

Tabela 5. Wdrażanie wariantów rozwoju układu autostrad

Lp.	Wyszczególnienie	Warianty			
		w_a	w_0	w_1	w_2
1.	Model układu	model D	model N	model R	model W
2.	Stan obecny w km	700	700	700	700
3.	Stan w 2035 r. w km	2000	3300	5000	7000
4.	Koszt budowy w mld zł	13	26	43	53
5.	Tryb realizacji	publ.	publ.+PPP	PPP	PPP
6.	Struktura środków: publ.-prywat.	100	85:15	65:35	57:43
7.	Zmiana skali środków ogółem	100	200	330	410
8.	Sposób realizacji	odcinkowy	odcinkowy	rusztowy	rusztowy
9.	Stopień realizacji modelu	0,7	0,8	0,7	0,8
10.	Wzrost środków publicznych	100	169	215	230

Źródło: Opracowanie własne

tów w_1 i w_2 konieczne jest więc wykorzystanie środków pochodzących z sektora prywatnego. Konieczne jest zastosowanie mechanizmu partnerstwa publiczno-prywatnego (ppp). Oznaczałoby to, że każdy z partnerów: publiczny i prywatny, sfinansowałby budowę autostrad o długości około 2 tys. km. Efekty finansowe z łączonego przyrostu około 4 tys. km autostrad (wariant w_2), powinny być naliczane na rzecz partnera prywatnego. Umożliwiłoby to skrócenie okresu partnerstwa. Byłby to czynnik mobilizujący kapitał prywatny do angażowania się do budowy autostrad. Bez tego typu motywowania trudno oczekiwać na znaczący udział kapitału prywatnego w realizacji programu budowy autostrad. Partner publiczny uzyskiwałby pełne korzyści po skróconym okresie zwrotu dla partnera prywatnego. Natomiast w trakcie okresu zwrotu, korzyści dla partnera publicznego nosiłby charakter niefinansowy. Polegałyby one na uzyskanym efekcie rzeczowym, czyli na wybudowanym układzie. Po okresie zwrotu dla partnera prywatnego korzyści przechodzące na rzecz partnera publicznego umożliwiłyby z jednej strony na podnoszenie stanu utrzymania, a z drugiej strony możliwe by było zmniejszanie wielkości pobieranych opłat. Opłaty te mogłyby być ustalane na pozio-

mie zapewniającym pokrycie jedynie kosztów utrzymania.

Należy też tu przypomnieć, że model N układu autostrad odpowiada wariantowi w_0 . Model R układu autostrad odpowiada wariantowi w_1 . Natomiast model W układu autostrad odpowiada wariantowi w_2 . Obecnie realizowany jest wariant w_a . Odpowiada mu model D układu autostrad. Zwiążą charakterystykę wdrażania czterech wariantów rozwoju: w_a ; w_0 ; w_1 i w_2 przedstawiono w tabeli 5. Wdrażanie wariantu w_0 wymaga, w porównaniu z wariantem w_a , podwojenia wielkości środków. Natomiast realizacja wariantów w_1 i w_2 wymaga, w porównaniu z wariantem

w_a , odpowiednio potrójenia i czterokrotnego zwiększenia środków.

Podsumowanie

Występuje potrzeba określania przyszłego układu dotyczącego autostrad w Polsce. W tym celu może być pomocne, po jego adaptacji, zastosowanie podejścia strategicznego. W podejściu tym można wykorzystać modelowanie, które ułatwia określenie prognozowanych wariantów rozwoju układu autostrad. Wybór wariantu rozwoju powinien być dokonywany w oparciu o analizę wielokryterijną.

Podejście strategiczne dzieli się na fazy, które wymagają dostosowania do specyfiki analizowanego problemu. W podejściu tym stosuje się dodatkowo modelowanie układu i ustala się kryteria wyboru wariantów rozwoju. Wykorzystuje się możliwość równoczesnego stosowania kilku metod analizy i diagnozy. Z użytych metod analizy wynika, że należy budować autostrady z maksymalnym natężeniem. W związku z tym, iż nie są w Polsce znane cele dla rozwoju autostrad, stąd należy autostrady kształtować pod kątem maksymalizacji do nich dostępu. Są dwie ścieżki dotyczące wdrażania, dotyczące zrealizowania mniejszej lub większej długości autostrad.



DAMIAN BĘBEN

Politechnika Opolska
d.beben@po.opole.pl

Hałas wokół szlaków transportowych

Pojęcie hałasu nie ma jednej, precyzyjnej definicji. Na przykład Z. Engel podaje, że: „*hałasem są wszelkie niepożądane, nieprzyjemne, dokuczliwe lub szkodliwe drgania ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz elementy organizmu*

człowieka” [4]. Negatywny wpływ hałasu na przyrodę zależy od poziomu (głośności) dźwięku, jego częstotliwości, ciągłości lub nieciągłości, czasu trwania, a także subiektywnej oceny człowieka, uzależnionej od jego indywidualnej wrażliwości. Jednostką podstawową poziomu głośności jest bel [B], jednak jednostka ta okazała się zbyt duża i przyjęło się używanie

jednostki uzależnionej od częstotliwości fali dźwiękowej, tj. od poziomu głośności (natężenia słyszalnego), wyrażonej w skali logarymicznej w decybelach (dB). Dla ścisłości należy dodać, że jednostką poziomu głośności jest fon, który odpowiada natężeniu dźwięku o częstotliwości 1000 Hz, odpowiadający jednostce dB (A) [10]. Jednostkę tą stosuje się zwłaszcza w tych dziedzinach, w których mamy do czynienia z detekcją lub pomiarem wpływu sygnału czy zjawiska na układy biologiczne (głośność, moc akustyczna, stopień wzmocnienia sygnału, itp.), reagujące na sygnały zgodnie z prawem Webera-Fechnera, czyli w sposób nieliniowy.

Hałas jest prawdziwym intruzem, który oddziałuje na organizmy żywe. Jego głównym źródłem są różnego rodzaju trasy komunikacyjne, znajdujące się w bliskim sąsiedztwie zabudo-

wy mieszkaniowej i terenów chronionych. W tym przypadku hałas transportowy ma dwa podstawowe źródła: praca napędu pojazdu i toczące się koła. Przy małych prędkościach przevažą hałas od napędu, natomiast przy dużych hałas pochodzący od kół. Hałas od kół związany jest ze zjawiskami mechanicznymi i aerodynamicznymi. Są to między innymi drgania, adhezja opon i turbulencje powietrza [12].

Skutków hałasu transportowego doświadczamy każdego dnia w miejscu zamieszkania, w miejscu pracy czy też na terenach rekreacyjno-wypoczynkowych. Wszystkie elementy związane z hałasem, pochodzącym od ruchu transportowego, zdecydowanie wpływają na obniżenie komfortu naszego życia i są niewątpliwie zjawiskami uciążliwymi, powodującymi negatywne konsekwencje dla naszego zdrowia fizycznego i psychicznego.

Hałas ma pewną specyfikę w porównaniu z innymi szkodliwymi emisjami wprowadzanymi do środowiska, np. do powietrza atmosferycznego, które mogą ujemnie wpływać na otoczenie. O następstwach uciążliwości akustycznej można mówić wówczas, gdy na obszarze oddziaływania hałasu transportowego przebywają ludzie lub zwierzęta. Występujące hałasy mogą być uciążliwe i szkodliwe, czyli wywołujące trwałe skutki zdrowotne. Nie stwierdzono natomiast negatywnego oddziaływania dźwięków na świat roślinny, nawet o wysokich poziomach. Ucho ludzkie odbiera dźwięki o częstotliwościach zawartych w paśmie od 16 Hz do 16 KHz, czyli w tzw. paśmie słyszalnym, ograniczonym dolną i górną granicą słyszalności. Dźwięki o niskiej częstotliwości, mniejszej niż 16 Hz (poniżej dolnej granicy słyszalności), noszą nazwę infradźwięków, a dźwięki powyżej poziomu słyszalności nazywamy ultradźwiękami. Ze względu na przebieg czasowy można rozróżnić hałas ciągły, przerywany oraz impulsowy. Człowiek słabiej słyszy głównie dźwięki o niskich częstotliwościach.

Jedną z cech odróżniających ludzi od zwierząt jest zakres pasma słyszenia. Na przykład nietoperz słyszy dźwięki w zakresie od 8 Hz do 100 KHz, delfin od 120 Hz do 120 KHz, a pies od 12 Hz do 40 KHz. Wynika stąd, że zwierzęta są bardziej wrażliwe na hałas niż ludzie.

Obowiązujące przepisy w zakresie ochrony przed hałasem

Większość przepisów ochrony środowiska związanych z hałasem transportowym została zmieniona w 2001 r., kiedy to nastąpiła zmiana ustawy Prawo ochrony środowiska [25] oraz rozporządzenia dotyczącego dopuszczalnych wartości hałasu (w tym od tras komunikacyjnych) [16]. Kolejne zmiany prawa w Polsce były związane z harmonizacją i dostosowywaniem przepisów krajowych do przepisów UE [21]. Zmiany, zwłaszcza w zakresie ustawy Prawo ochrony środowiska były związane z dostosowaniem do zapisów dyrektywy 2002/49/WE, od-

noszącej się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku [2].

Ochrona przed hałasem transportowym i drganiami jest uwzględniana w przepisach i programach działań dotyczących ochrony i kształtowania środowiska, jak również w przepisach i normach dotyczących obiektów budowlanych. Zarządzanie środowiskiem akustycznym oparte jest na istniejących przepisach, w których sformułowane są wymagania i procedury, które należy stosować w celu zapewnienia odpowiedniej jakości środowiska.

Konieczność dokonywania oceny stanu środowiska akustycznego została wprowadzona do polskich przepisów Dyrektywą 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady Europejskiej z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie oceny i kontroli poziomu hałasu w środowisku [2]. Celem tej dyrektywy jest stworzenie podstawy do rozwijania wspólnych środków zaradczych zmierzających do ograniczenia hałasu emitowanego przez główne źródła, a szczególnie przez pojazdy drogowe i szynowe, samoloty, urządzenia pracujące na wolnym powietrzu, urządzenia przemysłowe oraz maszyny ruchome. Dyrektywa ta dotyczy hałasu, na który narażeni są ludzie szczególnie na obszarach zabudowanych (domy mieszkalne, szkoły, szpitale i inne obiekty budowlane), w parkach lub innych terenach otwartych, zlokalizowanych blisko źródła hałasu. Należy zatem wykorzystywać obowiązującą sytuację prawną, aby w otaczającym nas środowisku poprawiać klimat akustyczny związany z infrastrukturą transportową.

Wartości graniczne hałasu transportowego pochodzącego od dróg i linii kolejowych, zwane wartościami dopuszczalnymi, reguluje odpowiednie rozporządzenie Ministra Środowiska z 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych wartości hałasu w środowisku (Dz.U. 2007, Nr 120, poz. 826 [21]). Wartości dopuszczalne hałasu określono dla dwóch typów wskaźników, tj. L_{AeqD} i L_{AeqN} , które mają zastosowanie do ustalenia i kontroli warunków korzystania ze środowiska w okresie jednej doby oraz L_{DWN} i L_N , które mają istotne zastosowanie w zakresie prowadzenia długookresowej polity-

Tabela 1. Wartości dopuszczalnego poziomu hałasu w [dB] pochodzącego od tras komunikacyjnych (dróg i linii kolejowych) dobowo i długookresowo [21]

Lp.	Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu			
		dobowy		długookresowy	
		L_{AeqD} ¹⁾	L_{AeqN} ²⁾	L_{DWN} ³⁾	L_N ⁴⁾
1.	a) obszary A ochrony uzdrowiskowej b) tereny szpitali poza miastem	50	45	50	45
2.	a) tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży c) tereny domów opieki społecznej d) tereny szpitali w miastach	55	50	55	50
3.	a) tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) tereny zabudowy zagrodowej c) tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d) tereny mieszkaniowo-usługowe	60	50	60	50
4.	tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych	65	55	65	55

¹⁾ przedział czasu odniesienia równy 16 godzinom, ²⁾ przedział czasu odniesienia równy 8 godzinom, ³⁾ przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku, ⁴⁾ przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy

ki ochrony przed hałasem transportowym (tab. 1), a także podczas projektowania różnych zabezpieczeń, np. ekranów akustycznych. Wskaźnik L_{DWN} odzwierciedla średnie dobowe natężenie hałasu w okresie jednego roku. W przypadku tras prowadzących ruch tranzytowy, po których większa część pojazdów ciężkich porusza się w porze nocnej, w analizie konieczności wykonania ekranów akustycznych bierze się pod uwagę wielkość hałasu występującego w porze nocnej i następnie odnosi się do odpowiednich wartości dopuszczalnych. Jednocześnie okazuje się, że wprowadzony wskaźnik L_N jest bardziej restrykcyjny, przede wszystkim dla ciągów drogowych o charakterze tranzytowym. Dlatego wprowadzenie nowych wskaźników, a zwłaszcza L_{DWN} , przy zachowaniu dość „ostrych” wartości dopuszczalnych skutkować będzie koniecznością projektowania i realizacji większej ilości urządzeń ochrony przed hałasem, w tym również ekranów akustycznych.

Podane w tabeli 1 wartości dopuszczalne (równoważny poziom dźwięku (L_{Aeq})), odnoszące się do terenów w otoczeniu tras komunikacyjnych, są w większości przypadków przekraczane przy przeciętnym natężeniu ruchu pojazdów. Dotyczy to zwłaszcza pory nocnej, dla której wartości dopuszczalne hałasu wynoszą w typowej sytuacji otoczenia trasy 50, 55 dB. Powoduje to konieczność poszukiwania efektywnych sposobów ochrony przed hałasem transportowym, który stanowi jeden z większych problemów nie tylko w Polsce, ale i w Europie. Decydującymi parametrami w kształtowaniu wielkości poziomu hałasu związanego z eksploatacją tras komunikacyjnych są głównie charakterystyki ruchu, do których należą natężenie ruchu, udział pojazdów ciężkich, rodzaj trasy (droga lub linia kolejowa), prędkość potoku pojazdów, pochylenie trasy, położenie odbiorcy w stosunku do trasy (odległość w pionie i poziomie), rodzaj nawierzchni, ukształtowanie terenu, a także występujące przeszkody na trasie przebiegu fal akustycznych (budynki, drzewa, itp.).

Obowiązujące prawo związane z ochroną środowiska w zakresie hałasu drogowego nakłada na inwestorów i zarządców dróg znaczne obowiązki w tym zakresie, a jednym z nich jest wprowadzanie ochrony przed hałasem transportowym. Stosowane obecnie metody ochrony polegają głównie na zastosowaniu ekranów akustycznych. Tymczasem możliwe jest stosowanie innych sposobów, które w wielu przypadkach są bardziej uzasadnione i często związane z innymi niekorzystnymi oddziaływaniami i problemami występującymi w infrastrukturze transportowej [17], [18], [19], [20], [21].

Określenie dopuszczalnego poziomu dźwięku w środowisku

Dopuszczalny poziom hałasu w środowisku powodowany ruchem transportowym, tj. drogi kołowej lub linii kolejowej, określa się wartością równoważnego poziomu dźwięku A dla ustalonego przedziału czasu odniesienia [8].

Ogólnie, równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} wyrażony w [dB] oblicza się ze wzoru (1):

$$L_{Aeq} = 10 \lg \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i \times 10^{0,1L_{Aj}}, \quad (1)$$

w którym:

L_{Aj} – średni poziom dźwięku A występujący w czasie t_i wyrażony w [dB],

t_i – czas trwania hałasu o poziomie L_{Aj} wyrażony w [s],

T – czas obserwacji mierzony w [s], dla którego wyznaczony jest poziom równoważny zgodnie ze wzorem (2):

$$T = \sum_{i=1}^n t_i. \quad (2)$$

Czas obserwacji jest określony zgodnie z obowiązującymi przepisami jako: $T = 16$ godzin dla pory dnia (6.00–22.00) i $T = 8$ godzin dla nocy (22.00–6.00) [21].

Równoważny poziom hałasu pochodzącego od ruchu samochodowego L_{AeqS} w punkcie obserwacji, w odległości r_x od krawędzi drogi można obliczyć ze wzoru (3):

$$L_{AeqS} = L_{Aeq0} + \sum_{j=1}^n \Delta L_{Aj}, \quad (3)$$

w którym:

L_{Aeq0} – wyjściowa wartość poziomu równoważnego reprezentująca skorygowaną moc akustyczną źródła hałasu,

ΔL_{Aj} – poprawki o wartościach zależnych od parametrów ruchu oraz otoczenia:

ΔL_{A1} – udział pojazdów ciężkich w strumieniu ruchu,

ΔL_{A2} – średnia prędkość strumienia ruchu,

ΔL_{A3} – rodzaj nawierzchni drogi,

ΔL_{A4} – zależna od kąta widzenia drogi z punktu obserwacji,

ΔL_{A5} – uwzględniająca ciągłą, obustronną zabudowę jezdni,

ΔL_{A6} – uwzględnia podłużne pochylenie drogi,

ΔL_{A7} – ujmujące wpływ fasad budynków na oszacowaną wartość poziomu hałasu,

ΔL_{A8} – uwzględnia spadek poziomu dźwięku w funkcji odległości od źródła hałasu.

Hałas transportowy jest wynikiem sumowania hałasów pochodzących od wielu pojazdów tworzących, tzw. strumień ruchu. Hałas ten zmienia się w różnych porach dnia (szczyty komunikacyjne), stąd też ocena szkodliwości takiego hałasu opiera się na analizie statystycznej wyników uzyskanych z pomiarów w terenie w dłuższym okresie czasu. Błędna byłaby ocena szkodliwości hałasu dokonana tylko na podstawie przypadkowego pomiaru [8].

Wykonuje się pomiary poziomu dźwięku A mierzonych w dB(A), w klasach o szerokości 5 dB(A), w określonym odcinku czasowym (uznanym za wystarczająco długi) dla różnych pór doby. Na podstawie takich pomiarów określa się liczbę obserwacji w danej klasie m_i (tzn. liczbę pojawień się poziomu dźwięku o wartości należącej do danej klasy) oraz liczbę wszystkich obserwacji M . Stosunek liczby obserwacji m_i do liczby wszystkich obserwacji M nazywa się gęstością klasy i oblicza się z następującego wzoru (4) [9]:

$$p_i(x) = \frac{m_i}{M} \times 100, \quad (4)$$

w którym:

p_i – gęstość klasy [%],

m_i – liczba obserwacji w i -tej klasie ($i = 1, 2, 3, \dots, n$),

M – liczba wszystkich obserwacji.

Natomiast średni statystyczny poziom hałasu w dB(A) określa się z wyrażenia (5):

$$L_{\text{sr.}} = \sum_{k=1}^n \frac{(M_k \times X_k)}{M}, \quad (5)$$

w którym:

X_k – średnia arytmetyczna wartość poziomu dźwięku w przedziale k ,

M_k – liczba poziomów dźwięku o średnim poziomie,

M – liczba wszystkich poziomów dźwięku (obserwacji).

W przypadku rozkładu normalnego wartość $L_{\text{sr.}}$ występuje dla $p(x)$ równego 50%. W praktyce rozkład gęstości prawdopodobieństwa dla hałasu transportowego odbiega od rozkładu normalnego, a jego wartość średnia $L_{\text{sr.}}$ występuje dla prawdopodobieństwa mniejszego od 50% [9]. Dlatego wygodniej jest posługiwać się krzywą gęstości skumulowanej, którą oblicza się, dodając do gęstości danej klasy sumę gęstości klas następných zgodnie ze wzorem (6):

$$p_i(x_i) = \sum_{k=1}^i p_k(x), \quad (6)$$

w którym:

$p_i(x_i)$ – gęstość skumulowana,

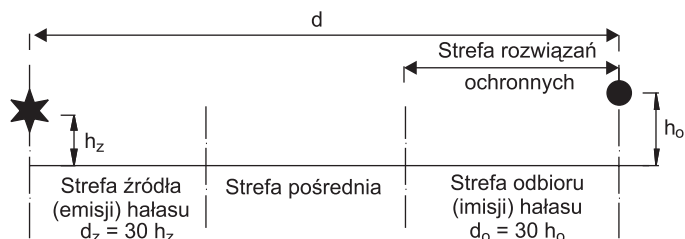
$p_k(x)$ – gęstość k -tej klasy.

Problemy skutecznej ochrony przed hałasem transportowym

W celu ochrony akustycznej, zwłaszcza dotyczącej zabudowy mieszkaniowej, stosuje się różnego rodzaju metody, sposoby i środki zapobiegawcze. Bardzo często, pomimo zastosowania zabezpieczeń nie jest możliwe uzyskanie odpowiedniego efektu zmniejszenia wielkości hałasu do wartości dopuszczalnych, wyznaczonych stosownymi przepisami [21], a jedynie zmniejszenie i ograniczenie jego uciążliwości. Należy jednak zaznaczyć, że ograniczenie poziomu hałasu już w zakresie 3–5 dB powoduje bardzo pozytywnie, odczuwalne skutki dla ludzi i zwierząt. Dlatego też dobór odpowiednich zabezpieczeń antyhałasowych jest ważnym elementem w ochronie akustycznej. Obecnie stosowane są różne kryteria podziału sposobów i metod ochrony środowiska przed hałasem, do których można zaliczyć [1]:

- ochronę bierną i czynną,
- ograniczenie hałasu u źródła i ograniczenie propagacji hałasu do środowiska,
- ograniczenie hałasu w strefach emisji i imisji (odbioru) oraz w strefie kształtowania rozwiązań ochronnych.

Na rysunku 1 przedstawiono tradycyjne podejście do ochrony przed hałasem transportowym, w którym zakłada się, że większość możliwych do zastosowania metod można wpro-



Rys. 1. Podział trasy propagacji fali akustycznej na strefy

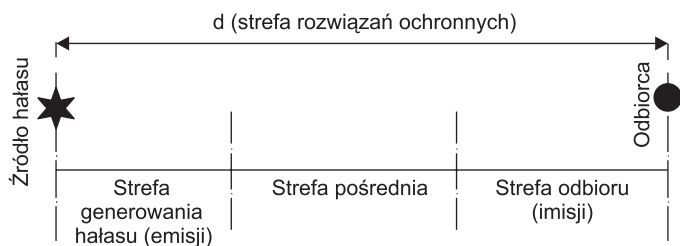
wadzić jedynie w strefie imisji. Podejście takie sprawia, że większość realizacji zabezpieczeń przed hałasem (np. ekrany akustyczne) nie powoduje znaczących ograniczeń w poziomie hałasu. Podstawową, stosowaną metodą ochrony jest w tym przypadku ograniczenie hałasu poprzez budowę ekranów akustycznych w różnej postaci. Jednakże takie podejście w wielu przypadkach nie jest możliwe do zastosowania ze względów technicznych i ekonomicznych. Względy te związane są przede wszystkim z ukształtowaniem zabudowy mieszkaniowej wzdłuż tras komunikacyjnych lub wysokością obiektów chronionych i ich odległością od drogi lub linii kolejowej (fot. 1). Charakter zabudowy również sprawia, że nie jest możliwe efektywne zastosowanie ekranów akustycznych, chociażby ze względu na konieczność utrzymania dojazdów na posesję, a budowa bardzo wysokich konstrukcji stwarza dość poważne problemy techniczne i wykonawcze, np. związane z prawidłowym ich posadowieniem. Na obszarach z zabudową rozproszoną (chronioną) problemy w pozyskaniu gruntów przez zarządzających drogą, a także brak miejsca na zastosowanie dróg serwisowych skutecznie uniemożliwiają zastosowanie efektywnie działających urządzeń ochronnych w postaci ekranów akustycznych.

Na podstawie dotychczas dokonanych obserwacji i analiz można stwierdzić, że do podstawowych problemów uniemożliwiających stosowanie skutecznej ochrony przed hałasem transportowym należą [1]:

- brak tras komunikacyjnych, głównie dróg o odpowiednich parametrach, oraz brak takich rozwiązań, dzięki którym możliwe byłoby przeniesienie ruchu tranzytowego poza obszary chronione akustycznie (np. budowa obwodnic),
- sprowadzanie do kraju pojazdów w złym i bardzo złym stanie technicznym, które powodują zwiększoną emisję hałasu oraz innych zanieczyszczeń do środowiska,
- brak zakazu wjazdu pojazdów ciężkich (TIR-ów) do miast (brak baz logistycznych na przedmieściach),
- brak kompleksowego podejścia do ochrony środowiska na danym terenie przed różnymi rodzajami oddziaływań (hałas, zanieczyszczenia powietrza, wód i gruntów, itp.),
- brak specjalistycznych analiz przedprojektowych związanych z oceną klimatu akustycznego w obrębie planowanych inwestycji transportowych,
- brak poszukiwań przez projektantów innych rozwiązań zabezpieczających środowisko przed hałasem niż stosowa-



Fot. 1. Widok na ekran akustyczny (firmy Techbud) położony wzdłuż drogi szybkiego ruchu S-1 w Czechowicach-Dziedzicach [11]



Rys. 2. Prawidłowe podejście do ochrony przed hałasem transportowym

nie tylko tradycyjnych ekranów akustycznych. Mogłoby to doprowadzić do dualnej ochrony środowiska także przed innymi niekorzystnymi oddziaływaniami. Na rysunku 2. pokazano, że rozwiązania ochronne powinny być zastosowane w strefie generowania hałasu, strefie pośredniej – czyli na trasie fali akustycznej i w strefie jego emisji (odbioru).

Różnorodność zagadnień dotyczących hałasu transportowego związana jest z obszarem i sposobem użytkowania poszczególnych terenów. Zagęszczenie istniejącej zabudowy oraz intensyfikacja planowanej zabudowy powodować może wzrost hałasu transportowego oraz zewnętrznego hałasu przemysłowego i osiedlowego. Zagęszczenie sieci tras komunikacyjnych z reguły wpływa na przekraczanie wartości dopuszczalnych hałasu [21] w rejonie zamieszkania czy też w miejscu pracy.

Pod względem klimatu akustycznego powinno się chronić obszary, na których przebywają ludzie i zwierzęta. Jest to określane mianem środowiska zewnętrznego (tereny zabudowy mieszkaniowej oraz te, na których zlokalizowane są obiekty użyteczności publicznej, jak i tereny rekreacyjno-wypoczynkowe, tereny szpitalne, uzdrowiskowe, itp.). Strefami ochrony przed hałasem transportowym mogą być także obrzeża terenów zielonych w miastach, które chronią teren znajdujący się w centrum tego obszaru. Można stwierdzić, że hałas transportowy wyraźnie ogranicza rzeczywisty teren parku poprzez wykluczenie rejonów znajdujących się na obrzeżach, w pobliżu hałaśliwych ciągów komunikacyjnych.

Metody i sposoby ochrony przed hałasem transportowym

Zgodnie z aktualnym podejściem w zakresie ochrony przed hałasem transportowym, metody i sposoby jego ograniczania należy rozpatrywać w dwóch strefach, tj. emisji, czyli generowania hałasu i jego emisji (odbioru) oraz w strefie pośredniej (rys. 2). Działania w strefie emisji można realizować przede wszystkim zmniejszając efekt generowania hałasu przez pojazdy już u jego źródła, czyli w przekroju trasy komunikacyjnej, natomiast działania w strefie emisji dotyczą stosowania odpowiednich środków ochrony odbiorcy, których głównym celem jest ograniczenie hałasu do wartości dopuszczalnych na granicy działki, do której zarządzający posiada tytuł prawny – zgodnie z zapisami ustawy Prawo ochrony środowiska [25]. Jednakże w praktyce ten efekt ochrony uzyskuje się dopiero na granicy (elewacji) obiektu chronionego i to także nie we wszystkich przypadkach.

Metody i sposoby ochrony

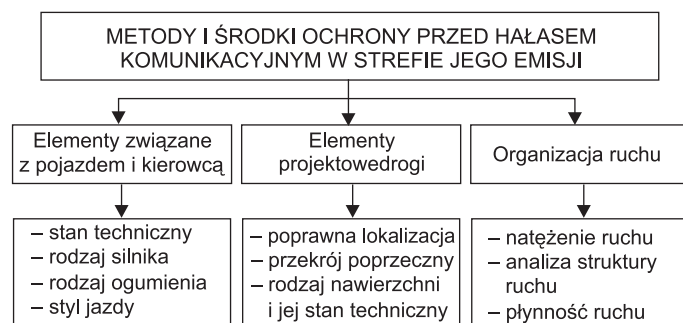
Do podstawowych metod i sposobów ochrony przed hałasem transportowym stosowanych w strefie jego generowania można zaliczyć [1] (rys. 3):

1. Metody i środki związane z pojazdem i kierowcą – są to działania niezależne od zarządców dróg, którzy nie mają wpływu na stan techniczny poruszających się po drogach pojazdów i dotyczą one:

- konstrukcji pojazdu i jego silnika oraz rodzaju stosowanego ogumienia. W wielu krajach europejskich (np. Dania, Szwecja, Islandia) wprowadzono ulgi podatkowe dla posiadaczy pojazdów z ekologicznymi silnikami hybrydowymi;
- stylu jazdy kierowców, na który w większości nie ma wpływu zarządca drogi jedynie poza środkami uspokojenia ruchu.

2. Metody i środki związane ze sposobem projektowania tras komunikacyjnych i doborem poszczególnych ich elementów:

- odpowiednia lokalizacja trasy i jej otoczenie. W tym przypadku możliwe jest zastosowanie odpowiednich rozwiązań sytuacyjno-przestrzennych, tzn. maksymalne odsunięcie trasy od obszarów i obiektów chronionych, zastosowanie odpowiednich rozwiązań technicznych trasy komunikacyjnej i sposobów jej izolacji, np. droga przebiegająca w wykopie, tunelu (fot. 2), lub w częściowym przekryciu, względem obiektów i obszarów chronionych, a w przypadku linii



Rys. 3. Schemat podstawowych metod i środków ochrony przez hałasem transportowym w strefie jego generowania



Fot. 2. Wizualizacja tunelu akustycznego projektowanego na Trasie Toruńskiej [15]

kolejowych zastosowanie np. szyn bezстыkowych i specjalnych wkładek izolujących. W tunelach i przy liniach kolejowych zaleca się stosowanie okładzin o wysokim stopniu absorpcji dźwięku. Niezwykle ważnym elementem mającym wpływ na generowanie hałasu transportowego jest pochylenie drogi, tzn. im pochylenie jest większe, tym emitowany hałas również będzie większy, głównie dotyczy to pojazdów ciężkich.

- przekrój poprzeczny drogi, a w tym liczba jezdni i pasów ruchu, pochylenie i sposób umocnienia skarp. Odpowiednie ukształtowanie skarpy wykopu z zastosowaniem np. zieleni różnego rodzaju może stanowić bardzo dobry sposób ochrony przed hałasem w bezpośrednim sąsiedztwie jego źródła;
- rodzaj i stan techniczny nawierzchni trasy. Ma to bardzo istotny wpływ na emisję hałasu transportowego (tab. 2). Nawierzchnia drogowa zarówno odbija, jak i pochłania fale akustyczne pochodzące od przejeżdżającego pojazdu, powodując z jednej strony wzmacnianie dźwięku, z drugiej strony jego tłumienie. Efekty łączne zależą od struktury nawierzchni, a szczególnie od wielkości i kształtu wolnych przestrzeni. Dobry efekt tłumienia dają ażurowe prefabrykaty usytuowane pod porowatą nawierzchnią asfaltową [13]. Znane są obecnie różne rozwiązania techniczne np. cichych nawierzchni, których właściwości akustyczne otrzymuje się dzięki odpowiedniemu doborowi i wykonaniu warstw ściernych z betonu asfaltowego (dochodzi do redukcji hałasu w zakresie 3–5 dB). Nawierzchnię taką zastosowano lub planuje się zastosować w kilku miastach na terenie naszego kraju, np. Wrocław, Opole, Warszawa, Kraków, ale prym pod tym względem wiecie Poznań, gdzie zastosowano ją już na

kilkunastu ulicach. Istnieją również zastosowania specjalnych asfaltów zmodyfikowanych gumą, np. ze zużytych opon samochodowych. W tym przypadku również uzyskuje się redukcję poziomu hałasu w porównaniu z tradycyjnym asfaltem. Kolejnym rodzajem cichych nawierzchni jest asfalt porowaty, tj. mieszanka o nieciągłym uziarnieniu i zawartości wolnych przestrzeni powyżej 15% (v/v). Ze względu na dużą liczbę wolnych przestrzeni powietrze odpowiadające za hałas na styku opony z nawierzchnią ulega rozproszeniu, redukowany jest efekt rozprężenia powietrza pod ciśnieniem na powierzchni drogi, a tym samym hałas. Ujemna tekstura asfaltu porowatego (na powierzchni warstwy ścierniczej więcej jest pustych przestrzeni niż elementów wystających) przyczynia się w znaczący sposób do zmniejszenia generowanego hałasu. Dodatkowymi zaletami asfaltu porowatego, poza redukcją hałasu, jest zmniejszenie zjawiska akwaplanacji poprzez sprawniejsze odprowadzenie wody z nawierzchni, zwiększenie szorstkości, duża odporność na deformację oraz zmniejszenie oślepiania przez odbijanie światła reflektorów pojazdów od powierzchni warstwy ścierniczej. W celu określenia właściwości pochłaniania dźwięków przez nawierzchnię drogową w pracy [14] przedstawiono badania laboratoryjne na próbkach Marshalla z betonu asfaltowego, mieszanki SMA i asfaltu porowatego. Badania wykonano przy pomocy ruchomego mikrofonu w rurze Kundt'a. Zmierzono ciśnienie akustyczne i obliczono współczynniki pochłaniania dźwięków. Najlepsze wyniki uzyskał asfalt porowaty, a najgorsze beton asfaltowy. Alternatywą dla asfaltu porowatego może być mieszanka mineralno-asfaltowa GUF1, która została opracowana w Instytucie Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie. Jest to mieszanka do wykonywania warstwy ścierniczej w technologii „na gorąco” o właściwościach przeciwspekaniowych i wygłuszających. W jej skład wchodzi kruszywo i asfalt zwykły lub modyfikowany oraz dodatki w postaci granulatu gumowego i włókien polimerowych. Dzięki dodatkowi granulatu gumowego można uzyskać efekt sprężystości i wyciszenia warstwy, a włókna polimerowe pełnią dodatkowo funkcję mikrozbrojenia [23].

W tabeli 3 przedstawiono klasyfikację hałaśliwości nawierzchni drogowych opracowaną przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w 2005 r. Problem odpowiedniego doboru nawierzchni dotyczy nie tylko tras drogowych, ale również dróg szynowych (kolejowych, tramwajowych, itp.), w których poprzez zastosowanie torów bezстыkowych, różnego rodzaju okładzin torów, podkładów izolujących (maty) pod tory, prefabrykatów betonowych zawierających elementy wytłumiające można uzyskać dość dobre efekty redukujące poziom hałasu, dochodzące nawet do 15 dB. Wielkość zmniejszenia hałasu uzależniona jest od stanu technicznego torowiska przed modernizacją, tzn. im gorszy stan techniczny, tym następuje bardziej odczuwalna poprawa klimatu akustycznego. Istotny problem stanowią również obiekty mostowe o konstrukcji stalowej blachownicowej położone w centrach miast w ciągu linii kolejowych i tramwajowych, ponieważ ich właściwości wibroakustyczne powodują znaczącą emisję hałasu i wibracji do środowiska [8], [22].

3. Metody i środki związane z organizacją ruchu:

- wielkość natężenia ruchu pojazdów wpływa na poziom emisji hałasu transportowego do środowiska. W praktyce jednak nie jest możliwe ograniczenie liczby pojazdów, chociaż

Tabela 2. Poziomy hałas drogowy w zależności od rodzaju nawierzchni, jej wilgotności i prędkości pojazdów [7]

Lp.	Rodzaj nawierzchni i jej wilgotność		Prędkość pojazdu [km/h]	
			60	80
			Równoważny poziom dźwięku [dB(A)]	
1.	Asfaltowa	sucha	70	75
2.		mokra	80	82
3.	Betonowa	sucha	73	78
4.		mokra	80	82
5.	Kostka kamienna brukowa	sucha	83	86

Tabela 3. Klasyfikacja hałaśliwości nawierzchni opracowana przez IBDIM [23]

Lp.	Klasa hałaśliwości nawierzchni	Warstwa ściernicza nawierzchni
1.	Cicha	AC (BA) 5 lub AC8 SMA5, SMA8 BBTM (MNU) 8 (GUF1) PA (asfalt porowaty) (COLSOFT)
2.	Normalna	BBTM (MNU) 11 SMA11 BA11
3.	Głośnie	BC (beton cementowy) CWZ (cienka warstwa na zimno)

są znane przypadki, np. z Aten, gdzie wprowadzono ograniczony ruch samochodów osobowych w wybrane dni tygodnia, czy też zakaz wjazdów pojazdów ciężkich do miast, np. Wrocławia. Można to także uzyskać poprzez odpowiednie i wyraźne wydzielenie układu tras podstawowych, uzupełniających (dojazdowych i lokalnych) oraz tranzytowych w miastach. W takim przypadku możliwe jest kształtowanie natężeń ruchu na niektórych wybranych połączeniach. Wymaga to jednak odpowiednich sposobów i środków organizacji ruchu związanych z pozyskiwaniem danych o aktualnym ruchu pojazdów i aktywnym sterowaniem ruchem na większych obszarach miasta;

- analiza struktury poruszających się pojazdów dotyczy przede wszystkim wyłączenia z ruchu wybranych grup pojazdów z niektórych tras oraz wprowadzenia ograniczeń czasowych w ich poruszaniu się, np. w porze nocnej. Ograniczenia te dotyczą głównie grupy pojazdów ciężkich i motocykli jako najbardziej uciążliwych pojazdów w całym potoku ruchu. Wyłączenia z ruchu oraz ograniczenia czasowe ruchu pojazdów ciężkich możliwe są dzięki działaniom z zakresu odpowiedniej organizacji ruchu, podobnie jak w przypadku działań związanych z natężeniem ruchu pojazdów. Pomocne w tym względzie mogą być również stacje logistyczne położone na obrzeżach miast;
- płynność ruchu z najmniejszą liczbą zatrzymań osiągana jest poprzez zastosowanie odpowiednich sposobów sterowania ruchem w miastach i poza nimi, zwłaszcza w czasie godzin szczytu komunikacyjnego. Aktualnie już w kilku miastach, m.in. Wrocław, Olsztyn, Opole, Warszawa zastosowano rozwiązanie tzw. „zieloną falę”, która w sposób płynny pozwala przejechać bez zatrzymywania się na skrzyżowaniach, jednakże trzeba dodać, że ten system wymaga od kierowców przestrzegania stałej dozwolonej prędkości jazdy w mieście (max. 50 km/h). Uspokojenie ruchu można uzyskać poprzez zastosowanie odpowiednich urządzeń i środków technicznych, które zapewniają płynność ruchu i małą prędkość pojazdów. Jedną z takich metod stosowanych w celu poprawy stanu bezpieczeństwa ruchu są np. fotoradary, które jednocześnie powodują lokalne ograniczenia prędkości, co wiąże się z ograniczeniem poziomu hałasu. Prędkość poruszających się pojazdów ma określony wpływ na poziom emitowanego hałasu. Zwiększenie przeciętnej prędkości samochodów osobowych z 80 do 100 km/h oznacza wzrost równoważnego poziomu dźwięku średnio o 4 dB(A), a zwiększenie prędkości z 80 na 120 km/h powoduje wzrost hałasu o 7 dB(A). Natomiast przy prędkości w przedziale 60–80 km/h poziom hałasu praktycznie jest niezmienny. Zwiększenie udziału w ruchu samochodów ciężarowych o 20% powoduje wzrost poziomu hałasu o 6 dB(A), a w przypadku udziału 50% – poziom hałasu zwiększa się o 8% (około 12 dB(A)). Ruch tylko samochodów ciężarowych powoduje wzrost poziomu hałasu o około 10 dB(A).
- koncentracja ruchu pojazdów na określonych trasach (głównie obwodnice i trasy tranzytowe w miastach) zlokalizowanych w miarę możliwości poza terenami chronionymi akustycznie.

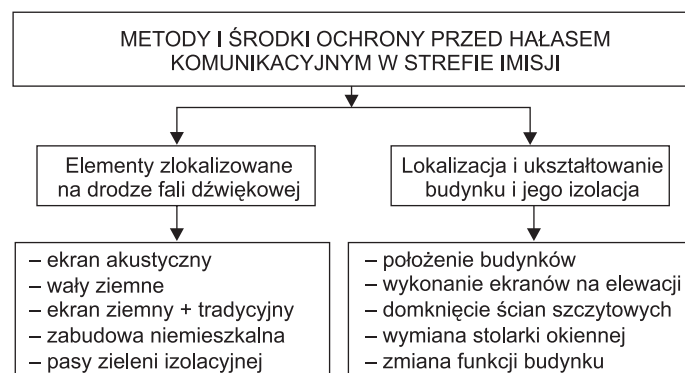
Na podstawie powyższej charakterystyki można jednoznacznie stwierdzić, że najliczniejszą grupą metod i sposobów ochrony przed hałasem transportowym w strefie emisji są te, które związane są z projektowaniem i odpowiednią or-

ganizacją ruchu. Dotyczy to obszarów najbardziej chronionych, zwłaszcza w miastach. Doświadczenia pokazują, że powyżej wspomniane metody są rzadko stosowane, a częściej wykorzystywane są metody z pozoru szybsze i łatwiejsze występujące w obszarze odbioru hałasu. Takie podejście spowodowane jest głównie naciskiem grup i komitetów społecznych oraz brakiem planowego podejścia do problemów komunikacyjnych w miastach oraz nieskoordynowanym ich rozwiązywaniem. Podczas projektowania ekranów akustycznych często dochodzi do takiej sytuacji, że w wyniku uzgodnień z mieszkańcami odstępuje się od ich budowy, np. na rzecz wymiany okien w lokalach mieszkalnych i nasadzeń roślinności.

Do podstawowych metod i sposobów ochrony przed hałasem transportowym stosowanych w strefie odbioru można zaliczyć (rys. 4):

1. Elementy zlokalizowane na drodze fali dźwiękowej pomiędzy źródłem hałasu a odbiorcą [1], tj.:

- ekrany akustyczne – są aktualnie najbardziej rozpowszechnionym sposobem ochrony przed hałasem transportowym. Jednakże oprócz bezspornych efektów pozytywnych mogą również wpływać negatywnie na zakres widoczności przez kierowców w pobliżu wjazdów i skrzyżowań, powodować zakłócenia w krajobrazie, tworzyć efekt bariery dla zwierząt, itd. Rzeczywista skuteczność ekranów akustycznych zależy od wielu czynników, np. miejsca położenia odbiorcy i nigdy nie przekracza kilkunastu decybeli (dB). Często stosowane ekrany są zbyt krótkie, niskie, źle wyprofilowane i wykonane z nieodpowiednich materiałów, a dodatkowo zlokalizowane z dala od trasy komunikacyjnej. Takie rozwiązania nie powodują istotnych ograniczeń hałasu, dlatego nie powinny być stosowane;
- wały ziemne obsiane trawą i średniej wysokości roślinnością – są jednym z najskuteczniejszych sposobów ochrony przed hałasem transportowym, którego efektywność zależy oczywiście od położenia odbiorcy i w niektórych przypadkach może wynosić nawet 25 dB. Możliwość stosowania tego rozwiązania jest jednak bardzo często ograniczona ze względu na konieczność pozyskania dodatkowego terenu na budowę – stąd stosuje się je głównie poza miastami na terenach z zabudową rozproszoną lub w obszarach chronionych. Należy dodatkowo podkreślić, że tego rodzaju budowle ziemne są stosunkowo trudne w bieżącym utrzy-



Rys. 4. Schemat podstawowych metod i środków ochrony przed hałasem transportowym w strefie emisji (odbioru)



Fot. 3. Zniszczony ekran ziemny w wyniku ablacji (fot. D. Bęben)



Fot. 5. Przykład ekranu akustycznego zastosowanego na elewacji budynku [24]



Fot. 4. Połączenie wału ziemnego z typowym ekranem akustycznym firmy Techbud z Krakowa, droga S-1 na odcinku Bielsko-Biała – Cieszyń [11]

manii, ponieważ narażone są na zjawisko ablacji, zwłaszcza w okresie obfitych opadów deszczu (fot. 3);

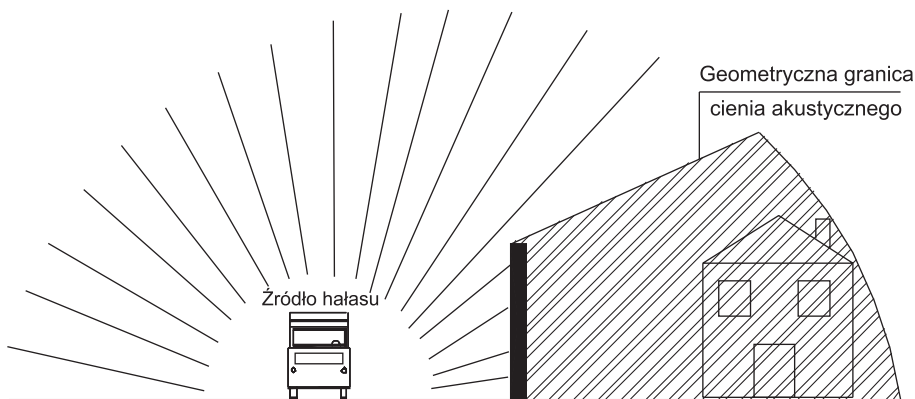
- ekran ziemny w połączeniu z typowym ekranem akustycznym i dodatkowo z niską i średnią zielenią – jest to dobre i skuteczne rozwiązanie ochronne przed hałasem transportowym, ale rzadko stosowane (fot. 4);
- zabudowa niemieszkalna (np. garaże, obiekty usługowe, itp.) – ma na celu ochronę budynków mieszkalnych. Jest to najefektywniejszy sposób ochrony w strefie imisji, ponieważ dochodzi do rozproszenia fal dźwiękowych;
- pasy zieleni izolacyjnej – są najmniej skutecznym środkiem ochrony przed hałasem, ponieważ jego redukcja nie przekracza przeważnie 5 dB i jest uzależniona od rodzaju roślinności, jej gęstości i wysokości. Niemniej jednak pasy zieleni izolacyjnej pełnią też dodatkową rolę, tj. filtra zabezpieczającego przed niektórymi zanieczyszczeniami pochodzącymi od tras i niewątpliwie oddziałują pozytywnie na psychikę człowieka.

2. Lokalizacja i odpowiednie ukształtowanie budynku oraz jego izolacja przed oddziaływaniami akustycznymi:

- położenie budynków mieszkalnych – należy zachować odpowiednią minimalną odległość od tras komunikacyjnych,

jednak aktualnie ten warunek jest coraz trudniejszy do spełnienia z uwagi na dość duże zurbanizowanie polskich miast;

- wykonanie ekranów na elewacji budynków – jest to metoda mało znana i polega na zastosowaniu ekranu wykonywanego z przezroczystych materiałów, na elewacji budynku, w pewnej odległości zapewniającej odpowiednią przepuszczalność (fot. 5). Taki sposób zabezpieczenia przed hałasem powoduje, że duża część fal akustycznych jest zatrzymywana już na ekranie. Stosowanie tej metody możliwe jest głównie w obiektach nowo budowanych. Natomiast w przypadku budynków istniejących podstawowym problemem, poza samą konstrukcją ekranu, jest rozwiązanie aspektów związanych z wentylacją wewnątrz budynku;
- zastosowanie ekranów w postaci specjalnych konstrukcji osłonowych jako domknięć ścian szczytowych budynków zlokalizowanych prostopadłe do drogi. Jest to rozwiązanie również mało znane, lecz efektywnie ograniczające hałas transportowy w sąsiedztwie budynków mieszkalnych. Polega ono na wykonaniu ekranów akustycznych ściśle dopasowanych do ścian szczytowych budynków mieszkalnych. Taki ekran powinien być nieco wyższy od wysokości budynku. Głównym problemem w zastosowaniu tego sposobu jest przeważnie konieczność zmiany organizacji ruchu w ramach danego osiedla oraz ograniczenie liczby zjazdów do budynków;
- wymiana stolarki okiennej i izolacja ścian budynków pozwalają jedynie na ograniczanie hałasu wewnątrz budynku bez możliwości zachowania wartości dopuszczalnych na granicy działki. W przypadku zastosowania tych metod niezbędne jest rozwiązanie problemów związanych z odpowiednią wentylacją pomieszczeń;
- zmiana funkcji budynku – jest to bardzo często zalecany sposób, ale w praktyce bardzo rzadko realizowany, gdyż wewnątrz danego budynku przy określonej funkcji niezbędne jest dotrzymanie bardziej restrykcyjnych niż na zewnątrz wartości dopuszczalnych hałasu (30–40 dB). Dlatego poza zmianą funkcji niezbędne są niekiedy dodatkowe prace wynikające z konieczności dostosowania obiektu do nowej funkcji.



Rys. 5. Geometryczna granica widma (cienia akustycznego)

Ekran akustyczny

Aktualnie wzdłuż tras komunikacyjnych (autostrad, obwodnic, linii kolejowych, itd.) zwłaszcza nowo budowanych lub modernizowanych coraz częściej stosuje się ekrany akustyczne, których głównym zadaniem jest zmniejszenie uciążliwości hałasu transportowego pochodzącego od ruchu pojazdów w stosunku do ludzi i zwierząt.

W Polsce dopiero od kilku lat stosuje się ekrany akustyczne na szeroką skalę. W ich projektowaniu do tej pory zwracano uwagę głównie na skuteczność i wytrzymałość. Obecnie dzięki dostępności różnych technologii i rozwiązań zagranicznych, stają się swoistymi przestrzennymi akcentami estetycznymi.

Ekran akustyczny jest przegrodą położoną pomiędzy źródłem hałasu a odbiorcą (rys. 5). Powoduje powstanie cienia akustycznego, w którym poziom dźwięku jest znacznie mniejszy od poziomu hałasu przed ekranem. Ekran akustyczny w otoczeniu tras komunikacyjnych lokalizowany jest przeważnie jak najbliżej źródła hałasu, czyli na krawędzi jezdni (torowiska), po której poruszają się pojazdy. Skuteczność ekranu akustycznego zależy od wielu czynników, między innymi od:

- lokalizacji ekranu akustycznego względem źródła hałasu,
- położenia terenu lub obiektu chronionego względem źródła hałasu,
- wysokości, długości i kształtu ekranu,
- materiału z jakiego jest wykonany,
- występowania roślinności pnącej się po jego konstrukcji,
- występowania przerw w ekranowaniu,
- rodzaju generowanego hałasu transportowego (ruch drogowy, szynowy, lotniczy),
- natężenia ruchu pojazdów.

Maksymalną skuteczność ekranowania akustycznego osiąga się przy realizacji bardzo dużych budowli stanowiących, np. połączenie wału ziemnego z tradycyjnym ekranem akustycznym i z roślinnością (rys. 6). W tym przypadku redukcja poziomu dźwięku może dochodzić nawet do 20 dB. Jednak najczęściej osiąganą skutecznością zrealizowanych w Polsce ekranów akustycznych jest poziom od 10 do 12 dB (są to wartości maksymalne, uzyskiwane jedynie po spełnieniu wielu warunków). W teorii obliczeń skuteczności ekranowania zakłada się, że ekran jest nieskończenie długi i kąt widzenia ekranu z każdego punktu obserwatora jest równy 180°.

Wielkością, która określa skuteczność ekranowania jest efektywność akustyczna ekranu ΔL zdefiniowana jako różnica poziomu hałasu transportowego w punkcie obserwacji przed wprowadzeniem ekranu akustycznego (równoważny poziom dźwięku) L_{Aeq} oraz po jego wprowadzeniu L_{AeqE} wyrażona w [dB], którą oblicza się z zależności (7) [9]:

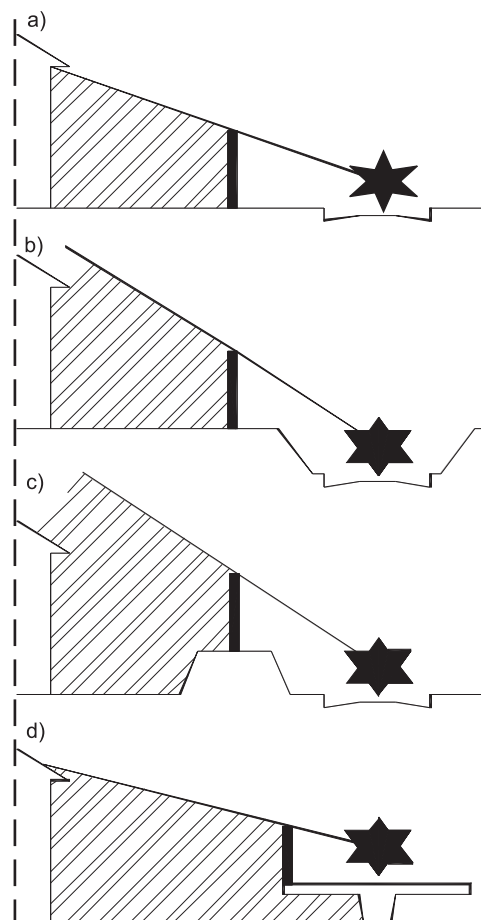
$$\Delta L = L_{Aeq} - L_{AeqE} \quad (7)$$

Dla warunków rzeczywistych określa się minimalną długość ekranu akustycznego L_{min} jako sumę długości chronionego obiektu a i podwójnej odległości pomiędzy nim a ekranem $2b$ zgodnie ze wzorem (8) [3]:

$$L_{min} \geq a + 2b. \quad (8)$$

Wysokość ekranów akustycznych należy do jednych z podstawowych kryteriów, według których można je sklasyfikować i w tym przypadku wyróżniono cztery grupy:

- wysokie i bardzo wysokie ($H_e > 6-7$ m). Skuteczność akustyczna tych ekranów jest dość duża i może osiągać wartości większe od 10 dB;



Rys. 6. Znaczenie ekranowania w różnych sytuacjach komunikacyjnych. Przebieg cienia akustycznego: a) ekran wolnostojący, b) ekranowanie drogi prowadzonej w wykopie, c) ekran ziemny w połączeniu z tradycyjnym, d) ekranowanie estakady drogowej [4]

- średnie ($H_e = 5$ m). Są one obecnie najczęściej budowane w Polsce, a ich skuteczność waha się w granicach od 7 do 10 dB (fot. 6);
- niskie ($H_e < 3,5$ m). Stosowane są do odpowiedniej konfiguracji terenu, gdzie zabudowa podlegająca ochronie znajduje się poniżej trasy. Ich skuteczność przeważnie nie przekracza 8 dB (fot. 7).
- bardzo niskie ($H_e = 1$ m). Tego typu ekrany akustyczne są stosowane przede wszystkim do ochrony przed hałasem transportowym pochodzącym od tras kolejowych. Skuteczność tego typu ekranu jest znikoma i wynosi około 3 dB.

Kolejną, istotną cechą, według której można podzielić ekrany akustyczne, to rodzaj materiału z jakiego są wykonane. Najczęściej zasadnicze wypełnienie ekranów akustycznych stanowią: grunt, beton, szkło, drewno, wełna mineralna, tworzywa sztuczne, stal, ceramika. Oczywiście bardzo trudne, a w niektórych przypadkach wręcz niemożliwe jest wykonanie ekranu akustycznego z użyciem tylko jednego rodzaju materiału (np. z powodu wielkości hałasu lub ze względu na charakter terenu w sąsiedztwie ekranu), dlatego bardzo często ekrany akustyczne wykonywane są z kilku różnych materiałów, np. wełna mineralna, tworzywa sztuczne, stal i beton (fot. 8).



Fot. 6. Ekran akustyczny (firmy Techbud) o średniej wysokości przy linii kolejowej E-30 Opole–Wrocław (Dąbrowa Niemodlińska) [11]



Fot. 7. Przykład ekranu o niskiej wysokości (fot. D. Bęben)



Fot. 8. Widok ekranu akustycznego wykonanego z kilku materiałów (fot. D. Bęben)

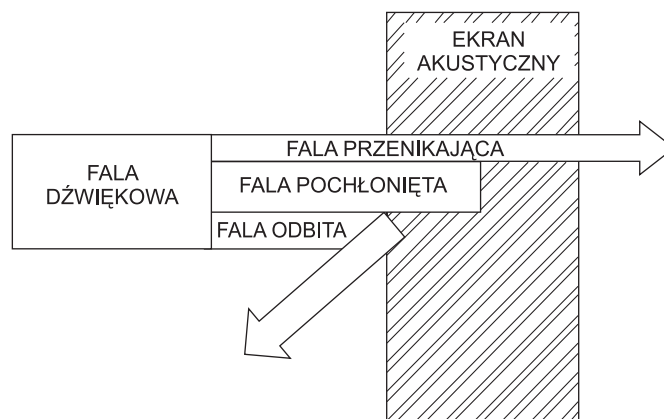
Ekran akustyczny można podzielić również ze względu na wielkość pochłaniania dźwięku, a mianowicie:

- odbijające – pochłaniają dźwięk nie więcej niż 4 dB,
- pochłaniające – redukcją dźwięk w przedziale od 4 do 8 dB,
- wysoko pochłaniające – redukcją dźwięk o ponad 8 dB.

Na obiektach mostowych zaleca się stosowanie ekranów przezroczystych wykonanych np. ze szkła akrylowego. W tym przypadku należy zainstalować na szklanych taflach specjalne elementy odstrasżające ptaki (fot. 8).

Istotnym elementem podczas budowy ekranu akustycznego jest poprawne zaprojektowanie jego posadowienia. Dlatego też przed przystąpieniem do prac projektowych należy dokładnie rozpoznać warunki gruntowe w miejscu wbudowania ekranu. Często stosowaną zasadą jest, aby wysokość fundamentu nie była mniejsza od wysokości ekranu nad poziomem terenu. Jest to głównie związane z dużym obciążeniem wiatrem w tego typu konstrukcjach. Jednakże określenie dokładnych wymiarów fundamentu ekranu akustycznego powinny poprzedzić badania gruntu i obliczenia statyczno-wytrzymałościowe.

Bardzo często wykonywane są również ekrany akustyczne z materiałów o różnej wielkości pochłaniania, tzw. pochłaniające-odbijające, np. ekran częściowo wykonany z betonu i z tworzywa przezroczystego. Na rysunku 7 pokazano podział fali dźwiękowej w zależności od typu ekranu akustycznego.



Rys. 7. Schemat obrazujący podział fali dźwiękowej w zależności od typu ekranu akustycznego

Wpływ hałasu transportowego na organizmy żywe

Według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) uszkodzenia słuchu spowodowane hałasem transportowym to najbardziej powszechne zagrożenie. Szacuje się, że około 120 mln osób na świecie dotyczy problem utraty słuchu. Oczywiście nie każdy reaguje na hałas tak samo, ponieważ istnieją różnice związane z obciążeniem genetycznym, ogólnym stanem zdrowia czy warunkami środowiskowymi.

Narażenie na hałas transportowy nie zależy tylko od indywidualnych predyspozycji, ale również od poziomu dźwięku oraz czasu jego działania, dlatego negatywne skutki hałasu nie zawsze będą jednakowe. Hałas może wywoływać następujące rodzaje negatywnych skutków:

- subiektywne, takie jak zły humor, niezadowolenie, zmęczenie, zmęczenie,
- fizjologiczne, np. przedłużające się zakłócenie snu powodujące zmiany chorobowe,
- zakłócenie podstawowych czynności, tj. sen, nauka, praca, zrozumienie mowy.

Aktualnie wiele społeczności jest narażonych na hałas transportowy o równoważnym poziomie dźwięku przekraczającym 55 dB (A), który stosowany jest w celu określenia ryzyka utraty słuchu. Szkodliwy wpływ hałasu na organizm człowieka rozpoczyna się już od 35–70 dB (A) i objawia się zmęczeniem, utrudnieniem w rozumieniu mowy oraz negatywnym wpływem na sen i wypoczynek. Działanie hałasu o poziomie 70–85 dB (A) może osłabić słuch, wywołać bóle głowy, zaburzenia nerwowe, itp. Przedział między 90 a 130 dB (A) jest już niebezpieczny dla organizmu, gdyż powoduje zaburzenia układów, m.in. krążenia czy pokarmowego. Hałas o poziomie wyższym od 130 dB (A) wprawia organy wewnętrzne w niebezpieczne drgania, powoduje zaburzenia równowagi i mdłości, a nawet choroby psychiczne (tab. 4).

Badania wykazały, że oprócz wymienionych oddziaływań, hałas ma również wpływ na przemianę materii i powoduje zaburzenia przepływu krwi. Działa także negatywnie na tkanki i narządy wewnętrzne, a przy wyższym poziomie powoduje powstawanie problemów z układem sercowo-naczyniowym. Należy mieć również świadomość, że jednym z bardziej powszechnych skutków doświadczanego przez nas hałasu transportowego jest stres i ogólne rozdrażnienie.

Jak wynika z danych przedstawionych przez Komisję Europejską [5] około 450 milionów mieszkańców Europy (czyli około 65% całej populacji) przez całą dobę narażone jest na oddziaływanie hałasu transportowego o natężeniu 55 dB, który wywołuje niepokój i negatywnie wpływa na zdrowie. Z kolei ponad 113 mln ludzi, czyli około 17% populacji jest narażone na hałas o natężeniu powyżej 65 dB, to znaczy powyżej poziomu, który powoduje poważne negatywne skutki zdrowotne, natomiast około 10 mln ludzi żyje w środowisku, w którym hałas przekracza poziom 75 dB przez 24 godziny na dobę, co jest w żadnym przypadku niedopuszczalne. W dużych miastach procent populacji narażonej na oddziaływanie hałasu o natężeniu szkodliwym dla zdrowia jest dwu-, a nawet trzykrotnie większy niż w innych rejonach kraju.

Długotrwałe oddziaływanie hałasu o wysokim poziomie dźwięku wywołuje w organizmach żywych zmiany fizjologicz-

Tabela 4. Skutki oddziaływania różnych dźwięków na ludzki słuch [4], [7]

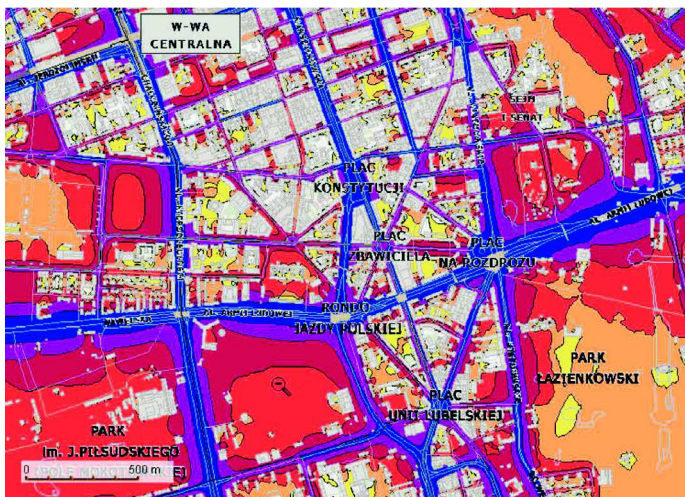
Lp.	Źródło hałasu	Stopień nasilenia hałasu [dB]	Skutki działania hałasu
1.	Oddech	10	Brak
2.	Tykanie zegarka, szum liści podczas długotrwałego deszczu	20	
3.	Szum liści, szept	30	
4.	Szept z bliska, średni gwar mieszkalny, spokojna ulica osiedlowa	40	Reakcja psychiczna
5.	Rozmowa towarzyska	50	
6.	Rozmowa towarzyska słyszalna z odległości 1 m, hałas biurowy	60	Reakcja fizjologiczna
7.	Głośna rozmowa, wołanie, szum przejeżdżającego samochodu	70	
8.	Hałas drogowy przy dużym natężeniu ruchu	80	
9.	Głośna hala fabryczna	90	Uszkodzenie słuchu
10.	Sygnal samochodowy (klakson) z odległości 7 m	100	
11.	Wytwórnia kotłów	110	
12.	Szum silnika samochodowego	120	Uszkodzenie słuchu
13.	Szum silnika samolotowego	120	
14.		130	GRANICA BÓLU
15.	Wybuch petardy	160	Uszkodzenie słuchu

ne i patologiczne. Ostry uraz akustyczny może wywołać różne stopnie uszkodzenia, a mianowicie:

- lekki, objawiający się ustępującym szumem lub zawrotami głowy,
- średni powoduje małe zmiany w błonie bębenkowej, powstają szумы i upośledzenia słuchu, które mogą występować trwale,
- ciężki, kiedy zmiany w błonie bębenkowej i kosteczkach słuchowych są znaczne, występuje wtedy upośledzenie słuchu, a w skrajnych przypadkach nawet głuchota.

Podsumowanie

Konieczność ochrony środowiska i terenów zabudowy mieszkalnej przed hałasem transportowym stanowi obecnie podstawowy problem ochrony środowiska w całej Europie. Znajduje to odzwierciedlenie w przepisach europejskich, które zaczęły obowiązywać również w Polsce, po naszej akcesji do struktur Unii Europejskiej. Ze względu na fakt, że znaczna liczba ludności przeważającej większości miast europejskich (powyżej 100 tys. mieszkańców) jest zagrożona hałasem transportowym, wprowadzono konieczność wykonywania



Rys. 8. Mapa akustyczna części śródmieścia Warszawy [6]

tw. map akustycznych (rys. 8), które powinny wskazać miejsca najbardziej zagrożone i potrzeby w stosowaniu nowoczesnych metod ochrony (Dyrektywa 2003/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku [2]). Rezultatem tych działań są prace dotyczące poszukiwania efektywnych technicznie i ekonomicznie sposobów i metod ochrony przed hałasem transportowym.

Całkowite wyeliminowanie hałasu transportowego z naszego otoczenia (środowiska pracy, nauki, zamieszkania, odpoczynku, rekreacji, itp.) jest oczywiście niemożliwe. Szacuje się, że około 21% obszaru Polski jest zagrożone ponadnormatywnym hałasem powodowanym przez transport (drogowy, kolejowy i lotniczy). Istnieje wiele sposobów na to, aby jego szkodliwym oddziaływaniom dość skutecznie zapobiegać. Należy tego dokonywać najlepiej na etapie, kiedy interwencja medyczna nie jest jeszcze konieczna. Dlatego prawdziwym wyzwaniem najbliższych lat będzie odpowiednie kształtowanie i zabezpieczenie tras komunikacyjnych oraz terenów, na których żyjemy, aby szkodliwe oddziaływanie na zdrowie hałasu pochodzącego od szeroko rozumianej infrastruktury transportowej było w jak największym stopniu ograniczone.

W ochronie przed hałasem transportowym niezwykle ważny jest konkretny przypadek, z jakim ma się do czynienia. W przypadkach istniejącej infrastruktury transportowej działania ochronne związane będą przede wszystkim ze strefą odbioru (budynek, tereny rekreacyjne, itp.), natomiast w przypadku nowo projektowanych tras istnieje szansa na wprowadzenie odpowiednich metod i środków już w strefie generowania hałasu. Każdy jednak przypadek wymaga podejścia szerszego niż dotychczas obserwowane w praktyce, które są ukierunkowane na rozwiązywanie pojedynczych problemów w sposób najszybszy i najprostszy.

Przystępując do ograniczania hałasu należy podjąć próbę zastosowania innych, poza ekranami akustycznymi, metod i sposobów ochrony przed hałasem transportowym, co może przyczynić się do poprawy klimatu akustycznego w miastach oraz w środowisku przyrodniczym. O konieczności zastosowania powyższych metod zdecydują w najbliższych latach

wyniki i wnioski z prac nad mapami akustycznymi, które wykażą przekroczenia wartości dopuszczalnych na większości dróg i ulic w Polsce.

Bibliografia

- [1] Bohatkiewicz J.: *Ochrona przed hałasem w projektowaniu i zarządzaniu drogami – realne metody ochrony przed hałasem*. (www.oos.pl)
- [2] Dyrektywa 2002/49/WE z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dz.U. WE L 189 z 18.07.2002)
- [3] Engel Z.: *Ekrany akustyczne MOŚZNIL*. IMW, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Kraków, 1990
- [4] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. PWN, Warszawa, 2001
- [5] http://ec.europa.eu/environment/urban/pdf/com2004_60_pl.pdf
- [6] <http://mapaakustyczna.um.warszawa.pl>
- [7] Karpiński F.: *Ochrona środowiska przed hałasem komunikacyjnym*. Magazyn Autostrady, 3/2003, s. 71–74
- [8] Mańko Z., Stankiewicz B., Bęben D.: *Walka z hałasem komunikacyjnym w miastach*. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2002
- [9] Marakiewicz R.: *Hałas a środowisko*. Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań, 1996
- [10] Massalski J. M., Studnicki J.: *Legalne jednostki miar i stałe fizyczne*. PWN, Warszawa, 1999
- [11] Materiały firmy Techbud z Krakowa
- [12] Olszacki J.: *Hałas ruchu drogowego*. Część 1. Mechanizm powstawania hałasu. *Drogownictwo*, 2008, nr 3, s. 80-84
- [13] Olszacki J.: *Hałas ruchu drogowego*. Część 2. Mechanizm tłumienia hałasu. *Drogownictwo*, 2008, nr 4, s. 118-122
- [14] Olszacki J.: *Hałas ruchu drogowego*. Część 3. Efektywność tłumienia hałasu przez nawierzchnie drogowe - wyniki badań laboratoryjnych. *Drogownictwo*, 2008, nr 5, s. 164-170.
- [15] Program ochrony środowiska przed hałasem dla miasta Gdyni. Załącznik 1: Katalog środków antyhałasowych. Gdynia, wrzesień 2008
- [16] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 15 stycznia 2002 r. w sprawie progowych wartości poziomu hałasu (Dz.U. 2002, Nr 8, poz. 81)
- [17] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 października 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinien odpowiadać program ochrony środowiska przed hałasem (Dz.U. 2002, Nr 179, poz. 1498)
- [18] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 17 stycznia 2003 r. w sprawie rodzajów wyników pomiarów prowadzonych w związku z eksploatacją dróg, linii kolejowych, linii tramwajowych, lotnisk oraz portów, które powinny być przekazywane właściwemu organowi ochrony środowiska, oraz terminów i sposobów ich prezentacji (Dz.U. 2003, Nr 18, poz. 164)
- [19] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 23 stycznia 2003 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz. U. 2003, Nr 35, poz. 308)
- [20] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2004, Nr 178, poz. 1841)
- [21] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2007, Nr 120, poz. 826)
- [22] Stankiewicz B.: *Ocena hałasu na stalowych mostach kolejowych*. Praca doktorska, Wydział Budownictwa, Politechnika Opolska, Opole, 2005
- [23] Sybilski D. (red.): *Ocena wpływu typu i technologii wykonania nawierzchni drogowej na hałaśliwość ruchu drogowego i jego uciążliwość dla środowiska*. Raport z pracy badawczej IBDiM, PB i PG na zlecenie GDDKiA, 2005 (praca niepublikowana)
- [24] Rawicka-Siarkiewicz H.: *Ograniczanie zanieczyszczeń w splywach powierzchniowych z dróg – ocen technologii i zasady wyboru*. Instytut Ochrony Środowiska, Warszawa, 2003
- [25] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. 2001, Nr 62, poz. 627 z późniejszymi zmianami) ■