Omówienie wyników pomiarów hałasu Południowej Obwodnicy Warszawy (S2) i ocena zabezpieczeń w rejonie węzła Patriotów

Roman Pielaszek

noise.ac.prs@pielaszek.com

Keywords: Południowa Obwodnica Warszawy (POW), S2, hałas, statystyczne miary hałasu, Warszawa Wawer, linia otwocka, węzeł Patriotów

Streszczenie

Omówiono pomiary hałasu w pobliżu Południowej Obwodnicy Warszawy (POW) zlecone przez Gminę Wawer na przykładzie punktu pomiarowego przy ul. Popiołów/Mszańskiej oraz sąsiedniego punktu przy ul. Bonisławskiej. Stwierdzono powszechne i drastycznie przekroczenie norm hałasu. Przedstawiono analizę sekundowych danych głośności POW. Analiza wykazała nieakceptowany poziom uciążliwości POW dla mieszkańców spowodowany hałasem.

Przedstawiono zastosowane w POW metody ochrony przed hałasem. Wykazano, że przygotowany na potrzeby inwestycji model propagacji hałasu jest wadliwy. W wyniku użycia wadliwego modelu zaniedbano instalacji wielu zabezpieczeń, w tym ekranów akustycznych i wałów ziemnych, zaś istniejące są często zbyt niskie.

Na skutek błędów w modelu dopuszczono do powstania przerw w ekranowaniu, które niweczą działanie sąsiadujących ekranów (strata pieniędzy).

Zaproponowano szereg koniecznych poprawek, w tym: budowę brakujących ekranów (optymalnie tunelu jak na Trasie Toruńskiej), usunięcie nieciągłości ekranowania, podniesienie wysokości ekranów, przeprojektowanie krawędzi ekranów, pokrycie nawierzchni drogi nowoczesną warstwą dźwiękochłonną, wprowadzenie ograniczenia szybkości w rejonach zamieszkanych wraz z odcinkowym pomiarem szybkości.

Dla uniknięcia kolejnych błędów, postuluje się też włączenie przedstawicieli zainteresowanych mieszkańców oraz Gminy Wawer do procesu projektowania brakujących zabezpieczeń przeciwhałasowych.

Spis treści

Spis treści 2

I Omówienie pomiarów hałasu 3

1 Miejsce i czas pomiarów 3

2 Wielkości i normy 3

2.1 Normy 6

2.1.1 Miary statystyczne 6

2.1.2 Stałość norm 7

3 Wyniki pomiarów 7

4 Analiza danych ciągłych 8

4.1 Incydenty akustyczne 9

4.2 Wyniki pomiarów przy minimalnym ruchu, VII.2021 9

4.3 Wyniki pomiarów przy normalnym ruchu, IV-V.2022 10

4.3.1 Hałas dzienny 11

4.3.2 Hałas nocny 13

II Ochrona przed hałasem 14

5 Opis istniejących zabezpieczeń 14

6 Przyczyny nadmiernego hałasu 15

6.1 Błędny model hałasu, brak ekranów 15

6.1.1 Rozwiązanie: uzupełnienie brakujących ekranów 15

6.2 Nieciągłości ekranowania 20

6.2.1 Rozwiązanie: eliminacja nieciągłości 20

6.3 Wysokość ekranowania 20

6.3.1 Rozwiązanie: ekrany $8m$ 20

6.4 Krawędzie ekranów 21

6.4.1 Rozwiązanie: tunel, chevrons lub nasadzenia 21

6.5 Nawierzchnia 22

6.5.1 Rozwiązanie: warstwa wyciszająca 22

6.6 Szybkość 22

6.6.1 Rozwiązanie: $90\frac{km}{h}$ i odcinkowy pomiar prędkości 22

III Wnioski 22

7 Konieczne poprawki 23

IV Dodatki 24

8 O autorze 24

Spis tablic 25

Spis rysunków 25

Część I. Omówienie pomiarów hałasu

1 Miejsce i czas pomiarów

Pomiary hałasu wykonano specjalistycznym sprzętem Sonitus EM2023 oraz miernikiem poziomu dźwięku Svantek SV35A, Rys.1, w dwóch sesjach pomiarowych.

Pierwsza sesja miała miejsce w okresie 1-19.VII.2021. Były to pomiary ciągłe, wielodniowe. W czasie pomiarów ruch na S2 był niewielki, ponieważ

- obowiązywał zakaz wjazdu dla ciężarówek, tak więc ruch dotyczył wyłącznie samochodów osobowych
- droga była praktycznie ślepa - obwodnica urywała się przed Ursynowem (nieoddany tunel)
- był środek wakacji, a trasa do Lublina (wtedy jeszcze w przebudowie) nie jest kierunkiem wakacyjnym.

Fig. 1: Z lewej: system do pomiaru hałasu Sonitus EM2023 zainstalowany na wysokości pierwszego piętra domu przy ul. Mszańskiej/Popiołów w czasie pomiarów z lipca 2021r. Z prawej miernik poziomu dźwięku Svantek SV35A tuż po zakończonym pomiarze, rano 17.V.2022.

Zmierzone dane były wysyłane w czasie rzeczywistym do serwerów firmy Sonitech, dzięki czemu można było śledzić na bieżąco poziom hałasu za pomocą aplikacji webowej, Rys.2.

Druga, jednodobowa sesja pomiarowa miała miejsce 16-17.V.2022 w godzinach od szóstej rano do szóstej rano. Urządzenie zainstalowano w tym samym miejscu - na wysokości pierwszego piętra, na posesji przy ul. Popiołów/Mszańskiej, Rys.3.

2 Wielkości i normy

Dźwięk jest falą utworzoną przez przesuwające się cząsteczki powietrza. Jedna popycha kolejną jak ludzie swoich sąsiadów w zatłoczonym autobusie. Ostatni, który nie ma już sąsiada naciska na tylnią szybę. Ową siłę nacisku nazywamy ciśnieniem akustycznym, zaś odpowiednikiem szyby jest błona bębenkowa ucha.

Najmniejsze ciśnienie, przy którym błona ucha się ugina i daje wrażenie dźwięku to $p_0 = 0.00002Pa$ (paskala), czyli jakieś $0.002\frac{g}{m^2}$. Ciśnienie każdego dźwięku (nazwijmy je p_1) można

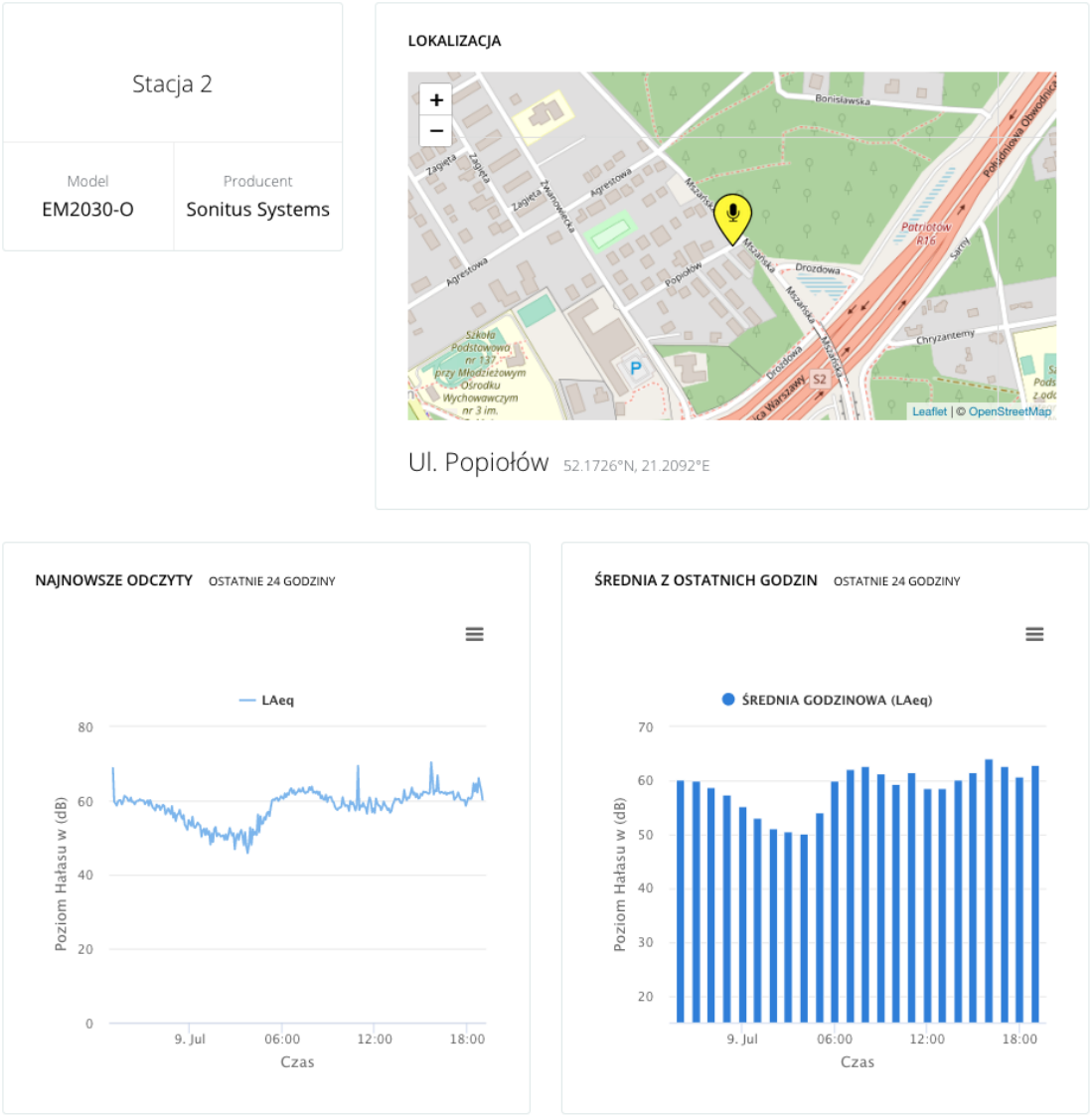


Fig. 2: Fragment strony halaswarszawa.pl do śledzenia aktualnie rejestrowanego hałasu w czasie pomiarów 1-19.VII.2021.

Fig. 3: Zestaw pomiarowy do mierzenia hałasu Svantek SV35A na posesji ul. Popiołów/Mszańska zainstalowany 16.V.2022 przez firmę Sonitech na zlecenie Gminy Wawer. **UWAGA**: Widoczny w tle ekran akustyczny znajduje się po *przeciwnej* stronie S2. Brak jest ekranu pomiędzy posesją a autostradą. *Dostępny jest film pozwalający na odsłuch rzeczywistego hałasu S2 w czasie tego pomiaru: https://pielaszek.com/s2-video*

wyrazić jako wielokrotność tego minimalnego, np. "100× więcej niż p_0" albo "1000× więcej niż p_0". Człowiek potrafi usłyszeć nawet $p_1 = 10000000000000 \times p_0$. Dlatego dla wyrażenia głośności zamiast podawać taką długą liczbę, wygodniej powiedzieć ile ona ma zer. Nazywamy to "rzędem wielkości", a operacja, która podaje liczbę zer to logarytm dziesiętny:

$$Liczba\ Zer = \log_{10} \frac{p_1}{p_0} \tag{1}$$

Jednostką głośności jest *bel* $[B]$. Jeden *bel* hałasu więcej to jedno zero więcej w mnożniku mówiącym ile razy dany dźwięk jest głośniejszy od najcichszego słyszalnego. Najgłośniejszy dźwięk, który jeszcze słyszymy bez bólu to jakieś $13B$. Zatem cały zakres słyszalności to $0-13B$. Dla wygody zwykło się używać wielkości 10 razy mniejszej (tj. *podwielokrotności*), czyli głośności w decy-belach $[dB]$:

$$L = 10 \log_{10} \frac{p_1}{p_0} \tag{2}$$

Zatem wyrażony w decybelach zakres słyszalności człowieka to jakieś $0 - 130dB$.

Człowiek słyszy najlepiej (subiektywnie najgłośniej) tony o częstotliwości $1 - 5kHz$. Częstotliwości mniejsze i większe wydają się cichsze nawet jeśli ich ciśnienie akustyczne jest identyczne. Dlatego, żeby uzyskać miarę głośności "sprawiedliwą" dla wszystkich tonów (w sensie ich słyszalności przez człowieka), przed obliczeniem głośności tony "dyskryminowane" (czyli niskie i wysokie) mnoży się tak, żeby zrównały się ze średnimi. Taki zabieg mnożenia nazywamy *A-weighting*, czyli "ważeniem typu A" (są jeszcze inne literki). Głośność skorygowana na barwę tonów, dalej mierzona w $[dB]$, przyjmuje symbol L_A (od *Level A-weighted*).

Jeśli pomiar głośności przeciąga się w czasie i fluktuuje (chwilowe wartości się wahają), wtedy bierze się średnią wartość głośności z całego pomiaru. Taka głośność przyjmuje symbol L_{Aeq} (od *Level A-weighted EQuivalent continous*, czyli *równoważnik ciągłego, A-ważonego poziomu dźwięku*).

Wielkość L_{Aeq} jest często używana jako reprezentatywna miara głośności, np. w normach hałasu.

2.1 Normy

Wartości graniczne hałasu uznawane za szkodliwe są określone w normach i zaleceniach wielu organizacji, np.

- WHO: Environmental Noise Guidelines for the European Region[1]
- EU: Environmental Noise Directive (END) [2]
- Rząd RP: rozporządzenie z dnia 14.VI. 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (obowiązujące w czasie budowy osiedla Sosnowy Zakątek)[3]
- Rząd RP: rozporządzenie z dnia 15.X.2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (obowiązujące w czasie budowy S2)[4]

W normach korzysta się najczęściej z definicji nadmiernego hałasu opartych na statystycznych miarach głośności w ciągu nocy i dnia.

Co do zasady, normy powstają w celu *ustalenia* (tj. *uczynienia stałym*, czyli *niezmiennym w czasie*) maksymalnych, gwarantowanych parametrów hałasu w okresie użytkowania przedmiotów od tych norm zależnych. Poprawnie rozumując, należy zatem zakładać stałość norm lub ewentualnie ich *zaostrzanie* w kierunku *lepszych* (niższych) parametrów najwyższego hałasu, nigdy odwrotnie.

2.1.1 Miary statystyczne

Miary statystyczne służą uproszczeniu złożonego problemu. Np. zamiast 86400 oddzielnych liczb opisujących hałas w ciągu doby wolimy mieć tylko jedną, żeby łatwo było powiedzieć "dużo to czy mało". Z grubsza rzecz ujmując, statystyka to *technika redukowania zbiorów danych liczbowych do pojedynczych liczb* tak, żeby zmniejszyć rozmiar danych ale zachować jak najwięcej informacji.

Statystyka to rzemiosło wymagające wysokiej *etyki* postępowania. Z techniczno-matematycznego punktu widzenia statystyka jest nęcąco łatwa w (nad)użyciu. Niezwykle łatwo jest manipulować zbiorami danych (nawet nieświadomie) tak, żeby uzyskać pożądany wynik. Dlatego premier UK, Disraeli, stopniował fałsz na "kłamstwa, cholerne kłamstwa i statystyki".

Istnieje *bardzo wiele* dróg redukcji danych do pojedynczych, użytecznych miar. Najpopularniejsza to *uśrednianie*. Wartość średnia ma oczywistą zaletę: jest prosta i powszechnie znana. Ma też

[1] WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: https://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/383921/noise-guidelines-eng.pdf
[2] Environmental noise: https://www.eea.europa.eu/airs/2018/environment-and-health/environmental-noise
[3] Dz. U. Nr 120, poz. 826 z późn. zm.
[4] Dz.U. 2014 poz. 112 z późn. zm.

wady: niewłaściwie użyta (umyślnie bądź nieświadomie) prowadzi do rażących nieprawd (*ja i mój pies mamy średnio po trzy nogi*).

Normy i zalecenia odnoszą się najczęściej do miar statystycznych zmiennego w czasie poziomu hałasu. Jako że najprostsza miara to wartość średnia, ta wybierana jest najchętniej. Różny bywa za to *okres uśredniania* przyjęty w różnych dokumentach. Np. mówi się o porze nocnej i dziennej albo o średniej całodobowej (dzień-wieczór-noc). Wprowadza się także limity na wartości maksymalne.

Lepszy pogląd na uciążliwość hałasu dają inne miary niż wartość średnia. Jedną z nich jest histogram, który mówi ile czasu człowiek jest narażony na różne poziomy hałasu. Można go otrzymać z ciągłych pomiarów hałasu, uśrednianych co sekundę (zamiast po całym dniu). Pokażemy dalej jak go interpretować.

2.1.2 Stałość norm

Normy to powszechnie obowiązujące umowy mające na celu ujednolicenie ważnych parametrów, dla dużych grup ludzi. Np. średnica, skok i długość gwintu żarówki (E14, E27) jest unormowana po to, żeby żarówka do lampy pasowała. Inaczej mówiąc: żeby konsumenci mogli polegać na producentach żarówek, a producenci żarówek na producentach lamp. Jedni, drudzy i trzeci inwestują swoje środki w nadziei uzyskania korzyści, w zaufaniu do trwałości norm, które ich wiążą.

Podobna sytuacja, chociaż na większą skalę, ma miejsce w czasie budowy domów. Dom buduje się wiele lat, wielkim nakładem kosztów (często na kredyt spłacany do końca życia) w miejscu, którego nie można potem zmienić. **Zakłada się przy tym *pewność prawa i ustanowionych przez państwo norm*.** W nowoczesnych, praworządnych społeczeństwach, jeśli powszechnie obowiązujące normy środowiskowe zmieniają się, to tylko na ostrzejsze.

Południowa Obwodnica Warszawy (POW) była projektowana w XXw. Jej przybliżony przebieg był znany od dawna. Domy w sąsiedztwie POW planowano i budowano przez dziesięciolecia w zaufaniu do obowiązującego prawa. Zasadnie przyjmowano, że techniczna realizacja planowanej drogi zagwarantuje poziomy hałasu nie większe niż warowane **w normach obowiązujących natenczas, tj. w czasie budowy domu.** Utrzymanie w mocy norm hałasu obowiązujących w czasie budowy konkretnego domu (albo lepszych) należy uznać za rodzaj praw nabytych podlegających ochronie.

Pomimo tych, raczej oczywistych zasad, w roku 2013 normy hałasu ($55dB$ w dzień i $50dB$ w nocy) zostały podniesione o $6dB$, Tab.1. Oznacza to 4-krotne **zwiększenie** dopuszczalnej amplitudy dźwięku. Celem zmiany było zaoszczędzenie pieniędzy na ekranach akustycznych i innych technologiach zmniejszających uciążliwość akustyczną autostrad.

Po podniesieniu dopuszczalnych wartości hałasu, **domy zbudowane dawno temu w odległości gwarantującej względną ciszę znalazły się nagle w strefie hałasu**. W miejscach, gdzie (według starych norm) stanęłyby ekrany akustyczne i inne zabezpieczenia – dziś żadnych zabezpieczeń nie ma.

3 Wyniki pomiarów

Wyniki pomiarów zostały przedstawione przez wykonawcę (SONITECH) w postaci szczegółowych sprawozdań obejmujących wszystkie istotne parametry pomiaru, w tym:

- typ urządzenia
- warunki atmosferyczne (np. wilgotność, temperaturę, ciśnienie, siłę i kierunek wiatru)
- nastawy
- protokoły wzorcowania urządzenia
- podstawy prawne

- metodykę
- charakterystykę terenu
- opis źródeł hałasu
- parametry ruchu pojazdów
- opis posadowienia urządzenia w czasie pomiarów.

Powstało 9 oddzielnych raportów, po jednym dla każdego miejsca pomiaru. Pomiary przebiegły pomyślnie. Jak czytamy w raportach: "*Zastosowany czas próbkowania wynosił 1 sekundę. Zastosowano pomiar ciągły zarówno w porze dziennej jak i nocnej. W pomiarach nie odnotowano przerw w rejestracji sygnału dźwiękowego ani przypadkowych zdarzeń zakłócających pomiar, które miałyby wpływ na uzyskany wynik pomiaru.*".

Najważniejszym uzyskanym wynikiem jest "równoważny poziom dźwięku" L_{Aeq}, wyrażony w decybelach $[dB]$. Jest on istotny, ponieważ właśnie wartość L_{Aeq} figuruje w normach mających zastosowanie do oceny dopuszczalności poziomu hałasu.

Odczyty wartości L_{Aeq} wraz z wartościami dopuszczalnymi zdefiniowanymi w normach przedstawia Tab.1.

Norma oraz wartości rzeczywiste	dzień	noc
	L_{Aeq} [dB]	L_{Aeq} [dB]
norma WHO	53	40
dyrektywa EU, Environmental Noise Directive (END)	50-55	50
norma PL do 2013r.	55	50
norma PL od 2014r.	61	56
Zmierzone na posesji ul. Popiołów/Mszańska	**62.1**	**58.8**
Zmierzone na posesji ul. Bonisławska	**65.1**	**61.8**
Zmierzone na posesji ul. Izbicka	**56.3**	**58.5**
Zmierzone na posesji ul. Podbiałowa	**64.7**	**62.0**
Zmierzone na posesji ul. Nasza	**58.6**	**54.7**
Zmierzone na posesji ul. Ogórkowa	**59.8**	**56.5**
Zmierzone na posesji ul. Tuberozy	**58.3**	**55.4**
Zmierzone na posesji ul. Deptak	**60.4**	**54.9**
Zmierzone na posesji ul. Wolna (szkoła)	**55.3**	-

Tab. 1: Porównanie norm hałasu i wyników pomiarów w otoczeniu obwodnicy S2. Nie uzyskano żadnego wyniku zgodnego z normami międzynarodowymi oraz polską normą do 2013r. Kolorem czerwonym oznaczono wyniki, które **przekraczają wszystkie normy**. Kolorem pomarańczowym oznaczono wyniki, które **przekraczają normy WHO, EU oraz polską do roku 2013**.

Z tabeli 1 widać, że poziom hałasu dopuszczany przez normy międzynarodowe oraz normę polską do 2013 roku jest przekroczony we wszystkich przypadkach. **W większości lokalizacji (5 z 9) przekroczone są także obowiązujące obecnie normy polskie**, choć przyzwalają na amplitudę hałasu *czterokrotnie* wyższą niż UE i ponad 20 razy wyższą niż WHO.

4 Analiza danych ciągłych

Poza pojedynczą, uśrednioną po czasie całej nocy (albo całego dnia) wartością L_{Aeq}, wynikiem pomiarów były także zestawy danych sekundowych L_{Aeq}. Sekundowy odczyt L_{Aeq} to ta sama wielkość, którą stosuje się w normach, tyle że chwilowa (trwająca $1s$). Uśrednia się ją na odcinku jednej sekundy (zamiast całego dnia). Uzyskujemy w ten sposób bardzo cenne informacje: jak zmienia się hałas w czasie. Na przykład, bardzo głośne hałasy przeplatane zupełną ciszą są o wiele trudniejsze do zniesienia niż jednolity, umiarkowany szum, chociaż w obu przypadkach zarejestrowalibyśmy tą samą średnią dzienną.

4.1 Incydenty akustyczne

Urządzenia pomiarowe obok wartości średniej L_{Aeq} dostarczają także innych standardowych informacji na tema hałasu, m.in.:

- L_{Amax} - najwyższej zarejestrowanej wartości w okresie pomiarowym (np. w ciągu $1s$)
- L_{A10} - średniej z 10% najwyższych wartości zarejestrowanych w okresie pomiarowym
- L_{A90} - średniej z 90% najniższych wartości zarejestrowanych w okresie pomiarowym

Średnie wartości hałasu (np. godzinowe) są miarą statystyczną przyjętą w normach ale niewiele mówią o odczuwaniu hałasu przez człowieka. Człowiek dość dobrze adaptuje się do jednostajnego szumu (o rozsądnej głośności), jednak źle znosi nagłe zmiany hałasu (np. szybki przejazd motocykla).

Wielkości L_{Amax} i L_{A10} pozwalają wychwycić incydenty akustyczne (np. start samolotu), które najpewniej nie będą widoczne w danych uśrednionych ale istotnie wpływają na uciążliwość akustyczną. Tabela 4 pokazuje przykłady takich incydentów na obwodnicy S2 w środku nocy.

Przykład: 11.VII.2021 w godz. 22-24 średnie godzinowe wynosiły "zaledwie" $61 - 64dB$. Jednak chwilowy hałas często przekraczał $80dB$. Oznacza to wielokrotne, gwałtowne zmiany głośności od względnej "miejskiej ciszy" (ok. $50dB$) aż do hałasu Boing'a 737-800 startującego w odległości 2 mil.

Podobny typ hałasu (głośny huk na zmianę ze względną ciszą) obserwuje się właśnie w okolicy lotnisk, gdzie starty odbywają się co kilka minut.

Date	Time	LAeq [dB(A)]	LAFmax [dB]	LA10 [dB(A)]	LA90 [dB(A)]
11-07-2021	22:15:00	58.59	69.75	62.12	51.46
11-07-2021	22:20:00	58.76	71.83	62.68	49.13
11-07-2021	22:25:00	61.79	81.8	63	52.87
11-07-2021	22:30:00	66.4	77.71	69.37	62.03
11-07-2021	22:35:00	71.37	90.17	73.74	66.65
11-07-2021	22:40:00	71.81	81.51	73.2	69.93
11-07-2021	22:45:00	67.94	82.41	69.66	64.62
11-07-2021	22:50:00	65.69	79.37	68.46	60.53
11-07-2021	22:55:00	63.76	75.27	65.92	59.76
11-07-2021	23:00:00	63.39	81.25	64.92	56.48
11-07-2021	23:05:00	73.86	99.18	64.32	55.52
11-07-2021	23:10:00	62.66	82.52	64.17	58.12
11-07-2021	23:15:00	59.64	69.22	61.99	54.51
11-07-2021	23:20:00	57.58	65.79	60.51	52.53

Fig. 4: Przykłady incydentów akustycznych na S2. Dane pięciominutowe pokazują wartości hałasu z obwodnicy sięgające momentami $100dB$. Ma to związek z wyścigami motocyklowymi praktykowanymi nocą na (wówczas dość pustej) szerokiej i równej drodze. Zabawa polegała na wielokrotnych przejazdach od węzła do węzła. Przy braku zabezpieczeń akustycznych, egzekwowalnych ograniczeń prędkości (pomiar średniej prędkości) i dezynwolturze policji takie zdarzenia regularnie budzą w nocy mieszkańców.

4.2 Wyniki pomiarów przy minimalnym ruchu, VII.2021

Dla zobrazowania hałasu w długim czasie (miesiąc) i o każdej porze (cała doba), można wyświetlić hałas jako mapę, Rys.5. Kolory punktów pokazują zmierzone natężenie hałasu (w porównaniu do norm), a ich położenie pokazuje moment pomiaru. Oś pionowa to kolejne dni lipca, oś pozioma to godziny każdej doby. Cienkie linie to izofony – łączą punkty o takim samym hałasie.

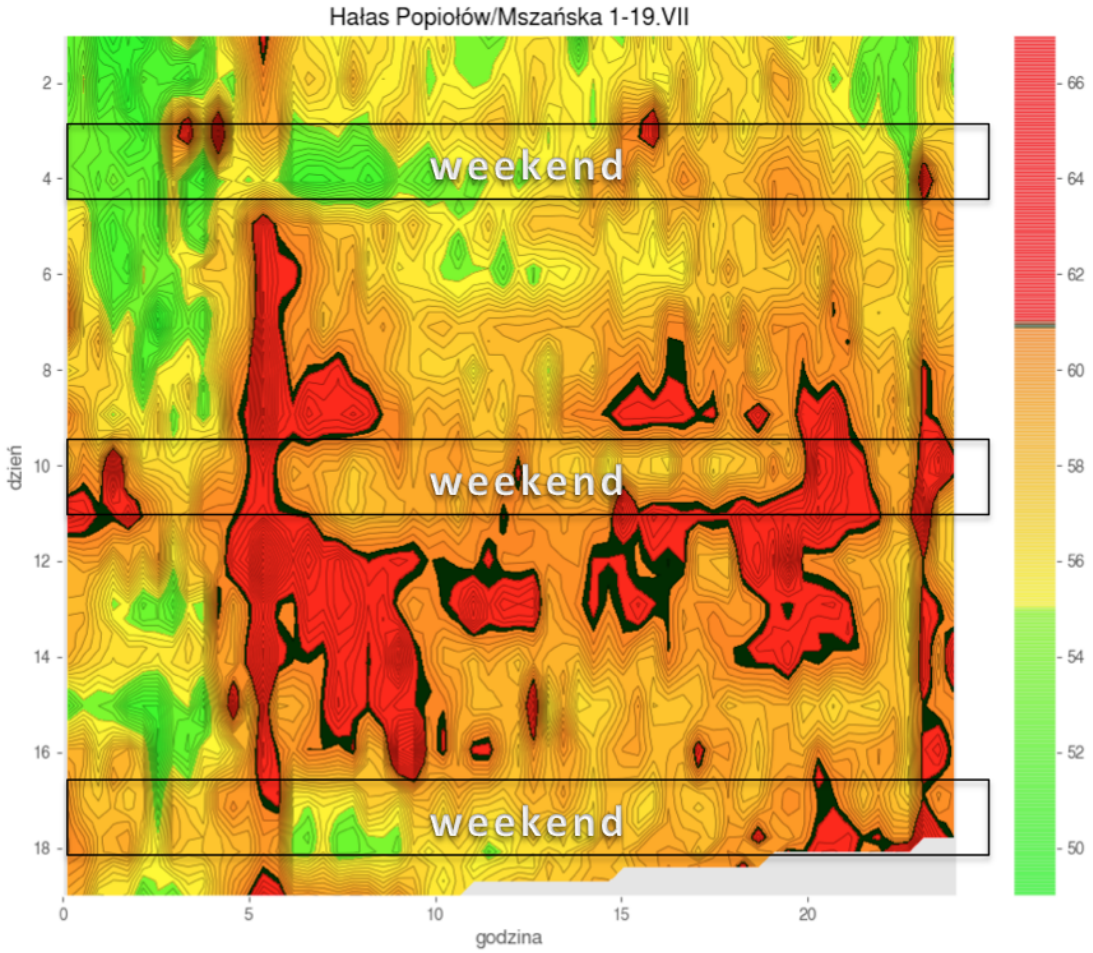


Fig. 5: Wielodniowa mapa hałasu mierzonego przy niewielkim ruchu na S2. Widoczny szczyt poranny (5-10) oraz popołudniowy (14-22). Znaczny ruch nawet w weekendy.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm**, pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.**, czerwony i czarny - **przekroczenie wszystkich norm**.
Cienkie linie oznaczają izofony (line o takim samym natężeniu dźwięku).
Pomiar przy ul. Popiołów/Mszańskiej w dniach 1-19.VII.2021, na wysokości 1-go piętra, ***przy minimalnym ruchu*** *(brak ciężarówek, niedostępny tunel pod Ursynowem, rozkopana trasa lubelska).*

Czerwone i czarne obszary mapy hałasu pokazują którego dnia (oś pionowa) i o której godzinie (oś pozioma) **wszystkie normy były przekroczone**. Na przykład są one przekraczane prawie codziennie ok. godzin 5-7 (pionowy czerwony pas na wysokości godziny 6 osi poziomej). Także po południu (godz. 14-21) hałas bardzo często przekracza obowiązujące normy.

Pomarańczowe i żółte obszary mapy hałasu pokazują którego dnia (oś pionowa) i o której godzinie (oś pozioma) normy WHO, UE i RP do 2013r. były przekroczone. Jak widać **normy są przekraczane prawie cały czas, za wyjątkiem późnych godzin nocnych**.

Obszary zielone mapy pokazują czas, kiedy hałas mieści się w normach. Daje to **okresy względnego spokoju** $2-4h$ **w późnych godzinach nocnych**. Ale tylko w tygodniu. W weekendy normy są zwykle przekroczone przez całą noc.

4.3 Wyniki pomiarów przy normalnym ruchu, IV-V.2022

Dane sekundowe, czyli wartości L_{Aeq} dla kolejnych sekund, mierzone przez całą dobę dostarczają cennych informacji o uciążliwości hałasu. Dzięki nim można wykreślić histogram hałasu, czyli

wykres, na którym widać ile czasu w ciągu doby trwały poszczególne poziomy hałasu z dokładnością do decybela. Histogramy pokazują, że prawdziwy poziom uciążliwości S2 jest większy niż wydawałoby się to tylko z obserwacji wartości średnich L_{Aeq}.

W tabeli 2 zestawiono proporcje czasu, który mieszkańcy omawianych posesji spędzają we względnej ciszy lub nadmiernym hałasie. Jak widać, **względna cisza jest dana co najwyżej przez** 9% **nocy i** 7% **dnia** (Popiołów/Mszańska). **Mieszkańcy ul. Bonisławskiej są pozbawieni ciszy całodobowo**.

Pomiar na posesji		czas przekroczenia norm		
		w normach	WHO, UE, RP do 2013r.	RP od 2014r.
Popiołów/Mszańska	dzień	**7%**	**93%**	**48%**
	noc	**9%**	**90%**	**51%**
Bonisławska	dzień	**0%**	**100%**	**97%**
	noc	**1%**	**99%**	**85%**

Tab. 2: Czas przekroczenia norm hałasu związanych z obwodnicą S2 na posesjach Popiołów/Mszańska i Bonisławska.
Kolorem czerwonym oznaczono wyniki, które **przekraczają wszystkie normy**.
Kolorem pomarańczowym oznaczono wyniki, które **przekraczają normy WHO, EU oraz polską do roku 2013**.

4.3.1 Hałas dzienny

Z lewej strony Rys.6,7 pokazano czas trwania wzrastających poziomów hałasu w ciągu dnia (godz. 6-22) na posesjach Popiołów/Mszańska oraz Bonisławska.

Kolor zielony oznacza zakres poziomów hałasu w granicach norm. Kolory pomarańczowy i czerwony odpowiadają przekroczeniu norm. Wartości na osi pionowej to czas ekspozycji danego poziomu hałasu w sekundach ($1h = 3600s$). Jak widać **czas, w którym normy są spełnione jest albo zaniedbywanie mały, albo nie ma go wcale**. Natężenie hałasu mocno przekraczającego normy (znacznie ponad $60dB$) utrzymuje się przez wiele godzin w ciągu dnia.

Z prawej strony Rys.6,7 pokazano proporcje czasów przekroczeń norm hałasu w podziale na oba typy norm. Dla posesji Popiołów/Mszańska **normy WHO, UE i RP do 2013r. są przekraczane przez prawie** $15h$ **z** $16h$ **każdego dnia**. Norma RP od 2014r. jest przekraczana w czasie 16-godzinnego dnia przez prawie $8h$. Przy ul. Bonisławskiej **wszystkie normy są przekroczone praktycznie przez cały dzień**.

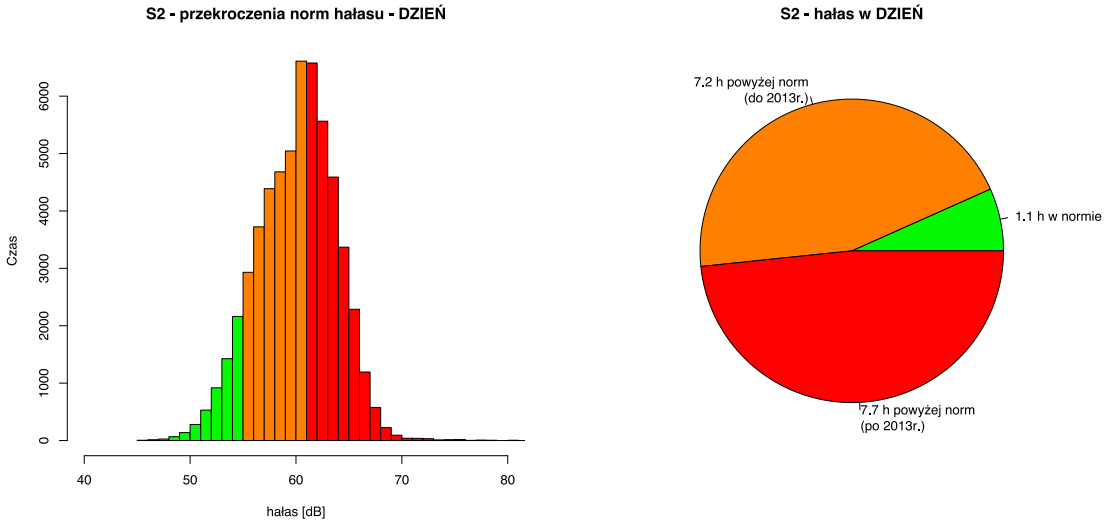


Fig. 6: Czas ekspozycji na hałas w ciągu dnia (godz. 6-22) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu dnia. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu dnia w rozbiciu na unormowane zakresy hałasu. Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (ok. 1h z 16h dnia), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (15h z 16h dnia), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (prawie 8h z 16h dnia).
Pomiar na ul. Popiołów/Mszańskiej 16.V.2022 na wysokości 1-go piętra.

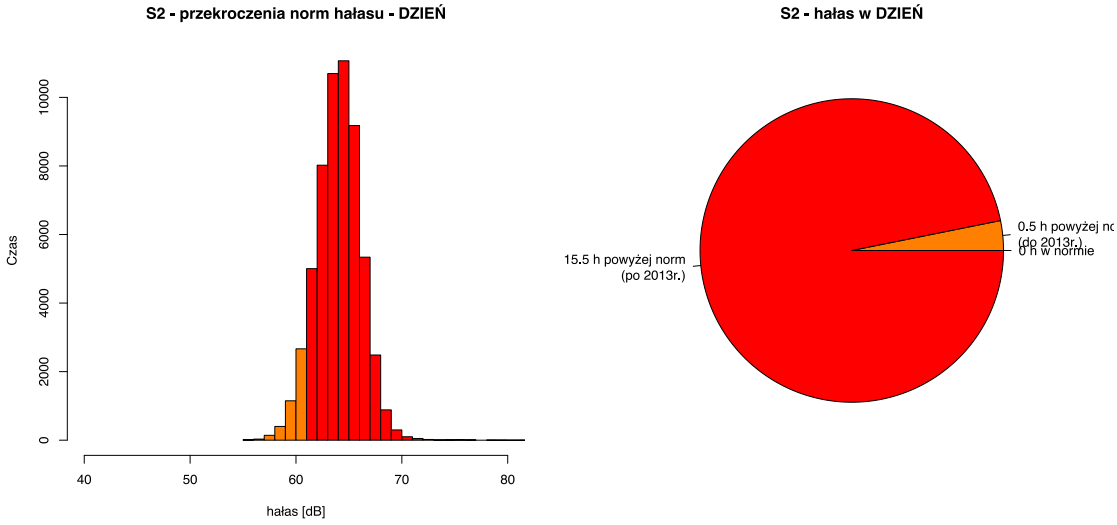


Fig. 7: Czas ekspozycji na hałas w ciągu dnia (godz. 6-22) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu dnia. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu dnia w rozbiciu na unormowane zakresy hałasu. Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (nieobecny w ciągu 16h dnia), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (cały dzień), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (ok. 15.5h z 16h dnia).
Pomiar na ul. Bonisławskiej 27.IV.2022

4.3.2 Hałas nocny

Z lewej strony Rys.8,9 pokazano czas trwania wzrastających poziomów hałasu w nocy (godz. 22-6) na posesjach Popiołów/Mszańska oraz Bonisławska.

Kolor zielony oznacza zakres poziomów hałasu w granicach norm. Kolory pomarańczowy i czerwony odpowiadają przekroczeniu norm. Wartości na osi pionowej to czas ekspozycji danego poziomu hałasu w sekundach ($0.5h = 1800s$). Jak widać **czas, w którym normy są spełnione jest zaniedbywanie mały**. Natężenie hałasu mocno przekraczającego normy (znacznie ponad $50dB$) utrzymuje się przez większość nocy.

Z prawej strony Rys.8,9 pokazano proporcje czasów przekroczeń norm hałasu w podziale na oba typy norm. Dla posesji Popiołów/Mszańska **normy WHO, UE i RP do 2013r. są przekraczane przez prawie** $7h$ **z** $8h$ **każdej** nocy. Norma RP od 2014r. jest przekraczana przez pół nocy. Przy ul. Bonisławskiej **normy WHO, UE i RP do 2013r. są przekraczane praktycznie przez całą noc**, zaś **norma RP od 2014r. nie jest przekraczana tylko przez jedną godzinę nocy**.

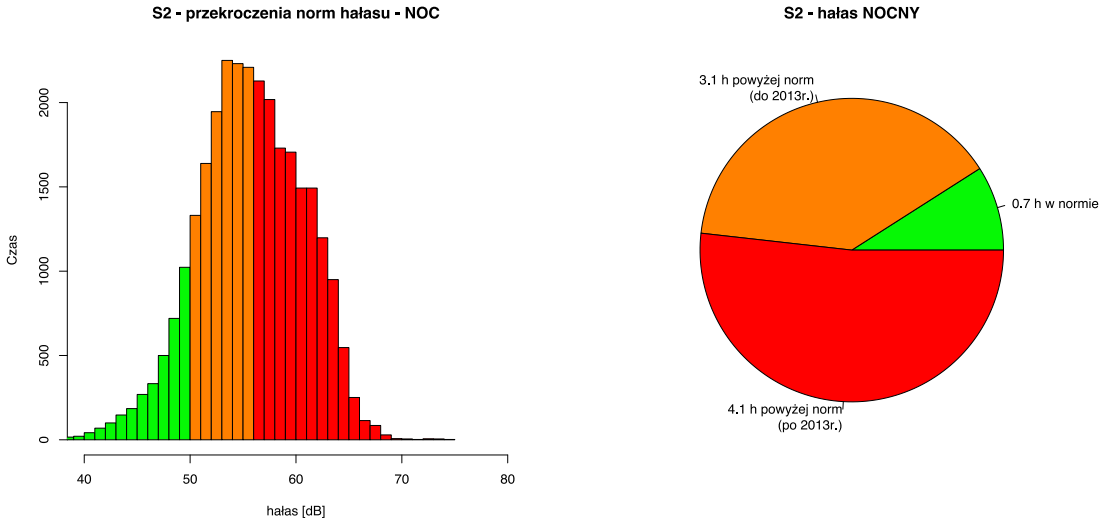


Fig. 8: Czas ekspozycji na hałas w ciągu nocy (godz. 22-6) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu nocy. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu nocy.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (ok. 40min. z 8h nocy), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (ponad 7h z 8h nocy), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (ponad 4h z 8h nocy).
Pomiar na ul. Popiołów/Mszańskiej 16.V.2022 na wysokości 1-go piętra.

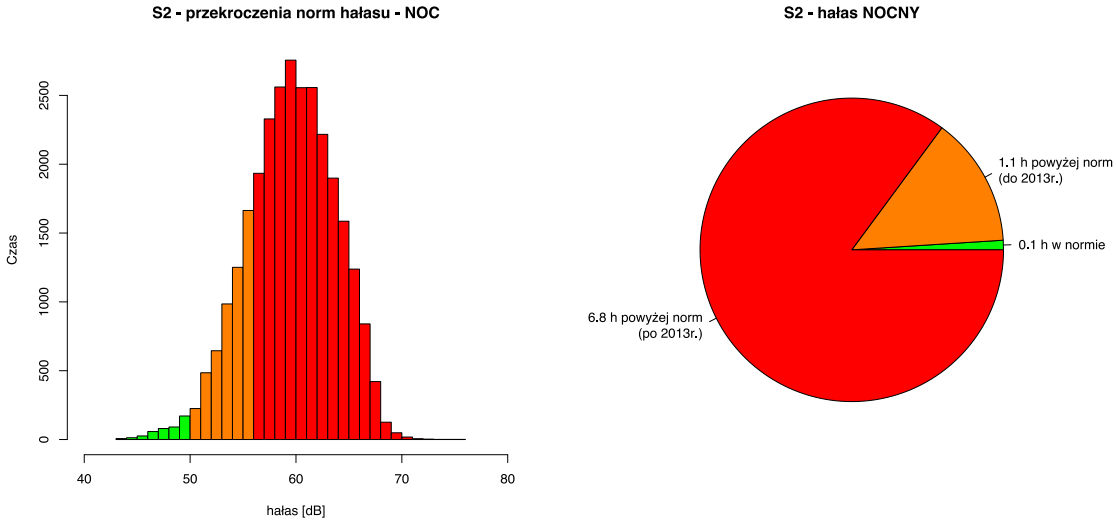


Fig. 9: Czas ekspozycji na hałas w ciągu nocy (godz. 22-6) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu nocy. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu nocy.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (ok. 5min. z 8h nocy), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (całą noc), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (prawie 7 z 8h nocy).
Pomiar na ul. Bonisławskiej 27.IV.2022

Część II. Ochrona przed hałasem

Z przedstawionych bezpośrednich pomiarów w terenie jasno wynika **niedostateczny** stopień ochrony przed hałasem terenów sąsiadujących z Południową Obwodnicą Warszawy.

Przedstawione przez projektantów modele propagacji zanieczyszczeń akustycznych w zestawieniu z doświadczeniem okazały się **rażąco błędne**. W praktyce naukowej (ale też życiowej) wszelkie przewidywania i modele, które okazały się nieprawdziwe należy bez zwłoki i bez żadnych sentymentów odrzucić.

Jednocześnie potrzebny jest plan naprawy zaistniałych szkód. Opiera się on w pierwszym rzędzie na usunięciu jak największej liczby przyczyn nadmiernego hałasu.

5 Opis istniejących zabezpieczeń

Południowa Obwodnica Warszawy (POW) na odcinku wawerskim przebiega w dużej części przez dość gęsto zamieszkane obszary. Szczególnie w rejonie węzłów (Wał Miedzeszyński i Patriotów) wiele posesji przylega do POW.

Dla ochrony przed hałasem zastosowano miejscami ekrany akustyczne oraz wały ziemne. Mają one zmieniające się wysokości, w wielu miejscach znikają zupełnie (np. pod wiaduktami).

Ekrany i wały zostały w wielu miejscach nasadzone roślinami pnącymi. Nasadzenia krzewów w rejonie węzłów mają raczej charakter ozdobny i nie wpływają na poprawę parametrów akustycznych terenu.

W rejonie węzła Patriotów nawierzchnia S2 jest betonowa, a więc bardzo głośnia. Miejscami nawierzchnia S2 bywa asfaltowa, czyli cichsza, co można uznać za rodzaj zabezpieczenia.

Na odcinku wawerskim istnieje ograniczenie szybkości do $100\frac{km}{h}$. Mniejsza szybkość pojazdów zmniejsza emisję hałasu.

6 Przyczyny nadmiernego hałasu

Nadmierny hałas S2 jest spowodowany wieloma przyczynami. Zostaną omówione kolejno.

6.1 Błędny model hałasu, brak ekranów

W czasie projektowania S2 powstał model propagacji hałasu opracowany przez podwykonawców inwestycji (MP Mosty i Arkadis), Rys.10. Model nie był konsultowany z mieszkańcami.

Model okazał się błędny. Wadliwości modelu propagacji hałasu dowodzą:

1. bezpośrednie pomiary poziomu hałasu w terenie, które wykazały niezgodność stanu faktycznego z modelem w conajmniej 5-ciu na 9 mierzonych punktów nim objętych, Tab.1
2. izofony widoczne na modelu, które wskazują na jego braki.

Izofony są to linie, wzdłuż których natężenie dźwięku jest takie samo. Przebieg izofon na mapie propagacji hałasu (Rys.10) wskazuje, że uwzględnia ona wyłącznie obiekty inżynieryjne wyniesione ponad poziom gruntu (np. wiadukt i budynki), prawdopodobnie zanurzone w modelowym jednolitym ośrodku akustycznym (las widoczny jako tło mapy). Izofony na północ od drogi praktycznie równoległe do jej osi wskazują, że nie uwzględniono wpływu wycięcia lasu w rejonie zbiornika wodnego (trójkątny obszar obok wiaduktu). Sposób zagięcia izofon w okolicy wiaduktu i innych obiektów wskazuje, że nie uwzględniono odbić fal.

Obraz modelu sugeruje, że powstał on w oparciu o proste założenia, czyli: wstęga autostrady jako jednolite źródło fali rozchodzącej się po liniach prostych, zanikającej odwrotnie do odległości od źródła i całkowicie znikającej na wysokich, sztywnych obiektach (cień akustyczny). Najpewniej takie założenia zostały zaimplementowane w oprogramowaniu, z którego korzystali projektanci. Oczywiście, trudno winić użytkownika za wady software'u, niemniej można było chociaż usunąć z modelu las, o którym było wiadomo, że zostanie wycięty.

Prawdę mówiąc i to niewiele by pomogło, ponieważ model najwyraźniej pomija odbicia fal, dyspersję (inną propagację dla każdej częstotliwości), ugięcia fal (dyfrakcja) na mniejszych przeszkodach czy wzmocnienia/wygaszania interferencyjne na regularnych "siatkach dyfrakcyjnych" lasu (drzewa w lesie miedzeszyńskim sadzono "pod sznurek", w równych odstępach).

Obliczenie modelu propagacji fal zbliżonego do rzeczywistości nie jest rzeczą prostą. Szum pojazdów to prawie szum biały, czyli zawierający większość widma akustycznego (wymieszane różne częstotliwości). Fala dzwiękowa ma długość od kilku centymetrów do kilkunastu metrów, zależnie od częstotliwości. Ugięcia fal są najbardziej efektywne na obiektach o wielkości podobnej do długości fali. Zatem na drzewach ugną się fale kilohercowe, a na budynkach kilkudziesięciohercowe. Do tego dochodzą ugięcia na krawędziach obiektów (np. ekranów akustycznych) i odbicia wtórne (TIR→ekran→naczepa TIRa→krawędź ekranu).

W wyniku błędnego modelu powstały długie odcinki POW bez żadnej ochrony przed hałasem, ponieważ model wskazał, że taka ochrona nie będzie potrzebna.

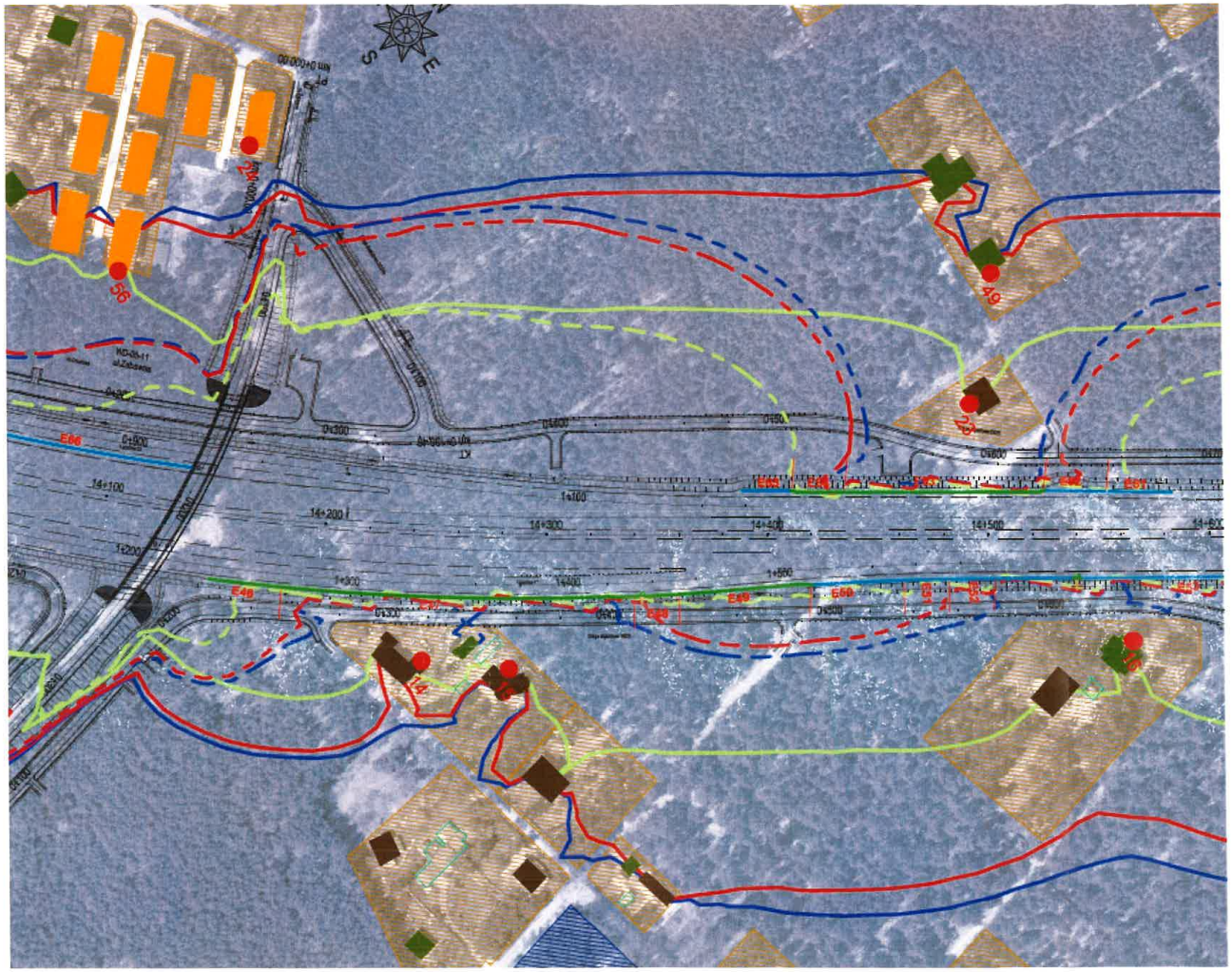
6.1.1 Rozwiązanie: uzupełnienie brakujących ekranów

Wadliwego modelu nie warto już poprawiać. Miał służyć do przewidzenia gdzie powinny stanąć ekrany - i zawiódł. Dziś wiadomo gdzie są konieczne z bezpośrednich pomiarów hałasu.

Ekrany powinny szczelnie otoczyć zamieszkane okolice. Na Rys.11,12,13 zaznaczono czerwonymi liniami brakujące fragmenty ekranowania. Część brakujących ekranów może powstać dzięki przeniesieniu istniejących, co mogłoby ograniczyć koszty.

Najskuteczniejszym rozwiązaniem byłyby **ekrany bez krawędzi, czyli tunel podobny do tego na Trasie Toruńskiej**, Rys.14. Takie rozwiązanie ma szansę zagwarantować poziomy hałasu w granicach norm obowiązujących w czasie budowy domów w sąsiedztwie S2 (prawa nabyte) i uniknąć konieczności kolejnej przebudowy po możliwych wyrokach w tej sprawie.

Załącznik nr 3



Fot. 2. Mapa rozprzestrzeniania hałasu na rok 2035 z Raportu o oddziaływaniu przedsięwzięcia na środowisko w rejonie ul. Zabawnej (autorstwa MP Mosty i Arcadis; 10.2016)
- **czerwona** ciągła linia oznacza izofonę **61** dB, pora dzienna bez ekranów akustycznych
- **niebieska** ciągła linia oznacza izofonę **56** dB, pora nocna bez ekranów akustycznych
- **czerwona** przerywana linia oznacza izofonę **61** dB, pora dzienna z ekranami akustycznymi
- **niebieska** przerywana linia oznacza izofonę **56** dB, pora nocna z ekranami akustycznymi

Fig. 10: Oryginalny model propagacji hałasu w rejonie ulic Mszańskiej i Bonisławskiej. Pomiary hałasu zlecone przez Gminę Wawer dowiodły wadliwości modelu. Widoczne izofony wskazują, że model uwzględnia budynki i obiekty inżynieryjne wyniesione ponad poziom gruntu, osadzone w jednolitym ośrodku (las, widoczny jako jednolite tło). W praktyce wycięto ogromne przestrzenie lasu, eksponując osiedle Sosnowy Zakątek na bezpośredni hałas drogi S2, będącej w linii wzroku.

Fig. 11: Węzeł Patriotów Południowej Obwodnicy Warszawy (S2). Kolorem czerwonym oznaczono brakujące fragmenty ekranów akustycznych. Nieciągłości ekranowania powodują uciążliwość akustyczną (zanieczyszczenie) dla okolicznych zabudowań, która znacznie przekracza dopuszczalne normy.

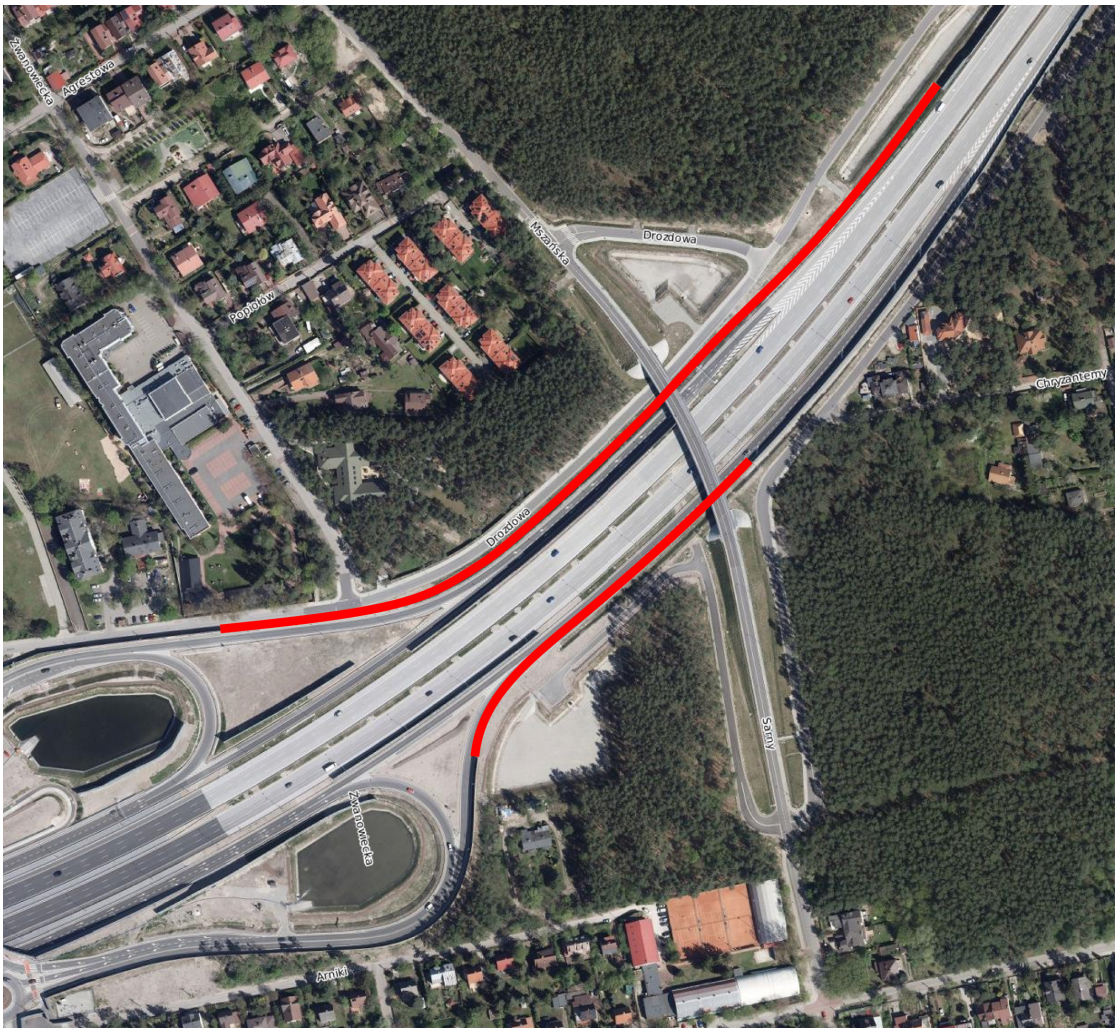


Fig. 12: Fragment węzła Patriotów Południowej Obwodnicy Warszawy (S2). Kolorem czerwonym oznaczono brakujące fragmenty ekranów akustycznych. Nieciągłości ekranowania powodują uciążliwość akustyczną (zanieczyszczenie) dla okolicznych zabudowań, która znacznie przekracza dopuszczalne normy.

Fig. 13: Fragment Patriotów Południowej Obwodnicy Warszawy (S2) w okolicy ulic Bonisławskiej i Sztygarów. Kolorem czerwonym oznaczono brakujące fragmenty ekranów akustycznych. Nieciągłości ekranowania powodują uciążliwość akustyczną (zanieczyszczenie) dla okolicznych zabudowań, która znacznie przekracza dopuszczalne normy.

6.2 Nieciągłości ekranowania

W niektórych miejscach, m.in. pod wiaduktami, są przerwy w ekranach akustycznych.

Powstanie takich przerw może tłumaczyć uproszczony model propagacji hałasu użyty podczas projektowania zabezpieczeń. Model zdaje się zakładać propagacje fal w liniach prostych (*po co ekran, skoro nasyp wiaduktu daje cień akustyczny*?).

6.2.1 Rozwiązanie: eliminacja nieciągłości

Samo pojęcie ciśnienia akustycznego nasuwa skojarzenie z mechaniką płynów. Istotnie, nawet nieznaczne rozszczelnienie szczelnego okna w budynku przy ruchliwej ulicy powoduje skokowy wzrost hałasu, chociaż żadnej "dziury" nie widać. Fala sączy się niewidoczną szczeliną jak woda. Podobnie działały na parowcach rury głosowe do komunikacji mostku z maszynownią - fala propaguje się znakomicie i nie potrzebuje prostej drogi.

Dziura w ekranie akustycznym ma tyle sensu co dziura w dachu podczas deszczu.

Nawet nieduża, kilkumetrowa nieciągłość w ekranie zaprzepaszcza efekt uzyskany przez dziesiątki metrów ekranu po obu jej stronach. Nieciągłości ekranowania to nie tylko nonsens w sensie fizyki fal ale także ogromne marnotrawstwo pieniędzy wydanych na sąsiadujące z nieciągłością ekrany.

To samo dotyczy prześwitu pomiędzy górną granicą ekranu a spodem wiaduktu. Odbicia od wiaduktu ponad ekranem są świetnym oknem transmisji hałasu.

Należy wyeliminować wszelkie nieciągłości ekranowania. Przerwa pomiędzy ekranami nie powinna być większa niż pojedyncze centymetry, tj. powinna być dużo mniejsza od grubości samego ekranu i nie większa od długości najkrótszej propagującej się fali (dla $10kHz$ będzie to $3cm$). Najprościej jest po prostu założyć brak przerw w ekranowaniu.

W szczególny sposób uwaga ta dotyczy ekranów przechodzących pod wiaduktami. Tam poprzeczna propagacja fal jest znacznie silniejsza ze względu na odbicia od spodu wiaduktu.

Należy wyeliminować prześwity pomiędzy górną krawędzią ekranu a spodem wiaduktu. Podniesienie krawędzi ekranu w pobliże spodu wiaduktu i uszczelnienie przerwy elastycznym ale dość ciężkim materiałem (np. gumowym fartuchem) jest tanim i skutecznym sposobem na ochronę akustyczną takich połączeń.

Z ekonomicznego punktu widzenia, należy przyjąć, że pojedyncza nieciągłość ekranowania "kasuje" efektywność $100m$ ekranu po każdej jej stronie. Dlatego ekran powinien się kończyć daleko za ostatnim chronionym punktem.

6.3 Wysokość ekranowania

Wysokość ekranów jest zbyt mała.

Zbyt mała wysokość wynika prawdopodobnie z uproszczonego modelu propagacji hałasu. Model zdaje się zakładać lokalizację źródła dźwięku blisko nawierzchni (opony + układ jezdny) oraz brak odbić.

6.3.1 Rozwiązanie: ekrany $8m$

Istotnym źródłem hałasu są ciężarówki i autobusy. Mają one kształt prawie dokładnie prostopadłościenny. Boczne ściany są płaskie i mają wysokość do $4m$. To powoduje możliwość wtórnych odbić (podwozie→ekran→bok tira→ekran). W takim przypadku efektywne źródło dźwięku przemieszcza się z okolic podwozia wyżej, nawet o $3 - 4m$.

Do wysokości ekranów należy doliczyć przesunięcie wynikające z wtórnych odbić od wysokich, płaskościennych pojazdów. Dla zapewnienia skutecznej ochrony **ekrany powinny mieć wysokość nie mniejszą od** $5 - 8m$, zależnie od chronionego terenu. W terenie zamieszkanym konieczna jest wysokość $8m$.

6.4 Krawędzie ekranów

Krawędzie ekranów są krytycznym punktem w propagacji hałasu. Są one wtórnym źródłem dźwięku (zasada Huygensa). W przypadku S2 krawędzie są po prostu płaskie, czyli idealnie spełniają rolę emiterów.

6.4.1 Rozwiązanie: tunel, chevrons lub nasadzenia

Co do zasady, redukcja hałasu przechodzącego z drogi na zewnątrz (transmisja) może się odbywać przez:

- odbicie - fala wraca skąd przyszła (tak działają ekrany lub tunele całą swoją powierzchnią)
- rozproszenie (dyfrakcję) - mały obiekt staje się źródłem wtórnej fali kulistej w efekcie czego fala (jako złożenie pierwotnej i wtórnej) zmienia kierunek i zwykle się przy tym osłabia
- interferencyjną anihilację - wtórne fale z rozproszeń na małych obiektach są w przeciwfazie i znikają (albo się wzmacniają...)
- absorpcję - obiekt rozpraszający wzbudzony falą sam zaczyna drgać i, przy spełnieniu pewnych warunków, zamiast emitować wtórną falę zmienia część energii dźwięku w jakąś inną jej formę (najczęściej ciepło).

Najlepszym rozwiązaniem byłaby... eliminacja krawędzi. Tą metodę zastosowano na Trasie Toruńskiej nabudowując **ekrany w formie zamkniętego tunelu**, Rys.14.

Nędzną namiastką powyższego jest **nachylenie górnej krawędzi ekranu w kierunku źródła hałasu** (do drogi).

Innym rozwiązaniem jest **nadanie ekranowi nierównej krawędzi** prowokującej odbicie, rozpraszanie (dyfrakcję) i (w pewnej mierze) absorpcję hałasu. Podobną technikę stosuje się w silnikach lotniczych (tzn. *chevrons*), co ogranicza emisję hałasu o $2-3dB$[5], Rys.14. Tutaj uzyski byłyby mniejsze ale wciąż warte zachodu.

Na wierzchołku wałów ziemnych można też stosować jakieś elementy o nieregularnych kształtach, np. gęste nasadzenia. Łodygi i liście musiałyby być dość ciężkie i sztywne w porównaniu do ciśnienia akustycznego, które miałyby tłumić lub rozpraszać. Obiekty zbyt lekkie i wiotkie (np. trawa) będą się po prostu "bujać" razem z falami dźwiękowymi nie stanowiąc dla nich przeszkody. Będą "przeźroczyste" dla fal.

Np. dla rozpraszania (dyfrakcji) lub absorpcji hałasu $70dB$ łodygi i liście musiałyby pokonać nacisk porównywalny z ciśnieniem akustycznym tego hałasu, a więc:

$$p_{70dB} = 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \frac{g}{m^2} = 2 \cdot 10^4 \frac{g}{m^2} = 2\frac{g}{cm^2}$$

Zatem sztywne i gęste liście lub łodygi zdolne oprzeć się naciskowi $2\frac{g}{cm^2}$ zasadzone na krawędziach wałów ziemnych mogłyby absorbować lub rozpraszać hałas. Przez "cm^2" należy rozumieć powierzchnię rośliny skierowaną w kierunku nadchodzącego hałasu (tzw. przekrój czynny). Liście czy łodygi powinny być gęste, tj. prześwity pomiędzy nimi powinny być porównywalne z długością najkrótszej fali (dla $10kHz$ to ok. $3cm$).

Elementy rozpraszające powinny być niesprężyste. Dlatego wykonanie ich np. ze sztywno połączonych części metalowych nie byłoby skuteczne - dźwięk propagowałby się w metalu. Raczej guma, gęsta gąbka lub jakieś rośliny będą pracować jednocześnie jako absorbent i centra rozpraszania.

[5] https://www.mdpi.com/2076-3417/11/11/5158

Fig. 14: Z lewej: zamknięty ekran (tunel) na Trasie Toruńskiej w Warszawie.
Z prawej: nierówne brzegi krawędzi będącej wtórnym źródłem hałasu redukują go o $2-3dB$.

6.5 Nawierzchnia

Przejazd samochodem drogą S2, najlepiej z uchylonym oknem, jest najszybszym testem na istnienie zależności hałasu od nawierzchni drogi. Przejazd odcinkami asfaltowymi (np. most na Wiśle) jest wyraźnie cichszy od jazdy po nawierzchni betonowej. Pobieżny przegląd literatury fachowej potwierdza tę tezę. Dlatego dziwi, że projektanci wybrali nawierzchnię betonową akurat na odcinkach sąsiadujących z osiedlami (np. rejon węzła Patriotów).

6.5.1 Rozwiązanie: warstwa wyciszająca

Istnieje bogata dokumentacja na temat zależności hałasu od nawierzchni dróg. Istnieje też całe spektrum technologi możliwych do użycia, dzięki którym emisję hałasu można zmniejszyć nawet o $10dB$. Kilka z nich to:

- mieszanki mineralno-asfaltowe z dodatkiem rozdrobnionej gumy lub poroelastyczne (do $10dB$ ciszej)
- dwuwarstwowe asfalty porowate są cichsze od nawierzchni standardowych (do $8dB$)
- zmniejszenie rozmiaru ziarna mieszanki o każdy $1mm$ zmniejsza hałas o $0.25dB$
- ujemna makrotekstura warstwy zmniejsza hałas.

Należy dokładnie wyważyć pożytki z wyciszenia i trwałość nawierzchni - dziurawa albo spękana droga jest głośniejsza niż nowa.

Fragmenty POW w pobliżu osiedli, np. okolice węzła Patriotów i Wał Miedzeszyński powinny zostać **pokryte nawierzchnią dźwiękochłonną na odcinku min.** $1km$ **od węzła, w każdym kierunku**. Dotyczy to także wszystkich rozgałęzień na węzłach i łączników aż do rond i skrzyżowań kolizyjnych kończących drogę szybkiego ruchu, gdzie szybkości pojazdów spadają w okolice zera.

6.6 Szybkość

Istnieje silna zależność emitowanego hałasu drogowego od szybkości pojazdów. S2 posiada ograniczenie do $100\frac{km}{h}$, jednak nie jest ono respektowane.

6.6.1 Rozwiązanie: $90\frac{km}{h}$ i odcinkowy pomiar prędkości

W rejonach zamieszkałych (węzły $\pm 1km$) należy wprowadzić **ograniczenie do** $90\frac{km}{h}$ **wraz z odcinkowym pomiarem prędkości** celem wymuszenia jego przestrzegania.

Część III. Wnioski

Pomiary hałasu zlecone przez Gminę Wawer dowiodły **drastycznych i powszechnych przekroczeń norm** WHO, EU oraz polskich. Pomiary bezpośrednie wykazały **wadliwość założonych modeli propagacji hałasu**, która z kolei doprowadziła do zastosowania **nieadekwatnych i niewystarczających zabezpieczeń przeciwhałasowych**.

W modelach propagacji hałasu użytych do projektowania ochrony przeciwhałasowej dla budynków sąsiadujących z POW zastosowano normy hałasu podniesione w 2013r., a więc już po wybudowaniu chronionych budynków. **Narusza to prawa nabyte właścicieli domów**; prawa do zamieszkiwania w otoczeniu dźwiękowym gwarantowanym w normach obowiązujących w czasie budowy.

Pomiary sekundowe wykazały szczegółowo, że uciążliwości dla mieszkańców związane a hałasem są na nieakceptowalnie wysokim poziomie.

7 Konieczne poprawki

Istnieje pilna konieczność naprawienia błędów i zaniedbań popełnionych w trakcie projektowania i budowy S2. Dla osiągnięcia akceptowalnych poziomów hałasu konieczne jest, w szczególności, dokonanie *wszystkich* poniższych poprawek:

1. Budowa brakujących ekranów akustycznych i wałów ziemnych (Rys.11,12,13), a najlepiej tunelu jak na Trasie Toruńskiej (Rys.14) w rejonie węzła Patriotów na odcinku $1km$ od węzła w każdą stronę
2. Usunięcie nieciągłości ekranowania oraz wyniesienie ekranów aż do poziomu wiaduktów wraz z uszczelnieniem elastycznym
3. Podniesienie wysokości ekranowania do $8m$ w rejonach zamieszkanych oraz $5m$ poza nimi
4. Przeprojektowanie krawędzi ekranów dla uniknięcia wtórnej fali hałasu z krawędzi poprzez specjalną warstwę rozpraszającą
5. Pokrycie nawierzchni w rejonach zamieszkanych (węzły $\pm 1km$, wraz z łącznikami) elastyczną, porowatą warstwą dźwiękochłonną z mieszanki mineralno-asfaltowej o małym ziarnie
6. Wprowadzenie w rejonie zamieszkanym ograniczenia szybkości do $90\frac{km}{h}$ wraz z odcinkowym pomiarem prędkości.

W rejonach zasiedlonych przed rokiem 2013 **konieczne jest stosowanie norm hałasu obowiązujących w czasie zasiedlenia albo lepszych** (tj. bardziej restrykcyjnych).

Z uwagi na liczne błędy projektowe i przewlekłość procesu projektowania i budowy, jak również dla wyeliminowania potencjalnych kolejnych niedociągnięć, **do procesu projektowania i nadzoru wykonawczego należy włączyć przedstawicieli zainteresowanych mieszkańców oraz Gminy Wawer**.

Część IV. Dodatki

8 O autorze

Autor jest specjalistą w dziedzinie fizyki fal i teorii dyfrakcji. Posiada również wieloletnią praktykę doświadczalną (rzeczywiste pomiary) w tej materii. Jest autorem licznych[6] artykułów, książek, recenzji i opinii (także sądowych). Obecnie jest właścicielem prywatnych instytucji badawczych[7] w Polsce i USA, mieszkańcem Miedzeszyna i miłośnikiem ciszy. Więcej szczegółów biograficznych jest dostępnych online.[8]

[6] Google Scholar: https://scholar.google.com/scholar?q=r.pielaszek
[7] Pielaszek Research: https://pielaszek.com
[8] LinkedIn: https://www.linkedin.com/in/roman-pielaszek/

Spis tablic

1 Porównanie norm hałasu i wyników pomiarów w otoczeniu obwodnicy S2. Nie uzyskano żadnego wyniku zgodnego z normami międzynarodowymi oraz polską normą do 2013r.
Kolorem czerwonym oznaczono wyniki, które **przekraczają wszystkie normy**.
Kolorem pomarańczowym oznaczono wyniki, które **przekraczają normy WHO, EU oraz polską do roku 2013**. 8

2 Czas przekroczenia norm hałasu związanych z obwodnicą S2 na posesjach Popiołów/Mszańska i Bonisławska.
Kolorem czerwonym oznaczono wyniki, które **przekraczają wszystkie normy**.
Kolorem pomarańczowym oznaczono wyniki, które **przekraczają normy WHO, EU oraz polską do roku 2013**. 11

Spis rysunków

1 Z lewej: system do pomiaru hałasu Sonitus EM2023 zainstalowany na wysokości pierwszego piętra domu przy ul. Mszańskiej/Popiołów w czasie pomiarów z lipca 2021r. Z prawej miernik poziomu dźwięku Svantek SV35A tuż po zakończonym pomiarze, rano 17.V.2022. 3

2 Fragment strony halaswarszawa.pl do śledzenia aktualnie rejestrowanego hałasu w czasie pomiarów 1-19.VII.2021. 4

3 Zestaw pomiarowy do mierzenia hałasu Svantek SV35A na posesji ul. Popiołów/Mszańska zainstalowany 16.V.2022 przez firmę Sonitech na zlecenie Gminy Wawer. **UWAGA**: Widoczny w tle ekran akustyczny znajduje się po *przeciwnej* stronie S2. Brak jest ekranu pomiędzy posesją a autostradą. *Dostępny jest film pozwalający na odsłuch rzeczywistego hałasu S2 w czasie tego pomiaru: https://pielaszek.com/s2-video* 5

4 Przykłady incydentów akustycznych na S2. Dane pięciominutowe pokazują wartości hałasu z obwodnicy sięgające momentami $100dB$. Ma to związek z wyścigami motocyklowymi praktykowanymi nocą na (wówczas dość pustej) szerokiej i równej drodze. Zabawa polegała na wielokrotnych przejazdach od węzła do węzła. Przy braku zabezpieczeń akustycznych, egzekwowalnych ograniczeń prędkości (pomiar średniej prędkości) i dezynwolturze policji takie zdarzenia regularnie budzą w nocy mieszkańców. 9

5 Wielodniowa mapa hałasu mierzonego przy niewielkim ruchu na S2. Widoczny szczyt poranny (5-10) oraz popołudniowy (14-22). Znaczny ruch nawet w weekendy.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm**, pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.**, czerwony i czarny - **przekroczenie wszystkich norm**. Cienkie linie oznaczają izofony (line o takim samym natężeniu dźwięku).
*Pomiar przy ul. Popiołów/Mszańskiej w dniach 1-19.VII.2021, na wysokości 1-go piętra, **przy minimalnym ruchu** (brak ciężarówek, niedostępny tunel pod Ursynowem, rozkopana trasa lubelska).* 10

6 Czas ekspozycji na hałas w ciągu dnia (godz. 6-22) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu dnia. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu dnia w rozbiciu na unormowane zakresy hałasu.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (ok. 1h z 16h dnia), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (15h z 16h dnia), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (prawie 8h z 16h dnia).
Pomiar na ul. Popiołów/Mszańskiej 16.V.2022 na wysokości 1-go piętra. 12

7 Czas ekspozycji na hałas w ciągu dnia (godz. 6-22) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu dnia. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu dnia w rozbiciu na unormowane zakresy hałasu.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (nieobecny w ciągu 16h dnia), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (cały dzień), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (ok. 15.5h z 16h dnia).
Pomiar na ul. Bonisławskiej 27.IV.2022 12

8 Czas ekspozycji na hałas w ciągu nocy (godz. 22-6) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu nocy. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu nocy.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (ok. 40min. z 8h nocy), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (ponad 7h z 8h nocy), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (ponad 4h z 8h nocy).
Pomiar na ul. Popiołów/Mszańskiej 16.V.2022 na wysokości 1-go piętra. 13

9 Czas ekspozycji na hałas w ciągu nocy (godz. 22-6) w funkcji natężenia dźwięku L_{Aeq}. Na histogramie (z lewej) wysokość słupka dla każdej wartości hałasu w [dB] oznacza czas trwania [s] takiego hałasu w ciągu nocy. Na wykresie kołowym (z prawej) pokazano proporcje czasów trwania hałasu w ciągu nocy.
Kolor zielony oznacza **hałas w granicy norm** (ok. 5min. z 8h nocy), pomarańczowy - **przekroczenie norm WHO, UE i RP do 2013r.** (całą noc), czerwony - **przekroczenie wszystkich norm** (prawie 7 z 8h nocy).
Pomiar na ul. Bonisławskiej 27.IV.2022 14

10 Oryginalny model propagacji hałasu w rejonie ulic Mszańskiej i Bonisławskiej. Pomiary hałasu zlecone przez Gminę Wawer dowiodły wadliwości modelu. Widoczne izofony wskazują, że model uwzględnia budynki i obiekty inżynieryjne wyniesione ponad poziom gruntu, osadzone w jednolitym ośrodku (las, widoczny jako jednolite tło). W praktyce wycięto ogromne przestrzenie lasu, eksponując osiedle Sosnowy Zakątek na bezpośredni hałas drogi S2, będącej w linii wzroku. 16

11 Węzeł Patriotów Południowej Obwodnicy Warszawy (S2). Kolorem czerwonym oznaczono brakujące fragmenty ekranów akustycznych. Nieciągłości ekranowania powodują uciążliwość akustyczną (zanieczyszczenie) dla okolicznych zabudowań, która znacznie przekracza dopuszczalne normy. 17

12 Fragment węzła Patriotów Południowej Obwodnicy Warszawy (S2). Kolorem czerwonym oznaczono brakujące fragmenty ekranów akustycznych. Nieciągłości ekranowania powodują uciążliwość akustyczną (zanieczyszczenie) dla okolicznych zabudowań, która znacznie przekracza dopuszczalne normy. 18

13 Fragment Patriotów Południowej Obwodnicy Warszawy (S2) w okolicy ulic Bonisławskiej i Sztygarów. Kolorem czerwonym oznaczono brakujące fragmenty ekranów akustycznych. Nieciągłości ekranowania powodują uciążliwość akustyczną (zanieczyszczenie) dla okolicznych zabudowań, która znacznie przekracza dopuszczalne normy. 19

14 Z lewej: zamknięty ekran (tunel) na Trasie Toruńskiej w Warszawie.
Z prawej: nierówne brzegi krawędzi będącej wtórnym źródłem hałasu redukują go o $2-3dB$. 22