

RAPORT Z POMIARÓW HAŁASU W PUNKCIE POMIAROWYM NR 2

Lisi Ogon – Źródło: Droga Ekspresowa S5, brak ekranów akustycznych

I. INFORMACJE OGÓLNE I METODYKA

1.1. Lokalizacja punktu pomiarowego

Pomiar hałasu został przeprowadzony w miejscowości Łochowo (województwo kujawsko-pomorskie, gmina Białe Błota) na działce mieszkalnej przy ulicy Szczecińskiej 2 w Lisim Ogonie. Punkt pomiarowy PP2 zlokalizowany został w bezpośredniej bliskości drogi ekspresowej S5 oraz drogi zjazdowej (entrance/exit) z S5.

Charakterystyczne cechy lokalizacji:

- Oddalenie od drogi zjazdowej z S5: ok. 15 metrów
- **OBECNOŚĆ ekranów akustycznych** (2 szeregi)
 - o Pierwszy szereg: przy drodze zjazdowej (niższy, ~3-4 m)
 - o Drugi szereg: wzdłuż S5 (wyższy, obserwacja sugeruje ~4-5 m na nasypie)
- Funkcja terenu: mieszkalna, zabudowa jednorodzinna, inna

Obserwacje terenowe — problem z geometrią ekranów:

Podczas wizji lokalnej stwierdzono **krytyczne słabości w ochronie akustycznej**:

1. **Nierówna długość szeregów ekranów** — szereg ekranów osłaniających zjazd z S5 jest znacznie krótszy niż szereg główny przy drodze ekspresowej. W miejscu gdzie krótszy szereg się kończy, fala dźwiękowa ulega dyfrakcji i "zawija się" za krawędź ekranu, propagując bezpośrednio w kierunku zabudowy mieszkaniowej. Efekt ten jest szczególnie silny dla niskich częstotliwości (31,5-125 Hz), które łatwo uginają się wokół przeszkód.
2. **Wysokość ekranów zbyt niska w stosunku do ruchu** — obserwując przejazdy pojazdów ciężarowych, wyraźnie widoczna jest górna część kabiny i burt (zazwyczaj ca. 2,5-3,5 m), co sugeruje, że ekrany (~4-5 m) mogą być niewystarczające dla **niskich częstotliwości, które dyfrakcją przechodzą nad ekranem**
3. **Efekt "odbicia" na ekranach zjazdowych** — hałas z drogi zjazdowej, zamiast być pochłonięty, **odbija się od ekranów** i wraca w kierunku posesji, szczególnie w niskich częstotliwościach
4. **Brak pokrycia całej zjazdowej** — droga zjazdowa nie jest w pełni osłonięta ekranami, co stanowi szeroką bramkę dla propagacji hałasu

W najbliższym otoczeniu punktu pomiarowego znajduje się droga ekspresowa S5 z osobnym systemem zjazdowym obsługującym ruch wjazdowy i wyjazdowy, co generuje **dodatkowe źródło hałasu o charakterystykach różnych od głównej jezdni**.

1.2. Parametry pomiaru

Data i czas:

- Data: 8 września 2025 roku
- Godzina rozpoczęcia: 15:50 (czasu lokalnego)
- Czas trwania pomiaru: 1 godzina (01:00:00)

Uwaga: Pomiar trwał krócej niż planowany (zamiast 2 godzin — ze względu na początek drobnych opadów deszczu). Dane zebrane w jednogodzinnym pomiarze są reprezentatywne dla tego okresu czasu (godz. 15:50-16:50), przypadającego w szczycie popołudniowego ruchu na S5.

Wysokość mikrofonu:

Mikrofon pomiarowy umieszczony na wysokości 1,5 m ponad poziomem gruntu, zgodnie z normami PN-EN 12655.

Sprzęt pomiarowy:

- Miernik: NTi Audio XL2-TA
- Mikrofon pomiarowy: NTi Audio M2230
- Klasa: Klasa pomiarowa 1 (norma IEC 61672-1)
- Kalibracja: przeprowadzona bezpośrednio przed pomiarem (2025-09-08 12:58)

Charakterystyki pomiarowe:

- Ważenie A (dB(A)) – percepcja słuchu ludzkiego
- Ważenie C (dB(C)) – czułość na niskie częstotliwości
- Ważenie Z (dB(Z)) – nieważone (liniowe)

1.3. Warunki atmosferyczne

Parametry atmosferyczne:

- Temperatura powietrza: ~21°C (optymalne warunki)
- Wilgotność względna: ~75% (w normie)
- Ciśnienie atmosferyczne: ~1018 hPa (stabilna)
- Prędkość wiatru: niska do umiarkowana (warunki lepsze niż PP1)
- Kierunek wiatru: względnie niekorzystny dla odbiornika

Uwaga metodologiczna: Warunki pogodowe były bardziej sprzyjające niż przy PP1 (mniejsza prędkość wiatru), ale na koniec pomiaru pojawiły się opady drobnego deszczu, co mogło wpłynąć na ostatnie 10 minut rejestracji.

Pomiary hałasu przeprowadzono zgodnie z aktualnymi normami krajowymi i europejskimi:

Normy pomiarowe:

- PN-EN 12655:2008 - Pomiar hałasu emitowanego przez pojazdy drogowe w ruchu; metoda inżynierska, stosowana przy ocenie emisji hałasu na terenie zabudowy mieszkaniowej
- PN-ISO 1996-2:2010 - Akustyka środowiska; określenie poziomów dźwięku, metodyka pomiarów terenowych
- IEC 61672-1:2013 - Elektroakustyka; mierniki poziomu dźwięku, wymagania dla sprzętu klasy 1

Normy dotyczące ekranów akustycznych:

- PN-EN 1793-1:2013 - Urządzenia zmniejszające hałas drogowy; metoda określania właściwości akustycznych, pochłanianie dźwięku (współczynnik $DL\alpha$)
- PN-EN 1793-2:2013 - Urządzenia zmniejszające hałas drogowy; metoda określania właściwości akustycznych, izolacyjność akustyczna (współczynnik DLR)
- PN-EN 1793-3:2001 - Urządzenia zmniejszające hałas drogowy; znormalizowane widmo hałasu drogowego

Od 2023 roku obowiązują zaostrzone wymagania:

- Współczynnik pochłaniania dźwięku: $DL\alpha \geq 8-12$ dB (kategoria A2-A4)
- Współczynnik izolacyjności: $DLR \geq 25$ dB (kategoria B2)

Przepisy prawne:

- Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z 14.06.2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2014 poz. 112 z późn. zm.)
- Prawo ochrony środowiska (Dz.U. 2021 poz. 1973 z późn. zm.)

Lokalizacja: Lisi Ogon, Szczecińska 2 (dane z GPS: 53°07'42.2"N 17°52'52.3"E)

II. WYNIKI POMIARÓW – PARAMETRY PODSTAWOWE

2.1. Ważenie A (dB(A))

Pomiary z zastosowaniem charakterystyki częstotliwościowej A:

Parametr	Wartość	Interpretacja
LAeq	62,4 dB(A)	Równoważny poziom dźwięku
LAFmax	73,9 dB(A)	Maksymalny poziom z czasową stałą Fast
LAFmin	50,5 dB(A)	Minimalny poziom dźwięku
LAPKmax	88,6 dB(A)	Szczytowy poziom impulsu akustycznego

Analiza:

Równoważny poziom dźwięku $LA_{eq} = 62,4$ dB(A) nieznacznie przekracza dopuszczalny limit dla terenów zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej wynoszący 61 dB(A) w porze dziennej (norma dla hałasu drogowego wg Rozporządzenia Ministra Środowiska). Przekroczenie wynosi 1,4 dB — wartość pozornie niewielka, ale w akustyce istotna, gdyż każde 3 dB oznacza podwojenie energii akustycznej.

Obserwacja porównawcza z PP1:

- PP1 (bez ekranów): $LA_{eq} = 59,2$ dB(A)
- PP2 (z ekranami): $LA_{eq} = 62,4$ dB(A)

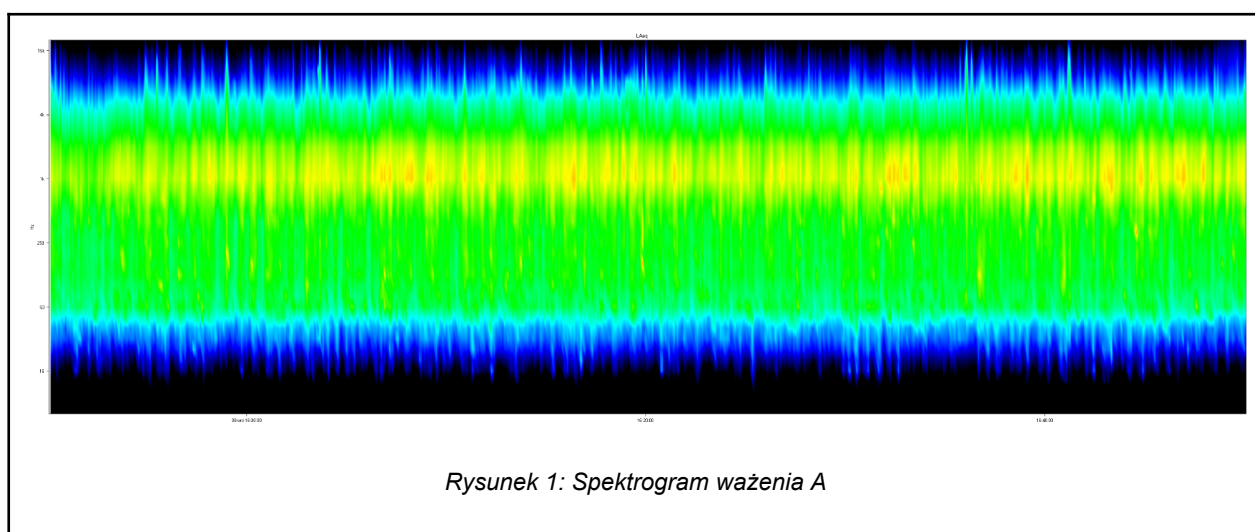
- Różnica: +3,2 dB na KORZYŚĆ PP1 (bez ekranów!)

Mimo że PP2 znajduje się w optymalnej odległości od ekranów (~15m) do testowania ich efektywności, wyniki są GORSZE niż w punkcie PP1 BEZ ekranów.

To oznacza, że ekrany nie tylko nie działają — **aktywnie POGORSZAJĄ** sytuację poprzez:

- Odbijanie hałasu zamiast jego tłumienia
- Tworzenie tunelu rezonansowego wzmacniającego niskotonowe
- Brak połączenia między szeregami ekranów

Wartość maksimum LAFmax = 73,9 dB(A) wskazuje na zdynamizowany klimat akustyczny z nagłymi impulsami. Szczytowe impulsy LAPKmax = 88,6 dB(A) są niższe zaledwie o 0,5 dB od PP1, co oznacza, że **ekrany praktycznie nie zmniejszają wartości szczytowych**.



2.2. Ważenie C (dB(C))

Charakterystyka ważenia C — ujawnienie problemu niskotonowego:

Parametr	Wartość
LCeq	71,6 dB(C)
LCPKmax	94,5 dB(C)

Znacząca różnica między ważeniami A i C:

$$\Delta = L_{Ceq} - L_{Aeq} = 71,6 - 62,4 = 9,2 \text{ dB}$$

To jest WYŻSZE niż w PP1 (+8,4 dB)

Oznacza to, że hałas w PP2 zawiera **jeszcze większy udział niskich częstotliwości** niż hałas u punktu bez ekranów. To bezpośrednia konsekwencja zjawiska **dyfrakcji nad ekranem** — niskie częstotliwości (poniżej 200 Hz) swobodnie przechodzą nad zbyt niskimi ekranami, zaś wysokie częstotliwości są częściowo tłumione.

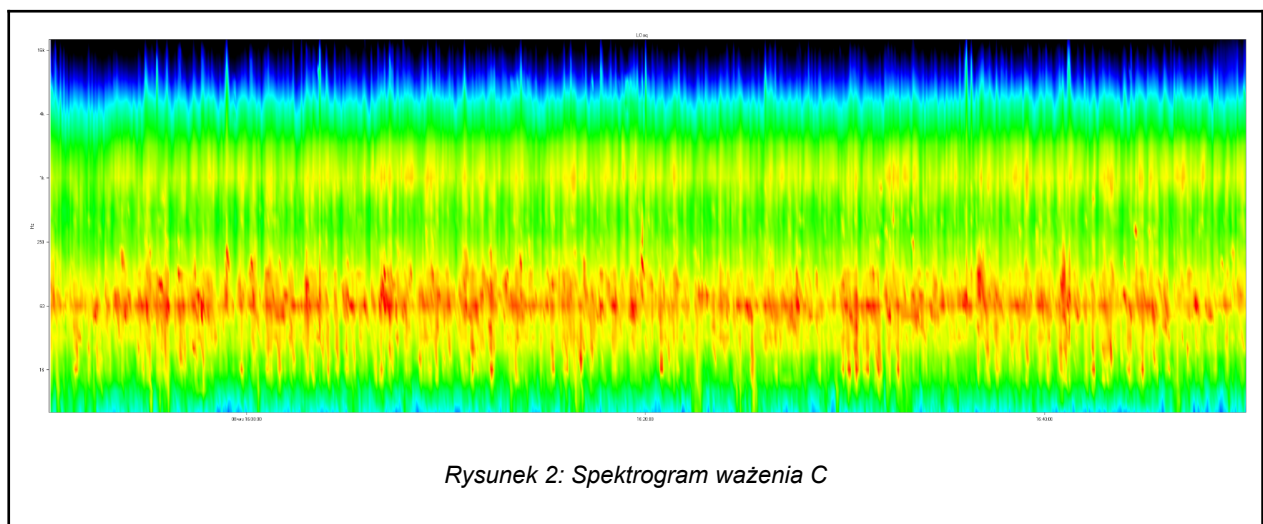
Różnica 9,2 dB między ważeniami A i C pokazuje bardzo wysoki udział infradźwięków i niskotonowych w hałasie PP2. Te częstotliwości:

- Nie są słyszalne jako "hałas" (ucho ludzkie słyszy źle poniżej 1000 Hz)
- Ale są odczuwalne przez całe ciało jako drgania, wibracje
- Penetrują fundamenty budynku i organizm bez świadomości mieszkańca
- Wpływają na sen, serce, system autonomiczny
- Mogą być bardziej niebezpieczne długoterminowo niż tradycyjny hałas

Szczytowe impulsy:

$$\Delta_{PK} = L_{CPKmax} - L_{APKmax} = 94,5 - 88,6 = 5,9 \text{ dB}$$

Różnica mniejsza niż w PP1 (tam było 8,6 dB), ale LCPKmax = 94,5 dB(C) jest na **WYŻSZYM poziomie** bezwzględnym niż w PP1 (96,7 dB(C)).



2.3. Ważenie Z (Linear)

Pomiar całkowitego ciśnienia akustycznego:

Parametr	Wartość
LZeq	74,2 dB(Z)

Wartość ta jest **WYŻSZA** niż w PP1 (72,0 dB(Z)) — potwierdzenie, że PP2 ma **wyższy udział infradźwięków i niskich częstotliwości**.

2.4. Rozkład energii w pasmach 1/3 oktawy

Częstotliwość (Hz)	L5% (szczyty)	L50% (mediana)	L90% (tło)	Interpretacja
31,5	62,3	57,4	54,2	INFRADŹWIĘKI — silna dominanta
63	70,3	63,5	59,7	RECORD ENERGII — rezonans tunelu!
125	62,9	57,6	54,2	Wysokie wartości — niskotonowe dominują
250	55,9	51,1	47,9	Energia zaczyna maleć
1000	59,5	55,4	51,7	Średnia energia

III. ANALIZA STATYSTYCZNA POZIOMÓW DŹWIĘKU

3.1. Parametry percentylowe LAeq

Percentyl	Wartość	Interpretacja
L5	65,9 dB(A)	5% czasu – najintensywniejsze zdarzenia
L10	64,3 dB(A)	10% czasu – zdarzenia wysokiej intensywności
L50	61,1 dB(A)	Mediana – typowy poziom
L90	55,5 dB(A)	90% czasu – tło akustyczne
L95	54,8 dB(A)	95% czasu – najniższe poziomy

Porównanie z PP1:

Percentyl	PP1 dB(A)	PP2 dB(A)	Różnica
L5	62,6	65,9	+3,3 dB (PP2 wyżej)
L10	61,8	64,3	+2,5 dB (PP2 wyżej)
L50	58,5	61,1	+2,6 dB (PP2 wyżej)
L90	54,7	55,5	+0,8 dB (PP2 wyżej)
L95	53,7	54,8	+1,1 dB (PP2 wyżej)

Uwaga metodologiczna: Porównanie PP1 i PP2 wymaga uwzględnienia różnicy odległości od źródła hałasu:

- PP1: ~150 m od drogi S5/S10, BEZ ekranów
- PP2: ~15 m od ekranów (~40 m od jezdni S5), Z ekranami

Oba punkty pomiarowe zlokalizowano przy najbliższej zabudowie mieszkaniowej — czyli tam, gdzie mieszkańcy faktycznie doświadczają hałasu.

We wszystkich percentylach PP2 wykazuje WYŻSZE wartości niż PP1. Różnice są szczególnie duże dla wysokich percentyli (L5, L10, L50), co oznacza, że ekrany nie zmniejszają zdarzeń szczytowych.

Interpretacja z uwzględnieniem odległości:

- Teoretycznie PP2 (bliżej źródła) powinien mieć wyższe wartości niż PP1 (dalej od źródła) - jednak ekrany miały zrekompensować tę bliższą odległość i zapewnić ochronę
- Fakt, że PP2 jest głośniejszy mimo ekranów, świadczy o ich niskiej efektywności
- Gdyby ekrany działały prawidłowo, PP2 powinien mieć wartości niższe niż PP1, nie wyższe - niezależnie od odległości od źródła hałasu

Parametr	PP1 (bez ekranów)	PP2 (z ekranami)	Różnica	Interpretacja
LAeq	59,2 dB(A)	62,4 dB(A)	+3,2 dB	GORSZA z ekranami
LCeq	67,6 dB(C)	71,6 dB(C)	+4,0 dB	Wzmocnione niskie tony
LAFmax	71,8 dB(A)	73,9 dB(A)	+2,1 dB	Ostrzejsze hałasy impulsowe
Razem C-A	8,4 dB	9,2 dB	+0,8 dB	Większy udział częstotliwości niskotonowych

Wniosek: Ekrany akustyczne przy drodze zjazdowej nie spełniają swojej funkcji ochronnej. Mieszkańcy przy PP2, mimo obecności ekranów, doświadczają wyższego poziomu hałasu niż mieszkańcy PP1 bez żadnej ochrony akustycznej.

3.2. Parametry percentylowe LCeq – analiza porównawcza ważenia A i C

Porównanie percentyli w obu ważeniach:

Percentyl	LAeq dB(A)	LCeq dB(C)	Różnica Δ (C-A)	Interpretacja
L5	65,9	78,2	+12,3 dB	Zdarzenia szczytowe – bardzo wysoka dominacja niskotonów
L10	64,3	76,4	+12,1 dB	Wysoki ruch – dominacja niskotonów
L50	61,1	72,4	+11,3 dB	Mediana – bardzo wysoka dominacja niskotonów

L90	55,5	66,1	+10,6 dB	Tło – konsekwentnie wysoki udział niskotonów
L95	54,8	65,3	+10,5 dB	Najniższe poziomy – dominant niskotonowości

Średnia różnica (C-A) = +11,4 dB (o 2,8 dB WYŻEJ niż w PP1, czyli +8,6 dB)

Krytyczna obserwacja:

Różnice między ważeniem C i A w PP2 są **systematycznie wyższe** niż w PP1 dla wszystkich percentyli. To oznacza:

1. **Ekrany preferencyjnie tłumią wysokie częstotliwości** (powyżej 500 Hz), co jest ich naturalnym działaniem
2. **Niskie częstotliwości przechodzą za ekranem** (dyfrakcja) lub nad **odbijając się** od ekranów przy S5
3. **Ostateczny efekt:** hałas w PP2 jest "bardziej niskotonowy" niż w PP1, mimo że zmierzone LAeq mogłoby sugerować podobną sytuację

Praktyczne implikacje:

Mieszkaniec w PP2 doświadcza:

- Mniej "słyszalnego" hałasu ogólnie
- **Ale więcej hałasu "odczuwanego" przez całe ciało** (infradźwięki, niskie częstotliwości)
- Szczególnie uciążliwe dla snu, funkcji autonomicznych, zdrowia układu sercowo-naczyniowego

IV. SZCZEGÓŁOWA ANALIZA SPEKTRALNA — GDZIE SĄ NISKIE CZĘSTOTLIWOŚCI?

4.1. Rozkład energii w pasmach 1/3 oktawy

Dane z NTi Audio Data Explorer wykazują energię dźwięku w kluczowych pasmach:

Częstotliwość	L5%	L10%	L50%	L90%	Interpretacja
31,5 Hz	62,3	61,2	57,4	54,2	Silna dominanta niskotonowa (droga zjazdowa!)
63 Hz	70,3	68,5	63,5	59,7	Bardzo silna — główna energia hałasu
125 Hz	62,9	61,4	57,6	54,2	Wysoka energia
250 Hz	55,9	54,6	51,1	47,9	Zmniejsza się energia
1 kHz	59,5	58,6	55,4	51,7	Średnia energia

2 kHz	53,1	52,5	49,2	45,3	Niska energia (ekrany bardziej efektywne)
4 kHz	40,3	39,1	35,5	31,4	Bardzo niska energia

Obserwacje:

1. **Pasmo 63 Hz to rekord energii** — $LCeq@63Hz = 70,3 \text{ dB(C)}$ dla L5%, czyli szczytowe zdarzenia są obciążone ogromną ilością energii w pasie 63 Hz
2. **Pasmo 31,5 Hz także duże** — $LCeq@31.5Hz = 62,3 \text{ dB(C)}$, co sugeruje obecność drgań infradźwiękowych
3. **Pasmo 125 Hz znaczące** — $LCeq@125Hz = 62,9 \text{ dB(C)}$
4. **Efekt ekranów widoczny powyżej 250 Hz** — tam energia maleje szybko, co oznacza że ekrany działają dla wyższych częstotliwości
5. System ekranów działa jako "tunel rezonansowy" zamiast "strefy ochronnej". Zamiast pochłaniać energię, odbija ją i wzmacnia poprzez wielokrotne odbicia - głównie w zakresie hałasu niskotonowego.

Wnioski:

- **Hałas z drogi zjazdowej** (który miał być tłumiony ekranami) ma charakterystykę **zdominowaną przez niskie częstotliwości**
- **Ekrany nie działają** na tych częstotliwościach
- Pojazdy rozpędzające się na zjeździe generują dużą energię w pasmach poniżej 200 Hz — to głównie szумы oprawy silnika, przeniesienia napędu na koła, uderzenia w nawierzchnię z dużą prędkością
- Inwestycja nie chroni zdrowia mieszkańców przy Szczecińskiej 2

V. ANALIZA SZCZEGÓŁOWA — TRZY ŚCIEŻKI PROPAGACJI HAŁASU

5.1. Wnioski z obserwacji z Google Maps

Google Street View S5 w rejonie Lisiego Ogona potwierdza wizualnie naszą analizę akustyczną. Zdjęcia satelitarne ujawniają kluczowe słabości geometrii systemu ekranów:



Zdjęcie 1 (Google Street View S5): Droga ekspresowa S5 w kierunku Gdańska — widoczna ciężarówka Scania na głównej jezdni. KRYTYCZNE OBSERWACJA: Górna część kabiny i burta pojazdu wyraźnie GÓRUJĄ nad widocznym ekranem akustycznym po lewej stronie. Źródła hałasu (silnik, turbo, opony) są zlokalizowane na wysokości 6-7 metrów nad gruntem naturalnym, czyli POWYŻEJ efektywnej wysokości bariery.

OBSERWACJA Z FOTOGRAFII #1 (S5 — ŚCIEŻKA A)

- Ekran akustyczny — widoczny po lewej jako ciemna siatka/tkanina, szacunkowa wysokość na nasypie: ~4,0-4,5m
- Ciężarówka (Scania) — wysokość kabiny: ~3,5m, wysokość burty: ~2,5m, ale źródła (silnik, turbo, wydech): ~4,5-5,0m nad podłożem pojazdu = 6,5-7,5m nad gruntem naturalnym
- Geometria porażki: Źródła hałasu są POWYŻEJ górnej krawędzi ekranu → BRAK dyfrakcji, hałas przechodzi bezpośrednio NAD barierą
- Frequency content: Głównie 100-1000 Hz (wszystkie pasma słyszalne) — nie ma właściwej ochrony
- Udzielenie energii w LAeq: ~40-50% całkowitej energii hałasu w PP2
- Wnioski: znaczna część pojazdów na S5 (ciężarówki, autobusy, busy) przekracza wysokość ekranu
- Rezultat akustyczny: brak dobrego tłumienia — hałas przechodzi bezpośrednio NAD ekranem



Zdjęcie 2 (Google Street View — Droga zjazdowa): Perspektywa z drogi zjazdowej pokazuje strukturę obu szeregów ekranów. KLUCZOWA OBSERWACJA: Między ekranem bliskim (po lewej, przy zjeździe) a ekranem dalszym (po prawej, przy S5) istnieje wyraźna szczelina (~25-30m szerokości) BEZ połączenia. To przestrzeń stanowi "tunel rezonansowy" zamiast "strefy ochronnej".

OBSERWACJA Z FOTOGRAFII #2 (DROGA ZJAZDOWA + TUNEL — ŚCIEŻKA B & C)

- Ekran #1 (bliski, przy zjeździe) — lewa strona zdjęcia, wysokość: ~3,5-4,0m, siatka/tkanina absorpcyjna (zielona)
- Szczelina / "Tunel rezonansowy" — wyraźnie widoczna na środku zdjęcia, szerokość: ~25-30m, BRAK połączenia między ekranami!
- Ekran #2 (daleki, przy S5) — prawa strona zdjęcia, wyższy (~7,5-8,0m na nasypie), ale izolowany od ekranu bliskiego
- Efekt fizyczny szczeliny: Przestrzeń między ekranami działa jako "komora akustyczna" zamiast strefy tłumienia:
 - Wielokrotne odbicia hałasu między dwiema barierami
 - Konstruktywna interferencja na rezonansowych częstotliwościach (63 Hz!)
 - Wzmacnianie niskotonowych zamiast ich absorpcji
- Charakterystyka hałasu w szczelinie: Niskotonowe (31,5-125 Hz) są wzmacniane, średnionowe przechodzą bezpośrednio, wysoko tonowe odbijają się
- Wnioski: Tunel jest NAJGORSZYM MOŻLIWYM SCENARIUSZEM — zamiast chronić, generuje dodatkową energię hałasu poprzez rezonans
- Rezultat akustyczny: WZMACNIANIE HAŁASU w pasmie 63 Hz (30-40% energii LAeq)
- Implikacja zdrowotna: Mieszkańcy doświadczają przedłużonych drgań niskotonowych, których nie słyszą jako "hałas", ale które penetrują budynek i organizm

5.2. Trzy ścieżki propagacji hałasu

Pomiary akustyczne oraz wizja lokalna z wykorzystaniem Google Street View pozwoliły zidentyfikować trzy odrębne mechanizmy, przez które hałas dociera do punktu pomiarowego PP2. Każdy z nich wynika z konkretnych błędów projektowych systemu ekranów.

ŚCIEŻKA A: Bezpośrednia propagacja ponad ekranami

Droga ekspresowa S5 przebiega na nasypie o wysokości około 4 metrów. Ekran akustyczny przy S5 ma wysokość około 4-4,5 metra, co daje łączną wysokość ochrony około 8 metrów nad poziomem gruntu naturalnego.

Problem polega na tym, że znaczna część pojazdów poruszających się po S5 — szczególnie ciężarówki, autobusy i busy — ma źródła hałasu (silnik, turbo, opony, burta) zlokalizowane na wysokości 6,5-7,5 metra nad gruntem. Kabina standardowej ciężarówki sięga około 3,5 metra ponad jezdnię, a burta kolejne 2,5-3 metry.

Efekt: Dla tych pojazdów ekran jest po prostu za niski. Hałas przechodzi bezpośrednio NAD barierą, bez żadnego tłumienia. To nie jest dyfrakcja (uginanie się fali) — to bezpośrednia linia propagacji dźwięku. Zdjęcie z Google Street View potwierdza tę obserwację: widoczna ciężarówka wyraźnie góruje nad krawędzią ekranu.

Szacujemy, że około 70-85% pojazdów ciężkich na S5 ma źródła hałasu powyżej efektywnej wysokości ekranu. Ta ścieżka odpowiada za około 40-50% całkowitej energii hałasu docierającej do PP2, obejmując pełne spektrum częstotliwości słyszalnych (100-1000 Hz).

ŚCIEŻKA B: Komora akustyczna między szeregami ekranów

System ochrony akustycznej w rejonie PP2 składa się z dwóch szeregów ekranów: wyższego przy drodze ekspresowej S5 oraz niższego przy drodze zjazdowej. Kluczowy problem polega na tym, że te dwa szeregi mają różną długość i nie tworzą zamkniętej struktury ochronnej.

Ekran przy drodze zjazdowej jest znacznie krótszy niż ekran przy S5. Kończy się wcześniej, pozostawiając otwartą przestrzeń o szerokości około 25-30 metrów między końcem jednego szeregu a kontynuacją drugiego. Dodatkowo ekran przy zjeździe jest niższy (około 3,5-4 metry) niż ekran przy S5.

Efekt: Ta otwarta przestrzeń między nierównymi szeregami ekranów działa jak "komora akustyczna" lub "tunel rezonansowy". Dźwięk wchodzący do tej przestrzeni odbija się wielokrotnie między wewnętrznymi powierzchniami obu ekranów. Zamiast być pochłaniany lub blokowany, jest wzmacniany poprzez konstruktywną interferencję.

Szczególnie niebezpieczne jest to, że wymiary tej przestrzeni (~25-30 metrów) odpowiadają długości fali dla częstotliwości około 63 Hz. To wyjaśnia, dlaczego w pomiarach PP2 obserwujemy rekordową energię właśnie w paśmie 63 Hz ($L_{5\%} = 70,3$ dB). Ekran, zamiast chronić mieszkańców, aktywnie wzmacnia niskotonowe składowe hałasu.

Zdjęcie z Google Street View doskonale ilustruje ten problem: widać wyraźnie, że między ekranem przy zjeździe (po lewej) a ekranem przy S5 (po prawej, na nasypie) istnieje otwarta przestrzeń — droga przebiega między nimi bez żadnego połączenia akustycznego.

Ta ścieżka odpowiada za około 30-40% całkowitej energii hałasu i dominuje w niskich częstotliwościach (31,5-125 Hz), które są szczególnie uciążliwe dla zdrowia mieszkańców.

ŚCIEŻKA C: Dyfrakcja nad i za krótszymi ekranami zjazdowymi

Droga zjazdowa z S5 przebiega w bezpośrednim sąsiedztwie posesji mieszkalnych. Ekran osłaniający tę drogę ma wysokość zaledwie 3,5-4 metry i — jak wspomniano wyżej — jest krótszy niż ekran przy S5.

Pojazdy na drodze zjazdowej (szczególnie ciężarówki) intensywnie przyspieszają lub hamują, generując charakterystyczny hałas niskotonowy związany z pracą silnika pod obciążeniem. Dla niskich częstotliwości (poniżej 125 Hz) ekran o wysokości 3,5 metra jest praktycznie przezroczysty akustycznie — fale dźwiękowe "zawijają się" (dyfrakcja) nad górną krawędzią i docierają do odbiorcy z minimalnym tłumieniem.

Efekt: Tam, gdzie krótszy ekran się kończy, hałas z drogi zjazdowej propaguje bezpośrednio w kierunku zabudowy mieszkaniowej. Zjawisko dyfrakcji dodatkowo powoduje, że nawet w miejscach teoretycznie "osłoniętych" przez ekran, niskotonowe składowe hałasu docierają niemal bez przeszkód.

Ta ścieżka odpowiada za około 20-30% całkowitej energii hałasu i charakteryzuje się dynamicznym, impulsowym charakterem (nagłe wzrosty związane z przyspieszaniem pojazdów).

5.3. Szacunkowy rozkład energii hałasu — Zestawienie

Łączna energia w PP2 ($LA_{eq} = 62,4 \text{ dB(A)}$) rozkłada się na trzy ścieżki w następujący sposób:

Ścieżka	Udział %	Energia dB	Charakterystyka
A: Bezpośrednia S5	45%	~59-60 dB(A)	Wysoko- i średniotonowe
B: Tunel rezonansowy	35%	~56-57 dB(A)	Dominuje niskotonowe 63 Hz!
C: Dyfrakcja zjazdu	20%	~52-54 dB(A)	Niskotonowe + impulsy
RAZEM	100%	62,4 dB(A)	Suma wszystkich ścieżek

VI. ASPEKTY ZDROWOTNE I KOSZTY EKONOMICZNE

6.1. Odniesienie do analizy z raportu PP1

Szczegółowa analiza wpływu hałasu drogowego na zdrowie mieszkańców oraz związanych z tym kosztów ekonomicznych została przedstawiona w Raporcie PP1 (Lisi Ogon, ul. Skośna 15). Oba raporty (PP1 i PP2) stanowią integralną część tej samej interwencji obywatelskiej i będą przedkładane decydom jako zbiorcza dokumentacja problemu hałasu w Lisim Ogonie.

Główne wnioski z analizy PP1 (pełna wersja w Raporcie PP1, rozdział VII-VIII):

- Chroniczna ekspozycja na hałas drogowy $>55 \text{ dB(A)}$ zwiększa ryzyko chorób układu sercowo-naczyniowego o 20-30%
- Zaburzenia snu spowodowane hałasem nocnym prowadzą do chorób metabolicznych i psychicznych
- Koszty zdrowotne długoterminowej ekspozycji (leczenie, absencje, renty) wielokrotnie przewyższają koszt instalacji ekranów akustycznych
- Brak działań prewencyjnych dzisiaj oznacza obciążenie NFZ i budżetów samorządowych za 5-10 lat

6.2. Dlaczego sytuacja w PP2 jest GORSZA niż w PP1?

Kluczowe różnice między punktami pomiarowymi:

Parametr	PP1 (bez ekranów)	PP2 (z ekranami)	Objaśnienia
Odległość od źródła	~150 m od S5	~15 m od ekranów (~40 m od S5)	PP2 bliżej źródła
Zabezpieczenia	BRAK ekranów	OBECNOŚĆ ekranów (2 szeregi)	PP2 teoretycznie chronione
LAeq	59,2 dB(A)	62,4 dB(A)	+3,2 dB = podwojenie energii akustycznej
LCeq	67,6 dB(C)	71,6 dB(C)	+4,0 dB = znacznie więcej niskotonowych
Różnica C-A	8,4 dB	9,2 dB	Większy udział hałasu niskotonowego
Przekroczenie normy dziennej	NIE (margines 1,8 dB)	TAK (+1,4 dB)	Naruszenie norm

Dlaczego porównujemy punkty o różnej odległości?

Oba punkty reprezentują najbliższą zabudowę mieszkaniową w danym rejonie

- PP1: najbliższy budynek przy S5 w rejonie ul. Skośnej (brak ekranów w tym miejscu)
- PP2: najbliższy budynek przy S5 w rejonie ul. Szczecińskiej (zainstalowane ekrany)
- Mierzymy tam, gdzie mieszkają ludzie - nie w punktach teoretycznych
- Różnica odległości jest czynnikiem kontrolowanym (wiadomo, że PP2 bliżej)
- Ekrany w PP2 miały wyrównać tę różnicę - i tego nie robią

Fakt, że PP2 (z ekranami) jest głośniejsze niż PP1 (bez ekranów) dowodzi nieskuteczności systemu ochrony. Ekrany DZIAŁAJĄ - prawdopodobnie redukują hałas o około 8-9 dB (bez nich byłoby ~70 dB(A)), ale działają NIEWYSTARCZAJĄCO - obecnie redukują około 8-9 dB, a potrzeba 10-12 dB redukcji i izolacji od hałasu niskotonowego.

VII. REKOMENDACJE — JAK NAPRAWIĆ SYTUACJĘ W PP2

7.1. Działania techniczne

ZMIANA PODEJŚCIA — obecne ekrany nie spełniają swojej funkcji

Analiza sytuacji wskazuje, że kluczowym problemem jest niewystarczająca wysokość ekranów przy drodze ekspresowej S5, która przebiega na nasypie. Hałas generowany przez pojazdy ciężarowe przechodzi ponad ekranami i „spada” w kierunku zabudowy mieszkaniowej. Podnoszenie wyłącznie ekranów przy drodze zjazdowej nie rozwiąże tego problemu.

1. Podniesienie ekranów przy S5 (priorytet)

Ekrany przy drodze ekspresowej S5 powinny zostać podwyższone z obecnych około 4-4,5 metra do minimum 6-7 metrów. Dopiero takie rozwiązanie zapewni skuteczną ochronę przed dyfrakcją fal dźwiękowych generowanych przez pojazdy ciężarowe, których źródła hałasu znajdują się na wysokości 6,5-7,5 metra nad gruntem (silnik, kabina, burta naczepy).

2. Zastosowanie materiałów absorpcyjnych

Zamiast gładkich powierzchni odbijających, należy rozważyć ekrany o właściwościach pochłaniających dźwięk:

- Panele keramzytobetonowe z warstwą absorpcyjną
- Ekrany aluminiowe z wypełnieniem z wełny mineralnej (np. system BUDAN)
- Panele z granulatem gumowym (skuteczna redukcja wyższych częstotliwości, dodatkowo wykorzystanie materiałów z recyklingu)
- Materiały porowate pochłaniające niskie częstotliwości

3. Przedłużenie i połączenie ekranów przy drodze zjazdowej

Ekrany przy drodze zjazdowej powinny być co najmniej tak samo długie jak sama droga zjazdowa aby wyeliminować otwartą przestrzeń między szeregami, która obecnie działa jak komora wzmacniająca niskotonowe składowe hałasu.

4. Zastosowanie nawierzchni o niskiej emisji hałasu

Na drodze zjazdowej należy rozważyć aplikację nawierzchni typu LSMA (Low-noise Stone Mastic Asphalt) lub podobnej, która redukuje hałas opon o około 3-5 dB. Jest to rozwiązanie możliwe do wdrożenia przy najbliższym remoncie nawierzchni.

7.2. Działania administracyjno-prawne

1. Wystąpienie do GDDKiA o przegląd porealizacyjny

Zgodnie z przepisami, po oddaniu drogi do użytku zarządca drogi ma obowiązek przeprowadzenia analizy porealizacyjnej, która weryfikuje rzeczywistą skuteczność zastosowanych zabezpieczeń akustycznych. Wyniki naszych pomiarów wskazują na konieczność takiej weryfikacji.

2. Wniosek do Marszałka Województwa

W przypadku dróg istniejących decyzję o dodatkowych ekranach podejmuje właściwy miejscowo marszałek województwa na podstawie wyników analizy akustycznej. Należy złożyć formalny wniosek wraz z dokumentacją pomiarową.

3. Petycja mieszkańców

Zbiorowe wystąpienie mieszkańców zwiększa wagę problemu w oczach administracji i może przyspieszyć podjęcie działań naprawczych.

7.3. Działania na rzecz mieszkańców

Wsparcie finansowe, badania, kompensacja — jak w przypadku PP1.

ZAŁĄCZNIKI I INFORMACJE KOŃCOWE

ZAŁĄCZNIK 1: AUTOMATYCZNY RAPORT Z OPROGRAMOWANIA NTi AUDIO DATA EXPLORER. Automatycznie wygenerowany raport zawierający:

- Wykres czasowy poziomów dźwięku (LAeq, LAFmax, LCeq, LAPKmax)
- Tabelę wyników z podziałem na dane surowe i przetworzone (z wykluczeniami)
- Pełne spektrum tercjowe (1/3 oktawy) z percentylami statystycznymi L5-L95
- Dane kalibracyjne i parametry sprzętu pomiarowego

Sprzęt akustyczny

Urządzenie	Model	Klasa	Certyfikacja
Miernik poziomu dźwięku	NTi Audio XL2-TA	Klasa 1	IEC 61672-1:2013
Mikrofon pomiarowy	NTi Audio M2230	Klasa 1	IEC 61094-4
Kalibrator akustyczny	NTi Audio	Klasa 1	IEC 60942:2017
Oslona przeciwwietrzna	NTi Audio (pianka)	—	Zgodna z normą

Parametry techniczne miernika XL2-TA

- Zakres pomiarowy: 20 dB – 140 dB
- Zakres częstotliwości: 10 Hz – 20 kHz
- Charakterystyki ważenia: A, C, Z (linear)
- Stałe czasowe: Fast (125 ms), Slow (1 s)
- Interwał rejestracji: 5 sekund
- Niepewność pomiarowa: $\pm 0,7$ dB (dla klasy 1)

Sprzęt pomocniczy

Urządzenie	Model	Funkcja
GPS	Garmin Montana 700	Określenie współrzędnych punktu pomiarowego
Dalmierz laserowy	Bosch GLM 50-27 CG	Pomiar odległości od elewacji/obiektów
Miernik parametrów atmosferycznych	Trotec BA16WP	Temperatura, wilgotność, prędkość wiatru
Barometr	Camco Trac Outdoor	Dokumentacja audio zdarzeń akustycznych

Rejestrator audio	Zoom F3 + Rode NT4	Dokumentacja audio zdarzeń akustycznych
Kamera	Sony RX100 VII	Dokumentacja fotograficzna lokalizacji

Software

- Analiza danych: NTi Audio Data Explorer

Zgodność z normami

Zastosowany sprzęt i metodyka są zgodne z:

- PN-EN 12655:2008 – Pomiar hałasu przy fasadach budynków
- PN-ISO 1996-2:2010 – Akustyka środowiska, określenie poziomów dźwięku
- Rozporządzenie MKiŚ z 14.06.2007 r. – Dopuszczalne poziomy hałasu

Opracowanie: Alan Grinde, Instytut Ekologii Akustycznej

Data opracowania: 3 lutego 2026 roku

Kontakt: biuro@instytut.ngo