

mgr inż. Paweł Gierasimiuk¹
mgr inż. Marek Motylewicz²
Politechnika Białostocka, Zakład Inżynierii Drogowej
ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok
¹p.gierasimiuk@pb.edu.pl, ²m.motylewicz@pb.edu.pl

Hałas w otoczeniu dróg i ulic – problemy oceny i działania ochronne

Słowa kluczowe: hałas drogowy, równoważny poziom dźwięku, natężenie ruchu, prędkość pojazdów, struktura rodzajowa ruchu, ochrona przed hałasem

Streszczenie: W przeciągu ostatniej dekady, działania prowadzone w celu ograniczenia negatywnego wpływu transportu na środowisko w Polsce uległy znacznemu zintensyfikowaniu, zwłaszcza po akcesji do UE. Jednym z kluczowych problemów w tych działaniach jest rozwiązanie problemu hałasu komunikacyjnego, który jest określany zanieczyszczeniem XXI wieku. Z uwagi na powszechność i gęstość występowania dróg i ulic, największym zasięgiem oddziaływania charakteryzuje się hałas drogowy, który w znacznym stopniu wpływa na stan środowiska naturalnego oraz miejsce pracy i zamieszkania człowieka. Hałas drogowy jest hałasem zmiennym w czasie i zależy od wielu czynników takich jak: geometria i przekrój poprzeczny drogi, parametry i warunki ruchu drogowego, prędkość pojazdów, charakterystyka nawierzchni drogowej, rodzaj i ukształtowanie otoczenia, warunki atmosferyczne i inne. Wymienione czynniki, z uwagi na odmienny wpływ i charakter, powodują potrzebę stosowania różnych rozwiązań ochronnych w trzech obszarach: emisji (generowania dźwięku), imisji (odbioru dźwięku) oraz w obszarze pośrednim propagacji dźwięku. Z uwagi na złożoność i różne przypadki występowania hałasu drogowego powstaje wiele problemów oceny i skutecznej walki z hałasem, które omówiono w artykule. Przedstawiono również przykładowe wyniki prowadzonych przez autorów badań dotyczących wpływu natężenia ruchu, struktury rodzajowej i prędkości pojazdów na poziom hałasu w otoczeniu dróg i ulic. Przy pomocy programu komputerowego Traffic Noise 2008SE przeprowadzono obliczenia porównawcze poziomu dźwięku przy różnych warunkach ruchu oraz z zastosowanymi ekranami akustycznymi w celu ustalenia ich wpływu na prognozowane wielkości hałasu.

1. Wstęp

Hałas jest drugim po zanieczyszczeniu powietrza, największym problemem ekologicznym świata, zanieczyszczającym środowisko naturalne oraz miejsce pracy i zamieszkania człowieka. Definiowany jest jako nieprzyjemne, niepożądane dźwięki o częstotliwościach oraz natężeniach stwarzających uciążliwość dla otoczenia. Głównymi źródłami hałasu są działalność przemysłowa i usługowa człowieka oraz środki transportu. Źródła te występując w różnej liczbie i natężeniu decydują o klimacie akustycznym otoczenia, który jest jakościowym określeniem hałasu w środowisku. Najczęściej spotykanym rodzajem hałasu jest hałas drogowy, który z uwagi na powszechność i gęstość występowania dróg i ulic charakteryzuje się procentowo największym zasięgiem oddziaływania i stanowi główne zagrożenie na terenach zurbanizowanych. Z ostatnich badań wynika, że narażenie na hałas stanowi istotne zagrożenie dla zdrowia publicznego oraz wykazuje tendencję wzrostową zajmując obecnie drugie miejsce wśród czynników stresogennych [1]. Jest on szczególnie niekorzystny w porze nocnej i może powodować: rozdrażnienie, stres, stany chronicznego zmęczenia, zaburzenia snu, choroby układu krążenia, spadek koncentracji oraz zaburzenia funkcji poznawczych np. uczniów. W odniesieniu do tych negatywnych skutków dla zdrowia WHO zaproponowała aby poziom hałasu w nocy nie przekraczał wartości 42 dB na zewnątrz

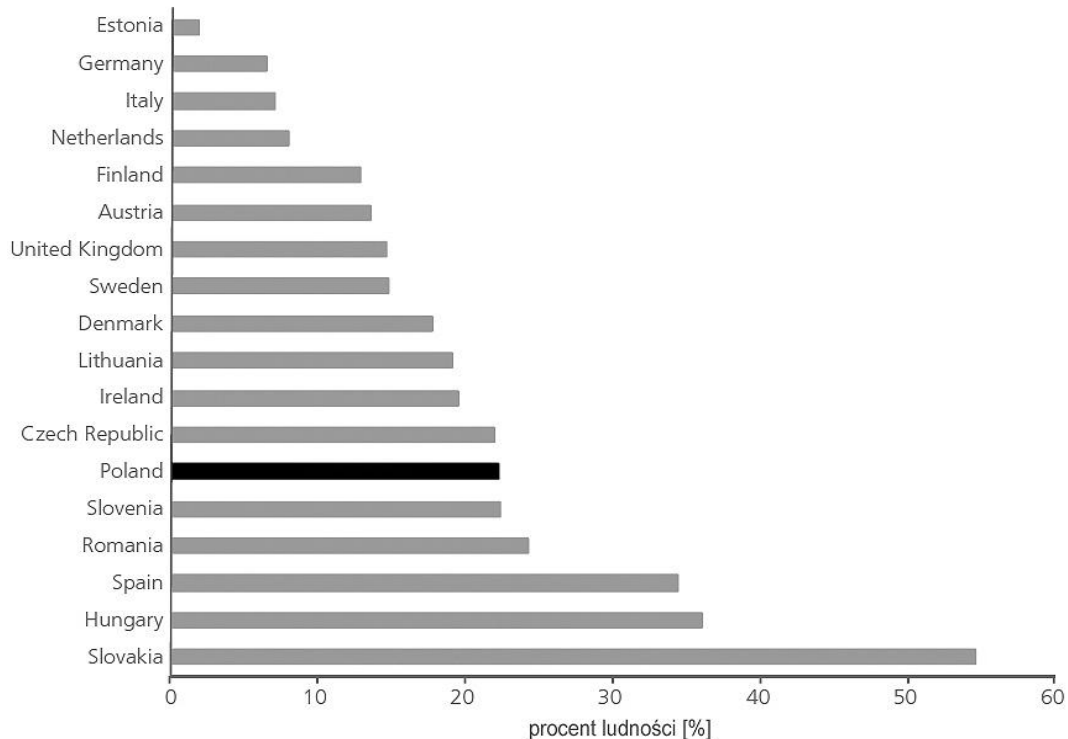
budynku. Szacuje się, że społeczne koszty ponadnormatywnego hałasu transportowego, wynikające z wpływu na zdrowie publiczne, wynoszą 40 mld EUR rocznie (0,4% PKB UE) z czego 90% związane jest z hałasem drogowym [2]. Gospodarcze koszty zagrożenia hałasem obejmują spadek cen nieruchomości, obniżenie wydajności pracy i inne. Z tych powodów w Unii Europejskiej oraz w innych krajach świata podejmuje się liczne działania zmierzające do obniżenia negatywnego wpływu hałasu na środowisko.

W artykule przedstawiono problem hałasu drogowego w Polsce oraz Unii Europejskiej, regulacje prawne w tym zakresie oraz podstawowe pojęcia i wskaźniki związane z oceną klimatu akustycznego. Wskazano na problemy powstające przy prognozowaniu i ocenie hałasu drogowego oraz omówiono działania i metody ochrony przed nadmiernym hałasem. W artykule przedstawiono również wybrane wyniki prowadzonych przez autorów badań dotyczących wpływu natężenia ruchu, struktury rodzajowej i prędkości pojazdów na poziom hałasu w otoczeniu dróg na obszarach zabudowanych i poza nimi. Przy pomocy programu komputerowego Traffic Noise 2008SE przeprowadzono obliczenia porównawcze poziomu dźwięku przy różnych warunkach ruchu w celu ustalenia ich wpływu na prognozowane wielkości hałasu.

2. Hałas drogowy w Polsce i innych krajach UE

Hałas drogowy stanowi istotny problem środowiskowy oraz zdrowotny w całej Unii Europejskiej. Według ostatnich danych WHO [3] około 40% mieszkańców UE (200 mln) narażonych jest na hałas drogowy przekraczający 55 dB w ciągu doby, w tym 20% (100 mln) – na hałas przekraczający 65 dB w ciągu dnia, natomiast ponad 30% (150 mln) – na hałas przekraczający 55 dB w ciągu nocy. Na rysunku 1 przedstawiono rozkład procentowy ludności narażonej na hałas drogowy przekraczający 55 dB w ciągu nocy, zamieszkujących duże aglomeracje (ponad 250 tys. mieszkańców) w poszczególnych krajach europejskich. Źródłem dodatkowych informacji o klimacie akustycznym środowiska w krajach UE są mapy akustyczne wykonane w I etapie realizacji dyrektywy 2002/49/WE. Wynika z nich, że w ciągu dnia na hałas drogowy przewyższający 55 dB narażonych jest ponad 55 mln osób zamieszkujących duże aglomeracje miejskie UE (liczba mieszkańców ponad 250 tys.) oraz ponad 34 mln osób mieszkających w otoczeniu głównych dróg poza obszarami zabudowy (drogi o obciążeniu ponad 6 mln pojazdów rocznie). Na hałas drogowy przekraczający w ciągu nocy 50 dB narażonych jest natomiast ponad 40 mln mieszkańców dużych aglomeracji miejskich UE oraz ponad 25 mln osób mieszkających w otoczeniu głównych

dróg poza obszarami zabudowy. Dla porównania na hałas kolejowy przewyższający w ciągu dnia 55 dB narażonych jest około 12 mln mieszkańców UE, a na hałas przekraczający 50 dB w ciągu nocy – około 9 mln.



Rysunek 1. Rozkład procentowy ludności narażonych na hałas drogowy przekraczający 55 dB w ciągu nocy, zamieszkujących duże aglomeracje europejskie (ponad 250 tys. mieszkańców)

Źródło: *Health and Environment in Europe: Progress Assessment*. EUR/55934/BD/1, WHO 2010, [4].

Badania klimatu akustycznego prowadzone w Polsce w latach 90-tych XX wieku dowiodły, że około 21% powierzchni i 33% ludności w Polsce narażonych było na ponadnormatywne działanie hałasu [5]. Na podstawie wyników pomiarów wykonanych przez Główny Inspektorat Ochrony Środowiska w latach 2000-2010 [6], stwierdzono wyraźną tendencję wzrostową zagrożenia hałasem drogowym, co związane jest ze wzrostem gęstości sieci dróg i ulic oraz liczby pojazdów samochodowych. W tabeli 1 przedstawiono trendy zmian hałasu drogowego odnotowane w ciągu 15 lat prowadzonego przez GIOŚ monitoringu.

Tabela 1. Porównanie rozkładów procentowych liczby wyników pomiarów hałasu drogowego w poszczególnych zakresach poziomu dźwięku

Okres	Procent pomiarów L_{AeqD} w poszczególnych zakresach poziomu dźwięku [%]			
	< 60 dB	> 60 dB	< 70 dB	> 70 dB
1993 - 1996	11,6	88,4	47,9	52,1
1997 - 2001	12,0	88,0	44,7	55,4
2002 - 2006	7,9	92,1	59,3	40,7
2007 - 2008	6,8	93,2	69,4	30,6

Źródło: *Raport o stanie środowiska w Polsce 2008*. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa 2010, [6]

Należy zauważyć, że w wymienionym okresie nastąpił znaczny spadek liczby przypadków ekspozycji na hałas drogowy przekraczający 70 dB przy równoczesnym wzroście liczby przypadków narażenia na hałas przewyższający 60 dB. Jednocześnie stwierdzono, że około 17% wszystkich pomiarów hałasu drogowego wykonanych przez GIOŚ w latach 2007-2008 przekraczało dopuszczalne normy o 0-5 dB, 45% przekraczało o 5-10 dB, 25% przekraczało o 10-15 dB oraz 5% przekraczało o 15-20 dB. Na podstawie map akustycznych wykonanych w ramach realizacji I etapu dyrektywy 2002/49/WE stwierdzono, że około 3,8 mln mieszkańców 12 dużych aglomeracji w Polsce (ponad 250 tys. mieszkańców) narażonych jest na hałas drogowy przekraczający w ciągu dnia 55 dB, natomiast około 2,8 mln – narażonych jest na hałas drogowy przekraczający w ciągu nocy 50 dB.

Przedstawione powyżej liczby i wartości należy traktować w kategoriach wpływu hałasu na zdrowie publiczne oraz koszty społeczne i gospodarcze. Z tego względu problem narażenia ludności na zbyt duży hałas został dostrzeżony przez Unię Europejską jako jeden z istotnych już kilkanaście lat temu co przyczyniło się do powstania uregulowań prawnych w tym zakresie. Zgodnie z dyrektywą 2002/49/WE odnoszącą się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku, żaden mieszkaniec UE nie powinien być narażony na hałas zagrażający zdrowiu lub jakości życia – ekspozycja populacji na hałas powyżej 65 dB(A) powinna zostać zlikwidowana, a pod żadnym pozorem nie wolno dopuszczać na ekspozycję na hałas o poziomie powyżej 85 dB(A). Celem obowiązującej dyrektywy jest zdefiniowanie przez wszystkie kraje UE wspólnego podejścia do unikania, zapobiegania lub zmniejszenia szkodliwych skutków narażenia na działanie hałasu, w tym jego dokuczliwości na podstawie ustalonych priorytetów. Aby osiągnąć ten cel, państwa członkowskie UE zobowiązano do:

- ustalenia stopnia narażenia na hałas w środowisku metodami oceny wspólnymi dla państw członkowskich poprzez sporządzenie map hałasu aktualizowanych co 5 lat, opartych o wskaźniki L_{DWN} i L_N ;
- przyjęcia planów działania i programów ochrony środowiska przed hałasem na podstawie danych uzyskanych z map hałasu;
- zapewnienia społeczeństwu dostępu do informacji dotyczących hałasu w środowisku.

W pierwszym etapie realizacji dyrektywy zakończonym w styczniu 2009 r. zobowiązano kraje członkowskie do wykonania map akustycznych i programów ochrony środowiska przed hałasem dla aglomeracji o liczbie mieszkańców powyżej 250 tys.; dla dróg po których porusza się ponad 6 mln pojazdów rocznie oraz dla głównych linii kolejowych, po których rocznie przejeżdża ponad 60 tys. pociągów. W drugim etapie działań dyrektywa zobowiązywała kraje członkowskie do wykonania map akustycznych i programów ochrony

środowiska przed hałasem dla aglomeracji o liczbie mieszkańców powyżej 100 tys.; dla dróg po których porusza się ponad 3 mln pojazdów rocznie oraz dla głównych linii kolejowych, po których rocznie przejeżdża ponad 30 tys. pociągów. Uwagi wynikające z map akustycznych dotyczące obszarów z nadmiernym hałasem mają posłużyć do stworzenia krajowych programów ochrony środowiska przed hałasem zawierających działania naprawcze.

3. Wskaźniki oceny klimatu akustycznego i dopuszczalne poziomy hałasu drogowego

Klimat akustyczny środowiska, zwłaszcza w warunkach lokalnych, cechuje się dużymi zmianami w czasie zależnymi od liczby i natężenia źródeł hałasu w ciągu doby. Ocenia się go na podstawie wyników pomiarów hałasu określonych odpowiednimi wskaźnikami z uwzględnieniem dodatkowych danych dotyczących zagospodarowania i sposobu użytkowania terenu oraz danych demograficznych. Wśród wskaźników pozwalających na ocenę klimatu akustycznego można wyróżnić dwie grupy:

- wskaźniki podstawowe, które są fizycznym opisem zjawisk akustycznych;
- wskaźniki złożone, które oprócz fizycznej natury zjawisk, uwzględniają dodatkowo efekty oddziaływania hałasu (obszar zagrożeń, wielkości zagrożeń z punktu widzenia reakcji i liczby osób zagrożonych itp.).

Do podstawowych wskaźników oceny, które są związane z hałasem drogowym należą [7, 8]:

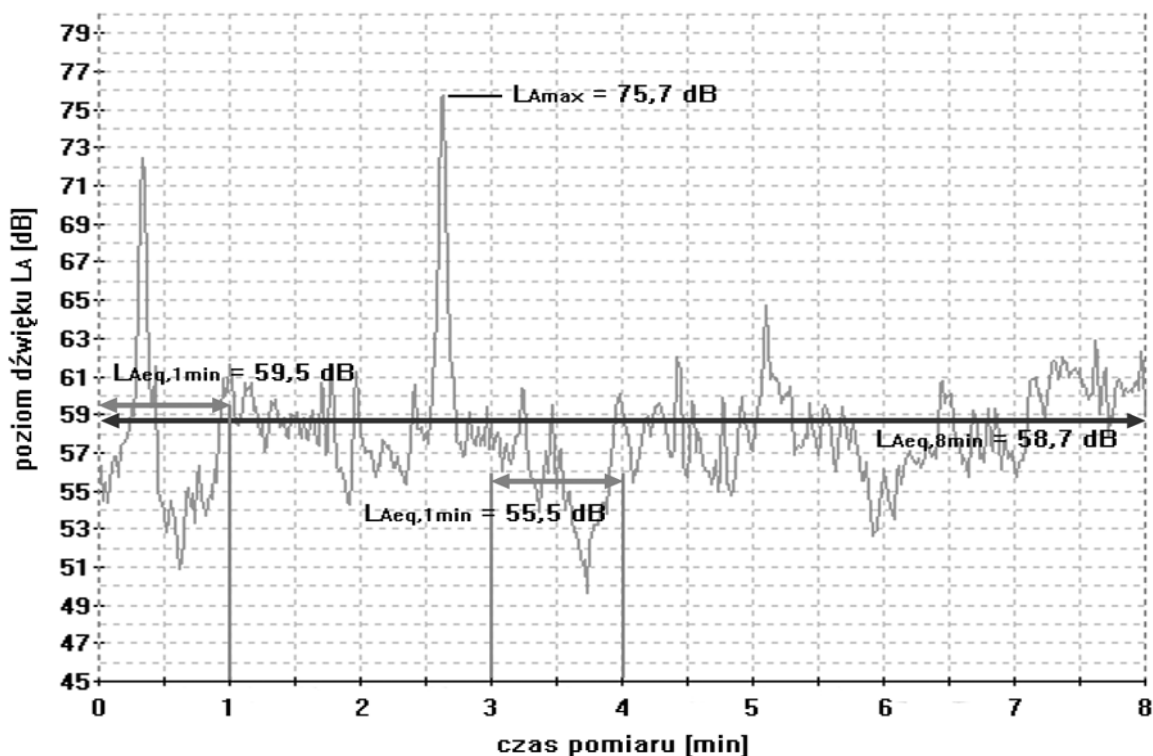
- poziom dźwięku A (L_A , [Bel]) – definiowany jako poziom ciśnienia akustycznego dźwięku skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej zgodnej z krzywą korekcji A, równy logarytmowi dziesiętnemu ze stosunku kwadratu ciśnienia akustycznego A mierzonego sygnału akustycznego do kwadratu ciśnienia odniesienia równego 20 μPa .

$$L_{pA} = 10 \log \frac{p_A^2}{p_0^2}, [\text{dB}] \quad (1)$$

- równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq} , [Bel]) – jest to wartość logarytmu dziesiętnego ze stosunku średniego kwadratu ciśnienia akustycznego dźwięku, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A, do kwadratu ciśnienia odniesienia p_0 , w określonym przedziale czasu odniesienia T.

$$L_{Aeq} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right] = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1 \cdot L_{pA}(t)} dt \right], [\text{dB}] \quad (2)$$

Poziom równoważny jest podstawowym wskaźnikiem (parametrem) liczbowego opisu klimatu akustycznego. Czasem odniesienia T w pomiarach może być zasadniczo dowolnie przyjęty okres. Najczęściej spotykane okresy to 15min, 1h, doba lub stosowane w analizach klimatu akustycznego okresy dnia tj. 16h od godz. 6.00 do 22.00 ($L_{eq D}$) oraz nocy 8h od godz. 22.00 do 6.00 ($L_{eq N}$). Należy przy tym zwrócić uwagę, że nie można porównywać wartości L_{eq} uzyskanych dla różnych okresów czasu. Na rysunku 2 dla fragmentu przebiegu czasowego pomiaru hałasu przedstawiono przykładowe wartości wskaźnika L_{Aeq} określone dla różnych okresów czasu pomiaru.



Rysunek 2. Wartości wskaźnika L_{Aeq} określone dla różnych okresów czasu pomiaru

Źródło: Opracowanie własne.

- poziom ekspozycyjny dźwięku A (L_{AE} lub L_{SEL}) – definicja analogiczna jak w przypadku równoważnego poziomu dźwięku, z zastrzeżeniem, że przeliczenie następuje zamiast dla czasu obserwacji T na umowny czas odniesienia $t_0 = 1s$. Wskaźnik ten stosuje się do charakteryzowania pojedynczych zdarzeń akustycznych, niezależnie od faktycznego czasu ich trwania.

$$L_{AE} = 10 \log \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right], [\text{dB}] \quad (3)$$

Pomiar poziomu ekspozycyjnego L_{AE} powinien być wykonany w taki sposób aby poziom maksymalny L_{Amax} podczas pomiaru zdarzenia był co najmniej o 10 dB wyższy od

poziomów chwilowych na początku i końcu pomiaru. Dla terenów zabudowanych czas tego pomiaru nie powinien być jednak krótszy od 6s.

Wśród podstawowych wskaźników oceny hałasu drogowego można również wyróżnić wskaźniki zalecane w dyrektywie 2002/49/WE stosowane w długookresowej polityce ochrony przed hałasem oraz przy realizacji map akustycznych. Należą do nich [7]:

- poziom dziennie-wieczorno-nocny dźwięku L_{DWN} (L_{DEN}) – jest równoważnym poziomem dźwięku określanym dla wszystkich dób w roku. Wskaźnik ten zaleca się do stosowania przy ocenie dokuczliwości hałasu. W celu obliczenia wartości L_{DWN} należy określić równoważne poziomy długookresowe dla całego roku w podziale na pory: dnia (L_D) od godz. 06.00 do 18.00, wieczoru (L_W) od godz. 18.00 do 22.00 i nocy (L_N) od godz. 22.00 do 06.00. Dla tak określonych danych określa się poziom równoważny L_{DWN} :

$$L_{DWN} = 10 \log \frac{1}{24} \left(12 \cdot 10^{\frac{L_D}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_W+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_N+10}{10}} \right), [\text{dB}] \quad (4)$$

- poziom nocny L_N (L_{night}) – jest równoważnym poziomem dźwięku określanym dla wszystkich nocy w roku (od godz. 22.00 do 06.00). Wskaźnik ten zaleca się do stosowania przy ocenie stopnia zakłóceń snu.

Do złożonych wskaźników oceny klimatu akustycznego uwzględniających efekty oddziaływania hałasu należą [8]:

- wskaźnik $LMZH_k$ określający procent liczby ludności obszaru (miasta, województwa, kraju) zagrożonej ponadnormatywnym hałasem komunikacyjnym;
- wskaźnik $TMZH$ określający stosunek powierzchni danego obszaru zanieczyszczonej ponadnormatywnym hałasem do całkowitej powierzchni tego obszaru;
- wskaźnik M zwany niekiedy wskaźnikiem „społecznego zapotrzebowania na środki ochrony przed hałasem”, uwzględnia wielkość przekroczenia dopuszczalnego poziomu dźwięku na badanym obszarze oraz liczbę mieszkańców narażonych na ten hałas. Wskaźnik ten pozwala na określenie stopnia zapotrzebowania na środki ochrony przed hałasem na obszarach objętych analizą oraz kolejności realizacji zadań ochronnych. Nie daje on jednak precyzyjnego, hierarchicznego i wielokryterialnego rozwiązania problemów długoterminowej polityki walki z hałasem [9].
- wskaźnik presji motoryzacyjnej na środowisko Z_m łączy natężenie ruchu pojazdów z gęstością infrastruktury drogowej na danym obszarze, przez co jego wartość staje się proporcjonalna do zagrożenia hałasem.

Oceniając hałas należy pamiętać, że poziom ciśnienia akustycznego [dB] odnosi się do skali logarytmicznej. W związku z tym wzrost hałasu o 10 dB powoduje dziesięciokrotne zwiększenie ciśnienia akustycznego a wzrost o 1 dB – 1,26-krotne zwiększenie ciśnienia akustycznego. Podwojenie ciśnienia, przy którym człowiek zaczyna odczuwać realne różnice w odbieranym hałasie odpowiada zmianie poziomu dźwięku o 3 dB stąd też w większości przypadków człowiek nie odczuwa małych zmian w poziomie hałasu.

Dopuszczalne poziomy hałasu komunikacyjnego w środowisku dla Polski (tabela 2) określa Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1.10.2012 r. [10]. Wartości te odnoszą się do czterech rodzajów terenu i zostały ustalone dla wskaźników $L_{Aeq D}$, $L_{Aeq N}$ służących krótkookresowej ocenie klimatu akustycznego oraz L_{DWN} i L_N mających zastosowanie przy realizacji map akustycznych i w programach długookresowej walki z hałasem. W tabeli 2 podano również wartości dopuszczalnych poziomów hałasu obowiązujące przed 1.10.2012 r., które zostały podwyższone od 0 do 6 dB dla wskaźnika L_{Aeq} oraz od 0 do 9 dB dla wskaźników L_{DWN} i L_N . Wprowadzone zmiany były podyktowane znacznymi problemami w dotrzymaniu tak rygorystycznych wartości dopuszczalnych poziomów hałasu. Problemy te zostały szerzej omówione w kolejnym rozdziale pracy.

Tabela 2. Wartości dopuszczalne hałasu w środowisku dla dróg i linii kolejowych

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny poziom dźwięku A w [dB] (w nawiasie podano wartości obowiązujące do 01.10.2012r. zgodnie z Rozporządzeniem MŚ z dn. 14.06.2007r. Dz.U. nr 120 poz. 826)			
		<i>ocena klimatu akustycznego</i>		<i>polityka długookresowa</i>	
		$L_{Aeq D}$ (6 ⁰⁰ - 22 ⁰⁰)	$L_{Aeq N}$ (22 ⁰⁰ - 6 ⁰⁰)	L_{DWN} cała doba	L_N (22 ⁰⁰ - 6 ⁰⁰)
1	a) Strefa ochronna uzdrowiskowa „A” b) Tereny szpitali poza miastem	50 (50)	45 (45)	50 (50)	45 (45)
2	a) Tereny zabudowy jednorodzinnej b) Tereny domów opieki społecznej c) Tereny szpitali w miastach	61 (55)	56 (50)	64 (55)	59 (50)
3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielo- rodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d) Tereny mieszkaniowo-usługowe	65 (60)	56 (50)	68 (60)	59 (50)
4	a) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców	68 (65)	60 (55)	70 (65)	65 (55)

Zródło: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, Dz. U. z 2012 r. poz. 1109, [10].

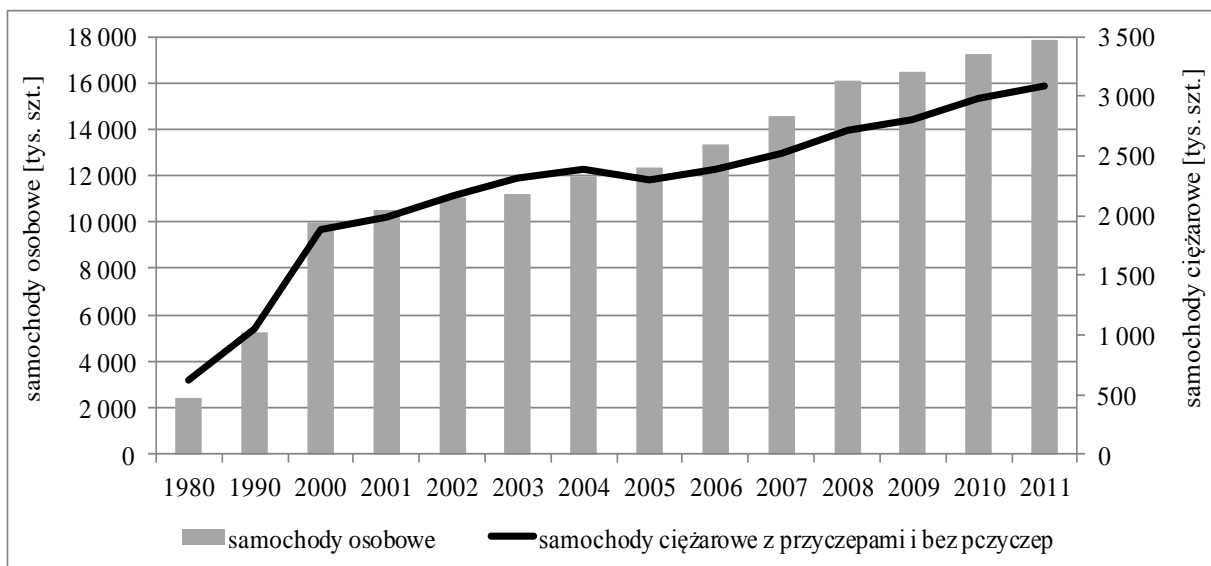
4. Czynniki wpływające na hałas drogowy

Hałas drogowy jest hałasem zmiennym w czasie, emitowanym przez przejeżdżające z różną częstotliwością i natężeniem pojazdy. Zasadniczo jest on superpozycją tła akustycznego oraz hałasu od ruchu pojazdów, który obejmuje hałas powstający na styku opona-nawierzchnia jak i hałas zespołu napędowego pojazdu. Należy zauważyć, że przy prędkościach pojazdów osobowych większych od 40-50 km/h oraz prędkościach pojazdów ciężarowych większych od 60-70 km/h główną składową całkowitego hałasu pojazdu jest hałas powstający na styku opona-nawierzchnia [11]. Z powyższego wynika, że hałas drogowy związany jest bezpośrednio lub pośrednio z wieloma czynnikami. W otoczeniu dróg zamiejskich na jego poziom wpływają głównie: natężenie i struktura rodzajowa ruchu, prędkość pojazdów, geometria i przekrój poprzeczny drogi, pochylenie niwelety, charakterystyka nawierzchni drogowej, rodzaj i ukształtowanie otoczenia. Na terenach zabudowanych, przy mniejszej płynności ruchu, natężeniach ruchu zbliżonych do przepustowości ulic, małych odległościach między skrzyżowaniami, udziale w ruchu pieszych oraz komunikacji zbiorowej, częstych zatrzymaniach, hamowaniach i przyspieszeniach problem hałasu jest zagadnieniem bardziej złożonym i trudnym do rozwiązania.

Do głównych przyczyn narażenia na ponadnormatywny hałas w otoczeniu dróg należą [9]:

- 1) duże natężenia ruchu pojazdów;
- 2) duże udziały pojazdów ciężarowych w ruchu;
- 3) duże prędkości pojazdów;
- 4) zły stan techniczny pojazdów;
- 5) rodzaj i stan techniczny nawierzchni drogowych;
- 6) brak właściwej hierarchizacji sieci drogowej i za późno dostrzeżony problem regulacji dostępności – duża część dróg krajowych przechodzi przez miejscowości w sąsiedztwie gęstej zabudowy mieszkaniowej, przenosząc zarówno ruch zewnętrzny (w tym tranzytowy ruch pojazdów ciężarowych) jak również ruch lokalny;
- 7) nieefektywna urbanistyka i brak jednoznacznych zapisów w przepisach dotyczących planowania przestrzennego uwzględniających kryterium hałasu – skutkiem tego jest niekontrolowana obudowa dróg klas Z, G i GP przez budynki o funkcji mieszkalnej, bliska odległość zabudowy od ulicy oraz brak strefowania akustycznego (pierwsza linia zabudowy od ulicy powinna mieć funkcję niemieszkalną).

1) Natężenie ruchu pojazdów jest głównym generatorem hałasu drogowego stąd ma największy wpływ na jego poziom. Obserwowany w ostatnich latach bardzo dynamiczny przyrost liczby pojazdów oraz wzrost ich natężenia na sieci dróg spowodował przyrost powierzchni terenów zagrożonych hałasem drogowym. Na rysunku 3 przedstawiono zmiany w liczbie zarejestrowanych w Polsce w latach 1980-2011 samochodów osobowych i samochodów ciężarowych z przyczepami i bez przyczep. W przeciągu 30 lat liczba zarejestrowanych pojazdów osobowych wzrosła 7,5-krotnie do 18 mln sztuk, natomiast liczba pojazdów ciężarowych wzrosła 5-krotnie osiągając wartość ponad 3 mln sztuk. W latach 1995-2010 wskaźnik wzrostu średniego dobowego ruchu (SDR) pojazdów na sieci dróg krajowych osiągnął wartość 1,85 przy SDR w 2010 r. równym 9888 P/24h [12].



Rysunek 3. Zmiany w liczbie zarejestrowanych samochodów osobowych i samochodów ciężarowych z przyczepami i bez przyczep w Polsce w latach 1980 – 2011

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego: <http://www.stat.gov.pl/gus>

W tabeli 3 przedstawiono wpływ natężenia ruchu pojazdów na poziom hałasu. Wartości równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq} ustalono dla okresu jednej godziny w odległości 1 m od krawędzi ulicy przy przejeździe pojazdów ze średnią prędkością $V = 50$ km/h. Podane wartości wykazują, że zmniejszenie natężenia ruchu o połowę z 2000 do 1000 P/h (istotne z punktu widzenia przepustowości i warunków ruchu) powoduje obniżenie poziomu hałasu jedynie o 3 dB a przejazd zaledwie 60-170 P/h (przy założeniu stałego w ciągu dnia natężenia ruchu) prowadzi do poziomów hałasu równych dopuszczalnym $L_{Aeq,D}$ podanym w tabeli 2. Dowodzi to jak dużym problemem jest walka z nadmiernym hałasem drogowym na terenach zabudowanych. Wpływ redukcji natężenia ruchu na poziom hałasu został przedstawiony również w tabeli 4.

Tabela 3. Wpływ natężenia ruchu na poziom hałasu

Natężenie ruchu [P/h]	1	6	60	100	170	600	1000	2000
L_{Aeq} [dB(A)]	35	51	61	63	65	71	73	76

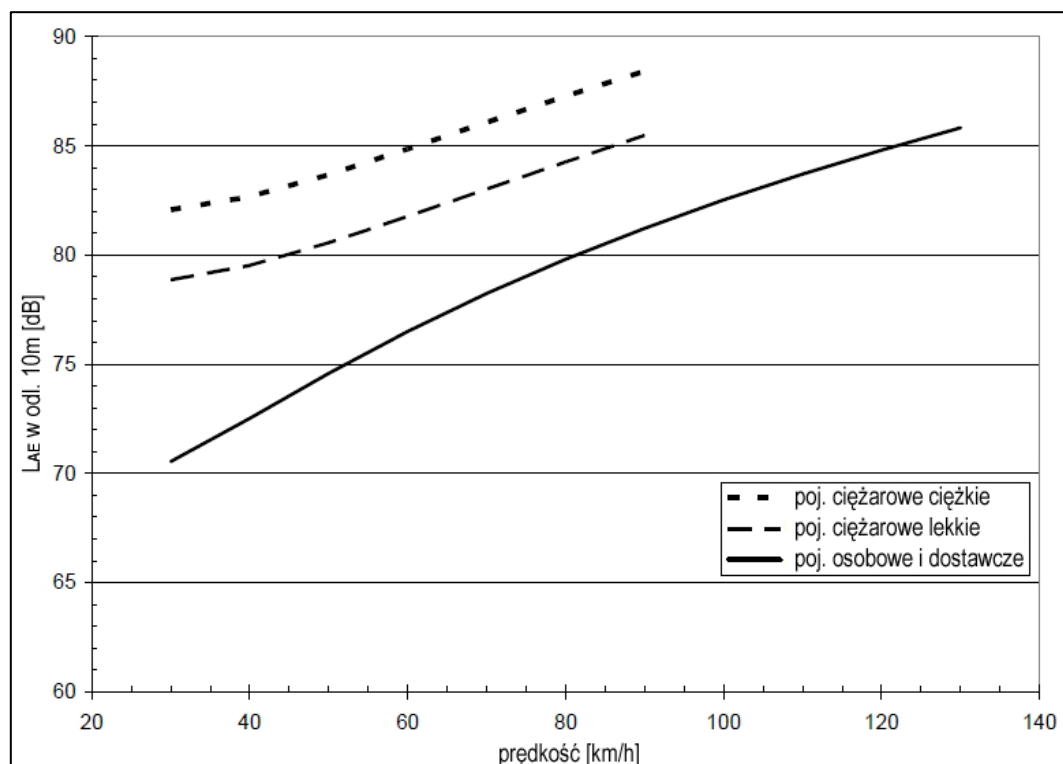
Źródło: Gardziejczyk W.: *Wpływ technologii wykonania i tekstury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych*. Politechnika Białostocka. Rozprawy naukowe Nr 121. Białystok, 2005, [11].

Tabela 4. Wpływ spadku natężenia ruchu na zmniejszenie poziomu hałasu

Redukcja natężenia ruchu	10%	20%	30%	40%	50%	75%
Zmniejszenie poziomu hałasu L_{Aeq} [dB(A)]	0,5	1,0	1,6	2,2	3,0	6,0

Źródło: Bendtsen H. i inni: *Integration of low-noise pavements with other noise abatement measures. Silvia project deliverable*; European Commission DG TREN-GROWTH, 2005, [13].

2) Udział w ruchu pojazdów ciężarowych powoduje istotny wpływ na generowane poziomy hałas. Na rysunku 4 przedstawiono porównanie emisji hałasu powodowanej przez pojazdy ciężarowe oraz pojazdy osobowe i dostawcze natomiast w tabeli 5 wpływ zwiększenia udziału pojazdów ciężarowych na wartości L_{Aeq} .

**Rysunek 4. Porównanie emisji hałasu od różnych rodzajów pojazdów**

Źródło: Kragh J., Andersen B., Bendtsen H.: *Acoustic Performance: Low Noise Road Pavements*, 2006, [14].

Tabela 5. Wpływ zwiększenia udziału w ruchu pojazdów ciężarowych na poziom hałasu L_{Aeq}

Zwiększenie udziału w ruchu pojazdów ciężarowych	Przy prędkości ruchu 50 km/h	Przy prędkości ruchu 80 km/h
z 0 do 5%	+0,7 dB	+1,0 dB
z 0 do 10%	+1,4 dB	+1,9 dB
z 0 do 15%	+2,0 dB	+2,6 dB

Źródło: Bendtsen H., Larsen H. J. E.: *Traffic Management and Noise*, Road Directorate, Danish Road Institute, 2007, [15].

W ostatnich latach oprócz przyrostu natężenia ruchu pojazdów ogółem obserwuje się również znaczny wzrost natężenia ruchu pojazdów ciężarowych głównie z przyczepami i naczepami. W okresie od 1995 do 2010 r. wskaźnik wzrostu SDR tej grupy pojazdów osiągnął wartość aż 3,50 przy wskaźniku wzrostu pojazdów lekkich 1,81 [16]. Tak duży wzrost liczby pojazdów ciężarowych z przyczepami i naczepami przyczynia się do szybszej degradacji nawierzchni, wpływa na zwiększone zanieczyszczenie powietrza oraz pogorszenie klimatu akustycznego w otoczeniu tras drogowych. Problemy te nabierają szczególnego znaczenia w przypadku odcinków dróg przebiegających przez obszary zabudowane. Istotnym problemem jest przy tym znaczny udział pojazdów ciężarowych w ruchu nocnym (około 38% w średnim ruchu nocnym w 2010 r.). Zbliżone natężenia ruchu pojazdów ciężarowych zarówno w porze dziennej jak i w porze nocnej, poruszających się dodatkowo nocą ze zdecydowanie większymi prędkościami, powoduje że poziomy hałasu w porze nocnej są często jedynie o 2-3 dB mniejsze od poziomów ustalonych w porze dnia. Na podstawie niektórych badań stwierdzono, że wprowadzenie zakazu ruchu pojazdów ciężarowych w nocy może obniżyć wartości L_{Aeq} nawet o 7 dB [15].

3) Prędkość ruchu pojazdów znacząco wpływa na poziom hałasu. Na podstawie wyników badań [11] stwierdzono przykładowo, że zwiększenie prędkości pojazdu osobowego z 40 do 70 km/h spowodował wzrost maksymalnego poziomu hałasu o 6,1 dB, a pojazdu ciężarowego o 6,4 dB. Z kolei wzrost średniej prędkości pojazdów o około 30 km/h przy jednoczesnym zwiększeniu procentowego udziału pojazdów ciężarowych o około 23% przyczynił się do wzrostu równoważnego poziomu dźwięku aż o 9 dB(A) [17]. W tabeli 6 przedstawiono wpływ redukcji prędkości poruszających się pojazdów na zmniejszenie się poziomu ekspozycyjnego hałasu.

Tabela 6. Wpływ zmniejszenia prędkości na redukcję hałasu

Zmniejszenie prędkości ruchu [km/h]	Zmniejszenie poziomu L_{AE} – pojazdy lekkie	Zmniejszenie poziomu L_{AE} – pojazdy ciężkie
z 130 do 120	1,0 dB	-
z 120 do 110	1,1 dB	-
z 110 do 100	1,2 dB	-
z 100 do 90	1,3 dB	1,0 dB
z 90 do 80	1,5 dB	1,1 dB
z 80 do 70	1,7 dB	1,2 dB
z 70 do 60	1,9 dB	1,4 dB
z 60 do 50	2,3 dB	1,7 dB
z 50 do 40	2,8 dB	2,1 dB
z 40 do 30	3,6 dB	2,7 dB

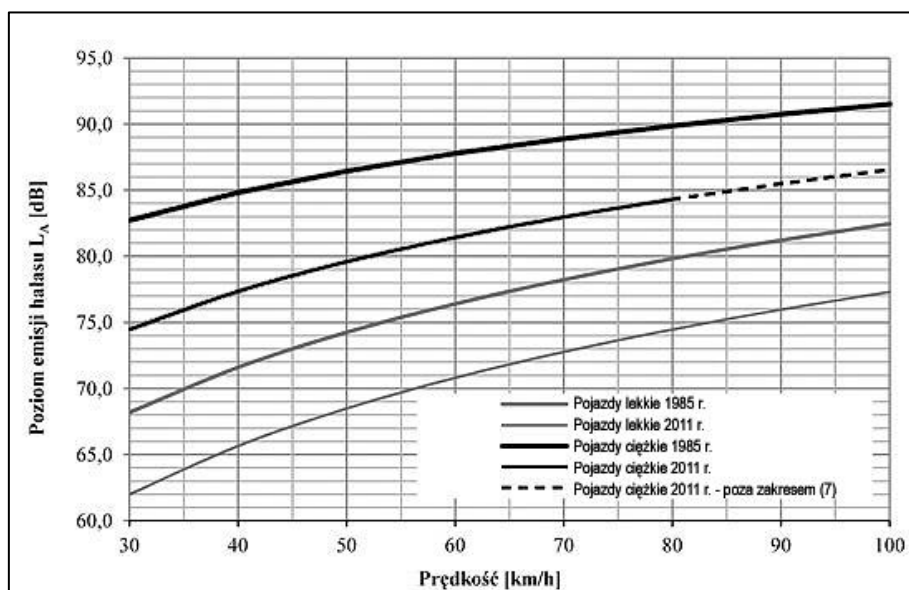
Źródło: Andersen B.: *Støjundersøelse fra biler på vejnettet*. Kgs. Lyngby. Danish Transport Research Institute. Report 2. 2003, [18].

4) Stan techniczny i wiek pojazdów są czynnikami, które również wpływają na poziom generowanych dźwięków. Po polskich drogach poruszają się głównie samochody osobowe w wieku powyżej 10 lat, których udział w 2011 r. wyniósł 73,1% i zwiększył się o 12,1% względem 2005 r. – tabela 7. Wśród samochodów ciężarowych również przeważają pojazdy w wieku powyżej 10 lat, a ich udział w 2011 r. wyniósł 50,8% i zwiększył się o 17,9% względem 2005 r. Starzejący się park samochodowy w Polsce będzie coraz bardziej wpływał na poważne problemy związane z bezpieczeństwem ruchu drogowego i ochroną środowiska przed emisją spalin i hałasu. Nowe pojazdy i pojazdy do 5 lat, charakteryzujące się nowszymi rozwiązaniami w zakresie ochrony środowiska, z roku na rok stanowią coraz mniejszą grupę. Na rysunku 5 przedstawiono porównanie emisji poziomu hałasu pomiędzy pojazdami lekkimi a ciężkimi w 1985 r. i 2011 r. [19]. Zmiany technologiczne jakie wprowadzono w konstrukcji tych pojazdów w przeciągu ponad 25 lat spowodowały, że obecnie emisje hałasu od przejazdu nowych pojazdów są o 5 do 8 dB mniejsze niż w przypadku pojazdów z 1985 r.

Tabela 7. Zmiany w strukturze zarejestrowanych pojazdów osobowych i pojazdów ciężarowych według grup wieku w latach 2005 i 2011

Grupa pojazdów / wiek pojazdów	Udział procentowy [%]		
	0 - 5 lat	5 - 10 lat	> 10 lat
osobowe – 2005 r.	12,7	26,3	61,0
osobowe – 2011 r.	10,7	16,2	73,1
<i>zmiana względem 2005 r.</i>	<i>-2,00</i>	<i>-10,10</i>	<i>+12,10</i>
ciężarowe – 2005 r.	26,5	22,7	50,8
ciężarowe – 2011 r.	17,1	14,2	68,7
<i>zmiana względem 2005 r.</i>	<i>-9,40</i>	<i>-8,50</i>	<i>+17,90</i>

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych Głównego Urzędu Statystycznego: <http://www.stat.gov.pl/gus>



Rysunek 5. Porównanie wyników badań emisji hałasu dla pojazdów lekkich i ciężkich w 1985 i 2011 r.

Źródło: Bohatkiewicz J.: *Badania wpływu zmian parku samochodowego na poziom emisji hałasu drogowego*, w: *Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej*. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Lublin 2011, s. 26-37, [19].

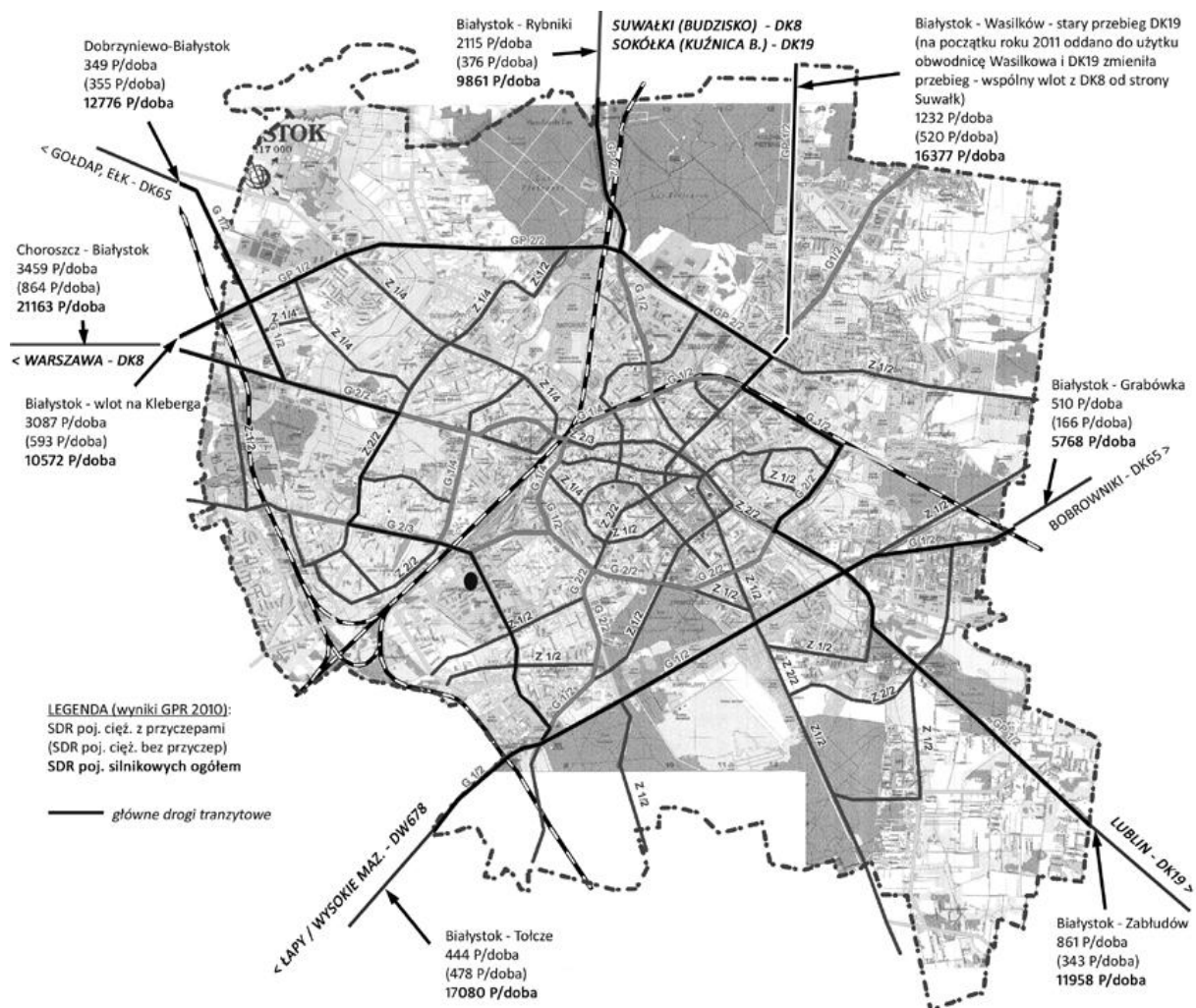
5) Rodzaj górnej warstwy nawierzchni drogowej w znaczący sposób wpływa na poziom hałasu. Różnice pomiędzy wartościami L_{Aeq} ustalonymi w otoczeniu dróg o różnych rodzajach warstwy ścieralnej mogą sięgać nawet 6 dB (porównanie SMA11 z BBTM8) [20]. W tabeli 8 przedstawiono propozycję klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości dla dróg zamiejskich wraz z przykładami warstw ścieralnych, które mogą być zaliczone do poszczególnych klas [21].

Tabela 8. Propozycja klasyfikacji nawierzchni pod względem hałaśliwości dla dróg zamiejskich

Klasa / symbol	Wartości poziomu dźwięku, [dB(A)]		Przykłady warstw ścieralnych
	L_1 (SPB-80)	CPXI (80)	
nawierzchnie ciche NC	< 73,0	< 93,5	<ul style="list-style-type: none"> – pojedyncze warstwy porowate o max uziarnieniu kruszywa < 10 mm (np. PA8), – podwójne warstwy porowate, – nawierzchnie poroelastyczne.
nawierzchnie o zredukowanej hałaśliwości ZH	73,0 ÷ 75,9	93,5 ÷ 96,4	<ul style="list-style-type: none"> – SMA i beton asfaltowy (uziarnienie kruszywa < 10mm (np. SMA5, SMA8, AC5, AC8), – bardzo cienkie warstwy bitumiczne o max uziarnieniu kruszywa < 10 mm (np. BBTM8), – pojedyncze warstwy porowate o uziarnieniu kruszywa > 10 mm (np. PA11).
nawierzchnie o normalnej hałaśliwości NH	76,0 ÷ 78,9	96,5 ÷ 99,4	<ul style="list-style-type: none"> – SMA o uziarnieniu kruszywa > 10 mm (np. SMA11), – bardzo cienkie warstwy bitumiczne o uziarnieniu kruszywa > 10 mm (np. BBTM11), – betony asfaltowe o uziarnieniu kruszywa > 10 mm (np. AC11), – betony cementowe o optymalnym teksturowaniu z akustycznego punktu widzenia.
nawierzchnie o podwyższonej hałaśliwości PH	79,0 ÷ 81,9	99,5 ÷ 102,4	<ul style="list-style-type: none"> – powierzchniowe utrwalenia, – uszorstnione nawierzchnie typu SMA, – SMA i betony asfaltowe o uziarnieniu kruszywa ≥ 16 mm, – klasyczne betony cementowe, – betonowa kostka brukowa przy optymalnych układach połączeń.
nawierzchnie o nadmiernej hałaśliwości NNH	$\geq 82,0$	$\geq 102,5$	<ul style="list-style-type: none"> – kostka kamienna, – betonowa kostka brukowa bez optymalizacji połączeń, – betony cementowe poprzecznie rowkowane.
L_1 maksymalny poziom hałasu L_{max} od statystycznego pojazdu osobowego przejeżdżającego z prędkością 80 km/h określany metodą SPB; CPXI indeks charakteryzujący maksymalny poziom hałasu opona/nawierzchnia, generowany w płaszczyźnie kontaktu opony z nawierzchnią (w tzw. polu bliskim).			

Zródło: Gardziejczyk W.: *Przegląd i analiza porównawcza metod badania hałaśliwości nawierzchni drogowych*, Magazyn Autostrady, 1-2/2011, [21].

6) Przebieg przez obszary zabudowane dróg tranzytowych prowadzących nierzadko w sąsiedztwie gęstej zabudowy mieszkaniowej duży ruch pojazdów ciężarowych, zgodnie z wcześniejszymi informacjami przyczynia się do znacznego pogorszenia klimatu akustycznego środowiska. Należy podkreślić, że drogi krajowe, które przenoszą zdecydowaną część ruchu tranzytowego w Polsce, aż w 23% długości (4232 km) przechodzą przez obszary zabudowane [16]. Średnio dobowe natężenie ruchu pojazdów ciężarowych bez i z przyczepami na tych drogach wynosiło w 2010 roku 1889 P/dobę co odpowiada niemal 20% SDR wszystkich pojazdów. Powoduje to, że zagrożenie hałasem w otoczeniu dróg prowadzących ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych jest bardzo duże, szczególnie na obszarach zabudowy. Na rysunkach 6 i 7 przedstawiono przykłady przejść dróg krajowych prowadzących ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych przez miejscowości Białystok i Siemiatycze.



Rysunek 6. Przebieg dróg tranzytowych przez miasto Białystok wraz z wartościami SDR 2010

Źródło: Opracowanie własne.



Rysunek 7. Przebieg drogi krajowej nr 19 „Rzeszów – Lublin – Białystok – Kuźnica Białostocka” (przyszła Via Carpatia) przez miejscowości Siemiatycze

Źródło: <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=265790&page=29&langid=5> ; dostęp: 25.02.2014 r. [22].

5. Metody ochrony przed nadmiernym hałasem drogowym

Ochrona przed hałasem polega na zapewnieniu jak najlepszego klimatu akustycznego środowiska, w szczególności poprzez utrzymanie poziomu hałasu poniżej wartości dopuszczalnej lub na tym poziomie oraz na zmniejszaniu poziomu hałasu do co najmniej dopuszczalnego, gdy nie jest on dotrzymany [23]. Zgodnie z polityką UE, kraje członkowskie są zobligowane do rozwoju i utrzymywania sieci drogowej przyjaznej środowisku naturalnemu i miejscu zamieszkania ludzi poprzez m.in. stosowanie rozwiązań chroniących przed szkodliwym oddziaływaniem ruchu samochodowego. W celu ograniczenia wpływu hałasu drogowego na obszarach zabudowanych podejmowane są więc różnego rodzaju działania. Z uwagi na odmienny wpływ i charakter czynników decydujących o wielkości odbieranego hałasu, rozwiązania ochronne powinny być rozpatrywane w trzech obszarach: emisji (generowania dźwięku), imisji (odbioru dźwięku) oraz w obszarze pośrednim propagacji dźwięku (rysunek 8).



Rysunek 8. Obszary związane z możliwymi sposobami i metodami ochrony przed hałasem drogowym

Źródło: Bohatkiewicz J., Biernacki S.: *Aktualne problemy związane z hałasem drogowym*, w: *Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej*. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Lublin 2011, s. 38-47, [9].

Tradycyjny model ochrony przed hałasem zakłada stosowanie rozwiązań ochronnych wyłącznie pomiędzy źródłem powstawania hałasu, a jego odbiorcą. W tym wypadku działania zapobiegawcze to przede wszystkim ekrany akustyczne, wały ziemne ewentualnie pasy zieleni, lokalizowane jedynie w obszarze rozwiązań ochronnych. Korzystniejszym rozwiązaniem jest stosowanie środków ochronnych również w strefie emisji i imisji równoległe. Połączenie różnych metod i sposobów ochrony we wszystkich obszarach jednocześnie pozwoli na uzyskanie efektu skumulowanej ochrony przed hałasem.

Działania ochronne jakie mogą być podjęte w strefie emisji to przede wszystkim [15, 24]:

- hierarchizacja ulic – układ podstawowy, uzupełniający i tranzytowy (wyprowadzenie ruchu tranzytowego poza obręb dzielnic mieszkalnych poprzez budowę obwodnic miejskich oraz eliminacja z ruchu pojazdów szczególnie uciążliwych, zakaz wjazdu pojazdów ciężarowych do centrów miast – np. w Łomży, zakaz ruchu pojazdów ciężarowych o masie powyżej 10t w godzinach 22.00-06.00);
- stosowanie nawierzchni „cichych” na drogach i ulicach o dopuszczalnej prędkości powyżej 50km/h;
- ogólna poprawa stanu nawierzchni dróg i ulic;
- projektowanie dróg ze zwróceniem uwagi na:
 - rozwiązania wysokościowe względem otaczającej zabudowy - droga w wykopie, tunelu;
 - stosowanie małych pochyłości podłużnych drogi;
 - zastosowanie odpowiedniego umocnienia skarp (trawy itp.);

- stosowanie ITS (inteligentne systemy transportowe) w aglomeracjach miejskich poprzez:
 - zachęcanie kierowców do korzystania z transportu zbiorowego (bardziej ekologiczny niż samochody osobowe), budowa i promowanie urządzeń typu Park-and-Ride, zintegrowanie różnych rodzaju środków komunikacji miejskiej;
 - zarządzanie natężeniem i strukturą rodzajową ruchu oraz dostępnością infrastruktury drogowej poprzez sterowanie ruchem za pomocą znaków zmiennej treści;
 - wymuszanie dostosowywania się kierowców do obowiązującej prędkości jazdy na danym odcinku poprzez np. odcinkową kontrolę prędkości; zapewni to jednakowy styl jazdy wszystkich użytkowników drogi; wprowadzenie pojedynczego urządzenia (np. fotoradar) spowoduje reakcję wywołującą przyspieszanie za urządzeniem, co negatywnie wpłynie na poziom hałasu;
- wprowadzanie ograniczeń prędkości pojazdów na poszczególnych odcinkach dróg (np. w Białymstoku, na ulicach Piastowskiej i Baranowickiej ograniczenie prędkości dla pojazdów ciężarowych do 40 km/h w godzinach 20.00-06.00, w Niemczech na autostradach przebiegających przez tereny miejskie jest wprowadzane ograniczenie nawet do 60 km/h);
- „nauka” kierujących pojazdami dobrych manier związanych z kulturą jazdy (brak gwałtownych przyspieszeń i hamowań);
- stosowanie środków uspokojenia ruchu w obrębie osiedli mieszkalnych, czego doskonałym przykładem jest „miasteczko holenderskie” zaprojektowane i wdrożone w jednej z dzielnic Puław – możliwa redukcja hałasu do 4 dB;
- wprowadzenie na obszarze zabudowanym strefy ruchu 30 km/h – redukcja hałasu do 2 dB;
- zastosowanie ronda w miejscu skrzyżowania zwykłego –redukcja hałasu do 4 dB;
- wymiana parku samochodowego na modele nowsze, generujące mniej szkodliwych dla zdrowia dźwięków.

W obszarze imisji najpopularniejszymi i najbardziej efektywnymi metodami są [24]:

- stosowanie ekranów akustycznych w postaci ścian z materiałów pochłaniających lub rozpraszających dźwięk na drodze rozprzestrzeniania się fali dźwiękowej – metoda najskuteczniejsza przy dużych przekroczeniach dopuszczalnego poziomu dźwięku powyżej 8-10 dB(A). Ponieważ koszty budowy ekranów stanowią znaczący udział w kosztach inwestycji drogowych decyzja o ich realizacji powinna być każdorazowo oparta na szczegółowych analizach i wiarygodnych prognozach ruchu. Szczególna uwaga powinna zostać zwrócona na geometryczne parametry ekranów (kształt, długość,

szerokość), ich lokalizację w stosunku do drogi oraz zastosowane materiały i technologię wykonania [17, 25].

- stosowanie „zielonych ścian” – ekrany akustyczne porośnięte roślinnością, różnego rodzaju pasy zieleni,
- lokalizowanie w najbliższym otoczeniu dróg budynków o funkcji niemieszkalnej,
- zachowywanie wymaganych z uwagi na kryterium hałasu odległości przy lokalizowaniu budynków mieszkalnych względem drogi,
- wykonywanie budynków z ekranem akustycznym znajdującym się w niewielkiej odległości od elewacji,
- wymiana stolarki okiennej i izolacja ścian budynków.

Wymienione metody mogą jednak okazać się niewystarczające bądź niemożliwe do zastosowania. Przykładowo, z uwagi na występujące często uwarunkowania i przeszkody terenowe, możliwość zastosowania zabezpieczeń akustycznych w postaci ekranów jest bardzo ograniczona, a w wielu przypadkach niemożliwa (powodami są: bliska odległość zabudowy od jezdni, konieczność stosowania przerw w ekranie umożliwiając tym samym wyjazd z osiedli mieszkaniowych co powoduje potrzebę budowy dróg serwisowych w celu zapewnienia dojazdów do posesji, problemy z pozyskaniem gruntów lub brak miejsca pod budowę ekranów i dróg serwisowych, problemy posadowienia wysokich ekranów chroniących wysokie budynki, uzbrojenie terenu). Rozwiązaniem docelowym ochrony przed hałasem, szczególnie w miejscowościach położonych na trasach prowadzących ruch ciężarowy, powinna więc być budowa obwodnic a także budowa sieci dróg szybkiego ruchu omijających miejscowości. Dzięki przeniesieniu ruchu tranzytowego na obwodnice uzyskuje się znaczną poprawę bezpieczeństwa i warunków życia mieszkańców omijanej przez drogę miejscowości, poprzez zmniejszenie wypadkowości i redukcję hałasu. W październiku 2013 r. rząd zatwierdził załącznik nr 6 do programu budowy dróg krajowych na lata 2011 – 2015 przyjmując tym samym listę 12 obwodnic do budowy w okresie 2014 – 2020.

6. Wyniki pomiarów hałasu w otoczeniu dróg i ulic oraz ich analiza

W latach 2010 – 2013 w ramach realizowanych prac badawczych dotyczących hałasu drogowego, autorzy artykułu prowadzili m.in. badania wpływu natężenia ruchu, struktury rodzajowej i prędkości pojazdów na poziom hałasu w otoczeniu dróg na obszarach zabudowanych i poza nimi. W artykule przedstawiono wybrane rezultaty tych badań.

Analizowano wyniki pomiarów przeprowadzonych w otoczeniu drogi krajowej nr 8 na odcinku Białystok – Suwałki oraz na odcinku Białystok – Jeżewo a także w otoczeniu ulicy Św. Pio w Białymstoku. Wybór dwóch ostatnich odcinków do analiz podyktowany był zastosowanymi ekranami akustycznymi jako podstawową metodą ochrony przed hałasem. Przy pomocy programu komputerowego Traffic Noise 2008SE przeprowadzono obliczenia porównawcze poziomu dźwięku przy różnych warunkach ruchu oraz przy zastosowanych ekranach akustycznych w celu ustalenia ich wpływu na prognozowane wielkości hałasu.

6.1. Wpływ parametrów ruchu drogowego na poziom hałasu w otoczeniu dróg i ulic

W tabeli 9 przedstawiono podsumowanie wyników pomiarów równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq} przeprowadzonych w 1 h okresach pomiarowych w otoczeniu drogi krajowej nr 8 na odcinku Białystok – Suwałki na terenie zabudowy i poza nim. Wyniki uwzględniają natężenia ruchu i średnie prędkości pojazdów ogółem i pojazdów ciężarowych. Pomiary hałasu realizowano w odległości 10,0 m od krawędzi pasa ruchu na wysokości 4,0 m ponad poziomem jezdni. Wybrane odcinki pomiarowe DK8 miały przekrój poprzeczny 1/2 o szerokości pasów ruchu od 3,50 do 3,75 m, charakteryzowały się pochyleniem podłużnym mniejszym od 0,5% oraz przebiegiem na wysokości otaczającego terenu.

Tabela 9. Podsumowanie wyników pomiarów L_{Aeq} w otoczeniu DK8 na terenie zabudowy i poza nim

Rodzaj terenu	Zakres natężenia ruchu pojazdów ogółem N [P/h]	Zakres natężenia ruchu pojazdów ciężarowych N_c [P/h]	Średnia prędkość poj. osobowych V_o [km/h]	Średnia prędkość poj. ciężarowych V_c [km/h]	Zakres wartości $L_{Aeq,1h}$ [dB(A)]
teren zabudowy 2 odcinki (I-II)	290 - 1320	25 - 330	I - 55 II - 58	I - 44 II - 50	65,9 – 71,8 (5,9)
teren niezabudowany 3 odcinki (I-III)	520 - 1300	45 - 370	I - 90 II - 92 III - 96	I - 78 II - 78 III - 82	70,5 – 76,3 (5,8)

Zródło: Opracowanie własne.

W celu ustalenia zależności pomiędzy zmierzonymi parametrami ruchu a równoważnym poziomem dźwięku przeprowadzono analizę regresji wielorakiej, która wykazała silne związki poziomu hałasu z natężeniem ruchu pojazdów oraz średnimi prędkościami pojazdów osobowych i pojazdów ciężarowych. Dla odcinków znajdujących się poza obszarem zabudowy otrzymano zależność:

$$L_{Aeq} = 24,469 + 9,356 \cdot \log N + 9,576 \cdot U_c + 0,208 \cdot V_o, \text{ [dB]} \quad (5)$$

przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,978$ i standardowym błędzie estymacji $S_e = 0,379$

gdzie: N – natężenie ruchu pojazdów ogółem [P/h],

U_c – udział w ruchu pojazdów ciężarowych [%],

V_o – prędkość pojazdów osobowych [km/h].

Dla odcinków znajdujących się na obszarze zabudowy w wyniku przeprowadzonej analizy regresji wielorakiej, uzyskano następującą zależność:

$$L_{Aeq} = 27,926 + 10,584 \cdot \log N + 12,821 \cdot U_c + 0,153 \cdot V_c, \text{ [dB]} \quad (6)$$

przy współczynniku determinacji $R^2 = 0,923$ i standardowym błędzie estymacji $S_e = 0,584$

gdzie: V_c – prędkość pojazdów ciężarowych [km/h],

pozostałe oznaczenia jw.

Wszystkie zmienne w przypadku równań 5 i 6 są statystycznie istotne ($\alpha = 0,05$). Brak wpływu prędkości pojazdów ciężarowych na wartość L_{Aeq} na drogach zamiejskich należy tłumaczyć małymi różnicami w prędkościach z jakimi poruszają się te pojazdy (wartości niemal stałe). Na terenie zabudowanym przy płynnym ruchu pojazdów i ograniczeniu prędkości do wartości dopuszczalnych, małe różnice pomiędzy prędkościami pojazdów osobowych zdecydowały o braku wpływu tego czynnika na wartość równoważnego poziomu dźwięku. Prawidłowości te potwierdzają wyniki uzyskane przez innych badaczy [11].

6.2. Wpływ parametrów ruchu drogowego i ekranów akustycznych na poziom hałasu w otoczeniu dróg i ulic

Analizę wpływu parametrów ruchu drogowego oraz zastosowanych ekranów akustycznych na poziom hałasu w otoczeniu dróg na obszarach zabudowanych i poza nimi przeprowadzono na podstawie pomiarów wykonanych w otoczeniu drogi krajowej nr 8 na odcinku Białystok – Jeżewo a także w otoczeniu ulicy Św. Pio w Białymstoku. Wybrane odcinki pomiarowe mają przekrój poprzeczny dwujezdniowy (2/2) z pasem dzielącym o szerokości odpowiednio 4,0 m i 12,0 m. Szerokości pasów ruchu wynoszą po 3,5 m. Na obu jezdniach DK 8 występują również pasy awaryjne o szerokości 2,5 m.

W otoczeniu drogi krajowej nr 8 wyznaczono trzy przekroje pomiarowe: dwa przekroje w miejscu istniejących ekranów akustycznych, jeden – w terenie otwartym:

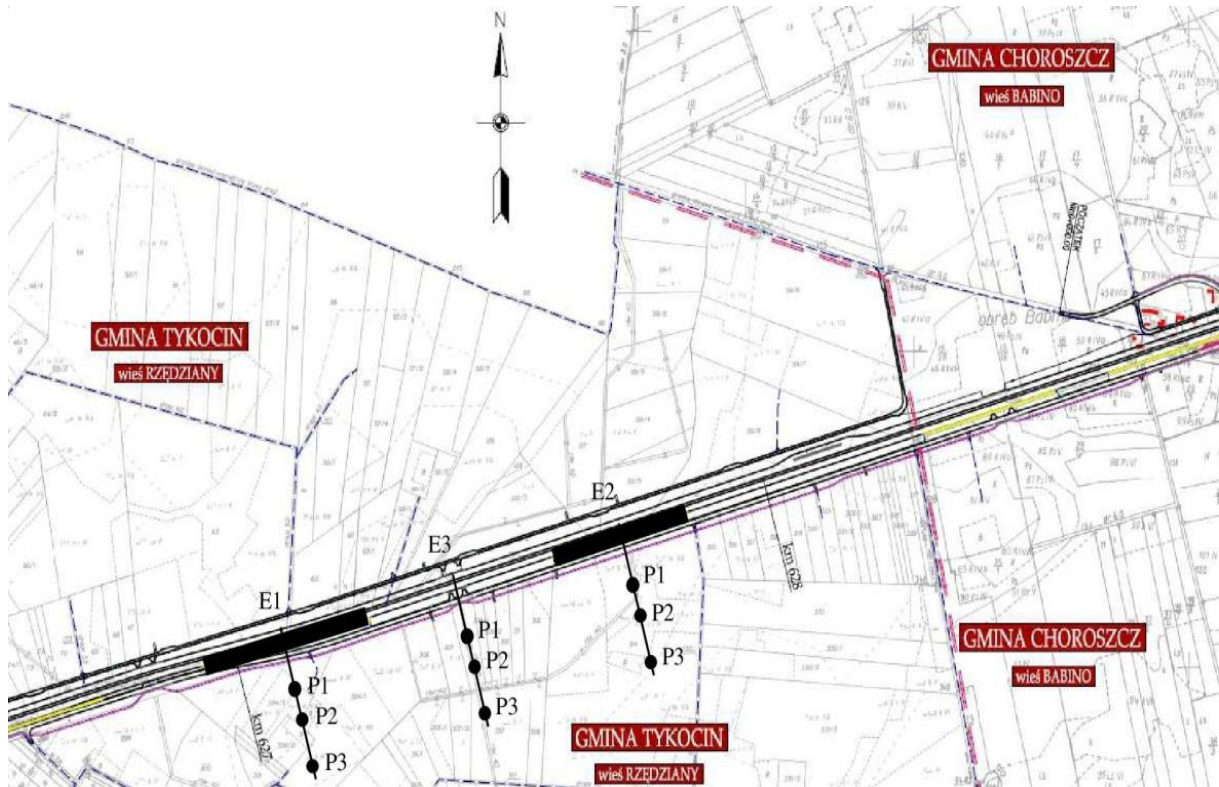
- przekrój E1 – DK8, km 627+090, wysokość ekranu 4,7 m;

- przekrój E2 – DK8, km 627+720, wysokość ekranu 2,7 m;
- przekrój E3 – DK8, km 627+425, przekrój porównawczy.

Punkty pomiarowe zostały zlokalizowane w odległości 10,0 m (P1), 25,0 m (P2) i 50,0 m (P3) za ekranami (odpowiednio 14,2 m, 29,2 m, 54,2 m od krawędzi zewnętrznego pasa ruchu), na wysokości 1,2 m ponad nawierzchnią drogi. Na rysunkach 9 i 10 przedstawiono fotografie przekrojów i punktów pomiarowych oraz ich lokalizację w planie.



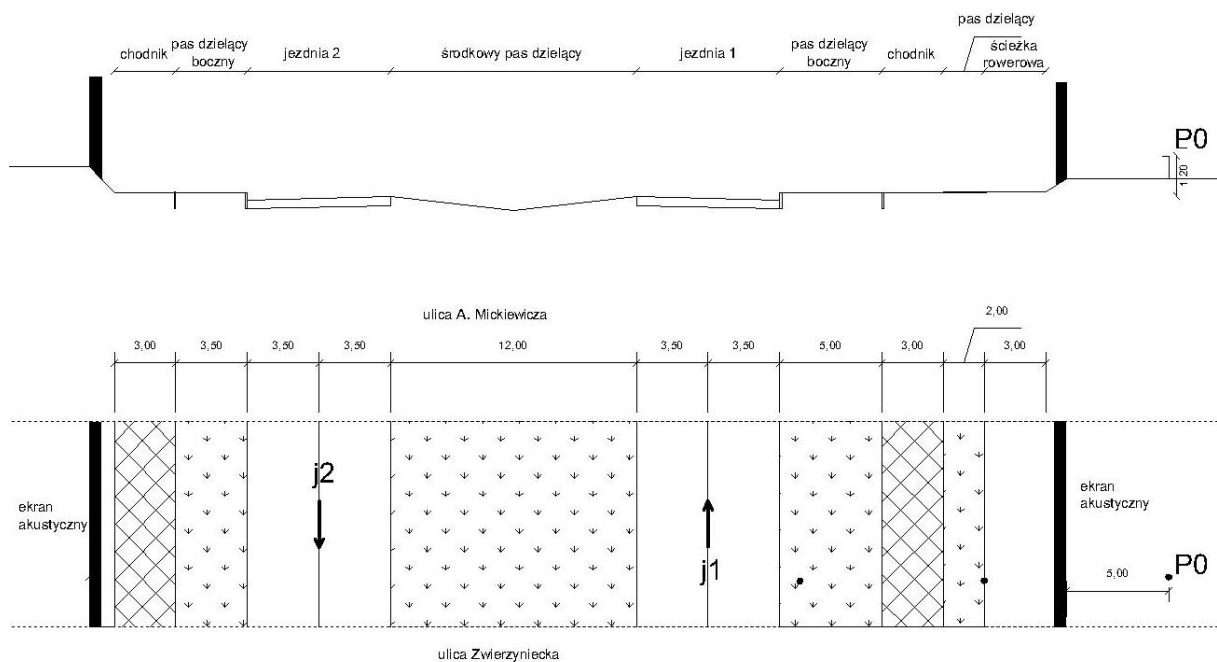
Rysunek 9. Przekroje pomiarowe w otoczeniu DK 8: a), b) przekrój E-1 (ekran 4,7m); c), d) przekrój E-3 (bez ekranu); e), f) przekrój E-2 (ekran 2,7m) – mikrofony na wysokości 1,2m nad nawierzchnią drogi
 Źródło: Opracowanie własne.



Rysunek 10. Lokalizacja przekrojów i punktów pomiarowych w planie w otoczeniu drogi krajowej nr 8

Źródło: Opracowanie własne na podstawie: *Zaprojektowanie i rozbudowa drogi krajowej nr 8 do parametrów drogi ekspresowej na odcinku Jezewo-Białystok km 614+850 - km 639+365. Projekt wykonawczy. Transprojekt Gdański sp. z o.o., 2010.*

W otoczeniu ulicy Św. Pio (przekrój S) został zlokalizowany jeden punkt pomiarowy (P0) w odległości 5,0 m za ekranem akustycznym (wysokość ekranu 5,0 m) na wysokości 1,2 m ponad nawierzchnią jezdni (rysunek 11 i 12).



Rysunek 11. Schemat przekroju ulicy Św. Pio z umiejscowieniem punktu pomiarowego P0

Źródło: Opracowanie własne.



Rysunek 12. Widok punktu pomiarowego P0 położonego 5m za ekranem przy ulicy Św. Pio

Źródło: Opracowanie własne.

W ramach badań przeprowadzonych w otoczeniu obu odcinków drogi i ulicy dla 1-godzinnych okresów pomiarowych ustalono wartości L_{Aeq} , natężenia ruchu oraz średnich prędkości chwilowych przejeżdżających pojazdów osobowych (V_o) i ciężarowych (V_c). Wyniki pomiarów przedstawiono w tabelach 10 i 11. Należy zwrócić uwagę, że z uwagi na znaczenie funkcjonalne i lokalizację analizowanych odcinków, charakteryzują się one zdecydowanie różnym procentowym udziałem pojazdów ciężarowych (30-40% dla drogi, 3% dla ulicy) oraz różnymi średnimi prędkościami pojazdów.

Tabela 10. Wyniki pomiarów L_{Aeq} przeprowadzonych w otoczeniu drogi krajowej nr 8

Przekrój	Q_{j1} [P/h]	$\%C_{j1}$	Q_{j2} [P/h]	$\%C_{j2}$	V_o [km/h]	V_c [km/h]	P1 [dB(A)]	P2 [dB(A)]	P3 [dB(A)]
E1	514	38%	434	30%	95	82	57,5	57,5	56,3
E2	598	36%	546	24%	95	82	60,3	59,0	56,9
E3	496	43%	483	32%	95	82	70,3	65,9	61,9

Źródło: Opracowanie własne.

Tabela 11. Wyniki pomiarów L_{Aeq} przeprowadzonych w otoczeniu ulicy Św. Pio w Białymstoku

Przekrój	Q_{j1} [P/h]	$\%C_{j1}$	Q_{j2} [P/h]	$\%C_{j2}$	V_o [km/h]	V_c [km/h]	P0 [dB(A)]
S	654	3%	678	3%	60	52	51,3

Źródło: Opracowanie własne.

W celu ustalenia wpływu parametrów ruchu na poziom hałasu przeprowadzono obliczenia porównawcze z wykorzystaniem programu komputerowego Traffic Noise 2008SE, który służy do prognozowania hałasu drogowego dla dróg miejskich i pozamiejskich.

Metodyka obliczeniowa programu opiera się o tzw. tymczasowy model obliczeniowy zgodny z francuską krajową metodą obliczeniową „NMPB-Routes-96”, do której odnosi się francuska norma „XPS 31-133”. Metodyka ta jest zalecaną w Dyrektywie 2002/49/EU do stosowania w krajach członkowskich Unii Europejskiej.

Prognozowanie poziomu hałasu w sieci punktów pomiarowych odbywa się na podstawie znajomości parametrów geometrycznych źródeł hałasu oraz ich mocy akustycznej określonej w sposób teoretyczny na podstawie danych charakteryzujących odcinek drogi. Można w ten sposób określić równoważny poziom dźwięku w wybranym punkcie na podstawie wiedzy o położeniu odcinków drogi, charakterystyce ruchu drogowego, charakterystyce otaczającego terenu, uwzględniając zjawiska ekranowania przez ekrany naturalne, urbanistyczne i różnego rodzaju zabudowę. Wyniki uzyskane w programie mogą być również przedstawiane w postaci graficznej jako mapy przebiegu izofon.

W programie Traffic Noise 2008SE zamodelowano układy odpowiadające sytuacjom rzeczywistym w badanych przekrojach pomiarowych z uwzględnieniem występujących wykopów i nasypów, rodzajów gruntu, występującej zabudowy, zieleni i ekranów akustycznych. W pierwszym etapie analiz przeprowadzono obliczenia przy charakterystyce ruchu odpowiadającej pomiarom rzeczywistym. W tabeli 12 przedstawiono zestawienie wyników rzeczywistych pomiarów hałasu (P0, P1, P2, P3) z wynikami obliczeń otrzymanymi z TN 2008SE (P0', P1', P2', P3') (w nawiasach podano różnice pomiędzy wynikami rzeczywistych pomiarów L_{Aeq} a prognozowanymi wartościami uzyskanymi w obliczeniach).

Tabela 12. Zestawienie wyników rzeczywistych pomiarów równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq} z prognozowanymi wartościami uzyskanymi w programie TN 2008SE

Punkt / przekrój pomiarowy	Pomiary rzeczywiste				Wartości prognozowane w TN 2008SE (różnica względem pomiaru rzeczywistego)			
	P0 [dB(A)]	P1 [dB(A)]	P2 [dB(A)]	P3 [dB(A)]	P0' [dB(A)]	P1' [dB(A)]	P2' [dB(A)]	P3' [dB(A)]
E1	-	57,5	57,5	56,3	-	57,3 (-0,2)	56,9 (-0,6)	56,1 (-0,2)
E2	-	60,3	59,0	56,9	-	61,9 (1,6)	59,9 (0,9)	57,9 (1,0)
E3	-	70,3	65,9	61,9	-	71,1 (0,8)	67,7 (1,8)	64,4 (2,5)
S	51,3	-	-	-	53,0 (1,7)	-	-	-

Zródło: Opracowanie własne.

Na podstawie prognozowanych wyników L_{Aeq} uzyskanych w programie (tabela 12) stwierdzono, że są one zbliżone do wartości uzyskanych w pomiarach rzeczywistych a największe różnice wynoszą około 2,0 dB(A) i mieszczą się w granicach błędu.

W kolejnym etapie analiz sprawdzono wpływ parametrów ruchu drogowego tj.: natężenia ruchu, udziału pojazdów ciężarowych oraz prędkości pojazdów na poziomy hałas w otoczeniu rozpatrywanych odcinków drogi i ulicy. W każdym z przekrojów pomiarowych przeprowadzono obliczenia dla sześciu różnych sytuacji ruchu drogowego (warianty):

- W0: parametry ruchu przyjęte z pomiarów rzeczywistych;
- W1: dwukrotne zwiększenie natężeń Q_{j1} (natężenie ruchu na jezdni położonej bliżej ekranów akustycznych) i Q_{j2} (natężenie ruchu na jezdni położona dalej od ekranów akustycznych), przy jednoczesnym dwukrotnie mniejszym udziale pojazdów ciężarowych w ruchu;
- W2: dwukrotne zwiększenie natężeń Q_{j1} i Q_{j2} przy zachowaniu wyjściowego udziału pojazdów ciężarowych w ruchu;
- W3: zmniejszenie prędkości V_o (średnia prędkość pojazdów osobowych) i V_c (średnia prędkość pojazdów ciężarowych) o 10 km/h;
- W4: zwiększenie prędkości V_o i V_c o 10 km/h (w przypadku odcinka poza terenem zabudowanym V_c do maksimum 90 km/h);
- W5: dwukrotne zwiększenie natężenia Q_{j1} przy zachowaniu wyjściowego udziału pojazdów ciężarowych w ruchu;
- W6: trzykrotne zwiększenie natężenia Q_{j1} przy zachowaniu wyjściowego udziału pojazdów ciężarowych w ruchu.

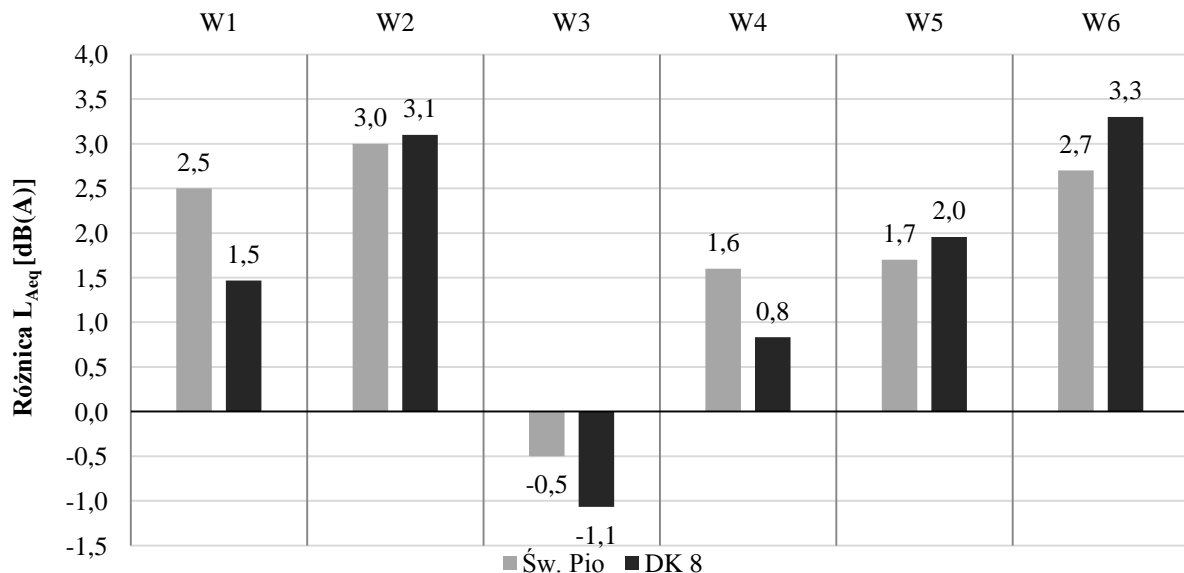
Wyniki przeprowadzonych obliczeń przedstawiono w tabeli 13.

Tabela 13. Zestawienie prognozowanych wartości równoważnego poziomu dźwięku L_{Aeq} dla przyjętych w analizie wariantów W1 – W8 sytuacji ruchu drogowego na DK 8 i ulicy Św. Pio

Punkt i przekrój pomiarowy \ wariant	P0 [dB(A)]	P1 [dB(A)]			P2 [dB(A)]			P3 [dB(A)]		
	S	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
W0	53,0	57,2	61,9	71,1	56,8	59,9	67,7	56,0	57,9	64,4
W1	55,5	58,8	63,4	72,4	58,4	61,4	69,0	57,6	59,4	65,7
W2	56,0	60,5	64,9	74,1	60,1	62,9	70,7	59,3	60,9	67,4
W3	52,5	56,2	60,8	70,0	55,8	58,8	66,6	55,0	56,8	63,3
W4	54,6	58,1	62,7	71,9	57,7	60,7	68,5	56,9	58,7	65,2
W5	54,7	59,3	63,8	73,3	58,8	61,6	69,7	58,1	59,6	66,3
W6	55,7	60,7	65,2	74,7	60,1	62,8	71,1	59,5	60,9	67,6

Źródło: Opracowanie własne.

W oparciu o uzyskane wyniki obliczeń, na rysunku 13 przedstawiono różnice wartości L_{Aeq} pomiędzy wariantem W0 (parametry ruchu odpowiadające wynikom z pomiarów rzeczywistych) a wariantami W1 – W6 (założone parametry ruchu) dla odcinków poza terenem zabudowanym (DK 8, odcinek Białystok – Jeżewo, wartość uśredniona z punktów P1, P2 i P3) i na terenie zabudowanym (ulica Św. Pio – punkt P0).

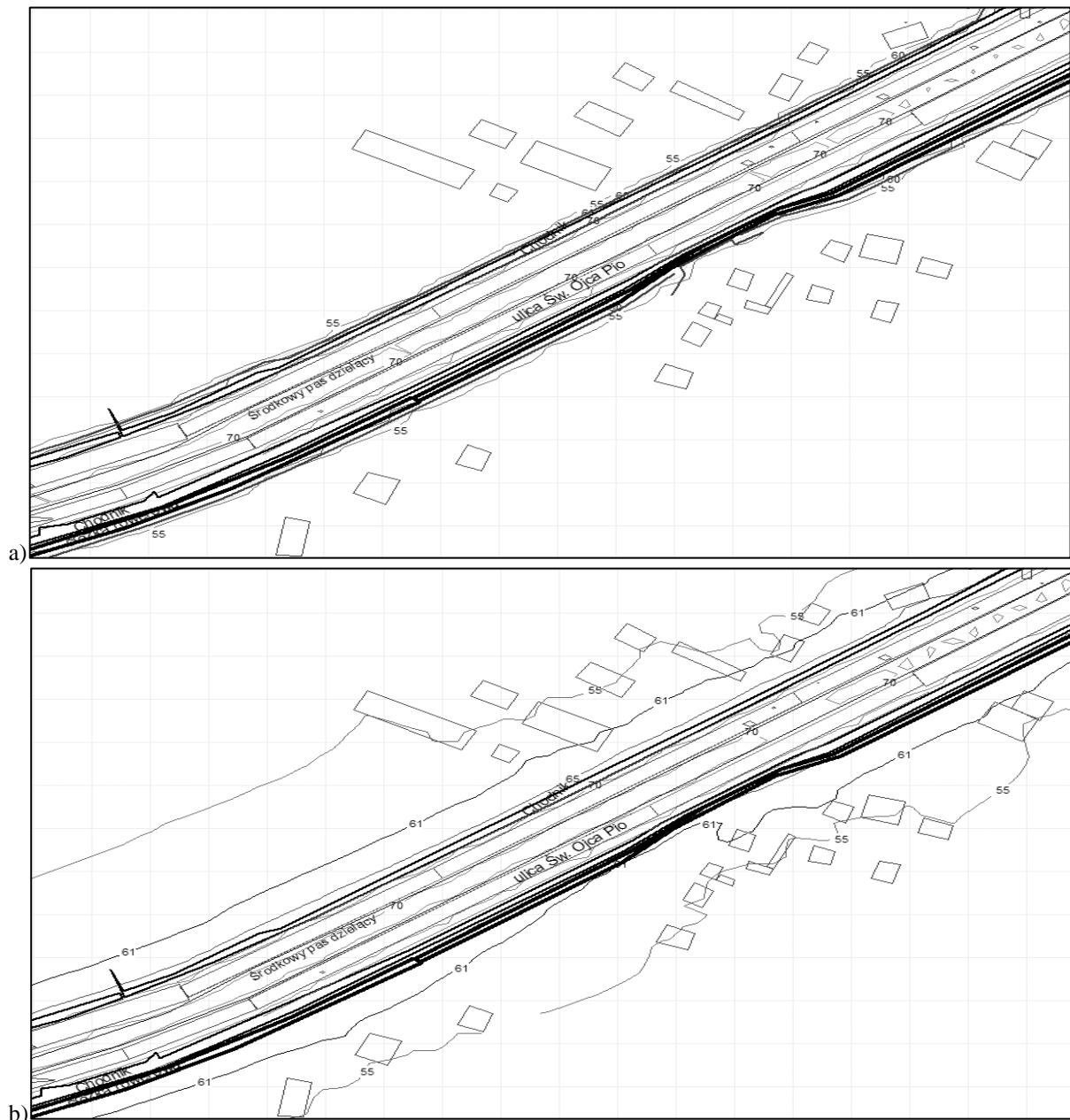


Rysunek 13. Różnice w poziomach hałasu pomiędzy wariantem W0 a pozostałymi wariantami W1 – W6 ustalonymi dla ulicy Św. Pio i DK 8

Źródło: Opracowanie własne.

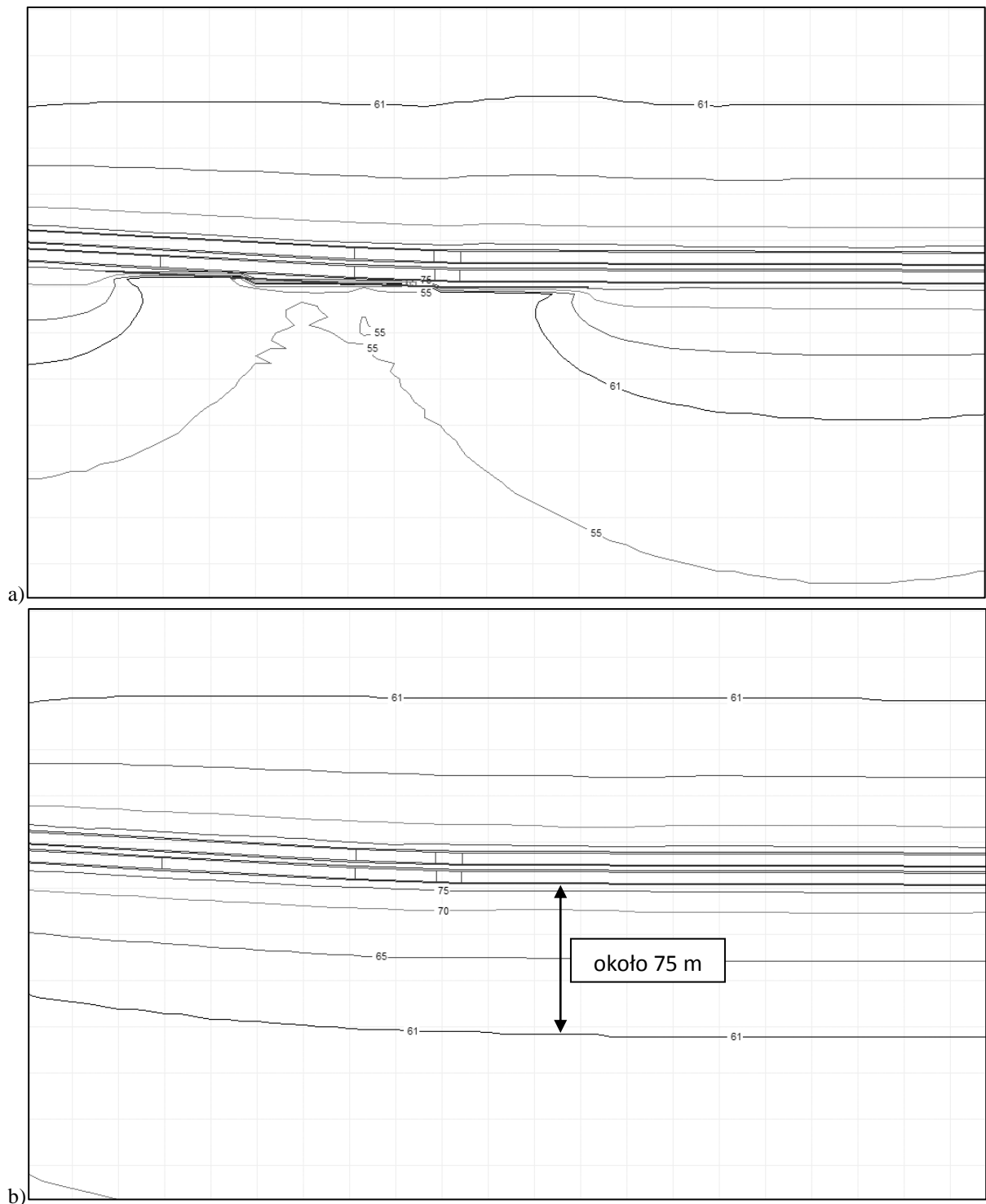
W obu przypadkach odcinków drogi i ulicy odnotowano zbliżony wzrost poziomu hałasu odpowiednio o około 3 dB(A) przy dwukrotnym zwiększeniu natężenia ruchu z zachowaniem wartości udziału procentowego pojazdów ciężarowych (W2). Przy dwukrotnym wzroście natężenia ruchu oraz jednocześnie dwukrotnie mniejszym udziale pojazdów ciężarowych (W1 – liczba pojazdów ciężarowych taka sama jak w wariantcie W0) poziom hałasu w otoczeniu ulicy wzrósł o 2,5 dB(A) natomiast w otoczeniu drogi o 1,5 dB(A). W przypadku zmniejszenia średniej prędkości pojazdów o 10 km/h (W3) poziom hałasu obniżył się o 0,5 dB(A) w przekroju na ulicy Św. Pio i o 1,1 dB(A) na DK 8. Wprowadzenie dopuszczalnej prędkości 40 km/h na terenie zabudowanym z niskim udziałem pojazdów ciężarowych nie wpłynie więc znacząco na obniżenie poziomu hałasu (pomimo istotnego zwiększenia bezpieczeństwa ruchu drogowego). Z kolei zwiększenie prędkości o 10 km/h (W4) spowodowało wzrost o 1,6 dB(A) poziomu hałasu na odcinku analizowanej ulicy oraz o 0,8 dB(A) na DK 8. Dwu- i trzykrotne zwiększenie natężenia ruchu pojazdów na jezdni położonej bliżej ekranu akustycznego (W5 i W6) przyczyniło się do zwiększenia poziomu hałasu o około odpowiednio 2 i 3 dB(A).

W ramach analiz klimatu akustycznego występującego w otoczeniu odcinków pomiarowych autorzy zdecydowali się na przeprowadzenie obliczeń sprawdzających wielkość redukcji poziomów hałasu uzyskanych przy zastosowanych ekranach akustycznych (nie brano pod uwagę materiału z jakiego zostały wykonane ekrany; przyjęta wartość współczynnika odbicia $\beta = 0,6$). W tym celu przeprowadzono obliczenia porównawcze przy parametrach ruchu W0 z ekranami akustycznymi i bez ekranów akustycznych. Rezultaty obliczeń zostały przedstawione w postaci przebiegu izofon w otoczeniu analizowanych odcinków drogi i ulicy – rysunki 14 i 15.



Rysunek 14. Przebieg izofon w otoczeniu ulicy Św. Pio w porze dnia – a) sytuacja z ekranami akustycznymi, b) sytuacja bez ekranów akustycznych

Źródło: Opracowanie własne.



Rysunek 15. Przebieg izofon w otoczeniu drogi krajowej nr 8 w porze dnia – a) sytuacja z ekranami akustycznymi, b) sytuacja bez ekranów akustycznych

Źródło: Opracowanie własne.

Na podstawie przedstawionych rysunków przebiegu izofon można stwierdzić, że ekrany akustyczne znacznie poprawiają klimat akustyczny w otoczeniu dróg na terenie zabudowanym jak i poza nim. W przypadku ulicy Św. Pio (zabudowa jednorodzinna) żaden budynek mieszkalny nie jest narażony na ponadnormatywny poziom hałasu w ciągu dnia. Analizując sytuację bez ekranów zauważono, że do części zabudowy mieszkalnej dociera

hałas przewyższający poziom 61,0 dB(A). Ekran akustyczny zlokalizowany w ciągu drogi krajowej nr 8 powoduje obniżenie poziomu hałasu na całej szerokości swojego oddziaływania poniżej wartości 61,0 dB(A). Likwidując ekran akustyczny, najbliższa zabudowa nienarażona na poziom hałasu wyższy niż dopuszczalne w tej sytuacji 61 dB(A) w ciągu dnia, powinna być zlokalizowana co najmniej 75 m od krawędzi jezdni.

7. Wnioski

Hałas drogowy jest jednym z głównych problemów w ochronie środowiska. Z uwagi na bardzo duży wpływ na życie i zdrowie ludzi, generuje on znaczne koszty społeczne (szacowane na 0,4% PKB UE) i gospodarcze, takie jak spadek cen nieruchomości i obniżenie wydajności pracowników. Z tych powodów w Unii Europejskiej oraz w innych krajach świata podejmuje się liczne działania zmierzające do obniżenia negatywnego wpływu hałasu na środowisko. Rozwój sieci drogowej i szybki przyrost liczby pojazdów wynikające ze wzrostu znaczenia transportu drogowego w Polsce i na świecie powodują jednak, że problem hałasu drogowego ciągle narasta. Dodatkowe czynniki, które szczególnie w Polsce jeszcze bardziej pogłębiają ten problem to: brak hierarchizacji dróg i przebieg dróg tranzytowych przez obszary ścisłej zabudowy, brak strefowania akustycznego i bliska odległość zabudowy mieszkalnej od dróg a także zły stan techniczny i znaczny wiek wielu pojazdów. Wymienione czynniki są skutkiem złych przepisów i błędnego planowania przestrzennego, które często w dość ogólnym stopniu odnoszą się do problemu hałasu.

Poziom hałasu drogowego zależy głównie od: parametrów i warunków ruchu drogowego, prędkości pojazdów, charakterystyki nawierzchni drogowej, geometrii i przekroju poprzecznego drogi oraz ukształtowania otaczającego terenu. Wymienione czynniki, z uwagi na odmienny wpływ i charakter, powodują potrzebę stosowania różnych rozwiązań ochronnych w obszarach emisji, propagacji i imisji dźwięku. Do najpowszechniejszych metod ochrony przeciwhałasowej należą ekrany akustyczne lecz na podkreślenie zasługują również działania z zakresu inżynierii ruchu drogowego i planowania przestrzennego, które również w znacznym stopniu mogą przyczynić się do obniżenia nadmiernego hałasu. Coraz częściej stosowane są również tzw. „ciche” nawierzchnie. Ich poprawne wykonanie i eksploatacja mogą przyczynić się do uzyskania redukcji hałasu nawet o kilka decybeli.

Na podstawie analizy wyników pomiarów przedstawionych w artykule stwierdzono istotny wpływ prędkości i udziału pojazdów ciężarowych w ruchu na równoważny poziom dźwięku na terenie zabudowanym. Poza terenem zabudowanym istotny wpływ na wartość

L_{Aeq} ma średnia prędkość pojazdów osobowych oraz udział pojazdów ciężarowych w ruchu. Obliczenia przeprowadzone z wykorzystaniem programu Traffic Noise 2008SE pozwalają stwierdzić, że przy dwukrotnym zwiększeniu natężenia ruchu poziom hałasu wzrasta o około 3 dB(A). Obniżenie prędkości o 10 km/h powoduje spadek poziomu hałasu w otoczeniu ulicy i drogi odpowiednio o 0,5 i 1,1 dB(A). Przy wzroście prędkości o 10 km/h poziom hałasu zwiększa się na terenie zabudowanym o 1,6 dB(A), a poza terenem zabudowanym o 0,8 dB(A). Ekran akustyczny zastosowany wzdłuż ulicy Św. Pio przyczyniają się do znacznej poprawy klimatu akustycznego w jej otoczeniu – żaden budynek mieszkalny nie jest narażony na ponadnormatywny hałas. Przeprowadzone analizy dowiodły, że w przypadku braku tych ekranów część zabudowy jednorodzinnej narażona byłaby na poziomy dźwięku przewyższające dopuszczalną wartość w porze dnia 61 dB(A). Ekran akustyczny zastosowany wzdłuż drogi krajowej nr 8 na odcinku Białystok – Jeżewo również spełniają swoje zadanie a ich brak, w przypadku otwartego terenu, spowodowałby przebieg izofony 61 dB(A) w odległości około 75 m od krawędzi jezdni (wymagana dopuszczalna wartość w porze dnia na granicy działki). Powoduje to konieczność lokalizowania zabudowy jednorodzinnej nie bliżej niż określona odległość od krawędzi jezdni lub tak jak w przypadku analizowanego odcinka drogi – stosowanie zabezpieczeń w postaci ekranów akustycznych.

Literatura:

1. *Environmental Burden of Disease in Europe (EBoDE) – the final report of project*, źródło: <http://en.opasnet.org/w/Ebode>;
2. *Report from the commission to the European Parliament and The Council on the implementation of the Environmental Noise Directive in accordance with Article 11 of Directive 2002/49/EC*, COM(2011) 321 final, European Commission, Brussels, 2011;
3. *Noise. Data and statistics*, źródło: <http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/noise/data-and-statistics>;
4. *Health and Environment in Europe: Progress Assessment*. EUR/55934/BD/1, WHO 2010
5. Maranda K.: *Mapy akustyczne dróg krajowych*. Magazyn Autostrady, 1-2/2008, s. 37-41;
6. *Raport o stanie środowiska w Polsce 2008*. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Warszawa, 2010;
7. Kirpluk M.: *Podstawy akustyki*, NTL-M.Kirpluk, Warszawa, 2012;
8. *Podstawowe pojęcia i wielkości mające zastosowanie w państwowym monitoringu środowiska*, źródło: <http://www.ios.edu.pl/bh/wskazniki.htm>;
9. Bohatkiewicz J., Biernacki S.: *Aktualne problemy związane z hałasem drogowym*, w: *Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej*. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Lublin, 2011, s. 38-47;
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1.10.2012 r. *zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku* (Dz. U. z 2012 r. poz. 1109);
11. Gardziejczyk W.: *Wpływ technologii wykonania i tekstury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych*. Politechnika Białostocka. Rozprawy naukowe Nr 121. Białystok, 2005;
12. Opoczyński K.: *Wyniki pomiarów ruchu w 2010 roku na drogach krajowych*. Drogownictwo, 7-8/2011, s. 219-225;
13. Bendtsen H. i inni: *Integration of low-noise pavements with other noise abatement measures. Silvia project deliverable*; European Commission DG TREN-GROWTH, 2005;
14. Kragh J., Andersen B., Bendtsen H.: *Acoustic Performance: Low Noise Road Pavements*, Vejdirektoratet. Vejteknisk Institut, 2006;
15. Bendtsen H., Larsen H. J. E.: *Traffic Management and Noise*, Road Directorate, Danish Road Institute, 2007;

16. Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M.: *Klimat akustyczny w otoczeniu ulic prowadzących ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych* – rozdział monografii: *Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka*, Zakopane, 2013, s. 69-86;
17. Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M.: *Ekrany akustyczne – analiza ich skuteczności na wybranych przykładach*. Magazyn Autostrady, 12/2011, s. 38-45;
18. Andersen B.: *Støjundersendelse fra biler på vejnettet. Kgs. Lyngby*. Danish Transport Research Institute. Report 2. 2003;
19. Bohatkiewicz J.: *Badania wpływu zmian parku samochodowego na poziom emisji hałasu drogowego*, w: *Ochrona środowiska i estetyka a rozwój infrastruktury drogowej*. Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Lublin, 2011, s. 26-37;
20. Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M.: *Nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości na polskich drogach – wyniki badań hałasu toczenia pojazdów samochodowych*. Drogownictwo, 12/2012, s. 387-392;
21. Gardziejczyk W.: *Przegląd i analiza porównawcza metod badania hałaśliwości nawierzchni drogowych*. Magazyn Autostrady, 1-2/2011, s. 24-35;
22. <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=265790&page=29&langid=5>;
dostęp: 25.02.2014 r.;
23. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. *Prawo ochrony środowiska* (Dz. U. z 2013 r. poz. 1232 z późn. zm.);
24. Bohatkiewicz J.: *Metody ograniczania hałasu*. Portal drogowy e-droga.pl, 30.03.2007r.
Źródło: <http://edroga.pl/ochrona-srodowiska/projektowanie/59-metody-ograniczania-halasu>;
25. Buczek P.: *Analiza potrzeb ekranowania przy wzroście natężenia ruchu*, Magazyn Autostrady, 6/2011, s. 34-39.