab. 5-4). Są to dane wystarczające pod warunkiem, że oprogramowanie dysponuje bazą danych pojazdów szynowych, charakterystyczną dla kolei krajowych. W czasie opracowania niniejszego katalogu, żaden z programów powszechnie dostępnych na rynku nie posiadał bazy danych charakteryzujących właściwości pojazdów szynowych, które pozwoliłyby na przeprowadzenie obliczeń. Z tego też względu w ramach prac nad niniejszym katalogiem przeprowadzono badania, które umożliwiły przyporządkowanie poszczególnych rodzajów pojazdów szynowych do kategorii dostępnych we wszystkich pakietach oprogramowania.

<sup>61</sup> np. <http://mapa.plk-sa.pl/>

Tab. 5-1 Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu kolejowego – skład kolejowy

Lp.	Informacja	Dane konieczne	Źródło danych	Parametr
1.	Nazwa	✓	zarządzający infrastrukturą	
2.	Charakter ruchu	✓	na podstawie obserwacji	Płynny ruch, zwalnianie, przyspieszanie, bieg jałowy
3.	Średnioroczna ilość składów w ciągu dnia (06.00-18.00) [szt.]	✓	zarządzający infrastrukturą lub rozdz. 5.3.2	szt.
4.	Średnioroczna ilość składów w ciągu wieczoru (18.00-22.00) [szt.]	✓	zarządzający infrastrukturą lub rozdz. 5.3.2	szt.
5.	Średnioroczna ilość składów w ciągu nocy (22.00-06.00) [szt.]	✓	zarządzający infrastrukturą lub rozdz. 5.3.2	szt.
6.	Średnia prędkość składów [km/h]	✓	zarządzający infrastrukturą lub rozdz. 5.3.3	km/h
11.	Długość składu [m]	✓	zarządzający infrastrukturą lub rozdz. 5.3.4	m
12.	Pojazdy szynowe w składzie	✓	zarządzający infrastrukturą	patrz: Tab. 5-2

Tab. 5-2 Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu szynowego – pojazd szynowy

Lp.	Informacja	Dane konieczne	Źródło danych
1.	Kategoria pojazdu	✓	załącznik I katalogu, zarządzający infrastrukturą
2.	Liczba pojazdów w składzie [szt.]	✓	zarządzający infrastrukturą oraz rozdział 5.3.4
3.	Liczba osi w pojeździe [szt.]	✓	specyfikacja producenta, załącznik I, rozdział 5.3.4
4.	Długość pojazdu [m]	✓*	specyfikacja producenta
5.	Prędkość maksymalna [km/h]	✓*	specyfikacja producenta

\* nieuwzględniane w obliczeniach

Tab. 5-3 Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu kolejowego – torowisko

Lp.	Informacja	Dane konieczne	Źródło danych
1.	Numer linii kolejowej	-	http://mapa.plk-sa.pl/
2.	Numer toru	-	
3.	Kierunek ruchu	-	
4.	Tor na moście/wiadukcie	✓	http://mapa.plk-sa.pl/ www.geoportal.gov.pl oraz rozdział 5.4.2.5
5.	Rodzaj podkładu i przekładki	✓	wizja lokalna, zarządzający infrastrukturą
6.	Stopień chropowatości toru	✓	zarządzający infrastrukturą* oraz rozdział 0
7.	Liczba połączeń torów, zwrotnic lub skrzyżowań /100 m	✓	wizja lokalna, zarządzający infrastrukturą oraz rozdział 5.4.2.3
8.	Promień łuku toru	✓	wyliczenie własne na bazie np. ortofotomap oraz rozdział 5.4.2.4

Lp.	Informacja	Dane konieczne	Źródło danych
9.	Rodzaje składów użytkujące tor	✓	dane zarządzającego infrastrukturą/lokalne zakłady kolejowe oraz Tab. 5-1

\* z uwagi na to, że w metodyce CNOSSOS w chwili obecnej parametr ten nie jest zbyt różnicowany a zarządzający infrastrukturą nie posiada szczegółowych danych na ten temat zebranych w jednej bazie danych zaleca się stosowanie ustawienia – nawierzchnia standardowo utrzymana

Tab. 5-4 Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu kolejowego – tor na moście/wiadukcie

Lp.	Informacja	Dane konieczne	Źródło danych
1.	Kilometraż początkowy	✓	mapa.plk-sa.pl
2.	Kilometraż końcowy	✓	
3.	Odległość krawędzi mostu od skrajnej szyny (osobno prawa i lewa strona)	✓	wizja lokalna dane od zarządzającego infrastrukturą (np. PKP-PLK S.A.) oraz rozdział 5.4.2.5
4.	Wysokość krawędzi mostu/ekranu na moście ponad tor	✓	
5.	Właściwości dźwiękochłonne podniesionych krawędzi mostu/ekranu na moście	✓	

### 5.3 Tabor szynowy

W ramach niniejszej części dokonano przeglądu serii i typów konstrukcyjnych pojazdów szynowych eksploatowanych w Polsce (załącznik I). Informacje zgromadzono w formie tabelarycznej zachowując przy tym podział na kategorie zgodnie z propozycjami właściwymi dla pierwszej cyfry deskryptora zawartymi w tabeli 2.3 a Dyrektywy 2015/996. Kategorie te zostały przedstawione poniżej wraz z krótkim komentarzem dotyczącym rodzajów pojazdów jakie faktycznie w warunkach krajowych do nich przynależą. W celu uniknięcia niejednoznacznej interpretacji zapisów Dyrektywy 2015/996 w nawiasach przytoczono wybrane zapisy pochodzące wprost z wersji angielskojęzycznej wspomnianej dyrektywy.

#### **H szybki pojazd szynowy (>200 km) / high speed vehicle (>200km/h)**

W kategorii uwzględniono dowolne rodzaje pojazdów trakcyjnych obserwowanych w normalnej eksploatacji w Polsce, które zdolne są osiągać prędkości powyżej 200km/h. W warunkach krajowych na dzień sporządzenia niniejszego opracowania kategoria ta reprezentowana jest przez jeden typ pojazdu trakcyjnego (ED250 Pendolino).

#### **M samobieżne wagony pasażerskie / self-propelled passenger coach**

W kategorii uwzględniono pojazdy trakcyjne takie jak zespoły trakcyjne (zespoły składające się z wagonów silnikowych, sterowniczych i doczepnych i stanowiące nierozłączną całość) i wagony silnikowe przeznaczone do przewozu pasażerów. Dodatkowo dla ułatwienia posługiwania się zestawieniem, w oddzielnych tabelach zestawiono pojazdy trakcyjne których wyłącznym lub zasadniczym rodzajem źródła

zasilania jest prąd elektryczny oraz pojazdy, których źródłem napędu jest silnik spalinowy.

**P** **ciągnione wagony pasażerskie / hauled passenger coaches.**

Wagony niewyposażone w silnik elektryczny. Zazwyczaj składają się z jednego pudła posadowionego na dwóch wózkach wyposażonych po dwie osie każdy.

**C** **samobieżny i niesamobieżny wagon tramwaju miejskiego lub lekki wagon kolei podziemnej / city tram or light metro self-propelled and non-self-propelled coach**

Wagony wyposażone w silniki elektryczne. Współczesne tramwaje prawie zawsze stanowią wagon wieloczołowy z określoną liczbą wózków i osi. W warunkach Polskich występują tramwaje dwu lub nawet trzy wagonowe (tramwaje typu 105N oraz 805N).

**D** **czoł napędowy z napędem diesla / diesel loco**

W kategorii uwzględniono lokomotywy, których źródłem napędu jest silnik spalinowy.

**E** **czoł napędowy z napędem elektrycznym / electric loco**

W kategorii uwzględniono lokomotywy, których wyłącznym lub zasadniczym rodzajem źródła zasilania jest prąd elektryczny. W związku z tym w kategorii tej znajdują się również lokomotywy elektryczne wyposażone w pomocniczy silnik spalinowy (tzw. system *last mile*) umożliwiający pracę również przy braku dostępu do zasilania z sieci trakcyjnej (np. podczas manewrów prowadzonych na stacji). W warunkach polskich na dzień sporządzenia niniejszego opracowania nie eksploatuje się lokomotyw o napędzie hybrydowym.

**A** **towarowy pojazd szynowy dowolnego rodzaju / any generic freight vehicle**

W kategorii tej uwzględniono wszystkie występujące w normalnej eksploatacji rodzaje wagonów towarowych. W celu opisanía charakterystyki technicznej poszczególnych rodzajów posłużono się klasyfikacją literową UIC<sup>62</sup>. Dokonano w tym obszarze pewnych uproszczeń (np. nie stosowano oznaczeń literowych krajowych, właściwych dla odpowiednich serii wagonów) przy pełnej świadomości niedoskonałości takiego sposobu oznaczania i klasyfikacji poszczególnych serii wagonów. Wskazać należy również, że taki system oznaczania serii wagonów nie jest stosowany przez niektórych operatorów zagranicznych (np. z Niemiec czy Austrii) co dodatkowo może utrudniać właściwą klasyfikację w oparciu o wspomniany system. Niemniej jednak, uwzględniając charakter niniejszego opracowania oraz cel jakiemu ma służyć, podejście bazujące na klasyfikacji i literowym oznaczeniu serii zgonie z UIC wydaje się zasadne.

<sup>62</sup> UIC - Międzynarodowy Związek Kolei (fr. Union Internationale des Chemins de fer) będący organizacją zrzeszającą przedsiębiorstwa zajmujące się transportem kolejowym



## **O inne (tj. pojazdy serwisowe itp.) / other (i.e. maintenance vehicles etc.)**

W kategorii tej uwzględniono pojazdy pomocnicze służące budowie, przebudowie lub utrzymaniu infrastruktury kolejowej. Pojazdy te wykazują w znacznej mierze dużą indywidualność, stąd pełne i jednoznaczne skonstruowanie ich wykazu na potrzeby niniejszego opracowania nie wydaje się możliwe.

Niniejszy przegląd serii i typów konstrukcyjnych pojazdów szynowych eksploatowanych w Polsce stanowi istotną podstawę dla analizy stanu faktycznego w zakresie charakteru i zróżnicowania eksploatowanych pojazdów szynowych. Sposób, w jaki został opracowany służyć może jednocześnie za praktyczne wsparcie w prawidłowym rozpoznaniu i identyfikacji serii lub typu konstrukcyjnego a w efekcie – właściwej klasyfikacji pojazdu szynowego dokonywanej w związku z pomiarami i obserwacjami terenowymi na potrzeby realizowanych analiz akustycznych.

W tym miejscu wskazać należy na obiektywne ograniczenia, jakie w istotny sposób wpływają na ostatecznie przyjęty kształt zestawienia. Są to w szczególności:

- duża rotacja taboru w ramach wspólnego obszaru europejskiego,
- różnorodność serii pojazdów trakcyjnych i wagonów kolejowych eksploatowanych przez krajowych operatorów.

### **Rotacja taboru w ramach wspólnego obszaru europejskiego**

Zmiany wdrażane w Unii Europejskiej zapoczątkowane przez tzw. I Pakiet Kolejowy oraz coraz powszechniej wdrażane zasady służące interoperacyjności w przewozach (choćby poprzez wdrażanie i stosowanie Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności - TSI) powodują, że wymiana taboru kolejowego pomiędzy przewoźnikami działającymi na poszczególnych rynkach krajowych staje się zjawiskiem powszechnym. Dziś dotyczy to już nie tylko wymiany parku wagonowego, ale również pojazdów trakcyjnych. Uwzględniając jednocześnie uwolnienie dostępu do infrastruktury kolejowej, która nie jest już zarezerwowana wyłącznie dla operatorów narodowych wskazać należy na mnogość operatorów kolejowych funkcjonujących na rynku przewozów. Na wskazane powyżej czynniki nałożyć należy jeszcze fakt powstawania tzw. pooli taborowych, które oferują mniejszym operatorom wynajem taboru (również pojazdów trakcyjnych) często dopuszczonych do ruchu w wielu krajach europejskich jednocześnie. Istotnie zwiększa to elastyczność i efektywność transportu kolejowego, aczkolwiek utrudnia (czy też wręcz uniemożliwia) jednoznaczne i pełne scharakteryzowanie wszystkich serii i typów konstrukcyjnych eksploatowanych na terenie danego kraju. Fakty te powodują, że jednoznaczne zestawienie eksploatowanego taboru na obszarze danego kraju nie jest możliwe, a próba jego utworzenia powodowałaby, że już w momencie powstania stałaby się on nieaktualny.

### **Różnorodność serii pojazdów trakcyjnych i wagonów kolejowych eksploatowanych przez krajowych operatorów**

Przez dekady Polskie Koleje Państwowe (PKP) były w praktyce jedynym operatorem kolejowym w kraju. Przez ten czas eksploatowały stosunkowo mało zróżnicowaną, acz liczną

flotę pojazdów trakcyjnych. Wraz z przełomem wieków i zachodzącymi zmianami ustrojowymi kwestia ta wymagała zmiany i lepszego wpasowania się w uwarunkowania rynkowe przy jednocześnie ograniczonych środkach. Jeżeli dodać do tego jeszcze wspomnianą już kwestię uwolnienia rynku kolejowego i powstania licznych przewoźników prywatnych czy też fakt podzielenia samego przedsiębiorstwa PKP na szereg pomniejszych spółek, a w późniejszym okresie również przekazanie samorządom lokalnym odpowiedzialności za kreowanie lokalnych przewozów pasażerskich to wszystkie te czynniki powodowały, że dotychczasowe zasoby taborowe zaczęto poddawać procesom modernizacyjnym w bardzo rozproszony sposób. W efekcie powstawać zaczęły modyfikacje pojazdów, których zakres i kształt był bardzo zróżnicowany utrudniając jednoznaczną ocenę na ile powstały pojazd jest pojazdem zmodernizowanym a na ile nową konstrukcją. Mając to na względzie, w zestawieniu uwzględniono pojazdy trakcyjne które wyprodukowane zostały w co najmniej kilku egzemplarzach, a więc mogą być traktowane jako przedstawiciele serii a nie pojazdy wyłącznie prototypowe.

### **5.3.1 Metodyka przypisywania istniejącego taboru szynowego w Polsce do kategorii określonych w CNOSSOS-EU**

Przedstawiony w załączniku I katalog pojazdów szynowych zawiera możliwe duży zbiór informacji o stosowanych w Polsce rodzajach pojazdów szynowych. Zbiór ten zawiera informacje o składach zintegrowanych, ale także o poszczególnych rodzajach wagonów. W przypadku tych drugich pojazdy te stanowią elementy składów ciągnionych przez lokomotywy. Każdy z pojazdów przedstawionych w katalogu pojazdów posiada deskryptor zgodny z metodyką CNOSSOS, który teoretycznie pozwala wprowadzić dany skład, czy to zintegrowany, czy też składający się z wagonów do modelu akustycznego. W praktyce, zwłaszcza w przypadku składów ciągnionych, trudne jest pozyskanie dokładnej informacji o liczbie wagonów oraz ich rodzaju, a także o ich średnim natężeniu ruchu w ciągu roku. W celu uproszczenia tej kwestii proponuje się, aby w modelowaniu akustycznym uwzględniać następujące rodzaje składów:

- szybkie pojazdy szynowe
- samobieżne wagony pasażerskie nowego typu
- samobieżne wagony pasażerskie starego typu
- pociągi pasażerskie wagonowe
- pociągi towarowe z klockami hamulcowymi żeliwnymi
- pociągi towarowe z klockami hamulcowymi kompozytowymi
- lokomotywy elektryczne luzem
- lokomotywy spalinowe luzem
- pociągi utrzymaniowo-naprawcze
- autobusy szynowe
- tramwaje

Przedstawiony podział jest pochodną stosowanego dotychczas w analizach środowiskowych podziału składów szynowych zaktualizowany w oparciu o przeprowadzone pomiary. Celem pomiarów było dopasowanie składów występujących w Polsce do możliwości

modelowania wg metodyki CNOSSOS. Opis pomiarów i analiz przedstawiono w załączniku VII. Pomiary przeprowadzone zostały na różnych nawierzchniach torowych, z uwzględnieniem możliwe dużego zróżnicowania pojazdów szynowych. Łącznie przeprowadzono badania pozwalające uzyskać ponad 50 serii pomiarowych charakteryzujących różnorodne i najczęściej występujące w Polsce elementy infrastruktury i rodzaje taboru.

Dla większości rodzajów pojazdów szynowych udało się dokonać dopasowania poszczególnych parametrów modelu akustycznego CNOSSOS-EU do rzeczywistych wyników pomiarowych. Dopasowania dają zadowalające wyniki obliczeń w stosunku do wartości mierzonych. Wyjątek stanowią tramwaje, gdzie rozbieżności pomiędzy wartościami mierzonymi a obliczonymi znacznie przekraczają dopuszczalny błąd wynoszący 2 dB. Z tego względu w trakcie modelowania hałasu tramwajowego, należy zwrócić szczególną uwagę na wykorzystanie w procesie modelowania wyników pomiarów okresowych chociażby do kalibracji modelu obliczeniowego. Zestawienie poszczególnych parametrów dla poszczególnych typów pojazdów przedstawiono w Tab. 5-5.

Tab. 5-5 Opis konfiguracji rodzajów składów występujących w Polsce oparciu o parametry występujące w bibliotekach programów CadnaA, SoundPlan, IMMI, LIMA

L.p.	Pojazd szynowy	Deskryptor	Funkcja przenoszenia	Filtr styczny**	Szorstkość kół	Hałas trakcji	Hałas aerodynamiczny	Liczba osi
1.	Szybkie pojazdy szynowe	h28nd	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	28
2.	Samobieżne wagony pasażerskie starego typu	m12cn	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	żeliwny	elektryczny zespół trakcyjny	Min	12
		m16cn	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	żeliwny	elektryczny zespół trakcyjny	Min	16
3.	Samobieżne wagony pasażerskie nowego typu	m2nd	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	2
		m4nd	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	4
		m6nd	koło o średnicy 840 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	6
		m8nd	koło o średnicy 840 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	8
		m10nd	koło o średnicy 840 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	10
		m12nd	koło o średnicy 840 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	12
		m14nd	koło o średnicy 840 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	14
		m16nd	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	16
		m18nd	koło o średnicy 920 mm	100kN, 920mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	18
3.	Pociągi pasażerskie wagonowe - wagony pasażerskie ciągnione*	p4cn	koło o średnicy 920/840 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	brak	min	4
4.	Pociągi towarowe – wagony – klocki żeliwne*	a2cn	koło o średnicy 920 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	brak	Min	2
		a4cn	koło o średnicy 920 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	brak	Min	4
		a6cn	koło o średnicy 920 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	brak	Min	6
5.	Pociągi towarowe – wagony – klocki kompozytowe*	a2kn	koło o średnicy 920 mm	100 kN, 920mm	kompozytowy	brak	Min	2
		a4kn	koło o średnicy 920 mm	100 kN, 920mm	kompozytowy	brak	Min	4
		a6kn	koło o średnicy 920 mm	100 kN, 920mm	kompozytowy	brak	Min	6
6.	Jednostka napędowa elektryczna	e4cd	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	elektryczna	Min	4
		e4nd	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	tarczowy	elektryczna	Min	4
		e6nd	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	tarczowy	elektryczna	Min	6
		e4cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	elektryczna	Min	4
		e6cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	elektryczna	Min	6
		e8cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	elektryczna	Min	8
7.	Jednostka napędowa spalinowa	d2cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	diesla	Min	2
		d3cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	diesla	Min	3
		d4cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	diesla	Min	4
		d4cd	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	diesla	Min	4
		d4nd	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	tarczowy	diesla	Min	4
		d6cn	koło o średnicy 1200 mm	100 kN, 920mm	żeliwny	diesla	Min	6
8.	Tramwaj	m8nd	koło o średnicy 680 mm	50 kN, 680mm	tarczowy	elektryczny zespół trakcyjny	Min	8

\*do pojazdu należy dołączyć lokomotywę z pozycji 6 lub 7 oraz podać liczbę pojazdów w składzie

\*\* wartości opracowane w ramach dokumentu RIVM – są to też oficjalnie proponowane poprawki do metodyki CNOSSO5

### 5.3.2 Natężenie ruchu

Przygotowanie map hałasu szynowego jest niemożliwe bez określenia natężenia ruchu na poszczególnych odcinkach sieci kolejowej czy tramwajowej objętych mapowaniem. Wartości natężenia ruchu mają istotny wpływ na wynik mapowania, dlatego też powinny one pochodzić z rzetelnego źródła. Z drugiej strony zarządzający sieciami kolejową oraz tramwajowymi agregują dane w określony sposób dla własnych potrzeb. Z reguły podział rodzajów szynowych w zestawieniach zarządzających źródłami hałasu znacząco różni się od tego przedstawionego w rozdziale 5.3.1. W poniższym rozdziale opisano w jakiś sposób przetworzyć dane o natężeniu ruchu, aby dopasować je do wymagań metodyki referencyjnej.

#### Natężenie ruchu tramwajowego

W przypadku tramwajów, w ramach metodyki CNOSSOS nie wprowadzono rozróżnienia na typy tramwajów. Zgodnie z metodyką zakłada się, że niezależnie od typu tramwaje cechują się jednakowym poziomem emisji hałasu. Potwierdzają to wyniki pomiarów przedstawione w załączniku VII. Z tego względu uzyskanie natężenia ruchu wymaga jedynie odpowiedniego przeanalizowania rozkładów jazdy tramwajów dostępnych na stronach internetowych przewoźników dla poszczególnych miast. Procedurę tę opisano w Wytycznych GIOŚ.

#### Natężenie ruchu kolejowego

Na podstawie informacji uzyskanej od PKP PLK S.A. zarządzający siecią kolejową dysponuje natężeniem ruchu kolejowego z podziałem na linie i odcinki w ujęciu średniorocznym. Dane te podzielone są na kategorie pojazdów szynowych jednak jest ona różna od tej przedstawionej poniżej w rozdziale 5.3.1. W Tab. 5-6 przedstawiono podział na kategorie pojazdów szynowych wraz z objaśnieniem dostępny u zarządzającego liniami kolejowym w Polsce.

Tab. 5-6 Podział natężenia ruchu pociągów na kategorie wg PKP PLK S.A.

Rodzaj pociągu	Typ pociągu	Opis
Pociągi pasażerskie	EuroCity, EuroNight, Ekspresowy InterCity	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pociągi obsługiwane przez składy wagonowe,</li> <li>– pociągi typu „Pendolino”</li> <li>– elektryczne zespoły trakcyjne nowego typu</li> </ul>
	M (między-wojewódzkie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pociągi obsługiwane przez składy wagonowe</li> <li>– elektryczne zespoły trakcyjne nowego i starego typu,</li> <li>– autobusy szynowe</li> </ul>
	W (wojewódzkie)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pociągi obsługiwane przez składy wagonowe</li> <li>– elektryczne zespoły trakcyjne nowego i starego typu,</li> <li>– autobusy szynowe</li> </ul>
	Pasażerskie do i z naprawy, próbne, próżne składy	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pociągi pasażerskie wymagające naprawy, jazdy testowe</li> </ul>
	Pojazdy kolejowe luzem	<ul style="list-style-type: none"> <li>– lokomotywy elektryczne i spalinowe</li> </ul>
Pociągi towarowe	TC, TD	<ul style="list-style-type: none"> <li>– pociągi do krajowych i międzynarodowych przewozów jednostek transportu intermodalnego* i próżnych, platform po przewozie lub do przewozu jednostek transportu intermodalnego,</li> </ul>

Rodzaj pociągu	Typ pociągu	Opis
	TN, TR	– pociągi do krajowych i międzynarodowych przewozów niemasowych**
	TM, TG	– pociągi do krajowych i międzynarodowych przewozów masowych***
	TK	– pociągi do obsługi stacji o bocznic
	Towarowe do i z naprawy, próbne	– pociągi towarowe wymagające naprawy, jazdy testowe
	Pojazdy kolejowe luzem	– lokomotywy elektryczne i spalinowe
Pociągi utrzymaniowo-naprawcze	Utrzymaniowo - naprawcze	– pociągi techniczne - ratunkowe, inspekcyjne, utrzymaniowe
	Pojazdy kolejowe luzem	– lokomotywy elektryczne i spalinowe

\* transport intermodalny – transport wykorzystujący więcej niż jeden rodzaj transportu. Charakteryzuje się tym, że towary przewożone są w kontenerach itp. umożliwiającym przenoszenie ładunków między różnymi rodzajami transportu np. kolejowy i drogowy.

\*\* przewozy niemasowe np. transport samochodowy, transport drewna

\*\*\* transport masowy m. in transport produktów sypkich i płynnych bez opakowania – np. węgiel, ropa naftowa.

W celu wykorzystania danych dostępnych w PKP PLK S.A. do modelowania hałasu w oparciu o metodykę CNOSSOS-EU należy w odpowiedni sposób dopasować dane zarządzającego liniami kolejowymi do wymagań metodyki. Zgodnie z wypracowanym w rozdziale 5.3.1. podziałem, wśród pociągów pasażerskich możemy wyróżnić następujące kategorie pociągów:

- szybkie pojazdy szynowe,
- samobieżne wagony pasażerskie nowego typu,
- samobieżne wagony pasażerskie starego typu,
- pociągi pasażerskie wagonowe,
- autobusy szynowe,

w przypadku pociągów towarowych zaś:

- pociągi towarowe z klockami hamulcowymi żeliwnymi,
- pociągi towarowe z klockami hamulcowymi kompozytowymi,

oraz:

- lokomotywy elektryczne luzem,
- lokomotywy spalinowe luzem,
- pociągi utrzymaniowo-naprawcze.

Chcąc określić natężenie ruchu pociągów pasażerskich z podziałem na kategorie na danej linii proponuje się, aby obliczyć to z zależności podanych w Tab. 5-8.

Tab. 5-7 Sposób obliczania natężenia ruchu pociągów pasażerskich do metodyki CNOSSOS na podstawie danych PKP PLK S.A.

Kategoria CNOSSOS	Sposób obliczania
szybkie pojazdy szynowe	$N = (NEUROCITY, INTERCITY + N_M + N_W) * X_{SPS}$
samobieżne wagony pasażerskie nowego typu	$N = (NEUROCITY, INTERCITY + N_M + N_W) * X_{SWPN}$
samobieżne wagony pasażerskie starego typu	$N = (NEUROCITY, INTERCITY + N_M + N_W) * X_{SWPS}$
pociągi pasażerskie wagonowe	$N = (NEUROCITY, INTERCITY + N_M + N_W) * X_{PPW}$
autobusy szynowe	$N = (NEUROCITY, INTERCITY + N_M + N_W) * X_{AS}$

Wartości opisane symbolem X w powyższej tabeli powinny spełniać równanie

$$100\% = X_{SPS} + X_{SWPN} + X_{SWPS} + X_{PPW} + X_{AS} \quad \text{Równanie 5-1}$$

gdzie:

$X_{SPS}$  – to procent szybkich pojazdów szynowych w warunkach polskich to pociągi Pendolino

$X_{SWPN}$  – to procent samobieżnych wagonów pasażerskich nowego typu np. EN76, ED160 itp.

$X_{SWPS}$  – to procent samobieżnych wagonów pasażerskich starego typu np. EN57, EN57AKM itp.

$X_{PPW}$  – to procent pociągów pasażerskich wagonowych

$X_{AS}$  – to procent autobusów szynowych

Wartości procentowe należy ustalić na podstawie najlepszej możliwej wiedzy, w oparciu o rozkłady jazdy, ale także wykaz przejazdów z pomiarów hałasu, jeśli jest dostatecznie szczegółowy.

W przypadku pociągów towarowych zaleca się, aby natężenie ruchu obliczać według zależności podanych w Tab. 5-8.

Tab. 5-8 Sposób obliczania natężenia ruchu pociągów towarowych do metodyki CNOSSOS na podstawie danych PKP PLK S.A.

Kategoria CNOSSOS	Sposób obliczania
pociągi towarowe z klockami hamulcowymi żeliwnymi	$N = N_{TG, TM} * 100\% + N_{TN, TR} * 50\%$
pociągi towarowe z klockami hamulcowymi żeliwnymi	$N = N_{TC, TD} * 100\% + N_{TN, TR} * 50\%$

Do określenia liczby pojazdów kolejowych luzem tj. lokomotyw spalinowych i elektrycznych proponuje się, aby skorzystać z zależności przedstawionych w Tab. 5-9.

Tab. 5-9 Sposób obliczania natężenia ruchu lokomotyw luzem do metodyki CNOSSOS na podstawie danych PKP PLK S.A.

Kategoria CNOSSOS	Sposób obliczania*
Lokomotywy elektryczne	$N = N_{LUZEM, PASAŻERSKIE} * 74\% + N_{LUZEM, TOWAROWE} * 41\% + N_{LUZEM, UN} * 41\%$
Lokomotywy spalinowe**	$N = N_{LUZEM, PASAŻERSKIE} * 26\% + N_{LUZEM, TOWAROWE} * 59\% + N_{LUZEM, UN} * 59\%$

\*wartości procentowe określono na podstawie publikacji „Tabor kolejowy 2019”, autor: Urząd Transportu Kolejowego

\*\* w przypadku linii niezelektryfikowanych dla pojazdów luzem przyjmuje się sumę wartości  $N_{LUZEM, PASAŻERSKIE} + N_{LUZEM, TOWAROWE} + N_{LUZEM, UN}$ .

W przypadku pociągów utrzymaniowo naprawczych natężenie ruchu należy przypisywać wprost z zestawienia PKP PLK S.A. Należy także zauważyć, że biorąc pod uwagę poziom emisji hałasu tych pociągów oraz ich stosunkowo mały udział w ogólnym ruchu kolejowym, pociągów tych można w ogóle nie uwzględniać w wykonywaniu map hałasu.

Jeśli chodzi o udział poszczególnych rodzajów pociągów w poszczególnych porach doby (tj. dzień, wieczór oraz noc) zaleca się, aby dla pociągów pasażerskich przyjąć równomierny rozkład natężenia ruchu w ciągu doby, a dla pociągów pasażerskich uzależniony od rozkładu jazdy dostępnego na stronie internetowej <https://portalpasazera.pl/Plakaty>. Każdorazowo

należy wybrać rozkład dla najbliższej stacji w stosunku do odcinka objętego mapowaniem akustycznym.

**Przedstawione powyżej sposoby należy stosować wyłącznie w przypadku braku bardziej szczegółowych danych, które pozwoliłyby jednoznacznie i/lub bardziej dokładnie określić ruch poszczególnych kategorii pociągów.**

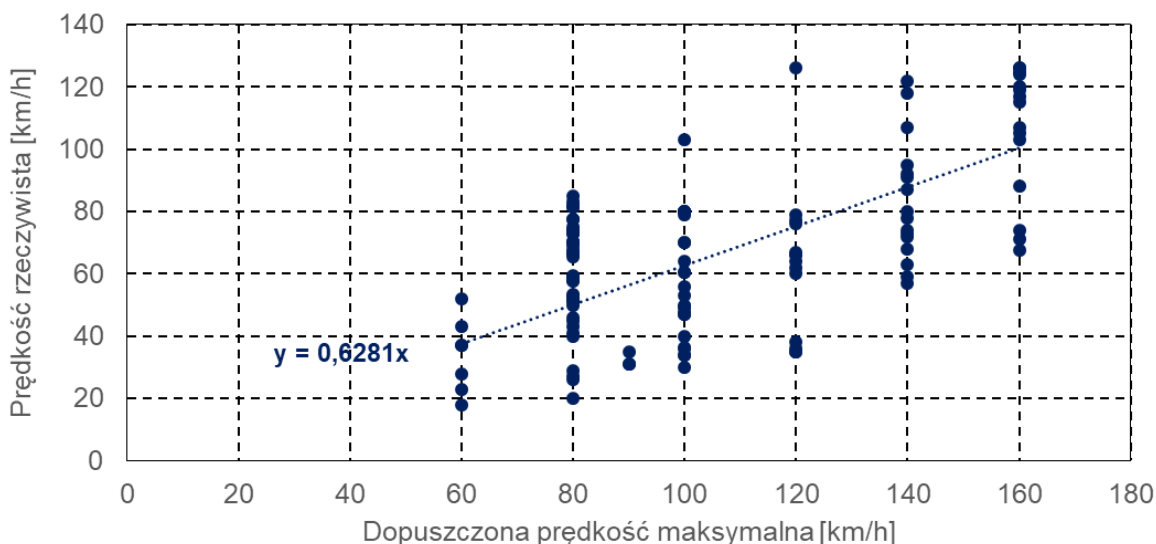
### 5.3.3 Średnia prędkość składu i prędkość maksymalna

Jednym z czynników determinujących poziom hałasu szynowego jest rzeczywista prędkość ruchu pojazdów szynowych. W celu wykonania strategicznych map hałasu kolejowego jak i tramwajowego czynnik ten jest istotny i to m. in. od niego zależą zasięgi hałasu. Chcąc poprawnie wykonać mapę akustyczną, wartości prędkości wprowadzane do modelu obliczeniowego powinny odpowiadać wartościom rzeczywistym. Obecnie nie prowadzi się repozytorium zbierającego rzeczywiste prędkości ruchu pojazdów szynowych w skali kraju. Chcąc pozyskać dane o prędkości ruchu pojazdów szynowych można posiłkować się np. sprawozdaniami z badań hałasu kolejowego lub tramwajowego, w których zgodnie z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 roku *w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem* informacje takie powinny się znaleźć. Oczywiście pomiary wykonywane są dla wybranych przekrojów pomiarowych i nie pokrywają całej sieci kolejowej w Polsce jak również sieci tramwajowych poszczególnych miast.

Zarządzający większością linii kolejowych w Polsce tj. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. na swojej stronie internetowej<sup>63</sup> publikuje informacje o maksymalnych dopuszczonych prędkościach ruchu na wybranych odcinkach sieci kolejowej. Zebrane na ww. stronie internetowej wartości pozwalają na ustalenie maksymalnych prędkości ruchu dla poszczególnych rodzajów pociągów. Zastosowanie wartości maksymalnej do obliczania zasięgów hałasu w mapie akustycznej spowodowałoby bardzo duże ich przeszacowanie w górę. Biorąc pod uwagę, że mapa akustyczna ma charakter strategiczny i pokazuje wartości średnioroczne podejście z wykorzystaniem wartości maksymalnej jest błędne. W celu określenia przelicznika z prędkości maksymalnej na prędkość średnią wykonano dopasowanie rzeczywistych prędkości ruchu do wartości maksymalnych prędkości ruchu na odcinkach, przy których podczas pomiaru hałasu dokonywano pomiarów prędkości rzeczywistej. Dopasowanie to przedstawiono na Rys. 5-2.

<sup>63</sup> <https://www.plk-sa.pl/dla-klientow-i-kontrahentow/warunki-udostepniania-infrastruktury-i-regulaminy/regulaminy-sieci/regulaminy-sieci-20202021/>





Rys. 5-2 Zależność pomiędzy rzeczywistą prędkością pociągów a prędkością maksymalną na wybranych torowiskach sieci kolejowej w Polsce

Powyższe dopasowanie wykonano w oparciu o 38 przekrojów pomiarowych dla różnych typów pociągów. Otrzymana tendencja wskazuje, że zależność pomiędzy prędkością maksymalną na danym odcinku torów a prędkością pomiarową wynosi  $V_{\text{śr}} = V_{\text{max}} * 0,63$ . **Zależność tę, można stosować dla każdej kategorii pociągu jednak wyłącznie przy bezwzględnym braku innych danych**, które w dokładniejszy sposób określałyby rzeczywiste prędkości ruchu. **Jeśli znana jest rzeczywista średnia prędkość pociągów na danym odcinku torów to powinna być ona użyta w modelu akustycznym.** Zależności tej nie można stosować w analizach służących do ustalania i kontroli warunków korzystania ze środowiska (np. w Raportach oddziaływania na środowisko, analizie porealizacyjnej, itp.) z uwagi na to, że dokumenty te wykonuje się w oparciu o jednodobowe wskaźniki oceny hałasu, dla umownie najmniej korzystnej doby. W takim przypadku powyższa relacja nie jest reprezentatywna. Wtedy bardziej wskazane byłoby stosowanie prędkości maksymalnej dla danego odcinka torów. W przypadku korzystania z ww. przedstawionej metody należy zwrócić uwagę na zróżnicowanie prędkości maksymalnych w zależności od rodzaju pociągu (towarowy, osobowy, itd.).

### 5.3.4 Pojazdy szynowe w składzie oraz liczba osi

Podczas modelowania hałasu szynowego zaleca się, aby składy pociągów budować według opisu w Tab. 5-5. Dla składów zintegrowanych, czyli głównie pociągów pasażerskich ustalenie liczby pojazdów szynowych w składzie czy też liczby osi nie jest trudnym zadaniem. Liczba pojazdów szynowych zazwyczaj wynosi 1 a liczba osi określona jest przez producenta danego składu a także w załączniku I do niniejszego katalogu.

Zupełnie inaczej sytuacja wygląda dla pociągów wagonowych, a więc pociągów towarowych oraz pasażerskich złożonych z wagonów ciągniętych przez lokomotywy. W zasadzie każdy skład jest złożony z innej liczby wagonów i różnych lokomotyw. Z uwagi na to, że uzyskanie informacji średniorocznej w tym zakresie jest w zasadzie nie wykonalne proponuje się, aby przyjąć przeliczniki przedstawione w Tab. 5-10.

Tab. 5-10 Konfiguracja składów wagonowych stosowana w przypadku braku szczegółowych danych w tym zakresie

Rodzaj składu	Liczba wagonów	Liczba osi w wagonie	Lokomotywa
pociągi towarowe z klockami hamulcowymi żeliwnymi	34	4	Elektryczna 6-osiowa lub spalinowa wyłącznie w przypadku linii niezelektryfikowanych
pociągi towarowe z klockami hamulcowymi kompozytowymi	20	5	Elektryczna 6-osiowa lub spalinowa wyłącznie w przypadku linii niezelektryfikowanych
Pociągi pasażerskie wagonowe*	6	4	Elektryczna 4-osiowa lub spalinowa wyłącznie w przypadku linii niezelektryfikowanych

\* w przypadku pociągów pasażerskich szczegółowe informacje o liczbie wagonów w składach można znaleźć również na stronie internetowej <https://www.vagonweb.cz/razeni/> (źródło nieoficjalne)

Przedstawione powyżej wartości podobnie jak w przypadku średniej prędkości ruchu, uzyskano w oparciu o pomiary w 38 przekrojach pomiarowych na różnych liniach kolejowych w Polsce. Podobnie jak w przypadku natężenia ruchu i prędkości wartości te należy stosować przy braku jakichkolwiek innych bardziej dokładnych danych.

### 5.3.5 Błędy wynikające z niewłaściwego przypisania składów do kategorii pojazdów wg klasyfikacji CNOSSOS-EU

Ujednolicona, wspólna europejska klasyfikacja pojazdów szynowych dla potrzeb opracowania strategicznych map hałasu, zawarta w tabeli 2.3a Dyrektywy 2015/996, ma charakter porządkowy i opisowy. W sposób bardzo ogólny, ale wystarczający dla potrzeb paneuropejskiego mapowania akustycznego, pozwala sklasyfikować kluczowy tabor kolejowy. Elementy tej klasyfikacji mają bezpośrednie powiązanie z tymi cechami pojazdów szynowych, które przekładają się na ich uciążliwość w zakresie hałasu. Nie są to jednak wszystkie cechy, które determinują moc akustyczną pojazdu szynowego.

Klasyfikacja taboru odbywa się w oparciu o cztery podstawowe cechy: typ pojazdu, liczba osi, rodzaj hamulca i zastosowane środki ograniczające emisję hałasu, zgodnie z niżej przedstawioną tabelą (Tab. 5-11).

Błędne przypisanie deskryptora nie przekłada się na błąd mapy akustycznej, o ile poprawnie zostaną zapisane właściwości pojazdów szynowych w bazie danych oprogramowania do realizacji mapy akustycznej. Kwestia to omówiona została w rozdziale 5.3.1

Tab. 5-11 Klasyfikacja i deskryptory pojazdów szynowych zgodnie z metodyką CNOSSOS-EU

Litera	1	2	3	4
Deskryptor	Typ pojazdu	Liczba osi pojazdu	Typ hamulca	Metody ograniczenia emisji hałasu
Wyjaśnienie deskryptora	Litera określająca typ pojazdu	Rzeczywista liczba osi	Litera określająca typ układu hamulcowego	Litera określająca metodę ograniczania hałasu
Możliwe deskryptory	<b>h</b> szybki pojazd szynowy (v > 200 km/h)	<b>1</b>	<b>c</b> żeliwne tarcze hamulcowe	<b>n</b> brak

Litera	1	2	3	4
Deskryptor	Typ pojazdu	Liczba osi pojazdu	Typ hamulca	Metody ograniczenia emisji hałasu
Wyjaśnienie deskryptora	Litera określająca typ pojazdu	Rzeczywista liczba osi	Litera określająca typ układu hamulcowego	Litera określająca metodę ograniczania hałasu
	<b>m</b> samobieżne wagony pasażerskie	<b>2</b>	<b>k</b> tarcze hamulcowe kompozytowe lub ze spieku metali	<b>d</b> tłumiki
	<b>p</b> ciągnięte wagony pasażerskie	<b>3</b>	<b>n</b> bezwintowy klocek hamulcowy, np. tarczowy, bębnowy, magnetyczny	<b>s</b> ekrany
	<b>c</b> samobieżny i niesamobieżny wagon tramwaju miejskiego lub lekki wagon kolei podziemnej	<b>4</b>		<b>o</b> inne
	<b>d</b> człon napędowy z napędem diesla	<b>5</b>		
	<b>e</b> człon napędowy z napędem elektrycznym	itd.		
	<b>a</b> towarowy pojazd szynowy dowolnego rodzaju			
	<b>o</b> inne (tj. pojazdy serwisowe, itp.)			

### 5.3.6 Błędy wynikające z niewłaściwego doboru typu pojazdu szynowego z bibliotek programów obliczeniowych

Pojazdy szynowe w metodzie CNOSSOS-EU mogą być definiowane w oparciu o oryginalną bazę danych współczynników zawartych w Dodatku G do dyrektywy, lub też w oparciu o dodatkowe bazy danych opracowane przez niezależne instytucje z krajów europejskich i często już zaimplementowane (w różnym stopniu) w poszczególnych pakietach oprogramowania.

W okresie realizacji niniejszej pracy, biblioteki programów obliczeniowych w większości przypadków posiadały dość ograniczony zakres danych dotyczących typów pojazdów szynowych występujących w Europie. Tabor kolejowy występujący w Polsce nie był uwzględniony w żadnym z programów obliczeniowych. W programach IMMI i CadnaA zaimplementowano wyniki badań nad taborem kolejowym w Niemczech i Austrii. Dane te nie były natomiast dostępne w programach SoundPlan i Lima/Predictor. We wszystkich programach zawarto natomiast dane charakteryzujące składy kolejowe jakie były używane przy modelowaniu hałasu kolejowego z wykorzystaniem stosowanej do tej pory holenderskiej

metody RMR. W ramach niniejszej pracy nie weryfikowano możliwości zastosowania tych bibliotek do opisywania składów kolejowych występujących w Polsce. Tym samym trudno określić jakie skutki dla jakości map akustycznych hałasu kolejowego może mieć próba wykorzystania definicji pojazdów szynowych zawartych w bazach danych programów obliczeniowych, opracowanych na potrzeby opracowania map akustycznych w Niemczech, Austrii, czy Holandii.

Udział pojazdów szynowych dominujących we wspomnianych krajach na polskich liniach kolejowych jest niewielki, stąd też zaleca się definiowanie pojazdów szynowych powszechnie wykorzystywanych w Polsce w sposób przedstawiony w niniejszym katalogu, w rozdziale 5.3.1. Przykładowe błędy wynikające z niewłaściwego zdefiniowania składów kolejowych w oparciu o parametry zaproponowane w niniejszym katalogu przedstawiono poniżej. Przeanalizowano potencjalne błędy w zakresie błędnego dobrania chropowatości kół pojazdów szynowych (Tab. 5-12 - Tab. 5-13), oraz niewłaściwego obciążenia osi (Tab. 5-14 - Tab. 5-15).

Tab. 5-12 Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doborem **chropowatości kół pojazdów szynowych** w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii

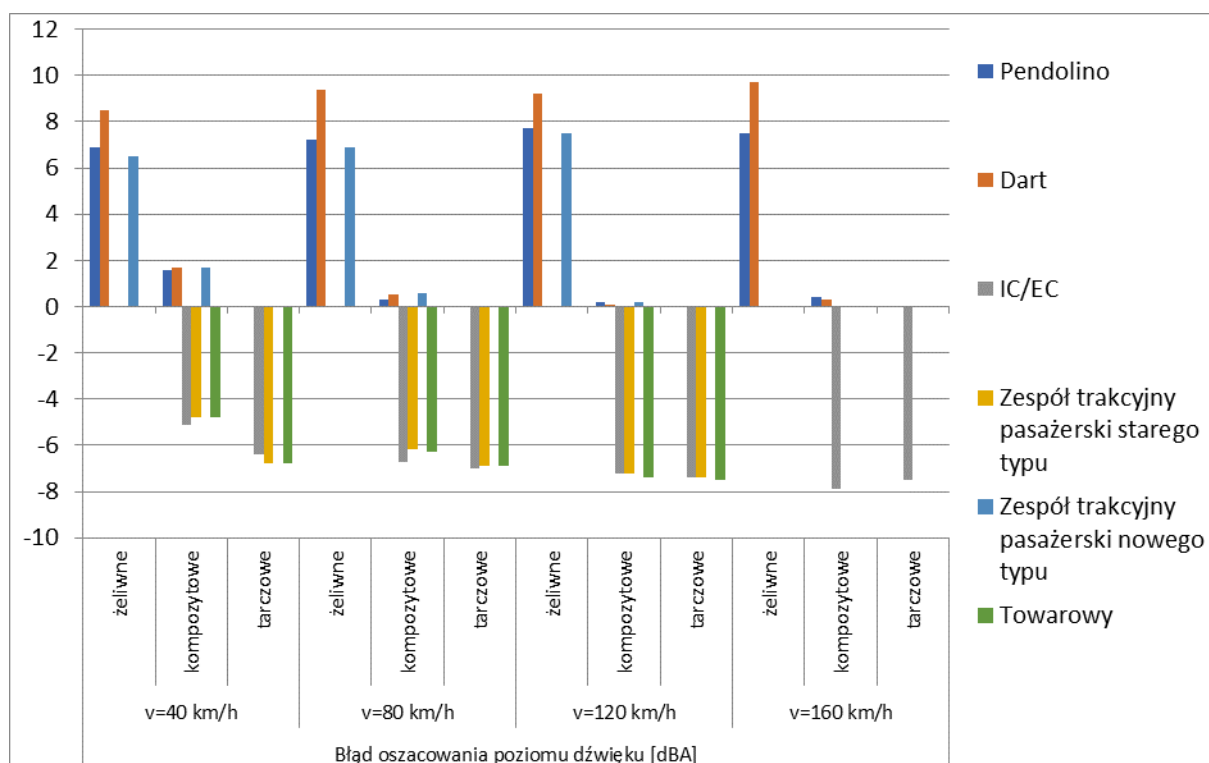
Chropowatość kół pojazdów szynowych	40			80			120			160		
	żeliwne	kompozytowe	tarczowe	żeliwne	kompozytowe	tarczowe	żeliwne	kompozytowe	tarczowe	żeliwne	kompozytowe	tarczowe
Prędkość	40			80			120			160		
Rodzaj składu kolejowego												
Pendolino	54,1	48,8	47,2	57,2	50,3	50,0	61,5	53,6	53,8	63,8	55,9	56,3
Dart	55,6	48,8	47,1	59,1	50,2	49,7	62,3	53,0	53,1	64,9	54,9	55,2
IC/EC	54,4	49,3	48,0	57,3	50,6	50,3	61,5	53,7	53,9	63,9	56,0	56,4
Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	61,1	56,3	54,3	63,1	56,9	56,2	65,7	58,5	58,3	-	-	-
Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	55,3	50,5	48,8	57,4	51,1	50,5	60,4	53,1	52,9	-	-	-
Towarowy	72,4	67,6	65,6	74,4	68,1	67,5	77,6	70,2	70,1	-	-	-

Tab. 5-13 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości kół, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej)

Lp.	Prędkość	Błąd oszacowania poziomu dźwięku [dBA]											
		v=40 km/h			v=80 km/h			v=120 km/h			v=160 km/h		
		żeliwne	kompozytowe	tarczowe	żeliwne	kompozytowe	tarczowe	żeliwne	kompozytowe	tarczowe	żeliwne	kompozytowe	tarczowe
1.	Pendolino	6,9	1,6	0	7,2	0,3	0	7,7	0,2	0	7,5	0,4	0
2.	Dart	8,5	1,7	0	9,4	0,5	0	9,2	0,1	0	9,7	0,3	0
3.	IC/EC	0	-5,1	-6,4	0	-6,7	-7	0	-7,2	-7,4	0	-7,9	-7,5
4.	Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	0	-4,8	-6,8	0	-6,2	-6,9	-	-7,2	-7,4	-	-	-
5.	Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	6,5	1,7	0	6,9	0,6	0	7,5	0,2	0	-	-	-
6.	Towarowy	0	-4,8	-6,8	0	-6,3	-6,9	0	-7,4	-7,5	-	-	-

Ze względu na różnice technologiczne poszczególnych rodzajów taboru kolejowego referencyjna chropowatość kół będzie inna dla:

- Pendolino, Dart i zespół trakcyjny pasażerski nowego typu – hamulce tarczowe
- Pociągi towarowe – hamulce kompozytowe
- IC/EC, zespół trakcyjny pasażerski starego typu i pociągi towarowe – hamulce żeliwne



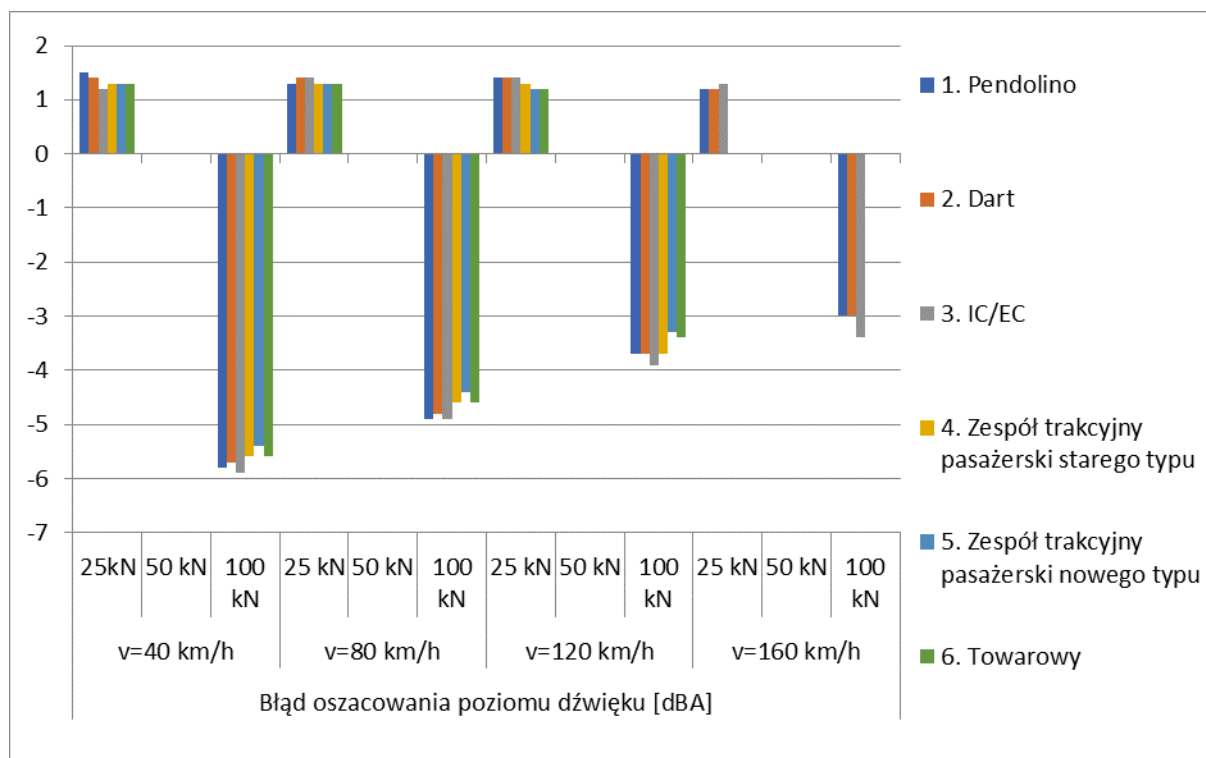
Rys. 5-3 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości kół, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej)

Tab. 5-14 Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doborem nacisku na osie przy średnicy koła 920 mm, w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii

Sposób łączenia szyn	25 kN			50 kN			100 kN			25 kN			50 kN			100 kN		
	Prędkość	40			80			120			160							
Rodzaj składu kolejowego																		
Pendolino		54,5	53,0	47,2	56,2	54,9	50,0	58,9	57,5	53,8	60,5	59,3	56,3					
Dart		52,5	51,1	45,4	54,3	52,9	48,1	57,0	55,6	51,9	58,6	57,4	54,4					
IC/EC		57,7	56,5	50,6	58,8	57,4	52,5	61,4	60,0	56,1	63,2	61,9	58,5					
Zespół trakcyjny pasażerski starego typu		62,4	61,1	55,5	64,4	63,1	58,5	67,0	65,7	62,0								
Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu		55,3	54,0	48,6	57,4	56,1	51,7	60,4	59,2	55,9								
Towarowy		73,7	72,4	66,8	75,7	74,4	69,8	78,8	77,6	74,2								

Tab. 5-15 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnego nacisku na osie, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej)

Lp.	Prędkość	Błąd oszacowania poziomu dźwięku [dBA]											
		v=40 km/h			v=80 km/h			v=120 km/h			v=160 km/h		
		Nacisk na osie	25 kN	50 kN	100 kN	25 kN	50 kN	100 kN	25 kN	50 kN	100 kN	25 kN	50 kN
Rodzaj pociągu	25 kN	50 kN	100 kN	25 kN	50 kN	100 kN	25 kN	50 kN	100 kN	25 kN	50 kN	100 kN	
1.	Pendolino	1,5	0	-5,8	1,3	0	-4,9	1,4	0	-3,7	1,2	0	-3
2.	Dart	1,4	0	-5,7	1,4	0	-4,8	1,4	0	-3,7	1,2	0	-3
3.	IC/EC	1,2	0	-5,9	1,4	0	-4,9	1,4	0	-3,9	1,3	0	-3,4
4.	Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	1,3	0	-5,6	1,3	0	-4,6	1,3	0	-3,7	0	0	0
5.	Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	1,3	0	-5,4	1,3	0	-4,4	1,2	0	-3,3	0	0	0
6.	Towarowy	1,3	0	-5,6	1,3	0	-4,6	1,2	0	-3,4	0	0	0



Rys. 5-4 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnego nacisku na osie, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej)

Podsumowując należy zauważyć, że zarówno parametr chropowatości koła jak i nacisku osi istotnie wpływa na otrzymywane rezultaty modelowania. W przypadku chropowatości koła jest on związany z rodzajem hamulców stosowanych w pojazdach szynowych. Odpowiednie dobranie rodzaju hamulców jest zatem kluczowe, aby prawidłowo modelować hałas szynowy. Aby uniknąć błędu zaleca się stosowanie przyporządkowania przedstawionego w Tab. 5-5. W przypadku parametru jakim jest obciążenie osi, różnice w wartościach poziomu hałasu przy popełnieniu błędu w modelowaniu także są spore, z tego względu tutaj również zaleca się korzystanie z przyporządkowania przedstawionego w Tab. 5-5. W przypadku tego parametru sprawa jest jednak łatwiejsza z uwagi na to, że dla większości pojazdów kolejowych wartość parametru funkcji styku (nacisku na oś) wynosi 100kN, 920mm. W przypadku tramwajów należy przyjąć 50 kN, 680mm.

## 5.4 Torowiska

Rodzaj i stan torowiska, oprócz rodzaju pojazdów szynowych są głównym czynnikiem determinującym wielkość emisji hałasu. Infrastruktura torowisk jest niezwykle zróżnicowana ze względu na występowanie kilku istotnych elementów, decydujących o ich właściwościach akustycznych wpływających finalnie na moc akustyczną. Wymienić tutaj należy w szczególności:

- podkład torowiska,
- chropowatość główki szyny,
- typ przekładki szynowej,
- styki szyny,
- krzywizn,
- inne elementy torowiska zastosowane w celu np. ograniczenia emisji hałasu.

Dyrektywa definiuje wspólną terminologię stosowaną do identyfikacji poszczególnych typów torowisk oraz wykorzystaną w źródłowej bazie danych.

Mapy akustyczne w Polsce będą obejmować głównie linie normalnotorowe, tj. o szerokości 1435 mm i ich charakterystykę zawarto w kolejnych rozdziałach. Oprócz linii normalnotorowych można też wymienić linie szerokotorowe i wąskotorowe, które nie będą przedmiotem niniejszego katalogu z racji ich znikomego wykorzystania. Jednakże w przypadku konieczności uwzględniania tego rodzaju linii należy wykonać odrębne badania, których celem będzie odpowiednie dobranie parametrów modelu akustycznego. W przypadku torowisk tramwajowych w badaniach uwzględniono dwa rodzaje rozstawu szyn tj. 1435 oraz 1000 mm.

### 5.4.1 Przykłady typów torowisk występujących w Polsce

#### 5.4.1.1 Torowiska kolejowe

Jak wspomniano na wstępie do rozdziału 5.4, ilość rodzajów torowisk w kontekście dostępnych kombinacji ich poszczególnych elementów jest bardzo duża. W praktyce na większości linii kolejowych wymagających opracowania strategicznych map hałasu będzie ona ograniczona. W przypadku linii kolejowych najpowszechniej występują obecnie tory



na podsypce, na podkładach strunobetonowych lub drewnianych, spawane lub ze stykami, o zróżnicowanym poziomie utrzymania. Na zdjęciach (patrz: Rys. 5-5÷Rys. 5-9) przedstawiono najpowszechniejsze przykłady rozwiązań w zakresie konstrukcji torowiska.



Rys. 5-5 Typowe torowisko na podsypce tłuczniowej, bezstykowe, dobrze utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiźnie 500 – 300 m. Linia kolejowa nr 277, na terenie m. Opola, w km 0,917- km 1,119



Rys. 5-6 Typowe torowisko na podsypce, z >2 stykami na 100m, w standardowo utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiźnie 1000 – 500 m. Linia kolejowa nr 277, na terenie m. Opola, km 5,170 - 5,300



Rys. 5-7 Typowe torowisko na podsypce, z podkładami strunobetonowymi, z jednym stykiem na 100 m, standardowo utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na tuku o krzywiznie 1000 – 500 m. Linia kolejowa nr 277, tor 1, na terenie m. Opola, km 5,170 - 5,300



Rys. 5-8 Typowe torowisko na podsypce, z podkładami drewnianymi, z złączami spawanymi/zgrzewanymi, standardowo utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu. Linia kolejowa nr 132, tor 1, na terenie m. Opola



*Rys. 5-9 Typowe torowisko na podsypce tłuczniowej, bezstykowe, dobrze utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiznie 500 – 300 m. Linia kolejowa nr 144, na terenie m. Kolonowskie/Fosowskie, w km 175+300*

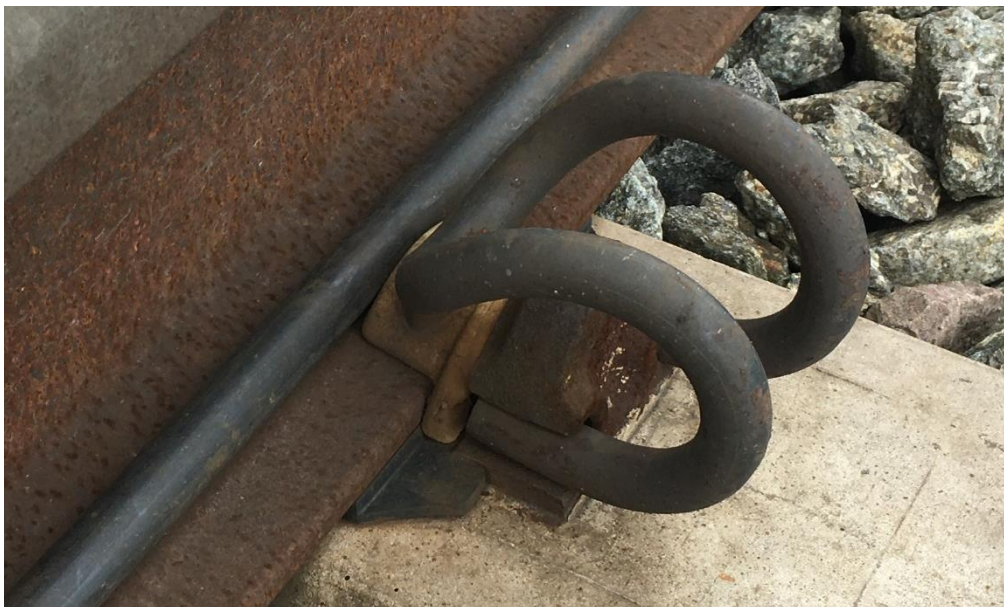
Każde z przedstawionych powyżej torowisk składa się z elementów które mają większy bądź mniejszy wpływ na poziom hałasu. W kolejnych akapitach opisano poszczególne z tych elementów występujące w Polsce.

### **Przekładki podszynowe w torowiskach kolejowych**

Dodatkowym elementem w budowie torowiska mającym wpływ na emisję hałasu podczas przejazdu składu kolejowego jest przekładka podszynowa. Przekładki z gumy lub tworzywa sztucznego układane są pomiędzy żebrami podkładki a stopką szyny. Zadaniem przekładki jest równomierne rozłożenie naprężenia pomiędzy stopką szyny a podkładką żebrową. Jednocześnie elastyczna przekładka zapobiega przesuwaniu się szyny wzdłuż osi toru. Przykłady przekładek pokazano na zdjęciach wykonanych podczas realizacji serii badań wykonywanych dla potrzeb niniejszego katalogu (Rys. 5-10 - Rys. 5-12)



Rys. 5-10 Przekładka podszynowa miękka (150 – 250 NM/m) z przytwierdzeniem sprężystym typu SB3. Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 144 w m. Fosowskie, woj. opolskie (km. 175+300)



Rys. 5-11 Przekładka podszynowa sztywna (800 – 1000 NM/m) z przytwierdzeniem sprężystym typu SB3. Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 136 w m. Gogolin, woj. opolskie (km. 17+700)



Rys. 5-12 Przekładka podszynowa miękka (150 – 250 NM/m). Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 132 w m. Tarnów Opolski, woj. opolskie (km. 85+600)

### Styki szyn, rozjazdy i krzyżowanie się torów

Jednym z kluczowych czynników jakie mają wpływ na poziom emisji hałasu podczas przejazdu pociągu jest sposób łączenia szyn, obecność rozjazdów oraz krzyżownic. Sposób łączenia szyn ma o tyle istotniejsze znaczenie, że wpływa na emisję hałasu na długich odcinkach linii kolejowej, natomiast rozjazdy i skrzyżowania szyn występują co prawda sporadycznie, nie mniej jednak najczęściej na terenach zabudowanych w sąsiedztwie dworców kolejowych tam, gdzie najczęściej znajdują się tereny chronione przed hałasem.

Współcześnie na większości odcinków linii kolejowych, gdzie prowadzony jest większy ruch składów przeprowadzone zostały modernizacje. Większość szyn jest obecnie łączona metodami korzystnymi z punktu widzenia ochrony przed hałasem. Są to tak zwane łączenia spawane lub zgrzewane (Rys. 5-8). Dzięki zachowaniu ciągłości zgrzanych lub zespawanych szyn, podczas przejazdu składu nie następuje dodatkowa emisja hałasu, która jest tak bardzo typowa dla połączeń klasycznych łubkowych (Rys. 5-8). Inaczej się ma sprawa przejazdów przez rozjazdy i skrzyżowania. Tutaj zazwyczaj dochodzi do nadmiernej emisji hałasu wywołanej stukiem. Przykładowe zdjęcia takich rozjazdów przedstawiono na Rys. 5-13 oraz Rys. 5-14.



Rys. 5-13 W oddali skrzyżowanie torów, a bliżej rozjazdy zwykłe (tor główny + tor zwrotny) na linii kolejowych 61 Kielce – Fosowskie i linii 144 Opole – Tarnowskie Góry



Rys. 5-14 Dwa rozjazdy zwykłe na torze prawym i jeden rozjazd zwykły na torze lewym (tor główny + tor zwrotny). Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 132 w m. Tarnów Opolski, woj. opolskie (km. 85+600)

### Chropowatość główki szyny

Chropowatość główki szyny jest kolejnym czynnikiem, jak ma wpływ na emisję hałasu podczas przejazdu składu kolejowego. Im większa chropowatość tym większa emisja hałasu

i odwrotnie – im mniejsza chropowatość tym cichsze przejazdy pociągów. Większa chropowatość powierzchni szyny przyczynia się także do szybszego zużycia torowiska, w związku z czym reprofilacja szyn jest czynnością dającą podwójną korzyść.

Dobłą praktyką dla potrzeb opracowania strategicznych map hałasu byłoby pozyskanie od zarządzającego linią kolejową danych charakteryzujących chropowatość szyn. O ile badania chropowatości są prowadzone na bieżąco i podejmowane są decyzje o konieczności przeprowadzenia reprofilacji to obecnie nie ma spójnej bazy danych zawierającej informacje z prowadzonych badań. Parametr chropowatości jest niemożliwy do określenia bez specjalistycznego sprzętu.

### **Promień łuku kołowego**

Kolejną cechą torowiska, która ma wpływ na emisję hałasu jest promień łuku kołowego który w tabeli 2.3.b, kolumna 6 dyrektywy, został opisany jako krzywizna (promień krzywizny w m). Przykładowe łuki pokazano na fotografiach: Rys. 5-9 –  $r$  w zakresie 500 – 300 m, Rys. 5-15 –  $r$  w zakresie 1000 – 500 m. Łuki o promieniu  $<300$  m w przypadku torów kolejowych występują tylko w wyjątkowych sytuacjach dużo częściej w przypadku torowisk tramwajowych (Rys. 5-20).

Promień łuku wpływa na wielkość emisji hałasu, ale nie jest to zależność w każdym przypadku prosta do uwzględnienia w modelu obliczeniowym. Pomimo obecności łuku nie zawsze przejazd składu charakteryzuje się charakterystycznymi piskami wywołanymi tarciem powierzchni koła o powierzchnię szyny.

Badania przeprowadzone dla potrzeb realizacji Katalogu na przykładowym łuku o promieniu  $300 < r < 500$  m, w przypadku pasażerskich zespołów trakcyjnych czy pociągów IC/EC, nie wskazywały na konieczność przyjęcia poprawki. Natomiast w przypadku składów towarowych konieczność przyjęcia poprawki także była wątpliwa. Dla przejeżdżających składów uzyskano bardzo zbliżone ekspozycyjne poziomy hałasu jak w przypadku ruchu po linii prostej z analogiczną prędkością. Nie jest to jednak reguła, którą można uogólnić. W przypadku torowisk tramwajowych, zjawisko pisków na łukach występuje bardzo często co potwierdzają badania przeprowadzone w ramach realizacji Katalogu (załącznik VII). Z tego też względu zaleca się, aby w lokalizacjach newralgicznych tj. łączących obecność łuku torowego i terenów chronionych przed hałasem, lokalizować punkty pomiaru hałasu dla potrzeb walidacji modelu obliczeniowego oraz przyjęcie stosowanych poprawek o ile taka konieczność wynikanie z badania.



Rys. 5-15 Łuk torowiska  $r < 500$  m na linii kolejowej nr 61 Kielce – Fosowskie, m. Fosowskie, woj. opolskie (km. 175+300) z poprzecznym pochyleniem toru umożliwiającym pokonywanie łuku z większą prędkością

#### 5.4.1.2 Torowiska tramwajowe

W przypadku torowisk tramwajowych zróżnicowanie w zakresie budowy jest podobne jak w przypadku torowisk kolejowych. Elementy stosowane do ich budowy są podobne. Jako różnicę należy podać rodzaj szyny, która znajduje zastosowanie przy budowie torowisk tramwajowych tzw. szyna rowkowa. W metodyce CNOSSOS nie różnicuje się jednak torowisk z uwagi na tę cechę. Dodatkowo w przypadku torowisk tramwajowych często występuje zabudowanie przestrzeni pomiędzy szynami przez płyty betonowe, asfalt lub ziemię z nasadzeniem roślinnym. Na poniższych zdjęciach przedstawiono przykłady torowisk tramwajowych występujących w Polsce.



Rys. 5-16 Torowisko tramwajowe zielone w otulinie gumowej – rozstaw szyn 1435 mm





Rys. 5-17 Torowisko tramwajowe standardowe – rozstaw szyn 1435 mm



Rys. 5-18 Torowisko tramwajowe zabudowane – tzw. w jezdni – rozstaw szyn 1435 mm



Rys. 5-19 Torowisko tramwajowe zabudowane z szyną w otulinie gumowej – rozstaw szyn 1435 mm



Rys. 5-20 Łuk torów tramwajowych o promieniu  $r < 300\text{m}$  – rozstaw szyn 1435 mm



Rys. 5-21 Torowisko tramwajowe zabudowane zielenią – rozstaw szyn 1000 mm

## 5.4.2 Dobór elementów nawierzchni kolejowej w programie obliczeniowym

Oprogramowanie implementujące metodykę obliczeniową CNOSSOS-EU posiadają możliwość zdefiniowania tych parametrów charakteryzujących torowisko, które mają wpływ na wielkość emisji hałasu. Informacja o rodzaju podkładu, chropowatości szyny, sposobie łączenia szyn i ich ewentualnych promieniach łuków powinny być pozyskane od zarządzającego infrastrukturą. Część z powyższych parametrów może być określona w oparciu o wizję lokalną lub dokumentację fotograficzną/fotografie lotnicze. Charakterystyka przykładowych rodzajów torowisk występujących najczęściej na odcinkach linii kolejowych podlegających mapowaniu przedstawiona została w rozdziale 5.4.1 i może posłużyć do identyfikacji poszczególnych rozwiązań w terenie. Jednakże ze względu na licznosc poszczególnych rodzajów elementów konstrukcji linii kolejowych (np. przekładek szynowych) rozpoznanie poszczególnych rozwiązań może być zadaniem nietatwym i generującym błędy.

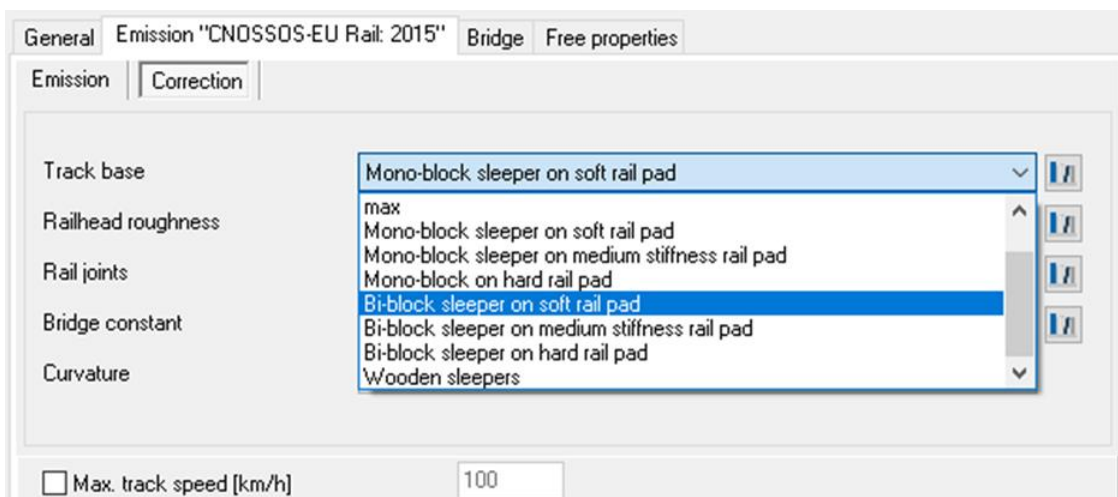
Zgodnie z metodyką CNOSSOS-EU torowisko na każdym jednorodnym odcinku jest definiowane przez następujące parametry:

- rodzaj torowiska (track base, więcej w rozdziale 5.4.2.1),
- chropowatość szyny (railhead roughness, więcej w rozdziale 0),
- sposób łączenia szyn lub rozjazdu i skrzyżowania (rail joints, więcej w rozdziale 5.4.2.3),
- łuku torowiska (curvature, więcej w rozdziale 5.4.2.4),
- torowisko na moście (bridge constant, więcej w rozdziale 5.4.2.5),

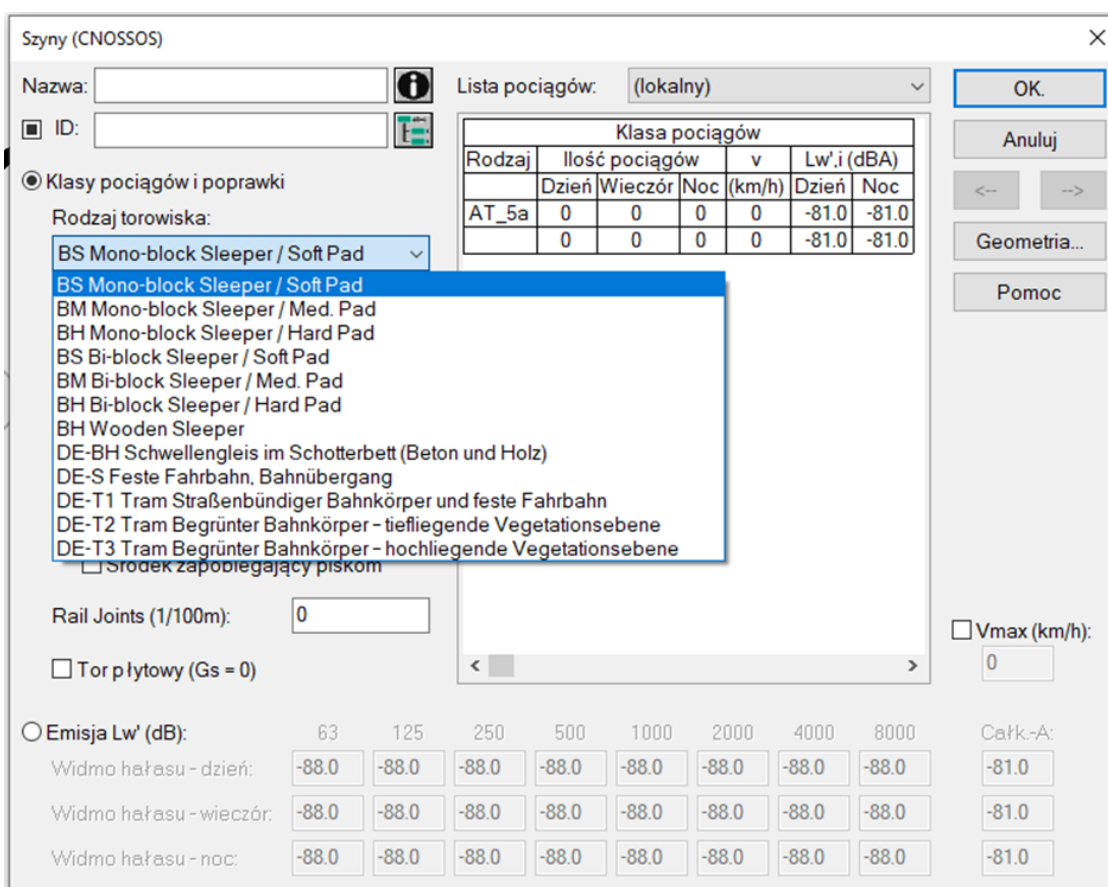
W kolejnych podrozdziałach omówiono dobór poszczególnych parametrów elementów nawierzchni kolejowej

### 5.4.2.1 Dobór rodzaju torowiska i przekładki torowej

Do określenia rodzaju torowiska niezbędne są informacje o rodzaju podkładów użytych do budowy danego odcinka linii kolejowej czy tramwajowej oraz rodzaju przekładki torowej pomiędzy szyną a podkładem. Informacje te posiadają zazwyczaj poszczególne zakłady kolejowe odpowiedzialne za torowiska na danym obszarze, a w przypadku linii tramwajowych zarządzający tymi liniami. Określenie rodzaju podkładu można wykonać także w oparciu o zdjęcia satelitarne lub wizję lokalną. W przypadku braku informacji o rodzaju podkładki torowej zaleca się stosowanie ustawienia (Rys. 5-22 - Rys. 5-23) „medium rail pad” lub ustawienia, które w procesie kalibracji modelu akustycznego daje najlepsze dopasowanie.



Rys. 5-22 Sposób wyboru rodzaju podtorza dla jednorodnego odcinka linii kolejowej w programie SoundPlan



Rys. 5-23 Sposób wyboru rodzaju podtorza dla jednorodnego odcinka linii kolejowej w programie CadnaA

#### 5.4.2.2 Dobór parametru chropowatości

W rozdziale 5.4.1 podano, że nie jest prowadzona ogólna baza dotycząca chropowatości powierzchni szyn. Metodyka CNOSSOS daje możliwość wyboru chropowatości z czterech wariantów:

E – nawierzchnia dobrze utrzymana i bardzo gładka

M – nawierzchnia standardowo utrzymana

N – nawierzchnia nieprawidłowo utrzymana

B – nawierzchnia niekonserwowana i w złym stanie technicznym

W przypadku gdy analizowanego odcinka toru nie jest znany rodzaj parametru chropowatości zaleca się stosować wartość M tego parametru tj. nawierzchnia standardowo utrzymana. Z pomiarów przeprowadzonych w ramach przygotowania niniejszego katalogu wynika, że stosowanie parametru chropowatości „M” dawało rezultaty zbliżone do tych mierzonych na wszystkich poligonach pomiarowych. Analiza błędu powstającego przy nieprawidłowo dobranej poprawce na chropowatość szyny została przedstawiona w rozdziale 5.4.3.

#### 5.4.2.3 Dobór liczby połączeń szyn na 100 m toru

Połączenia szyn, zwrotnice i skrzyżowania torów mają istotny wpływ na poziom emisji hałasu podczas przejazdu pociągu. W przypadku połączeń szyn wzrost emisji hałasu występuje na całej długości linii kolejowej na jakiej dany typ połączenia występuje. W przypadku wszelkiego typu zwrotnic i skrzyżowań torów dodatkowa emisja hałasu występuje lokalnie.

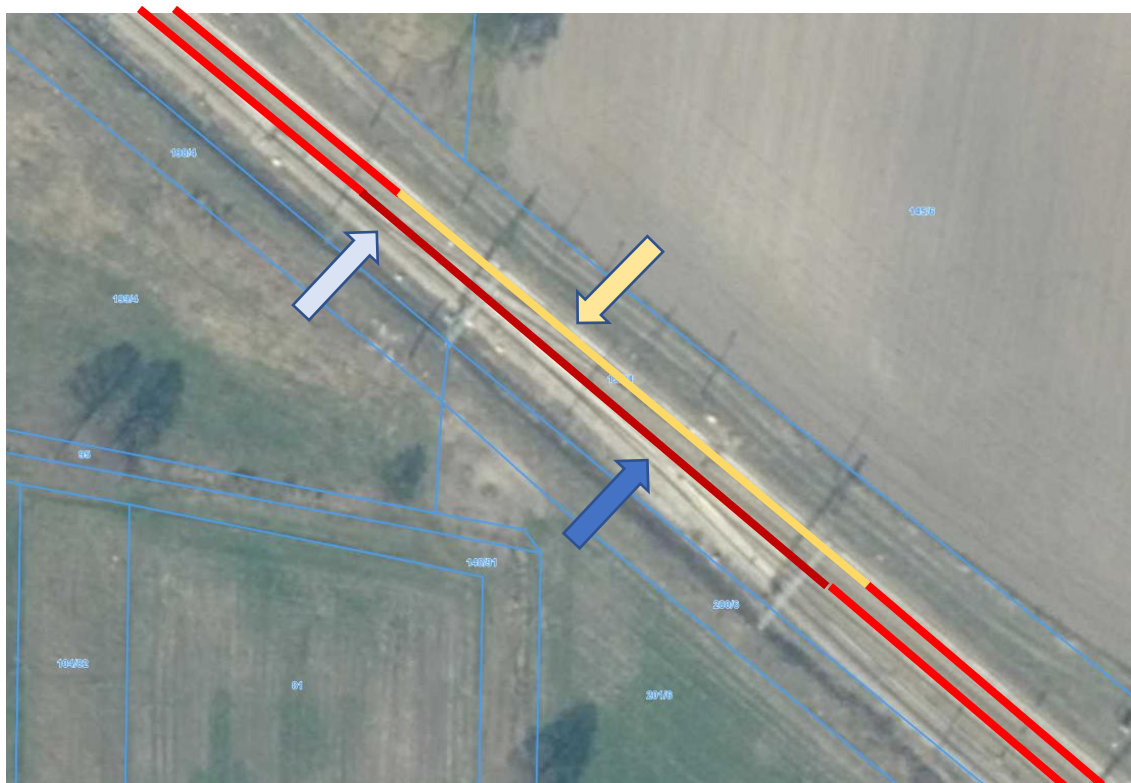
We wszystkich opisanych powyżej przypadkach istotna jest statystyczna liczba połączeń, zwrotnic bądź skrzyżowań występujących na 100 metrach toru. W szczególnych, ale nierzadkich przypadkach, tory główne na tym samym odcinku linii kolejowej mogą mieć różną liczbę połączeń, a co za tym idzie różną moc akustyczną. Przykładowy fragment takiego torowiska pokazano na zdjęciu (Rys. 5-24), gdzie na południowym torze znajdują się dwa rozjazdy natomiast na torze północnym jeden rozjazd. Szyny łączone są metodą spawania lub spiekania, nie występują łączenia łubkowe. W opisanej sytuacji model obliczeniowy powinien zawierać dwa odrębne liniowe źródła dźwięku reprezentujące tor południowy i północny. Tory powinny zostać zdefiniowane jako bezстыkowe, natomiast w obrębie obu torów należy wyodrębnić po jednym 100 metrowym odcinku charakteryzującym się:

- w przypadku toru północnego: jednym stykiem szyny lub zwrotnicą
- w przypadku toru południowego: dwoma stykami szyny lub zwrotnicami)

Przedstawiona sytuacja powinna zostać zamodelowana w sposób zilustrowany kolorami poszczególnych fragmentów torowiska na rysunku (Rys. 5-24). Jasnym kolorem czerwonym oznaczono fragmenty torów charakteryzujące się brakiem połączeń i rozjazdów. Kolorem pomarańczowym oznaczono 100 m fragment toru, na którym występuje jeden rozjazd, natomiast kolorem bordowym oznaczono 100 m fragment toru, na którym występują dwa rozjazdy.

Jeżeli odległość pomiędzy dwoma rozjazdami na torze południowym byłaby większa niż 100 m, sytuacja musiałaby być zamodelowana w inny sposób. Należałoby wyznaczyć odcinek o długości 200 m i przypisać mu atrybut 1 połączenia/rozjazdu na 100 m.

Liczba rozjazdów na 100 metrów toru w niektórych przypadkach można wyznaczyć poprzez analizę ortofotomap o odpowiednio dużej rozdzielczości. W większości przypadków, w szczególności przy ocenie liczby połączeń szyn metodą klasyczną (łubkową) należy jednak wystąpić do zarządzającego infrastrukturą o udostępnienie odpowiednich danych, bądź też wykorzystać materiały projektowe o ile takie będą dostępne. Nie ma możliwości zidentyfikowania ilości połączeń szyn wyłącznie w oparciu o ortofotomapy.



Rys. 5-24 Sposób wyznaczenia liczby połączeń, rozjazdów lub skrzyżowań na 100 m torowiska. Tory spawane bez połączeń klasycznych. Tor lewy z dwiema zwrotnicami, tor prawy z jedną zwrotnicą

#### 5.4.2.4 Dobór promienia krzywizny toru

Torowisko, w płaszczyźnie poziomej może posiadać odcinki proste, w łuku kołowym lub w łuku z krzywymi przejściowymi. Z punktu widzenia emisji hałasu istotne jest zdefiniowane w modelu obliczeniowym odcinków z łukami o promieniu  $< 500$  m. Zgodnie z metodyką obliczeniową CNOSSOS-EU, pozioma krzywizna pozioma toru jest przyczyną dodatkowej emisji hałasu, powstającego podczas ślizgania się kół po powierzchni toru. Im mniejszy promień łuku tym emisja hałasu może być znacząco większa. Metodyka wyróżnia następujące przypadki:

- proste odcinki torów (krzywizna nie występuje), poprawka = 0 dB,
- łuki o małym promieniu  $r < 300$  m, poprawka = 8 dB,
- łuki o średnim promieniu  $300 < r < 500$  m, poprawka = 5 dB,
- łuki o dużym promieniu  $r > 500$  m, poprawka = 0 dB.

Należy jednak podkreślić, że informacja o samej obecności łuku nie jest jeszcze wystarczająca, aby do odcinka toru przypisać poprawkę zwiększającą jego moc akustyczną. Występowanie pisków jest uzależnione bowiem od szeregu innych czynników, w tym prędkości składu, warunków tarcia, geometrii pojazdów tworzących skład kolejowy i dynamiki układu tor – koła. Z tego też względu założenie z góry, że na każdym łuku, każdy rodzaj składu będzie powodować dodatkowy hałas jest błędne i może prowadzić do znacznego przeszacowania oddziaływania akustycznego linii kolejowej. Do dobrej praktyki powinno należeć wykonywanie pomiarów hałasu kolejowego w każdej lokalizacji w jakiej współistnieją łuki o  $r < 500$  m i tereny chronione przed hałasem. Wyniki tych badań powinny być przedmiotem dogłębnej analizy, która

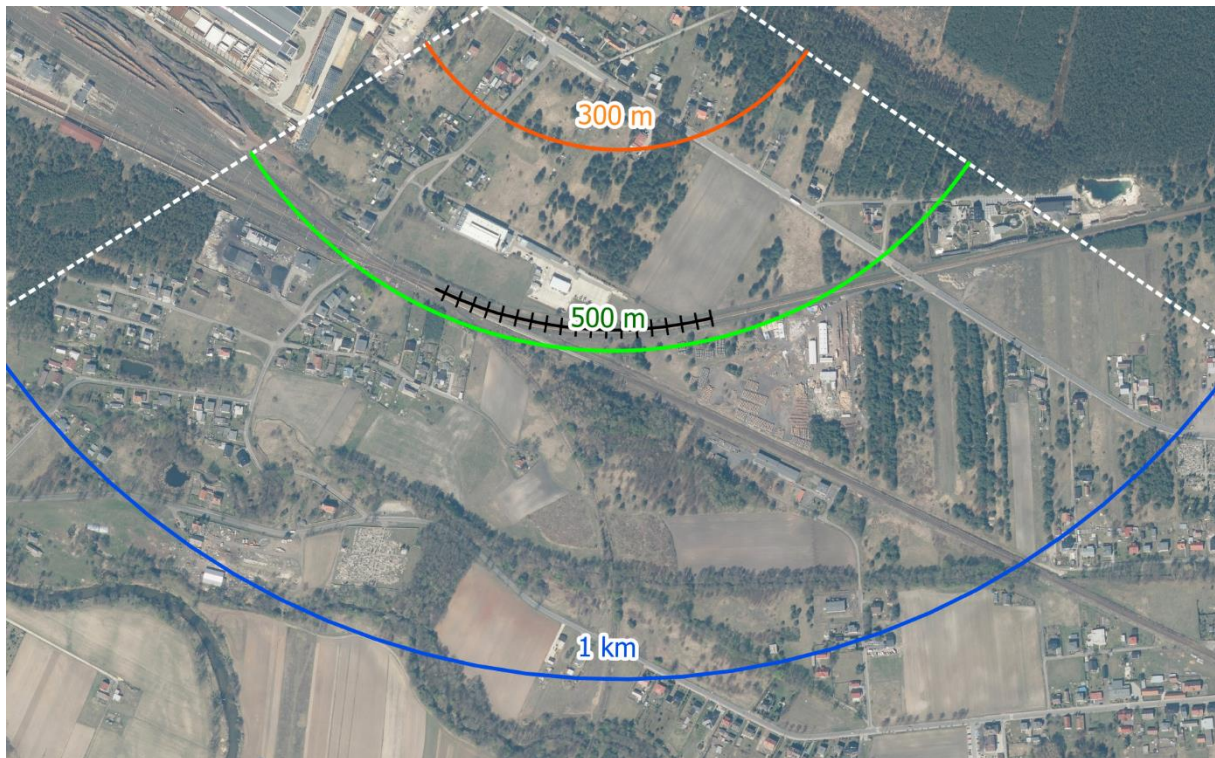
powinna odpowiedzieć na pytanie, czy przyjęcie poprawki w każdym indywidualnym przypadku (łuk / rodzaj składu / prędkość składu) jest uzasadnione.

Informacja na temat krzywizn łuków może być pozyskana w drodze pomiaru na dostępnych opracowaniach mapowych, ortofotomapach (porównaj Rys. 5-25 ÷ Rys. 5-27). Źródłem danych dotyczących krzywizn mogą być także opracowania projektowe, o ile są dostępne. Wyznaczenie krzywizny we własnym zakresie, zwłaszcza w przypadku łuków z krzywymi przejściowymi może stanowić problem techniczny i wymagać specjalistycznego oprogramowania, z tego względu zaleca się, aby dane dotyczące łuków na poszczególnych odcinkach linii kolejowych dostarczał zarządzający infrastrukturą.

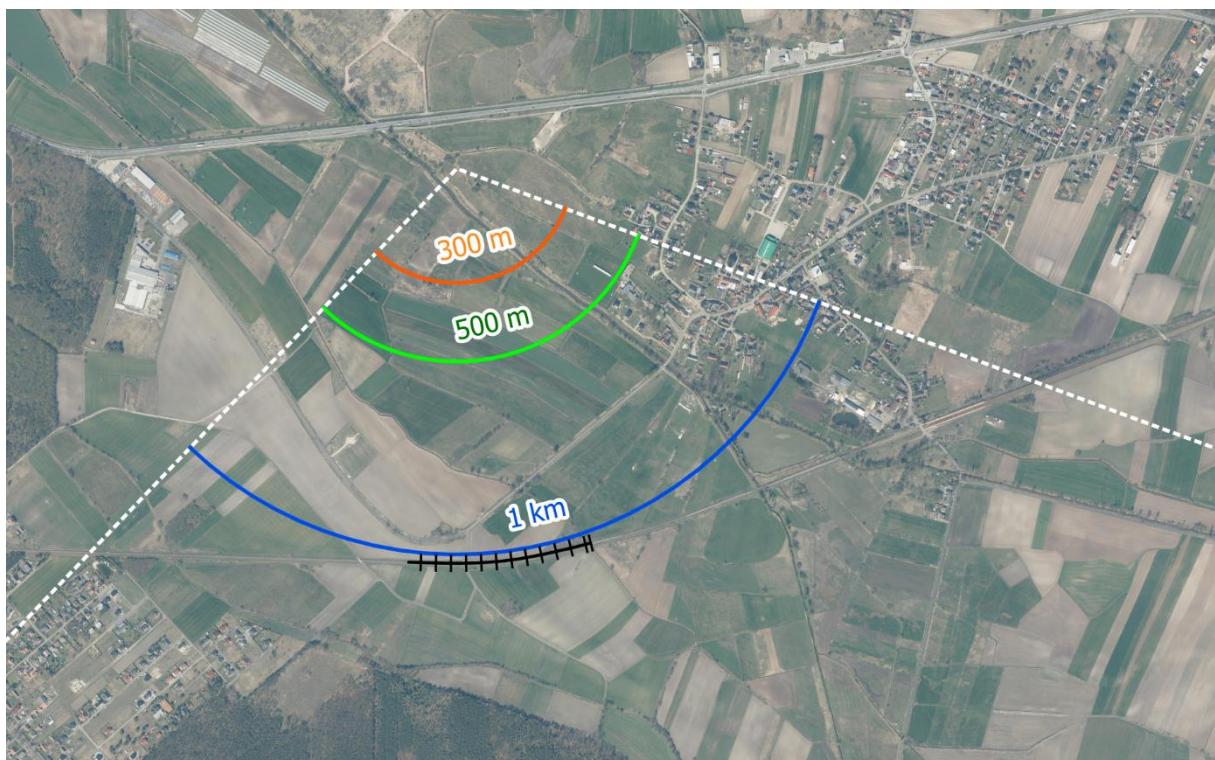
Dodatkowe informacje praktyczne, w tym omówienie wyników badań hałasu kolejowego na przykładowym łuku na linii kolejowej nr 61 (m. Kolonowskie/Fosowskie), o promieniu  $500 > r > 300$  m, przedstawiono w załączniku VII.



Rys. 5-25 Przykład torowiska o promieniu mniejszym niż 300 m



Rys. 5-26 Przykład torowiska o promieniu w zakresie 300-500 m



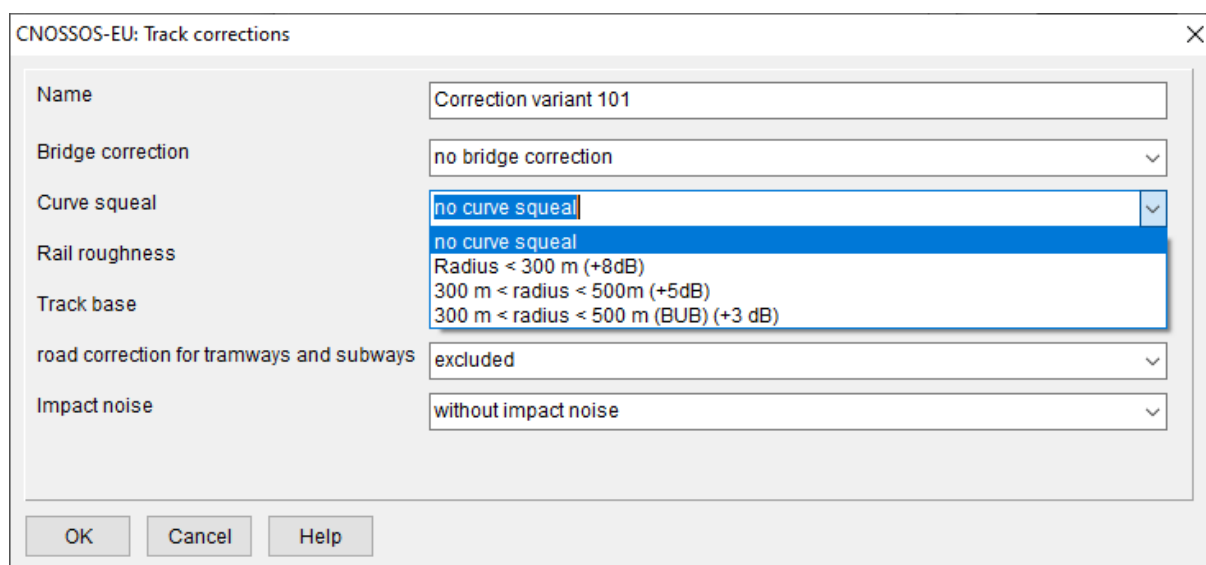
Rys. 5-27 Przykład torowiska o promieniu większym niż 1 k m



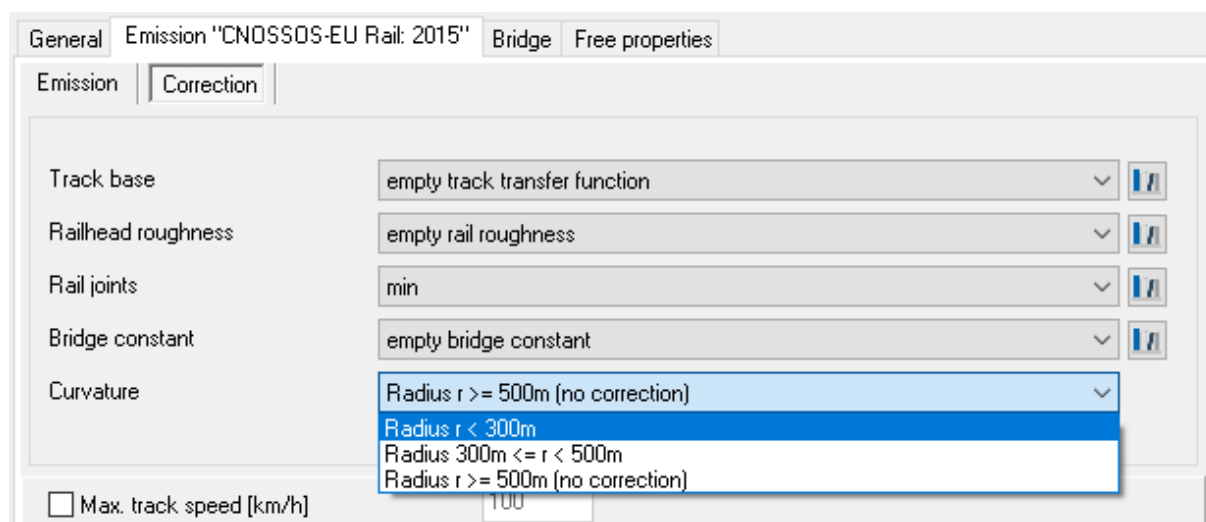
## Implementacja poprawki na krzywiznę toru w programach obliczeniowych

Pakiety programów wykorzystywane do realizacji strategicznych map hałasu posiadają możliwość wyboru odpowiedniej wartości poprawki dla poszczególnych kategorii krzywizn torów. W zależności od rodzaju oprogramowania, poza poprawkami zdefiniowanymi w metodyce obliczeniowej, mogą być także dostępne poprawki uwzględniające inne uwarunkowania występujące na odcinku krzywizny torowiska (patrz: Rys. 5-28 i Rys. 5-29).

Poprawka związana z krzywizną wprowadzana jest jako atrybut odcinka linii kolejowej, którego długość powinna obejmować co najmniej 50 metrów źródła dźwięku reprezentującego torowisko.



Rys. 5-28 Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia poprawki dla krzywizny linii kolejowej w programie IMMI (v. 2020)



Rys. 5-29 Okno dialogowe wprowadzania poprawki dla tuku linii kolejowej w programie SoundPlan (v. 8.2)

#### 5.4.2.5 Dobór rodzaju mostu lub wiaduktu

Obiekty mostowe mogą w wielu przypadkach powodować dodatkowy hałas podczas przejazdu składu kolejowego. Dzieje się tak głównie w przypadku mostów stalowych, ale także mosty betonowe/murowane mogą generować dodatkowy hałas. Przykładowe mosty o różnej technologii wykonania przedstawiono na poniższych fotografiach: most stalowy - Rys. 5-30, mosty betonowe Rys. 5-31 i Rys. 5-32 oraz most Rys. 5-33.



Rys. 5-30 Most kolejowy stalowy z torem na podsypce, podkładami drewnianymi, stykowymi połączeniami torów, zlokalizowany na linii 132 w km 99+634, m. Opole



Rys. 5-31 Współczesny most betonowy. Linia kolejowa nr 132 na wysokości Lewina Brzeskiego, woj. opolskie



Rys. 5-32 Współczesny most betonowy. Linia kolejowa nr 132 na wysokości Lewina Brzeskiego, woj. opolskie



Rys. 5-33 Most kolejowy betonowy/kamienny

Zgodnie z opisem zawartym we Wytycznych GIOŚ, położenie torowisk kolejowych i tramwajowych wraz z identyfikacją ich podstawowych parametrów (m.in.: szerokość, elektryfikacja, położenie, liczba torów) zawarte jest w bazie BDOT10k, udostępnianej bezpłatnie poprzez platformę Geoportal. Warstwa SKTR dotycząca torów lub zespołów torowisk zawiera liczne parametry charakteryzujące poszczególne odcinki torowisk, w tym także informację o przebiegu torowiska powyżej poziomu terenu – atrybut ‘położenie’ przyjmuje wartości większe od zera oznaczające kolejny poziom w przypadku obiektów inżynierskich wielopoziomowych lub krzyżujących się (np. wartość 1 oznacza pierwszy poziom obiektu, a wartość 2 drugi poziom licząc od powierzchni terenu). Zatem wartość tego atrybutu pozwala w prosty sposób zidentyfikować fragmenty torowisk przebiegające na obiektach inżynierskich: estakadach, mostach czy wiaduktach, które wymagają szczególnego uwzględnienia w modelu obliczeniowym. Przejazd pociągu po obiekcie inżynierskim wiąże się z dodatkową emisją hałasu generowanego przez pobudzoną do drgań konstrukcję obiektu. Wielkość tej emisji uzależniona jest od rodzaju konstrukcji (masywna – betonowa, kamienna,

ceglana lub lekka – stal) oraz typu torowiska na obiekcie i sposobu połączenia szyn z konstrukcją.

Metodyka CNOSSOS-EU dla odcinków torów przebiegających na obiektach inżynierskich uwzględnia hałas generowany przez konstrukcję tych obiektów powstający w wyniku pobudzenia do drgań w trakcie przejazdu pociągu. Ta dodatkowa emisja hałasu w metodyce w wersji z Dyrektywy 2015/996 ujęta została w postaci jednoliczbowej – niezależnej od częstotliwości – funkcji  $C_{bridge}$ , uwzględnianej w poziomie mocy akustycznej hałasu toczenia:

$$L_{W,0,rolling-and-bridge,i} = L_{W,0,rolling,i} + C_{bridge} \quad \text{Równanie 5-2}$$

Poprawka ta przyjmuje wartości:

- 1 dB – dla konstrukcji masywnych;
- 4 dB – dla konstrukcji stalowych.

Liczne badania, również przedstawione w załączniku VII, oraz publikacje wskazują, że ww. poprawka jest zbyt dużym uproszczeniem i nie odzwierciedla rzeczywistej emisji hałasu związanej z przejazdem pociągu przez obiekt inżynierski. W rzeczywistości wartość poprawki  $C_{bridge}$  wahać się może w granicach od 0 do 9 dB. W wielu przypadkach przyjęcie jednej z dwóch wartości poprawki zaproponowanej w metodyce może być trafne, nie mniej jednak w szeregu przypadków poprawki te mogą nie być adekwatne. Poprawne przyjęcie poprawki  $C_{bridge}$  jest szczególnie istotne na terenach zurbanizowanych chronionych. W takich sytuacjach zalecane jest wykonanie badań akustycznych do walidacji modelu obliczeniowego właśnie w sąsiedztwie obiektu mostowego i wykorzystanie wyników do przyjęcia indywidualnej dla danego mostu poprawki  $C_{bridge}$ . W przypadku mostów położonych poza terenami chronionymi, uzasadnione jest przyjęcie poprawki bez jej weryfikacji pomiarowej, ponieważ nie będzie się to przekładać na finalną jakość mapy akustycznej, a w szczególności na dokładność opracowanych w oparciu danych statystycznych o zagrożeniu hałasem.

W publikacji „Amendments for CNOSSOS-EU Description of issues and proposed solutions”,<sup>3</sup> stanowiącej bezpośrednią podstawę procedowanych aktualnie zmian w Dyrektywie 2015/996 zdefiniowano odrębną funkcję przenoszenia hałasu przez most ( $L_{W,0,bridge,i}$ ) a także funkcję przenoszenia hałasu przez torowisko ( $L_{H,TR,i}$ ) montowane bez podsypki na konstrukcji obiektów. Zmiany te nie są aktualnie zaimplementowane w programach obliczeniowych i w przypadku funkcji przenoszenia hałasu przez most nie można tego uzupełnić samodzielnie – wymaga to zmiany algorytmów wyznaczania całkowitego poziomu mocy akustycznej danego odcinka toru. Niemniej, użytkownik oprogramowania może wprowadzić do bibliotek programu funkcję przenoszenia hałasu przez torowisko zgodną z procedowanymi zmianami metodyki CNOSSOS-EU, którą przedstawiono w Tab. 5-16.

Tab. 5-16 Wartości funkcji przenoszenia hałasu przez torowisko bezpośrednio montowane na obiekcie inżynierskim

Częstotliwość	D
	Bezpośredni montaż na mostach
50 Hz	75,4
63 Hz	77,4
80 Hz	81,4
100 Hz	87,1
125 Hz	88,0
160 Hz	89,7
200 Hz	83,4
250 Hz	87,7
315 Hz	89,8
400 Hz	97,5
500 Hz	99,0
630 Hz	100,8
800 Hz	104,9
1000 Hz	111,8
1250 Hz	113,9
1600 Hz	115,5
2000 Hz	114,9
2500 Hz	118,2
3150 Hz	118,3
4000 Hz	118,4
5000 Hz	118,9
6300 Hz	117,5
8000 Hz	117,9
10000 Hz	118,6

Zgodnie z powyższym, aby w miarę możliwości poprawnie odwzorować w modelu akustycznym emisję hałasu szynowego na obiektach inżynierskich w aktualnej wersji metodyki CNOSSOS konieczna jest informacja o typie obiektu (masywny, stalowy) i technologii położenia na nim torowiska (na podsypce, bezpośredni montaż na konstrukcji obiektu).

Ogólnodostępne repozytoria danych przestrzennych i danych o liniach kolejowych nie zawierają niestety informacji o szczegółowej budowie torowiska, niemniej pomocna może się okazać warstwa BUIN bazy BDOT10k dotycząca budowli inżynierskich. Zawiera ona atrybuty:

- ‘x\_kod’ identyfikujący estakady (wartość atrybutu *BUIN01*), mosty (*BUIN03*) oraz wiadukty (*BUIN07*);
- ‘rodzajKomunikacji’ identyfikujący torowisko kolejowe (wartość atrybutu *kl*) i tramwajowe (*tr*);
- ‘materialKonstrukcyjnyPomostu’ wskazujący na budowę z betonu (*Bt*), cegły (*Cg*), kamienia (*Km*), stali (*St*) lub żelbetu (*Zb*),

pozwalające zidentyfikować rodzaj konstrukcji obiektu i przyjąć w programie obliczeniowym odpowiednią wartość poprawki  $C_{bridge}$ .

Sposób położenia torowiska na podeście obiektu inżynierskiego określić można jedynie w oparciu o dostępne ortofotomapy (Rys. 5-34) lub poprzez wizję lokalną.

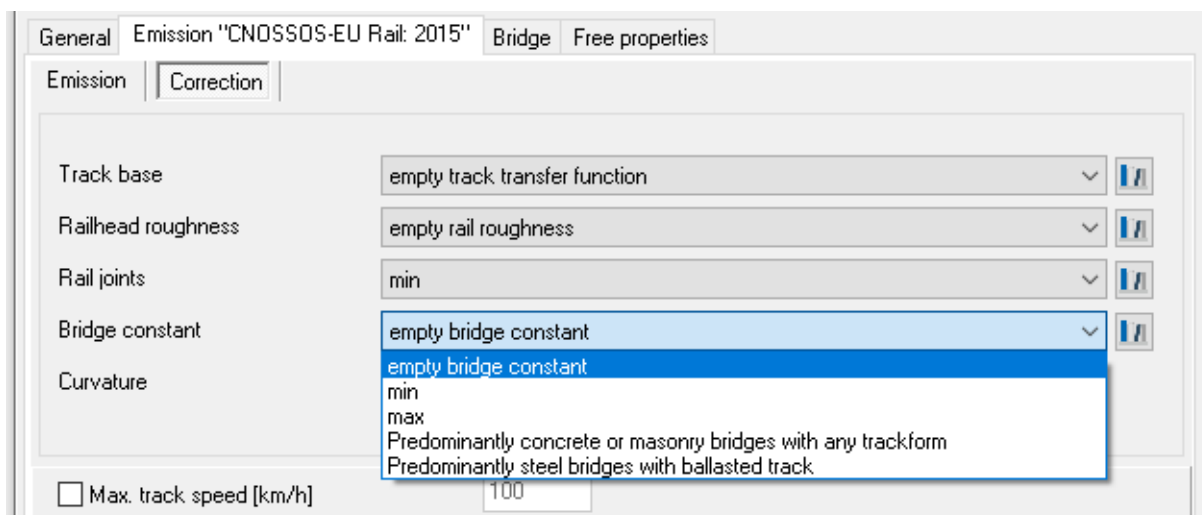


Rys. 5-34 Przykłady torowiska bezpośrednio montowanego na konstrukcji obiektu; źródło: geoportal.gov.pl

Należy podkreślić, że poprawka  $C_{bridge}$  w aktualnej wersji metodyki CNOSSOS jest zwykłą różnicą pomiędzy hałasem generowanym przez pociąg przejeżdżający przez obiekt inżynierski oraz poza tym obiektem, stąd też może być określana poprzez bezpośrednie pomiary kalibracyjne w przekroju obiektu i poza nim. Takie pomiary zaleca się wykonać zwłaszcza w sytuacjach, gdy hałas mostu/wiaduktu/estakady jest szczególnie istotny z uwagi na bliskość terenów podlegających ochronie przed hałasem lub/i skargi mieszkańców.

### Implementacja poprawki $C_{bridge}$ w programach do obliczeń akustycznych

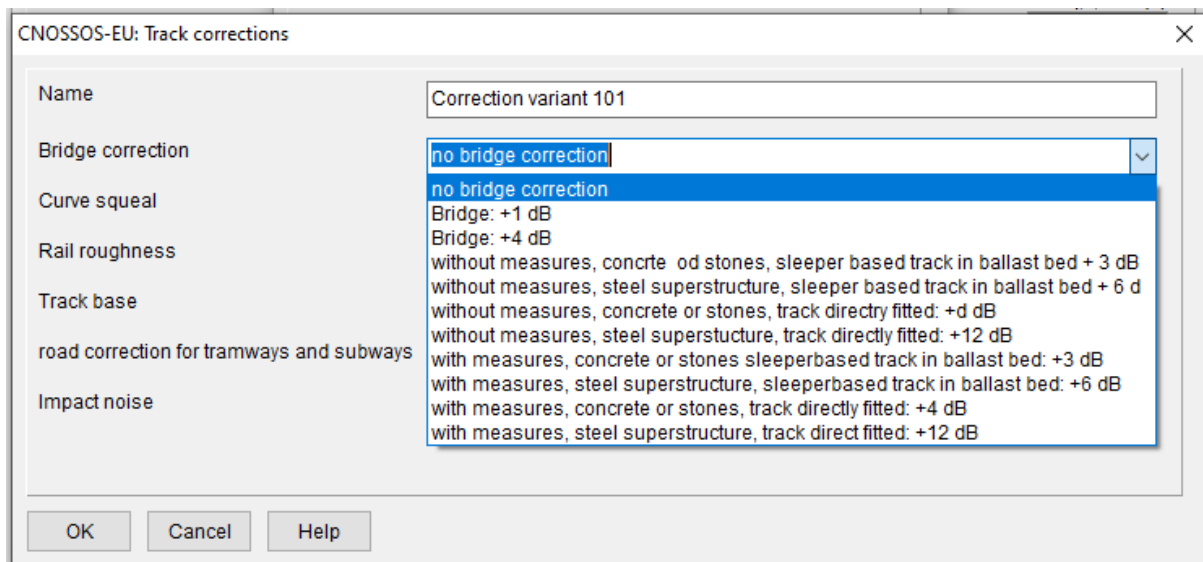
Pakiety programów wykorzystywane do realizacji strategicznych map hałasu posiadają możliwość wyboru odpowiedniej wartości poprawki  $C_{bridge}$  dla poszczególnych kategorii mostów. W zależności od rodzaju oprogramowania, poza poprawkami zdefiniowanymi w metodyce obliczeniowej, dostępne są także poprawki dla innych rodzajów nawierzchni oraz ewentualnych środków ochrony przed hałasem zastosowanych na linii kolejowej, na odcinku mostu. Przykładowe rozwiązania w tym zakresie pokazano na rysunkach (Rys. 5-35 ÷ Rys. 5-37)



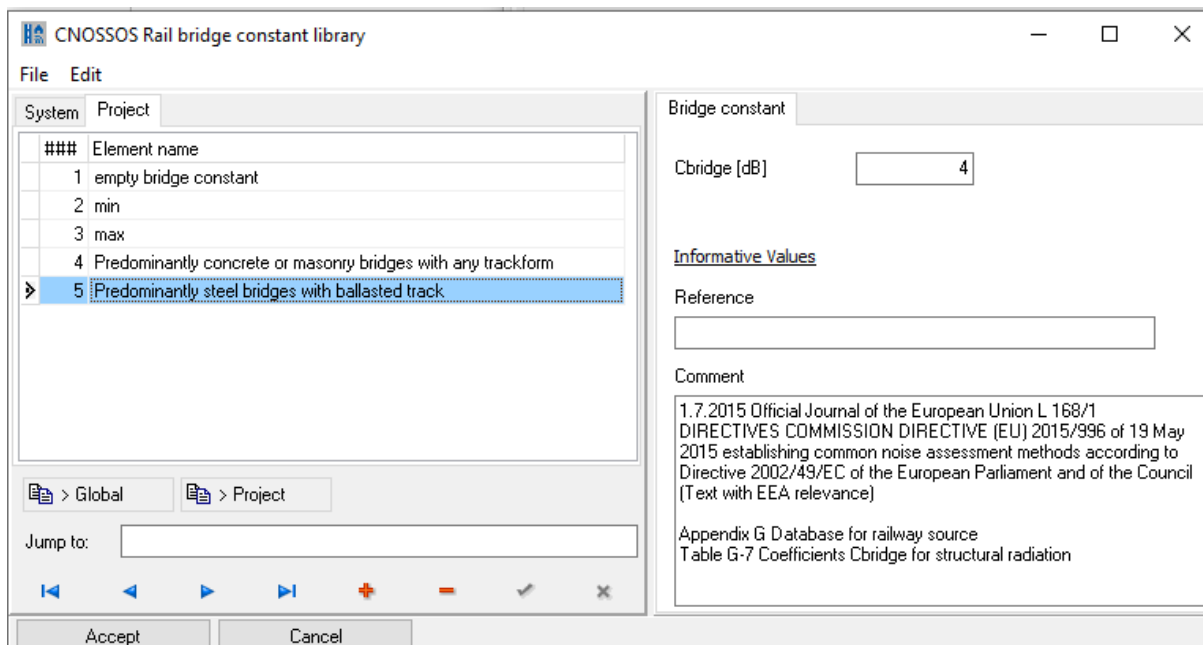
Rys. 5-35 Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia poprawki  $C_{bridge}$  dla odcinka linii kolejowej w programie SoundPlan (v. 8.2)

We wszystkich przypadkach pakiety oprogramowania dają możliwość wyboru poprawek standardowych przewidzianych metodą CNOSSOS-EU. W wielu przypadkach zaimplementowano także poprawki opracowane dla warunków krajowych (np. niemieckich).

Oprócz tego możliwe jest wprowadzenie poprawek zdefiniowanych przez użytkownika. Opcja ta powinna być wykorzystywana w szczególności tam, gdzie dostępne będą badania hałasu prowadzone przy obiektach mostowych i możliwe będzie określenie niezbędnej wartości poprawki  $C_{bridge}$ . Przykład okna dialogowego pozwalającego na wprowadzenie niestandardowej poprawki pokazano na rysunku poniżej (Rys. 5-37).



Rys. 5-36 Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia poprawki  $C_{bridge}$  dla odcinka linii kolejowej w programie IMMI (v. 2020)



Rys. 5-37 Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia dowolnej poprawki  $C_{bridge}$  dla odcinka linii kolejowej w programie SoundPlan v. 8.2

#### 5.4.2.6 Urządzenia redukujące emisję hałasu kolejowego stosowane w Polsce

Środki ochrony przed hałasem można podzielić w sposób najbardziej ogólny na te, które ograniczają powstawanie hałasu (minimalizują moc akustyczną źródła), ograniczają propagację hałasu w środowisku na drodze źródło - odbiornik lub chronią samo odbiornik (np. budynki mieszkalne).

Ostatnia grupa metod, ochrona „odbiornika”, nie jest istotna na etapie opracowania strategicznych map hałasu. Ma znaczenie na etapie oceny zagrożenia hałasem ludności, przy opracowaniu danych dla potrzeb raportowania do UE, natomiast jako taka nie ma żadnego wpływu na emisję hałasu do środowiska od linii kolejowej. Druga grupa metod ma charakter uniwersalny i jest stosowana nie tylko w walce z hałasem kolejowym. Są to np. ekrany lub tunele akustyczne, czy też nasypy ziemne pełniące podobną funkcję jak ekrany akustyczne. Są to elementy niezależne od torowiska i wszystkie programy obliczeniowe pozwalają na uwzględnienie tego typu rozwiązań w modelu obliczeniowym. Ostatnim rodzajem środków ochrony przed hałasem jest ograniczenie samej emisji hałasu, czyli mocy akustycznej źródła.

W przypadku linii kolejowych ograniczanie ich mocy akustycznej możliwe jest przez zastosowanie następujących środków:

- wkładki przyszynowe,
- amortyzatory szynowe
- maty wibroizolacyjne
- stosowanie szyn w otulinie
- stosowanie zielonego torowiska
- szlifowanie szyn,
- ograniczanie prędkości ruchu,
- szlifowanie kół pojazdów szynowych,
- smarownice

Do tej kategorii można zaliczyć także niskie przyszynowe ekrany akustyczne, których w Polsce raczej się nie stosuje. Przyczyną braku stosowania są uwarunkowania techniczne związane m.in. z bezpieczeństwem, które uniemożliwiają stosowanie tego typu rozwiązań. Znany jest jednak wyjątek zastosowania niskiego ekranu przy torowisku tramwajowym. Na poniższym rysunku przedstawiono fotografię obrazującą niniejsze rozwiązanie.

#### Implementacja urządzeń redukujących emisję hałasu w programie obliczeniowym

W przypadku typowych działań ochrony przed hałasem stosowanych na drodze propagacji dźwięku, polegających na stosowaniu ekranów akustycznych, nasypów ziemnych, tuneli itp., a więc obiektów nie związanych bezpośrednio z zastępczym źródłem liniowym linii kolejowej, oprogramowanie pozwala na wprowadzanie tego typu elementów na zasadach ogólnych, nie wymagających szczegółowego wyjaśnienia.

W przypadku środków „zintegrowanych” z szyną lub całym torowiskiem, w większości przypadków oprogramowanie do obliczeń hałasu kolejowego nie pozwala w prosty, automatyczny sposób uwzględnić tych urządzeń ustrojów. Jeżeli działania ograniczające hałas



polegają na szlifowaniu szyn, to może to zostać uwzględnione przy doborze stopnia chropowatości na danym odcinku toru, jednakże obecność np. smarowniczek czy absorberów drgań nie jest ani określone metodą CNOSSOS ani też nie jest uwzględnione w programach do obliczeń hałasu kolejowego. Wynika to między innymi z dużej zmienności skuteczności tego typu rozwiązań w zależności od szeregu czynników.

Dobłą praktyką powinno być zatem zlokalizowanie dodatkowych punktów pomiarowych hałasu kolejowego na odcinkach, gdzie takie szczególne rozwiązania minimalizujące powstawanie hałasu zostały zastosowane.

Jeżeli z przeprowadzonych badań wynikać będzie potrzeba zastosowania dodatkowej redukcji mocy akustycznej linii kolejowej, to w zależności od stosowanego oprogramowania realizacja tego będzie odbywać się inaczej. Jeżeli oprogramowanie oferuje możliwość wykonania obliczeń mocy akustycznej linii w pasmach tercjowych, ręczne naniesienia poprawki i ponowne wprowadzenie do modelu mocy akustycznej w postaci skorygowanego widma tercjowego, to będzie to jedna z możliwych opcji.

### 5.4.3 Błędy wynikające z niewłaściwego doboru typu torowiska

Typ torowiska ma kluczowe znaczenie dla wielkości emisji hałasu, co zostało odzwierciedlone także w metodzie CNOSSOS-EU. Emisja hałasu jest uzależniona ponadto do prędkości składów i rodzaju taboru poruszającego się linią. Wszystkie te czynniki są ze sobą powiązane stąd też wielkość błędu wynikająca z nieprawidłowego rozpoznania i zamodelowania torowiska uzależniona jest także od prędkości i rodzaju taboru kolejowego.

Rodzaj torowiska w metodzie CNOSSOS-EU definiowany jest przez następujące parametry:

- podkład (jedno- lub dwuczęściowe betonowe, drewniane),
- rodzaj przekładki szynowej (miękka, średnia, sztywna),
- łuk toru (tor prosty lub  $r > 1000$  m, łuk  $1000 > r > 500$  m, łuk  $500 > r > 300$  m,  $r < 300$  m),
- chropowatość główki szyny,
- dodatkowe urządzenia / elementy torowiska ograniczające emisję hałasu,
- rodzaj i ilość łączy szyn i zwrotnic na jednostkę długości.

W poniższej tabeli oraz na wykresie pokazano zależność błędów obliczeń od niewłaściwego doboru poszczególnych cech torowiska. Analizę możliwego błędów przeprowadzono odrębnie dla kilku najpowszechniej występujących rodzajów składów kolejowych – pociągów towarowych, pasażerskich z wagonami ciągnionymi, pasażerskich zespołów trakcyjnych w podziale na stare i nowe pociągi. Sytuacja odniesienia charakteryzowała się najpowszechniej występującą konfiguracją współczesnego torowiska, tj.:

- torowisko z podsypką na podkładzie betonowym jednoczęściowym,
- standardowo utrzymane,
- przekładka miękka,
- brak środków/elementów torowiska ograniczających emisję hałasu,
- szyny łączone metodą spawania lub spiekania,

- przebieg w linii prostej,
- brak zwrotnic.

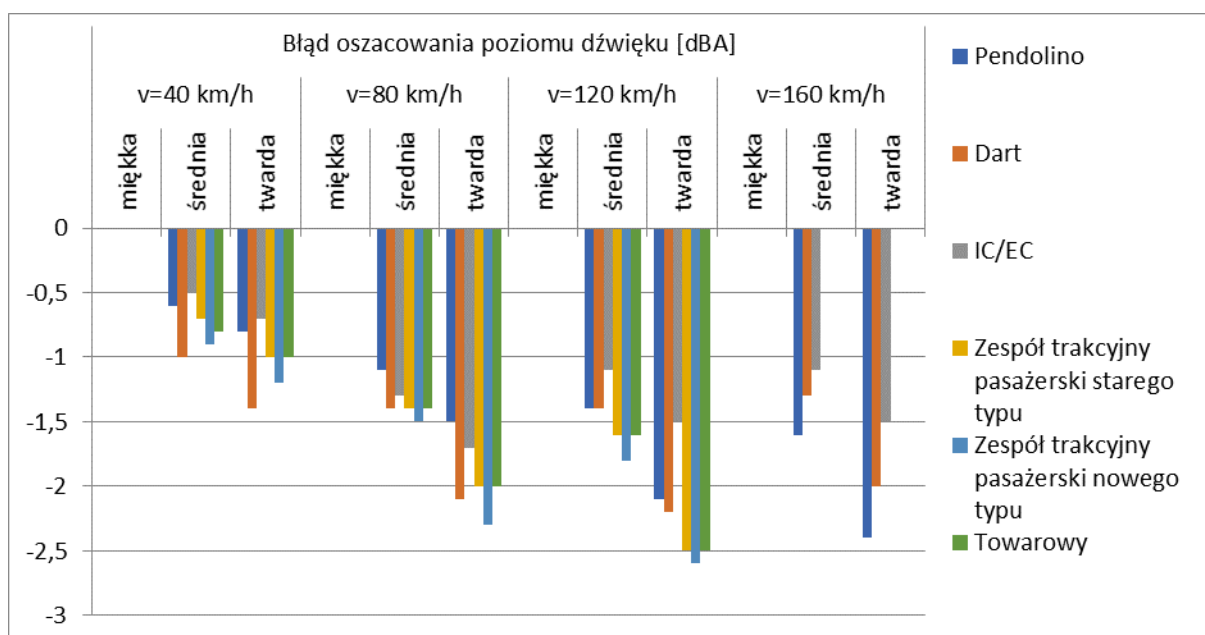
Przyjęta konfiguracja torowiska i ruchu kolejowego została uproszczona w celu pokazania wpływu jednego z czynników na wynik obliczeń. W praktyce takie specyficzne i uproszczone sytuacje nie będą mieć miejsca, ponieważ ruch na liniach kolejowych podlegających mapowaniu akustycznemu jest różnorodny zarówno w zakresie rodzaju składów kolejowych jak i ich prędkości. Zatem błąd modelowania przeprowadzonego przy opracowaniu mapy akustycznej będzie stanowił wypadkową bardzo wielu czynników, które mogą kumulować się i zwiększać błąd, ale także znosić.

Tab. 5-17 Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором **przekładki szynowej** torowiska w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii

Rodzaj przekładki	miękka	średnia	sztywna	miękka	średnia	sztywna	miękka	średnia	sztywna	miękka	średnia	sztywna
Prędkość	40			80			120			160		
Rodzaj składu kolejowego												
Pendolino	47,2	46,6	46,4	50,1	49,0	48,6	53,8	52,4	51,7	56,3	54,7	53,9
Dart	49,1	48,1	47,7	52,2	50,8	50,1	55,6	54,2	53,4	57,7	56,4	55,7
IC/EC	50,6	50,1	49,9	52,7	51,4	51,0	52,6	51,5	51,1	52,6	51,5	51,1
Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	61,1	60,4	60,1	63,1	61,7	61,1	65,7	64,1	63,2	-	-	-
Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	55,3	54,4	54,1	57,4	55,9	55,1	60,4	58,6	57,8	-	-	-
Towarowy	72,4	71,6	71,4	74,4	73,0	72,4	77,6	76,0	75,1	-	-	-

Tab. 5-18 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych rodzajów przekładki szynowej, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do przekładki referencyjnej(miękka))

Lp.	Prędkość	Błąd oszacowania poziomu dźwięku [dBA]											
		v=40 km/h			v=80 km/h			v=120 km/h			v=160 km/h		
		miękka	średnia	twarda	miękka	średnia	twarda	miękka	średnia	twarda	miękka	średnia	twarda
Rodzaj przekładki													
Rodzaj pociągu													
1.	Pendolino	0	-0,6	-0,8	0	-1,1	-1,5	0	-1,4	-2,1	0	-1,6	-2,4
2.	Dart	0	-1	-1,4	0	-1,4	-2,1	0	-1,4	-2,2	0	-1,3	-2
3.	IC/EC	0	-0,5	-0,7	0	-1,3	-1,7	0	-1,1	-1,5	0	-1,1	-1,5
4.	Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	0	-0,7	-1	0	-1,4	-2	0	-1,6	-2,5	0	0	0
5.	Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	0	-0,9	-1,2	0	-1,5	-2,3	0	-1,8	-2,6	0	0	0
6.	Towarowy	0	-0,8	-1	0	-1,4	-2	0	-1,6	-2,5	0	0	0



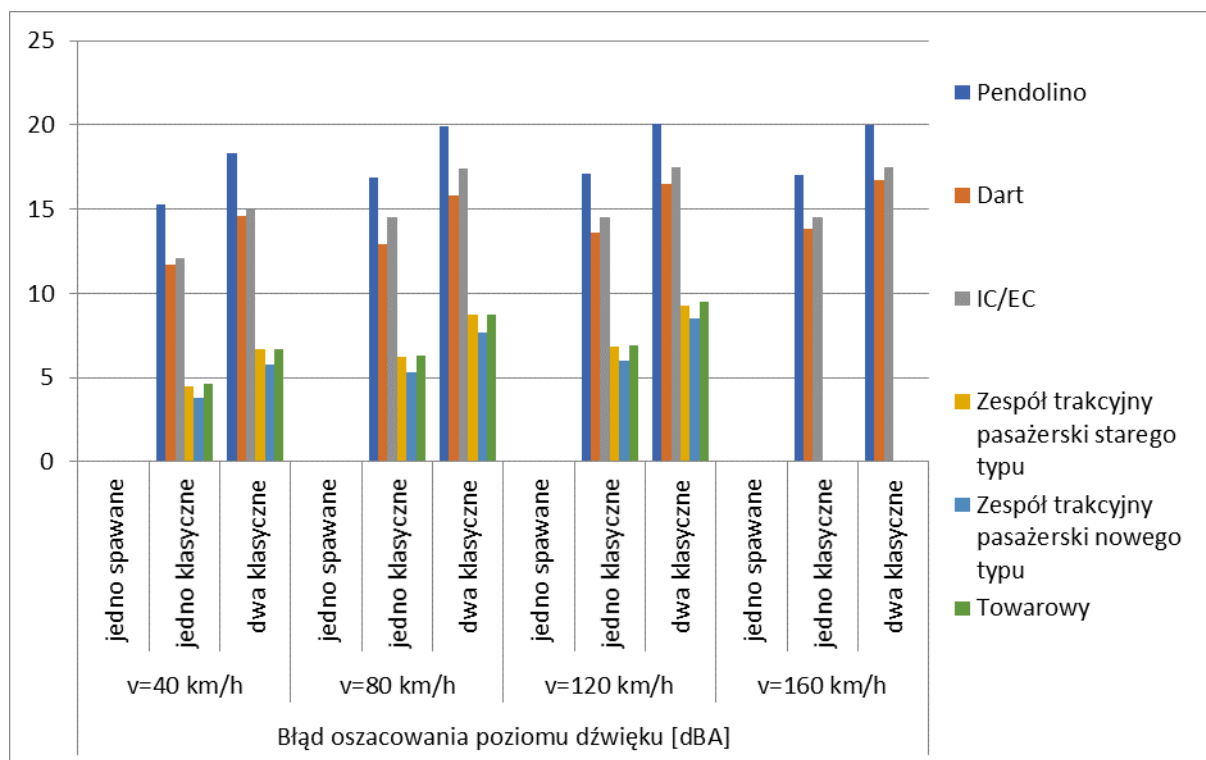
Rys. 4-38 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych rodzajów przekładki szynowej, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do przekładki referencyjnej(miękką))

Tab. 5-19 Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором sposobu łączenia szyn w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii

Sposób łączenia szyn	Jedno spawane		Jedno klasyczne		dwa klasyczne		jedno spawane		jedno klasyczne		dwa klasyczne		jedno spawane		jedno klasyczne		dwa klasyczne	
	Prędkość																	
Rodzaj składu kolejowego																		
Pendolino	47,2	62,5	65,5	50,0	66,9	69,9	53,8	70,9	73,9	56,3	73,3	76,3						
Dart	49,1	60,8	63,7	52,2	65,1	68,0	55,6	69,2	72,1	57,7	71,5	74,4						
IC/EC	50,6	62,7	65,6	52,5	67,0	69,9	52,6	67,1	70,1	52,6	67,1	70,1						
Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	61,1	65,6	67,8	63,1	69,3	71,8	65,7	72,5	75,0	-	-	-						
Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	55,3	59,1	61,1	57,4	62,7	65,1	60,4	66,4	68,9	-	-	-						
Towarowy	72,4	77,0	79,1	74,4	80,7	83,1	77,6	84,5	87,1	-	-	-						

Tab. 5-20 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych sposobów łączenia szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do łączenia referencyjnego (jedno spawane))

Lp.	Prędkość	Błąd oszacowania poziomu dźwięku [dBA]											
		v=40 km/h			v=80 km/h			v=120 km/h			v=160 km/h		
		łączenie szyn	Rodzaj pociągu										
1.	Pendolino	0	15,3	18,3	0	16,9	19,9	0	17,1	20,1	0	17	20
2.	Dart	0	11,7	14,6	0	12,9	15,8	0	13,6	16,5	0	13,8	16,7
3.	IC/EC	0	12,1	15	0	14,5	17,4	0	14,5	17,5	0	14,5	17,5
4.	Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	0	4,5	6,7	0	6,2	8,7	0	6,8	9,3	0	0	0
5.	Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	0	3,8	5,8	0	5,3	7,7	0	6	8,5	0	0	0
6.	Towarowy	0	4,6	6,7	0	6,3	8,7	0	6,9	9,5	0	0	0



Rys. 5-39 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych sposobów łączenia szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do łączenia referencyjnego (jedno spawane))

Tab. 5-21 Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором **chropowatości szyn** w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii

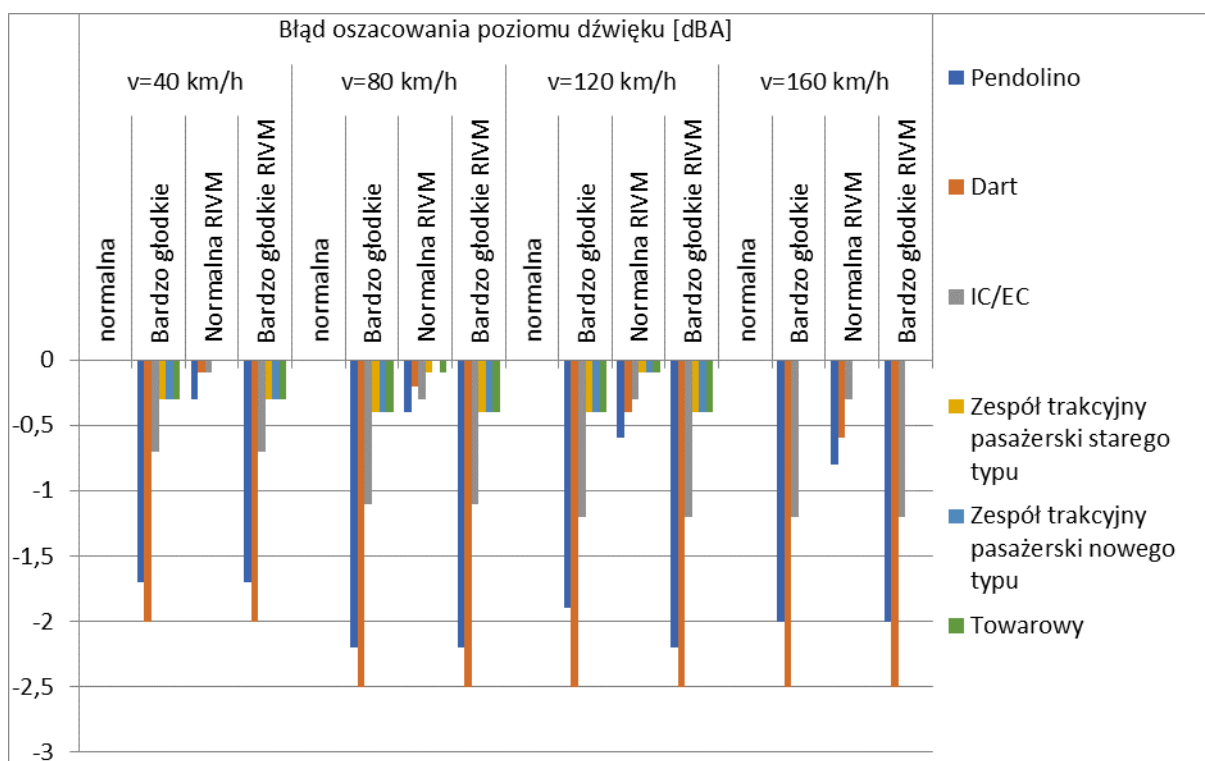
Sposób łączenia szyn	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*
Prędkość	40				80				120				160			
Rodzaj składu kolejowego																
Pendolino	47,2	45,5	46,9	45,5	50,0	47,8	49,6	47,8	53,8	51,9	53,2	51,6	56,3	54,3	55,5	54,3
Dart	49,1	47,1	49,0	47,1	52,2	49,7	52,0	49,7	55,6	53,1	55,2	53,1	57,7	55,2	57,1	55,2
IC/EC	50,6	49,9	50,5	49,9	52,5	51,4	52,2	51,4	52,6	51,4	52,3	51,4	52,6	51,4	52,3	51,4
Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	61,1	60,8	61,1	60,8	63,1	62,7	63,0	62,7	65,7	65,3	65,6	65,3	-	-	-	-
Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	55,3	55,0	55,3	55,0	57,4	57,0	57,4	57,0	60,4	60,0	60,3	60,0	-	-	-	-
Towarowy	72,4	72,1	72,4	72,1	74,4	74,0	74,3	74,0	77,6	77,2	77,5	77,2	-	-	-	-

\* wartości opracowane w ramach dokumentu RIVM – są to też oficjalnie proponowane poprawki do metodyki CNOSSOS

Tab. 5-22 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej (normalna))

Lp.	Prędkość	Błąd oszacowania poziomu dźwięku [dBA]															
		v=40 km/h				v=80 km/h				v=120 km/h				v=160 km/h			
		Chropowatość szyn	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*	Bardzo gładkie RIVM*	normalna	Bardzo gładkie	Normalna RIVM*
Rodzaj pociągu																	
1.	Pendolino	0	-1,7	-0,3	-1,7	0	-2,2	-0,4	-2,2	0	-1,9	-0,6	-2,2	0	-2	-0,8	-2
2.	Dart	0	-2	-0,1	-2	0	-2,5	-0,2	-2,5	0	-2,5	-0,4	-2,5	0	-2,5	-0,6	-2,5
3.	IC/EC	0	-0,7	-0,1	-0,7	0	-1,1	-0,3	-1,1	0	-1,2	-0,3	-1,2	0	-1,2	-0,3	-1,2
4.	Zespół trakcyjny pasażerski starego typu	0	-0,3	0	-0,3	0	-0,4	-0,1	-0,4	0	-0,4	-0,1	-0,4	0	0	0	0
5.	Zespół trakcyjny pasażerski nowego typu	0	-0,3	0	-0,3	0	-0,4	0	-0,4	0	-0,4	-0,1	-0,4	0	0	0	0
6.	Towarowy	0	-0,3	0	-0,3	0	-0,4	-0,1	-0,4	0	-0,4	-0,1	-0,4	0	0	0	0

\* wartości opracowane w ramach dokumentu RIVM – są to też oficjalnie proponowane poprawki do metodyki CNOSSOS



Rys. 4-3 Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej (normalna))

Nie analizowano wpływu na potencjalny błąd mapy akustycznej takich czynników jak: obecność środków ochrony przed hałasem, przebieg torowiska w łuku czy przebieg torowiska na moście/wiadukcie. Zgodnie z metodyką CNOSSOS w przypadku obecności obiektu mostowego, w szczególności stalowego, wzrost emisji hałasu odzwierciedla się przyjmując jednoliczbową poprawkę do mocy akustycznej odcinka linii kolejowej. Poprawka ta nie jest zależna od prędkości ani rodzaju składu kolejowego. Analogicznie jednoliczbową poprawkę przyjmuje się w przypadku przebiegu torowiska w łuku. Błąd mapy akustycznej może wynikać także z nieuwzględnienia środków ochrony przed hałasem (np. smarowniczek na łukach, absorberów drgań, itp.) a jego wielkość będzie uzależniona od skuteczności zastosowanych rozwiązań przeciwhałasowych.

## 5.5 Wykonywanie badań hałasu kolejowego - zalecania

Realizacja strategicznych map hałasu kolejowego obejmuje między innymi konieczność walidacji modeli obliczeniowych. W przypadku braku własnych procedur rekomenduje się w tym zakresie Wytyczne GIOŚ.

Pomiary hałasu kolejowego dla potrzeb walidacji modeli obliczanych w oparciu o algorytm CNOSSOS-EU powinny zawierać informacje zgromadzone dodatkowo, które wykraczają poza standardowe wymagania metodyki referencyjnej opisanej w załączniku nr 3 do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem.

Protokoły z badań powinny zawierać w szczególności następujące dodatkowe informacje, niezbędne przy walidacji modelu:

- tabor:
  - prędkość każdego składu,
  - długość każdego składu,
  - dokumentacja umożliwiająca oznaczenie rodzaju składu wg kategoryzacji przedstawionej w rozdziale 5.3.1,
- infrastruktura:
  - rodzaj przekładki podszynowej (mięka / średnia / sztywna),
  - promień łuku (o ile torowisko jest ułożone w łuku),
  - chropowatość główki szyny (pozyskana u zarządzającego infrastrukturą).

Rekomendacja: ze względu na obecne możliwości i dostępność urządzeń do rejestracji wideo, znacznym ułatwieniem, jednocześnie dającym możliwość weryfikacji wykonanych pomiarów, jest prowadzenie rejestracji wideo ruchu kolejowego, poza rejestracją audio prowadzoną w ciągu toru pomiarowego.

## 6 HAŁAS LOTNICZY

W rozdziale zawarto podstawową charakterystykę metodyki obliczeniowej CNOSSOS-EU w zakresie niezbędnym do przeprowadzenia obliczeń poziomu hałasu lotniczego na potrzeby strategicznej mapy hałasu, z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania.

Podano wymagany zakres danych niezbędnych do przygotowania poprawnego modelu akustycznego lotniska oraz wskazano źródła, z których dane te mogą być pozyskane, względnie opracowane we własnym zakresie w oparciu o ogólnodostępne zasoby i informacje.

Z uwagi na fakt, iż flota operująca na polskich lotniskach, a zwłaszcza na tych objętych strategicznymi mapami hałasu, nie różni się od floty operującej w innych krajach europejskich, nie ma potrzeby (tak jak np. jest to niezbędne w przypadku krajowych źródeł hałasu kolejowego) tworzenia lokalnej (krajowej) bazy poziomów emisji statków powietrznych (na którą składa się flota ponad 200 typów statków powietrznych), czy też wyznaczanie poprawek do poziomów emisji zawartych w metodyce referencyjnej uwzględniających specyfikę polskiej floty. W rozdziale tym pokazano, że model oparty na charakterystyce akustycznej statków powietrznych zawartej w metodyce CNOSSOS-EU wyznacza poziomy hałasu z wymaganą dokładnością, przy czym kluczowym elementem każdego modelu hałasu lotniczego, ze względu na specyfikę źródła, jest zawsze indywidualna kalibracja i walidacja modelu. Algorytm zademonstrowano na wybranej grupie, dziesięciu najczęściej operujących na polskich lotniskach statków powietrznych. Wskazuje się przy tym, że sposób postępowania jest za każdym razem taki sam, niezależnie od wielkości lotniska, liczby i rodzajów operujących statków powietrznych.

Dodatkowo, na przykładach pokazano jakie błędy generuje niewłaściwy dobór parametrów modelu.

### 6.1 Dane wejściowe niezbędne do wykonania mapy hałasu lotniczego

Podstawowe dane wejściowe do budowy modelu akustycznego lotniska to:

- geometria lotniska, obejmująca informacje o: punkcie referencyjnym lotniska, drogach startowych, helipadach, drogach kołowania, płaszczyznach postojowych oraz dodatkowych elementach infrastruktury lotniskowej, takich jak budynki terminali, hangary, płyty odladania statków powietrznych itp.,
- informacje o trasach operacji lotniczych (tory lotów), pochodzące z: danych radarowych, odbiorników ADS-B pracujących w modzie S, publikacji AIP i ustaleń z zarządzającym,
- informacje o pionowych profilach operacji lotniczych, pochodzące z: danych radarowych, odbiorników ADS-B pracujących w modzie S, publikacji AIP,
- dane dotyczące obciążeń poszczególnych tras dolotowych i odlotowych, pochodzące z: analiz danych radarowych, odbiorników ADS-B pracujących w modzie S, analiz siatek połączeń lub analiz wykonanych przez zarządzającego lotniskiem, z podziałem na pory doby,



- dane dotyczące liczby wykonywanych operacji, z podziałem na: rodzaj operacji (start, lądowanie, przelot, itd.), poszczególne drogi startowe wraz z ich kierunkami, typy statków powietrznych oraz z podziałem na pory doby,
- dane o ukształtowaniu terenu, w postaci numerycznego modelu terenu obejmującego obszar potencjalnego zasięgu oddziaływania akustycznego lotniska,
- uśrednione dane meteorologiczne, gromadzone na lotnisku lub w jego najbliższym otoczeniu.

## 6.2 Definicje

W tym rozdziale przedstawiono podstawowe definicje i pojęcia stosowane przy modelowaniu hałasu lotniczego. Opis ten jest uproszczony, tylko w zakresie koniecznym do zrozumienia procesu modelowania.

### Infrastruktura lotniskowa

Podstawowymi elementami infrastruktury lotniskowej są drogi startowe, których na danym lotnisku może być więcej niż jedna, lądowiska śmigłowców (helipady), płaszczyzny postojowe, urządzenia nawigacyjne, stanowiska odladzania statków powietrznych, drogi szybkiego zejścia, drogi kołowania oraz budynki infrastruktury lotniskowej takie jak terminal, hangary, itp. Drogi startowe i lądowiska śmigłowców determinują osie podejść i odejść z lotniska oraz punkty początkowe i końcowe trajektorii, zarówno dla operacji lotniczych, jak i naziemnych operacji kołowania.

### Punkt odniesienia lotniska – ARP i środek układu współrzędnych

Zazwyczaj jako środek układu współrzędnych w modelu hałasu lotniska przyjmuje się punkt odniesienia lotniska - ARP (Airport Reference Point), który wyznaczony jest najczęściej w środku geometrycznym drogi startowej (lub układu dróg startowych) lub na przecięciu dróg startowych.

Na lotniskach posiadających jedną drogę startową, najczęściej środek układu współrzędnych przyjmuje się w środku geometrycznym drogi startowej.

### Pas startowy

Pas startowy to odpowiednio przygotowany obszar lotniska przeznaczony do startów i lądowań statków powietrznych, zawierający w sobie między innymi drogę startową oraz zabezpieczenia boczne i czołowe. Pas startowy jest więc szerszy i dłuższy od zawartej w nim drogi startowej.

### Droga startowa

Droga startowa jest wydzieloną częścią pasa startowego, z odpowiednio przygotowaną powierzchnią i oznaczeniami, przeznaczoną do wykonywania operacji startów i lądowań. Drogi startowe oznaczane są na lotniskach liczbą całkowitą, najbliższą 1/10 wartości azymutu magnetycznego. Współrzędne te określają kierunki drogi startowej. Np. droga startowa oznaczona jako RWY 11-29 oznacza, że kierunki geograficzne progów to 110° oraz 290° (lub wartości, które po zaokrągleniu do 10° wynoszą 110° oraz 290°). Start w kierunku RWY29

(potocznie określane jako „start na RWY29”) będzie zatem oznaczał start z progu 29 w kierunku progu 11 - na zachód. Lądowanie na kierunku RWY29 oznacza operację podejścia do lądowania od strony wschodniej, przyziemienie w okolicy progu 29 i dobieg w kierunku progu 11.

### **Płyta postojowa**

Płyta postojowa to miejsce, w którym samolot parkuje. Zazwyczaj płyty postojowe lokalizowane są поблизу terminala lotniska, aby ułatwić przemieszczanie się pasażerów lub rozładunek towarów samolotów typu cargo. Podczas przebywania samolotu na płycie postojowej podłączane jest do niego zasilanie zewnętrzne poprzez złącze znajdujące się w płycie lotniska. Zdarza się również, że samoloty zasilane są z urządzeń typu GPU (*Ground Power Unit*), wtedy urządzenie to generuje hałas, który kwalifikuje się jako hałas instalacji lotniskowych. Podczas przebywania na płycie postojowej samoloty są tankowane, sprzątane, itd. oraz sprawdzane pod względem technicznym. Wszystkie te działania są również źródłem hałasu instalacji.

### **Helipad**

Helipad jest wyznaczonym na terenie lotniska lub lądowiska miejscem startów i lądowań śmigłowców.

### **Kod referencyjny lotniska**

Kod referencyjny lotniska stanowi informację o tym, jakie statki powietrzne mogą być obsługiwane na danym lotnisku. Kod ten składa się z cyfry (1 do 4) oraz litery (A do F). Cyfra określa referencyjną długość startu samolotu. Na przykład cyfra 4 oznacza długość startu od 1800 metrów wzwyż – przy założeniu, że droga startowa jest płaska i leży na poziomie morza oraz że statek powietrzny startuje z maksymalną masą startową w referencyjnych warunkach pogodowych. Litera w kodzie referencyjnym oznacza natomiast całkowity zewnętrzny rozstaw kół w podwoziu lub całkowitą rozpiętość skrzydeł samolotu.

### **Oznaczenia kodowe lotnisk**

Istnieją dwa międzynarodowe systemy identyfikacji lotnisk (wskaźniki lokalizacji). Podstawowy i ważniejszy jest system kodów nadawanych przez Organizację Międzynarodowego Lotnictwa Cywilnego, ICAO (International Civil Aviation Organisation). Kody te są 4 znakowe. Pierwsza litera oznacza region (część świata). Dla Europy Północnej jest to litera E. Kolejna litera oznacza kraj. Dla Polski jest to litera P. Kolejne dwie litery oznaczają nazwę lotniska, np.: Poznań-Ławica - PO, lotnisko Chopina w Warszawie - WA, Kraków-Balice - KK. Pełne kody ICAO wymienionych wcześniej lotnisk brzmią więc odpowiednio: EPPO, EPWA, EPKK. Kody ICAO używane są przez służby kontroli ruchu lotniczego.

Drugą organizacją nadającą nazwy kodowe lotniskom jest Międzynarodowe Zrzeszenie Przewoźników Powietrznych, IATA (International Air Transport Association). Kody te są trzyliterowe i nie zawierają znaczników regionalnych. Kody te nie są też unikatowe. Wspomniane wcześniej lotniska posiadają kody IATA odpowiednio: POZ, WAW, KRK.

### **Maksymalna masa startowa MTOW**

Maksymalna masa startowa statku powietrznego, MTOW (Maximum Take-Off Weight) jest to maksymalna całkowita masa statku powietrznego dopuszczalna dla startu statku powietrznego, podana w dokumentacji certyfikacyjnej statku powietrznego. Nie zawsze rzeczywista masa startowa statku równa jest MTOW (np. na krótsze rejsy tankowane jest mniej paliwa, mniejszy ładunek CARGO, mniej pasażerów, itp.).

Rzeczywista masa startowa jest jednym z czynników determinujących poziom emitowanego hałasu, stąd przy budowie modelu akustycznego zachodzi konieczność wyboru profilu lotu najbardziej odpowiedniego dla dominującej rzeczywistej masy startowej danego statku, co realizowane jest podczas procedury kalibracji modelu.

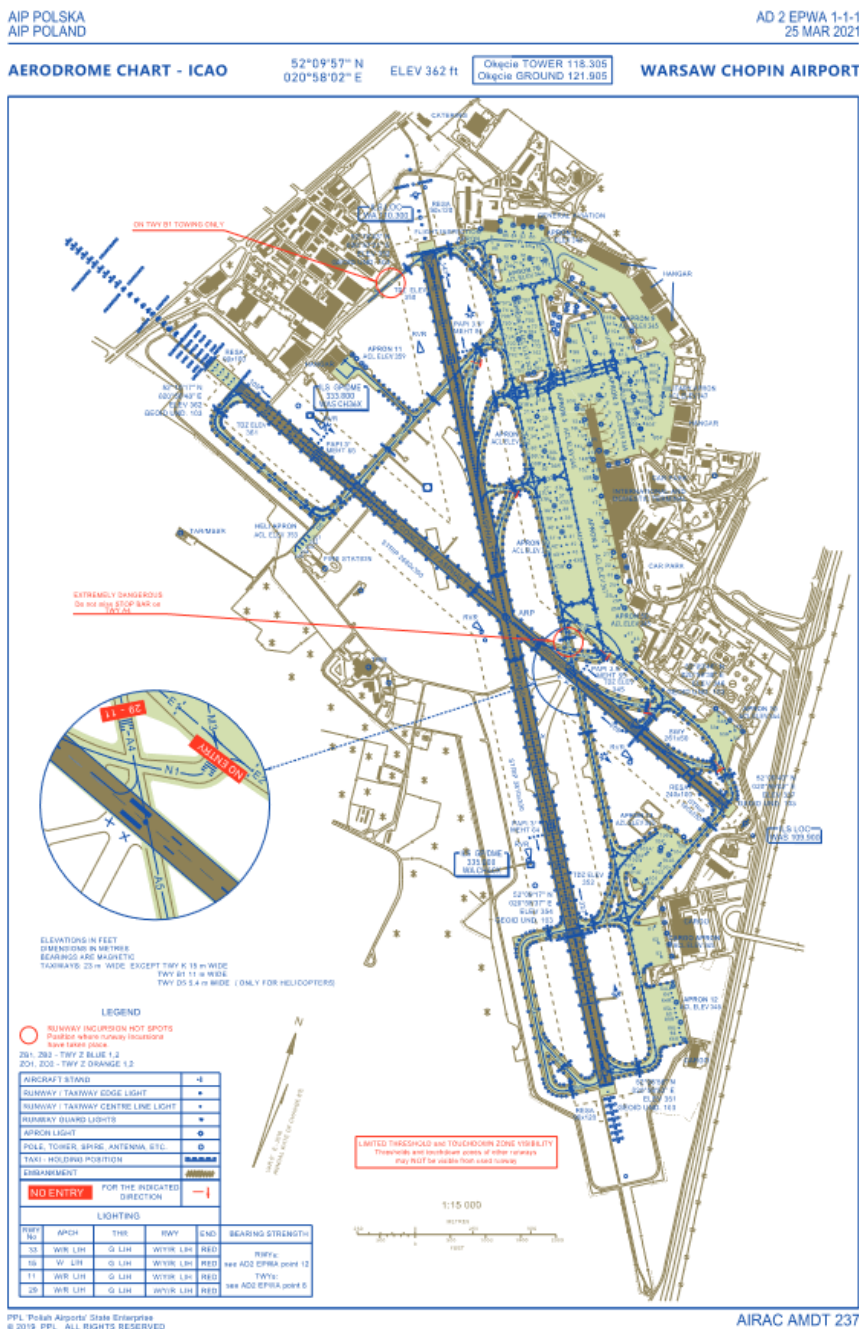
### **AIP – zbiór informacji lotniczych**

Publikacja AIP (Aeronautical Information Publication) opracowywana i dystrybuowana jest na całym świecie przez organy kontroli ruchu powietrznego. W Polsce odpowiedzialna jest za to Polska Agencja Żeglugi Powietrznej (PAŻP, ang. PANSO). Publikacje te są dostępne na stronach internetowych PAŻP (<https://www.ais.pansa.pl/aip/>).

W publikacji AIP znajdują się między innymi szczegółowe informacje dotyczące dróg startowych wraz z ich oznaczeniami, współrzędnymi ich progów i danymi wysokościowymi. W skład informacji AIP wchodzi także dokument „Aerodrome chart” zawierający szkic w skali całej istotnej infrastruktury lotniskowej. Przykład takiego szkicu zamieszczono na Rys. 6-1 (dane ze strony internetowej <https://www.ais.pansa.pl/aip/>). Publikacje te zawierają także informacje dotyczące pomocy nawigacyjnych dostępnych na danym lotnisku oraz informacje o organizacji ruchu lotniczego wokół lotniska, a także stosowane na lotnisku ograniczenia i procedury przeciwhałasowe (jeśli są na tym lotnisku wdrożone).

### **Granica lotniska**

Granica lotniska ogranicza obszar, do którego zarządzający lotniskiem posiada tytuł prawny. Z uwagi na bezpieczeństwo w ruchu lotniczym granica ta zazwyczaj jest wyznaczona przez ogrodzenie z zabezpieczeniami uniemożliwiającymi wejście na teren lotniska osobom postronnym. Przebieg granicy lotniska publikowany jest w dokumencie AIP.



Rys. 6-1 Przykładowy schemat lotniska wg dokumentu AIP (źródło: <https://www.ais.pansa.pl/aip/> AIP EPWA 25.03. 2021)

### Dane z radaru pierwotnego i wtórnego

Dane z radaru pierwotnego, PSR (*Primary Surveillance Radar*) i wtórnego, SSR (*Secondary Surveillance Radar*) zawierają informacje o trójwymiarowym torze lotu statku powietrznego (współrzędne GPS i wysokość), jego prędkości oraz dane identyfikujące statek powietrzny i czas operacji. Dane te są gromadzone przez Polską Agencję Żeglugi Powietrznej (PAŻP) i stanowią 100% pokrycia całego ruchu lotniczego w Polsce. Format danych to najczęściej format ASTERIX. Dane radarowe udostępnianie są przez PAŻP najczęściej odpłatnie. Dokładność tych danych jest zazwyczaj duża, jednak jest ona zależna od ukształtowania terenu, a szczególnie na małych wysokościach, jakość tych danych jest znacznie ograniczona.

## System ADS-B

System ADS-B (*Automatic Dependent Surveillance - Broadcast*) jest systemem automatycznego dozoru zależnego. Jest to system bazujący na danych (między innymi) o położeniu (współrzędne GPS), wysokości, prędkości, identyfikacji statku powietrznego, itd., transmitowanych przez transpondery statków powietrznych i odbieranych przez naziemne odbiorniki ADS-B. Obecnie znaczna część statków powietrznych wyposażona jest w nadajniki ADS-B pracujące w modzie „S”, w którym statek powietrzny oprócz danych identyfikujących, rozsyła między innymi swoje chwilowe współrzędne GPS, wysokość i prędkość. Dane te mogą być gromadzone przez ogólnodostępne na rynku odbiorniki ADS-B. Dane te często gromadzone są przez porty lotnicze do ich potrzeb wewnętrznych, bądź gromadzone są przez systemy ciągłego monitoringu hałasu lotniczego. Dostępność danych ADS-B nie stanowi problemu w przypadku flot przewoźników komercyjnych, jednak wciąż występują istotne braki w dostępności tych danych dla lotnictwa ogólnego, GA (*General Aviation*).

Jakość danych z systemu ADS-B jest zazwyczaj dobra i niezależna od ukształtowania terenu. Dane te mogą dostarczać także informacje o ruchu naziemnym statków powietrznych na lotnisku. Są one dostępne również w formacie tekstowym CSV i są w łatwy sposób konwertowane do formatów akceptowalnych przez oprogramowanie do modelowania hałasu lotniczego.

## Podstawowe pomoce nawigacyjne

Pomoce nawigacyjne dostępne na lotnisku determinują organizację ruchu wokół tego lotniska. Mają wpływ nie tylko na rozkład przestrzenny tras odlotowych i dolotowych, ale także na kształt profilu lotu.

Podstawową pomocą nawigacyjną jest system wspomaganie lądowania ILS (*Instrumental Landing System*). System ILS funkcjonuje na lotniskach w różnych kategoriach, związanych ze zastosowanym stopniem zaawansowania systemu wspomaganie. System ten na niektórych lotniskach funkcjonuje tylko na wybranych drogach startowych bądź na wybranym (dominującym) kierunku danej drogi startowej. Odrębną grupę pomocy nawigacyjnych stanowią radiolatarnie. Używanych jest kilka typów, takich jak: NDB, VOR, DVOR, DME, TACAN, VORTAC. Poszczególne typy radiolatarni różnią się zasadą działania i rodzajem informacji dostarczanych pilotowi.

## Trasy operacji lotniczych – tory lotu

Poprzez trasy operacji lotniczych rozumie się rzut trójwymiarowego toru lotu na powierzchnię ziemi. Trasa operacji lotniczej jest więc ciągiem współrzędnych określających rzut chwilowego położenia statku powietrznego w przestrzeni na powierzchnię ziemi. Trasy operacji lotniczych określa się często potocznie „trakami” (ang. track). Złożenie „traka” z profilem lotu daje trójwymiarową trajektorię statku powietrznego.

## ANP - baza danych o hałasie i osiąгах statków powietrznych

Baza danych ANP (*Aircraft Noise and Performance*), opracowywana przez ICAO i organizację Eurocontrol, jest zasobem uzupełniającym metodę ECAC CEAC Doc. 29 i zawiera dane akustyczne oraz dane o osiąгах statków powietrznych. Dane dotyczące hałasu to

przede wszystkim krzywe NPD, opracowane na podstawie pomiarów certyfikacyjnych poszczególnych typów statków powietrznych oraz charakterystyki widmowe. Baza ta zawiera również dane o osiągnięciach statków powietrznych pozwalające na budowę prawidłowych profili lotu.

Baza ta jest najczęściej zintegrowana ze środowiskiem obliczeniowym i nie jest wymagane jej dodatkowe pozyskiwanie.

### **Baza informacji o statkach powietrznych BADA**

Baza BADA<sup>64</sup> (Base of Aircraft Data), opracowana i aktualizowana przez ICAO i Eurocontrol, zawiera bardzo szczegółowe i rozbudowane dane dotyczące osiągnięć statków powietrznych. Baza ta jest najczęściej zintegrowana ze środowiskiem obliczeniowym i nie jest wymagane jej dodatkowe pozyskiwanie. Wymagane jest natomiast uzyskanie licencji na dostęp do tej bazy, która udzielana jest przez Eurocontrol bezpłatnie.

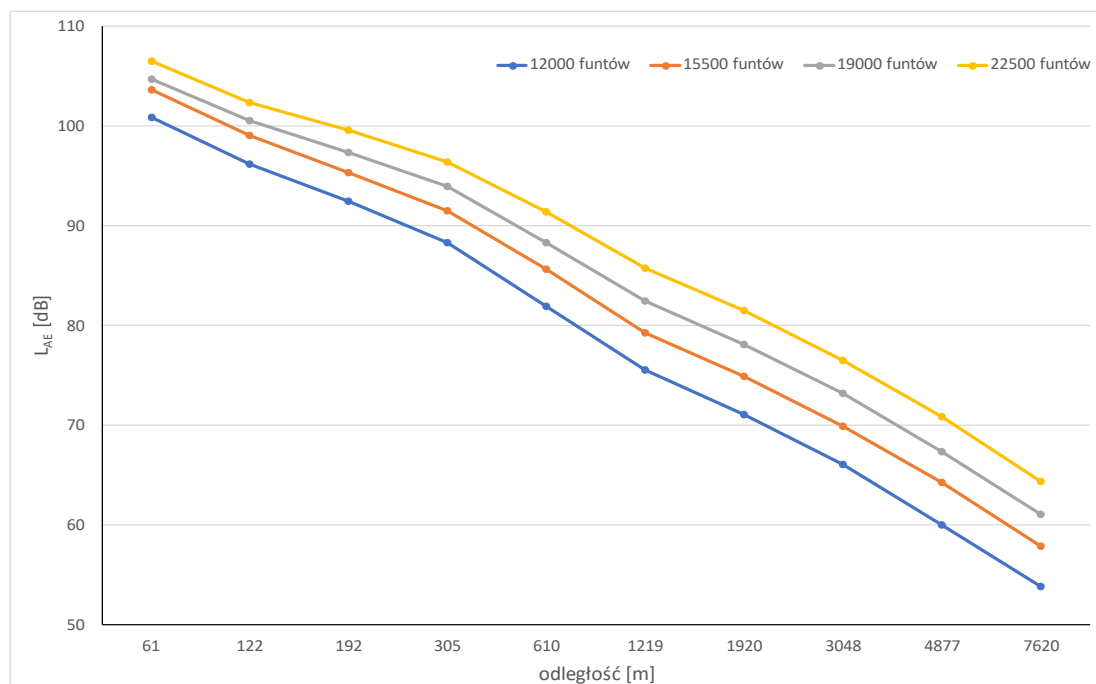
### **Krzywe NPD - zależność hałas – moc - odległość**

Dane akustyczne statków powietrznych gromadzone w bazie ANP to przede wszystkim zbiory parametrów NPD (Noise-Power-Distance), które są zależnościami pomiędzy wybranym wskaźnikiem hałasu (np.  $L_{AE}$ ,  $L_{A,max}$ ,  $L_{EPN}$  i  $L_{PNT,max}$ ) a odległością od statku powietrznego, przy czym parametrem rodziny takich krzywych jest wskaźnik opisujący ciąg silników. Dla śmigłowców parametrem krzywych zamiast mocy jest tryb wykonywanej operacji. Zbiory takich krzywych dla danego wskaźnika hałasu i dla pewnego zakresu parametrów ciągu dostępne są dla poszczególnych statków powietrznych, dla danego rodzaju operacji (start, lądowanie, przelot w poziomie), przy określonym profilu i prędkości lotu. Przykładowa rodzina krzywych NPD dla operacji startu samolotu Airbus A320-211 dla wskaźnika  $L_{AE}$  została pokazana na Rys. 6-2.

Na potrzeby map strategicznych interesującym nas wskaźnikiem hałasu w odniesieniu do krzywych NPD jest ekspozycyjny poziom dźwięku ( $L_{AE}$ ). Krzywe NPD są dostępne dla całkowitych poziomów dźwięku A. W bazie danych zawarte są także dane w postaci widm 1/3 oktaowych, używane między innymi do wyznaczania wpływu pochłaniania dźwięku przez powietrze na drodze propagacji, itp. Jak widać z poniższego rysunku, rodzina krzywych NPD jest wyznaczana dla kilku nastaw parametrów ciągu (w prezentowanym przypadku parametrem tym jest to ciąg wyrażony w funtach). Krzywe te są sprowadzone do warunków atmosfery standardowej ISA (International Standard Atmosphere), to jest temperatury powietrza 15°C, prędkości propagacji dźwięku 340 m/s, gęstości powietrza 1,2255 kg/m<sup>3</sup> i ciśnienia atmosferycznego 1013,24 hPa.

Odczytanie z krzywych NPD wartości poziomu hałasu (wyrażonego np. przez poziom  $L_{AE}$ ) dla wyliczonego w danym punkcie profilu lotu ciągu i odległości obserwatora od toru lotu, wymaga w pierwszej kolejności interpolacji danych (punkty na wykresie) do aktualnej wartości ciągu i odległości, ale także zastosowania szeregu korekt (np. sprowadzenie krzywych NPD z warunków ISA do lokalnych warunków atmosferycznych na lotnisku).

<sup>64</sup> <https://www.eurocontrol.int/model/bada>



Rys. 6-2 Krzywe NPD dla operacji startu samolotu Airbus A320-211 w zależności od siły ciągu, dla wskaźnika  $L_{AE}$

### Profil pionowy operacji lotniczej

Profil operacji lotniczej opisuje podstawowe parametry lotu w funkcji odległości horyzontalnej (wzdłuż toru lotu) od punktu startu / przyziemienia). Trzema wielkościami charakteryzującymi profil lotu są: ciąg silników (może być wyrażany w różnych jednostkach dla różnych statków powietrznych, np. w funtach lub w procentach ciągu maksymalnego), wysokość i prędkość statku powietrznego. Profil lotu może opisywać wprost te trzy podstawowe parametry lotu (profil punktowy) lub może opisywać stan statku powietrznego (profil proceduralny), w którym opisane są poszczególne etapy lotu statku powietrznego (np. wznoszenie, przyspieszanie, itp.). W tego typu profilu dla każdego etapu lotu definiuje się szereg parametrów (zależnych od etapu lotu), takich jak: ustawienia klap, typ ciągu, szybkość wznoszenia, itd. W tym typie profilu podstawowe parametry lotu (ciąg, prędkość i wysokość) są wyliczane na podstawie powyższych danych.

### 6.3 Pozyskanie i modelowanie trajektorii operacji lotniczych

Rozkład tras operacji lotniczych jest jednym z podstawowych czynników determinujących rozkład hałasu wokół lotniska.

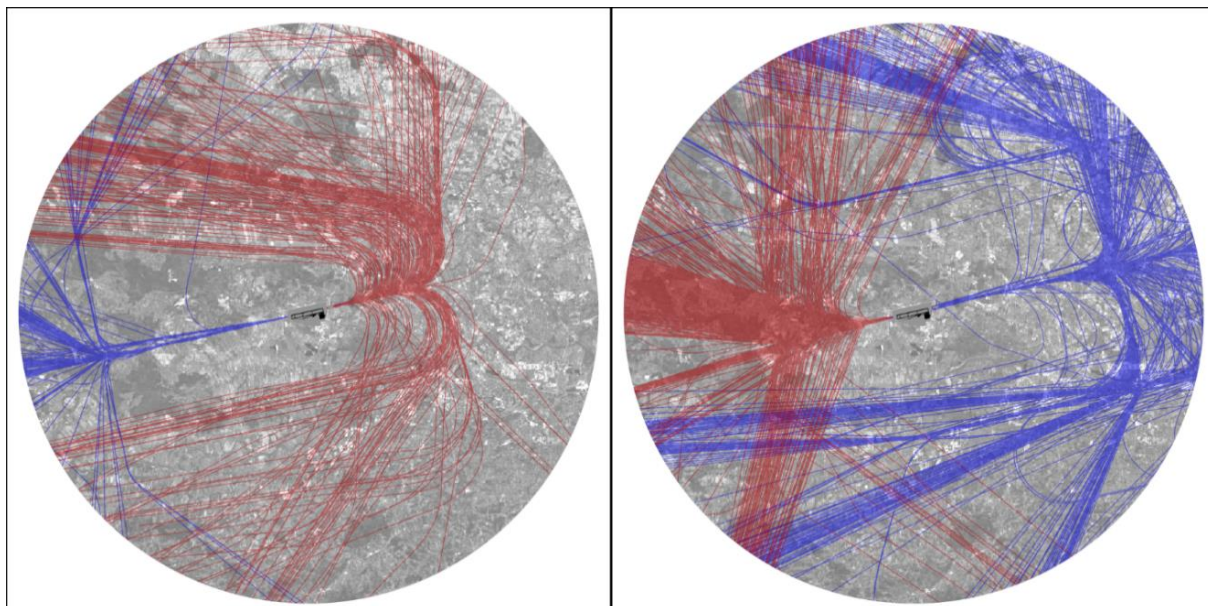
Podstawowymi źródłami informacji o trasach operacji lotniczych są publikacje AIP, 65 dane radarowe PSR/SSR (dokładne i kompletne, ale często ich pozyskanie jest ekonomicznie nieuzasadnione) oraz dane z systemu ADS-B, pracującego w modzie „S”.

<sup>65</sup> Pomimo, iż zawierają informacje o organizacji ruchu wokół lotniska dane AIP nie są one wystarczające do zbudowania tylko na ich podstawie modelu akustycznego lotniska. Stanowią one jednak punkt odniesienia i pełnią rolę uzupełniającą.

Oprócz wymienionych wyżej źródeł istnieje kilku innych komercyjnych dostawców danych o trasach operacji. Systemy przez nich oferowane są zazwyczaj oparte o szeroko rozumianą technologię ADS-B, wspieraną np. multilateracją oraz danymi o rejsach komercyjnych, dostępnych np. w systemie PRISME prowadzonym przez Eurocontrol.

Najlepszą opcją jest wykorzystanie danych radarowych, ale w praktyce najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest obecnie pozyskiwanie danych z urządzeń ADS-B. Pomimo, iż dane te obecnie nie pokrywają 100% ruchu lotniczego, pokrycie jest zazwyczaj na tyle duże (dla komercyjnych statków pasażerskich wynosi nawet ponad 70%), że dla długookresowych analiz hałasu (na potrzeby map strategicznych) pozwalają we wiarygodny sposób wytypować reprezentatywne trasy operacji lotniczych wraz z ich procentowym obciążeniem. Dla małych lotnisk, np. aeroklubowych, dostępność danych o trasach z urządzeń ADS-B może być bardziej ograniczona. W czasie przygotowywania niniejszej publikacji średnio około 25% statków powietrznych eksploatowanych w aeroklubach wyposażonych było w nadajniki pracujące w modzie S, w którym transmitowane są współrzędne statku powietrznego. Specyfika funkcjonowania takich lotnisk (duża liczba powtarzalnych operacji treningowych) powoduje, iż na podstawie dostępności danych nawet z niewielkiej procentowo grupy operujących na takim lotnisku statków powietrznych można w połączeniu z informacjami uzyskanymi z AIP oraz od służb kontroli ruchu lub innych osób wskazanych przez zarządzającego (np. instruktorzy, piloci, itd.) uzyskać miarodajny opis tras i struktury ruchu na lotnisku, wystarczający do modelowania długookresowych wskaźników oceny hałasu.

Przykładowe dane radarowe wokół lotniska przedstawia Rys. 6-3. Lewa część rysunku przedstawia operacje startów (kolor czerwony) i lądowań (kolor niebieski) na jednym z progów drogi startowej, a prawa część rysunku na drugim progu drogi startowej.



Rys. 6-3 Zapis radarowy operacji lotniczych wokół lotniska. Kolorem czerwonym zaznaczono operacje startu, a kolorem niebieskim operacje lądowania. Rysunki po lewej i prawej przedstawiają operacje dla dwóch progów drogi startowej



Do analiz strategicznych nie jest konieczne indywidualne modelowanie każdej operacji lotniczej, nawet w przypadku dostępności 100% danych radarowych, ponieważ obliczanie długookresowego poziomu hałasu jest oparte o metody statystyczne. Dlatego na podstawie danych radarowych wyodrębnia się reprezentatywne (najczęściej występujące) trasy operacji lotniczych dla każdego rodzaju operacji, drogi startowej i jej progów.

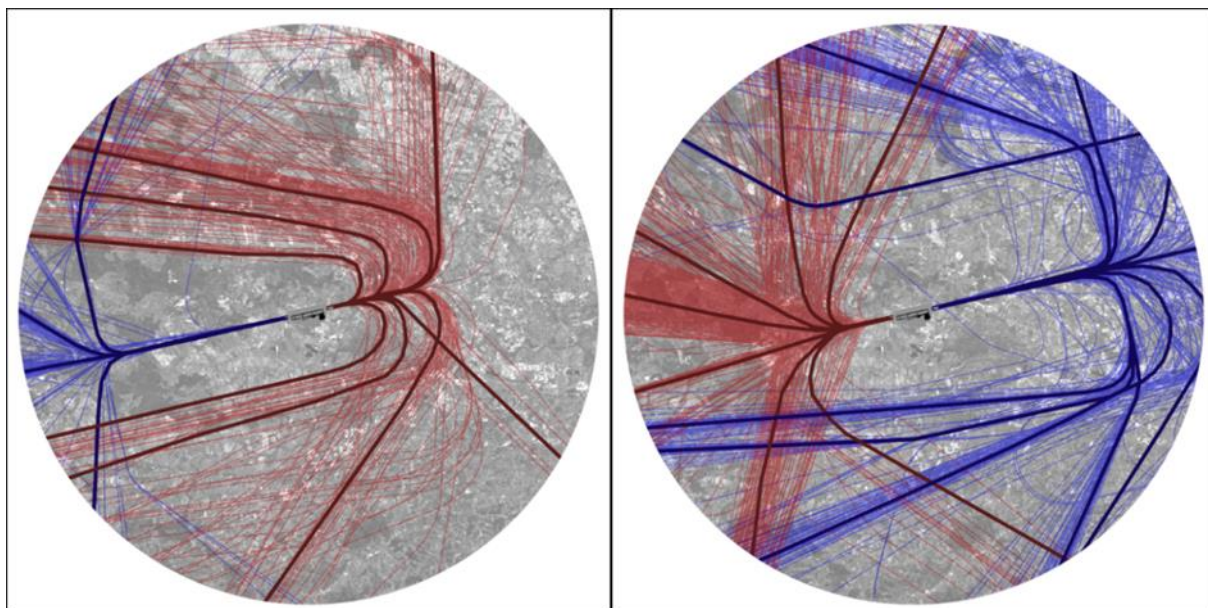
Reprezentatywne trasy operacji wyodrębnienia się z podziałem na grupy statków powietrznych. Podział na grupy może wynikać np. z: różnych kierunków docelowych, obsługiwanych przez różne typy statków powietrznych, możliwości technicznych prowadzenia lotu daną trasą, wynikających między innymi z masy statku powietrznego, rodzaju napędu, itp. (np. lekki samolot GA lecący z lotniska w Poznaniu na lotnisko w Gdańsku startując na zachód w kierunku RWY28 będzie w stanie wykonać zwrot o bardzo małym promieniu w prawo na północ tuż za końcem drogi startowej, podczas gdy lecący na to samo lotnisko duży samolot pasażerski będzie mógł wykonać pierwszy zwrot w prawo znacznie dalej od końca drogi startowej i będzie to zwrot o znacznie większym promieniu). W wyniku analizy danych radarowych może okazać się także konieczne wyodrębnienie reprezentatywnych tras z uwzględnieniem pór doby. Taka sytuacja może wynikać np. ze specyfiki siatki połączeń na danym lotnisku (różne kierunki docelowe dominują w porze dziennej, wieczornej i nocnej).

Alternatywą dla podziału na grupy tras reprezentatywnych jest wyodrębnienie wszystkich reprezentatywnych tras bez podziału na grupy i uwzględnienie prawdopodobieństwa/ możliwości wykonania określonej operacji przez dany typ statku analizowaną trasą w określonej porze doby, poprzez odpowiedni podział całkowitego ruchu danego typu statku na wyróżnione trasy w danej porze doby (nie wszystkie trasy będą obciążone przez wszystkie statki powietrzne i/lub we wszystkich porach doby).

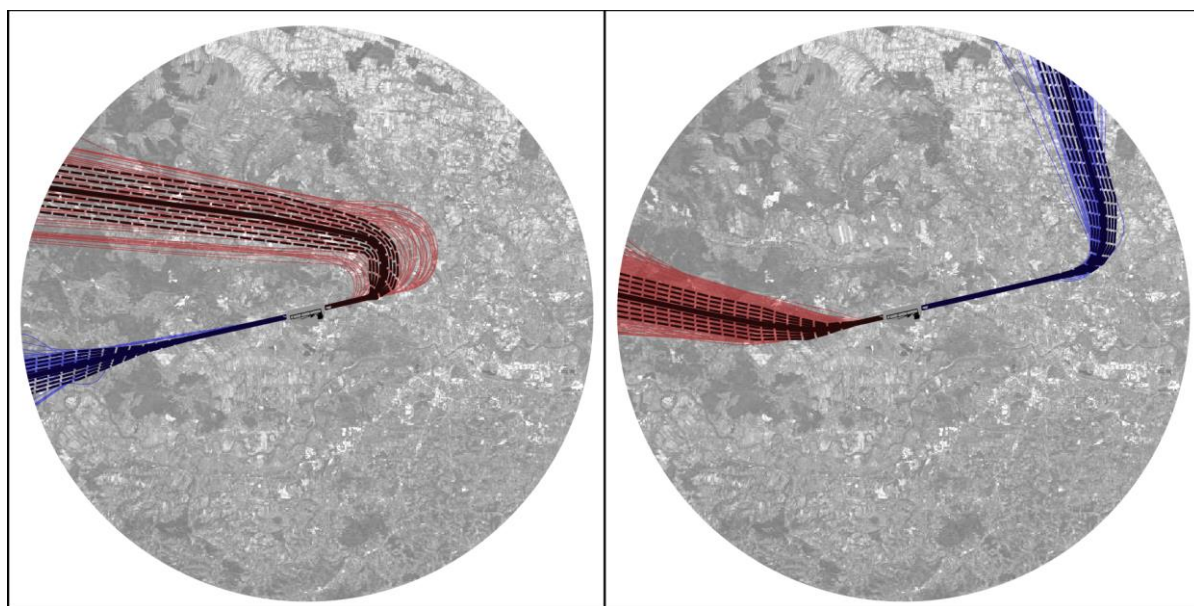
Przypisanie obciążenia danego typu statku powietrznego do trajektorii zidentyfikowanych w danej porze doby należy wykonać na podstawie analizy statystycznej danych radarowych.

Przykładowe wyodrębnienie reprezentatywnych tras dla sytuacji z Rys. 6-3 przedstawiono na rysunku Rys. 6-4. W celu uwzględnienia rzeczywistego rozproszenia tras, widocznego na danych radarowych, stosuje się procedurę rozproszenia trasy głównej, dostępną w oprogramowaniu do modelowania hałasu lotniczego. Modelując rozproszenie ustala się procentowe obciążenie każdej z podtras (tzw. subtraki), które łącznie daje 100% obciążenia przypisanego dla tej trasy głównej. Zazwyczaj domyślną wartością rozproszenia jest rozkład obciążeń podtras odpowiadający normalnemu rozkładowi prawdopodobieństwa. Można jednak przypisać dowolny rozkład liczby operacji na podtrasach tak, aby jak najlepiej odwzorować rzeczywisty charakter rozproszenia tras radarowych. Niezależnie od przyjętego rozkładu prawdopodobieństwa, ruch przypisany do danej trasy głównej rozkłada się z zadaniem rozkładem procentowym na zdefiniowaną przez użytkownika liczbę podtras. Oprócz liczby podtras i ich obciążenia procentowego należy ustalić także dla każdej trasy głównej szerokość rozproszenia. Szerokość ta powinna być zdefiniowana dla każdego punktu trajektorii oddzielnie. Powinna ona uwzględniać rozmycie widoczne w zbiorze danych radarowych oraz fakt, iż rozmycie to zmniejsza się wraz ze zbliżaniem się do progu drogi startowej. Przykład rozproszenia dla wybranych trajektorii reprezentatywnych (Rys. 6-4)

przedstawiono na Rys. 6-5. Na rysunku tym widać trasę główną (linia ciągła) oraz podtrasy zaznaczone liniami przerywanymi.



Rys. 6-4 Główne trasy operacji lotniczych wydobywane na podstawie analizy danych radarowych



Rys. 6-5 Przykład rozproszenia trasy głównej (kolor czarny, linia ciągła) na subtrasy (linie przerywane)

W modelu hałasu lotniczego należy uwzględnić także hałas operacji kołowania z płaszczyzn postojowych na progi dróg startowych oraz w kierunku przeciwnym - z drogi startowej na płaszczyzn postojowe. Geometria dróg kołowania i płaszczyzn postojowych jest określona w publikacji AIP (karta: „Aerodrome chart”). Na tej podstawie należy w modelu lotniska zbudować trasy kołowania. Obciążenia tych tras należy ustalić na podstawie informacji o strukturze ruchu na lotnisku oraz na podstawie dodatkowych informacji od zarządzającego lotniskiem dotyczących wewnętrznych regulacji obejmujących organizację ruchu na drogach kołowania.

Wpływ wyodrębnienia poszczególnych tras reprezentatywnych, ich rozproszenia i przypisania im obciążeń ruchowych dla danych statków powietrznych w danych porach doby została omówiona w podrozdziale 6.3.1.

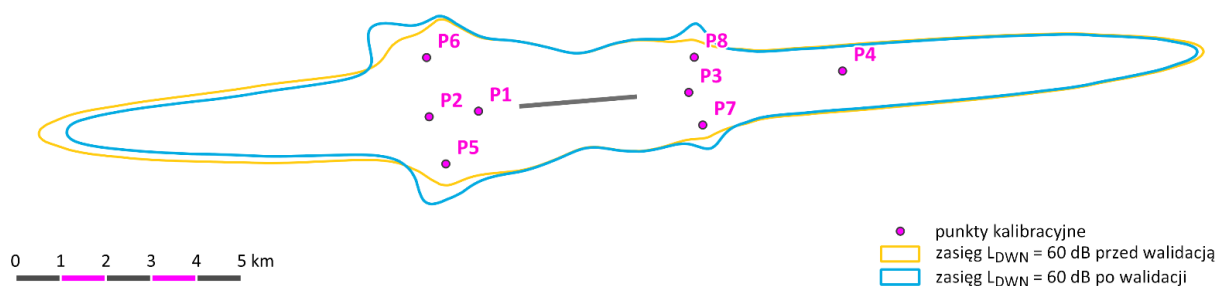
### 6.3.1 Przykłady błędów związanych z modelowaniem torów lotu i ich obciążenia

Wyodrębnienie tras głównych, ich rozproszenia oraz przypisanie obciążeń ruchowych w bezpośredni sposób przekłada się na wartość poziomu i kształt izolacji równoważnego poziomu dźwięku wokół lotniska. Z tego powodu, nawet dobry model akustyczny dla pojedynczych operacji lotniczych, który daje zgodność zmierzonego i obliczonego poziomu ekspozycji hałasu, 66 wcale nie musi przekładać się na zgodność zmierzonego i obliczonego długookresowego równoważnego poziomu dźwięku. Za tę niezgodność może odpowiadać rozkład tras głównych, subtraków i przypisane im obciążenia.

Poniżej pokazano przykład błędu przy obliczaniu poziomu  $L_{DWN}$  spowodowanego niewłaściwym przypisaniem obciążeń reprezentatywnych tras operacji lotniczych.

Na Rys. 6-6 pokazano izolację poziomu  $L_{DWN}$  oraz lokalizację punktów pomiarowych, które wykorzystano do walidacji modelu obliczeniowego. W Tab. 6-1 pokazano wyniki pomiarów poziomów hałasu lotniczego w tych punktach oraz wyniki obliczeń dla dwóch przypadków. W pierwszym przypadku, na podstawie danych radarowych dokonano procentowego podziału na poszczególne trasy reprezentatywne w sposób globalny, tj. przypisano do każdej trasy taki sam procentowy udział, dla wszystkich operujących statków powietrznych, równy całkowitemu udziałowi ruchu statku danego typu po tej stronie drogi startowej. Podział ten okazał się jednak w przypadku tego konkretnego lotniska nieprawidłowy, stanowił zbyt duże uproszczenie, generujące rozbieżności poziomów zmierzonych i obliczonych większe niż 2 dB. Następnie, po bardziej szczegółowej analizie danych radarowych stwierdzono, iż czynnikiem grupującym trajektorie jest masa startowa statku powietrznego. Na tej podstawie dokonano przypisania obciążeń z podziałem na trzy grupy statków: duże statki pasażerskie, małe statki pasażerskie oraz lekkie samoloty prywatne/rekreacyjne typu GA. Różnica powierzchni obszaru objętego izolacją  $L_{DWN} = 60$  dB dla tych dwóch scenariuszy to ok. 1,7 km<sup>2</sup>.

<sup>66</sup> patrz: Wytyczne GIOŚ; zagadnienie to stanowi element Etapu I procedury walidacji modelu akustycznego lotniska (model hałasu średniej pojedynczej operacji lotniczej, w zależności od: typu statku, rodzaju operacji, profilu lotu, itd.); etap II polega na dopasowaniu zmierzonego i obliczonego równoważnego poziomu dźwięku z uwzględnieniem wszystkich rodzajów pojedynczych operacji lotniczych



Rys. 6-6 Izolinia 60 dB poziomu  $L_{DWN}$  w przypadku niewłaściwego (równomiernego) przypisania obciążeń do tras lotów oraz z uwzględnieniem wykorzystania poszczególnych tras przez określone typy statków powietrznych

Tab. 6-1 Porównanie zmierzonego i obliczonego poziomu  $L_{DWN}$  dla nieprawidłowego (równomiernego) i prawidłowego (z uwzględnieniem wykorzystania poszczególnych tras przez określone typy statków powietrznych) podziału obciążeń na reprezentatywne trasy lotów

punkt pomiarowy	$L_{DWN}$ zmierzony [dB]	obciążenie tras			
		nieprawidłowe		prawidłowe	
		$L_{DWN}$ obliczony	Różnica [dB]	$L_{DWN}$ obliczony	Różnica [dB]
P1	65,6	66,1	-0,5	66,1	-0,5
P2	64,1	65,8	-1,7	64,9	-0,8
P3	66,2	66,7	-0,5	66,4	-0,2
P4	63,1	64,3	-1,2	63,8	-0,7
P5	64,6	62,1	2,5	64,1	0,5
P6	63,4	61,3	2,1	64,2	-0,8
P7	62,3	59,7	2,6	62,8	-0,5

W nawiązaniu do omawianego przykładu warto jeszcze zwrócić uwagę na dwa zagadnienia:

- metodyka CNOSSOS-EU w odniesieniu do hałasu lotniczego pozwala na obliczanie długookresowych poziomów hałasu z dokładnością poniżej 2 dB, ale przy założeniu, że okres uśredniania obejmuje przynajmniej setki operacji lotniczych (gdyż jest to model statystyczny), a ponadto model jest lokalnie (dla każdego lotniska) walidowany pomiarami (z odpowiednią liczbą i lokalizacją punktów pomiarowych);
- w przypadku hałasu lotniczego dokładność obliczeń przekłada się istotnie na obszar objęty zasięgiem hałasu; można przyjąć w uproszczeniu, że w kierunku osi drogi startowej zmiana długookresowych poziomów hałasu z przedziału 50-60 dB o 1 dB przesuną zasięg hałasu o ok. 1 km.

## 6.4 Sposób modelowania procedur startów i lądowań

Specyfika procedur startów i lądowań na danym lotnisku jest uwzględniana w modelu hałasu lotniczego poprzez odpowiednie dopasowanie profili operacyjnych (profilu lotów) i przypisanie ich do danych tras, z podziałem na pory doby (jeśli zachodzi taka potrzeba, np. ze względu

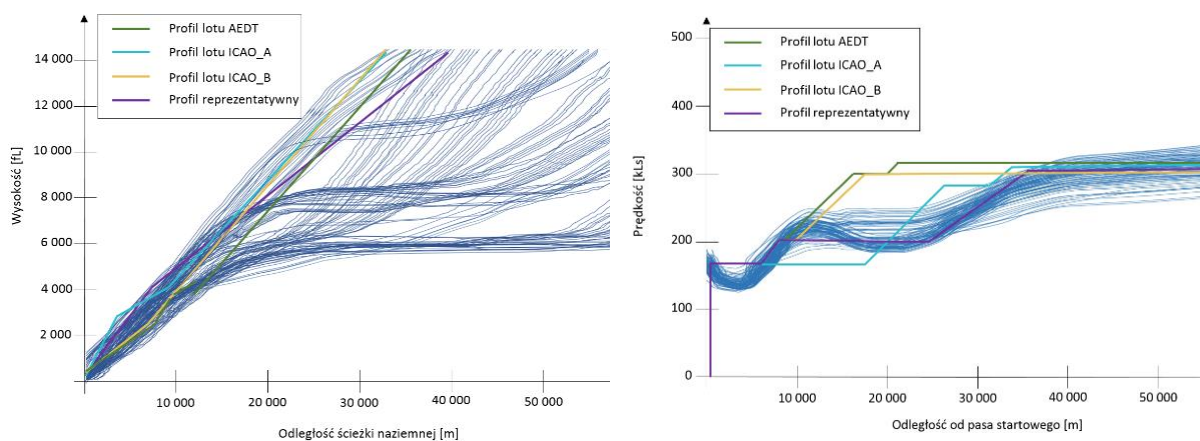
na różne kierunki docelowe i związane z tym masy startowe, obsługiwane w zależności od pory doby).

W oprogramowaniu do modelowania zaimplementowano (np. poprzez bazę ANP) dla każdego typu statku powietrznego po jednym lub większej liczbie profili dla danego typu operacji. Najczęściej dla operacji lądowania dostępny jest jeden profil standardowy, natomiast dla operacji startu dostępnych jest nawet kilka grup profili, w zależności od typu statku. Parametrem różnicującym profile w ramach grupy jest między innymi masa startowa statku powietrznego (TOW). Oprócz grupy profili standardowych dostępne są zazwyczaj grupy profili ICAO (ICAO-A i ICAO-B), a niekiedy także inne zmodyfikowane profile. Profile te uwzględniają różne procedury startów, związane np. z procedurami ograniczającymi hałas (np. procedury NADP - *Noise Abatement Departure Procedure*, czy CCO - *Continuous Climb Operation*), dobieranymi z uwzględnieniem odległości terenów wymagających ochrony od progu drogi startowej (np. procedury NADP 1 obniżające hałas blisko lotniska, NADP 2 – obniżające hałas dalej od lotniska).

Informacje o rzeczywistym profilu lotu w praktyce pozyskujemy z następujących źródeł:

- dane radarowe;
- dane z systemu ADS-B.

W obydwu wymienionych powyżej źródłach danych, oprócz współrzędnych GPS, zawarte są informacje o prędkości i wysokości statku powietrznego. Przykładowy zbiór takich profili wysokościowych i prędkościowych, wyodrębnionych z danych radarowych dla wielu operacji startu jednego typu statku na jednym lotnisku przedstawiono na rysunku poniżej (Rys. 5-7).



Rys. 6-7 Przykład rzeczywistych profili wysokości i prędkości uzyskanych z danych radarowych, dla operacji startu tego samego typu statku powietrznego na jednym lotnisku, na tle profili standardowych

Dane radarowe nie zawierają informacji o parametrach ciągu (profilu ciągu) statku powietrznego. W praktyce, dla danego typu statku powietrznego wybór odpowiedniego profilu polega na wyborze z zestawu dostępnych w oprogramowaniu (bazie danych) profili - profilu wysokościowego i prędkościowego - najbardziej zbliżonych do profili rzeczywistych, pozyskanych z danych radarowych. Przykład dopasowania profili z bazy danych do danych radarowych, determinujących profil reprezentatywny, został pokazany na Rys. 6-7. Takie

podejście daje w analizach strategicznych (dla wskaźników długookresowych, obejmujących statystycznie reprezentatywną liczbę operacji) zazwyczaj zadowalającą dokładność. W przypadkach, gdy na lotnisku stosowane są np. specyficzne procedury antyhałasowe lub z powodu innych uwarunkowań, profile rzeczywiste znacznie różnią się od zestawu dostępnych w bazie danych profili, wtedy konieczne jest konstruowanie indywidualnego profilu dla danego typu statku powietrznego i rodzaju wykonywanej operacji. Najczęściej i najprościej realizuje się to poprzez modyfikację istniejących profili. Przebieg profilu danej operacji będzie zależał także, jak już wskazano wyżej, od masy startowej statku powietrznego. Dlatego analiza rzeczywistych mas startowych statków operujących na danym lotnisku jest pomocna w wyborze właściwego profilu operacji. Masy startowe statków powietrznych są zazwyczaj gromadzone w systemach teleinformatycznych portów lotniczych. Należy je rozpatrywać jako średnie dla danego typu statku powietrznego uwzględnianego w modelu. Jeśli takie podejście nie pozwala na walidację modelu akustycznego, wtedy może się okazać konieczny bardziej szczegółowy model, z rozbiciem danego rodzaju operacji wykonywanej przez określony typ statku powietrznego na dwa oddzielne, związane np. z grupą operacji o małej i dużej TOW.

Analizując profile z danych radarowych oraz informacje o procedurach antyhałasowych, zapisane w AIP, może się okazać, że na danym lotnisku obowiązują inne procedury startów czy lądowań, na różnych kierunkach drogi startowej. W takiej sytuacji, profile operacji należy dobrać nie tylko z dokładnością do typu statku, ale i z uwzględnieniem progu drogi startowej, na którym wykonywana jest ta operacja.

### **Profil operacji kołowania**

Do zamodelowania operacji kołowania, oprócz wskazania trajektorii, również potrzebny jest profil wysokości i prędkości (modelowane jako wartości stałe), z których wynika określony ciąg i emitowany poziom hałasu.

W metodyce ECAC CEAC Doc. 29 (podstawa CNOSSOS-EU) hałas operacji kołowania (nazywanych operacjami typu TAXI) modelowany jest natywnie tylko dla śmigłowców, dla których dostępne są profile kołowania (TAXI). Dla pozostałych typów statków powietrznych nie ma oficjalnej metodyki modelowania operacji kołowania. W tej sytuacji, w przypadku profili operacji kołowania na drodze płaszczyzny postojowe - próg drogi startowej, należy wykorzystać istniejące w danym oprogramowaniu profile kołowania „TAXI” dla poszczególnych statków powietrznych. W przypadku braku takich profili należy je zbudować w oparciu o istniejące profile dla innych typów statków powietrznych. Jeśli w programie obliczeniowym brak jest w ogóle możliwości modelowania operacji kołowania, wtedy dopuszczalne jest modelowanie tych operacji jako przeloty (overflight) na wysokości rzędu 1-5 m (zależnie od wysokości silników danego statku powietrznego), z odpowiednio skonstruowanym profilem. Dane do budowy takiego profilu (dla samolotów to głównie prędkość kołowania oraz wartość parametru ciągu podczas kołowania) należy pozyskać od użytkowników floty. Hałas operacji kołowania jest znacznie mniejszy niż generowany podczas operacji startu lub lądowania i może stanowić problem tylko w szczególnych sytuacjach, relatywnie bliskiej lokalizacji terenów chronionych od dróg kołowania. W takiej sytuacji rekomenduje się walidację pomiarami.

Niezależnie od rodzaju operacji, ostatecznym kryterium poprawności dopasowania reprezentatywnych profili operacji lotniczych dla poszczególnych statków powietrznych i progów drogi startowej jest procedura walidacji, wykorzystująca dane z monitoringu hałasu, opisana we Wytycznych GIOŚ (jako Etap I).

## 6.5 Wyznaczanie średniorocznej liczby różnych rodzajów operacji lotniczych

Dane dotyczące struktury ruchu na lotnisku pozyskiwane są od zarządzającego lotniskiem. Dane do modelu akustycznego powinny zawierać liczbę operacji każdego z operujących w okresie będącym przedmiotem analiz statków powietrznych. Liczba operacji powinna być podana z podziałem na:

- typ statku,
- próg drogi startowej,
- rodzaj operacji - starty, lądowania, kręgi, przeloty, itd.,
- porę doby - dzień, wieczór i noc.

Przykładową strukturę danych o ruchu na lotnisku, na potrzeby strategicznej mapy hałasu dla okresu jednego roku, pokazano w Tab. 6-2.

Tab. 6-2 Przykładowa struktura danych o liczbie operacji dla lotniska z jedną drogą startową

statek powietrzny	DZIEŃ (6:00 - 18:00)				WIECZÓR (18:00 - 22:00)				NOC (22:00 - 6:00)			
	RWY10		RWY25		RWY10		RWY25		RWY10		RWY25	
	start	lądowanie	start	lądowanie	start	lądowanie	start	lądowanie	start	lądowanie	start	lądowanie
A320-211	1850	1740	3654	3721	521	536	812	792	722	746	1387	1411
B737-800	1622	1648	3358	3313	481	489	698	712	633	641	1158	1147
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

W praktyce często występuje problem z podziałem operacji na progi dróg startowych. Jeżeli lotnisko nie prowadzi ewidencji operacji z podziałem na progi dróg startowych, wtedy informacje takie można pozyskać z danych radarowych (jeżeli dostępne są dane radarowe z PAŻP obejmujące całkowicie okres analiz) lub z systemu ciągłego monitoringu poziomów hałasu lotniczego (jeżeli taki funkcjonuje na lotnisku). W przypadku braku możliwości pozyskania danych z ww. źródeł należy przyjąć obciążenie progów na podstawie różny wiatrów z okresu objętego analizą (operacje lotnicze, co do zasady wykonuje się pod wiatr, jednak w przypadku małych prędkości wiatru nie musi tak być), łącznie z innymi danymi dotyczącymi procedur lotniskowych definiujących priorytety w użytkowaniu poszczególnych progów drogi startowej w poszczególnych porach doby (często takie procedury wynikają np. z ograniczeń hałasowych i np. w porze nocnej preferowane są konkretne progi drogi startowej). Statystykę rozkładu operacji na progi można w takich sytuacjach przyjąć, a przynajmniej zweryfikować, na podstawie pomiarów kalibracyjnych (okresowych pomiarów poziomów hałasu lotniczego), jeżeli okres tych pomiarów był reprezentatywnie długi. W każdym z powyższych przypadków braku dokładnych statystyk z podziałem na progi dróg startowych, przyjęte obciążenie progów

należy traktować jako wstępne i musi ono zostać walidowane pomiarowo przez porównanie zmierzonego i obliczonego równoważnego poziomu hałasu (Wytyczne GIOŚ, Etap II procedury walidacji).

Przeciętnie, na krajowym lotnisku w ciągu roku operuje od 100 do ponad 200 typów statków powietrznych. Część z operujących statków powietrznych jest konstrukcyjnie bardzo podobna do siebie. Są to często różne warianty modelu głównego, nieróżniące się istotnie w zakresie parametrów mogących mieć wpływ na emisję hałasu. Wtedy na potrzeby strategicznej mapy hałasu nie ma konieczności modelowania każdego z tych typów statków powietrznych. W praktyce, zgodnie z metodyką ECAC CEAC Doc. 29, podobne statki powietrzne można łączyć (grupować), przypisując ruch generowany przez kilka podobnych (pod względem konstrukcji i emisji hałasu) statków powietrznych jednemu z tej grupy, stosując przy tym przypisaniu przynajmniej jedno z nw. kryteriów:

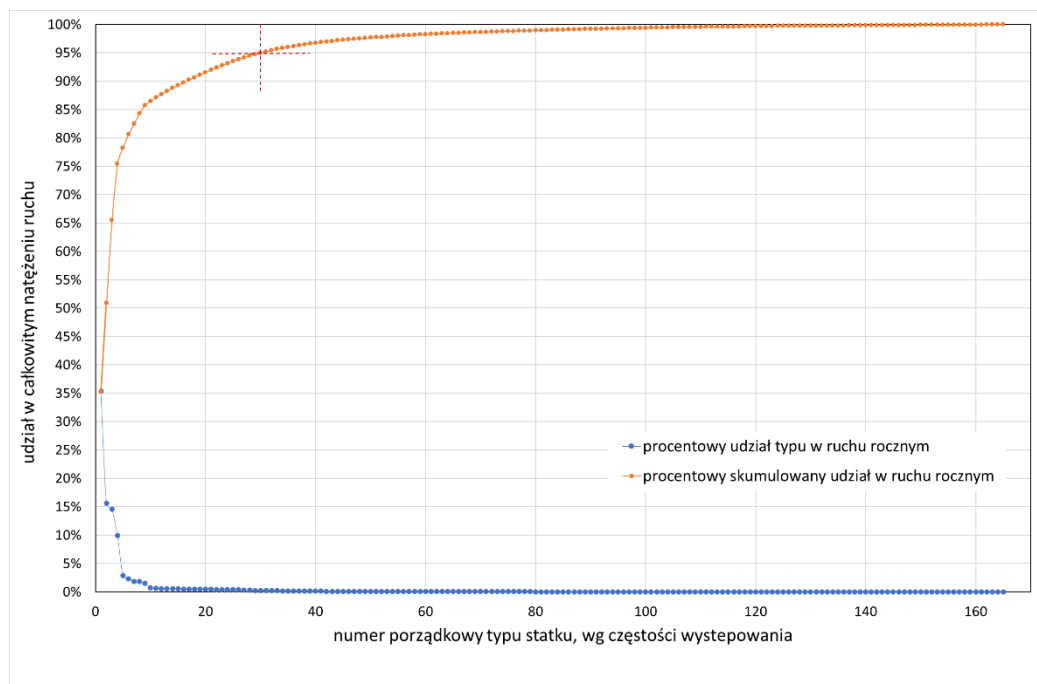
- reprezentatywność – przypisanie do typu najliczniej reprezentowanego,
- dostępność danych – wybór typu ze względu na wielkość bazy danych, np. liczba profili,
- duża baza pomiarowa – duża liczba pomiarów pozwala na wiarygodną walidację modelu dla wybranego typu statku,
- doświadczenie – dobra zgodność wyników modelowania z pomiarami dla wybranego typu, wynikającą z doświadczenia na tym lub innych lotniskach.

### **Zmniejszenie liczby analizowanych typów statków powietrznych**

Na potrzeby strategicznej mapy hałasu można też zastosować grupowanie, które przy marginalnym wpływie na dokładność obliczeń pozwala na zredukowanie w modelu akustycznym lotniska liczby uwzględnionych typów statków powietrznych do około 30 dominujących (najbardziej licznych).

Na Rys. 6-8 pokazano przykładowy udział typów statków powietrznych w rocznym natężeniu ruchu na lotnisku regionalnym. W całym roku zarejestrowano tam prawie 170 typów statków, z tego 4 typy statków mają udział większy niż 5%, a 95% ruchu jest generowane przez 33 typy statków. Ta metoda grupowania polega na wyodrębnieniu grup spośród typów, które generują 95% ruchu rocznego. Pozostałe 5% ruchu można, po podziale tych typów na klasy statków powietrznych (np. duże turbowentylatorowe, małe turbowentylatorowe, duże turbośmigłowe, małe turbośmigłowe, tłokowe, itd.), przypisać proporcjonalnie do liczby operacji każdego statku z grupy stanowiącej 95% ruchu na lotnisku (przyporządkowanych do tej samej klasy, a więc podobnych pod względem emisji hałasu). Ze względu na bardzo małą liczbę zdarzeń taki zabieg nie będzie w istotny sposób wpływał na dokładność obliczeń, nawet niezależnie od poziomu emisji hałasu pojedynczej operacji lotniczej (statków generujących pozostałe 5% ruchu na lotnisku).





Rys. 6-8 Przykładowy procentowy udział typów statków powietrznych w ruchu rocznym na lotnisku cywilnym o liczbie operacji powyżej 10 tys. rocznie, obsługującym ruch pasażerski

Wpływ pominięcia niektórych operacji lotniczych na błąd obliczeń długookresowego średniego poziomu dźwięku przeanalizowano w rozdz. 3. Na Rys. 3-3 pokazano błąd niedoszacowania poziomu dźwięku związanego z pominięciem grupy operacji lotniczych, w zależności od ich liczby w porównaniu z operacjami uwzględnianymi (100% oznacza równą liczbę operacji w obu grupach) oraz w zależności od ich średniego poziomu hałasu pojedynczej operacji względem średniego poziomu hałasu pojedynczej operacji uwzględnionej w obliczeniach.

Przyjmując akceptowalny błąd przybliżenia na poziomie 1 dB, z rysunku widać, że pominięcie nawet bardzo hałaśliwych operacji nie będzie miało wpływu na wynik końcowy, jeśli ich udział w całkowitym natężeniu ruchu nie przekroczy kilku procent. Jeśli są to ciche operacje lotnicze, średnio np. o 10 dB cichsze od grupy uwzględnionej w obliczeniach, wtedy nawet jeśli liczba operacji w tej grupie jest 2 razy większa to może ona być pominięta w obliczeniach (ostatnia seria na Rys. 3-3).

## 6.6 Odzworowanie w modelu dróg kołowania oraz miejsc postojowych samolotów

W każdym modelu akustycznym lotniska oprócz hałasu związanego bezpośrednio z operacjami startu i lądowania, wykonywanymi na drodze startowej, należy uwzględnić również hałas od naziemnych operacji lotniczych. Przez operacje naziemne rozumie się operacje typu TAXI:

- kołowanie z płaszczyzn postojowych na próg drogi startowej (przed startem),
- kołowanie z drogi startowej na płaszczyznę postojową (po lądowaniu).

Drogi kołowania w modelu akustycznym lotniska (tor ruchu statku) buduje się na podstawie danych z AIP, z uwzględnieniem informacji zarządzającego dotyczących zarządzania ruchem naziemnym na danym lotnisku oraz na podstawie mapy sytuacyjno-wysokościowej. Budowę profili statków dla operacji typu TAXI opisano w rozdz. 6.4.

Pozostałe operacje generujące hałas na terenie lotniska i związane bezpośrednio lub pośrednio ze statkiem powietrznym, takie jak: operacje odladania statków powietrznych, próby silników, rozgrzewanie silników, korzystanie z jednostek APU (spalinowe generatory prądu będące integralną częścią statku powietrznego) podczas obsługi samolotu na płycie postojowej, obsługa samolotu przez cysterny, wózki bagażowe, schody, itp., stanowią składniki hałasu instalacji emitowanego z terenu lotniska, a zatem z formalnego punktu widzenia nie składają się one na hałas lotniczy.

## 6.7 Charakterystyka akustyczna statków powietrznych – wyniki pomiarów

Jak już wcześniej wskazano, średnio w Polsce na lotnisku cywilnym obsługującym ruch pasażerski oraz lotnictwo ogólne (GA) operuje w ujęciu rocznym około 200 typów statków powietrznych. Ze względu na typ, statki te możemy podzielić na: samoloty, śmigłowce, szybowce, motoszybowce, wiatrakowce, sterowce, statki bezzałogowe, myśliwce, balony, itp. Samoloty możemy podzielić ze względu na rodzaj napędu: śmigłowy (tłokowy), turbośmigłowy, turbowentylatorowy. Samoloty można podzielić także ze względu na przeznaczenie i związane z tym wymagania techniczne na: transportowe duże (MTOM > 8618 kg), transportu lokalnego (MTOM ≤ 8618 kg, lekkie (MTOM ≤ 5700 kg: normalne, użytkowe i akrobacyjne) oraz bardzo lekkie (MTOM ≤ 750 kg). Ze względu na inne kryteria można dokonać więcej podziałów. Powyżej wspomniano jedynie o kryteriach, które mogą być istotne z punktu widzenia parametrów akustycznych.

Z publicznie dostępnych danych wynika, że na największych lotniskach cywilnych lub współdzielonych, obsługujących ruch pasażerski, 95 % rocznego ruchu lotniczego – na typowym lotnisku w Polsce, objętym obowiązkiem opracowania strategicznej mapy hałasu (np. EPWA, EPGD, EPKK, EPWR, EPPO, EPKT, EPMO) – jest generowane przez około 30 typów statków powietrznych (rozd. 6.5). Pomimo, iż w tych pozostałych 5% znajdują się zarówno lekkie lub ultralekkie samoloty GA, śmigłowce oraz samoloty transportowe, w tym tak duże jak Antonov AN 124 Rusłan (MTOW 392 tony), czy Lockheed C-5 Galaxy (MTOW 381 ton), w przypadku strategicznych map hałasu, statki te nie mają wpływu na wartości długookresowych wskaźników poziomu hałasu. Z drugiej strony, na ww. lotniskach aż 85% ruchu lotniczego obsługiwana jest przez nie więcej niż ok. 10 typów statków powietrznych (Rys. 6-8). Jak wynika z Rys. 3-3, ze względu na właściwości sumowania poziomów dźwięku, bez utraty dokładności część operacji lotniczych może być pominięta w obliczeniach długookresowych poziomów dźwięku.

Statki powietrzne operujące na polskich lotniskach nie różnią się od tych eksploatowanych w pozostałych krajach europejskich. Z tego względu nie ma potrzeby, tak jak np. w przypadku hałasu szynowego, wprowadzania do modelu CNOSSOS-EU specyficznych dla Polski typów statków czy korekt do istniejących baz danych. Wynika to z tego, że jak pokazano poniżej, na podstawie dostępnych w bazie ANP danych akustycznych statków powietrznych można uzyskać wymaganą zgodność wyników obliczeń z wynikami pomiarów hałasu. Analizy przeprowadzono dla dziesięciu najczęściej operujących w Polsce typów statków powietrznych. Analizy te należy traktować jako przykładowe. Zgodnie z metodą CNOSSOS-EU (oraz ECAC

CEAC Doc. 29) sposób postępowania jest taki sam dla każdego innego typu statku powietrznego, niezależnie od jego konstrukcji, wielkości i rodzaju napędu.

Ranking najczęściej operujących typów statków przygotowano w oparciu o dane z systemów ciągłego monitoringu hałasu lotniczego prowadzonego na sześciu lotniskach, o liczbie operacji lotniczych z zakresu od ok. 25 tys. do ponad 200 tys. rocznie, z różnym udziałem dużych i małych statków powietrznych. Do analiz przyjęto lotniska: Warszawa-Okęcie (EPWA), Poznań-Ławica (EPPO), Kraków-Balice (EPKK), Wrocław-Starachowice (EPWR), Łódź-Lublinek (EPLL) oraz Port Lotniczy Gdańsk (EPGD), dla danych w latach 2016 - 2019 (Tab. 6-3).




Tab. 6-3 Ranking najczęściej operujących typów samolotów na 6 lotniskach cywilnych, obsługujących ruch pasażerski, w Polsce w latach 2016 - 2019

Lp.	Oznaczenie statku	Nazwa statku	Typ napędu	Maksymalna masa startowa MTOW [kg]	% udział w ruchu lotniczym
1	B738	Boeing B737-800	turbowentylatorowy	70530	26,1
2	A320	Airbus A320	turbowentylatorowy	73500	15,7
3	E175	Embraer EMB-175	turbowentylatorowy	37500	11,0
4	E195	Embraer EMB-195	turbowentylatorowy	61500	6,9
5	E170	Embraer EMB-170	turbowentylatorowy	36990	5,4
6	DH8D	De Havilland Canada DHC-8-400 Dash 8	turbośmigłowy	28600	5,0
7	CRJ9	Canadair CL-600 Regional Jet CRJ-900	turbowentylatorowy	36500	4,6
8	A321	Airbus A321	turbowentylatorowy	89000	4,1
9	A319	Airbus A319	turbowentylatorowy	64000	3,9
10	E190	Embraer EMB-190	turbowentylatorowy	56400	2,5
wszystkie pozostałe łącznie					14,8

Fotografie wraz z podstawowymi parametrami każdego z wybranych 10 typów samolotów przedstawiono w Tab. 6-4. Pozostałe typy statków powietrznych występujące w Polsce przedstawiono w rozdz. 4 w załączniku VI.

Tab. 6-4 Fotografia i podstawowe dane użytkowe wytypowanych samolotów

lp	Fotografie	podstawowe informacje
1	<p>B738 Boeing B737-800</p>  <p>źródło: www.boeing.mediaroom.com</p>	<p>długość: 39,5m                      Rozpiętość skrzydeł 34,2m                      wysokość 12,6 m                      max. Liczba miejsc 189                      MTOW 76657 kg                      Liczba silników: 2                      Typ silników: turbowentylatorowe                      Wąskokadłubowy                      Lokalizacja silników: pod skrzydłami                      Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
2	<p>A320 Airbus A32</p>  <p>źródło: www.airbus.com</p>	<p>długość: 35,8m                      Rozpiętość skrzydeł 37,6m                      wysokość 11,8 m                      max. Liczba miejsc 189                      MTOW 73000 kg                      Liczba silników: 2                      Typ silników: turbowentylatorowe                      Wąskokadłubowy                      Lokalizacja silników: pod skrzydłami                      Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
3	<p>E175 Embraer EMB-175</p>  <p>źródło: www.embraercommercialaviation.com/media-downloads/images</p>	<p>długość: 31,7m                      Rozpiętość skrzydeł 26,0m                      wysokość 9,7 m                      max. Liczba miejsc 82                      MTOW 40370 kg                      Liczba silników: 2                      Typ silników: turbowentylatorowe                      Wąskokadłubowy                      Lokalizacja silników: pod skrzydłami                      Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
4	<p>E195 Embraer EMB-195</p>  <p>źródło: www.embraercommercialaviation.com/media-downloads/images</p>	<p>długość: 38,7m                      Rozpiętość skrzydeł 28,7m                      wysokość 10,6 m                      max. Liczba miejsc 112                      MTOW 52290 kg                      Liczba silników: 2                      Typ silników: turbowentylatorowe                      Wąskokadłubowy                      Lokalizacja silników: pod skrzydłami                      Kod referencyjny lotniska: 4C</p>

<p>5</p>	<p>E170 Embraer EMB-170</p>  <p>Źródło: <a href="http://www.embraercommercialaviation.com/media-downloads/images">www.embraercommercialaviation.com/media-downloads/images</a></p>	<p>długość: 29,9m                  Rozpiętość skrzydeł 26,0 m                  wysokość 9,7 m                  max. Liczba miejsc 70                  MTOW 38600 kg                  Liczba silników: 2                  Typ silników: turbowentylatorowe                  Wąskokadłubowy                  Lokalizacja silników: pod skrzydłami                  Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
<p>6</p>	<p>DHC8 De Havilland Canada DHC-8-400 Dash 8</p>  <p>Źródło: <a href="https://dehavilland.com/en/media">https://dehavilland.com/en/media</a></p>	<p>długość: 32,8 m                  Rozpiętość skrzydeł 28,4 m                  wysokość 8,4 m                  max. Liczba miejsc 90                  MTOW 30481 kg                  Liczba silników: 2                  Typ silników: turbośmigłowe                  Wąskokadłubowy                  Lokalizacja silników: pod skrzydłami                  Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
<p>7</p>	<p>CRJ9 Canadair CL-600 Regional Jet CRJ-900</p>  <p>źródło: <a href="http://corporate.lot.com/pl/pl/galeria-obrazow-flota">corporate.lot.com/pl/pl/galeria-obrazow-flota</a></p>	<p>długość: 36,4m                  Rozpiętość skrzydeł 24,9m                  wysokość 7,5 m                  max. Liczba miejsc 90                  MTOW 36514 kg                  Liczba silników: 2                  Typ silników: turbowentylatorowe                  Wąskokadłubowy                  Lokalizacja silników: na kadłubie – z tyłu samolotu                  Kod referencyjny lotniska: 4C</p>

8	<p>A321 Airbus A321</p>  <p>Źródło: <a href="http://www.airbus.com">www.airbus.com</a></p>	<p>długość: 44,5m                  Rozpiętość skrzydeł 35,8m                  wysokość 11,8 m                  max. Liczba miejsc 220                  MTOW 89000 kg                  Liczba silników: 2                  Typ silników: turbowentylatorowe                  Wąskokadłubowy                  Lokalizacja silników: pod skrzydłami                  Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
9	<p>A319 Airbus A319</p>  <p>Źródło: <a href="http://www.airbus.com">www.airbus.com</a></p>	<p>długość: 33,8m                  Rozpiętość skrzydeł 34,1m                  wysokość 11,7 m                  max. Liczba miejsc 160                  MTOW 75500 kg                  Liczba silników: 2                  Typ silników: turbowentylatorowe                  Wąskokadłubowy                  Lokalizacja silników: pod skrzydłami                  Kod referencyjny lotniska: 4C</p>
10	<p>E190 Embraer EMB-190</p>  <p>Źródło: <a href="http://www.embraercommercialaviation.com/media-downloads/images">www.embraercommercialaviation.com/media-downloads/images</a></p>	<p>długość: 36,2m                  Rozpiętość skrzydeł 28,7m                  wysokość 10,6 m                  max. Liczba miejsc 106                  MTOW 47790 kg                  Liczba silników: 2                  Typ silników: turbowentylatorowe                  Wąskokadłubowy                  Lokalizacja silników: pod skrzydłami                  Kod referencyjny lotniska: 4C</p>

Dla ww. dziesięciu najczęściej operujących typów statków powietrznych przeprowadzono na potrzeby niniejszego opracowania pomiary poziomu ekspozycji hałasu związanego z pojedynczymi operacjami lotniczymi (start lub lądowanie). Pomiary przeprowadzono wokół lotniska Kraków-Balice w czterech punktach pomiarowych w sposób ciągły w okresie jednego miesiąca. Lokalizacje punktów pomiarowych przedstawiono na Rys. 6-9. Po dwa punkty

pomiarowe znajdowały się odpowiednio po wschodniej i zachodniej stronie lotniska. Po obydwu stronach punkty zlokalizowano blisko osi drogi startowej, w różnych odległościach od końca drogi startowej. Punkty zostały dobrane tak, aby pokryć zakres odległości od ok. 1 km do 8 km od progu drogi startowej. Punkty te pokrywają się częściowo z siatką punktów ciągłych pomiarów poziomów hałasu lotniczego wokół lotniska Kraków-Balice. Wyniki pomiarów zebrano w Tab. 6-5, z podaniem progu operacji, średniej wartości zmierzonych poziomów ekspozycji hałasu i jego odchylenia standardowego oraz liczbę zarejestrowanych wydarzeń danego typu (szczegółowe wyniki zawarto w sprawozdaniach z badań, które stanowią załącznik do tego dokumentu).



Rys. 6-9 Lokalizacja punktów pomiaru hałasu wokół lotniska Kraków-Balice

Tab. 6-5 Zestawienie wyników pomiarów z okresowych (miesięcznych) pomiarów hałasu wokół lotniska Kraków-Balice.

nazwa statku	rodzaj operacji	RWY	punkt pomiarowy P1			punkt pomiarowy P2			punkt pomiarowy P3			punkt pomiarowy P4		
			L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n	L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n	L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n	L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n
A319	start	25	89,9	1,4	10	-	-	-	-	-	-	82,4	1,3	10
A319	lądowanie	25	-	-	-	86,2	1,1	5	81,1	1,3	5	-	-	-
A320	start	07	-	-	-	82,9	-	1	73,5	-	1	-	-	-
A320	start	25	89,9	1,7	20	-	-	-	-	-	-	80,5	3,0	20
A320	lądowanie	07	83,0	1,9	3	-	-	-	-	-	-	85,2	1,6	3
A320	lądowanie	25	-	-	-	83,7	1,1	25	80,0	1,3	25	-	-	-
A321	start	07	-	-	-	81,5	-	1	-	-	-	-	-	-
A321	start	25	92,6	2,4	9	-	-	-	-	-	-	82,0	4,6	9
A321	lądowanie	07	84,8	1,1	3	-	-	-	-	-	-	84,7	1,5	3
A321	lądowanie	25	-	-	-	83,4	0,7	6	79,4	1,5	6	-	-	-
B738	start	07	-	-	-	88,2	0,7	9	79,7	1,3	9	-	-	-
B738	start	25	92,7	1,7	104	-	-	-	-	-	-	85,6	2,0	104
B738	lądowanie	07	86,4	1,0	24	-	-	-	-	-	-	87,7	1,2	24
B738	lądowanie	25	80,9	-	2	86,7	1,1	88	80,5	2,0	88	-	-	-
CRJ9	start	25	88,7	1,0	15	-	-	-	-	-	-	83,1	1,4	15
CRJ9	lądowanie	07	82,6	0,7	3	-	-	-	-	-	-	85,6	0,8	3
CRJ9	lądowanie	25	-	-	-	84,5	1,0	14	79,9	1,1	14	-	-	-
DH8D	start	07	-	-	-	75,6	2,4	7	71,9	-	1	-	-	-
DH8D	start	25	80,2	1,2	48	-	-	-	-	-	-	74,1	2,4	43
DH8D	lądowanie	07	81,1	0,6	7	-	-	-	-	-	-	83,7	1,4	7
DH8D	lądowanie	25	73,7	-	2	82,3	1,4	52	80,7	1,8	51	-	-	-
E170	start	07	-	-	-	83,9	-	1	76,0	-	1	-	-	-
E170	start	25	88,6	-	2	-	-	-	-	-	-	81,4	-	2
E170	lądowanie	07	84,1	-	1	-	-	-	-	-	-	86,0	-	1
E170	lądowanie	25	-	-	-	84,8	-	2	79,5	-	2	-	-	-
E175	start	07	-	-	-	83,5	-	2	73,0	-	2	-	-	-
E175	start	25	89,8	1,2	28	-	-	-	-	-	-	82,4	2,4	28
E175	lądowanie	07	83,5	1,1	12	-	-	-	-	-	-	85,4	0,8	12
E175	lądowanie	25	-	-	-	84,6	1,1	23	81,0	1,0	23	-	-	-
E190	start	07	-	-	-	85,3	-	2	80,6	-	1	-	-	-
E190	start	25	90,7	1,4	9	-	-	-	-	-	-	83,7	1,7	9
E190	lądowanie	07	85,9	1,1	5	-	-	-	-	-	-	86,9	1,5	5

nazwa statku	rodzaj operacji	RWY	punkt pomiarowy P1			punkt pomiarowy P2			punkt pomiarowy P3			punkt pomiarowy P4		
			L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n	L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n	L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n	L <sub>AE</sub> [dB]	σ [dB]	n
E190	lądowanie	25	-	-	-	86,1	0,8	6	81,6	1,4	6	-	-	-
E195	start	07	-	-	-	83,6	-	1	-	-	-	-	-	-
E195	lądowanie	25	-	-	-	86,7	-	1	81,2	-	1	-	-	-

Wyniki pomiarów hałasu pojedynczych operacji lotniczych posłużyły do walidacji modelu obliczeniowego, w szczególności do dopasowania właściwych profili poszczególnych operacji lotniczych. Wyniki obliczeń dla profilu dającego najlepsze dopasowanie (rozumiany jako najmniejsza możliwa różnica poziomów hałasu we wszystkich punktach), zaprezentowano w Tab. 6-6, gdzie porównano je z wynikami pomiarów

Tab. 6-6 Porównanie wyników pomiarów i obliczeń po dopasowaniu profili operacji lotniczych dla 10 wybranych typów statków powietrznych

B738						
nr punktu pomiarowego	START profil: ICAO A 1			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	92,7	91,3	-1,4	86,1	87,8	1,7
P2	88,2	86,2	-2,0	86,7	88,3	1,6
P3	79,7	81,0	1,3	80,5	82,5	2,0
P4	85,6	84,8	-0,8	87,7	88,6	0,9
A319						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 1			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	89,9	89,9	0,0	--	--	--
P2	--	--	--	86,2	86,5	0,3
P3	--	--	--	81,1	81,3	0,2
P4	82,4	80,7	-1,7	--	--	--
A320						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 2			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	89,9	90,6	0,7	83,0	84,9	1,9
P2	82,9	81,1	-1,8	83,7	85,5	1,8
P3	--	--	--	80,0	81,1	1,1
P4	80,5	80,1	-0,4	85,2	86,4	1,2
A321						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 1			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	92,6	93,1	0,5	84,8	86,0	1,2



P2	81,5	83,2	1,7	83,4	85,3	1,9
P3	--	--	--	79,4	81,3	1,9
P4	82,0	82,2	0,2	84,7	86,7	2,0
<b>CRJ9</b>						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 5			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	88,7	88,4	-0,3	82,6	83,3	0,7
P2	--	--	--	--	--	--
P3	--	--	--	--	--	--
P4	83,1	82,1	-1,0	85,6	85,1	-0,5
<b>DHC8</b>						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 1			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	80,2	79,9	-0,3	81,0	82,2	1,2
P2	75,6	75,3	-0,3	82,3	81,9	-0,4
P3	71,9	70,7	-1,2	80,7	78,9	-1,8
P4	74,1	74,4	0,3	83,7	82,2	-1,5
<b>E170</b>						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 1			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	88,6	87,6	-1,0	84,1	84,0	-0,1
P2	83,9	82,4	-1,5	84,8	85,6	0,8
P3	76,0	76,7	0,7	79,5	77,6	-1,9
P4	81,4	80,9	-0,5	86,0	85,7	-0,3
<b>E175</b>						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 3			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	89,8	89,2	-0,6	83,5	84,1	0,6
P2	83,5	84,6	1,1	84,6	85,7	1,1
P3	--	--	--	81,0	79,2	-1,8
P4	82,4	83,3	0,9	85,4	85,9	0,5
<b>E190</b>						
nr punktu pomiarowego	START profil: ICAO A 4			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	90,7	91,7	1,0	85,9	85,5	-0,4
P2	85,3	85,3	0,0	86,1	85,8	-0,3
P3	80,6	80,2	-0,4	81,6	79,8	-1,8
P4	83,7	84,1	0,4	86,9	86,2	-0,7

E195						
nr punktu pomiarowego	START profil: STANDARD 1			LĄDOWANIE profil: STANDARD 1		
	ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]			ekspozycyjny poziom dźwięku LAE [dB]		
	pomiary	model	różnica	pomiary	model	różnica
P1	--	--	--	--	--	--
P2	83,6	83,5	-0,1	86,7	85,9	-0,8
P3	--	--	--	81,2	79,4	-1,8
P4	--	--	--	--	--	--

W wyniku walidacji (Etap I procedury, dotyczący pojedynczych operacji) pokazano, iż na podstawie dostępnych w bazie danych ANP profili operacji lotniczych można uzyskać wymaganą zgodność wyniku modelu z pomiarami hałasu (różnice nie przekraczają 2 dB). Z dopasowania widać także, że nie zawsze można stosować jeden standardowy profil operacji. Jest to zawsze specyficzne dla danego lotniska, dlatego konieczne jest zawsze indywidualne dopasowanie profili operacji dla uwzględnionych w modelu typów statków powietrznych (rozdz. 6.4 i 6.5), operujących na analizowanym lotnisku.

Z powyższego wynika, że ogólne podejście do konstrukcji modelu akustycznego lotniska na potrzeby strategicznej mapy hałasu oparte jest dwóch przesłankach:

- nie jest konieczne modelowanie wszystkich operujących typów statków powietrznych,
- dla wytypowanych do modelowania grup statków powietrznych zawsze konieczna jest pomiarowa walidacja modelu.

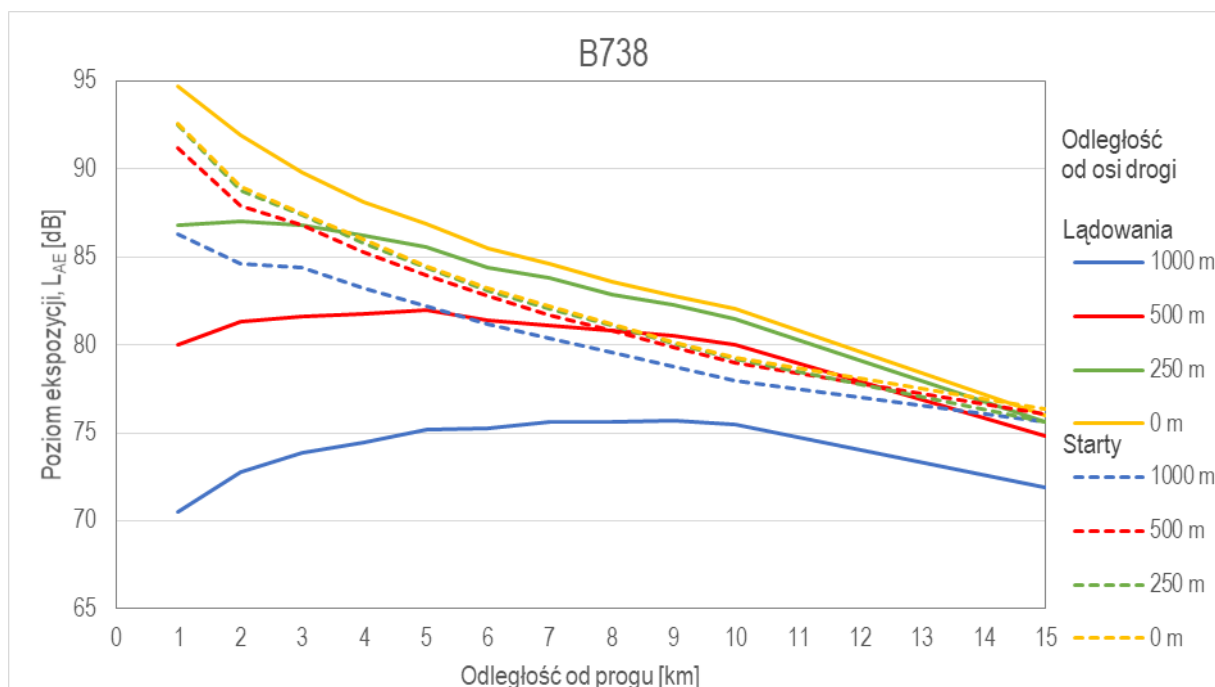
Dla podkreślenia roli odpowiednio dużej bazy pomiarowej potrzebnej do wiarygodnej walidacji modelu (ze względu na występujący w rzeczywistości duży rozrzut wyników pomiarów dla pojedynczej operacji tego samego typu statku powietrznego), w załączniku VI pokazano dodatkowo (dla lotniska Kraków-Balice) dane z ciągłych pomiarów poziomów hałasu lotniczego za cały rok 2019. Wyniki analiz zaprezentowano na histogramach, odrębnie dla danego typu statku powietrznego i danego punktu pomiarowego (do analiz wybrano te punkty, które pokrywają się z pomiarami okresowymi pokazanymi w Tab. 6-6) poziomy ekspozycji związane z operacjami startu i lądowania. Lokalizacje punktów pomiarowych są takie jak na Rys. 6-9.

Ze względu na bezpośrednią zależność pomiędzy średnim poziomem ekspozycji hałasu pojedynczej operacji lotniczej,  $L_{AE}$  a wartością (długookresowego) równoważnego poziomem dźwięku (rozdz. 3), znajomość  $L_{AE}$  pozwala na łatwą – wstępną – weryfikację modelu akustycznego lotniska przedstawionego w strategicznej mapie hałasu. Dlatego, na podstawie powyższych danych i modelu walidowanego wynikami pomiarów, wyznaczono zależności ekspozycyjnego poziomu dźwięku  $L_{AE}$  od odległości od progu drogi startowej, dla dziesięciu najczęściej operujących w Polsce statków powietrznych. Na potrzeby tych obliczeń założono start i odlot oraz podejście i lądowanie w osi drogi startowej, tj. po trajektorii prostoliniowej.

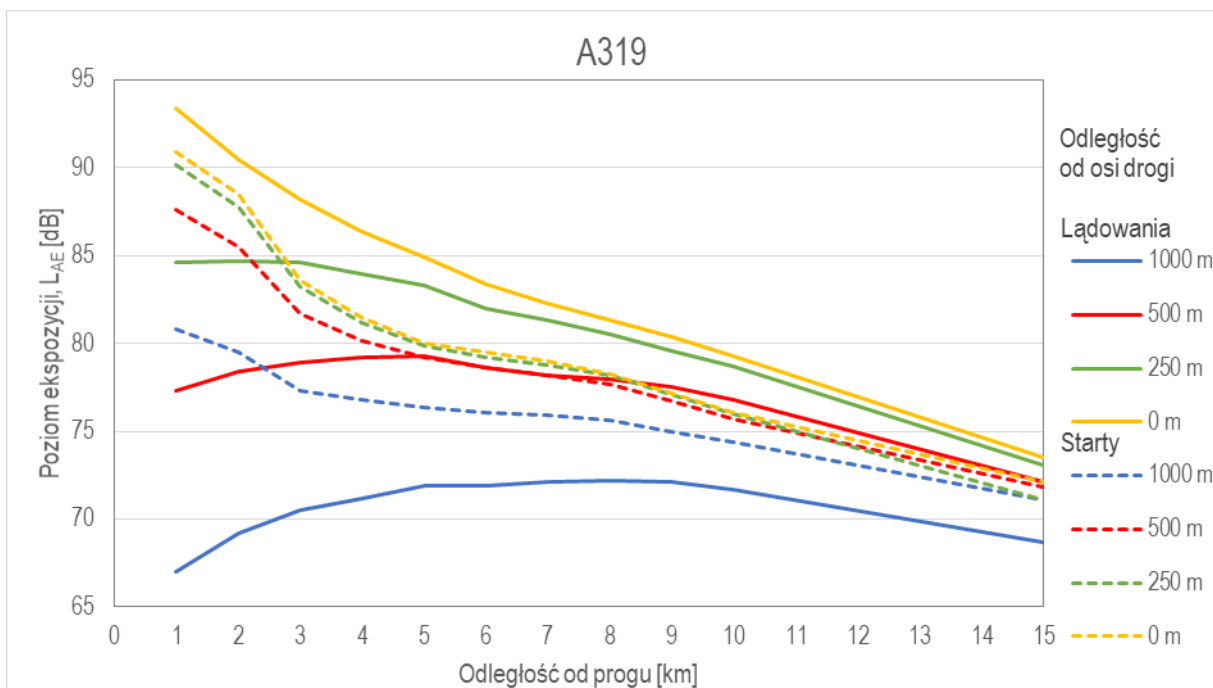
Dla ułatwienia porównań przyjęto, że odległość od drogi startowej dla operacji startów to odległość od przeciwległego końca drogi startowej w stosunku do progu, z którego odbywał się start, natomiast dla lądowań - to odległość do progu, na który miało miejsce lądowanie.

Na Rys. 6-10 do Rys. 6-19 przedstawiono zależność ekspozycyjnego poziomu dźwięku w funkcji odległości dla operacji startów i lądowań. Parametrem na tych rysunkach jest horizontalna odległość obserwatora w kierunku prostopadłym do osi drogi startowej. Krzywa koloru żółtego reprezentuje zależność (wzdłuż toru lotu) dla obserwatora zlokalizowanego dokładnie pod torem lotu. Kolejne krzywe to zależności dla odległości horizontalnej odpowiednio 250, 500 i 1000 metrów prostopadle do osi toru lotu. Liniami ciągłymi przedstawiono zależności dla operacji lądowania, natomiast przerywanymi dla operacji startu.

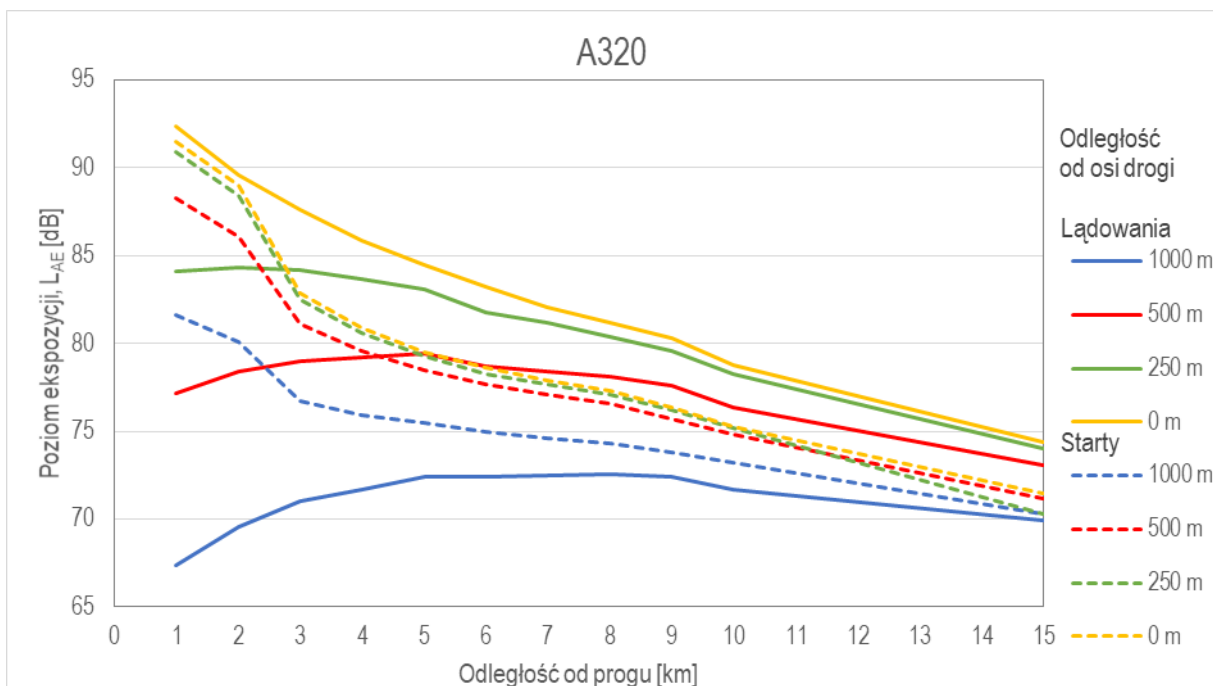
Z Rys. 6-10 - Rys. 6-19 wynika, że dla obserwatora pod torem lotu (w odległościach większych od 1 km od progu drogi startowej) dominuje hałas operacji lądowania, natomiast oddalając się w bok od osi toru lotu zaczyna dominować hałas operacji startu. Ponadto, blisko progów drogi startowej (na terenach położonych blisko lotniska), oddalając się w kierunku prostopadłym od osi toru lotu poziomy hałasu maleją szybciej (przy czym w większym stopniu dotyczy to operacji lądowania) niż w dużych odległościach od lotniska.



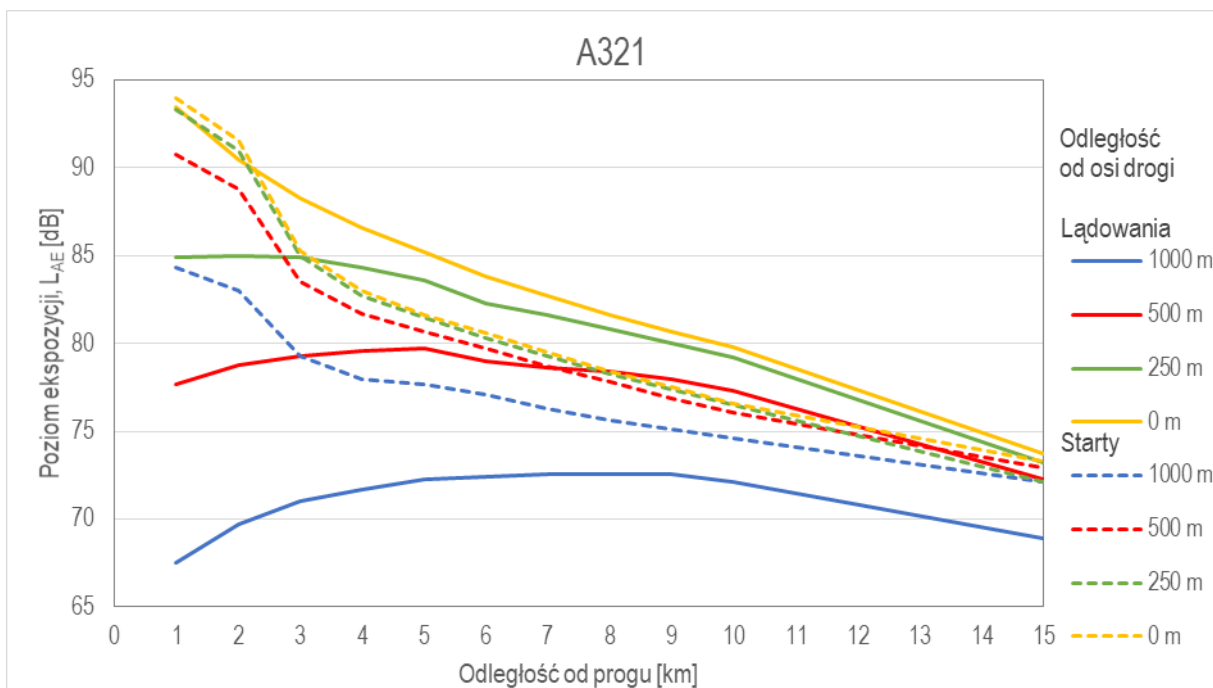
Rys. 6-10 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Boeing 737-800 (B738) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



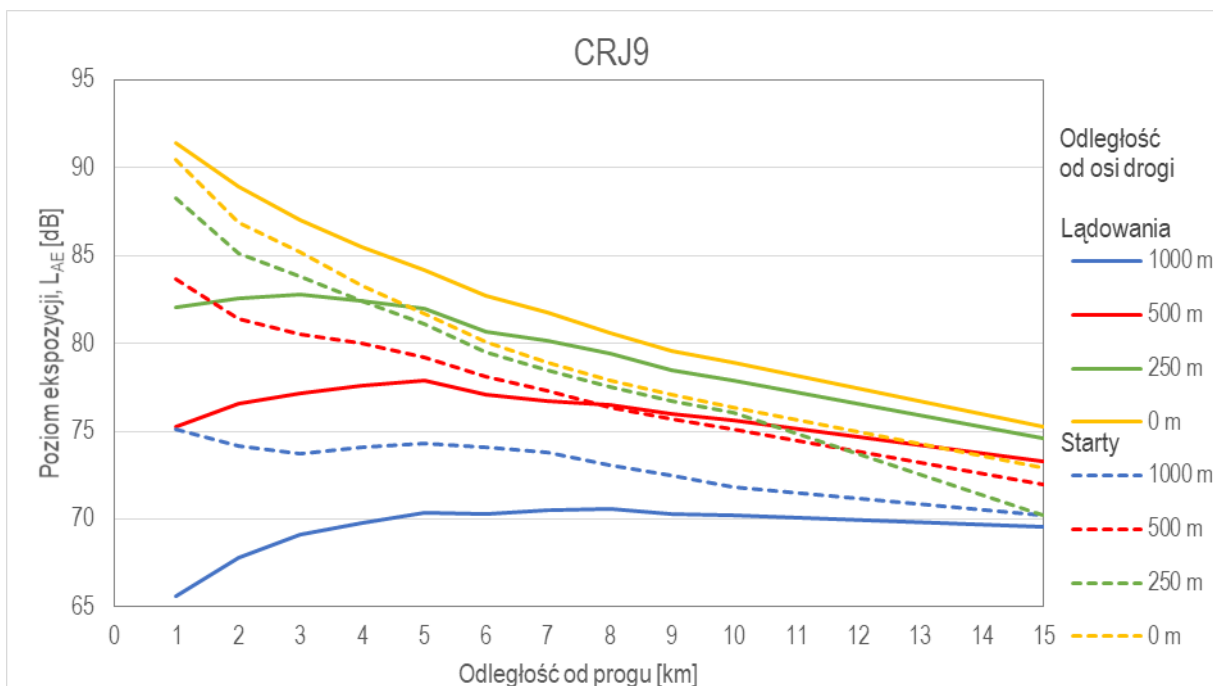
Rys. 6-11 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Airbus A319 (A319) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



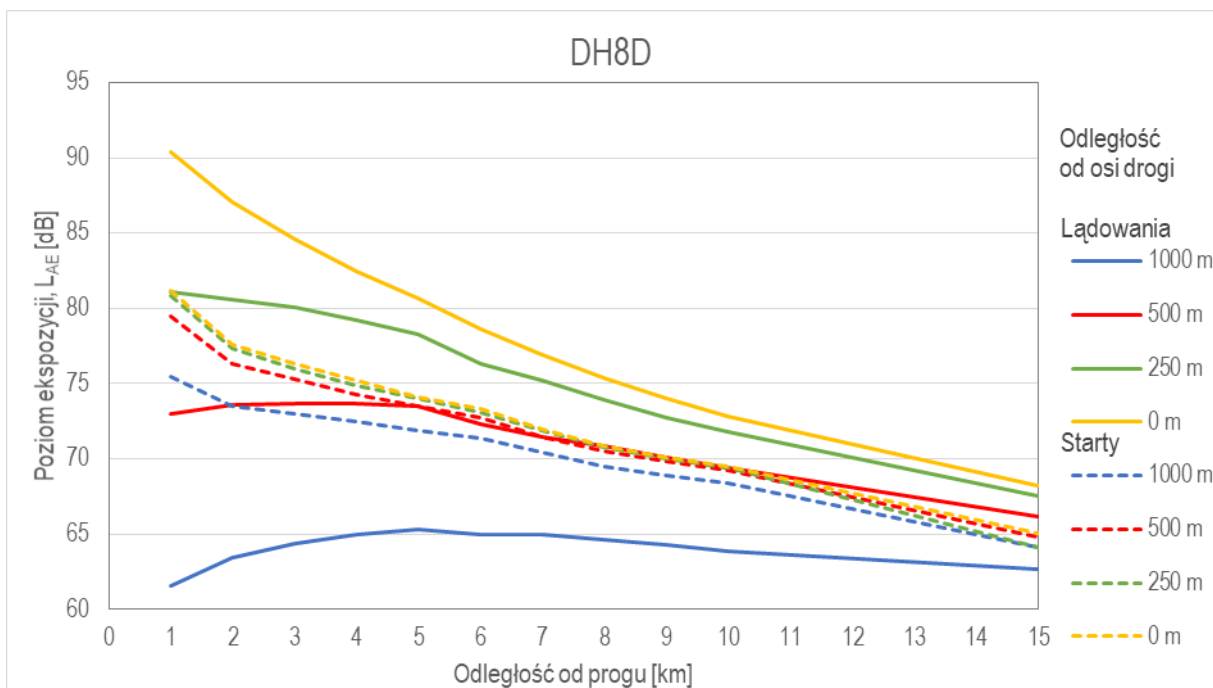
Rys. 6-12 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Airbus A320 (A320) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



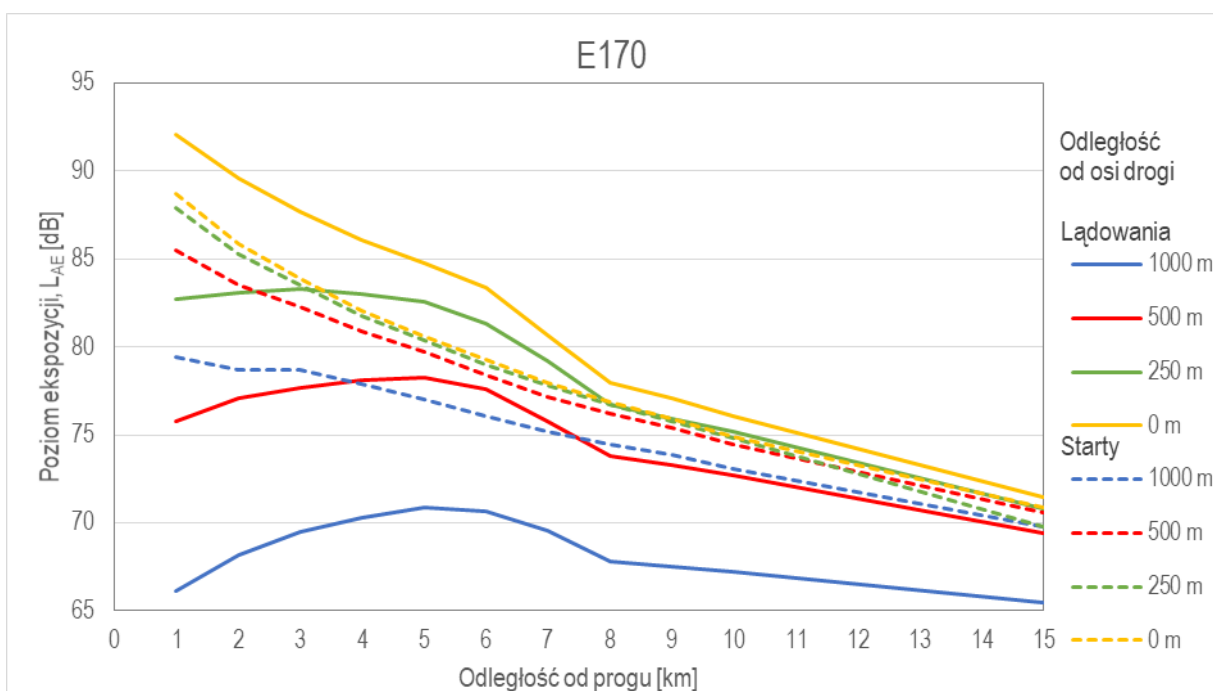
Rys. 6-13 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Airbus A321 (A321) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



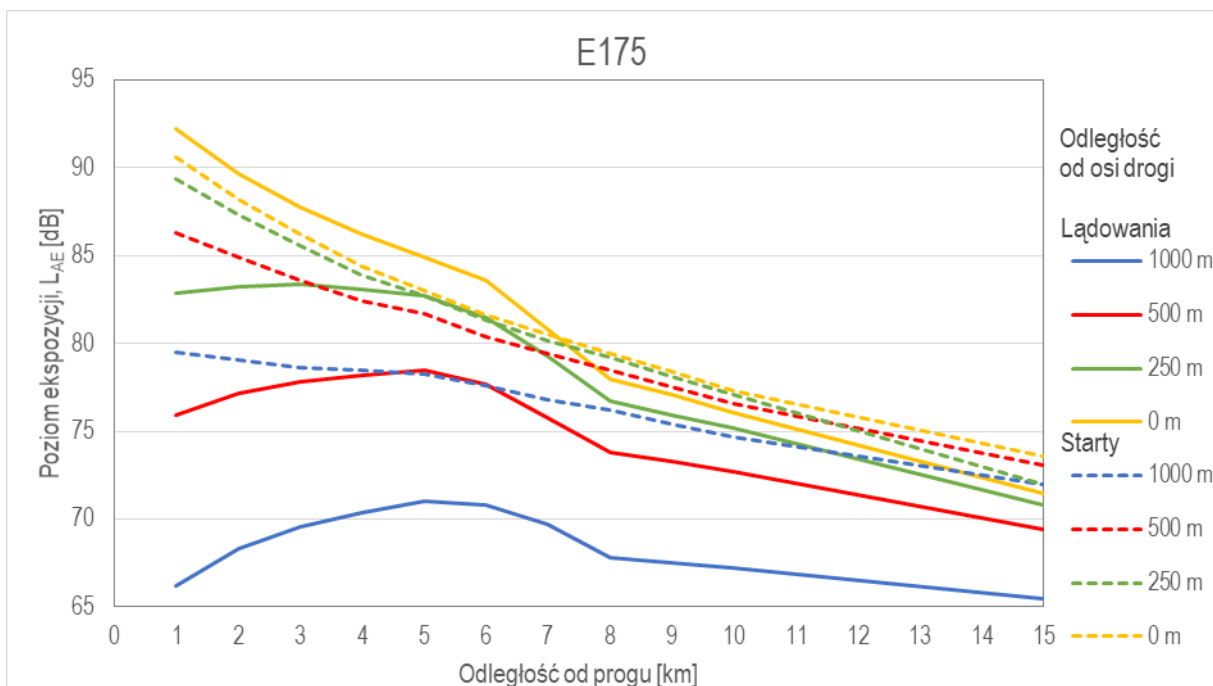
Rys. 6-14 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Canadair CL-600 Regional Jet CRJ-900 (CRJ9) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



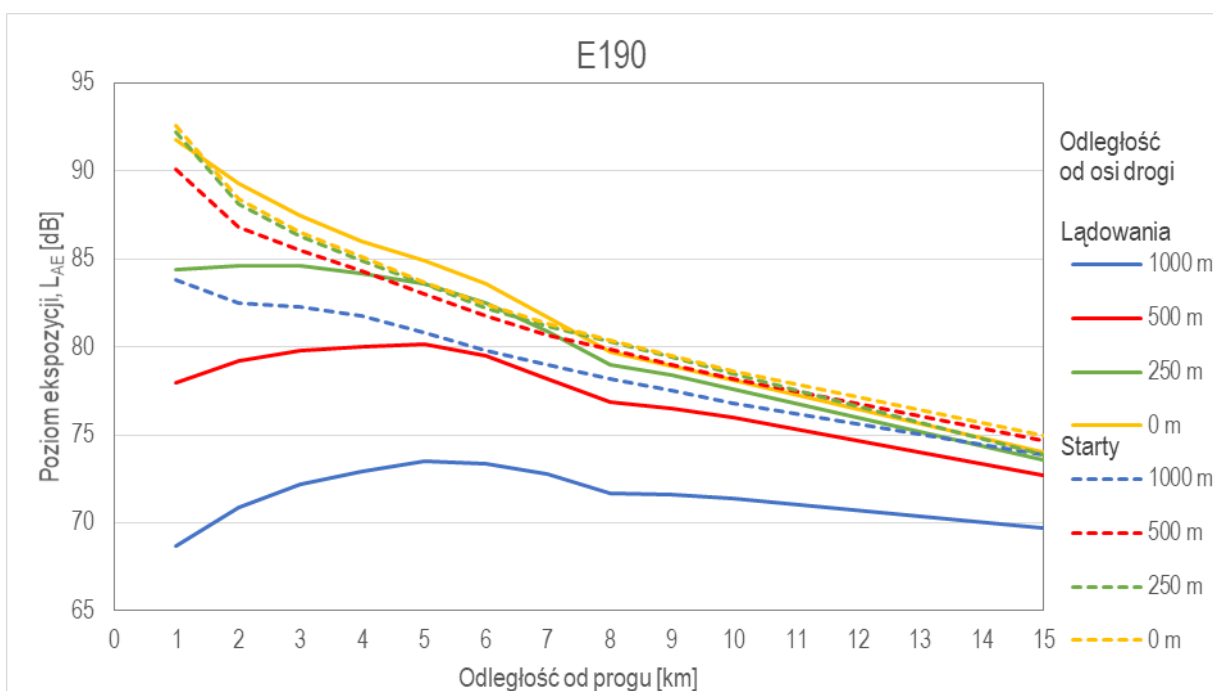
Rys. 6-15 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu De Havilland Canada DHC-8-400 Dash 8 (DH8D) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



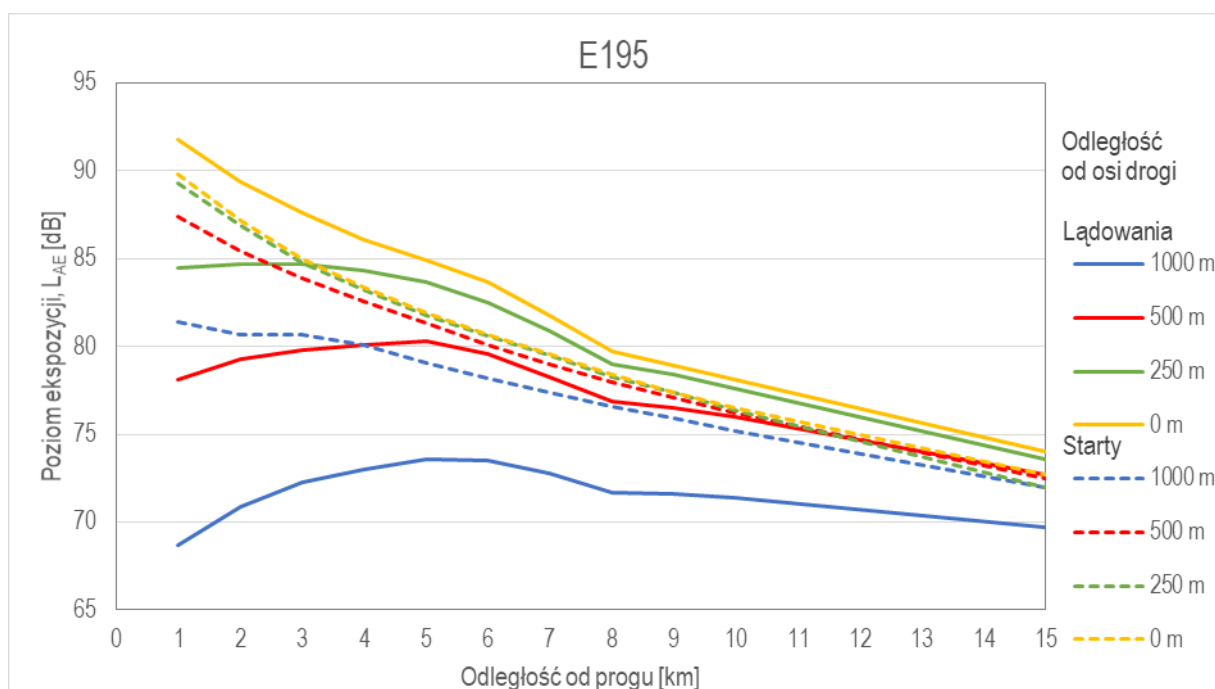
Rys. 6-16 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-170 (E170) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



Rys. 6-17 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-175 (E175) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu

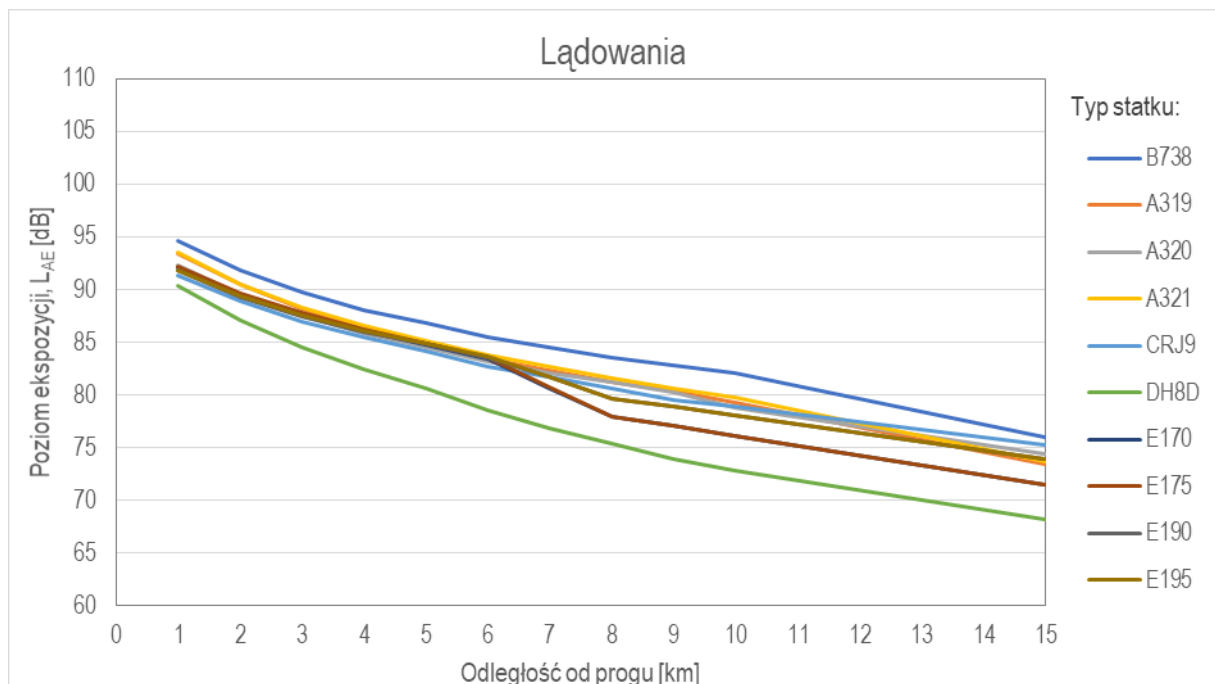


Rys. 6-18 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-190 (E190) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu



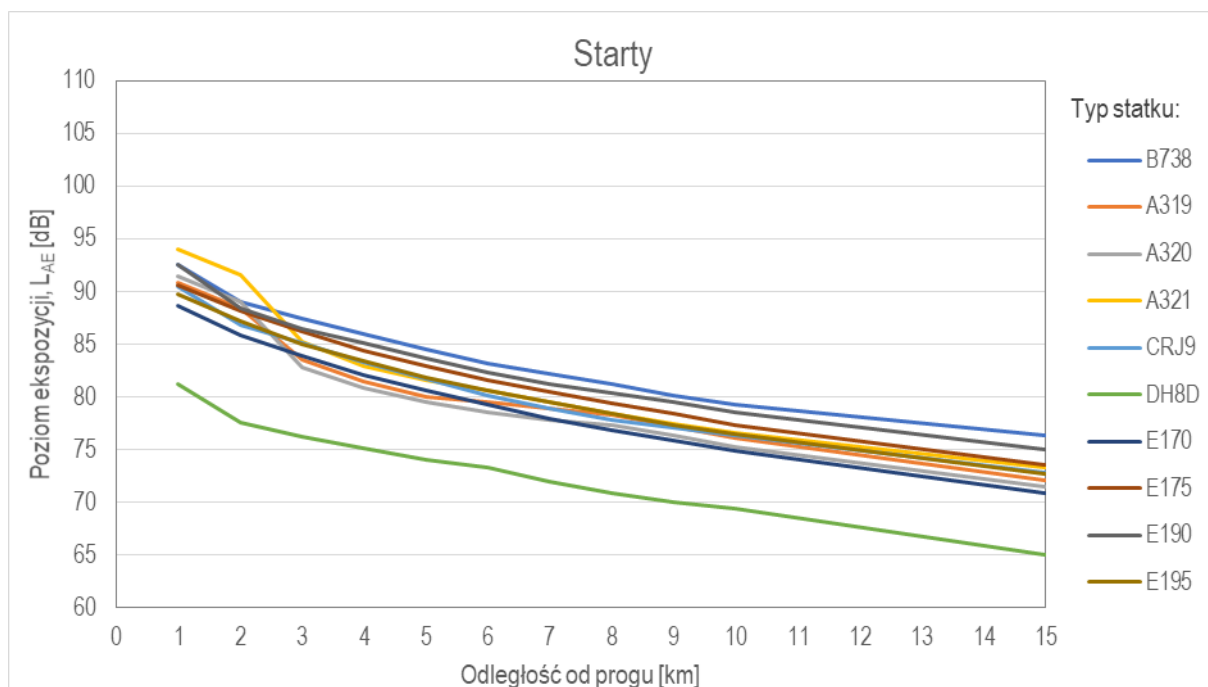
Rys. 6-19 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-195 (E195) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu

Dla zobrazowania emisji hałasu poszczególnych typów statków powietrznych, na podstawie danych z Rys. 6-10 - Rys. 6-19, na Rys. 6-20 i Rys. 6-21, odpowiednio dla operacji lądowania i startu porównano zależności  $L_{AE}$  od odległości od progu (tylko dla obserwatora zlokalizowanego pod torem lotu) dla 10 statków powietrznych najczęściej operujących w Polsce.



Rys. 6-20 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji lądowania dla 10 najczęściej operujących w Polsce samolotów w funkcji odległości od końca pasa startowego dla obserwatora pod trajektorią lotu





Rys. 6-21 Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu dla 10 najczęściej operujących w Polsce samolotów w funkcji odległości od końca pasa startowego dla obserwatora pod trajektorią lotu

Porównując dane przedstawione na powyższych wykresach z wartościami zmierzonymi w ciągu całego roku 2019 stwierdzono, że wartości obliczone są z nimi zgodne. Rozbieżności pomiędzy wynikami pomiarów i obliczeń nie przekraczają 1,5 dB. Taka różnica jest akceptowalna, a wynika m.in. z rozrzutu mierzonych wartości  $L_{AE}$  (histogramy, załącznik VI), który jest konsekwencją losowo zmiennej natury zjawiska. Jednym z wielu czynników jest to, że rzeczywiste trajektorie i profile poszczególnych przelotów nie są powtarzalne, a co za tym idzie różnicują one odległość źródła od punktu pomiaru, co z kolei wpływa na wartość  $L_{AE}$ . Tymczasem w modelu akustycznym lotniska trajektorie rzeczywiste są zamieniane na trajektorie reprezentatywne, co może powodować ww. różnice. Rzeczywisty rozrzut trajektorii modelowany jest przez ich rozproszenie, przy czym do każdego subtraka przyporządkowany jest ten sam profil, wyznaczony w procedurze walidacji.

Specyfika modelowania hałasu lotniczego, charakteryzująca się dużą zmiennością parametrów odpowiedzialnych za poziom hałasu w punkcie emisji powoduje, iż model hałasu lotniczego zaimplementowany w CNOSSOS-EU nie jest przeznaczony do modelowania hałasu od statystycznie niewielkiej liczby operacji lotniczych (dotyczących np. jednej pory dziennej czy nocnej), a tym bardziej pojedynczej (jednej konkretnej) operacji lotniczej, co zawarto w opisie samej metody. Model ten służy przede wszystkim do wyznaczania długookresowych wskaźników oceny hałasu w oparciu o **uśrednione** dane wejściowe ze statystycznie dużego zbioru danych (co najmniej dla kilkuset operacji). Wtedy można stwierdzić, że model hałasu lotniczego wg metodyki CNOSSOS-EU koreluje z wartościami mierzonymi, ale pod warunkiem jego przygotowania w oparciu o rzeczywiste parametry lotów oraz walidację pomiarową modelu akustycznego, którą uznać należy za element obligatoryjny dla tego źródła hałasu.

W powyższych analizach skupiono się na 10 najczęściej operujących w skali kraju statkach powietrznych, pokazując prawidłowe (zgodne z wynikami pomiarów) działanie modelu wg metodyki CNOSSOS-EU. W Polsce są lotniska (szczególnie małe lotniska regionalne, lotniska wojskowe, bądź lotniska aeroklubowe), na których park maszynowy znacząco różni się od przykładu analizowanego w niniejszym opracowaniu. Biorąc jednak pod uwagę zunifikowany model teoretyczny obliczania hałasu pojedynczych operacji lotniczych (ECAC CEAC Doc. 29), ogólną zależność długookresowego poziomu dźwięku od hałasu pojedynczej operacji lotniczej (rozd. 3) oraz zunifikowany sposób pozyskiwania danych o statkach powietrznych z baz ANP i BADA należy zaznaczyć, że model ten powinien być tak samo implementowany i – spełniając wskazane wcześniej wymagania - będzie prawidłowo funkcjonował dla pozostałych statków powietrznych operujących na polskich lotniskach i znajdujących się natywnie w bazie danych ANP i BADA. Dla innych statków powietrznych, dla których nie ma danych zaimplementowanych bezpośrednio w ww. bazach, należy w oparciu o obowiązkowe pomiary walidacyjne stworzyć zamiennik statku powietrznego wg instrukcji opisanych w przewodniku Wytyczne GIOŚ.

## 7 SPIS TABEL

Tab. 4-1	Kategorie pojazdów drogowych wg klasyfikacji CNOSSOS-EU .....	18
Tab. 4-2	Zestawienie średnich rzeczywistych prędkości ruchu pojazdów 1 i 3 kategorii z wartościami dopuszczalnymi dla poszczególnych klas i odcinków dróg krajowych .....	29
Tab. 4-3	Klasyfikacja hałaśliwości nawierzchni.....	31
Tab. 4-4	Współczynniki opisujące wpływ rodzaju nawierzchni na hałas toczenia i hałas układu napędowego wg aktualnie procedowanych zmian w CNOSSOS-EU.....	34
Tab. 4-5	Współczynniki korekcyjne w zależności od rodzaju nawierzchni dla Niemiec wg BUB-D.....	38
Tab. 4-6	Udział procentowy różnych nawierzchni drogowych na drogach krajowych w Polsce .....	41
Tab. 4-7	Wybrane nawierzchnie drogowe objęte badaniami z proponowanymi odpowiednikami katalogowymi o parametrach zapewniających najlepszą zgodność.....	53
Tab. 4-8	Krajowe nawierzchnie drogowe i ich rekomendowane odpowiedniki .....	55
Tab. 4-9	Wartości parametrów emisji dla rekomendowanych odpowiedników nawierzchni krajowych.....	56
Tab. 4-10	Analizowane nawierzchnie drogowe .....	68
Tab. 4-11	Błąd oszacowania poziomu dźwięku .....	68
Tab. 4-12	Typowy rozkład ruchu na kategorie w zależności od klasy drogi wg metodyki Nord 2000 .....	74
Tab. 4-13	Typowy rozkład ruchu na pory doby w zależności od klasy drogi wg metodyki Nord 2000 .....	74
Tab. 4-14	Typowy rozkład procentowych samochodów ciężarowych na kat. 2 i kat. 3 w zależności od klasy drogi, wg metodyki Harmonoise .....	75
Tab. 4-15	Podział pojazdów na kategorie wg GPR 2020– drogi krajowe .....	76
Tab. 4-16	Współczynniki tygodniowych wahań ruchu dobowego wg GDDKiA.....	78
Tab. 4-17	Współczynniki sezonowych wahań ruchu dobowego wg GDDKiA.....	78
Tab. 5-1	Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu kolejowego – skład kolejowy .....	86
Tab. 5-2	Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu szynowego – pojazd szynowy.....	86
Tab. 5-3	Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu kolejowego – torowisko .	86
Tab. 5-4	Zestawienie niezbędnych danych do opracowania mapy akustycznej hałasu kolejowego – tor na moście/wiadukcie.....	87
Tab. 5-5	Opis konfiguracji rodzajów składów występujących w Polsce oparciu o parametry występujące w bibliotekach programów CadnaA, SoundPlan, IMMI, LIMA .....	92
Tab. 5-6	Podział natężenia ruchu pociągów na kategorie wg PKP PLK S.A. ....	93
Tab. 5-7	Sposób obliczania natężenia ruchu pociągów pasażerskich do metodyki CNOSSOS na podstawie danych PKP PLK S.A. ....	94
Tab. 5-8	Sposób obliczania natężenia ruchu pociągów towarowych do metodyki CNOSSOS na podstawie danych PKP PLK S.A. ....	95
Tab. 5-9	Sposób obliczania natężenia ruchu lokomotyw luzem do metodyki CNOSSOS na podstawie danych PKP PLK S.A.....	95
Tab. 5-10	Konfiguracja składów wagonowych stosowana w przypadku braku szczegółowych danych w tym zakresie .....	98
Tab. 5-11	Klasyfikacja i deskryptory pojazdów szynowych zgodnie z metodyką CNOSSOS-EU .....	98
Tab. 5-12	Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором chropowatości kół pojazdów szynowych w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii .....	100
Tab. 5-13	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości kół, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej).....	101
Tab. 5-14	Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором nacisku na osie przy średnicy koła 920 mm, w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii .....	102
Tab. 5-15	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnego nacisku na osie, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej).....	103
Tab. 5-16	Wartości funkcji przenoszenia hałasu przez torowisko bezpośrednio montowane na obiektach inżynierskim .....	125

Tab. 5-17	Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором przekładki szynowej torowiska w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii .....	130
Tab. 5-18	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych rodzajów przekładki szynowej, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do przekładki referencyjnej(miękką) .....	130
Tab. 5-19	Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором sposobu łączenia szyn w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii .....	131
Tab. 5-20	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych sposobów łączenia szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do łączenia referencyjnego (jedno spawane).....	132
Tab. 5-21	Przykładowe błędy związane z niewłaściwym doбором chropowatości szyn w funkcji rodzaju i prędkości składów kolejowych na linii .....	133
Tab. 5-22	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej (normalna) .....	133
Tab. 6-1	Porównanie zmierzonego i obliczonego poziomu $L_{DWN}$ dla nieprawidłowego (równomiernego) i prawidłowego (z uwzględnieniem wykorzystania poszczególnych tras przez określone typy statków powietrznych) podziału obciążeń na reprezentatywne trasy lotów .....	148
Tab. 6-2	Przykładowa struktura danych o liczbie operacji dla lotniska z jedną drogą startową .....	151
Tab. 6-3	Ranking najczęściej operujących typów samolotów na 6 lotniskach cywilnych, obsługujących ruch pasażerski, w Polsce w latach 2016 - 2019.....	155
Tab. 6-4	Fotografia i podstawowe dane użytkowe wytypowanych samolotów .....	156
Tab. 6-5	Zestawienie wyników pomiarów z okresowych (miesięcznych) pomiarów hałasu wokół lotniska Kraków-Balice.....	159
Tab. 6-6	Porównanie wyników pomiarów i obliczeń po dopasowaniu profili operacji lotniczych dla 10 wybranych typów statków powietrznych .....	160

## 8 SPIS RYSUNKÓW

Rys. 3-1	Podział rzeczywistego toru ruchu na segmenty $\Delta x$ z przypisanym źródłem zastępczym S .....	10
Rys. 3-2	Segment toru ruchu wyznaczony przez punkty $x_1, x_2$ oraz kąt widzenia $\phi_1, \phi_2$ tego segmentu z punktu obserwacji, O, położonego w odległości D metrów od toru ruchu.....	11
Rys. 3-3	Wpływ pominięcia w obliczeniach wybranych grup zdarzeń akustycznych na długookresowy poziom dźwięku, w zależności od różnicy średniego poziomu ekspozycji hałasu i natężenia ruchu względem grupy zdarzeń akustycznych uwzględnionych w obliczeniach .....	13
Rys. 4-1	Przykłady pojazdów należących do kategorii 1 .....	19
Rys. 4-2	Przykłady pojazdów należących do kategorii 2 .....	20
Rys. 4-3	Przykłady pojazdów należących do kategorii 3 .....	21
Rys. 4-4	Przykłady pojazdów należących do kategorii 4a'.....	22
Rys. 4-5	Przykłady pojazdów należących do kategorii 4b "".....	23
Rys. 4-6	Wpływ pojazdów kategorii 2 i kategorii 3 na wypadkowy poziom hałasu drogowego, w zależności od udziału tych kategorii w całkowitym natężeniu ruchu, w funkcji udziału kategorii 2 .....	26
Rys. 4-7	Wpływ prędkości na poziom mocy akustycznej pojazdów 1 i 3 kategorii .....	27
Rys. 4-8	Średnia zmiana równoważnego poziomu dźwięku w zależności od dokładności pomiaru prędkości ruchu pojazdów poszczególnych kategorii.....	30
Rys. 4-9	Wartości widmowe parametru $\alpha$ dla pojazdów kategorii 1 dla różnych nawierzchni drogowych .....	36
Rys. 4-10	Wartości widmowe parametru $\alpha$ dla pojazdów kategorii 2 dla różnych nawierzchni drogowych .....	36
Rys. 4-11	Wartości widmowe parametru $\alpha$ dla pojazdów kategorii 3 dla różnych nawierzchni drogowych .....	37
Rys. 4-12	Wartości widmowe parametru $\alpha$ dla pojazdów kategorii 1 dla różnych nawierzchni drogowych, dla Niemiec wg dokumentu BUB-D.....	40
Rys. 4-13	Wartości widmowe parametru $\alpha$ dla pojazdów kategorii 2 dla różnych nawierzchni drogowych, dla Niemiec wg dokumentu BUB-D.....	40
Rys. 4-14	Wartości widmowe parametru $\alpha$ dla pojazdów kategorii 3 dla różnych nawierzchni drogowych, dla Niemiec wg dokumentu BUB-D.....	41
Rys. 4-15	Udział procentowy różnych nawierzchni drogowych na drogach krajowych w Polsce; opracowanie własne w oparciu o dane udostępnione przez GDDKiA .....	42
Rys. 4-16	Przykład nawierzchni SMA 8 .....	43
Rys. 4-17	Przykład nawierzchni SMA-LA <sup>29</sup> .....	44
Rys. 4-18	Przykład nawierzchni DAC .....	45
Rys. 4-19	Przykład nawierzchni BBTM .....	45
Rys. 4-20	Przykład nawierzchni PA – jedna warstwa .....	46
Rys. 4-21	Przykład nawierzchni PA – dwie warstwy <sup>29</sup> .....	47
Rys. 4-22	Przykład nawierzchni CC poprzecznie rowkowanej .....	48
Rys. 4-23	Przykład nawierzchni z betonu cementowego teksturowanego metodą odkrytego kruszywa .....	49
Rys. 4-24	Przykład nawierzchni z kostki kamiennej .....	49
Rys. 4-25	Przykład nawierzchni z betonowej kostki brukowej .....	50
Rys. 4-26	Przykład nawierzchni z cienkiej warstwy na zimno .....	51
Rys. 4-27	Zależność poziomu ekspozycji hałasu od prędkości dla pojazdów kategorii 1 wyznaczona z pomiarów dla pięciu najczęściej występujących nawierzchni w Polsce .....	52
Rys. 4-28	Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 1 .....	57
Rys. 4-29	Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 2 .....	58
Rys. 4-30	Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 3 .....	58
Rys. 4-31	Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 4 .....	59
Rys. 4-32	Import parametrów nawierzchni drogowych – CadnaA – krok 5 .....	59
Rys. 4-33	Import parametrów nawierzchni drogowych – IMMI – krok 1 .....	60
Rys. 4-34	Import parametrów nawierzchni drogowych – IMMI – krok 2 .....	60
Rys. 4-35	Import parametrów nawierzchni drogowych – Predictor-Lima – krok 1 .....	61
Rys. 4-36	Import parametrów nawierzchni drogowych – Predictor-Lima – krok 2 .....	61
Rys. 4-37	Import parametrów nawierzchni drogowych – Predictor-Lima – krok 3 .....	62

Rys. 4-38	Import parametrów nawierzchni drogowych – Sound Plan 8.2 – krok 1 .....	62
Rys. 4-39	Import parametrów nawierzchni drogowych – Sound Plan 8.2 – krok 2 .....	63
Rys. 4-40	Import parametrów nawierzchni drogowych – Sound Plan 8.2 – krok 3 .....	63
Rys. 4-41	Zakres prędkości dla jakich zastosowanie mają w metodyce CNOSSOS-EU poszczególne nawierzchnie drogowe .....	67
Rys. 4-42	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów oraz prędkości (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej).....	69
Rys. 4-43	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów dla prędkości $v=40$ km/h (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej).....	69
Rys. 4-44	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów dla prędkości $v=70$ km/h (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej).....	70
Rys. 4-45	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych nawierzchni drogowych, kategorii pojazdów dla prędkości $v=100$ km/h (w odniesieniu do nawierzchni referencyjnej).....	70
Rys. 4-46	Wpływ niepewności standardowej wyznaczenia średniej prędkości ruchu pojazdów kategorii 1 na niepewność rozszerzoną obliczenia długookresowego poziomu dźwięku.....	81
Rys. 4-47	Wpływ niepewności standardowej wyznaczenia średniego dobowego natężenia ruchu pojazdów na niepewność rozszerzoną obliczenia długookresowego poziomu dźwięku.....	82
Rys. 5-1	Udział źródeł A i B w wypadkowym (total) poziomie hałasu dla pociągów pasażerskich w zależności od prędkości .....	84
Rys. 5-2	Zależność pomiędzy rzeczywistą prędkością pociągów a prędkością maksymalną na wybranych torowiskach sieci kolejowej w Polsce.....	97
Rys. 5-3	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnej chropowatości kół, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej).....	102
Rys. 5-4	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnego nacisku na osie, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do wartości referencyjnej).....	103
Rys. 5-5	Typowe torowisko na podsypce tłuczniowej, bezstykowe, dobrze utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiznie 500 – 300 m. Linia kolejowa nr 277, na terenie m. Opola, w km 0,917- km 1,119.....	105
Rys. 5-6	Typowe torowisko na podsypce, z >2 stykami na 100m, w standardowo utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiznie 1000 – 500 m. Linia kolejowa nr 277, na terenie m. Opola, km 5,170 - 5,300.....	105
Rys. 5-7	Typowe torowisko na podsypce, z podkładami strunobetonowymi, z jednym stykiem na 100 m, standardowo utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiznie 1000 – 500 m. Linia kolejowa nr 277, tor 1, na terenie m. Opola, km 5,170 - 5,300 ....	106
Rys. 5-8	Typowe torowisko na podsypce, z podkładami drewnianymi, z złączami spawanymi/zgrzewanymi, standardowo utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu. Linia kolejowa nr 132, tor 1, na terenie m. Opola.....	106
Rys. 5-9	Typowe torowisko na podsypce tłuczniowej, bezstykowe, dobrze utrzymane, bez dodatkowych elementów ograniczających emisję hałasu, na łuku o krzywiznie 500 – 300 m. Linia kolejowa nr 144, na terenie m. Kolonowskie/Fosowskie, w km 175+300.....	107
Rys. 5-10	Przekładka podszytnowa miękka (150 – 250 NM/m) z przytwierdzeniem sprężystym typu SB3. Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 144 w m. Fosowskie, woj. opolskie (km. 175+300) .....	108
Rys. 5-11	Przekładka podszytnowa sztywna (800 – 1000 NM/m) z przytwierdzeniem sprężystym typu SB3. Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 136 w m. Gogolin, woj. opolskie (km. 17+700) .....	108
Rys. 5-12	Przekładka podszytnowa miękka (150 – 250 NM/m). Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 132 w m. Tarnów Opolski, woj. opolskie (km. 85+600) .....	109
Rys. 5-13	W oddali skrzyżowanie torów, a bliżej rozjazdy zwykłe (tor główny + tor zwrotny) na linii kolejowych 61 Kielce – Fosowskie i linii 144 Opole – Tarnowskie Góry .....	110
Rys. 5-14	Dwa rozjazdy zwykłe na torze prawym i jeden rozjazd zwykły na torze lewym (tor główny + tor zwrotny). Zdjęcie wykonane na linii kolejowej nr 132 w m. Tarnów Opolski, woj. opolskie (km. 85+600).....	110
Rys. 5-15	Łuk torowiska $r < 500$ m na linii kolejowej nr 61 Kielce – Fosowskie, m. Fosowskie, woj. opolskie (km. 175+300) z poprzecznym pochyleniem toru umożliwiającym pokonywanie łuku z większą prędkością..	112

Rys. 5-16	Torowisko tramwajowe zielone w otulinie gumowej – rozstaw szyn 1435 mm.....	112
Rys. 5-17	Torowisko tramwajowe standardowe– rozstaw szyn 1435 mm.....	113
Rys. 5-18	Torowisko tramwajowe zabudowane – tzw. w jezdni – rozstaw szyn 1435 mm.....	113
Rys. 5-19	Torowisko tramwajowe zabudowane z szyną w otulinie gumowej – rozstaw szyn 1435 mm.....	113
Rys. 5-20	Łuk torów tramwajowych o promieniu $r < 300\text{m}$ – rozstaw szyn 1435 mm.....	114
Rys. 5-21	Torowisko tramwajowe zabudowane zielenią – rozstaw szyn 1000 mm.....	114
Rys. 5-22	Sposób wyboru rodzaju podtorza dla jednorodnego odcinka linii kolejowej w programie SoundPlan.	116
Rys. 5-23	Sposób wyboru rodzaju podtorza dla jednorodnego odcinka linii kolejowej w programie CadnaA..	116
Rys. 5-24	Sposób wyznaczenia liczby połączeń, rozjazdów lub skrzyżowań na 100 m torowiska. Tory spawane bez połączeń klasycznych. Tor lewy z dwiema zwrotnicami, tor prawy z jedną zwrotnicą.....	118
Rys. 5-25	Przykład torowiska o promieniu mniejszym niż 300 m.....	119
Rys. 5-26	Przykład torowiska o promieniu w zakresie 300-500 m.....	120
Rys. 5-27	Przykład torowiska o promieniu większym niż 1 k m.....	120
Rys. 5-28	Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia poprawki dla krzywizny linii kolejowej w programie IMMI (v. 2020).....	121
Rys. 5-29	Okno dialogowe wprowadzania poprawki dla łuku linii kolejowej w programie SoundPlan (v. 8.2).	121
Rys. 5-30	Most kolejowy stalowy z torem na podsypce, podkładami drewnianymi, stykowymi połączeniami torów, zlokalizowany na linii 132 w km 99+634, m. Opole.....	122
Rys. 5-31	Współczesny most betonowy. Linia kolejowa nr 132 na wysokości Lewina Brzeskiego, woj. opolskie	122
Rys. 5-32	Współczesny most betonowy. Linia kolejowa nr 132 na wysokości Lewina Brzeskiego, woj. opolskie	123
Rys. 5-33	Most kolejowy betonowy/kamienny.....	123
Rys. 5-34	Przykłady torowiska bezpośrednio montowanego na konstrukcji obiektu; źródło: geoportal.gov.pl	126
Rys. 5-35	Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia poprawki $C_{\text{bridge}}$ dla odcinka linii kolejowej w programie SoundPlan (v. 8.2).....	126
Rys. 5-36	Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia poprawki $C_{\text{bridge}}$ dla odcinka linii kolejowej w programie IMMI (v. 2020).....	127
Rys. 5-37	Okno dialogowe umożliwiające wprowadzenia dowolnej poprawki $C_{\text{bridge}}$ dla odcinka linii kolejowej w programie SoundPlan v. 8.2.....	127
Rys. 4-38	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych rodzajów przekładki szynowej, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do przekładki referencyjnej(miękką).....	131
Rys. 5-39	Błąd oszacowania poziomu dźwięku dla różnych sposobów łączenia szyn, kategorii pociągów oraz prędkości (w odniesieniu do łączenia referencyjnego (jedno spawane).....	132
Rys. 6-1	Przykładowy schemat lotniska wg dokumentu AIP (źródło: <a href="https://www.ais.pansa.pl/aip/AIP_EPWA_25.03.2021">https://www.ais.pansa.pl/aip/AIP_EPWA_25.03.2021</a> ).....	140
Rys. 6-2	Krzywe NPD dla operacji startu samolotu Airbus A320-211 w zależności od siły ciągu, dla wskaźnika $L_{\text{AE}}$ .....	143
Rys. 6-3	Zapis radarowy operacji lotniczych wokół lotniska. Kolorem czerwonym zaznaczono operacje startu, a kolorem niebieskim operacje lądowania. Rysunki po lewej i prawej przedstawiają operacje dla dwóch progów drogi startowej.....	144
Rys. 6-4	Główne trasy operacji lotniczych wyodrębnione na podstawie analizy danych radarowych.....	146
Rys. 6-5	Przykład rozproszenia trasy głównej (kolor czarny, linia ciągła) na subtrakcie (linie przerywane).....	146
Rys. 6-6	Izolacja 60 dB poziomu $L_{\text{DWN}}$ w przypadku niewłaściwego (równomiernego) przypisania obciążeń do tras lotów oraz z uwzględnieniem wykorzystania poszczególnych tras przez określone typy statków powietrznych.....	148
Rys. 6-7	Przykład rzeczywistych profili wysokości i prędkości uzyskanych z danych radarowych, dla operacji startu tego samego typu statku powietrznego na jednym lotnisku, na tle profili standardowych....	149
Rys. 6-8	Przykładowy procentowy udział typów statków powietrznych w ruchu rocznym na lotnisku cywilnym o liczbie operacji powyżej 10 tys. rocznie, obsługującym ruch pasażerski.....	153
Rys. 6-9	Lokalizacja punktów pomiaru hałasu wokół lotniska Kraków-Balice.....	159
Rys. 6-10	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Boeing 737-800 (B38) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu.....	163

Rys. 6-11	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Airbus A319 (A319) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu .....	164
Rys. 6-12	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Airbus A320 (A320) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu .....	164
Rys. 6-13	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Airbus A321 (A321) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu .....	165
Rys. 6-14	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Canadair CL-600 Regional Jet CRJ-900 (CRJ9) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu .....	165
Rys. 6-15	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu De Havilland Canada DHC-8-400 Dash 8 (DH8D) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu.....	166
Rys. 6-16	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-170 (E170) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu.....	166
Rys. 6-17	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-175 (E175) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu.....	167
Rys. 6-18	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-190 (E190) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu.....	167
Rys. 6-19	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu i lądowania samolotu Embraer EMB-195 (E195) w funkcji odległości od końca drogi startowej dla obserwatora położonego w różnych odległościach w bok od toru lotu.....	168
Rys. 6-20	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji lądowania dla 10 najczęściej operujących w Polsce samolotów w funkcji odległości od końca pasa startowego dla obserwatora pod trajektorią lotu ..	168
Rys. 6-21	Ekspozycyjny poziom dźwięku dla operacji startu dla 10 najczęściej operujących w Polsce samolotów w funkcji odległości od końca pasa startowego dla obserwatora pod trajektorią lotu .....	169



## 9 BIBLIOGRAFIA

- Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. *odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku*. Dziennik Urzędowy L 189, 18/07/2002 P. 0012 – 0025 (Rozdział 15 Tom 07 P. 101 – 115)
- Dyrektywa Komisji (UE) 2015/996 z dnia 19 maja 2015 r. *ustanawiająca wspólne metody oceny hałasu zgodnie z dyrektywą 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady*
- Dobre praktyki wykonywania strategicznych map hałasu*, Wytyczne Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, Warszawa, maj 2021 r.
- A.Kok, A. van Beek, Amendments for CNOSSOS-EU, *Description of issues and proposed solutions*, RIVM Letter report 2019-0023 of 22 August 2019
- JRC Report on Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU), 2012; źródło: <https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/reference-reports/common-noise-assessment-methods-europe-cnoossos-eu>
- PN-EN ISO 80000-8:2020-09, *Wielkości i jednostki -- Część 8: Akustyka*, PKN, 2020
- Kirisits Ch. i in., *Variations and uncertainties calculating noise indices using the new annex II methods of the European noise directive*, InterNoise 2015, San Francisco
- Datenbank für die Berechnungsmethode für den Umgebungslärm von bodennahen Quellen (Straßen, Schienenwege, Industrie und Gewerbe) (BUB-D) - Anlage 4
- Dokument C(2020)9101 – Dyrektywa delegowanej komisji (UE) .../... *zmieniająca, w celu dostosowania do postępu naukowo-technicznego, załącznik II do dyrektywy 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wspólnych metod oceny hałasu*
- Mioduszewski P., *Przegląd hałaśliwości różnych typów nawierzchni drogowych na podstawie wyników pomiarów metodą CPX*, III Ogólnopolskie Forum Specjalistyczne Nawierzchnie Drogowe, Kraków, 2015
- Dyrektywa 2007/46/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 września 2007 r. *ustanawiająca ramy dla homologacji pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz układów, części i oddzielnych zespołów technicznych przeznaczonych do tych pojazdów* (Dz.U. L. 263 z 09.10.2007 r.)
- Gaca S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*, Wydawnictwo Komunikacji i łączności, 2012
- Gardziejczyk W., *Comparison of vehicle noise on dry and wet road surface*, Foundations of Civil and Environmental Engineering, No. 9 2007, Poznan University of Technology
- Gardziejczyk W., *Hałaśliwość nawierzchni drogowych*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Białostockiej, Białystok, 2018
- User's Guide Nord 2000 Road, Danish Environmental Protection Agency, 2006
- Sandberg U., Harmonoise technical report, Work Package 1.1 - *Vehicle Categories for Description of Noise Sources*, id: HAR11TR-030108-VTI04, 2003
- Pallas M.A. i in., *Experimental confrontation of medium-heavy vehicle noise emission to the CNOSSOS-EU prediction method*, Euronoise 2018, Crete
- Pallas M.A. i in., *Determination of a noise emission model for French medium-heavy vehicles*, Inter Noise 2019, Madrid
- Leon G. i in., *Implementation of CNOSSOS-EU method for road noise in Italy*, ICA 2019, Aachen
- Kaplar I., Maśkiewicz J., *Zasady prowadzenia pomiarów ruchu i określania wielkości SDRR na drogach powiatowych i gminnych*, GDDKiA, Warszawa, 2018
- Kaplar I., Maśkiewicz J., *Wytyczne część 1. Metody przeprowadzenia generalnego pomiaru ruchu w 2020 roku*, GDDKiA, Warszawa, 2018
- Projekt RID - Ochrona przed hałasem drogowym, *Zadanie 2. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni asfaltowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości*, projekt nr: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL, 2017, <https://www.gov.pl/web/gddkia/rid>

Projekt RID - Ochrona przed hałasem drogowym, *Zadanie 3. Ocena rozwiązań materiałowo-technologicznych górnych warstw nawierzchni betonowych i zalecenia w zakresie ich hałaśliwości*, projekt nr: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL, 2017, <https://www.gov.pl/web/gddkia/rid>

Projekt RID - Ochrona przed hałasem drogowym, *Zadanie 6. Opracowanie sposobów i zasad ustalania miarodajnych wartości parametrów ruchu oraz wybór metod pomiarowych do analiz hałasu*, projekt nr: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL, 2017, <https://www.gov.pl/web/gddkia/rid>

Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. 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. z 2011r. Nr 140, poz. 824 ze zm.)

SST D-05.03.23 *Nawierzchnia z betonowej kostki brukowej*

SST D-41.05.00 *Wykonanie nawierzchni metodą na zimno ze Slurry Seal*

*Metody szacowania Średniego Dobowego Ruchu Rocznej (SDRR) na podstawie pomiarów krótkotrwałych – 24 godzinnych*, Wydział Sieci Drogowej i Analiz Ruchu Departamentu Studiów GDDKiA, 2017 r.

Makarewicz R., *Hałas w środowisku*, Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań, 1996

Paviotti M. i in., *Conversion of existing road source data to use CNOSSOS-EU*, EuroNoise 2015, Maastricht

Bert Peeters, Gijssan van Blokland, *Correcting the CNOSSOS-EU road noise emission values*, Euronoise 2018

Dittrich M. i in., *A New Standard for the Measurement of Source Terms for Railway Noise Prediction Models*, Inter Noise 2019, Madrid

ECAC. Doc 29 3rd edition, *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*, Volume 2: Technical Guide. Technical report, European Civil Aviation Conference (ECAC), Neuilly-sur-Seine, France, 2005

ICAO. Doc 9911 2nd edition, *Recommended method for computing noise contours around airports*, Technical report, International Civil Aviation Organization (ICAO), 2018

ECAC. Doc 29 4th edition, *Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports*, Volume 2: Technical Guide. Technical report, European Civil Aviation Conference (ECAC), Neuilly-sur-Seine, France, 2016

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2009. *Enhanced Modeling of Aircraft Taxiway Noise*, Volume 1: Scoping. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22992>

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine 2013. *Enhanced Modeling of Aircraft Taxiway Noise*, Volume 2: Aircraft Taxi Noise Database and Development Process. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/22606>.

Schwab O., *Redistribution of ground subtracks for aircraft noise calculations*, Noise Mapp 2020; 7:146-153

Zaporozhets O., *Aircraft Noise Models For Assessment Of Noise Around Airports – Improvements And Limitations*, ICAO Environmental Report 2016, Chapter 2 - Aircraft Noise Pp. 50-55

Trow J., Allmark C., *The benefits of validating your aircraft noise model*, Euronoise 2018, Crete

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement - Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*; wydanie polskie: *Wyrażanie niepewności pomiaru. Przewodnik*, Główny Urząd Miar, 1999

PN-ISO 1996-1:2006, *Akustyka. Opis, pomiary i ocena hałasu środowiskowego. Część 1: Wielkości podstawowe I procedury oceny*

ISO 1996-2:2017(E) *Acoustics. Description and measurements of environmental noise. Part 2: Determination of sound pressure levels*

PN-EN ISO 11819-1:2004, *Akustyka -- Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy -- Część 1: Metoda statystyczna pomiaru podczas przejazdu*

PN-EN ISO 11819-2:2017-06, *Akustyka -- Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy -- Część 2: Metoda pomiaru w polu bliskim*