

Andrzej Gałgorowski¹
Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej

Komputerowa analiza hałasu drogowego z uwzględnieniem różnych metod obliczeniowych

WPROWADZENIE

Hałas drogowy staje się głównym czynnikiem degradującym środowisko, przy czym zasięg jego oddziaływania jest coraz większy w związku z ciągłym rozwojem transportu samochodowego [10]. Obowiązek monitorowania stanu akustycznego na obszarach komunikacyjnych oraz konieczność poszukiwania nowych sposobów redukcji hałasu komunikacyjnego [4-7] wymaga opracowania skutecznych metod jego analizy i oceny. Modele obliczeniowe stanowią podstawowe uzupełnienie badań pomiarowych i są niezastąpione w procesach projektowania inwestycji transportowych. Są również wykorzystywane przy opracowywaniu prognoz klimatu akustycznego na obszarach komunikacyjnych przy uwzględnieniu zmian różnych czynników, np. zmian natężenia ruchu. Obecnie w Unii Europejskiej zalecane są metody przejściowe obliczania hałasu komunikacyjnego. Dopuszcza się możliwość stosowania własnej metody w danym kraju pod warunkiem, że jest ona zgodna z założeniami głównej dyrektywy Parlamentu Europejskiego dotyczącej oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku [5]. Etap przejściowy ma trwać do momentu opracowania wspólnej metody. Na świecie stosuje się bardzo różne standardy obliczeniowe wykorzystujące do analizy różne parametry i wskaźniki oceny hałasu oraz w różny sposób opisujące zjawiska propagacji fal akustycznych w środowisku. W niniejszym artykule omówiono problematykę modelowania hałasu drogowego przy uwzględnieniu podstawowych aktów prawnych obowiązujących w Polsce i Unii Europejskiej. Dokonano analizy porównawczej metod obliczeniowych zalecanych jako główne do stosowania na obszarach krajów Unii Europejskiej. W tym celu zbudowano model geometryczno-akustyczny drogowego obszaru komunikacyjnego z uwzględnieniem elementów infrastruktury drogowej oraz podstawowych parametrów ruchowych i eksploatacyjnych pojazdów drogowych. Dla wykazania różnic pomiędzy poszczególnymi algorytmami, w I etapie badań dokonano obliczeń głównego wskaźnika poziomu hałasu komunikacyjnego zalecanego w dyrektywie [5] uwzględniając różne odległości od źródła dźwięku.

1. MODELOWANIE HAŁASU DROGOWEGO

Algorytmy stosowane w modelach oceny hałasu stanowią podstawę metod obliczeniowych klimatu akustycznego obszaru komunikacyjnego o określonych właściwościach [2, 3, 8, 9, 11, 12, 18]. W obecnych metodach można dostrzec bardzo wiele różnic w sposobie modelowania poszczególnych elementów obszaru komunikacyjnego (w tym pojazdów i dróg) oraz zjawisk zachodzących podczas emisji i propagacji fal dźwiękowych. Przykładowo do obliczeń komputerowych niezbędne jest dokładne usytuowanie każdego z pasów ruchu (w płaszczyznach X, Y i Z). W poszczególnych metodach stosuje się różne rozwiązania w tej dziedzinie. Innym przykładem może być sposób opisu podstawowego obiektu, jakim jest droga. Może być ona modelowana w różny sposób, np. jako linia składająca się z elementów, które odnoszą się albo do ustalonego usytuowania źródła lub do linii referencyjnej, z której obliczane jest aktualne usytuowanie źródła, lub też jako złożony element, który odpowiada całej infrastrukturze drogowej, na której umieszcza się źródła liniowe.

Można wyróżnić cztery główne grupy czynników mających podstawowy wpływ na poziom hałasu drogowego:

¹ agag@it.pw.edu.pl

- Grupa czynników związana z parametrami konstrukcyjnymi pojazdu (jako źródła dźwięku)
- Grupa czynników zależna od parametrów ruchowych i eksploatacyjnych pojazdów
- Czynniki związane z budową infrastruktury transportowej (w tym dróg) oraz architekturą i ukształtowaniem całego obszaru komunikacyjnego
- Warunki meteorologiczne.

Aby je uwzględnić w procesie modelowania, należy opisać je z wykorzystaniem szeregu parametrów, które z kolei mogą być zmienne w czasie (np. parametry eksploatacyjne czy też meteorologiczne). Odporność algorytmu na zmiany parametrów stanowi podstawowy problem do rozwiązania. Ze względu na bardzo dużą ilość elementów mających wpływ na emisję, propagację i tłumienie fal dźwiękowych stworzenie bardzo dokładnej metody stanowi więc złożone zagadnienie. Dlatego w procesie modelowania uwzględnia się tylko wybrane elementy. Duża część modeli obliczeniowych stanowią, więc modele uproszczone. Krytyczne spojrzenie na dotychczas stosowane metody obliczeniowe hałasu drogowego można znaleźć w pracy [15]. Innym problemem jest sposób opisu matematycznego danego zdarzenia czy zjawiska akustycznego. Stosuje się różne podejścia, co może prowadzić w konsekwencji do różnych wyników w przypadku poszczególnych metod. Uwzględnienie takich zjawisk jak odbicie, pochłanianie, dyfrakcja, interferencja fal w różnych sytuacjach (przypadkach), które mogą zdarzyć się, jest warunkiem koniecznym poprawności metody.

2. MODEL GEOMETRYCZNO – AKUSTYCZNY OBSZARU KOMUNIKACYJNEGO

Jednym z podstawowych problemów przy budowie modelu geometryczno-akustycznego jest przygotowanie danych wejściowych o odpowiedniej (dużej) jakości. Istotnym elementem zapewnienia jakości tych danych jest znajomość ich wykorzystania w procesie obliczeniowym. Dotyczy to w istotnym stopniu przygotowania wejściowych map numerycznych i numerycznych modeli terenu (NMT).

Digitalizacja wyników własności geometrycznych terenu w trójwymiarowym schemacie rozpatrywanego terenu powinna uwzględnić przynajmniej następujące obiekty służące do opisu terenu:

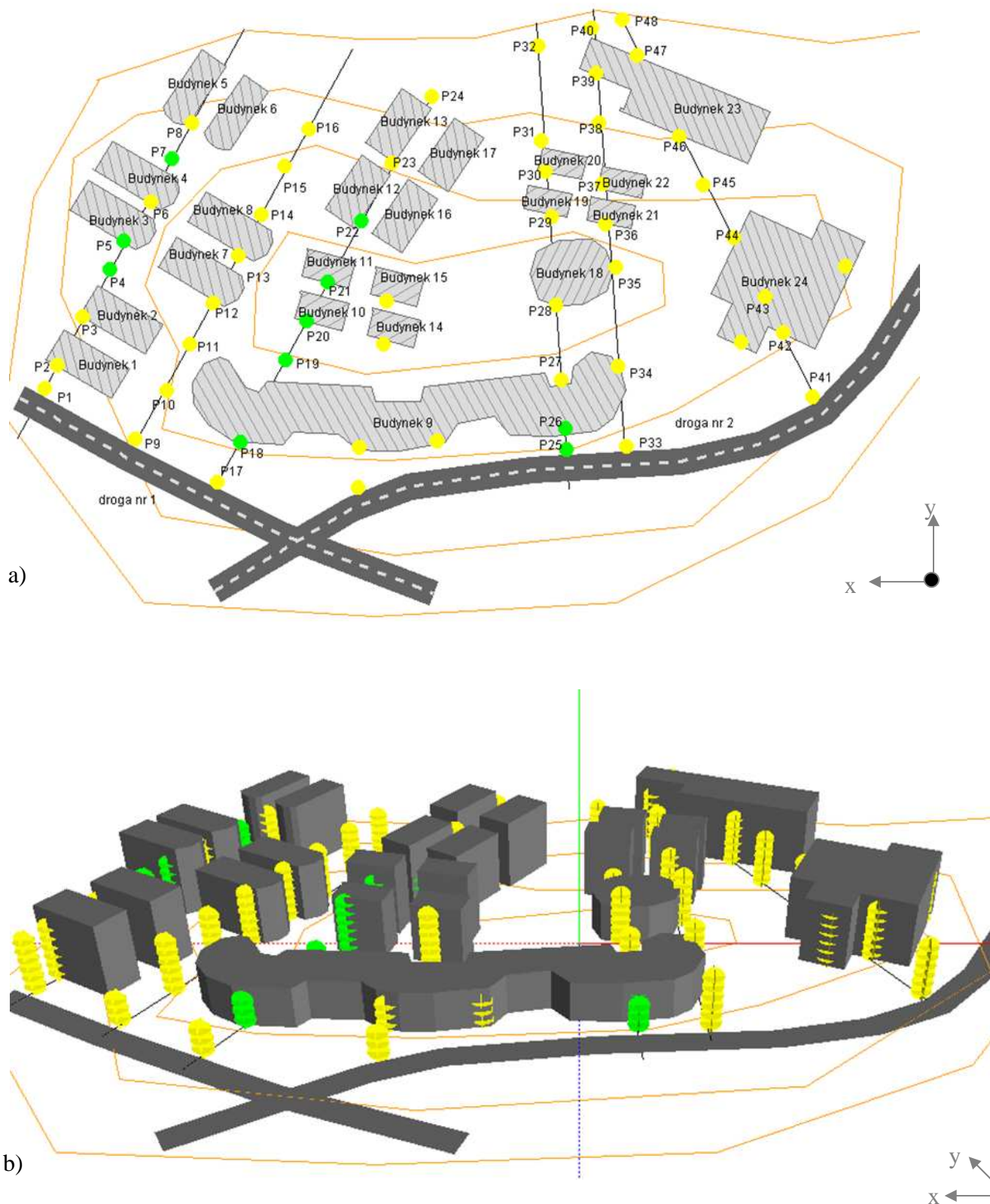
- Poziomice terenu lub punkty wysokości opisujące zmiany poziomu terenu
- Drogi
- Sztuczne przeszkody, w tym budynki

W celu przeprowadzenia badań symulacyjnych zbudowano w środowisku SoundPlan model geometryczno – akustyczny uwzględniający powyższe wymagania. Tworzą go trzy warstwy:

- Wysokościowy model terenu
- Zdefiniowane i skalibrowane źródła hałasu w postaci dróg, których parametry akustyczne ustalono w oparciu o rzeczywiste pomiary hałasu w środowisku
- Warstwa sztucznych przeszkód ze zdefiniowanymi informacjami o lokalizacji budynków mieszkalnych oraz ich wysokości ustalonej w oparciu o liczbę kondygnacji (zakres zmian wysokości budynków wynosi od 12 – 22m)

Na rys. 1 przedstawiono model w dwóch widokach. Rys. 1a przedstawia model w układzie płaskim (x-y), natomiast rys.1b w układzie przestrzennym (x-y-z). Zbudowany model obszaru komunikacyjnego reprezentuje teren urbanistyczny o gęstej zabudowie charakteryzujący się również tym, iż obok zjawiska ekranowania występują dodatkowe efekty odbić na fasadach budynków, pomiędzy którymi zachodzi propagacja oraz na obiektach znajdujących się w pobliżu.

Modele szlaków komunikacyjnych (droga nr1 i nr 2 /rys.1/) reprezentują drogi klasy GP. W świetle „Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie” [13] są to drogi główne ruchu przyspieszonego. Rozporządzenie określa jakie wymagania techniczne i użytkowe powinna spełniać droga tej klasy. Wymagania te uzależnione są od prędkości projektowej (tab. 1). Dla klasy GP dopuszcza się dwie prędkości projektowe na terenie zabudowanym: 60 i 70 km/h oraz cztery prędkości projektowe poza terenem zabudowanym: 60, 70, 80 i 100 km/h.



Rys. 1. Model geometryczno-akustyczny drogowego obszaru komunikacyjnego: a) widok w układzie płaskim (X-Y), b) widok w układzie przestrzennym (X-Y-Z).

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 1. Wymagania projektowe uwzględnione w modelach dróg klasy GP

Prędkość projektowa [km/h]			60	70	80	100
Najmniejsza szerokość drogi w liniach rozgraniczających [m]	jednojezdniowej	2 pasy ruchu	30	30	-	-
	dwujezdniowej	4 pasy ruchu	40	40	-	-
		6 pasów ruchu	50	50	-	-
Najmniejsza szerokość drogi w liniach rozgraniczających poza terenem zabudowy [m]	jednojezdniowej	2 pasy ruchu	25	25	25	25
	dwujezdniowej	4 pasy ruchu	35	35	35	35
		6 pasów ruchu	45	45	45	45
Szerokość pasa ruchu [m]	na terenie zabudowy		3,5	3,5	-	-
	poza terenem zabudowy		3,5	3,5	3,5	3,5
Minimalne odległości między skrzyżowaniami [m]	na terenie zabudowy		1000	1000	-	-
	poza terenem zabudowy		2000	2000	2000	2000
Największa długość odcinka prostego [m]			1000	1200	1500	2000

Źródło: opracowanie własne.

Linie rozgraniczające drogę oznaczają granice terenów przeznaczonych na pas drogowy lub pasy drogowe. W liniach rozgraniczających drogi na terenie zabudowy (ulicy) mogą znajdować się również urządzenia infrastruktury technicznej nie związanej z funkcją komunikacyjną drogi. Szerokości dróg obejmują: jezdnie, pobocza, skarpy, rowy drogowe oraz pasy terenu za rowami zgodnie z przepisami o drogach publicznych. W wypadkach, uzasadnionych trudnymi warunkami terenowymi lub istniejącym zagospodarowaniem, dopuszcza się przyjęcie mniejszych szerokości ulic. Przyjęcie mniejszej szerokości ulicy w liniach rozgraniczających wymaga przeprowadzenia analizy obejmującej:

- wzajemne rozmieszczenie jej elementów oraz urządzeń infrastruktury technicznej, w charakterystycznych przekrojach poprzecznych,
- sposób wysokościowego rozwiązania ulicy,
- podstawowe uwarunkowania ochrony środowiska, a w szczególności sposobu ochrony przed nadmiernym hałasem, wibracjami i zanieczyszczeniami powietrza.

Na potrzeby modelowania przyjęto trzy kategorie (klasy) pojazdów charakteryzujące się różnym poziomem emisji hałasu (tab. 2). Na podstawie analizy rzeczywistych danych [1, 16, 17] w I etapie badań przyjęto dla poszczególnych szlaków komunikacyjnych (drogi nr1, droga nr2 /rys. 1/) następujące rodzaje parametrów ruchowych:

- średnie natężenie ruchu oddzielnie dla dnia, wieczoru i nocy
- średni dobowy ruch w roku
- średnia prędkość ruchu pojazdów w danej klasie
- rodzaj potoku ruchu.

Tabela 2. Podział pojazdów na kategorie (klasy)

Lp.	Symbol kategorii (klasy) pojazdów	Grupa pojazdów
1	A	motocykle
2	B	Samochody osobowe o dopuszczalnej masie całkowitej do 3,5t
3	C	Autobusy, samochody o masie dopuszczalnej powyżej 3,5t

Źródło: opracowanie własne.

Wartości wybranych parametrów przedstawiono w tabelach 3 i 4. Średni dobowy ruch w roku (SDR) podawany w pojazdach na dobę [P/d], został zdefiniowany w modelu jako liczba pojazdów przejeżdżających przez dany przekrój drogi w ciągu 24 kolejnych godzin, średnio w ciągu jednego roku. Natężenie ruchu określa liczbę pojazdów przejeżdżających przez dany przekrój drogi w jednostce czasu. W tabelach 3 i 4 przedstawiono średnie natężenie ruchu (SNR) dla pojazdów danej klasy w odpowiednich porach doby.

Tabela 3. Wybrane parametry ruchowe przyjęte w modelu dla drogi nr1

Klasa zdarzenia	SNR dla pojazdów danej klasy			Prędkość średnia pojazdów w danej klasie [km/h]		
	Dzień[P/12h]	Wieczór[P/4h]	Noc[P/8h]	Dzień	Wieczór	Noc
A	320	120	56	52	54	60
B	18900	5645	6000	48	52	65
C	10100	6465	2143	44	45	50
Liczba przejazdów łącznie		Dzień	29320	Rodzaj potoku ruchu	Dzień	Płynny, ciągły
		Wieczór	12230		Wieczór	Płynny, ciągły
		Noc	8199		Noc	Płynny, ciągły

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4. Wybrane parametry ruchowe przyjęte w modelu dla drogi nr2

Klasa zdarzenia	SNR dla pojazdów danej klasy			Prędkość średnia pojazdów w danej klasie [km/h]		
	Dzień[P/12h]	Wieczór[P/4h]	Noc[P/8h]	Dzień	Wieczór	Noc
A	450	127	55	40	50	76
B	23900	8645	6500	55	45	65
C	9100	9665	7443	45	48	54
Liczba przejazdów łącznie		Dzień	33450	Rodzaj potoku ruchu	Dzień	Płynny, ciągły
		Wieczór	18437		Wieczór	Płynny, ciągły
		Noc	13998		Noc	Płynny, ciągły

Źródło: opracowanie własne.

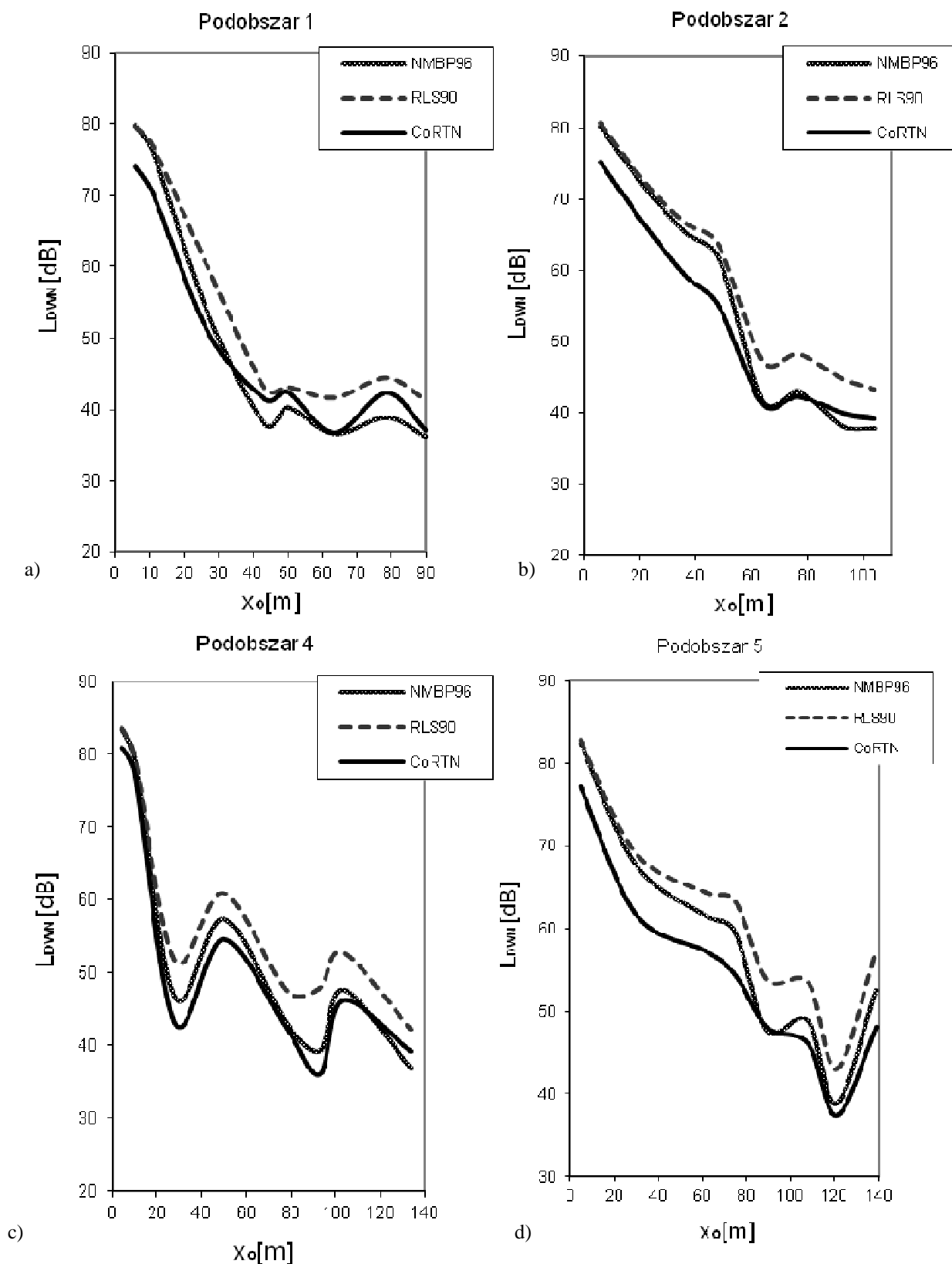
3. BADANIA SYMULACYJNE HAŁASU DROGOWEGO

Analizie porównawczej poddano wybrane metody obliczeniowe stosowane jako oficjalne na obszarach krajów Unii Europejskiej. Są to

- Francuska metoda NMPB-Routes-96 [2, 8, 9] zalecana przez Unie europejska do stosowania przez poszczególne kraje członkowskie jako metoda przejściowa
- Niemiecka metoda RLS 90 [14]
- Angielska metoda CoRTN [19]

Metoda NMPB-Routes-96 uwzględnia m.in. określenie poziomu mocy akustycznej dla każdego źródła (pojazdu) oraz poszukiwanie tras propagacji dźwięku pomiędzy każdym ze źródeł a punktem odbioru (trasa bezpośrednia, trasa odbita i/lub ugięta). Model RLS 90 stosuje metodę źródeł punktowych wraz z rozchodzeniem, tłumieniem przy gruncie, ekranowaniem i odbiciem. Wytyczne RLS 90 ustalają specyficzne standardy techniczne oraz procedury predykcji i obniżania hałasu drogowego i z parkingów. Trzeci analizowany standard CoRTN składa się z modelu źródła i obliczeń propagacji. Wszystkie obliczenia rozchodzenia się, efektu przy gruncie i ekranowania, są oparte na odległościach prostopadłych źródła do drogi. Ze względu na ograniczoną objętość referatu nie zawarto szczegółowego opisu algorytmów poszczególnych metod.

W pierwszym etapie badań podzielono zamodelowany obszar komunikacyjny na 6 podobszarów, dla których dokonano analizy poziomu hałasu drogowego. Środki tych podobszarów wyznaczają odcinki prostopadłe do stycznych do osi drogi. Główne punkty lokalizacyjne zaznaczono na rys. 1a (P1-P48). Przykładowo punkty P1-P8 wyznaczają odcinek 1 podobszaru pierwszego (P9-P16 – odcinek 2 podobszaru drugiego, P17-P24 – odcinek 3 podobszaru trzeciego, odcinek 4 – P25-P32, odcinek 5 – P33-P40, odcinek 6 – P41-P48). Z kolei poszczególne odcinki wyznaczają płaszczyzny środkowe podobszarów modelu terenu komunikacyjnego.



Rys. 2. Poziomy wskaźnika L_{DWN} w funkcji odległości x_0 : a) podobszar 1, b) podobszar 2, c) podobszar 4, d) podobszar 5.

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszym etapie badań, obliczeń poziomu hałasu drogowego dokonano w punktach rozmieszczonych w części (płaszczyźnie) środkowej poszczególnych podobszarów przy uwzględnieniu

różnych wysokości nad poziomem morza, odległości od osi drogi (x_0), usytuowania w stosunku do budynków stanowiących poszczególne sztuczne przeszkody akustyczne. Na podstawie uzyskanych wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla poszczególnych pór doby dokonano wyliczeń długookresowego średniego poziomu dźwięku A stanowiącego podstawowy wskaźnik L_{DWN} zalecanego w dyrektywie [5] zgodnie z następującym wzorem

$$L_{DWN} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{24} (12 \times 10^{0,1L_D} + 4 \times 10^{0,1(L_W + 5)} + 8 \times 10^{0,1(L_N + 10)}) \right] \quad (1)$$

gdzie:

- L_D – oznacza długookresowy średni poziom dźwięku A, wyznaczony w ciągu wszystkich pór dnia w roku (rozumianych jako przedział czasu od godz. 6⁰⁰ do 18⁰⁰),
- L_W – jest długookresowym średnim poziomem dźwięku A, wyznaczonym w ciągu wszystkich pór wieczoru w roku (rozumianych jako przedział czasu od godz. 18⁰⁰ do 22⁰⁰),
- L_N – długookresowym średnim poziomem dźwięku A, wyznaczonym w ciągu wszystkich pór nocy w roku (rozumianych jako przedział czasu od godz. 22⁰⁰ do 6⁰⁰)

W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano różne wartości wskaźników L_D , L_W , L_N , L_{DWN} przy zastosowaniu analizowanych metod obliczeniowych. Przykładowe wyniki dla wybranych podobszarów przedstawiono na rysunku 2. Wykresy 2a, 2b, 2c, 2d przedstawiają poziomy wskaźnika L_{DWN} w funkcji odległości x_0 (odległości od źródła hałasu drogowego, przy założeniu, że pojazdy poruszające się po danej drodze tworzą źródło punktowe lub liniowe) dla wysokości $h = 2,8\text{m}$. Analizując poszczególne wykresy można zauważyć znaczne różnice w wyznaczonych wartościach długookresowego średniego poziomu dźwięku A dla poszczególnych metod (przy uwzględnieniu faktu, że mamy do czynienia ze skalą decybelową /logarytmiczną/ różnice rzędu kilku decybeli można uznać za bardzo duże). Różnice te występują dla każdej analizowanej odległości x_0 . Można to wytłumaczyć faktem, że jak już wspomniano wcześniej poszczególne algorytmy uwzględniają tylko wybrane parametry decydujące o poziomie hałasu drogowego oraz opisują poszczególne zjawiska akustyczne w różny sposób. Przykładowo do obliczeń komputerowych niezbędne jest dokładne usytuowanie każdego z pasów ruchu (w płaszczyznach X, Y i Z). Poszczególne metody stosują różne rozwiązania w tej dziedzinie. Uzyskane różne wartości dowodzą, że miarodajna ocena przy zastosowaniu tych metod jest trudna do uzyskania. Wskazane są więc dalsze prace w zakresie modelowania hałasu drogowego.

4. PODSUMOWANIE

Zgodnie z prawem unijnym i krajowym strategię zrównoważonego rozwoju systemu transportowego powinny definiować na lata najbliższe jak i długoterminowo inwestycje drogowe oraz zmiany w organizacji ruchu przy uwzględnieniu ochrony środowiska przed hałasem. Ma to zapewnić usprawnienie systemu transportowego, dalszy rozwój określonych regionów oraz polepszenie warunków życia (w tym ochronę zdrowia) na obszarach komunikacyjnych. Aby zrealizować powyższe zadania konieczne staje się opracowanie kompleksowej metody obliczeniowej hałasu komunikacyjnego. Przeprowadzona analiza wykazała, że stosując obecne modele obliczeniowe uzyskamy różne wartości tych samych wskaźników hałasu akustycznego. Jak wykazano w rozdziałach poprzednich modele te są pewnym przybliżeniem rzeczywistości i uwzględniają tylko wybrane parametry, które mają wpływ na rzeczywisty poziom hałasu drogowego. Symulacje (których wybrane wyniki przedstawiono w rozdziale poprzednim) przeprowadzone z wykorzystaniem zbudowanego modelu akustyczno - geometrycznego dla hipotetycznego obszaru komunikacji drogowej stanowią I etap analizy modeli obliczeniowych. W dalszych etapach zostanie określone, które czynniki mają największy wpływ na poziom hałasu drogowego. Zbadana zostanie wrażliwość różnych algorytmów na zmiany poszczególnych parametrów takich np. jak prędkość pojazdu z danej klasy czy rodzaj nawierzchni. Pozwoli to zdefiniować zbiór założeń (wytycznych) potrzebnych do opracowania kompleksowej metody obliczania hałasu drogowego.

Streszczenie

Metody obliczeniowe hałasu drogowego stanowią ważny element w procesie oceny warunków akustycznych na obszarach komunikacyjnych oraz są niezastąpione w procesie projektowania inwestycji transportowych. Mogą być również bardzo pomocne przy projektowaniu optymalnych tras logistycznych (tras dostaw) na terenach, gdzie obowiązują dopuszczalne wartości hałasu. Celem artykułu jest porównanie różnych metod obliczeniowych hałasu drogowego stosowanych w krajach Unii Europejskiej. Badania symulacyjne przeprowadzono dla modelu obszaru komunikacyjnego, w którym uwzględniono wybrane parametry pojazdów drogowych oraz szlaków komunikacyjnych, jak również sąsiadujących z nimi terenów zabudowanych.

Słowa kluczowe: hałas drogowy, modelowanie, metody obliczeniowe

The computer analysis of road traffic noise including various computation methods

Abstract

Road traffic noise calculation methods are an important element in the process of acoustic conditions assessment for the areas of road traffic and are indispensable in the process of transport investments design. They can be very helpful in design of optimal logistics routes (supply routes) in areas where there are noise limits. The purpose of this paper is to compare different methods for calculation of road traffic noise used in the European Union. Simulation study was performed for the model of the road traffic area, which includes the selected parameters of road vehicles, routes and also built-up areas.

Keywords: road traffic noise, modeling, calculation methods.

LITERATURA

- [1] Biuro Drogownictwa i Komunikacji: Informacja na temat wyników warszawskiego badania ruchu 2005
- [2] Bruit des infrastructures routières. Method de calcul incluant les effets météorologiques. NMPB – Routes – 96. CERTU, CSTB, LCPC, SETRA. 1997.
- [3] Clayden AD, Culley RWD, and Marsh PS: Modeling traffic noise mathematically: Applied Acoustics 8 (1), pp. 1-12, 1975.
- [4] Dz.U. 2007 nr 120 poz. 826: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku
- [5] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku. 2002.
- [6] Dz.U. 2001 nr 62 poz. 627 Prawo ochrony środowiska, Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r.
- [7] Dz.U. 2011 nr 140 poz. 824: Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem.
- [8] French national computation method “NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPCSTB)”, referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6
- [9] French standard XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de la attenuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, AFNOR, 2001
- [10] Gągorowski A., Korzeb J.: Ocena hałasu drogowego w świetle przepisów unijnych i krajowych, Logistyka nr 6/2011, s. 1÷9
- [11] Li, B., et. al., (2002). A GIS based Road Traffic Noise Predication Model, applied acoustics, 63: 679-691
- [12] PN-ISO 9613-2:2002. „Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Ogólna metoda obliczania”
- [13] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać drogi publiczne i ich usytuowanie (Dz. U. z 1999 r. Nr 43, poz. 430)
- [14] Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen. RLS-90. 1990
- [15] Steele C.: A Critical Review of Some Traffic Noise Prediction Models, applied acoustics. 62: 271-287, 2001
- [16] Pomiary natężenia ruchu kołowego: materiały Zarządu Dróg Miejskich
- [17] Prognoza oddziaływania na środowisko Programu Budowy Dróg Krajowych na lata 2008-2013, Warszawa 2008
- [18] Stefano, R., Danato, D., & Morri, B., (2001). A Statistical Model for Predicting Road Traffic Noise on Poisson Type Traffic Flow. Noise control engineering journal. 49(3): 137-143
- [19] United Kingdom, Department of Transport, 1988 Calculation of Road Traffic Noise (UK DoT 1988 CORTN) noise prediction model.