

Scientific Review – Engineering and Environmental Sciences (2018), 27 (3), 319–327
Sci. Rev. Eng. Env. Sci. (2018), 27 (3)
Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska (2018), 27 (3), 319–327
Prz. Nauk. Inż. Kszt. Środ. (2018), 27 (3)
<http://iks.pn.sggw.pl>
DOI 10.22630/PNIKS.2018.27.3.31

Karol PIETRZAK, Zbigniew TOKARSKI

Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy
Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, UTP University of Technology and Life Science in Bydgoszcz

Ocena wpływu warunków atmosferycznych na poziom hałasu komunikacyjnego dla wybranej autostrady w Holandii **Assessment of influence of atmospheric conditions on the level of traffic noise for selected highway in the Netherlands**

Słowa kluczowe: Holandia, autostrada, hałas, deszcz, nawierzchnia drogowa
Key words: the Netherlands, motorway, noise, rain, road surface

Wprowadzenie

Hałas komunikacyjny związany z toczeniem się opon po nawierzchni drogowej (Engel, 2001) jest od wielu lat przedmiotem badań ośrodków w Holandii. Jednym z nich są pracownie projektowe i laboratoria firmy BAM INFRA zlokalizowane w miejscowościach Utrecht oraz Hardinxveld i Venlo. Kierunki prac związane są z poszukiwaniem oryginalnych technologii budowanych nawierzchni (Woźniak, Dąbrowski i Olszacki, 2007) oraz analizą uciążliwości dla lokalnych społeczności (Gronowicz, 2004). W ramach współpracy

z firmą BAM INFRA autorzy tego opracowania prowadzą od kilku lat pomiary zmienności hałaśliwości nawierzchni porowatych o różnej grubości warstwy ścierniczej (Piłat i Radziszewski, 2010). Analizowana jest hałaśliwość zmieniająca się w czasie, zmieniające się natężenie ruchu oraz jego struktura (Gaca, Suchorzewski i Tracz, 2014), a w ostatnim czasie również wpływ warunków atmosferycznych takich jak kierunek i siła wiatru oraz mgła (Lebiedowska, 2007). W tym opracowaniu przedstawiono zastosowaną do pomiarów aparaturę, metodę pomiaru hałaśliwości dla określonego stanu nawierzchni (PN-EN ISO 11819-1:2004) oraz prawidłowości wynikające z wieloletnich badań własnych oraz projektantów holenderskich. Uzyskane wyniki w czasie cyklicznych badań terenowych prowadzonych przez autorów tego opracowania w Holandii pozwalają na ocenę

wplywu poszczególnych czynników na hałasliwość, a jednocześnie wychodzą naprzeciw dyskusji lokalnej społeczności o możliwości redukcji uciążliwości związanej z coraz większym krajowym ruchem drogowym. Pozwala to również na planowanie robót utrzymaniowych i zakresu rekonstrukcji nawierzchni wynikającego z konkretnej lokalizacji.

Badania terenowe

Badania terenowe były prowadzone przez Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy we współpracy z holenderską firmą BAM Group i odbyły się w terminie od 26 sierpnia do 9 września 2016 roku. Na rysunku 1 przedstawiono lokalizację miejsca pomiarów (czarne kółko).

Celem opracowanych własnych pomiarów terenowych była analiza i ocena uzyskanych wyników zgodnie z normą PN-

-ISO 9613-1:2000. Badania uwzględniały: pomiar poziomu hałasu komunikacyjnego, natężenie ruchu drogowego oraz panujące warunki atmosferyczne przy autostradzie A73 w miejscowościach Overloon i Venlo w Holandii. Stanowiły one podstawę do zweryfikowania przyjętej hipotezy badawczej, która zakładała, że warunki atmosferyczne, takie jak: temperatura i wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne oraz siła i kierunek wiatru, a także natężenie ruchu drogowego i struktura rodzajowa, mają wpływ na poziom hałasu komunikacyjnego w bezpośrednim otoczeniu holenderskiej autostrady A73.

Widok stanowisk badawczych do pomiaru hałasu przedstawiono na rysunku 2, a widok stanowiska do pomiaru natężenia ruchu drogowego przedstawiono na rysunku 3.

W celu dokładnej identyfikacji kierunku wiatru na rysunku 4 przedstawiono widok stanowisk pomiarowych w miejscowości Overloon wraz z różą wiatrów.



RYSUNEK 1. Lokalizacja autostrady A73 w Holandii

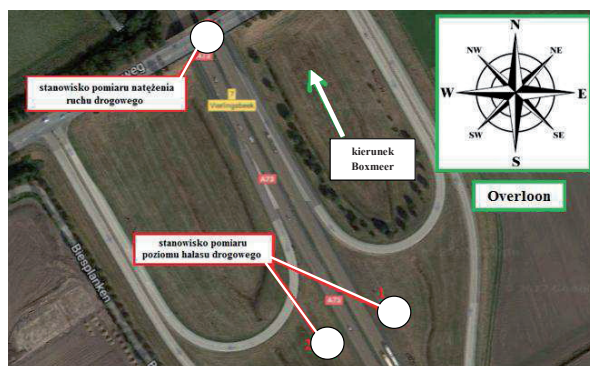
FIGURE 1. Location of the motorway A73 in the Netherlands



RYSUNEK 2. Widok stanowisk do pomiaru hałasu
 FIGURE 2. View of noise measuring stands



RYSUNEK 3. Widok stanowiska do pomiaru natężenia ruchu drogowego
 FIGURE 3. View of road traffic measuring stands



RYSUNEK 4. Widok stanowisk pomiarowych w Overloon z lotu ptaka
 FIGURE 4. Bird's eye view of measuring stands

Ocena uzyskanych wyników

W celu określenia oddziaływania warunków atmosferycznych, takich jak: temperatura i wilgotność powietrza, ciśnienie atmosferyczne oraz siła i kierunek wiatru, na poziom hałasu komunikacyjnego przeprowadzono analizę korelacji (Sobczyk, 2007) między poszczególnymi składnikami pogody a zmierzonym poziomem hałasu.

Dla celów wykonania analizy wyniki natężenia ruchu przedstawiono jako kategorie pojazdów przyjęte według normy PN-EN ISO 11819-1:2004:

- kategoria 1 – samochody osobowe oraz lekkie pojazdy użytkowe i małe furgonetki mające maksymalnie 4 koła,
- kategoria 2a – pojazdy ciężkie dwuosiowe – ciężarówki handlowe oraz autobusy i autokary z 2 osiami i więcej niż 4 kołami,
- kategoria 2b – pojazdy ciężkie wieloosiowe – ciężarówki, autobusy i autokary z więcej niż 2 osiami oraz motocykle.

Pomiary wykonywano w interwałach pięciominutowych.

W ramach opracowania przygotowano analizę porównawczą zawierającą zestawienie tabelaryczne wyników pomiarów dla podobnego natężenia ruchu drogowego. Zestawienie reprezentatywnych wyników dla dwóch punktów pomiarowych zamieszczono w tabeli. Kolorem szarym zaznaczono podobne natężenie ruchu drogowego.

Na podstawie porównania wyników poziomu hałasu komunikacyjnego dla zbliżonych wartości natężenia ruchu, lecz przy panujących odmiennych wa-

runkach atmosferycznych, stwierdza się, że wraz ze wzrostem temperatury powietrza (przy pozostałych czynnikach atmosferycznych na takim samym poziomie) maleje natężenie dźwięku. Na podstawie zestawienia powyższych danych także ustalono, że spadek wilgotności powietrza przyczynia się do zmniejszenia poziomu hałasu komunikacyjnego, a wzrost wilgotności powietrza powoduje zwiększenie natężenia dźwięku w pewnej odległości od źródła. Prędkość wiatru wpływa na zmiany poziomu hałasu, gdyż szybkość propagacji dźwięku przemieszczającego się wraz z wiatrem jest sumą prędkości samego dźwięku i prędkości wiatru, a kierunek wiatru może powodować ugięcie fali dźwiękowej w określonym kierunku. Ponadto można zauważyć, że ciśnienie atmosferyczne nie ma wpływu na zmiany poziomu hałasu komunikacyjnego w otoczeniu autostrady A73. W ramach opracowania metodą GC&RT została określona ważność poszczególnych predyktorów (rys. 5), dzięki czemu stwierdzono, że wszystkie zmienne niezależne są statystycznie istotne. Największy wpływ na poziom hałasu ma kategoria 1 – natężenie ruchu samochodów osobowych i dostawczych.

Na rysunku 6 została przedstawiona analiza zależności między zmienną zależną (wartością L_{EQ}) a zmiennymi niezależnymi.

Na rysunku 7 została przedstawiona wizualizacja 3D dotycząca analizy regresji metodą MARS dla zależności temperatury powietrza, natężenia ruchu drogowego samochodów osobowych i dostawczych (kategoria 1) oraz poziomu dźwięku L_{EQ} .

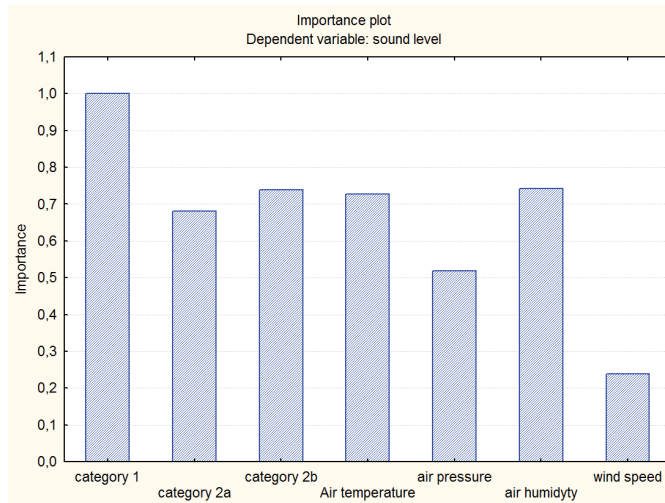
TABELA. Zestawienie wyników poziomu hałasu komunikacyjnego, natężenia ruchu drogowego i warunków atmosferycznych (opracowanie własne)

TABLE. Comparison of noise level results, road traffic and atmospheric condition (own studies)

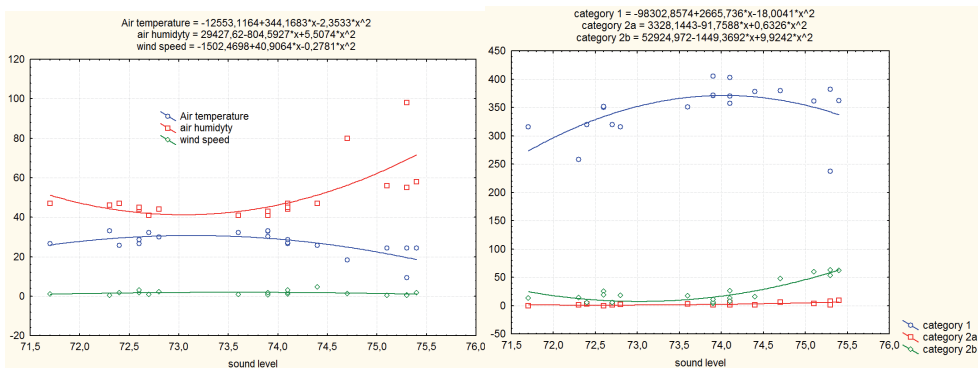
Data i godzina pomiaru Date and time of measurements	Kategoria pojazdów Vehicles category			Poziom dźwięku LEQ Sound level [dB(A)]	Temperatura powietrza Air temperature [°C]	Ciśnienie powietrza Air pressure [hPa]	Wilgotność powietrza Air humidity [%]	Prędkość wiatru Wind speed [m·s ⁻¹]	Kierunek wiatru Wind direction
	1	2a	2b						
30.08 7:00	237	8	63	75,3	9,3	1013	98	0,7	S
27.08 18:30	258	1	14	72,3	33,1	1012	46	0,5	SE
28.08 16:50	316	2	18	72,8	29,9	1012	44	2,2	N
28.08 18:35	316	0	13	71,7	26,5	1013	47	1,1	N
28.08 16:05	320	1	5	72,7	32,3	1012	41	0,9	N
28.08 18:20	320	3	5	72,4	25,7	1013	47	1,8	N
28.08 18:05	350	0	25	72,6	26,5	1012	44	1,8	N
28.08 18:35	357	1	26	74,1	26,5	1013	47	1,1	N
28.08 16:05	351	3	17	73,6	32,3	1012	41	0,9	N
28.08 17:35	352	0	19	72,6	28,6	1012	45	3,2	N
28.08 15:35	371	2	4	73,9	33	1011	41	1,5	N
28.08 15:50	372	1	6	73,9	33,2	1012	41	0,6	NW
28.08 17:50	370	1	13	74,1	27,1	1012	44	1,8	N
28.08 18:50	378	1	16	74,4	25,8	1013	47	4,7	N

Na rysunku 8 została przedstawiona prawidłowość modelu przy wykorzystaniu funkcji autokorelacji i autokorelacji cząstkowej reszt. Stwierdzono praw-

dłowy przebieg wspomnianej funkcji. Został także obliczony błąd MAPE = 0,639746946%, co oznacza doskonałe dopasowanie.



RYSUNEK 5. Ważność predyktorów hałasu drogowego
 FIGURE 5. The importance of traffic noise predictors

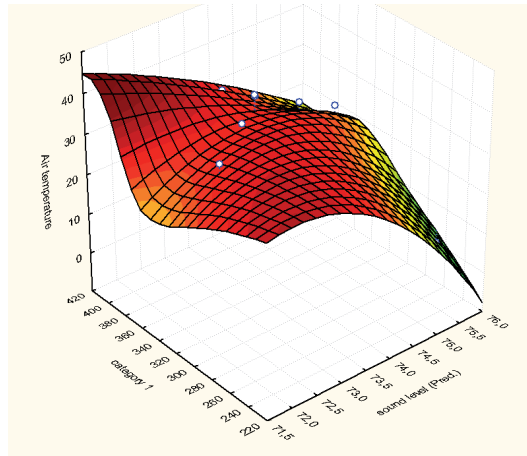


RYSUNEK 6. Analiza zależności między zmienną zależną i zmiennymi niezależnymi
 FIGURE 6. Analysis of the relationship between dependent variable and independent variables

Wnioski

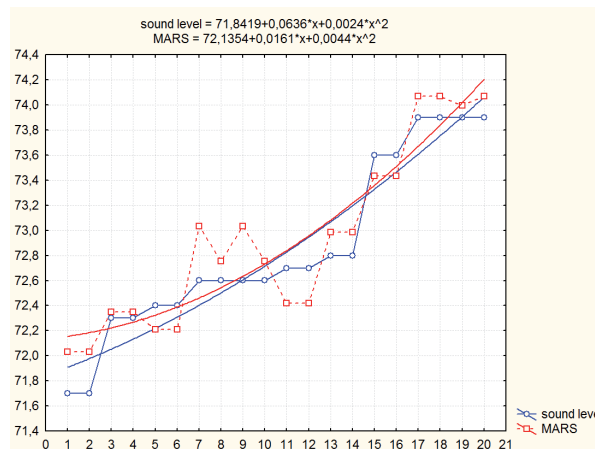
1. Zastosowany aparat matematyczny obejmował wyznaczenie wartości poziomu dźwięku w funkcji hałasu ekwiwalentnego L_{EQ} w danych interwałach czasowych.
2. Porównując wyniki poziomu hałasu komunikacyjnego przy zbliżonych
3. Istnieje możliwość wyznaczenia wzoru regresyjnego opisującego za-

wartościach natężenia ruchu, lecz przy panujących odmiennych warunkach atmosferycznych, stwierdza się, że czynniki pogodowe, tj. temperatura i wilgotność powietrza oraz wiatr, mają wpływ na poziom hałasu komunikacyjnego.



RYSUNEK 7. Analiza regresji metodą MARS

FIGURE 7. MARS regression analysis



RYSUNEK 8. Wyniki dla funkcji autokorelacji

FIGURE 8. Results for autocorrelation function

leżności między wartościami L_{EQ} i zmiennymi zależnymi wytypowanymi do badań. Wzór ten ma postać: poziom dźwięku = $7,31e + 001 + 3,87e - 002 \cdot \max(0; category\ 2b - 1,9e + 001) - 6,38e - 002 \cdot \max(0; 1,9e + 001 - category\ 2b) + 8,39e - 002 \cdot \max(0; category\ 1 - 3,51e + 002) - 8,806e - 002 \cdot \max(0; category\ 1 - 3,7e + 002) + 3,91e - 001 \cdot$

- $\cdot \max(0; 2,6e + 001 - Air\ temperature) - 1,28e - 001 \cdot \max(0; air\ humidity - 4,10e + 001) + 1,25e - 001 \cdot \max(0; category\ 2a - 0,0e + 000).$
- 4. Wraz ze wzrostem temperatury powietrza (przy pozostałych czynnikach atmosferycznych na takim samym poziomie) maleje natężenie dźwięku.

5. Wzrost wilgotności powietrza powoduje zwiększenie natężenia dźwięku generowanego przez poruszające się pojazdy, a podczas warunków mglistych poziom hałasu komunikacyjnego jest wyższy i może być bardziej uciążliwy dla otoczenia.
6. Prędkość wiatru wpływa na zmiany poziomu hałasu, gdyż szybkość propagacji dźwięku przemieszczającego się wraz z wiatrem jest sumą prędkości samego dźwięku i prędkości wiatru, kierunek wiatru natomiast może powodować ugięcie fali dźwiękowej w określonym kierunku.
7. Ciśnienie atmosferyczne nie ma wpływu na zmiany poziomu hałasu komunikacyjnego w otoczeniu autostrady A73.

Literatura

- Engel, Z. (2001). *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.
- Gaca, S., Suchorzewski, W. i Tracz, M. (2014). *Inżynieria ruchu drogowego. Teoria i praktyka*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- Gronowicz, J. (2004). *Ochrona środowiska w transporcie lądowym*. Poznań–Radom: Politechnika Poznańska, Instytut Technologii Eksploatacji.
- Lebiedowska, B. (2007). Wpływ warunków meteorologicznych na propagację hałasu w terenach podmiejskich. *Przegląd Naukowy – Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 35, 43-50.
- Piłat, J. i Radziszewski, P. (2010). *Nawierzchnie asfaltowe*. Warszawa: Wydawnictwa Komunikacji i Łączności.
- PN-ISO 9613-1:2000. Akustyka. Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej – Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę.

PN-EN ISO 11819-1:2004. Akustyka. Pomiary wpływu nawierzchni dróg na hałas drogowy. Część 1: Metoda statystyczna pomiaru podczas przejazdu.

Sobczyk, M. (2007). *Statystyka*. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN.

Woźniak, M., Dąbrowski, W. i Olszacki, J. (2007). Asfaltowe nawierzchnie porowate – skuteczna metoda redukcji hałasu komunikacji drogowej. *Polskie Drogi*, 140, 25-30.

Streszczenie

Ocena wpływu warunków atmosferycznych na poziom hałasu komunikacyjnego dla wybranej autostrady w Holandii. Istnieje wiele innowacyjnych nawierzchni autostrad. Jedną z nich jest nawierzchnia z asfaltu porowatego. Celem budowy tego typu nawierzchni jest pochłanianie w czasie eksploatacji wody opadowej oraz zmniejszenie hałaśliwości warstwy ścieralnej. Ocena skuteczności tych cech może być przeprowadzona różnymi metodami w tym metodą statystycznego przejazdu, CPX czy pomiaru hałasu ekwiwalentnego. W czasie eksploatacji ocenia się m.in. wpływ takich czynników jak wilgotność powietrza, wiatr czy natężenie i struktura ruchu drogowego przy uwzględnieniu okresu eksploatacji. W tym opracowaniu przedstawiono analizę wyników pomiarów i metody oceny wpływu wymienionych czynników, co może posłużyć do planowania rekonstrukcji warstwy ścieralnej z asfaltu porowatego.

Summary

Assessment of influence of atmospheric conditions on the level of traffic noise for selected highway in the Netherlands. There are many innovative highway surfaces. One it is the surface from porous asphalt. The purpose of construction this pavements is to absorb rainwater and to reduce

the noise of the wearing course. The evaluation of the effectiveness of these features can be carried out by various methods including statistical method, CPX, or equivalent noise measurement. During exploitation, the following is assessed: the impact of factors as air humidity, wind, or intensity and the structure of road traffic during the period of exploitation. This study presents an analysis of measurement results and methods for assessing the impact of these factors, which can be used to plan the reconstruction of porous wearing course.

Authors' address:

Karol Pietrzak, Zbigniew Tokarski
Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy
w Bydgoszczy
Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii
Środowiska
ul. Kaliskiego 7, 85-796 Bydgoszcz
Poland
e-mail: karol.pietrzak@utp.edu.pl
zbigniew.tokarski@utp.edu.pl