

Pomiary parametrów i warunków ruchu drogowego w badaniach hałasu drogowego

Measurements of traffic parameters and conditions in traffic noise research

Marek Motylewicz

Dr inż.

Politechnika Białostocka

m.motylewicz@pb.edu.pl

Streszczenie: Poziom hałasu drogowego w głównej mierze zależy od parametrów ruchu drogowego takich jak: natężenie ruchu, udział w ruchu pojazdów ciężarowych oraz prędkość pojazdów. Istotne znaczenie mają również warunki ruchu określone przez takie mierniki jak np.: średnia prędkość odcinkowa, średnie straty czasu na skrzyżowaniu oraz liczba zatrzymań. Ich szczególna waga ujawnia się zwłaszcza w sytuacji złych warunków ruchu i znacznego obniżenia swobody ruchu. W publikacji przedstawiono wybrane metody prowadzenia pomiarów parametrów ruchu drogowego i w szczególności - mierników warunków ruchu na przykładzie badań ich wpływu na poziom hałasu w otoczeniu ulicy i skrzyżowań. Przedstawiono również wyniki tych badań, określając wpływ takich parametrów i mierników na hałas jak: prędkość chwilowa, prędkość odcinkowa, średnie straty czasu na wlocie skrzyżowania, liczba zatrzymań pojazdów, stopień obciążenia wlotu skrzyżowania.

Słowa kluczowe: *Hałas drogowy; Warunki ruchu; Parametry ruchu; Metody pomiarów*

Abstract: The level of traffic noise depends mainly on road traffic parameters such as: traffic volume, share of trucks in traffic and vehicles speed. Traffic conditions determined by such parameters as, for example, the average travel speed, average delays at the intersection and the number of vehicles stops are also important. Their particular importance is revealed especially in the case of bad traffic conditions and a significant reduction of traffic flow. The paper presents selected methods of measuring road traffic parameters, and in particular - traffic conditions on the example of research on their impact on the noise level in the vicinity of the street and intersections. The results of these tests are also presented, determining the impact of such parameters on traffic noise as: instantaneous speed, sectional speed, average delays at the intersection entry, the number of vehicle stops, volume to capacity of the entry ratio.

Keywords: *Traffic noise; Traffic conditions; Traffic parameters; Measurement methods*

Wprowadzenie

Wpływ ruchu pojazdów oraz jego związków z geometrią drogi i organizacją ruchu na poziom hałasu w ich otoczeniu był i nadal jest przedmiotem wielu badań prowadzonych na całym świecie. Wynika to z powagi problemu jakim jest hałas komunikacyjny i jego istotnego wpływu na zdrowie i jakość życia oraz pracy ludzi. Badania te wiążą się często z opracowaniem nowych lub udoskonaleniem już istniejących modeli i metod prognozowania hałasu w otoczeniu dróg, które są niezbędne do kontroli klimatu akustycznego i zapo-

biegania przed wpływem ponadnormatywnych poziomów hałasu.

Podstawowymi parametrami ruchu, które wpływają na hałas drogowy są: natężenie ruchu drogowego, prędkość pojazdów oraz udział pojazdów ciężarowych. Duży wpływ na emisję hałasu ma również rodzaj nawierzchni, po której poruszają się pojazdy oraz geometria drogi, w tym głównie jej pochylenia podłużne. Dodatkowymi czynnikami oddziałującymi na hałas drogowy są warunki ruchu kategoryzowane poprzez tzw. poziomy swobody ruchu (PSR), a określone przez takie mierniki jak: średnia prędkość podróży; procent

czasu jazdy w kolumnie i gęstość ruchu – dotyczące odcinków międzywęzłowych dróg lub średnie straty czasu, liczba zatrzymań i długości kolejek pojazdów – dotyczące skrzyżowań drogowych. Istniejące metody i modele obliczeniowe uwzględniają w różnym stopniu powyższe czynniki, zwłaszcza te związane z przepustowością i warunkami ruchu drogowego, wpływając tym samym na dokładność prognoz hałasu. Wpływa to z kolei m.in. na poprawność zaprojektowania metod lub urządzeń chroniących przed ponadnormatywnym hałasem drogowym a tym samym na koszty inwestycji.

Wpływ warunków ruchu drogowego jest przedmiotem stosunkowo niewielu badań m.in. z uwagi na problematykę pomiarów warunków ruchu. Wpływ tych czynników na poziom hałasu drogowego jest jednak istotny. W pracy [2] stwierdzono, że wraz ze wzrostem natężenia ruchu wzrasta poziom hałasu, lecz prawidłowość ta występuje tylko do wartości tzw. maksymalnego natężenia ruchu – po jej przekroczeniu wraz ze wzrostem gęstości potoku pojazdów następuje sukcesywny spadek jego prędkości. Zjawisko to powoduje spadek swobody ruchu (określonej poziomami od „A” do „F” gdzie „F” odpowiada najgorszym warunkom ruchu), wpływając tym samym na war-

tości poziomu hałasu drogowego. W pewnych stanach nasycenia ruchem pojazdów, spadek swobody ruchu skutkuje nawet obniżeniem poziomów hałasu. W pracy [4] wykazano, że pogorszenie warunków ruchu z poziomu swobody ruchu „B” do „C” oraz z „B” do „D” powoduje obniżenie poziomów hałasu drogowego odpowiednio o $1,3 \div 1,7$ dB i o $2,0 \div 2,3$ dB. Podobne rezultaty otrzymano w pracy [3] gdzie stwierdzono, że poziomy hałasu drogowego wzrastają wraz z przyrostem natężenia ruchu tylko do poziomów swobody ruchu „B” i „C” natomiast w przypadku PSR „D”, „E” i „F” wzrost natężenia ruchu nie powoduje istotnego wzrostu hałasu a wręcz w niektórych przypadkach

skutkuje jego obniżeniem przy ograniczonej prędkości pojazdów. Stąd też w pracy [2] stwierdzono wyższe nawet o ok. $2 \div 3$ dB poziomy hałasu uzyskane w oparciu o istniejące modele prognozowania hałasu nieuwzględniające wpływu warunków ruchu w porównaniu do wyników pomiarów terenowych uzyskanych przy gorszych warunkach ruchu.

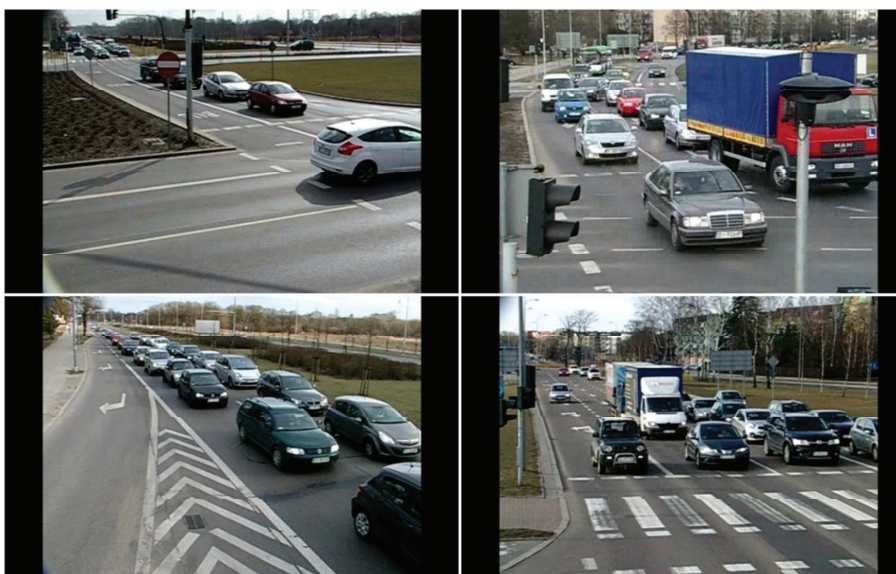
W artykule przedstawione zostały różne metody pomiarów parametrów i warunków ruchu drogowego w badaniach hałasu drogowego w celu jak najwierniejszego odtworzenia wpływu tych czynników na hałas.

Pomiary warunków ruchu na skrzyżowaniach i ich wpływ na hałas drogowy

Warunki ruchu na skrzyżowaniach drogowych mogą być ustalone w oparciu o straty czasu pojedynczych pojazdów, liczbę zatrzymań i kolejki pojazdów na wlotach. Praktyczne ustalenie warunków ruchu na skrzyżowaniach jest zagadnieniem dość złożonym. Wynika to z potrzeby jednoczesnego określania parametrów ruchu takich jak natężenie i struktura rodzajowa, a także ilościowych i mierzalnych mierników warunków ruchu jak zatrzymania pojazdów (w tym wielokrotne) oraz długości kolejek (maksymalna, pozostająca). Dodatkową trudność sprawia potrzeba określania ww. czynników na wielopasowych wlotach oraz zmienność nadawania sygnałów zielonych lub sekwencji faz sygnalizacji świetlnej, a także widoczność końca kolejek sięgających często nawet kilkuset metrów. Dlatego pomiary warunków ruchu prowadzi się najczęściej z wykorzystaniem wielu zsynchronizowanych ze sobą kamer wideo pozwalających na późniejszą, szczegółową analizę zarejestrowanego ruchu pojazdów na skrzyżowaniu i jego wlotach. Przykład takich badań połączonych z badaniami hałasu stanowią pomiary jakie przeprowadzono w



1. Rozmieszczenie 22 kamer na skrzyżowaniu W6 objętym pomiarami warunków ruchu



2. Przykładowe kadry z materiału wideo zarejestrowanego przez kamery podczas pomiarów warunków ruchu

Białymstoku w marcu i kwietniu 2015 r. w otoczeniu dwóch skrzyżowań z wyspą centralną oznaczonych W2 i W6 (po 8h pomiarów – W2: godz. 4:00-8:00 oraz 16:00-20:00; W6: godz. 10:30-14:30, 15:00-17:00 oraz 20:30-22:30). Pomiary parametrów ruchu i mierników warunków ruchu wykonano przy wykorzystaniu 22 lub 30 kamer rejestrujących jednocześnie ruch pojazdów na wszystkich pasach ruchu i na wszystkich wlotach skrzyżowania. Na rysunku 1 przedstawiono rozmieszczenie kamer na jednym z tych skrzyżowań, zaś na rysunku 2 przykładowe kadry obrazów zarejestrowanych przez kamery.

Na podstawie nagrań ruchu pojazdów na badanych skrzyżowaniach, dla każdego pasa ruchu wlotów skrzyżowania odczytano dla okresu analizy 15 minut następujące parametry ruchu i mierniki warunków ruchu pojazdów oraz parametry pracy sygnalizacji świetlnej:

- natężenie i struktura rodzajowa ruchu Q ,
- liczba pojazdów zatrzymanych (P_z – bez wielokrotnych zatrzymań),
- liczba pojazdów zatrzymanych (N_z – uwzględniająca wielokrotne zatrzymania) określana w podokresach $\Delta t = 15$ s (czyli 60 wyników dla okresu analizy 15 min),
- sumaryczny czas nadawania sygnału zielonego G_t .

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów dotyczących liczby pojazdów zatrzymanych N_z oraz łącznego natężenia ruchu na wlocie Q_{wl} , obliczono następnie średnie straty czasu przypadające na pojazd na wlocie d_{wl} [s/P], które oszacowano tzw. metodą pośrednią [1]:

$$d_{wl} = (N_{zwl} \cdot \Delta t) / Q_{wl}$$

$$d_{sk} = (\sum d_{wl} \cdot Q_{wl}) / (\sum Q_{wl})$$

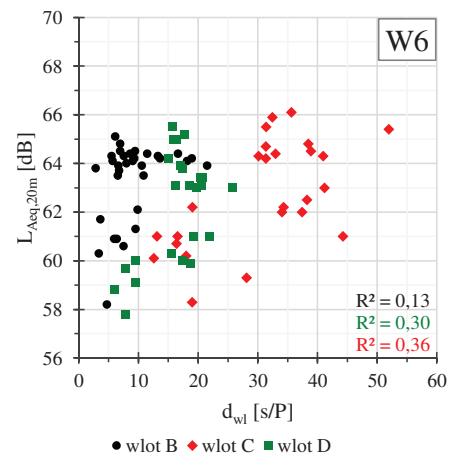
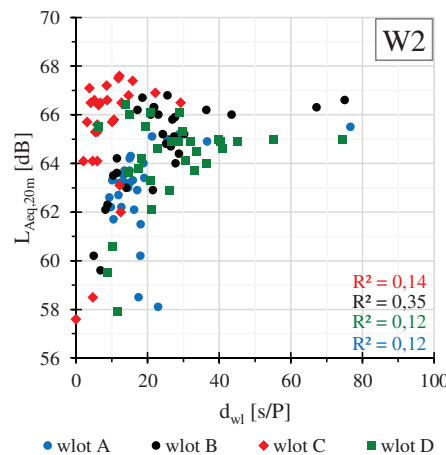
gdzie: d_{wl} / d_{sk} – średnie straty czasu na wlocie / skrzyżowaniu [s/P]; N_{zwl}

– liczba pojazdów zatrzymanych na pasach ruchu wlotu w kolejnych interwałach $\Delta t = 15$ s okresu $T = 15$ min pomiaru ($T = 60 \cdot \Delta t$); Q_{wl} – natężenie ruchu na wlocie w czasie pomiaru.

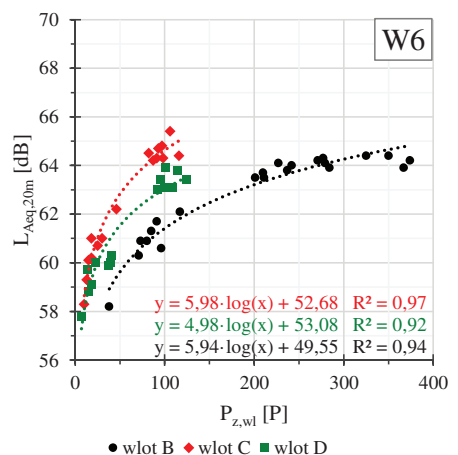
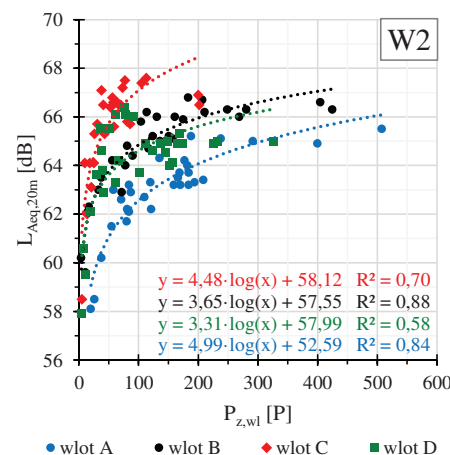
Przykład odczytanych z nagrań parametrów ruchu i mierników warunków ruchu dla skrzyżowania nr W2,

godz. 7:45-8:00 pokazano w tabeli 1.

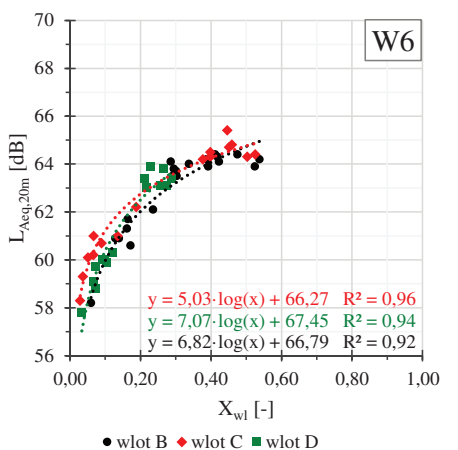
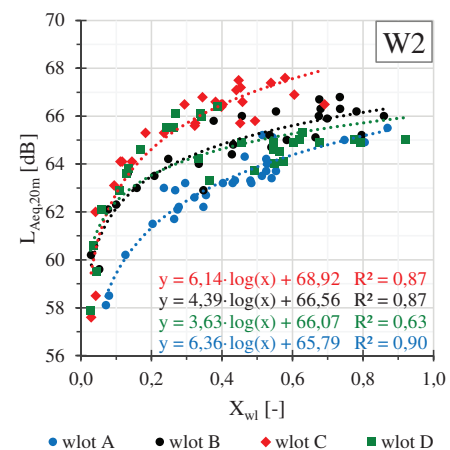
Na podstawie uzyskanych wartości średnich strat czasu dwl na wlotach i na całym skrzyżowaniu stwierdzono, że przy obciążeniu ruchem skrzyżowań niższym od 5000 P/h, przy długości cyklu sygnalizacji $T = 120$ s i stwierdzonym rozkładzie ruchu,



3. Zależności pomiędzy L_{Aeq} w odległości 20 m od krawędzi jezdni a średnimi stratami czasu na pojazd na wlocie d_{wl}



4. Zależności pomiędzy L_{Aeq} w odległości 20 m od krawędzi jezdni a liczbą pojazdów zatrzymanych na wlocie P_{zwl}



5. Zależności pomiędzy L_{Aeq} w odległości 20 m od krawędzi jezdni a stopniem obciążenia wlotu skrzyżowania X_{wl}

Tab. 1. Przykład wyników pomiarów parametrów ruchu i mierników warunków ruchu uzyskanych z nagrań na skrzyżowaniu W2 dla okresu godz. 7:45-8:00

skrzyż. W2			natężenie i struktura rodzajowa ruchu				warunki ruchu			
22.04.2015 7:45 - 8:00			Q_{PL} [P/15min]	Q_{PC} [P/15min]	Q_{PA} [P/15min]	ΣQ [P/15min]	P_z [P]	ΣN_z [P]	d [s/P]	G_t [s]
wloty	A	pas 1	142	1	6	149	225	965	97,1	298
		pas 2	121	10	2	133	198	678	76,5	
		pas 3	85	3	1	89	85	255	43,0	
		Σ	348	14	9	371	508	1898	76,7	
	B	pas 1	84	12	0	96	52	49	7,7	373
		pas 2	146	2	6	154	136	307	29,9	
		pas 3	112	1	0	113	93	169	22,4	
		Σ	342	15	6	363	281	525	21,7	
	C	pas 1	48	0	1	49	26	43	13,2	253
		pas 2	93	2	0	95	88	204	32,2	
		pas 3	105	0	1	106	88	240	34,0	
		Σ	246	2	2	250	202	487	29,2	
	D	pas 1	72	0	6	78	19	43	8,3	374
		pas 2	87	1	2	90	41	98	16,3	
		pas 3	39	0	1	40	16	51	19,1	
		Σ	198	1	9	208	76	192	13,8	
zatoki na przedłużeniu wlotu	A	pas 1	161	1	4	166	41	78	7,0	414
		pas 2	155	9	1	165	47	82	7,5	
		pas 3	79	3	1	83	11	20	3,6	
		Σ	395	13	6	414	99	180	6,5	
	B	pas 1	0	0	6	6	0	0	0,0	497
		pas 2	184	2	2	188	38	61	4,9	
		pas 3	114	1	0	115	12	24	3,1	
		Σ	298	3	8	309	50	85	4,1	
	C	pas 1	28	0	3	31	19	52	25,2	410
		pas 2	104	2	0	106	21	33	4,7	
		pas 3	110	0	1	111	8	21	2,8	
		Σ	242	2	4	248	48	106	6,4	
	D	pas 1	52	9	6	67	15	13	2,9	536
		pas 2	126	2	2	130	31	31	3,6	
		pas 3	84	0	2	86	35	35	6,1	
		Σ	262	11	10	283	81	79	4,2	

Q - natężenie ruchu pojazdów lekkich (PL), ciężarowych (PC) i autobusów (PA),
 P_z - liczba pojazdów zatrzymanych (bez zatrzymań wielokrotnych),
 N_z - liczba pojazdów zatrzymanych mierzona w podokresach 15 sek. (uwzględnia wielokrotne zatrzymania),
 d - średnie straty czasu,
 G_t - sumaryczna długość nadawania sygnału zielonego przez sygnalizację na wlocie.

na badanych skrzyżowaniach występowały dobre lub bardzo dobre warunki ruchu PSR I÷II. Na wlotach skrzyżowań stwierdzono również poziom swobody ruchu PSR I lub PSR II (średnie straty czasu były mniejsze od 45 s/P), a jedynie w kilku wypadkach ustalono poziom swobody ruchu PSR III.

Analiza zależności pomiędzy uzyskanymi średnimi stratami czasu a

zmierzonymi wartościami równoważnego poziomu dźwięku (L_{Aeq}) wykazała brak zależności liniowej (rys. 3). Wynika to z faktu, że badania wykonano głównie przy bardzo dobrych i dobrych warunkach ruchu występujących przy obciążeniu skrzyżowań $Q \leq 5000$ P/h gdzie niskie wartości średnich strat czasu nie mają związku z poziomami hałasu. Podobne zależności, w odniesieniu

do badań terenowych i dobrych warunków ruchu wykazano w pracy [4], wskazując jednak na sytuację złych warunków ruchu gdzie straty czasu zaczynają mieć związek z poziomami hałasu. Istotne zależności uzyskano natomiast pomiędzy liczbą pojazdów zatrzymanych na wlocie $P_{z,wl}$ a równoważnym poziomem dźwięku L_{Aeq} (rys. 4). Różnice w poziomach hałasu pomiędzy poszczególnymi

wlotami potwierdzają wpływ innych czynników na klimat akustyczny otoczenia skrzyżowania. Na podstawie wyników pomiarów długości czasu nadawania sygnału zielonego na wlotach G_v określono także wpływ stopnia obciążenia wlotu X_{wl} na poziom hałasu uzyskując istotne zależności (rys. 5).

Przeprowadzone badania wpływu warunków ruchu na poziom hałasu w otoczeniu skrzyżowań z wyspą centralną wykazały istnienie zależności pomiędzy równoważnym poziomem dźwięku a liczbą pojazdów zatrzymanych na wlocie i stopniem obciążenia tego wlotu. Stwierdzono również brak istotnego wpływu średnich strat czasu ponoszonych przez pojazdy przy przejeździe przez skrzyżowanie na poziomy hałas, lecz może to wynikać z wąskiego zakresu analizowanych przypadków obejmującego tylko dobre warunki ruchu. Ustalono zależności mogą więc zmienić charakter w sytuacji pogorszenia się warunków ruchu. Wymiernym efektem przeprowadzonych pomiarów jest również wskazanie możliwości i metodyki realizacji badań wpływu warunków ruchu na hałas drogowy.

Pomiary prędkości na odcinkach międzywęzłowych i ich wpływ na hałas drogowy

Poziom hałas drogowy w otoczeniu odcinków międzywęzłowych zależy w głównej mierze od natężenia ruchu, udziału w ruchu pojazdów ciężarowych oraz prędkości potoku ruchu. O ile dwa pierwsze parametry są dość proste do określenia, o tyle pomiary prędkości wymagają stosowania już bardziej zaawansowanej aparatury. Dodatkowo dochodzi problem określenia rodzaju prędkości jaki dla danej sytuacji drogowo-ruchowej będzie najlepiej odzwierciedlał wpływ ruchu pojazdów na hałas. W teorii wydaje się, że prędkość chwilowa pojazdów pomierzona w przekroju badawczym hałasu będzie



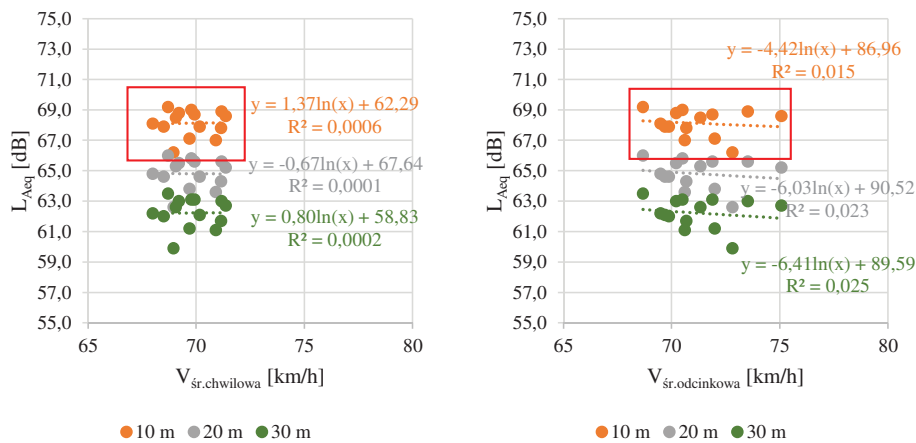
6. Aparatura do pomiaru prędkości pojazdów: a) chwilowej – Sierzeja SR4, b) odcinkowej – kamera ANPR (jedna z dwóch na odcinku)

miała najlepszy związek z wynikami pomiaru hałasu. W praktyce okazać się jednak może, że prędkość odcinkowa pojazdów korespondująca z warunkami ruchu na odcinku międzywęzłowym będzie lepiej opisywać wpływ ruchu pojazdów na hałas.

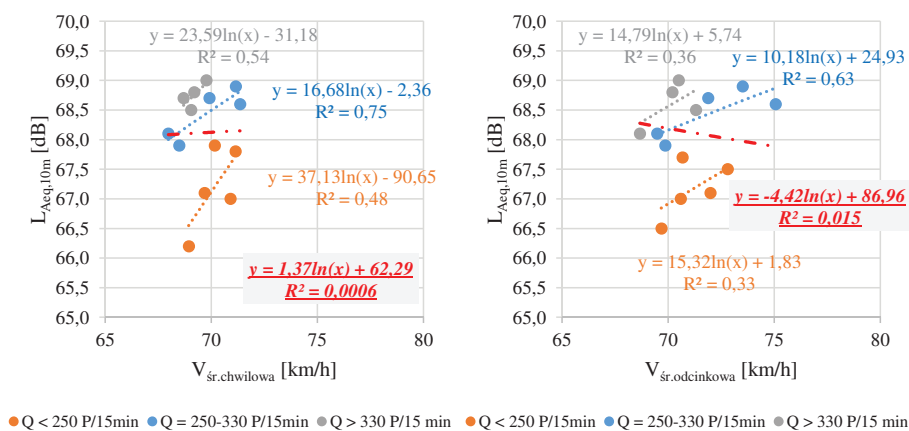
W związku z powyższym postanowiono przeprowadzić badania porównawcze wpływu rodzaju pomierzonej prędkości na poziomy dźwięku w otoczeniu odcinka międzywęzłowego drogi. Pomiary przeprowadzono w listopadzie 2019 r. w godz. 15:00-18:30 na odcinku ul. K. Ciołkowskiego w Białymstoku, charakteryzującej się przekrojem poprzecznym 2/2 oraz prędkością dopuszczalną pojazdów $V_{dop} = 70$ km/h. Podczas badań rejestrowano równocześnie równoważny poziom dźwięku L_{Aeq} oraz ruch pojazdów metodą rejestracji wideo a także prędkość chwilową i średnią pojazdów. Wszystkie urządzenia pomiarowe przed każdym pomiarem były synchronizowane z czasem rzeczywistym (w celu późniejszego dokładnego określenia zależności pomiędzy poziomami hałasu a parametrami ruchu). Do pomiaru chwilowych prędkości pojazdów zastosowano aparaturę Sierzeja SR4 (rys. 6a) – urządzenie radarowe mierzące prędkość chwilową przejeżdżających pojazdów (w przekroju pomiaru hałasu), montowane na niskim maszcie pod kątem 30° względem osi pasa ruchu. Z kolei pomiar średniej prędkości odcinkowej wykonano za pomocą dwóch kamer ANPR (rys. 6b), które na pod-

stawie rejestracji dokładnej godziny czasu przejazdu pojazdu na początku i na końcu odcinka pomiarowego w oparciu o rozpoznany numer tablic rejestracyjnych (z ang. *Automatic Number Plate Recognition*) obliczając średnią prędkość odcinkową zarejestrowanych pojazdów. Kamery ANPR ustawione były na początku i na końcu odcinka drogi o długości ok. 300 m. W środku tego odcinka znajdował się przekrój pomiaru hałasu, natężenia ruchu i prędkości chwilowej urządzeniem Sierzeja SR4. Zgromadzone dane pomiarowe posłużyły analizom wpływu rodzaju prędkości na wielkości hałasu. Dane te analizowano w podokresach 15 min.

Na rysunku 7 przedstawiono ustalone zależności logarytmiczne pomiędzy równoważnym poziomem dźwięku L_{Aeq} a średnią prędkością chwilową $V_{sr.chwilowa}$ lub odcinkową $V_{środcinkowa}$. Na podstawie uzyskanych zależności stwierdzono, że analiza jednoczynnikowa wpływu prędkości na poziom hałasu jest błędna, ponieważ nie uwzględnia ona wpływu innych istotnych czynników odpowiedzialnych za poziom hałasu jak natężenie ruchu pojazdów oraz udział w ruchu pojazdów hałaśliwych. Stąd też otrzymano bardzo słabe związki a zależności L_{Aeq} od prędkości charakteryzują się nawet ujemnym współczynnikiem kierunkowym co stoi w sprzeczności z ogólnie znanym związkiem: „większa prędkość = większy hałas”. Zauważono jednak, że wyniki pomiaru prędkości odcinkowej kamerami ANPR wykazują



7. Zależności pomiędzy L_{Aeq} w 3 odległościach pomiaru od krawędzi jezdni (10 m, 20 m i 30 m) a prędkością pojazdów: a) chwilową, b) odcinkową



8. Zależności pomiędzy L_{Aeq} w odległości 10 m od krawędzi jezdni a prędkością pojazdów: a) chwilową, b) odcinkową z uwzględnieniem zakresów natężenia ruchu pojazdów

niece lepsze związki z wartościami L_{Aeq} . Przyczyną tego może być fakt, że część pojazdów zwalniała w pobliżu środka odcinka pomiarowego gdzie był prowadzony pomiar prędkości chwilowej oraz hałasu widząc aparaturę pomiarową przy jezdni (różnice prędkości na początku, w środku i na końcu odcinka pomiarowego) co mogło mieć wpływ na ustalone zależności.

W związku z opisanym powyżej problemem postanowiono przeanalizować wpływ prędkości na poziom hałasu w funkcji zakresów natężenia ruchu. Jako przykład do analiz przyjęto wyniki pomiaru hałasu w odległości 10 m od krawędzi jezdni. Uzyskane wyniki tej analizy pokazano na rysunku 8. „Rozdzielenie chmury punktów” z rysunku 7 (zaznaczono na czerwono) poprzez uwzględnienie różnych zakresów wielkości natężenia ruchu,

spowodowało ujawnienie się zależności pomiędzy poziomami hałasu a prędkością pojazdów. Zależności te mają postać logarytmiczną i charakteryzują się dobrymi związkami (R^2 od ok. 0,33 do nawet 0,75). Zależności te potwierdzają, że wraz ze wzrostem prędkości rośnie poziom hałasu. Powyższe świadczy o tym, że analiza jednoczynnikowa wpływu pojedynczych rodzajów parametrów ruchu (natężenie, % pojazdów hałaśliwych, prędkość) jest obciążona znacznym błędem. Dotyczy to w szczególności analiz jednoczynnikowych wpływu udziału pojazdów hałaśliwych i prędkości na poziom hałasu ponieważ czynniki te są de facto pochodną natężenia ruchu pojazdów – bez ruchu pojazdów nie ma prędkości i nie ma udziału pojazdów hałaśliwych. Biorąc dodatkowo pod uwagę fakt wpływu warunków i gęstości ruchu

na poziom hałasu, a także innych czynników związanych z propagacją fali akustycznej (ukształtowanie terenu, pochłanianie i odbicia dźwięku, wpływy atmosferyczne), powyższe potwierdza jak bardzo złożonym problemem jest ocena i prognozowanie hałasu drogowego.

Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i wykonanych analiz stwierdzono istotny wpływ parametrów ruchu drogowego oraz mierników warunków tego ruchu na wielkość poziomów dźwięku w otoczeniu dróg i skrzyżowań. W szczególności rozpatrywano wpływ takich czynników jak rodzaj prędkości pojazdów: chwilowa lub odcinkowa; średnie straty czasu na skrzyżowaniu; liczba zatrzymań pojazdów i stopień obciążenia wlotu skrzyżowania. Uzyskane wyniki analiz dowiodły istotnego wpływu tych czynników na hałas drogowy, a zaprezentowane badania pokazały możliwości i metodologię wykonania pomiarów parametrów ruchu i mierników warunków ruchu pojazdów w badaniach hałasu drogowego. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M. Inżynieria ruchu. WKŁ, 1999.
- [2] Dębiński M., Bohatkiewicz J., Motylewicz M. Wpływ warunków ruchu drogowego na prognozy hałasu. Materiały Budowlane, 2018, (11), 66-67.
- [3] El-Fadel M., Sbayti H. Noise control at congested urban intersections: Sensitivity analysis of traffic management alternative. Noise Control Engineering Journal, 2000, 48(6), 206-213.
- [4] Tracz M., Bohatkiewicz J. Effects of traffic conditions on traffic noise at signalized intersection. Euro-Noise'95, 1995, Lyon.