



JERZY EJSMONT¹⁾
GRZEGORZ RONOWSKI²⁾

SYMULACJA HAŁASU POJAZDÓW W TRAKCIE MANEWROWANIA Z MAŁYMI PRĘDKOŚCIAMI – MODEL CP2009³⁾

STRESZCZENIE. Hałas związany z ruchem drogowym należy do największych problemów ekologicznych powodowanych przez transport kołowy. Ocenia się, że ponad 20% populacji w krajach europejskich narażone jest na hałas przekraczający granicę tolerancji organizmu, to znaczy hałas, którego poziom równoważny przekracza 65 dB. Te same oceny wskazują, że jeszcze więcej, bo ponad 60% populacji jest pod wpływem hałasu uciążliwego, przekraczającego poziom 55 dB. Ograniczenie hałasu możliwe jest jedynie poprzez skoordynowane działanie w zakresie doskonalenia pojazdów, opon, nawierzchni drogowych i organizacji ruchu drogowego. Artykuł porusza zagadnienia związane z manewrowaniem pojazdów na parkingach, stacjach paliw, terminalach promowych itp. Omówiono w nim metodę prognozowania poziomu mocy akustycznej emitowanej z obiektu typu parking z uwzględnieniem charakterystyk pojazdów i nawierzchni. W metodzie tej uwzględniono charakterystykę współczesnego parku samochodowego w Polsce. Metoda może być stosowana przy opiniowaniu inwestycji drogowych (infrastruktury towarzyszącej), w których ruch pojazdów można zakwalifikować jako manewrowanie z małymi prędkościami.

¹⁾ prof. dr hab. inż. – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej

²⁾ dr inż. – Wydział Mechaniczny Politechniki Gdańskiej

³⁾ niepublikowany referat prezentowany na konferencji ENVIROAD 2009

1. WPROWADZENIE

Pomimo dużych wysiłków zmierzających do zmniejszenia hałasu drogowego, jest on nadal największym źródłem hałasu w krajach rozwiniętych. Duży postęp w budowie pojazdów jaki nastąpił w drugiej połowie dwudziestego wieku spowodował, że tradycyjne źródła hałasu pojazdów takie jak silnik, układ wydechowy, układ ssący i przekładnie stały się znacznie cichsze i przy wyższych prędkościach przestały dominować w ogólnym hałasie pojazdów. Tak dużego postępu nie udało się uzyskać w zakresie hałasu opon samochodowych toczących się po nawierzchniach drogowych. Polepszoano charakterystyki widmowe hałasu opon poprzez randomizację rzeźby bieżników (rys. 1), zoptymalizowano układ rowków (rys. 2), ale całkowity poziom mocy akustycznej emitowanej podczas toczenia kół samochodowych w najlepszym razie zmniejszył się bardzo nieznacznie.



Rys. 1. Bieżnik opony z wyraźną randomizacją (poszczególne elementy różnią się wielkością i kształtem)

Fig. 1. Tire tread pattern with randomization (individual tread elements are of different shape and size)

Obecnie panuje powszechne przekonanie, że klasyczne opony pneumatyczne zbliżają się do kresu możliwości ich wyciszania i że dalszy postęp w tym zakresie uzależniony jest przede wszystkim od doskonalenia nawierzchni drogowych. Nawierzchnie klasyfikowane jako ciche (to znaczy takie na których emisja hałasu zmniejsza się przynajmniej o 3 dB w stosunku do SMA i betonu asfaltowego z kruszywem 11 mm do 16 mm) stosowane są coraz częściej na szczególnie niewralgicznych odcinkach dróg w rejonach zurbanizowanych. Do „cichych” nawierzchni drogowych należą bez wątpienia nawierzchnie drenażowe, niektóre cienkie dywaniki asfaltowe oraz będące w stadium eksperymentu nawierzchnie poroelastyczne. Nie można wykluczyć, że w perspektywie kilkunastu lat pojawią się również niekonwencjonalne koła samochodowe o zmniejszonej emisji hałasu i niższym oporze toczenia.

Wszystkie większe inwestycje drogowe wymagają na wstępnym etapie projektowania oceny ich wpływu na środowisko, w tym również na środowisko akustyczne. Z konieczności oceny takie muszą opierać się na metodach symulacyjnych. Zdecydowana większość dostępnych modeli hałasu komunikacyjnego (HARMONOISE/IMAGINE, NORD 2000) umożliwia prognozowanie hałasu dla stosunkowo szybkiego i poruszającego się w sposób płynny ruchu drogowego. Modele te nie są jednak dostosowane

do prowadzenia symulacji wolnego manewrowania charakterystycznego dla parkingów, stacji paliw, punktów poboru opłat autostradowych, placów manewrowych na terminalach itd.



Rys. 2. Rowki bieżnika ukształtowane tak, aby jak najłagodniej wchodziły w ślad styku z nawierzchnią

Fig. 2. Tread grooves shaped to ensure gentle tire contact with road surface

Dla takich sytuacji (w niniejszym artykule nazywanych „manewrami parkingowymi”) w Polsce stosowana jest powszechnie instrukcja [1] opracowana przez Instytut Techniki Budowlanej, opublikowana w 1991. Niestety metoda, a właściwie współczynniki tam zawarte, bazują na pojazdach jeżdżących po drogach w Polsce w latach osiemdziesiątych. Obecnie po naszych drogach jeżdżą już zupełnie inne pojazdy charakteryzujące się znacznie zmniejszoną emisją hałasu. Najbardziej popularne w tym okresie i bardzo hałaśliwe pojazdy, takie jak Fiat 126P, Fiat 125P, FSO Syrena, Wartburg, Trabant, Żuk, Nysa, Star, Jelcz, ZIŁ spotykane są obecnie wyjątkowo i przykuwają one uwagę zarówno jako „old-timers’y” jak i ze względu na swoją dużą hałaśliwość i wątpliwą czystość spalin.

Metodyka opracowana przez ITB dzieliła pojazdy na dwie kategorie – pojazdy lekkie i pojazdy ciężkie. Dla każdej klasy podany był równoważny poziom mocy akustycznej L_{w4} odniesiony do czasu wynoszącego pół godziny. Poziomy mocy akustycznej określone były na 82 dB (dla samochodów lekkich) i 86,5 dB (dla samochodów ciężkich). W przeliczeniu na czas odniesienia wynoszący jedną godzinę poziomy wynosiły odpowiednio 79,0 dB i 83,5 dB.

W roku 2007 Politechnika Gdańska uzyskała projekt badawczy MNiSW na opracowanie nowej, uaktualnionej metodyki prognozowania hałasu związanego z wykonywaniem wolnych manewrów typowych dla parkowania pojazdów. Wyniki prac prowadzonych w ramach tego grantu przedstawione są w niniejszym artykule. Model nazwany został roboczo CP2009.

2. GENEZA I ZAŁOŻENIA MODELU CP2009

Doświadczenia zdobyte podczas opracowywania na zlecenie Komisji Europejskiej zharmonizowanego modelu HARMONOISE/IMAGINE stanowiły bazę do opracowania modelu CP2009. Jakkolwiek podczas opracowywania modelu istnieje zazwyczaj silna tendencja do uszczegóławiania informacji o parku samochodowym, objawiająca się wprowadzaniem licznych klas i podklas pojazdów, to jednak już podczas użytkowania modelu pojawia się tendencja dokładnie przeciwna. Z kilkunastu klas jakie pierwotnie rozpatrywano w modelu HARMONOISE, w modelu IMAGINE, który stanowi jego rozwinięcie pozostały jedynie trzy klasy pojazdów dwuśladowych i dwie klasy pojazdów jednośladowych.

Tworząc model CP2009 postanowiono podzielić pojazdy również na trzy klasy: pojazdy lekkie (samochody osobowe, terenowe i dostawcze), samochody ciężarowe oraz autobusy. Zrezygnowano z wprowadzenia klasy pojazdów jednośladowych, gdyż zazwyczaj nie korzystają one z typowych parkingów, natomiast ich hałas bardzo silnie zależy od stanu technicznego oraz techniki jazdy, a raczej temperamentu kierowcy.

Metody symulacyjne wymagają określenia poziomu mocy akustycznej emitowanej przez źródło dźwięku w czasie jego działania. W przypadku gdy hałas ma charakter niestacjonarny konieczne jest określenie jego poziomu równoważnego dla pewnego okresu czasu. Właśnie taki przypadek występuje przy wykonywaniu manewrów parkingowych. Typowy manewr parkingowy trwa od kilkudziesięciu sekund do kilku minut i składa się z następujących faz:

1. Wjazd na teren parkingu/terminala i ewentualne poszukiwanie miejsca parkowania.
2. Manewry prowadzące do zajęcia wybranego miejsca parkingowego.
3. Wyłączenie silnika.
4. Otwarcie i zamknięcie drzwi związane z opuszczeniem pojazdu (nie występuje w niektórych sytuacjach).
5. W wielu przypadkach otwieranie i zamykanie kłapy bagażnika oraz przeładunek towarów z wózka sklepowego.
6. Otwarcie i zamknięcie drzwi związane z ponownym wejściem do pojazdu.
7. Uruchomienie silnika.
8. Manewry związane z opuszczaniem stanowiska parkowania.
9. Wyjazd z parkingu.

Na potrzeby modelu założono, że manewry wyszczególnione w punktach 2, 3, 7 i 8 stanowią łącznie „podstawowy manewr parkowania” i będzie im przypisany jeden, wspólny poziom mocy akustycznej odniesiony do okresu jednej godziny. Czynności opisane w punktach 4, 5, 6 uznane zostały za dodatkowe czynności związane z parkowaniem i jeśli występują w konkretnej sytuacji to przyporządkowane są im dodatkowe poziomy mocy akustycznej, które należy dodać do mocy manewrów podstawowych



(oczywiście po przeliczeniu poziomów mocy na moc). Dla ułatwienia założono, że podstawowy manewr parkowania zawiera przejazdy pojazdu na dystansie 20 m, które wynikają z wjazdu i wyjazdu z miejsca parkingowego (często z wykorzystaniem biegu wstecznego).

Niektóre samochody ciężarowe wyposażone są w agregaty chłodnicze, które pracują w cyklu przerywanym w czasie postoju samochodu dla zapewnienia odpowiednio niskiej temperatury ładunku. Musi to być uwzględnione poprzez dodanie odpowiedniego poziomu mocy akustycznej do poziomu mocy wynikającej z podstawowych manewrów parkowania.

Manewry opisane w punktach 1 i 9 wyodrębniono jako „jazdę z małą prędkością”, gdyż ich charakter związany jest ściśle z wielkością parkingu, stopniem jego wypełnienia i ukształtowaniem. Tak więc zamiast odnosić poziomy mocy akustycznej do zjawiska o charakterze jednostkowym (zaparkowanie pojazdu) odniesiono poziomy mocy do drogi jednostkowej jednego metra jaką przebywa pojazd. Dzięki takiemu podejściu możliwe jest łatwe uwzględnianie wpływu przewidywanej odległości jazdy na parkingu na całkowitą moc akustyczną wyemitowaną do otoczenia. Liczne badania wykazały, że typowe prędkości pojazdów podczas ruchu na terenie parkingów i terminali zawierają się w zakresie od 5 km/h do 30 km/h, ze średnią prędkością w pobliżu 20 km/h.

Hałaśliwość jazdy samochodu zależy w głównej mierze od prędkości, rodzaju opon i typu nawierzchni oraz dla małych prędkości również od wybranego biegu. Z uwagi na dużą różnorodność pojazdów i różne techniki jazdy nie jest celowe zbyt szczegółowe opisywanie w modelu wpływu wszystkich wymienionych powyżej parametrów, tym bardziej, że jak wykazały badania, zazwyczaj następuje swoista kompensacja pomiędzy prędkością i wybranym biegiem. Czym szybciej jedzie pojazd, tym większy hałas emitują jego opony i silnik. Z drugiej strony, przy wolnych manewrach parkingowych szybsza jazda (powyżej 20 km/h) łączy się zazwyczaj z wybraniem drugiego biegu, a jazda wolniejsza pierwszego biegu, który jest głośniejszy z uwagi na wyższą prędkość obrotową silnika. W konsekwencji hałas utrzymuje się na bardzo zbliżonym poziomie w zakresie prędkości od 5 km/h do 30 km/h.

Nie ma również potrzeby szczegółowego uwzględniania rodzaju ogumienia, gdyż przy niewielkich prędkościach hałas układu napędowego dominuje nad hałasem opon, przynajmniej jeśli pojazd porusza się po dobrze utrzymanej nawierzchni asfaltowej lub betonowej. Uwzględnienie różnego typu opon nastąpiło w przypadku modelu CP2009 na etapie zbierania danych, gdyż poziomy mocy akustycznej przyjęte w modelu powstały poprzez uśrednienie wyników dla wielu różnych samochodów w różnych porach roku.

Obserwacje poczynione w czasie wielu pomiarów na parkingach i placach manewrowych wykazały celowość uwzględnienia w modelu wpływu nawierzchni drogowej. Przyjęto, że bazowe poziomy mocy akustycznej charakteryzującej hałas podczas jazdy z małą prędkością muszą być w szczególnych przypadkach korygowane. Korekcji nie stosuje się, gdy nawierzchnia placu i dróg dojazdowych wykonana jest z betonu lub asfaltu i jest przy tym sucha. Jeśli jednak nawierzchnia taka często jest mokra lub



pokryta roztopiającym się śniegiem, to powinna być zastosowana korekcja na mokrą nawierzchnię. Taka sytuacja może mieć sporadycznie miejsce w przypadku parkingów sezonowych, w okolicy uprawiania sportów zimowych, przy wodospadach itd.

Dla nawierzchni szutrowych powodujących wzmożony hałas związany z ruchem kruszywa konieczna jest również odpowiednia korekcja. Dużym problemem na parkingach dla samochodów ciężarowych są nierówne płyty betonowe z których układana bywa nawierzchnia. Płyty te powodują znaczny wzrost hałasu, szczególnie podczas ruchu pustych pojazdów ciężarowych. Obserwacje poczynione na terminalach i drogach dojazdowych Portu Gdańsk wykazują, że uderzenia w układzie zawieszenia, brzęk łańcuchów i nie zamocowanych ładunków mogą być głównym i najbardziej uciążliwym źródłem hałasu.

Poziomy mocy akustycznej dla podstawowych manewrów parkowania określone były na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego w stacjonarnych punktach rozmieszczonych w rejonie manewrowania (rys. 3). Dzięki temu uwzględniana była kierunkowość emisji hałasu oraz specyfika manewrów takich jak silne skręcanie, przełączanie biegów, hałas hamulców.

Moc akustyczna emitowana podczas wolnej jazdy określana była dla samochodów osobowych za pomocą modelu VENOM, który powstał na Politechnice Gdańskiej specjalnie do symulowania hałasu samochodów w najróżniejszych warunkach ruchu. Ponieważ jednak, jak na razie, model ten nie obejmuje samochodów ciężarowych i autobusów, więc wykonane zostały specjalne, uzupełniające badania hałasu dla tych pojazdów.



Rys. 3. Pomiary hałasu podczas podstawowych manewrów parkowania (na mokrej nawierzchni)
Fig. 3. Noise measurements during "basic parking maneuvers" on damp road surface

3. DANE WEJŚCIOWE I WSPÓŁCZYNNIKI MODELU

W wyniku badań określone zostały poziomy mocy akustycznej manewrów parkingowych oraz współczynniki korekcyjne realizujące poprawki opisane powyżej. Są one zebrane w tablicy 1.



Tablica 1. Poziomy mocy akustycznej i współczynniki korekcyjne odniesione do okresu 1 godziny
 Table 1. Sound power levels and correction factors equalized to one hour period

Poziomy mocy/współczynnik	Typ pojazdu	Symbol	Wartość [dB]	Uwagi
Poziomy mocy akustycznej dla podstawowego manewru parkingowego	Osobowe	$L_{W^O_B}$	67	Bazowy poziom mocy akustycznej dla jednego parkowania i jednego pojazdu odniesiony do 1 h
	Autobusy	$L_{W^A_B}$	76	
	Ciężarowy	$L_{W^C_B}$	80	
Poziomy mocy akustycznej związany z otwieranie drzwi i bagażnika	Osobowe	$L_{W^O_d}$	60	
Poziomy mocy akustycznej związany z przeladunkami z wózka sklepowego	Osobowe	$L_{W^O_w}$	62	
Korekcja na moką nawierzchnię	Osobowe	$K_{W^O_m}$	0 dla $p \leq 25\%$	Korekcja stosowana wyłącznie dla nawierzchni asfaltowych i betonowych p – procentowy udział czasu eksploatacji, w którym nawierzchnia jest mokra lub pokryta mokrym śniegiem
			2 dla $25\% < p \leq 50\%$	
			3 dla $50\% < p \leq 75\%$	
			4 dla $p > 75\%$	
Korekcja na nawierzchnię szutrową	Ciężarowe i Autobusy	$K_{W^{dC}_m}$	0 dla $p \leq 30\%$	
			2 dla $p > 30\%$	
Korekcja na nawierzchnię z płyt betonowych	Osobowe	$K_{W^O_p}$	5	
Poziomy mocy akustycznej agregatów chłodniczych	Ciężarowe i Autobusy	$K_{W^{dC}_s}$	3	
Poziomy mocy akustycznej agregatów chłodniczych	Ciężarowe i Autobusy	$K_{W^{dC}_p}$	2	
Poziomy mocy akustycznej agregatów chłodniczych	Ciężarowe	$L_{W^C_a}$	5	Stosowany tylko do samochodów ciężarowych z agregatami
			94	

W tabelicy 2 przedstawione są poziomy mocy akustycznej emitowanej podczas wolnego przejazdu drogi o długości 1 m, odniesienie do czasu obserwacji wynoszącego 1 godzinę. Wartości przyjęto jako wartości średnie dla zakresu prędkości od 5 km/h do 30 km/h i jazdy na pierwszym oraz drugim biegu. Należy je interpretować jako równoważny poziom mocy jaka wyemitowana zostanie podczas przejazdu dystansu 1 m (czyli w czasie $t = s / V$, gdzie $s = 1$ m, a V jest prędkością jazdy) i która jest skorygowana do czasu obserwacji wynoszącego 1 godzinę.

Tablica. 2. Poziomy mocy akustycznej związane z jazdą z małymi prędkościami odniesione do przejazdu jednego metra i czasu jednej godziny

Table 2. Sound power levels related to slow speed driving equalized to the distance of 1 m and time duration of 1 hour

Typ manewru	Typ pojazdu	Symbol	Wartość [dB/m]
Poziom mocy przy jeździe z prędkością od 5 km/h do 30 km/h	Samochody osobowe	$LW^O_{(1m)}$	42
	Autobusy	$LW^A_{(1m)}$	58
	Samochody ciężarowe	$LW^C_{(1m)}$	64

W tabelicy 3 omówione są dane wejściowe niezbędne do wykonania obliczeń w oparciu o model CP2009. Dane te powinny charakteryzować albo cały parking, albo jego wyodrębnioną część. Wyodrębnianie części parkingów jest korzystne wtedy, gdy użytkowanie parkingu (placu manewrowego) nie jest jednolite, na przykład w pewnych strefach może odbywać się parkowanie samochodów ciężarowych, a w innych samochodów osobowych. Podobnie niektóre strefy mogą być bardziej obciążone w związku z korzystniejszą lokalizacją w stosunku do obsługiwanego obiektu. Często również spotyka się parkingi o niejednolitych nawierzchniach.

Tablica 3. Dane wejściowe do modelu CP 2009

Table 3. Input data for CP2009 model

Wyszczególnienie	Typ pojazdu	Symbol	Uwagi
Ilość pojazdów (manewrów) na godzinę	Osobowe	n^O	Jako manewr rozumiany jest łącznie: wjazd pojazdu, zatrzymanie i odjazd
	Autobusy	n^A	
	Ciężarowy	n^C	
Łączny dystans wjazdowy i wyjazdowy pokonywany przez pojedynczy pojazd	Osobowe	S^O	Z dystansu tego wyłączone jest 20 m bezpośrednio związane z ustawianiem pojazdu na stanowisku
	Autobusy	S^A	
	Ciężarowy	S^C	
Ekwiwalentna ilość pojazdów z pracującymi agregatami chłodniczymi	Ciężarowe	n^C_a	Jest to równoważna ilość samochodów z pracującymi agregatami odniesiona do okresu 1 godziny, np. jeśli na parkingu w ciągu 8 godzin przebywa 30 ciężarówek z agregatami, których skumulowany czas parkowania wynosi 80 godzin to $n^C_a = 80/8 = 10$

Model CP2009 opisany jest równaniami (1 - 4), przedstawionymi poniżej:

$$Lw = 10 \cdot \log(10^{Lw^O/10} + 10^{Lw^A/10} + 10^{Lw^C/10}), \quad (1)$$

$$Lw^O = 10 \cdot \log(n^O \cdot (10^{(Lw^O_B/10)} + 10^{(Lw^O_d/10)} + 10^{(Lw^O_w/10)}) + n^O \cdot S^O \cdot 10^{((Lw^O_{(m)} + Kw^O)/10)}), \quad (2)$$

$$Lw^A = 10 \cdot \log(n^A \cdot 10^{(Lw^A_B/10)} + n^A \cdot S^A \cdot 10^{((Lw^A_{(m)} + Kw^{AC})/10)}), \quad (3)$$

$$Lw^C = 10 \cdot \log(n^C \cdot 10^{(Lw^C_B/10)} + n^C_a \cdot 10^{(Lw^C_a/10)} + n^C_c \cdot S^C \cdot 10^{((Lw^C_{(m)} + Kw^{AC}_{(m)})/10)}), \quad (4)$$

gdzie:

Lw – całkowity poziom mocy akustycznej z parkingu lub jego strefy [dB],

Lw^O – poziom mocy akustycznej samochodów osobowych [dB],

Lw^A – poziom mocy akustycznej autobusów [dB],

Lw^C – poziom mocy akustycznej samochodów ciężarowych [dB],

Kw^O – korekcja na nawierzchnię drogową dla samochodów osobowych:

$Kw^O = Kw^O_w$ dla mokrych nawierzchni asfaltowych i betonowych,

$Kw^O = Kw^O_g$ dla nawierzchni szutrowej,

$Kw^O = Kw^O_u$ dla nawierzchni z nierównych płyt betonowych,

$Kw^O = 0$ dla innych nawierzchni,

Kw^{AC} – korekcja na nawierzchnię drogową dla autobusów i samochodów ciężarowych:

$Kw^{AC} = Kw^{AC}_w$ dla mokrych nawierzchni asfaltowych i betonowych,

$Kw^{AC} = Kw^{AC}_g$ dla nawierzchni szutrowej,

$Kw^{AC} = Kw^{AC}_u$ dla nawierzchni z nierównych płyt betonowych,

$Kw^{AC} = 0$ dla innych nawierzchni.

4. PRZYKŁAD WYKORZYSTANIA MODELU

Dla zobrazowania modelu przedstawiono przykład obliczeń wykonanych dla stacji paliw z zapleczem gastronomicznym. Założono, że na stacji paliw wraz z parkingami w ciągu godziny manewry parkingowe wykona 96 samochodów osobowych, 2 autobusy i 4 samochody ciężarowe. Założono również, że średnio na parkingu dla samochodów



ciężarowych w strefie „2” przebywać będzie co 4 godziny jeden samochód ciężarowy z agregatem chłodniczym, którego czas parkowania wyniesie jedną godzinę (czyli ekwiwalentna ilość pojazdów z agregatami wyniesie $1/4 = 0,25$). Parkingi i stacja paliw potraktowane zostały całościowo bez podziału na analizowane odrębnie części. W tablicy 4 zebrane są dane wykorzystane przy modelowaniu.

Tablica. 4. Przykładowe dane wykorzystane do modelowania
Table 4. Sample input data used for simulation

Parametr	Symbol	Wartość	Uwagi
Ilość manewrów samochodów osobowych na godzinę	n^O	96	Łącznie dla strefy parkingowej i strefy tankowania
Ilość manewrów autobusów na godzinę	n^A	2	
Ilość manewrów samochodów ciężarowych na godzinę	n^C	4	
Średni dystans pokonywany przez samochody osobowe	S^O	200	Średnia wartość dla poszczególnych typów pojazdów uwzględniająca parkowanie i tankowanie
Średni dystans pokonywany przez autobusy	S^A	200	
Średni dystans pokonywany przez samochody ciężarowe	S^C	200	
Ekwiwalentna ilość pojazdów z pracującymi agregatami chłodniczymi	n^C_a	0,25	Oznacza to, że statystycznie przez 15 minut na godzinę na parkingu przebywa samochód z pracującym agregatem
Otwieranie drzwi do samochodów osobowych		Tak	
Przeładunek z wózków sklepowych		Nie	
Korekcja na mokra nawierzchnię		Nie	
Korekcja na nawierzchnię szutrową		Nie	
Korekcja na nawierzchnię z płyt betonowych		Nie	

Po podstawieniu do równań (1 - 4) danych przedstawionych w tablicy 4 uzyskane zostały następujące poziomy mocy akustycznej:

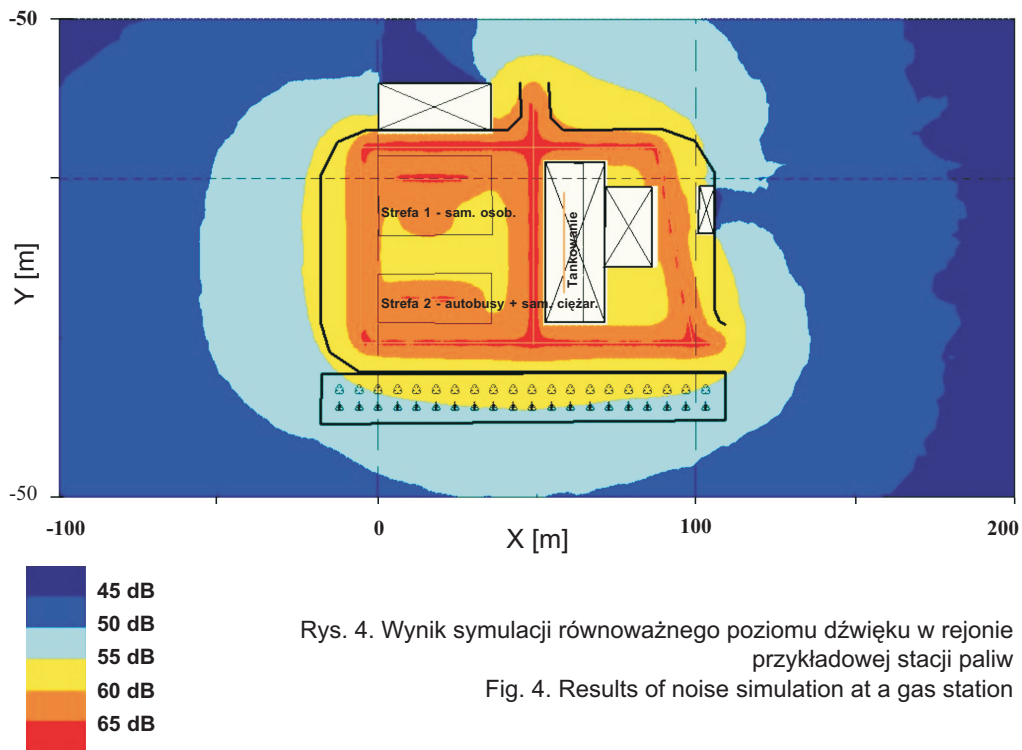
$$L_w = 96,3 \text{ dB} \quad (\text{całkowity poziom mocy akustycznej z rejonu stacji paliw}),$$

$$L_w^O = 89,5 \text{ dB} \quad (\text{poziom mocy akustycznej samochodów osobowych}),$$

$$L_w^A = 85,2 \text{ dB} \quad (\text{poziom mocy akustycznej autobusów}),$$

$$L_w^C = 94,8 \text{ dB} \quad (\text{poziom mocy akustycznej samochodów ciężarowych}).$$

Dla lepszego odwzorowania lokalizacji źródeł hałasu, moc całkowita rozdzielona została na kilka źródeł liniowych o jednostkowym poziomie mocy 69,3 dB/m i łącznej długości 500 m. Na rysunku 4 przedstawione są wyniki symulacji wykonanej za pomocą programu komputerowego HPZ2001 dla danych akustycznych przedstawionych powyżej i dla założonego arbitralnie planu zagospodarowania stacji paliw. Zakładając, że lokalizacja stacji wymusza zachowanie równoważnego poziomu hałasu wynoszącego 55 dB, warunki te będą spełnione na granicach działki (linia rozdzielająca kolor żółty i błękitny na zamieszczonym poniżej rysunku).



Rys. 4. Wynik symulacji równoważnego poziomu dźwięku w rejonie przykładowej stacji paliw
Fig. 4. Results of noise simulation at a gas station

W opinii autorów w większości przypadków modelowania akustycznego parkingów, placów manewrowych itp. lepsze rezultaty symulacji uzyskuje się stosując zastępcze źródła liniowe (umieszczone na wysokości 0,3 m nad powierzchnią) niż źródła punktowe.

5. WNIOSKI

Zaprezentowany model może być stosowany do symulacji hałasu związanego z infrastrukturą drogową, w której dominują manewry pojazdów typowe dla parkowania. Model ten odzwierciedla charakterystyki akustyczne pojazdów eksploatowanych w Polsce w latach 2007 - 2009. Jak wykazały porównania z wynikami uzyskiwanymi za pomocą metodyki ITB wartości poziomów mocy akustycznej uzyskane w modelu CP2009 są o około 5 - 10 dB niższe. Wynika to ze znacznego wyciszenia współczesnych pojazdów samochodowych w stosunku do pojazdów stanowiących podstawę modelu ITB. Jednocześnie model CP2009 jest bardziej elastyczny i umożliwia uwzględnienie drogi dojazdu, stanu nawierzchni oraz obecności pojazdów z agregatami chłodniczymi.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Instrukcja nr 311: Metoda prognozowania hałasu emitowanego z obszarów dużych źródeł powierzchniowych. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1991
- [2] *Ejsmont J., Ronowski G.*: Prediction of Noise Emitted During Low Speed Manoeuvring. The Sixteenth International Congress on Sound and Vibration, Kraków 7-9 lipca 2009
- [3] *Sandberg U., Ejsmont J.*: Tyre/Road Noise Reference Book. Informex, Szwecja, 2002

INFORMACJE DODATKOWE

Projekt sponsorowany był jako grant przez MNiSW. Autorzy pragną podziękować Wojewódzkiej Komendzie Policji w Gdańsku za udostępnienie parkingów i pomoc w prowadzeniu badań.

SIMULATION OF VEHICLE NOISE DURING SLOW SPEED MANEUVERING – CP2009 MODEL

Abstract

Social and other surveys have indicated that traffic noise affects more people than any other type of pollution. It was recently concluded that approximately 20% of the population of the European Union is exposed to noise levels which are usually considered to be intolerable ($L_{Aeq} > 65$ dB) and 60% to levels which are considered undesirable ($L_{Aeq} > 55$ dB). Reduction of traffic noise is possible only when all preventive measures are taken collectively (improvements in tyres, road surfaces and traffic management). The paper presents a basic noise model and selected data necessary to predict the noise of slow maneuvering road vehicles. The model may be used for noise assessment studies, required by law before the start of construction or serious modification of parking lots, gas stations, ferry or container terminals. The model is based on recent noise emission measurements performed in Poland.

