



GRZEGORZ MAZUREK

Politechnika Świętokrzyska
gmazurek@tu.kielce.pl



MONIKA STĘPIEŃ

Politechnika Świętokrzyska
monikas@tu.kielce.pl

Modelowanie poziomu hałasu drogowego na podstawie długookresowych pomiarów ciągłych

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny wzrost ruchu samochodowego na drogach w Polsce, który ma istotny wpływ na pogorszenie klimatu akustycznego w ich otoczeniu [3]. Hałas drogowy, obok zanieczyszczeń powietrza, jest obecnie największym zagrożeniem środowiskowym [4]. Jest skutkiem ubocznym rozwoju cywilizacji, w tym techniki i technologii, na który godzimy się na zasadzie kompromisu między

spokojem i zdrowiem, a sprawnością komunikacji, mobilnością i komfortem. Dotychczasowy stan wiedzy pozwala na stosunkowo poprawną ocenę i prognozowanie hałasu na drogach zamiejscowych oraz na odcinkach dróg zlokalizowanych w obrębie miejscowości gdzie ruch pojazdów odbywa się dość płynnie, bez większych zakłóceń i zmian prędkości [2], inny problem dotyczy sytuacji większych miast. Nieustannie poszukiwane są nowe sposoby i metody pozwalające na znaczne ograniczenie emisji hałasu drogowego [6]. Opracowywane są normatywy [1, 10, 13, 14, 15] i publikacje [5, 7, 8, 9] zarówno regulujące dopuszczalny poziom dźwięku, jak i stanowiące o metodach pomiarów, sposobach kontroli stanu akustycznego środowiska, modelowania, prognozowaniu poziomów hałasu drogowego oraz opisujące metody zaradcze. W większości proponowane metody modelowania, prognozowania opierają się na szacowaniu niezbędnych parametrów na podstawie wielowymiarowego rozpoznania warunków lokalnych. Wartości parametrów ruchowych przyjmowane są z planowanych pomiarów w ograniczonym czasie, czy znajomości średniodobowego ruchu. Parlament Europejski wydał dyrektywę COM/2000/468 dotyczącą oceny hałasu i walki z hałasem w środowisku, wskazującą na brak zharmonizowanych i jednocześnie dokładnych metod prognozowania i oceny hałasu spowodowanego ruchem drogowym [3].

Wrzecz z dynamicznym rozwojem techniki komputerowej, informatyki, automatyzacji, zaawansowanych systemów i narzędzi pomiarowych oraz baz i magazynów danych pojawiła się możliwość wykonywania długookresowych pomiarów ciągłych. Taka metoda pomiarów została wdrożona i od 2008 roku funkcjonuje w Kielcach. Dotyczy monitorowania ruchu drogowego, poziomu hałasu i warunków środowiskowych. Ciągłe działanie systemu pomiarowego zaowocowało zgromadzeniem znacznych wolumenów danych, które są przechowywane w bazach i repozytoriach. W badaniach opartych o bardzo duże zbiory danych, znaczącą rolę w wyjaśnia-

niu współzależności między zmiennymi spełniają narzędzia statystyczne. Pozwalają one na opisywanie długookresowych zjawisk rzeczywistych oraz wykonywanie i porównywanie analiz. Proces odkrywania wiedzy ze zgromadzonych baz danych, tzw. eksploracja danych, daje wielkie możliwości, ale również stwarza problemy związane głównie z wyborem odpowiednich technik matematycznych, procesów decyzyjnych, a także z możliwościami obliczeniowymi komputerów.

Celem prezentowanego w artykule eksperymentu jest rozpoznanie, przy użyciu technik statystyki matematycznej, relacji między uzyskanymi z trzymiesięcznych pomiarów ciągłych, zmiennymi ruchowymi w aspekcie poziomu hałasu drogowego. Do analiz włączono także dostępny zbiór danych meteorologicznych. Ponadto przedstawiono propozycję modelu matematycznego odpowiedniego dla estymacji wartości akustycznych w wybranym przekroju ulicznym w Kielcach.

Materiał badawczy, analiza statystyczna

Badania wykonano z wykorzystaniem danych ruchowych, akustycznych oraz środowiskowych pochodzących z trzymiesięcznych pomiarów ciągłych, wytypowanych z kilkuletniej bazy danych, w wybranym przekroju ulicznym w Kielcach. Stacja monitorująca jest zlokalizowana na wysokości 6,5 m i na odległości 15,50 m od krawędzi ul. Sandomierskiej. Dzięki indywidualnemu podejściu do przekroju i założeniu, że wynik analiz jest odpowiedni tylko w przypadku wybranej lokalizacji, możliwe jest pominięcie wpływu czynników związanych z drogą (rodzaj i stan nawierzchni) oraz jej otoczeniem (rodzaj pokrycia terenu, rozwiązania urbanistyczne) pod względem zaburzeń zapisów hałasowych.

Do analiz wykorzystano cechy o charakterze:

- ruchowym, takie jak: prędkość (V) i natężenie ruchu pojazdów (Q),
- środowiskowym, związane z warunkami atmosferycznymi, takimi jak: temperatura (T), ciśnienie atmosferyczne (C), wilgotność (W), średnia prędkość wiatru (SPW), średni kierunek wiatru (SKW).

Analizy wykonano za pomocą programu *STATISTICA*.

Struktura danych

Wszystkie typy analizowanych parametrów charakteryzują się swoistą zmiennością. Istotnym elementem każdej analizy, we wstępnej części badań, jest określenie przeciętnego po-

ziomu oraz rozmieszczenia wartości zmiennych. W tym celu pomocne są algorytmy związane z obliczeniami miar położenia, w tym kwartyle oraz wartości przeciętne. Tego typu analiza umożliwi ogólne spojrzenie na przeciętny lub typowy poziom zmienności cech ruchowych, akustycznych oraz środowiskowych. W pierwszej kolejności dokonano oceny miar położenia danych względem czynników związanych z okresowością. Celem analizy było stwierdzenie, czy lokalne zmiany poziomu wartości rozpatrywanych zmiennych, które wpływają na poziom hałasu drogowego, silnie zależą od wahań innych czynników takich jak:

- dzień tygodnia (DT),
- rodzaj pojazdu¹ (RP).

Analiza została wykonana na podstawie zakresów wartości danych zestawionych w tabeli 1.

Tabela 1. Zakres danych ruchowych, akustycznych oraz środowiskowych wykorzystanych w eksperymencie

Zmienna	Średnia	Mediana	Minimum	Maksimum
Prędkość, V [km/h]	58,1	58,4	0,0	88,3
Natężenie, Q [P/h]	49,6	19,0	0,0	346,0
Poziom hałasu, H [dB]	64,9	65,3	51,6	74,3
Temperatura, T [°C]	8,3	8,4	-5,6	19,5
Wilgotność, W [%]	84,2	87,4	44,8	97,5
Ciśnienie, C [hPa]	982,6	984,9	951,2	1004,7
Średni kierunek wiatru (SKW) [°]	186,2	181,0	0,0	359,0
Średnia prędkość wiatru (SPW) [m/s]	1,0	0,8	0,0	8,0

Uogólnienie poziomu cech dotyczących hałasu drogowego oraz tych, które silnie oddziałują na jego poziom (V, Q oraz struktura rodzajowa pojazdów) względem czynników sezonowych np. dzień tygodnia, znacznie zredukuje poziom wariacji wokół wyników średniej w modelu liniowym. Wyniki analizy przedstawiono na rysunku 1(a-c).

Należy zwrócić uwagę, że pod względem hałasu największą zmiennością, w zakresie ujętym na rysunku 1, charakteryzuje się pierwszy dzień tygodnia (niedziela). W tym dniu wartości maksymalne i minimalne poziomu dźwięku, jak i granic 1. i 3. kwartyli, są odmienne od pozostałych. W dniach od poniedziałku do soboty (2 – 7) poziom zróżnicowania jest podobny, co sugeruje stosunkowo zadawalającą stabilność wyników określonego poziomu hałasu. Ponadto rodzaj pojazdu nie wywołał wizualnie istotnej różnicy w poziomie hałasu, co wynika z rysunku 1.

W odniesieniu do prędkości oraz natężenia pojazdów ocena już nie jest tak jednoznaczna. Prędkości pojazdów są porównywalne w ciągu tygodnia, jednak istotnym elementem, który je grupuje jest rodzaj pojazdu (rys. 1b). Podobną sytuację zaobserwowano w odniesieniu do cechy natężenie (rys. 1c). W związku z tym w analizie długoterminowej efekt rodzaju pojazdów prawdopodobnie w sposób zróżnicowany

będzie oddziaływał na efekt poziomu hałasu w aspekcie innych czynników takich jak prędkość oraz natężenie.

W związku z różnorodnością zmiennych, które wykazywały się dużą stabilnością względem rodzaju dnia tygodnia, wprowadzono wstępne uproszczenie do modelu z uwagi na wpływ dnia tygodnia. W odniesieniu do rodzaju pojazdu, poziom cechy natężenie ruchu oraz cechy prędkość, wymagałby wykonania grupowania podobieństwa. Jednak analizując porównywalny poziom zarejestrowanego poziomu hałasu w dniach tygodnia od 2 do 7 (od poniedziałku do soboty) dokonano uogólnienia wpływu rodzaju pojazdów jako czynnika. Wyniki dotyczą rejestracji warunków pogodowych zgromadzonych na przełomie III i IV kwartału analizowanego roku pomiarowego, w związku z tym redukcja tej zmiennej grupującej bez zastosowania technik dyskryminacyjnych wydaje się być uzasadniona.

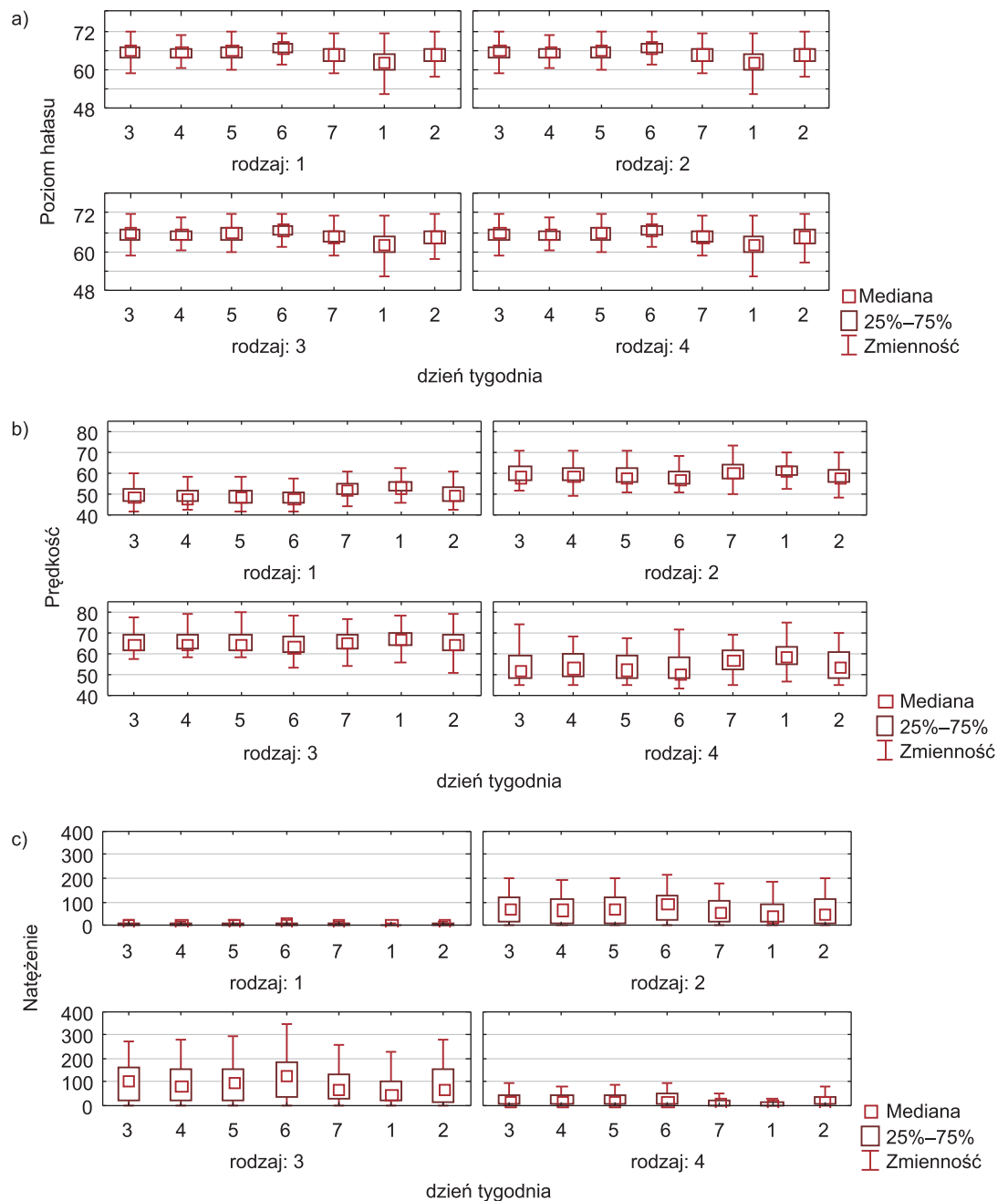
Należy zwrócić uwagę, że rozkłady cech akustycznych, ruchowych i środowiskowych, wykorzystane do analizy, charakteryzują się pewną niesymetrycznością. Parametryczne narzędzia statystyczne i wynikające z ich stosowania wnioskowania, opierają się na rozkładzie normalnym populacji. W pierwszej kolejności wymagana więc jest ich normalizacja. Twierdzenie centralne o rozkładzie normalnym informuje, że w miarę wzrostu przypadków zarejestrowanych w eksperymencie, ich rozkład dąży do rozkładu normalnego. W związku z tym podjęto starania mające na celu ustabilizowanie zmiennych względem ich asymetrii, koncentracji oraz różnicy względem średniej arytmetycznej i mediany. Rezultat uzyskanych statystyk opisowych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Statystyki opisowe rozkładu cech dotyczących poziomu hałasu drogowego, ruchu pojazdów oraz warunków środowiskowych

Zmienne	Statystyka opisowa			
	Skośność	Kurtoza	Średnia	Mediana
V, [km/h]	-1,166	7,814	58,1	58,4
Q, [P/h]	1,370	1,101	49,6	19,0
H, [dB]	-0,495	0,883	64,9	65,3
T, [°C]	-0,310	0,148	8,3	8,45
W, [%]	-1,106	0,506	84,2	87,4
C, [hPa]	-1,095	1,018	982,6	984,9
(SKW) [°]	0,167	-1,249	186,2	181,0
(SPW) [m/s]	1,932	5,704	1,0	0,8

W przypadku niektórych zmiennych (V, Q, W, C i SPW) współczynnik asymetrii (skośność) przekracza wartość z przedziału od -1 do 1, a miara koncentracji (kurtoza) jest znacznie różna od zera, co świadczy o ich rozkładzie odbiegającym od normalnego. Taki stan rzeczy może w rezultacie doprowadzić do zafałszowania istotności oceny czynników w regresyjnym modelu matematycznym. Kolejnym krokiem było więc przedsięwzięcie pewnych czynności celem normalizacji rozkładów normalnych tych zmiennych. Wstępnie posłużono się technikami ujętymi w pracach [11, 12, 16]. Wyniki uzyskane w rezultacie wykonanych obliczeń zestawiono w tabeli 3.

¹ Zgodnie z działaniem systemu pomiarowego jako kryterium rodzaju pojazdu przyjęto jego długość (klasa 1 – do 2,2 m, klasa 2 – do 2,2 do 5,5 m, klasa 3 – do 5,5 do 10,5 m, klasa 4 – powyżej 10,5 m).



Rys. 1. Dystrybucja wyników a) poziomu hałasu, b) prędkości, c) natężenia względem zmiennych grupujących DT, RP

Tabela 3. Wybrane statystyki opisowe dotyczące poziomu hałasu oraz parametrów wpływających na poziom hałasu drogowego po normalizacji

Zmienne po transformacji	Statystyka opisowa	
	Skośność	Kurtoza
V (B-C), [km/h]	0,051	0,751
Log(W), [%]	-0,293	-1,027
SPW (B-C), [m/s]	0,060	-0,622
SKW (B-C), [°]	-0,088	-1,045
C, [hPa]	-0,983	0,766
Q (B-C), [P/h]	-0,048	-1,082
H, [dB]	-0,495	0,883
T, [°]	-0,310	0,148

Należy zwrócić uwagę, że po procesie normalizacji, wykorzystując szereg technik przekształceń dwuparametrowych, jak i logarytmowania, poziom współczynnika asymetrii radykalnie uległ poprawie. W żadnym z rozpatrywanych przypadków zmiennych nie zanotowano współczynnika asymetrii większego niż 1. W związku ze sprowadzeniem wartości zmiennych do postaci zgodnej z przebiegiem rozkładu normalnego, można było podjąć dalsze starania służące prawidłowemu wyjaśnieniu istnienia zależności i współzależności między poziomem hałasu drogowego, a pozostałymi cechami ruchowymi oraz środowiskowymi.

Związki liniowe pomiędzy zmiennymi

Kolejnym etapem analizy wyników badań było określenie, czy w strukturze zmiennych z grupy ruchowo-środowisko-

Tabela 4. Macierz korelacji między poziomem hałasu i pozostałymi badanymi cechami

Zmienna	Współczynnik korelacji N=17840 (l. danych)							
	Q (B-C)	V (B-C)	SPW (B-C)	SKW (B-C)	log(W)	H	T	C
Q (B-C), [P/h]	1	0,158	0,085	0,073	-0,382	0,467	0,212	-0,022
V (B-C), [km/h]		1	-0,094	-0,063	0,305	-0,374	-0,105	0,094
SPW (B-C), [m/s]			1	-0,118	-0,102	0,126	-0,084	-0,192
SKW (B-C), [°]				1	-0,118	0,164	-0,012	-0,231
log(W), [%]					1	-0,611	-0,139	0,115
H, [dB]						1	0,180	-0,171
T, [°]							1	0,188
C, [hPa]								1

wych, nie występuje współliniowość, wyrażona wysokim poziomem korelacji pomiędzy nimi. Bowiern efekt nadmiernej współliniowości wywołuje zniekształcenie poziomu wyjaśnienia wariancji, co uwidacznia się w wartościach współczynnika R^2 . W konsekwencji zmniejsza się użyteczność takiego modelu. Rezultaty analizy współzależności pomiędzy wspomnianymi cechami, a także poziomem hałasu drogowego zestawiono w tablicy korelacji (tabela 4).

Wyniki korelacji wyróżnione kursywą oznaczają niską, ale istotną korelację na poziomie prawdopodobieństwa 95%. W znakomitej większości przypadków poziom skorelowania pomiędzy zmiennymi niezależnymi (ruchowymi oraz środowiskowymi) jest, po procesie transformacji, niższy od 0,3. W związku z tym, należy się spodziewać, że w procesie budowania modelu predykcji poziomu hałasu drogowego, efekt współliniowości będzie marginalny. Ponadto, ujawniła się silna korelacja pomiędzy przekształconymi wynikami natężenia i prędkości ruchu pojazdów w odniesieniu do zmiennej zależnej H (poziom hałasu). Ciekawą zależność odnotowano w wymiarze obserwacji korelacji poziomu hałasu i transformowanej wartości wilgotności powietrza. Może to mieć związek z odmiennym zachowaniem się kierowców podczas opadów deszczu, jak również z charakterem rozchodzenia się dźwięku w innych warunkach ośrodka sprężystego. W obliczu zaobserwowanych relacji pomiędzy danymi oraz dużej zgodności z postanowieniami założeń regresji wielorakiej, kolejny krok postępowania polegał na budowie liniowego modelu uwzględniającego współistnienie wyżej wymienionych cech.

Model regresyjny wpływu cech ruchowo-środowiskowych na poziom hałasu

Opracowanie ostatecznego modelu, który wyjaśni w sposób wyczerpujący zbiór cech, mających zasadniczy wpływ na poziom hałasu, jest niezwykle trudne, a w pewnych przypadkach nawet częściowo niemożliwe do wyjaśnienia. Celem przedmiotowej analizy jest powiązanie cech środowiskowych z cechami o charakterze ruchowym i wykazanie ich synergii w aspekcie poziomu hałasu. W konsekwencji istnieje potrzeba określenia stopnia skorelowania i siły wpływu czynników środowiskowych na wartości określające poziom hałasu. Należy pamiętać, że czynniki środowiskowe są zmiennymi niekontrolowanymi przez człowieka, a ich obecność w modelu, dla krótkiego okresu badawczego, wymaga ciągłego uzupełniania bazy danych. Jednak element poznawczy ich aplikacji w ogólnym modelu liniowym nie może być zignorowany. Zaproponowany model matematyczny obejmuje obserwacje przypadające na okres trzech miesięcy.

W wykonanej analizie wykorzystano klasyczny model liniowej regresji wielorakiej. Spośród testowanych modeli ten rodzaj modelu addytywnego opisał badane zjawisko przy zadawalającym stopniu skomplikowania. Ważnym etapem poprzedzającym analizę było przygotowanie danych biorących udział w procesie estymacji poziomu hałasu. W celu określenia siły związku liniowego pomiędzy poziomem hałasu a zmiennymi niezależnymi, posłużono się klasyczną analizą wariancji. Rezultat przedstawiono w tabeli analizy wariancji (tabela 5)

W wykonanej analizie wykorzystano klasyczny model liniowej regresji wielorakiej. Spośród testowanych modeli ten rodzaj modelu addytywnego opisał badane zjawisko przy zadawalającym stopniu skomplikowania. Ważnym etapem poprzedzającym analizę było przygotowanie danych biorących udział w procesie estymacji poziomu hałasu. W celu określenia siły związku liniowego pomiędzy poziomem hałasu a zmiennymi niezależnymi, posłużono się klasyczną analizą wariancji. Rezultat przedstawiono w tabeli analizy wariancji (tabela 5)

Tabela 5. Analiza wariancji zmian poziomu hałasu drogowego

Źródło zmienności	Analiza wariancji				
	Sumy kwadratów (SS)	Stopnie swobody	Średnie kwadraty (MS)	Wartość statystyki F	p-wartość
Regresja	99257,0	7	14179,57	2931,654	<0,001
Residuum	86248,3	17832	4,84		
Ogółem	185505,3				

Analizując zaprezentowane wyniki należy przyjąć, że co najmniej jedna zmienna zależna ze zbioru danych ma istotny wpływ na poziom hałasu drogowego. Ponadto, w związku z tym, są podstawy do kontynuowania procesu budowy i oceny modelu. Wynik podsumowania zastosowanego modelu regresji przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Parametry podsumowujące model hałasu drogowego

Statystyka	Statystyki podsumowujące
	Wartość
R	0,731
R^2	0,535
Skorygowany R^2	0,535
Błąd standardowy estymacji	2,199

Wyznaczona wartość współczynnika korelacji wynosi 0,73, co sugeruje silny związek liniowy pomiędzy cechami ruchowo-środowiskowymi, a poziomem hałasu. Istnieją więc silne podstawy do stwierdzenia, że czynniki środowiskowe odgrywają ważną rolę w prognozowaniu poziomu hałasu. Zaproponowany model interpolacyjny wyjaśnił w około 54% wariancję towarzyszącą zmianom zjawisk akustycznych i jest istotny statystycznie na poziomie istotności 0,05, czyli na poziomie satysfakcjonującym. Należy jednak zaznaczyć, że taka wartość współczynnika determinacji sugeruje potrzebę uwzględnienia większej ilości danych, które mogą okazać się

Tabela 7. Parametry modelu prognozy poziomu hałasu drogowego

N=17840	Podsumowanie regresji dla zmiennej zależnej: H, R = 0,731, R ² = 0,535, Skorygowany R ² = 0,535 Błąd standardowy estymacji: 2,2 [dB]					
	b*	Błąd standardowy b*	b _i	Błąd standardowy b	t(17832)	p-wartość
Wyraz wolny			119,731	1,784	67,107	<0,001
Q (B-C), [P/h]	0,364	0,006	0,599	0,001	60,781	<0,001
V (B-C), [km/h]	-0,305	0,006	-0,006	0,000	-53,119	<0,001
SPW(B-C), [m/s]	0,025	0,005	0,426	0,091	4,708	<0,001
SKW(B-C), [°]	0,061	0,005	0,021	0,002	11,412	<0,001
T, [°]	0,040	0,005	0,028	0,004	7,291	<0,001
C, [hPa]	-0,082	0,005	-0,026	0,002	-14,830	<0,001
log(W), [%]	-0,355	0,006	-7,864	0,134	-58,460	<0,001

istotne. Jednak na tym etapie analizy i ilości danych nie można ich zidentyfikować w sposób zdecydowany. Ponadto należy zwrócić uwagę, że prognoza poziomu hałasu odbywa się przy średnim błędzie estymacji 2,2 dB. Taki umiarkowany poziom błędu, przy różnicy pomiędzy kwartylem trzecim i pierwszym (określających zakres 50% liczebności „średkowej”) wynoszącym 3,94 dB, znacznie ułatwi podjęcie stosowanych działań celem jego obniżenia i spowoduje podjęcie decyzji o potrzebie monitorowania odcinka. Jednakże poziom niewyjaśnionej zmienności sugeruje, że istnieją dodatkowe czynniki, które mają wpływ na prognozowany hałas drogowy. Ponadto wykonane uogólnienia w zakresie struktury rodzajowej pojazdów również mogły wpłynąć na wzrost błędu średniego estymacji.

W rezultacie rozwiązania równań liniowych metodą najmniejszych kwadratów uzyskano model predykcji poziomu hałasu drogowego o parametrach przedstawionych w tabeli 7.

Wzór zaproponowanego modelu matematycznego opisującego prognozowany poziom hałasu drogowego ma postać:

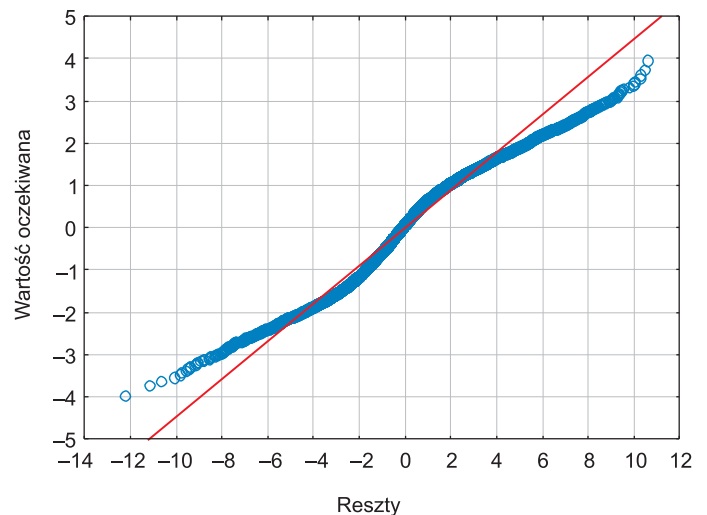
$$H = b_0 + b_1 \cdot \left[-\frac{(Q - 10)^{-0,253} - 1}{0,253} \right] + b_2 \cdot \left[\frac{(V - 1)^{0,088} - 1}{0,088} \right] + b_3 \cdot \left[-\frac{(SPW - 1)^{0,832} - 1}{0,832} \right] + b_4 \cdot \left[\frac{(SKW - 1)^{0,617} - 1}{0,617} \right] + b_5 \cdot T + b_6 \cdot C + b_7 \cdot \log(W)$$

w którym: b₀ – b₇ – współczynniki eksperymentalne modelu (tabela 7).

Należy zwrócić uwagę, że wszystkie parametry zmiennych zależnych, czyli tych charakteryzujących ruch pojazdów oraz opisujących wybrane warunki środowiskowe, okazały się wysoce istotne w odniesieniu do zmian wartości poziomu hałasu. Analizując parametr beta (b*) można stwierdzić, że największy wkład w predykcję zmiennych mają transformowane wartości natężenia i prędkości ruchu pojazdów oraz wilgotności powietrza. W przypadku wilgotności zarejestrowano największą zmienność przy ocenie jej wagi w ogólnym modelu hałasu. Średni wzrost logarytmu wartości wilgotności

o 1% powoduje zmianę w prognozie hałasu o 0.13 dB. W związku z wysoką „czystą” korelacją wilgotności z hałasem (tabela 2) oraz jej wewnątrzgrupową zmiennością, może zaburzać finalny model prognozy hałasu i stanowić element nadmiarowości. Należy zwrócić uwagę, że analizowanym parametrem jest wilgotność powietrza a na hałas ma zasadniczy wpływ obecność filmu wodnego na nawierzchni jezdni. Dlatego też zmienność tego parametru może być związana ze stanem pogody i wpływać na preferencje jazdy kierowców.

Z tego powodu czynnik związany z wilgotnością może być funkcją zjawisk towarzyszących. Interesujący jest fakt, że na prognozę poziomu hałasu duży wpływ ma również ciśnienie atmosferyczne. O jakości dopasowania opracowanego modelu można posiłkować się wykresem rozkładu normalnego jego reszt (rysunek 2).



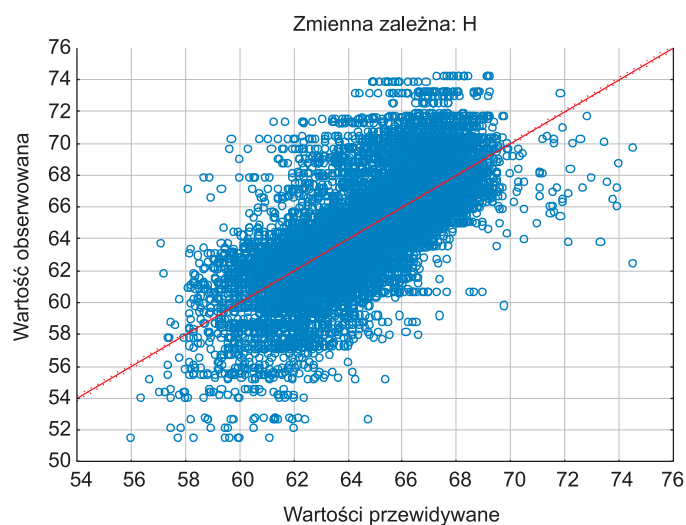
Rys. 2. Wykres normalności reszt opracowanego modelu poziomu hałasu drogowego

Przebieg dystrybucji reszt opracowanego modelu poziomu hałasu drogowego w sposób umiarkowany odpowiada rozkładowi Gaussa i znajduje się blisko linii normalnej. Odchyłki związane są poziomem niewyjawienia wariacji oraz błędami estymacji. Dodatkowo wykonano analizę polegającą na wyjaśnieniu występowania w grupie zmiennych prognozujących przypadków redundantnych. Celem takiego działania było stwierdzenie, czy nie następuje nadmiarowość w liczbie zmiennych opisujących poziom hałasu oraz czy nie nastąpił fakt zawyżenia poziomu współczynnika korelacji. Określono dodatkowe charakterystyki korelacji cząstkowych oraz tolerancji zmiennych. Współczynnik tolerancji informuje, jak bardzo zmienna niezależna jest nieskorelowana z innymi zmiennymi, przy próbie wyjaśnienia wartości poziomu hałasu (tabela 8).

Tabela 8. Charakterystyki korelacji cząstkowych oraz tolerancji zmiennych

Zmienna	Zmienne w równaniu						
	b*	Wsp. kor. cząstk.	Wsp. korel. półcząstk.	Tolerancja	R-kwadrat	t (17832)	p-wartość
Q (B-C), [P/h]	0,364	0,414	0,310	0,728	0,272	60,781	<0,001
V (B-C), [km/h]	-0,305	-0,370	-0,271	0,791	0,209	-53,119	<0,001
SPW (B-C), [m/s]	0,025	0,035	0,024	0,908	0,092	4,708	<0,001
SKW (B-C), [°]	0,061	0,085	0,058	0,904	0,096	11,412	<0,001
T, [°C]	0,040	0,054	0,037	0,885	0,115	7,291	<0,001
C, [hPa]	-0,082	-0,110	-0,076	0,859	0,141	-14,830	<0,001
log(W) [%]	-0,355	-0,401	-0,298	0,709	0,291	-58,460	<0,001

Należy zwrócić uwagę, że poziom tolerancji zmiennych jest wysoki. Zwykle przy jej wartości poniżej 0,1 nadmiarowość zmiennej jest faktem. W przypadku wykonanych badań można stwierdzić, że każda zmienna w sposób niezależny w odpowiednim stopniu wyjaśnia poziom hałasu. Największą umiarkowaną nadmiarowością odznaczył się parametr „wilgotność – log(W)”. W związku z tym jego obecność może istotnie podwyższać jakość dopasowania opisaną współczynnikiem korelacji. Niemniej jednak, podejrzenie o współliniowości zmiennych niezależnych, na podstawie wyników w tabeli 8, jest nieuzasadnione. Ostatecznie wynik rozkładu zmiennych przewidywanych względem oczekiwanych zaprezentowano na rysunku 3.



Rys. 3. Rozkład wyników obserwowanych względem przewidywanych na podstawie opracowanego modelu

Wyniki poprzednich analiz dotyczących wartości współczynnika korelacji potwierdzają silny związek liniowy. Chmura wyników układa się wzdłuż pewnej zależności zgodnej z istotną statystycznie linią trendu. Niepewność regresji wyniosła nie więcej niż 5 dB. Dyspersja wyników wokół wartości średnich modelowych związana jest z faktem istnienia wariancji niewyjaśnionej przez czynniki zakłócające. Dlatego też w modelu można zaobserwować dużą liczbę wyników o dużym odchyleniu. Zakłócenia są prawdopodobnie związane

z niezdefiniowanymi i w związku z tym, nieuwzględnionymi w modelu efektami środowiskowymi, charakterem nawierzchni, jak i charakterystyką strukturalną pojazdów. W dalszych badaniach planowane jest uwzględnianie dokładnej struktury rodzajowej pojazdów i podziału zbiorowości poprzez zdefiniowanie funkcji dyskryminacyjnych.

Podsumowanie

Na podstawie wykonanej analizy wyników badań dotyczącej określenia wpływu charakterystyk ruchowych oraz środowiskowych na przewidywany poziom hałasu drogowego sformułowano następujące wnioski:

- Najistotniejszy wpływ na zarejestrowany poziom dźwięku w badanym przekroju ulicznym ma efekt natężenia ruchu pojazdów oraz ich prędkość;
- W rozpatrywanym okresie pomiarowym wpływ struktury rodzajowej ruchu, charakteryzowanej przez długości pojazdów, na poziom hałasu nie był duży i w związku z tym został uogólniony w opracowanym modelu;
- Znaczący wpływ prędkości pojazdów i ich natężenia na poziom hałasu drogowego sugeruje, że istotność struktury rodzajowej będzie miała znamiona efektu zagnieżdżonego i wymaga dłuższego okresu monitorowania;
- W opracowanym modelu prognostycznym największy wpływ na poziom hałasu, wśród zmiennych środowiskowych, ma wilgotność powietrza;
- Wilgotność powietrza, pomimo istotnego wpływu wprowadziła do modelu największy efekt nadmiarowości i zmienności w ocenie prognozowanego hałasu. Dlatego też jej wartość warto powiązać z filmem wodnym na nawierzchni jezdni;
- Określony współczynnik korelacji równy 0,73, świadczy o dużej sile liniowego trendu pomiędzy danymi obserwowanymi (V, Q, T, W, C, SKW i SPW), a zmienną prognozowaną (H);
- Uzyskane zmienne niezależne (V, Q, T, W, C, SKW i SPW) charakteryzują tylko nieznaczące interakcje, co w dużej mierze poprawia użyteczność stosowania modelu;
- Błąd średni predykcji modelu wyniósł 2,2 dB (niepewność regresji < 5 dB), co przy zakresie pomiędzy wartością minimalną i maksymalną równą odpowiednio 51,6 dB i 74,3 dB, daje dość satysfakcjonujące możliwości predykcji poziomu hałasu;

- Opracowany model może być wykorzystywany do podejmowania decyzji i rodzaju reakcji w zakresie poprawy klimatu akustycznego w otoczeniu wybranego przekroju ulicznego. Uzyskany poziom błędów estymacji, współczynnika korelacji oraz rozpiętość okresu pomiarowego sugeruje, że uzyskana analiza ma zastosowanie do danego odcinka drogi, na którym prowadzone były badania;
- Zastosowanie istotnego statystycznie modelu regresji wielorakiej sugeruje możliwość wprowadzanie do analiz danych hałasu zaawansowanych technik dyskryminacyjnych.

W celu szerszego wykorzystania modelu wymagana będzie dalsza jego walidacja o dane dostarczające m.in. dokładniejszych informacji o strukturze rodzajowej pojazdów. Aktualnie prowadzone są dalsze badania. Po ich zakończeniu planowane jest opublikowanie wyników w kolejnym artykule.

Bibliografia

- [1] Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego oraz Rady z dnia 25 czerwca 2002 w sprawie oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (Dz.U. WE L 189 z dnia 18 lipca 2002 r).
- [2] Gardziejczyk W., Motylewicz M.: Hałas od ruchu samochodowego w otoczeniu skrzyżowań. *Budownictwo i Architektura* 13(1) (2014), 137-147.
- [3] Gardziejczyk W.: Wpływ technologii wykonania i tekstury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych. *Rozprawy Naukowe* Nr 121, Politechnika Białostocka, Białystok 2005.
- [4] Gardziejczyk W.: Wybrane problemy ochrony przed hałasem drogowym. *Inżynieria Ekologiczna*, Vol. 45, 2015, p. 82–88.
- [5] Golmohammadi R., Abbaspour M., Nassiri P., Mahjub H.: Road Traffic Noise Model. *J Res Health Sci*, Vol 7, No 1, pp. 13-17, 2007.
- [6] Iwański M., Stępień M. Przegląd rozwiązań komunikacyjnych wpływających na ograniczenie poziomu hałasu drogowego. *Magazyn Autostrady* 4/2012.
- [7] Iwański M., Stępień M.: Wpływ rozwiązań komunikacyjnych na powstawanie hałasu drogowego i kształtowanie środowiska. IV Ogólnopolska Konferencja Szkoleniowa. Problem hałasu w mieście, Klimat akustyczny w przestrzeniach miejskich. Wyd. Abrys, Kielce, 7-8 listopada 2011r.
- [8] Quartieri J., Mastorakis N. E., Iannone G., Guarnaccia C., D'Ambrosio S., Troisi A., Lenza TLL.: A Review of Traffic Noise Predictive Models. *Recent Advances in Applied and Theoretical Mechanics*, ISSN: 1790-2769 7, ISBN: 978-960-474-140-3, s. 72-80.
- [9] Rassafi A.A., Ghassempour J.: Highway Noise Modeling and Estimation Based on Vehicles Volume and Speed. *Journal of American Science* 2013; 9 (12s).
- [10] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. *Dz. U. z dn. 08.10.2012 r.*, poz.1109.
- [11] Stanisław A.: Przystępny kurs statystyki z zastosowaniem STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom 2. Modele liniowe i nieliniowe. Kraków, 2007. ISBN: 978-83-88724-30-5.
- [12] StatSoft Polska, Zastosowanie metod statystycznych w badaniach naukowych IV. Kraków, 2012. ISBN: 978-83-88724-64-0.
- [13] The French national computation method "NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPCSTB)", referred to in Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, *Journal Officiel* du 10 mai 1995, Article 6.
- [14] The French standard XP S 31-133:2001, Acoustique – Bruit des infrastructures de transports terrestres – Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, AFNOR, 2001.
- [15] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska. *Dz. U. z 2013 r. poz. 1232, z późn. zm.2).*
- [16] Zięba A.: Analiza danych w naukach ścisłych i technice, PWN, 2014, ISBN: 978-83-17968-7.

Serwis GDDKiA • Aktualności

Pierwsze oficjalne wyniki GPR 2015

W roku 2015 na całej sieci dróg krajowych zarządzanej przez GDDKiA został przeprowadzony Generalny Pomiar Ruchu (GPR). Przez cały ubiegły rok, w wybrane dni pomiarowe, w ponad 1900 punktach pomiarowych na drogach krajowych można było zauważyć tabliczki z napisem „Pomiar ruchu” oraz stojących przy nich obserwatorów lub sprzęt do wideorejestracji – w punktach tych wykonywane było zliczanie przejeżdżających pojazdów.

Głównym celem GPR jest uzyskanie podstawowych parametrów i charakterystyk ruchu dla wszystkich odcinków sieci dróg krajowych administrowanych przez GDDKiA, w tym przede wszystkim Średniego Dobowego Ruchu Roczego (SDRR). Pomiary generalne przeprowadzane cyklicznie co 5 lat są podstawowym źródłem informacji o ruchu drogowym w Polsce, a zebrane dane są wykorzystywane przez administrację drogową m.in. do realizacji zadań związanych z zarządzaniem, utrzymaniem i planowaniem sieci drogowej.

Obecnie ukończony został pierwszy etap przetwarzania zebranych danych, czego efektem jest m.in.:

- publikacja opracowania pt. „Synteza wyników GPR 2015 na zamiejsciej sieci dróg krajowych” zawierająca podstawowe wyniki przeprowadzonego w zeszłym roku pomiaru generalnego;

- tabelaryczne zestawienie wyników SDRR na poszczególnych odcinkach pomiaru generalnego, wraz ze strukturą rodzajową ruchu;
- mapa prezentująca wielkości SDRR na sieci dróg krajowych. Szczegółowe opracowanie wyników pt. „Ruch Drogowy 2015” będzie dostępne w październiku 2016 r.

Najważniejsze wnioski i spostrzeżenia:

- SDRR w roku 2015 na sieci dróg krajowych wyniósł 11178 poj./dobę.
- Ruch na drogach krajowych w stosunku do roku 2010 wzrósł o 14%.
- Szeroki program budowy dróg szybkiego ruchu przyniósł pierwsze efekty w postaci zmniejszenia się o ponad 400 km długości dróg jednojezdniowych obciążonych ruchem powyżej 15 tys. poj./dobę, co przekłada się bezpośrednio na poprawę warunków i bezpieczeństwa ruchu. Jednocześnie należy zwrócić uwagę, że 40% pracy przewozowej na całej sieci dróg krajowych jest obecnie przenoszona głównie przez autostrady i drogi ekspresowe.
- Najbardziej obciążone odcinki dróg krajowych (ruch powyżej 100 tys. poj./dobę) – trasa S8 w Warszawie, droga ekspresowa S86 na odcinku Sosnowiec–Katowice oraz autostrada A4 na odcinku przejścia przez Katowice.

07-04-2016

(TS)