

CHACIŃSKA Patrycja¹
ADAMCZYK Jan²

Analiza ekonomiczno- techniczna różnych typów rozwiązań zabezpieczeń wibroakustycznych wraz z ich porównaniem

Hałas drogowy, zabezpieczenia akustyczne

Streszczenie

W artykule przedstawiono analizę ekonomiczno-techniczną różnych typów rozwiązań zabezpieczeń wibroakustycznych na przykładzie węzła drogowego zlokalizowanego na głównej drodze wlotowej do aglomeracji miejskiej.

Zaproponowano zabezpieczenia wibroakustyczne, dla których wykonano ocenę prognozowanych oddziaływań na klimat akustyczny w środowisku. Określono dla nich wskaźniki skuteczności działań ochrony środowiska przed hałasem oraz wykonano analizę ekonomiczną. Porównano i oceniono wybrane rozwiązania z punktu widzenia oddziaływania inwestycji na klimat akustyczny w środowisku. Analizę przeprowadzono przy przyjętych przez inwestora rozwiązaniach technicznych i lokalizacyjnych, ze szczególnością i dokładnością odpowiednią do posiadanych danych i założeń zawartych w koncepcjach oraz w projekcie budowy analizowanego węzła.

ECONOMICAL AND TECHNICAL ASPECTS OF VARIOUS TYPES OF VIBROACOUSTIC PROTECTIONS WITH THEIR COMPARISON

Abstract

The article presents an analysis of economic and technical aspects of vibroacoustic protection. The example is a road node located on the main artery through upstream to the urban agglomeration.

Proposed vibroacoustical protection that underwent assessment of the expected impacts on the acoustic climate in the environment. Specified for the effectiveness of these indicators of environmental noise, and performed an economic analysis. Compared and evaluated the chosen solutions in terms of impact on the acoustic climate of investment in the environment. The analysis was taken investor with technical solutions and localization, with detail and precision appropriate to the available data and targets contained in the conception and design of the structure of the analyzed node.

1. WPROWADZENIE

Hałas komunikacyjny w aglomeracjach miejskich jest zjawiskiem powszechnym. Jest on zakwalifikowany, jako jeden z czynników zanieczyszczenia środowiska naturalnego. Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska Dz.U.2007 Nr 120 poz. 826 z dnia 14 czerwca 2007 r. na terenach chronionych obowiązują dopuszczalne poziomy dźwięków pochodzących od dróg. Zarządzający źródłem hałasu chcąc przeprowadzić inwestycję polegającą na modernizacji bądź budowie drogi musi zapewnić określone standardy jakości klimatu akustycznego w środowisku. W tym celu zazwyczaj projektowane są liczne rozwiązania wibroakustyczne. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem są ekrany akustyczne. Jak wynika z obserwacji często koncepcje rozwiązań wykonywane są przez osoby niedoświadczone, które proponują rozwiązania niekorzystne pod względem skuteczności i mocno przeszacowane. Pokazuje na to uproszczona analiza ekonomiczno techniczna najczęściej stosowanych rozwiązań zabezpieczeń wibroakustycznych wykonana w Instytucie Ochrony Środowiska-PIB przez autorów artykułu [2].

2. OBSERWACJE

Analizy wykonano w oparciu o zalecaną w Dyrektywie 2002/49/WE francuską metodę obliczeniową 'NMPB-Routes-96 dla hałasu drogowego (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB)' przy użyciu oprogramowania CadnaA.

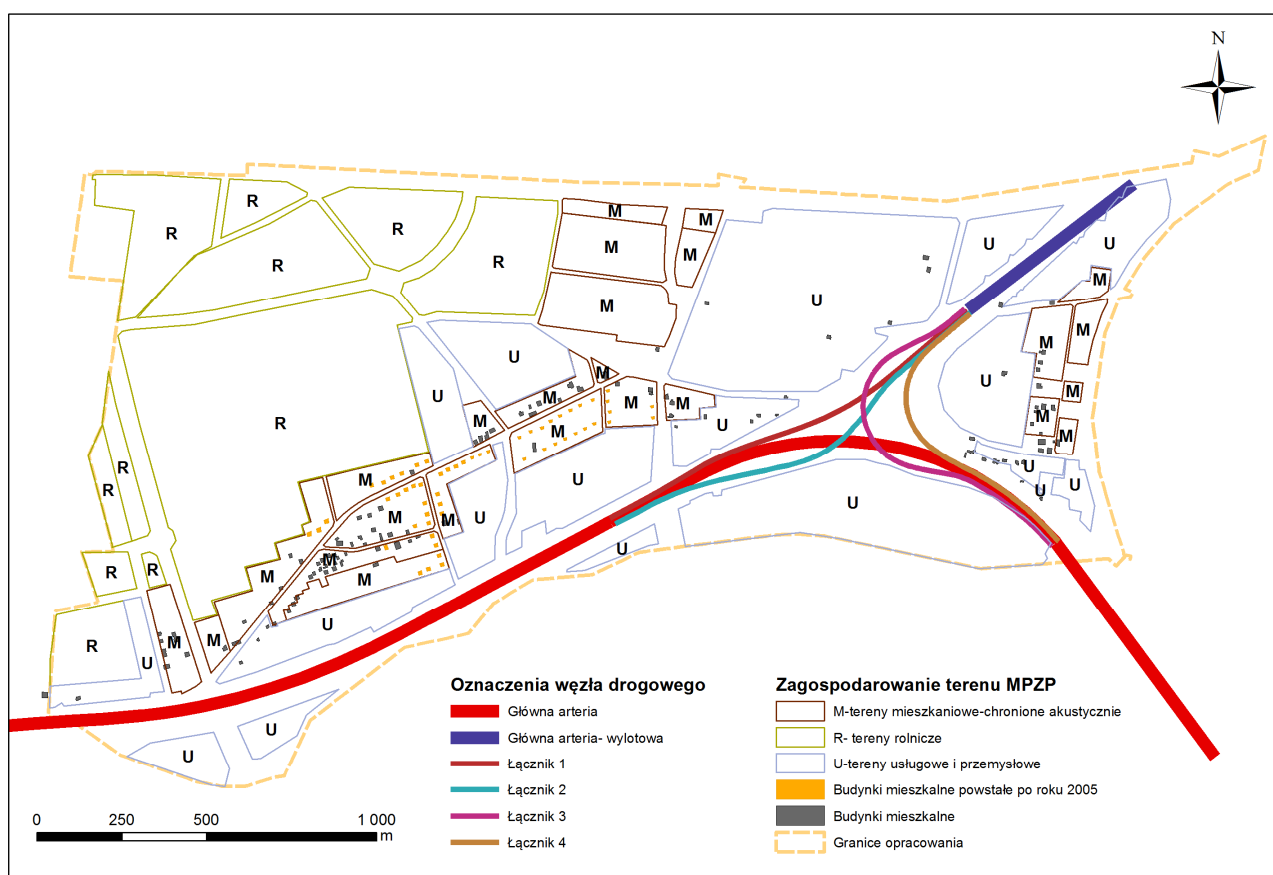
W celu dokonania oceny wariantów zabezpieczeń wibroakustycznych dla analizowanego przedsięwzięcia wprowadzono parametry dotyczące drogi (geometria, natężenia i strukturę ruchu (Tab. 1)) oraz zidentyfikowano budynki, które wpływają na rozprzestrzenianie się dźwięku (Tab. 2).

¹ Instytut Ochrony Środowiska - Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Akustyki Środowiska; 00-548 Warszawa; ul. Krucza 5/11d.
Tel.: +48 22 625-10-05, Fax.: +48 22 629-52-63, E-mail: patrycja@ios.edu.pl

² Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy, 00-701 Warszawa; ul. Czerniakowska 16.
Tel.: +48 22 623-36-98, Fax.: +48 22 623-36-93, E-mail: kancelaria@ciop.pl

Tab. 1. Zestawienie przyjętych do obliczeń parametrów ruchu

Odcinek	Liczba pojazdów w porze nocnej [l.poj./h]	% pojazdów ciężkich	Prędkość pojazdów [km/h]	Szerokość drogi [m]
Główna arteria- wlot na węzeł -strona zachodnia	2058	27,0	120	33
Główna arteria- wylot z węzła -strona wschodnia	1796	27,0	120	33
Główna arteria - węzeł	1078	27,0	120	33
Łącznik 1	420	31,0	80	10,5
Łącznik 2	560	31,0	80	10,5
Łącznik 3	373	31,0	60	10,5
Łącznik 4	345	31,0	60	10,5
Główna arteria- wylot z węzła	1698	31,0	80	26



Rys.1. Schemat analizowanego węzła drogowego

W chwili obecnej zgodnie z obowiązującym miejscowym planem zagospodarowania przestrzennego na omawianym obszarze znajdują się tereny mieszkaniowe, usługowe oraz rolnicze. Wzdłuż planowanego węzła w pierwszej linii zabudowy w głównej mierze znajdują się tereny przemysłowe. Niemniej jednak tereny mieszkalne zajmują ok. 54ha. Są to tereny, na których jest 260 zabudowań mieszkalnych. Należy przy tym zauważyć, że 25% tych budynków jest wybudowana po roku 2005 i są one zlokalizowane w bezpośrednim sąsiedztwie projektowanego węzła.

Tab. 2. Charakterystyka zagospodarowania wokół analizowanego węzła

Rodzaj zagospodarowania	Całkowita powierzchnia [ha]	Rodzaj zabudowy	Całkowita liczba budynków [ha]
tereny rolne	103,6	budynki mieszkalne wybudowane po roku 2005	56
tereny mieszkalne	54,0	budynki mieszkalne wybudowane do roku 2005	204
tereny przemysłowe	119,2	budynki przeznaczone do wyburzenia przez projektantów węzła	96

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Środowiska Dz.U.2007 Nr 120 poz. 826 z dnia 14 czerwca 2007r. zidentyfikowano tereny chronione przed hałasem w środowisku. Wokół węzła występuje zabudowa mieszkaniowa wielorodzinna oraz zabudowa zagrodowa. Zgodnie z rozporządzeniem na tych terenach dopuszczalny poziom dźwięku dla pory dziennej wynosi:

$$L_{AeqD} = 60\text{dB} \text{ oraz dla pory nocnej } L_{AeqN} = 50\text{dB}.$$

2.1 Warianty obliczeń

W celu porównania ze sobą różnych rozwiązań zabezpieczeń wibroakustycznych do analizy ekonomiczno-technicznej wybrano węzeł drogowy zlokalizowany na obrzeżach aglomeracji miejskiej. Analizę przeprowadzono przy przyjętych przez inwestora rozwiązaniach technicznych i lokalizacyjnych, ze szczególnością i dokładnością odpowiednią do posiadanych danych i założeń zawartych w koncepcjach oraz w projekcie budowy analizowanego węzła. Analizy akustyczne wykonano dla stanu prognozowanego.

Wybrano cztery odmienne warianty rozwiązań zabezpieczeń wibroakustycznych, które opisano poniżej.

Wariant 1 podstawowy: układ drogowy zaprojektowany, jako węzeł 3-poziomowy. Główna arteria poprowadzona jest na nasypach o średniej wysokości 2m, łącznice zaś na estakadach. Jest to rozwiązanie konstrukcyjne bardzo często stosowane w kraju. Wariant 1 jest wariantem podstawowym, w którym nie zastosowano żadnych środków ochrony wibroakustycznej.

Wariant 2 minimalny - stanowi układ drogowy taki jak w wariantcie 1. Zastosowano tu jednak rozwiązania wibroakustyczne w postaci ciągu ekranów akustycznych wysokości 5m. Zaprojektowano szczelne ekrany wzdłuż wszystkich dróg (zarówno głównej arterii jak i na estakadach), które są położone w odległości 1m od krawędzi drogi. W praktyce taka sytuacja jest bardzo trudna do wykonania z uwagi na możliwości techniczne. Trudno jest zaprojektować szczelne ekrany ze względu na występowanie licznych kolizji. Mogą to być między innymi liczne wjazdy na posesje i drogi techniczne, lokalizację przystanków autobusowych, konieczność utrzymania parametrów związanych z widocznością na drodze, szczególnie w rejonach skrzyżowań. Środki ochrony nie odznaczają się, więc taką skutecznością, jak w analizowanym, teoretycznym przypadku. Potwierdzają to wyniki przeprowadzonych przez Instytut Ochrony Środowiska- PIB pomiarów skuteczności ekranowania[5].

Wariant 3 maksymalny - stanowi układ drogowy i ciąg ekranów taki jak w wariantcie 2. Zastosowano tu jednak ekrany wysokości 10m. Jest to wysokość, która jest bardzo trudna do wykonania z technicznego punktu widzenia, w szczególności na estakadach. Została ona jednak przyjęta do obliczeń, w celu lepszego zobrazowania problemu. W praktyce unika się stosowania ekranów wyższych niż 8m. Po to by skuteczność ekranowania była większa stosowane są najczęściej dyfraktory lub ekrany o zakrzywionym przekroju poprzecznym. To rozwiązanie jest stosowane w celu dotrzymania wartości dopuszczalnych poziomów dźwięku w środowisku tak by $L_{AeqN} \leq 50\text{dB}$. Ma to miejsce często przy drogach o bardzo dużym natężeniu ruchu, w głównej mierze drogach dojazdowych do aglomeracji miejskich.

Wariant 4 wykop- układ drogowy, w którym główna arteria poprowadzona jest w 5m wykopie, łącznice zaś podobnie jak w pozostałych wariantach zaprojektowano na estakadach. Poprowadzenie drogi w wykopie zostało potraktowane, jako środek ochrony wibroakustycznej.

Poniżej (Tab. 3) przedstawiono podstawowe założenia, które zostały przyjęte do dalszych analiz.

Tab. 3. Zestawienie parametrów przyjętych do obliczeń

Parametr		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Nasyp/wykop	l-długość [m]	4400	4400	4400	4400
	h-wysokość [m]	2	2	2	5
	nachylenie skarp 1:2	1:2	1:2	1:2	1:2
	objętość mas ziemnych [m ³]	308 000	308 000	308 000	308 000
Wykop	założony koszt jednostkowy [j.m.m ³]	-	-	-	20
Nasyp	założony koszt jednostkowy	50	50	50	-

Parametr		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
	[j.m.m ³]				
Ekran akustyczny	l-długość [m]	-	16 821	16 821	-
	h-wysokość [m]	-	5	10	-
	powierzchnia [m ²]	-	84 105	168 210	-
	założony koszt jednostkowy [j.m.m ²]	-	700	1500	-
Grunt	cena rynkowa [zł/m ²]	200-300zł			
Budynek jednorodzinny - koszt wykupu	[-]	1 000000zł			

Powyższe założenia pozwolą na oszacowanie kosztów ochrony przed hałasem dla poszczególnych wariantów obliczeniowych. Pod uwagę wzięto średnie wartości, które zależą od warunków lokalnych.

2.2 Wskaźniki oceny

Podstawowym kryterium przy ocenie zabezpieczeń rozwiązań wibroakustycznych jest wskaźnik przekroczonych dopuszczalnych poziomów dźwięku L_{AN} [dB].

$$L_{AN} = L_{Aeq(en)} - L_{Adop} \quad (1)$$

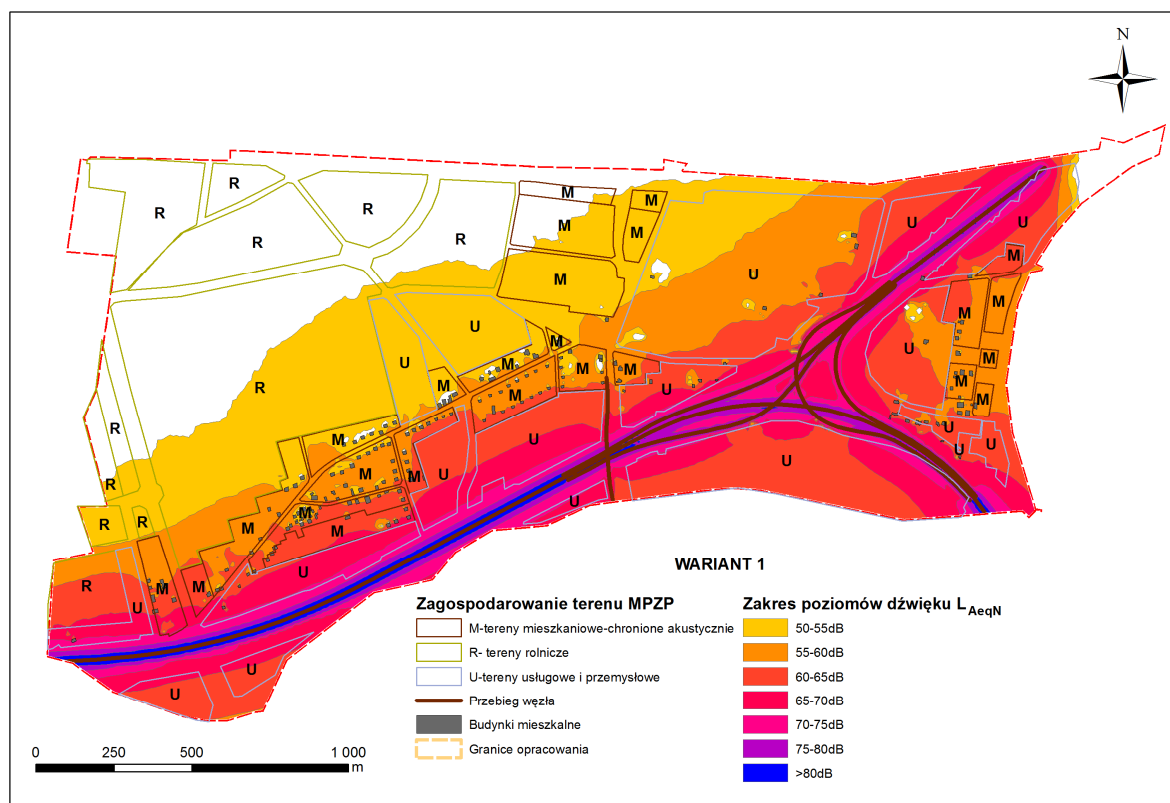
gdzie: $L_{Aeq(en)}$ - równoważny poziom dźwięku A, średni na danym obszarze, [dB]
 L_{Adop} - dopuszczalny poziom hałasu, [dB]

Na ogół wskaźnik ten nie jest wyrażany jedną liczbą. Najczęściej podaje się rozkład naruszenia klimatu akustycznego w poszczególnych klasach poziomów dźwięku, których szerokość zwyczajowo ustala się w większości przypadków na 5 dB.

Poniżej przedstawiono wyniki obliczeń w punktach obliczeniowych (Tab. 4) usytuowanych arbitralnie przy budynkach mieszkalnych, wzdłuż planowanej inwestycji.

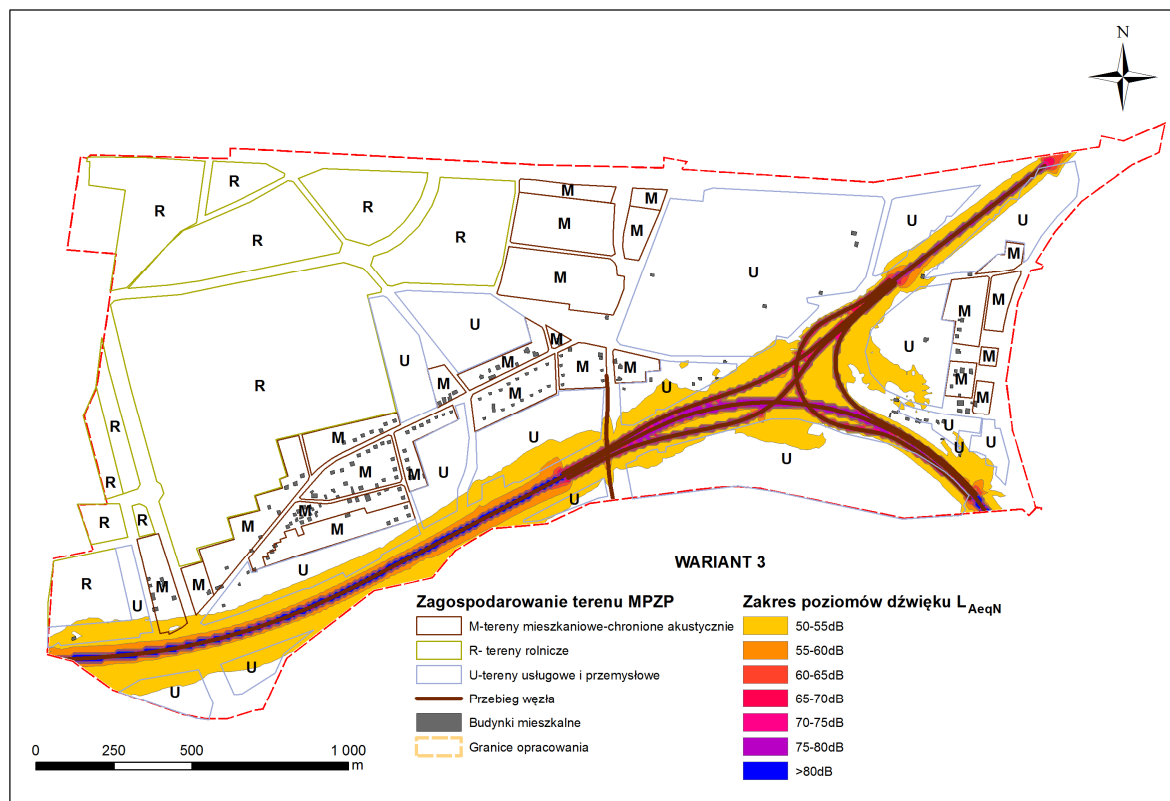
Tab. 4. Wielkość przekroczenia poziomów dopuszczalnych $L_{Aeq}=50$ dB dla pory dziennej, obliczenia w punktach obliczeniowych na wysokości $h=4$ m

Numer punktu odbioru	Odległość punktu od źródła [m]	Wielkość przekroczenia poziomów dopuszczalnych $L_{Aeq}=50$ dB			
		Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
1	50	21.5	9.6	3.1	20.2
2	98	17.3	6.1	-	12.6
3	149	13.8	0.5	-	5.5
4	176	11.8	0.5	-	3.5
5	104	17.8	6.7	-	12.3
6	180	14.2	3.6	-	6.3
7	322	10.4	1.6	-	2.7
8	262	11.5	2.0	-	3.5
9	169	10.7	1.3	-	5.4
10	11	12.2	1.6	-	9.9
11	124	10.3	1.6	-	7.0
12	145	10.9	4.0	-	9.4
13	199	7.5	-	-	5.1
14	387	3.6	-	-	4.4
15	180	10.2	4.1	-	8.1
16	192	10.5	2.7	-	9.4
17	121	12.4	3.2	-	13.5



Rys.2. Prognozowany rozkład poziomu dźwięku A –WARIANT 1

W wyniku przeprowadzonych analiz akustycznych i przestrzennych określono zasięgi oddziaływania inwestycji na klimat akustyczny. Oszacowano liczbę budynków a tym samym liczbę ludzi zagrożonych hałasem w poszczególnych klasach poziomów dźwięku (Tab. 5).



Rys.2. Prognozowany rozkład poziomu dźwięku A –WARIANT 3

Często w celu oceny poszczególnych rozwiązań wibroakustycznych wyznacza się wskaźnik M, tak zwany wskaźnik imisji [3]. Wskaźnik ten wiąże uciążliwość hałasu (odzwierciedlaną przekroczeniem dopuszczalnego poziomu dźwięku) z liczbą osób na niego narażonych, z uwzględnieniem zakresu przekroczeń.

Definicja wskaźnika M [-] oparta jest o wzór:

$$M = 0.1 \left(\sum_{i=1}^n m_i K_i \right) \quad \text{dla} \quad L_{Ai} > L_{dop} \quad (2)$$

gdzie: m_i - liczba osób zamieszkująca zagrożony teren,
natomiast:

$$K_i = 10^{0.1(L_{Ai} - L_{dop})} - 1 \quad \text{dla} \quad L_{Ai} > L_{dop} \quad (3)$$

$$K_i = 0 \quad \text{dla} \quad L_{Ai} \leq L_{dop} \quad (4)$$

gdzie: L_{dop} - dopuszczalny poziom hałasu, [dB]
 L_{Ai} - aktualna wartość poziomu dźwięku, [dB]

Wartość wskaźnika M może służyć do:

- porównania stopnia zagrożenia hałasem różnego rodzaju terenów,
- do oceny względnej efektywności podejmowanych działań ochronnych.

W wyniku analiz akustycznych i przestrzennych dla rozpatrywanego przypadku węzła drogowego, obliczono wskaźnik M. Oszacowano również liczbę budynków znajdujących się w poszczególnych klasach przekroczeń dopuszczalnych poziomów dźwięków dla analizowanych wariantów rozwiązań wibroakustycznych. Wartości te zestawiono poniżej (Tab. 5).

Tab. 5. Wielkość wskaźnika M

Wskaźnik	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Wartość przekroczenia dopuszczalnych poziomów dźwięku $L_{AN} = L_{AeqN} - L_{dop}$ [dB]	Liczba budynków zagrożonych hałasem w porze nocnej			
(0-5 dB)	21	79	7	85
<5dB – 10 dB)	83	13	-	30
<10 dB – 15 dB)	58	-	-	17
<15 dB – 20 dB)	8	-	-	6
< >20 dB	3	-	-	2
Wskaźnik M [-]	1291,86	86,35	4,54	659,65

Innym wskaźnikiem używanym w celu oceny proponowanych rozwiązań wibroakustycznych jest wskaźnik efektywności technicznej rozwiązania antyhałasowego E [4].

Efektywność zastosowanego środka redukcji hałasu można wyznaczyć z zależności:

$$E = \frac{M_s - M'_s}{M_s} * 100\% \quad (5)$$

gdzie: M_s - wartość wskaźnika M przed realizacją
 M'_s - wartość wskaźnika M po zastosowaniu odpowiedniego środka redukcji hałasu

Obliczenie efektywności E pozwala określić, które rozwiązanie antyhałasowe jest najlepsze, przy czym nie jest brany pod uwagę koszt takiego rozwiązania. Porównując dwa rozwiązania, bardziej efektywnym będzie to, dla którego współczynnik E będzie większy. Jeśli w wyniku działań naprawczych nastąpi wyeliminowanie przekroczeń poziomów dopuszczalnych na danym obszarze, to skuteczność zastosowanego rozwiązania wyniesie 100%. Aby móc zaplanować wydatki na ochronę środowiska przed hałasem, należy oszacować skuteczność proponowanych rozwiązań.

Skuteczność rozwiązania antyhałasowego S [4], rozumiana jest, jako miara społecznych korzyści, i wyrażona jest wzorem:

$$S_i = m_i * \Delta L_i \quad (6)$$

gdzie: S_i - skuteczność rozwiązania antyhałasowego
 m_i - liczba osób zamieszkujących dany obszar (np. pojedynczy budynek)
 ΔL_i - wielkość redukcji hałasu na tym obszarze

Widać, zatem, że skuteczność jest wprost proporcjonalna do liczby ludności zamieszkującej obszar i do stopnia zmniejszenia hałasu po zastosowaniu środka antyhałasowego.

Tab. 6. Skuteczność oraz efektywność techniczna rozwiązania antyhałasowego

Wskaźnik	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Skuteczność rozwiązania antyhałasowego S_i [-]	6120,0	1575,0	105,0	3450,0
Efektywność techniczna rozwiązania antyhałasowego E [%] Jako M_s przyjęto wskaźnik M dla wariantu 1	0,0%	93,3%	99,6%	48,9%

Porównując koszt danego rozwiązania do jego skuteczności otrzymujemy informację o tym, ile kosztować będzie redukcja hałasu o 1dB w przeliczeniu na jednego mieszkańca. Stosunek kosztu realizacji przedsięwzięcia do jego skuteczności nazywa się kosztownością inwestycji (antyhałasowej).

Kosztowność inwestycji KCH [4] można określić, jako stosunek kosztów do zysku. W tym przypadku miarą zysku jest skuteczność rozwiązania antyhałasowego.

Matematycznie wyznacza się ją wzorem:

$$KCH = \frac{k}{S} \quad (7)$$

gdzie: KCH – kosztowność inwestycji (antyhałasowej)

k - koszt inwestycji

S - skuteczność inwestycji

Współczynnik KCH może pomóc we wskazaniu najlepszego rozwiązania wibroakustycznego, poprzez ocenę skuteczności działań antyhałasowych. Dzięki niemu można określić, który wariant przy nakładzie najmniejszych środków da największą redukcję dla jak największej liczby osób. Współczynnik KCH został obliczony dla wszystkich rozpatrywanych przypadków i zestawionych poniżej (Tab. 7).

Tab. 7. Wyniki szacowanych kosztów wykupu budynków wraz z liczbą budynków mieszkalnych z przekroczonymi poziomami dźwięku

Rodzaj kosztu	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4
Przybliżony koszt wykupu budynków zagrożonych hałasem w porze nocnej $L_{AN}>5dB$	152 mln zł	13 mln zł	-	55 mln zł
Łącznie koszt ochrony przed hałasem dla przyjętych środków ochrony przed hałasem	15,4 mln zł	74,3 mln zł	267,7 mln zł	11,2 mln zł
Koszt całkowity (poz1 + poz2)	167,4 mln zł	87,3 mln zł	267,7 mln zł	66,2 mln zł
Koszt budowy samych ekranów akustycznych	-	58,9 mlnzł	252,3 mlnzł	-
Współczynnik kosztowności KCH				
KCH uwzględniający koszt całkowity środków ochrony w tym wykupu mieszkań	27353	14260	43744	10817
KCH uwzględniający koszt samych ekranów	-	9620	41228	-
KCH uwzględniający koszt ochrony przed hałasem dla przyjętych środków ochrony przed hałasem	2516	12136	43744	1830

2.3 Wyniki analiz

Analiza uzyskanych wyników obliczeń w punktach obliczeniowych (Tab. 4), wskazuje na konieczność zastosowania środków ochrony wibroakustycznej. Przekroczenia poziomów dopuszczalnych wynoszą ponad 20dB w porze nocnej, w odległości 50m od źródła.

Ocena otrzymanych wartości wskaźnika M, wskaźnika skuteczności rozwiązania antyhałasowego S oraz wskaźnika efektywności rozwiązania antyhałasowego E wskazuje jednoznacznie, że wariant 3, czyli wariant, w którym są zaproponowane szczelne ekrany akustyczne wysokości 10m jest najkorzystniejszy. Takie ekrany dają skuteczność, która nie powinna podlegać żadnej dyskusji. Dodać należy tylko, iż w jednej z ocen oddziaływania inwestycji na środowisko, które były wykonywane dla przedmiotowej inwestycji, zaproponowano ekrany o wysokości 13m wzdłuż głównej arterii i o wysokości 5m na estakadach. W wariantach 2 i 4 pomimo zastosowania środków ochrony wibroakustycznej, nadal występują znaczne przekroczenia poziomów dopuszczalnych. Należy zaznaczyć, że wariant 4, czyli poprowadzenie drogi w wykopie bez żadnych dodatkowych środków ochrony byłoby rozwiązaniem, które miejscami nawet o około 7dB zmniejszyłoby hałas w stosunku do wariantu I.

Czy zastosowane wskaźniki oceny ochrony wibroakustycznej są wystarczające?

Do dalszej analizy wzięto dodatkowo pod uwagę koszty inwestycyjne. Założono pewne uproszczenia w celu wykonania porównań. Należy zaznaczyć, że poszczególne koszty mogą znacznie się różnić w praktyce.

Do oceny założono, że celem podstawowym jest uzyskanie poziomów dźwięku $L_{AeqN} \leq 55\text{dB}$. Rozwiązanie zastosowania środków ochrony wibroakustycznej w wariancie 2 i 4 nie zapewniają w pełni takiej ochrony. Przy ocenie współczynnika kosztocłonności KCH dodatkowo uwzględniono, więc wykup budynków, w których prognozuje się występowanie przekroczeń dopuszczalnych poziomów dźwięku w środowisku w porze nocnej pomimo zastosowanych środków ochrony.

Analiza wskaźników, w których uwzględniono koszty, w tym współczynnik KCH dla różnych wariantów wskazuje, że rozwiązanie najlepsze w pierwszej części analiz- wariant 3 jest najgorsze w części drugiej. Dla wariantu 4, w którym zaproponowane jest rozwiązanie z najmniejszą redukcją hałasu uzyskano najmniejszy spośród wszystkich wariantów współczynnik KCH. Dla wariantu 3 obliczony wskaźnik KCH jest znacznie wyższy od uzyskanych w związku, z czym poddaje pod wątpliwość czy aby na pewno jest to rozwiązanie najlepsze.

3. WNIOSKI

W pracy starano się zwrócić uwagę na problemy przy dokonywaniu wyboru zabezpieczeń wibroakustycznych. W celu przybliżenia tematyki dokonano porównania czterech uproszczonych wariantów zabezpieczeń przy budowie węzła drogowego.

Starano się pokazać, że tego typu analizy powinny być wielokryterialne i nie powinny opierać się wyłącznie na wyborze rozwiązań zapewniających 0dB wartości przekroczenia poziomów dopuszczalnych. Do wykonania wyboru rozwiązania należy oprócz posługiwania się wybranymi wskaźnikami posługiwać się wiedzą i doświadczeniem ekspertów wykonujących taką analizę. Wielkość przekroczeń nie powinny być jedynym kryterium wyboru rozwiązania wibroakustycznego. Taka praktyka niestety ma miejsce w chwili obecnej. Wybierane są rozwiązania absurdalne, w których ekrany mają wysokość dochodzącą do 13m. Koszt wybudowania takiego ekranu jest bardzo wysoki a rzeczywista skuteczność ekranu zazwyczaj nie jest tak wysoka jak obliczeniowa. W przypadku rozwiązania w postaci ekranów akustycznych pozostaje również problem kosztów eksploatacyjnych. Można także zaobserwować, że po ok. 5 latach eksploatacji większość ekranów akustycznych w mieście stanowi obiekty zdewastowane, które ulegają korozji. W niniejszym opracowaniu koszty konserwacji i eksploatacji obiektów nie zostały uwzględnione.

Podsumowując przy dokonywaniu wyboru zabezpieczeń wibroakustycznych powinno się brać pod uwagę nie tylko jeden wskaźnik, jakim jest skuteczność ekranowania. W przypadku dużych przekroczeń poziomów dopuszczalnych należy brać pod uwagę również, ile kosztować będzie redukcja hałasu o 1dB w przeliczeniu na jednego mieszkańca. Należy opierać się również na wiedzy i doświadczeniu ekspertów uwzględniając tak zwany zdrowy rozsądek.

Koszty zabezpieczeń wibroakustycznych coraz częściej stanowią istotną pozycję w kosztorysach inwestycji drogowych i kolejowych zarówno projektowanych jak i modernizowanych. Koszty te można by znacznie obniżyć, gdyby wybór środka ochrony był wielokryterialny. W chwili obecnej brak jest jednak w przepisach szczegółowej metodyki, która nakładałaby na projektantów obowiązek przeprowadzenia wielokryterialnej analizy w odniesieniu do zagadnienia ochrony przed hałasem komunikacyjnym.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed hałasem i drganiami*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001r.,
- [2] Chacińska P.: *Aspekty akustyczne prowadzenia drogi ekspresowej miejskiej* praca podyplomowa, AGH, Kraków 2010.,
- [3] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 października 2002 r. w sprawie szczegółowych wymagań, jakim powinien odpowiadać program ochrony środowiska przed hałasem - (Dz. U. Nr 179, poz.1498 z dnia 29 października 2002 r.),
- [4] Program ochrony środowiska m.st. Warszawy, zatwierdzony uchwałą Rady m.st. Warszawy LXIII/1875/2005 z dnia 8 grudnia 2005r.,
- [5] Kucharski R.: *Ocena stanu akustycznego środowiska w skali kraju wraz z nadzorem merytorycznym nad systemem monitoringu hałasu w latach 2009 – 2011*, IOŚ, Biblioteka Monitoringu Środowiska, Warszawa 2011r.