

10

SPOSÓB WYKORZYSTANIA NARZĘDZI SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W OGRANICZANIU HAŁASU W BUDYNKACH WIELOPIĘTROWYCH

10.1 WPROWADZENIE

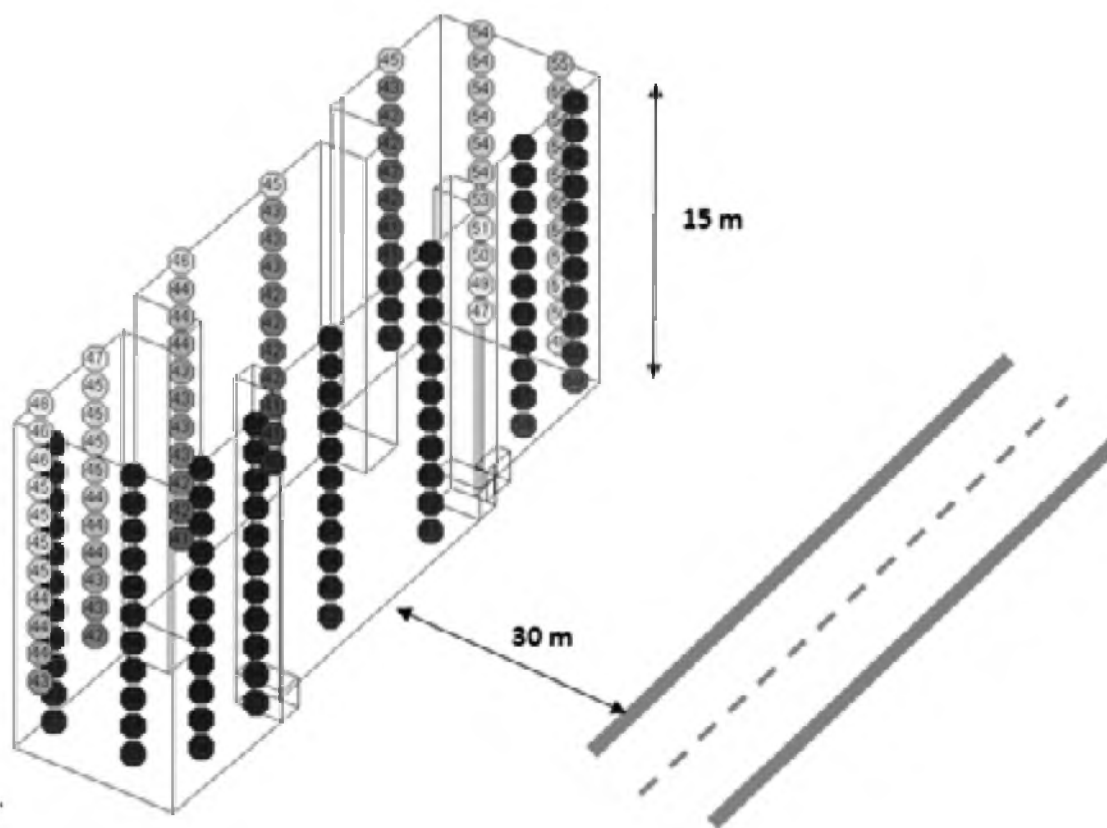
Dobór zabezpieczeń przeciwhałasowych budynków wielopiętrowych usytuowanych w miejscach silnie zurbanizowanych, w których występuje wiele różnych źródeł oddziaływania akustycznego, wspomagany może być wspólnie przez komputerowe narzędzia symulacyjne [5]. Oferują one możliwość przeprowadzania szeregu analiz pól akustycznych m in. rozkładu poziomego dźwięku na zewnętrznych elewacjach budynków wielopiętrowych. Analizy te wykorzystywane mogą być do wspomagania procesu wyboru optymalnego rozwiązania redukcji hałasu, uwzględniającego takie elementy jak wysokość budynku, jego położenie względem źródła/źródeł hałasu czy wpływu otoczenia. Funkcją celu dla tak zdefiniowanego procesu optymalizacji może być np. uzyskanie jak najlepszej redukcji hałasu na poszczególnych poziomach (piętrach) budynku mieszkalnego przy zastosowaniu praktycznie realizowalnych rozwiązań przeciwhałasowych. W takich przypadkach zadanie optymalizacji sprowadza się do generowania szeregu wariantów (koncepcji) rozwiązań redukujących hałas na elewacji/elewacjach budynku, oceny poszczególnych wariantów i wyboru najlepszego.

W niniejszym referacie przedstawiono możliwości wykorzystania narzędzia symulacyjnego CadnaA [0] dla potrzeb przeprowadzenia analizy i oceny narażenia na hałas budynków wielopiętrowych. Na podstawie studium przypadku zaprezentowano poszczególne etapy badań począwszy od identyfikacji obiektu i źródeł hałasu, poprzez tworzenie modelu geometrycznego, dobór metod obliczeniowych, a następnie wygenerowania wariantów i ich oceny.

10.2 METODYKA BADAŃ

Rozkład poziomego hałasu przy elewacji budynku jest zależny od odległości oraz ukształtowania przestrzeni pomiędzy źródłem hałasu (drogą) a fasadą budynku. Jeśli obszar pomiędzy źródłem hałasu a fasadą budynku jest stosunkowo płaski tzn. wysokość źródła odpowiada w przybliżeniu wysokości posadowienia budynku oraz pomiędzy źródłem a fasadą budynku nie ma przeszkód, rozkład poziomego hałasu na fasadzie budynku dla typowych "miejskich" odległości źródła hałasu wygląda tak, jak przedstawiony na rys. 10.1.

W przykładzie pokazanym na rys. 10.1 obliczenia przeprowadzone zostały dla budynku o rzucie w kształcie prostokąta i wysokości 30 m w odległości 15 m od osi drogi. W kolumnach w ośmiobocznych polach wpisane zostały poziomy hałas obliczone na każdej z czterech fasad na wysokości każdego piętra. W kolumnie z lewej strony wpisane są wartości obliczone na fasadzie najbliższej drogi, w skrajnej kolumnie z prawej strony, wartości obliczone na fasadzie po przeciwnej stronie budynku. W kolumnach środkowych wpisane są wartości obliczone na fasadach bocznych, prostopadłych do drogi. Jak wynika z obliczeń dla rozpatrywanej sytuacji poziom hałasu w funkcji wysokości na fasadzie najbliższej osi drogi oraz na fasadach prostopadłych do drogi jest największy do wysokości ok. 9-10 m, a następnie maleje. Na wysokości 30 m jest mniejszy od wartości największej o ok. 3 dB. Na fasadzie po przeciwnej stronie budynku, na skutek efektu ekranowania, poziom hałasu jest niższy (ok. 20 dB) od poziomu na fasadzie najbliższej drogi.

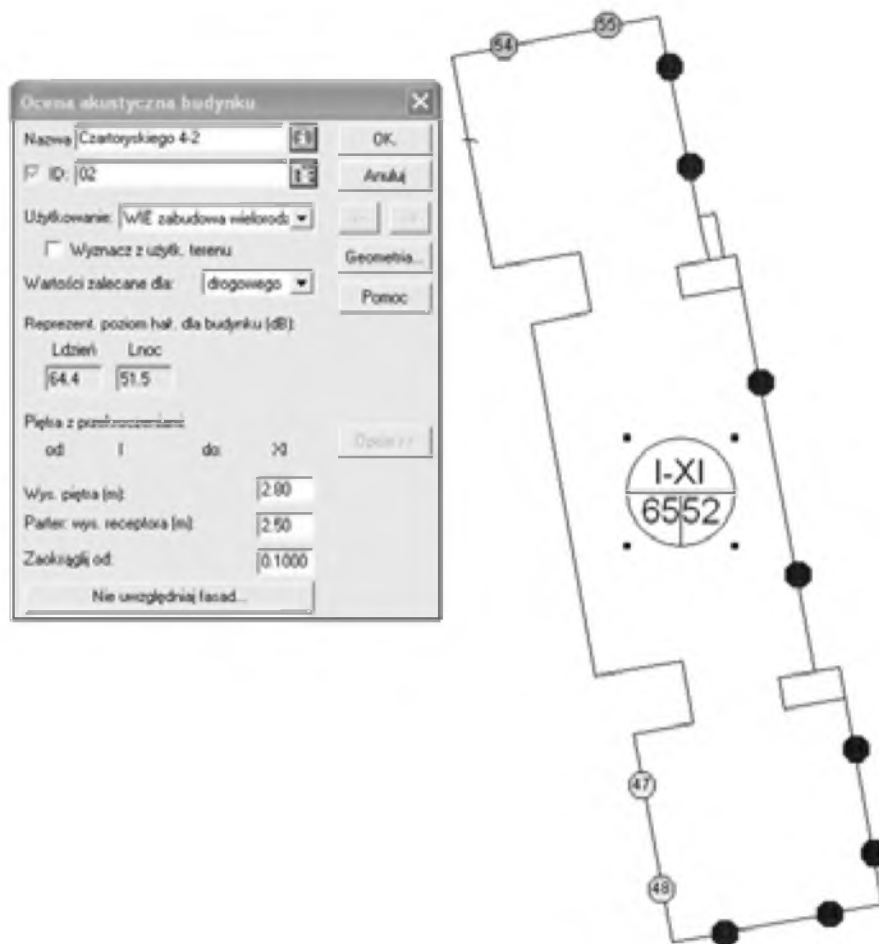


Rys. 10.1 Przykładowy rozkład poziomu hałasu na fasadach budynku w funkcji wysokości

Cechą charakterystyczną jest znacznie wyższy poziom hałasu w górnej części fasady w porównaniu z poziomem hałasu w części dolnej. Jest to spowodowane mniejszym efektem ekranowania górnej części fasady. Wielkość ekranowania jest tym większa, im większa jest różnica dróg propagacji w obecności przeszkód (w tym wypadku budynku) a hipotetyczną drogą propagacji bez obecności przeszkód.

W oprogramowaniu CadnaA wyznaczenie poziomu dźwięku na elewacji budynku umożliwia funkcja „ocena akustyczna budynku” (rys. 10.2).

W celu wyznaczenia emisji dźwięku od źródeł hałasu drogowego zastosowano model obliczeniowy zgodny z francuską krajową metodą obliczeniową "NMPB-Routes-96", do której odnosi się norma "XPS 31-133" [3]. Natomiast metoda obliczeniowa propagacji dźwięku w środowisku zewnętrznym jest zgodna z normą PN-ISO 9613-2:2002 pt. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólne metody obliczeń [7].



Rys. 10.2 Przykład zastosowania opcji „Ocena akustyczna budynku” w programie CadnaA

10.3 IDENTYFIKACJA OBIEKTU BADAŃ I JEGO OTOCZENIA

Obiektem badań są dwa XI kondygnacyjne budynki mieszkalne A i B, zlokalizowanych w bezpośrednim sąsiedztwie drogi krajowej DK 46 w centrum miasta. Plan sytuacyjny obszaru badań przedstawiono na rys. 10.3.

Na rys. 10.4 przedstawiono lokalizację budynków względem źródła hałasu – DK-46. Zgodnie z ustaleniami Studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego miasta budynki A i B zlokalizowane są na terenach zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i usług rangi ogólnie miejskiej. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2012, poz. 1109) tereny te należy zakwalifikować do grupy 3a terenów objętych ochroną akustyczną.



Rys. 10.3 Lokalizacja budynków mieszkalnych A i B

Wartości dopuszczalnego poziomu hałasu wyrażone równoważnym poziomem dźwięku A odniesionym do szesnastu godzin pory dnia (6:00-22:00) oraz ośmiu godzin pory nocy (22:00-6:00) w analizowanym przypadku wynoszą odpowiednio: dla pory dnia – 65 dB i dla pory nocy– 56 dB.

a) b)



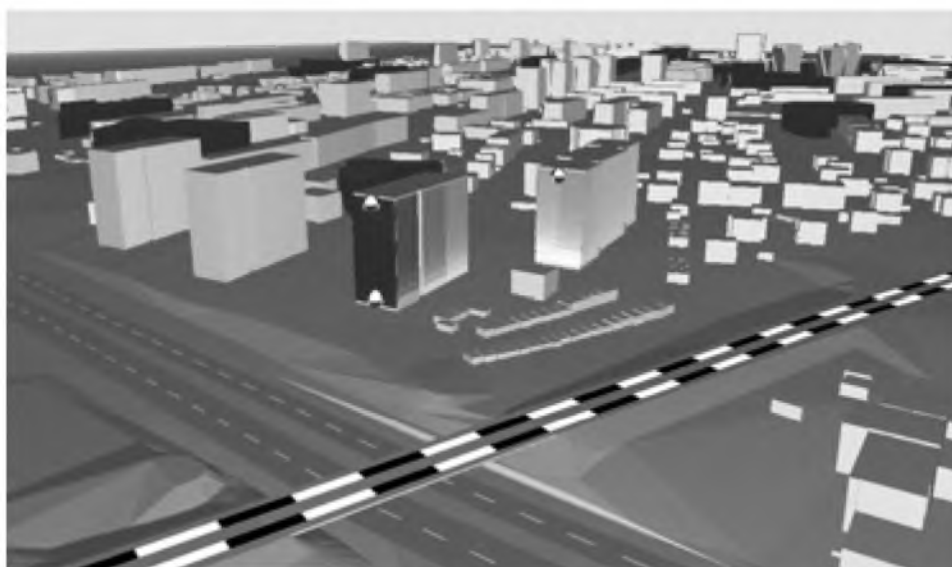
Rys. 10.4 Budynki A i B (a), usytuowanie budynku względem drogi DK-46 (b)

10.4 OPRACOWANIE MODELU SYMULACYJNEGO

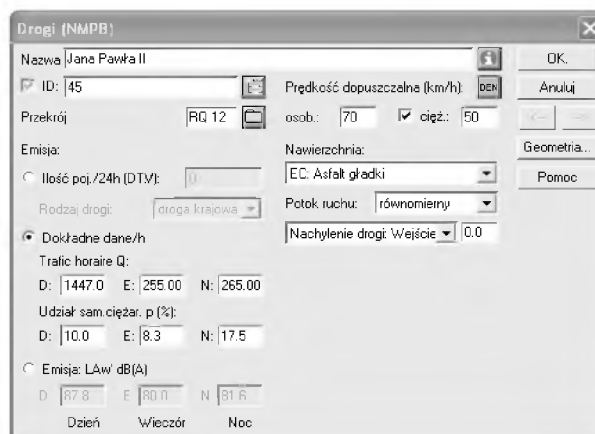
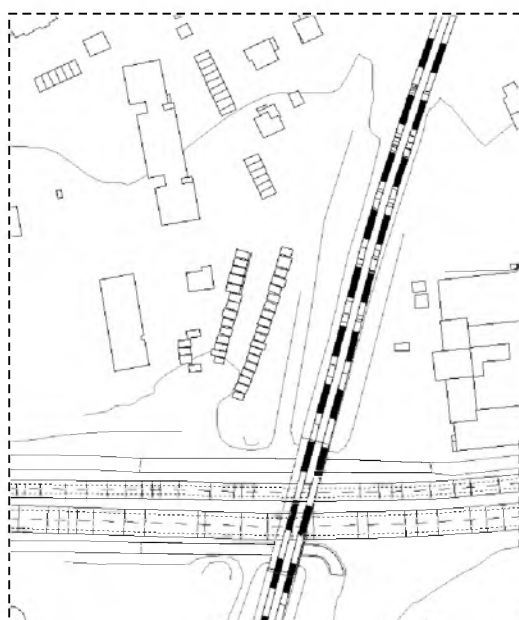
W celu przeprowadzenia obliczeń propagacji hałasu do środowiska wykonano z wykorzystaniem oprogramowania CadnaA przestrzenny model geometryczny obszaru objętego badaniami, a więc model źródeł hałasu wraz z przyległymi terenami podlegającymi ochronie akustycznej.

Model geometryczny opracowano na podstawie ortofotomapy wykonanej w skali 1:5000 oraz mapy zasadniczej w skali 1:1000. Model geometryczny zawiera elementy

mające wpływ na propagację fali akustycznej w środowisku, jak np.: budynki mieszkalne, przemysłowe, socjalne i gospodarcze oraz ukształtowanie terenu z Numerycznego Modelu Terenu odwzorowujące skarpy, nasypy i wzniesienia terenu. W modelu uwzględniono zjawisko ekranowania hałasu emitowanego od analizowanych źródeł liniowych przez obiekty budowlane zlokalizowane na badanym obszarze, jak również naturalne ekranowanie związane z ukształtowaniem terenu. Komputerowy model geometryczny obszaru z analizowanymi budynkami przedstawiono na rys. 10.5.



Rys. 10.5 Model analizowanego obszaru miasta



Rys. 10.6 Przypisanie parametrów źródłom hałasu w programie CadnaA

Zastosowano modele emisji źródeł i propagacji dźwięku zgodnie z założeniami określonymi w metodyce badań. W przypadku źródeł liniowych parametrem charakteryzującym źródło jest całkowita moc akustyczna L_{WA} lub moc akustyczna jednostkowa

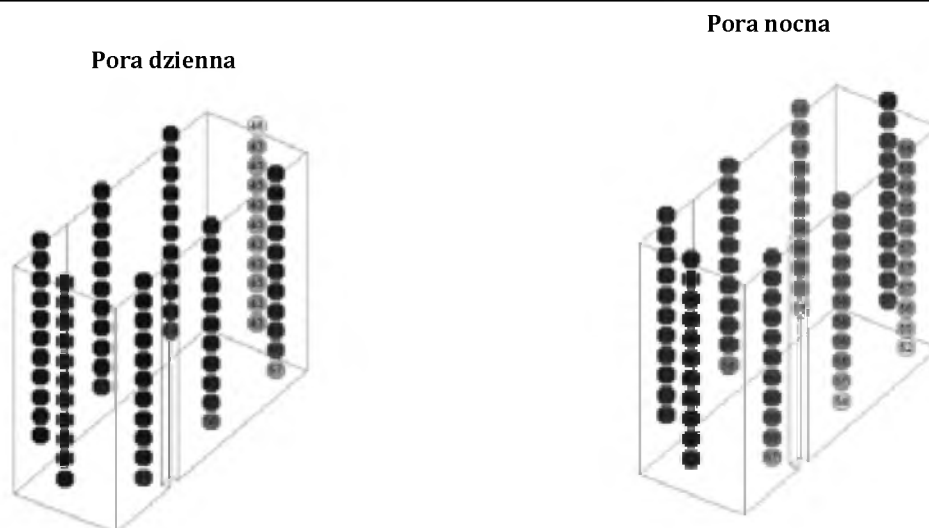
LWAI w dB/m, a więc moc przypadająca na jednostkę długości. Moc akustyczna źródeł liniowych została wyznaczona automatycznie przez oprogramowanie CadnaA, na podstawie podanych parametrów natężenia i struktury ruchu na danej trasie (rys. 10.6).

10.5 PRZEBIEG OBLICZEŃ AKUSTYCZNYCH

Po wprowadzeniu do modelu geometrycznego danych akustycznych charakteryzujących emisję głównych źródeł hałasu wykonano wstępne obliczenia poziomu dźwięku A w wybranych punktach obserwacji zlokalizowanych na różnych wysokościach najbardziej narażonej elewacji budynków. Następnie przeprowadzono walidację modelu akustycznego, mając na uwadze uzyskanie jak najmniejszych błędów zdefiniowanych jako różnica pomiędzy wartościami uzyskanymi na drodze obliczeniowej (z modelu) i wartościami uzyskanymi w wyniku pomiarów. Procedury realizacji pomiarów nie przedstawiono w niniejszym referacie. Wyniki walidacji zestawiono w tabeli 10.1.

Tabela 10.1 Zestawienie wyników walidacji modelu

Punkt pomiar.	Budynek	Równoważny poziom dźwięku A w dB					
		Pora dnia			Pora nocy		
		Pomiar LAeq	Obliczenia	Błąd modelu	Pomiar LAeq	Obliczenia	Błąd modelu
P1	A	69,5	69,2	0,3	63,4	63,2	0,2
P2	B	62,1	63,0	-0,9	56,2	57,2	-1,0

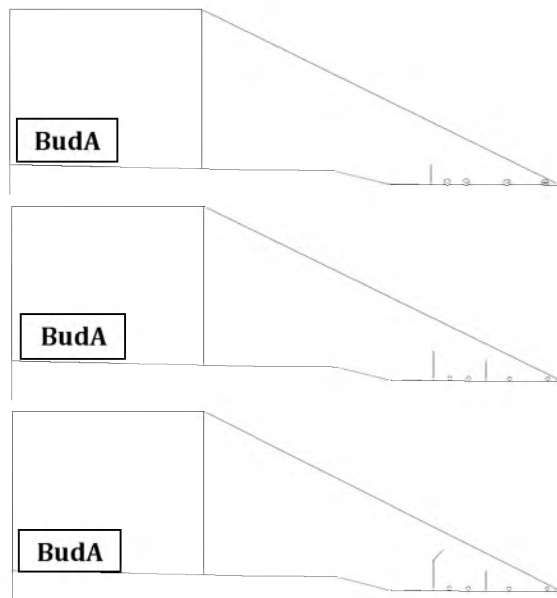


Rys. 10.7 Rozkład poziomu dźwięku A w [dB] na elewacji budynku A dla sytuacji wejściowej

W wyniku walidacji modelu uzyskano zgodność na poziomie nie przekraczającym $\pm 1,0$ dB co pozwala stwierdzić, że opracowany model charakteryzuje się wystarczającą dokładnością. Następnie przeprowadzono obliczenia rozkładu poziomu dźwięku na elewacjach budynków A i B (rys. 10.7).

10.6 ANALIZA MOŻLIWOŚCI REDUKCJI HAŁASU DROGOWEGO

Na podstawie przygotowanego modelu geometryczno akustycznego przeprowadzono badania symulacyjne w zakresie możliwości ograniczenia ponadnormatywnej emisji dźwięku ze źródeł hałasu drogowego.



Rys. 10.8 Przykłady geometrycznych rozwiązań usytuowania ekranów akustycznych



Rys. 10.9 Lokalizacja ekranów akustycznych wzdłuż źródła

W celu ograniczenia wpływu uciążliwego oddziaływania hałasu drogowego emitowanego z drogi DK-46 na budynki mieszkalne A i B przeprowadzono wariantową analizę możliwości zastosowania drogowych ekranów akustycznych w różnych konfiguracjach (lokalizacji, wysokości, izolacyjności akustycznej) oraz oceniono ich

skuteczność [1, 2]. Analizie poddano rozwiązania usytuowania i doboru geometrii ekranów akustycznych w różnych konfiguracjach geometrycznych (E1, E2, E3, E4) przedstawionych graficznie na rys. 10.8 i rys. 10.9.

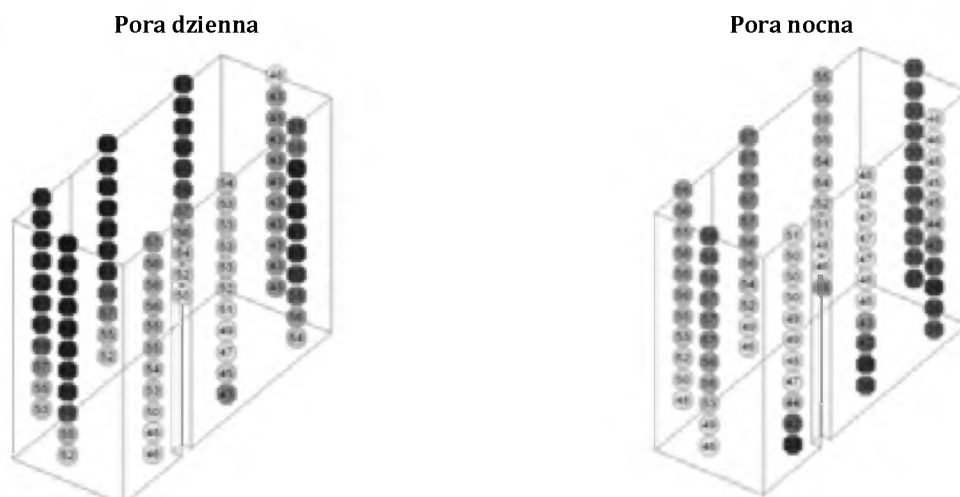
Szczegółowy opis analizowanych wariantów dla redukcji hałasu drogowego zestawiono w tabeli 10.2.

Tabela 10.2 Opis i charakterystyka wybranych wariantów zabezpieczeń akustycznych dla hałasu drogowego

Nr wariantu	Opis wariantu	Nr ekranu	Wymiary [m]	Powierz. [m ²]	Lokalizacja
W1	Ekran akustyczny zlokalizowany od wiaduktu w stronę al. Armii Krajowej	E1	H = 4,0 L = 165,0	660,0	1 metr od krawędzi jezdni
W4	Ekran akustyczny zlokalizowany od wiaduktu w stronę al. Armii Krajowej	E1	H = 6,0 L = 165,0	990,0	1 metr od krawędzi jezdni
	Ekran akustyczny zlokalizowany pod wiaduktem kolejowym	E2	H = 5,0 L = 12,0	60,0	1 metr od krawędzi jezdni
	Ekran akustyczny zlokalizowany od wiaduktu w kierunku ul. Warszawskiej	E3	H = 6,0 L = 45,0	270,0	1 metr od krawędzi jezdni
	Ekran akustyczny zlokalizowany w pasie środkowym DK-46	E4	H = 4,0 L=222,0	888,0	pośród jezdni
W7	Ekran akustyczny z pochyleniem 2,0x2,0m. zlokalizowany od wiaduktu w stronę al. Armii Krajowej	E1	H = 8,0 L = 165,0	1 320,0	1 metr od krawędzi jezdni
	Ekran akustyczny zlokalizowany pod wiaduktem kolejowym	E2	H = 5,0 L = 12,0	60,0	1 metr od krawędzi jezdni
	Ekran akustyczny z pochyleniem 2,0x2,0m. zlokalizowany od wiaduktu w kierunku ul. Warszawskiej	E3	H = 8,0 L = 45,0	360,0	1 metr od krawędzi jezdni
	Ekran akustyczny zlokalizowany w pasie środkowym DK-46	E4	H = 4,0 L=222,0	888,0	pośród jezdni

Dla każdego z podanych wariantów wykonano obliczenia rozkładu poziomu dźwięku A na elewacji budynków odrębnie dla pory dnia i nocy. Przykłady wyników obliczeń przedstawiono na rys. 10.10.

Oszacowanie skuteczności redukcji hałasu na kolejnych piętrach budynku A dla zaproponowanych wariantów zabezpieczeń przeciwhałasowych zestawiono w tabeli 10.3. W tabelach przedstawiono uśrednioną wartość równoważnego poziomu dźwięku A na elewacji najbardziej narażonej na oddziaływanie hałasu drogowego.



Rys. 10.10 Przykład uzyskanych wyników symulacji

Tabela 10.3 Zestawienie wyników obliczeń poziomu dźwięku na najbardziej narażonej na hałas elewacji budynku A

Pora doby	piętro	Poziom dźwięku A w dB na najbardziej narażonej elewacji budynku A (od strony DK-46)							
		Stan aktualny	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3	Wariant 4	Wariant 5	Wariant 6	Wariant 7
Pora dzienna	Parter	68	61	61	59	58	58	58	58
	piętro 1	69	63	63	61	60	60	60	60
	piętro 2	70	65	65	62	61	61	61	61
	piętro 3	70	66	66	63	62	61	61	61
	piętro 4	70	67	67	64	63	62	62	62
	piętro 5	70	68	68	66	64	63	63	62
	piętro 6	70	68	68	66	65	64	64	63
	piętro 7	70	68	68	67	66	65	65	64
	piętro 8	70	68	68	67	66	66	66	65
	piętro 9	70	68	68	67	66	66	66	65
piętro 10	70	69	68	67	66	66	66	66	
Średni poziom dźwięku A		69,7	66,5	66,4	64,5	63,4	63,2	62,9	62,5
Średnia redukcja			3,2	3,3	5,2	6,3	6,5	6,8	7,2
Pora nocna	Parter	56	56	54	54	54	54	54	54
	piętro 1	58	58	56	55	55	55	55	55
	piętro 2	60	60	57	56	56	56	56	56
	piętro 3	61	61	58	57	56	56	56	56
	piętro 4	61	61	59	58	57	57	56	56
	piętro 5	62	62	60	59	58	58	57	57
	piętro 6	62	62	61	59	59	59	58	58
	piętro 7	62	62	61	60	60	60	59	59
	piętro 8	62	62	61	60	60	60	59	59
	piętro 9	62	62	61	60	61	60	60	60
piętro 10	63	63	61	60	61	60	60	60	
Średni poziom dźwięku A		63,9	60,8	60,8	59,0	58,0	58,9	57,7	57,3
Średnia redukcja			3,1	3,1	4,9	5,9	5,0	6,2	6,6

10.7 ANALIZA UZYSKANYCH WYNIKÓW

Z przeprowadzonej symulacji wynika, że oddziaływania hałasu drogowego emitowanego z drogi DK-46 na budynki mieszkalne A i B można ograniczyć przez zastosowanie drogowych ekranów akustycznych, przy czym ze względu na wysokość zabudowy mieszkalnej skuteczność ekranów akustycznych dla najwyższych kondygnacji budynków będzie minimalna. Skutecznie można zabezpieczyć jedynie niższe kondygnacje budynków.

Doprowadzenie do dopuszczalnych wartości poziomu hałasu na najbardziej narażonej elewacji, szczególnie w porze nocnej, w przypadku źródła hałasu drogowego jest przy analizowanych przypadkach rozwiązań niemożliwe.

Biorąc pod uwagę udział nakładów finansowych związanych z wdrożeniem poszczególnych rozwiązań w odniesieniu do uzyskanych wyników redukcji hałasu na poszczególnych kondygnacjach analizowanych budynków najbardziej uzasadnionym rozwiązaniem dla redukcji hałasu drogowego jest Wariant 4, dla którego średnia wartość redukcji hałasu dla najbardziej narażonej elewacji budynku A wynosi odpowiednio 6,3 dB – dla pory dziennej i 5,9 dB dla pory nocnej.

PODSUMOWANIE

W niniejszej artykule przedstawiono sposób wykorzystania narzędzi symulacyjnych dla potrzeb analizy i oceny narażenia na hałas budynków wielopiętrowych w obszarach zurbanizowanych.

Zastosowanie narzędzi symulacyjnych daje możliwość wstępnej oceny technicznych rozwiązań redukcji hałasu z uwzględnieniem różnych kryteriów np. kryterium maksymalnej skuteczności, czy też kryterium ekonomicznego.

Współcześnie stosowanie narzędzi symulacyjnych powinno stanowić rutynową praktykę przy wspomaganie działań w zakresie analizy i oceny rozwiązań redukcji hałasu budynków wielopiętrowych. Szczególnie analizy takie powinny stanowić obligatoryjny element przy ocenie wariantów ograniczania hałasu proponowanych w programach ochrony środowiska przed hałasem.

LITERATURA

- 1 Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 2001.
- 2 Engel Z., Sadowski J. i inni: Ekran akustyczny, Wydawnictwo AGH, Kraków 1990.
- 3 French standard "XPS 31-133". Acoustique, - Bruit des infrastructures de transports terrestres - Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, Paris afnor, 2001.
- 4 Instrukcja oprogramowania CadnaA ver. 4.0 firmy DataKustik.
- 5 Kaźmierczak J. (red.): Wspomaganie konstruowania układów redukcji drgań i hałasu maszyn. WT, Seria CAD/CAM, Warszawa 2001.
- 6 PN-ISO-9613-2:2002. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania.

- 7 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2012, poz. 1109).

SPOSÓB WYKORZYSTANIA NARZĘDZI SYMULACJI KOMPUTEROWEJ W OGRANICZANIU HAŁASU W BUDYNKACH WIELOPIĘTROWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono sposób przeprowadzenia symulacji komputerowej dla potrzeb oceny narażenia na hałas budynków wielopiętrowych. Założono, że analiza pola akustycznego m.in. rozkładu poziomu dźwięku A na zewnętrznych elewacjach budynków wielopiętrowych stanowi podstawę do wspomagania procesu wyboru optymalnego rozwiązania redukcji hałasu, uwzględniającego takie elementy jak wysokość budynku, jego położenie względem źródła/źródeł hałasu czy wpływ otoczenia.

Na podstawie studium przypadku zaprezentowano poszczególne etapy badań poczynwszy od identyfikacji obiektu i źródeł hałasu, poprzez tworzenie modelu geometrycznego, dobór metod obliczeniowych, do wygenerowania wariantów (koncepcji) rozwiązań redukujących hałas na elewacji/elewacjach budynku, ich oceny i wyboru najlepszego rozwiązania.

Słowa kluczowe: ograniczenia hałasu, symulacja komputerowa, budynki wielokondygnacyjne, studium przypadku

WAY OF USING OF COMPUTER SIMULATION SOFTWARE FOR NOISE ABATEMENT IN MULTI STOREY BUILDINGS

Abstract: This article presents way of using of computer simulation software for needs of noise exposure assessment of multi storey buildings. It was assumed that the analysis of the acoustic field at the external facades of multi-storey buildings is the basis for supporting the process of selecting the optimal noise control solutions.

Based on the case study various stages of research from identifying the object and the noise sources, by creating a geometric model, selection of computational methods to generate variants solutions for noise abatement at the facades of buildings are presented.

Key word: noise abatement, computer simulation, multi-storey buildings, case study

dr inż. Marek KOMONIEWSKI
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
Instytut Inżynierii Produkcji
ul. Roosevelta 26, 41-800 Zabrze
e-mail: Marek.Komoniewski@polsl.pl