

MONIKA STĘPIEŃ  
Kielce University of Technology  
e-mail: monikas@tu.kielce.pl

# ANALYSIS OF THE RESULTS OF SHORT-TERM TRAFFIC NOISE MEASUREMENTS ON THE EXAMPLE OF SANDOMIERSKA STREET IN KIELCE

## Abstract

*Acoustic climate in the vicinity of transportation routes is mainly affected by traffic noise. Traffic volume is decisive as regards noise emissions. Other contributing factors include road geometry and motion conditions, namely vehicle speed and the share of heavy vehicles. Every part of the road in the city has unique characteristics with respect to motion character, the route surroundings, and also every-day noise creating the so-called acoustic background. The paper presents the analysis of the results of traffic noise surveys on the example of a part of Sandomierska Street w Kielce. On a weekday, two one-hour surveys were performed, intended to measure traffic volume and to record sound levels. In the surveys, meteorological conditions were taken into account. On the basis of the data collected, the relations between the number of vehicles in motion, type of vehicles, travel direction and the noise recorded in the road were established.*

**Keywords:** traffic noise, traffic noise measurement

## 1. Introduction

Noise, which is a common phenomenon, accompanies practically all aspects of human activities. A high level of noise pollution impairs the quality of life, and it makes working, studying and resting harder. Noise pollution produces many negative health effects [1]. It is also one of the major sources of the natural environment degradation. Unfavourable acoustic climate is most commonly found in cities, where the majority of the population live and work. It is estimated that approx. 54% of the residents of Poland's major agglomerations complain about the outside noise, mostly generated by transportation [2]. As many as 23% of trunk roads carrying mainly freight traffic, which is particularly harmful, run through built-up areas [3].

Each part of the road shows a specific and unique acoustic climate, which varies depending on many factors related to vehicular traffic, the road itself and its surroundings, and also to atmospheric conditions [4-7].

When the city's acoustic climate is analysed, the most interesting thing is the cumulative effect produced by multiple noise sources, namely vehicles in motion. At a certain level of traffic congestion, noises generated by individual vehicles superpose.

Therefore, a road can be treated as a conventional, surface noise source [6]. The noise level recorded at a transportation route constantly varies in time. It is not possible to properly assess this level when the values that occur at only certain moments are known.

To determine the values of noise that characterise arbitrary reference times assumed by the researcher, equivalent levels were introduced. The equivalent sound level A is a noise measure using the A-weighting setting, the level of the acoustic pressure of the continuous steady sound, which in the specified time interval T has the same root mean square of the acoustic pressure, as the analysed sound, the level of which varies in time [8]. Equivalent sound level A-weighted for the time interval T is also called average sound level with the averaging time denoted with an indicator, e.g. La1h, which indicates one-hour average sound level. The equivalent sound level is a basic indicator in the numerical description of the acoustic climate [9].

Converting the values of noise levels, usually recorded every second, to the equivalent sound level is possible due to computations performed in accordance with formula (1).

$$L_{Aeq} = 10 \log \left( \frac{1}{T} \times \sum_{i=1}^N t_i \times 10^{0.1 \times L_{Ai}(t)} \right) [\text{dB}] \quad (1)$$

where:  $N$  – the number of acoustic situations for the time interval  $T$ ,  $L_{Ai}$  – the sound level at the time  $t_i$ ,  $T$  – equivalent sound level determined time.

Equivalent sound levels largely depend on vehicle motion structure. The noisiest vehicles are those categorised as heavy, and also motorcycles. The sound level generated by those ranges from 79 to 98 dB. Passenger cars are slightly less noisy, as when they are in motion, noise level from 70 to 84 dB is recorded [10]. Because of an enormous traffic volume and a high share of heavy vehicles, in large cities, measurements of noise level are taken on regular basis [11]. The measurement results are continuously monitored, and when admissible values given in [12] are exceeded, penalties are imposed on road operators [13]. Various noise reduction strategies, relying on different methods and means, have been continually devised [14].

One of the projects undertaken recently by the local authorities in Kielce, aimed at improving the acoustic climate, has been the construction of the new section of the road S74. Prior to providing an alternative route, freight traffic travelling from east to west was directed along Sandomierska Street in Kielce, then having the status of the trunk road.

The aim of the survey presented in the study was to analyse and evaluate the acoustic climate produced by vehicular motion, currently found in the vicinity of the selected part of Sandomierska Street. Special attention was paid to heavy traffic volume, and also vehicle type and travel direction structure.

## 2. Survey methods

### 2.1. General information

Measurements were taken in the Sandomierska Street, which currently has a status of a major road, in Kielce. Measurements were conducted in the road section between the junctions with Daleka and Śląska Streets. In the part of concern, the roadway grade is 2% towards the city centre. Sandomierska Street has two roadways, each carrying three traffic lanes. Between the roadways, 2.5 m wide central reserve is located. The road part is flanked, both on the left and the right sides, by low buildings offering different services, institutional buildings and a permanent residence, special education care centre. Buildings are located a few meters from the roadway edge. The Sandomierska Street section, near which the measurements were taken, is shown in Figure 1.



Fig. 1. View of the Sandomierska Street section [fot. M. Stępień]

The date of the survey was selected to be a weekday, Wednesday, 5 February 2014. While obtaining acoustic and motion data, meteorological conditions, including air temperature, relative humidity, atmospheric pressure and wind velocity were also specified. The monitoring of traffic noise was accompanied by gathering data on traffic volume, vehicle structure and travel direction. The data were collected for two hours. Representative hourly time intervals were determined on the basis of traffic volume distribution, which was thoroughly studied by taking initial measurements. On the day preceding the final data acquisition, information on motion in the part of concern was collected. The results of the analysis of the traffic volume data were used to schedule the timing of measurements. The first time interval selected for the survey was the morning rush hour, namely 10:00AM-11:00AM. The other time interval, with the heaviest traffic load, was in the afternoon between 03:00PM and 04:00PM.

The measurements were taken in accordance with the regulation of the minister of the Natural Environment [15]. As required, meteorological conditions were specified. The survey day was sunny, without precipitation, or snow lying on the roadway surface. The air temperature was 1°C, the air relative humidity 43%, atmospheric pressure 980 hPa, and the wind velocity did not exceed 5 m/s.

Noise measurements were taken using the Extech SDL600 Sound Level Meter. The device allows precise measurements, has Class 2 level of tolerance and is compliant with EN 61672-1. The method of direct measurements by sampling was used. The following device settings were selected: A-weighting curve, FAST response time and 1s datalogger sampling time. The measurements were taken at the height of 1.5 m, at a distance of 1.5 m from the roadway edge. Because it was difficult to record noise level and motion data

at the same time, to obtain traffic volume data, traffic was filmed with a video camera. After filming the traffic, the data on traffic volume were processed and presented as the Microsoft Excel spreadsheet.

Due to the structure of vehicle types and the travel direction, vehicles were categorised into four groups:

- L1 – light vehicles moving along the closer roadway, from the city center,
- L2 – light vehicles moving along the further roadway, towards the city center,
- C1 – heavy vehicles moving along the closer roadway, from the city center,
- C2 – heavy vehicles moving along the further roadway, towards the city center.

Light vehicles included passenger cars and commercial vehicles, whereas heavy vehicles comprised trucks, buses, tractors and motorcycles. The two-wheels were categorised as heavy vehicles because of the high level of noise those generate [15]. It was assumed that the vehicles drive through the road part at the maximum speed permitted in a built-up area, i.e. 50 km/h.

### 3. The results of investigations

#### 3.1. Traffic volume

The observations concerning traffic volume in the part of Sandomierska Street in the morning and afternoon surveys indicate that light vehicles were the main users, whereas heavy traffic was low, and involved mainly city buses and delivery vehicles. The traffic flow was uninterrupted.

The distribution of motion data and the character of vehicular traffic in Sandomierska street were illustrated using a bar chart which showed the traffic volume in the following hours: 10:00AM-11:00AM and 3:00PM-4:00PM. The number of vehicles driving through the road, together with the data on vehicle types and travel direction, are shown in Figure 2.

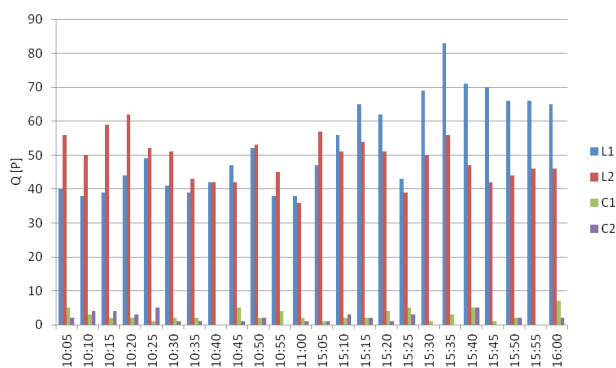


Fig. 2. Vehicular motion volume in the 5-minute interval recorded in the morning and afternoon rush hours on 5 Feb. 2014 in Sandomierska Street in Kielce

The data presented in Figure 2 indicate that traffic load was much higher in the afternoon. As regards light vehicle motion, travel direction differences are clearly observed for the selected time intervals. From 10:00AM to 11:00AM, 537 cars drove from the city centre outwards, whereas 615 vehicles travelled to the city centre. In the afternoon rush hour, 794 vehicles drove from the city centre outwards and 602 moved towards the city centre. The traffic direction structure 47/53 in the morning and 57/43 in the afternoon indicates that the character of traffic in Sandomierska Street is strongly related to working hours. In city streets, a larger traffic volume is usually noted for the motion towards the city centre in the morning, which is obviously linked to work start time and the time of opening of public institutions. In the afternoon, a higher number of vehicles travelling out of the city centre is related to people's returning to their homes. As regards heavy traffic, a similar number of vehicles was observed for both the morning and afternoon intervals, with a slightly higher number of vehicles travelling out of the city.

#### 3.2. Noise

In the measurements, the sound level meter sampling time was 1 s. When no vehicles travelled, the meter display showed the values of over fifty decibels. Those results can be considered the acoustic background noise level. When in motion, light vehicles most frequently produced the sound level from 71 to 80 dB. Heavy vehicles usually generated sounds ranging from 78 to 103 dB. It was also recorded that older vehicles, or those in poor condition emitted more noise. Then, the sound level observed was often comparable with that produced by some of heavy vehicles.

The pattern of changes in the sound level in the morning and afternoon rush hours, together with hourly equivalent levels,  $L_{Aeq1h}$ , is presented in Figure 3.

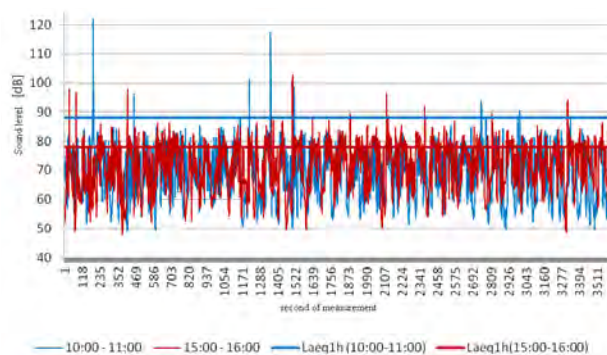


Fig. 3. The pattern of sound level changes in the morning and afternoon rush hours with hourly equivalent levels

The equivalent sound level was determined for one hour of the morning measurement,  $L_{aeq} 1 h$  was 88.2 dB, and for the afternoon it was 78.1 dB. The data presented in Figure 3 clearly shows long leaps in noise records caused by vehicles moving in groups. For both travel directions, the impact of the signal controlled junctions, located at a distance, is clearly observable. Vehicles waiting to continue travel queued before the stop line at the junctions, and at the moment green signal turned on, they started at the same time arriving as a platoon of cars at the acquisition site.

In the fourth and the twenty-third minute of the morning survey, two emergency vehicles drove along with their sirens on. The passage of those vehicles produced high noise records, which maximally amounted to as much as 122 and 117 dB, respectively. Such momentary values of sound level, corresponding to an anomalous event, result in an error in the analysis of the effect of vehicular motion on traffic noise. Two graphs were plotted to illustrate the effect of singular, much higher than the average, results of noise measurement on the aggregated values described with equivalent sound levels, and computed for respective 1-, 5-, 15- and 60-minute intervals. The computed values of the indicator  $L_{aeq}$  (1, 5, 15, 60 min) for the first measurement hour, from 10:00AM to 11:00AM, are presented in Figure 4. The values of the indicator  $L_{aeq}$  (1, 5, 15, 60 min) for the other measurement hour, namely from 3:00PM to 4:00PM, are presented in Figure 5.

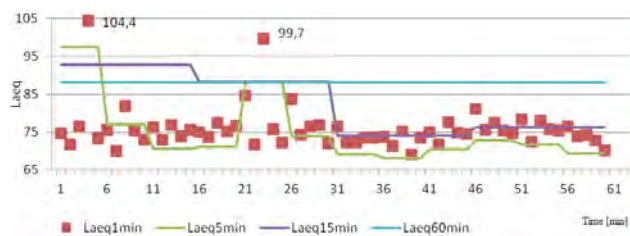


Fig. 4. Equivalent sound levels for 1, 5, 15 and 60 minutes, determined on the basis of the data collected between 10:00AM and 11:00AM in the part of Sandomierska Street in Kielce, on 5 Feb. 2014

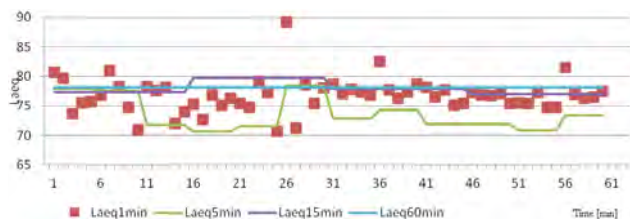


Fig. 5. Equivalent sound levels for 1, 5, 15 and 60 minutes, determined on the basis of the data collected between 3:00PM and 4:00PM in the part of Sandomierska Street in Kielce, on 5 Feb. 2014

The comparison of the data shown in Figs. 4 and 5 confirms a major impact of the passage of siren-on emergency vehicles on noise indicator. Ambulance sirens produced abnormal results for the first measurement hour. Equivalent sound level  $L_{aeq} 1 min$ , determined for a minute during which the first ambulance drove by, reached the value of 104.4 dB. The same index computed for the twenty-third minute was as high as 99.7 dB. The other results of  $L_{aeq} 1 min$  took on the values of up to 85 dB, both for the morning and afternoon measurement hour. The impact of loud emergency vehicle sirens is also visible in the values taken on by indicator  $L_{aeq} 5 min$ ,  $L_{aeq} 15 min$  and  $L_{aeq} 1 h$ , computed on the basis of the data collected from 10:00AM to 11:00AM. Therefore, it is pointless to carry out traffic noise analysis based on measurements collected in the first two quarters of the morning survey. The values recorded within that interval were excluded from the dataset.

To find relations between noise described by means of equivalent sound level,  $L_{aeq}$ , on one side, and traffic volume (Q), vehicle type structure (L, C) and travel direction structure (1, 2), on the other, Pearson linear correlation coefficient was calculated for appropriate pairs of variables. The analysis was performed on the basis of 5400 noise results corresponding to the acoustic conditions in the second half of the morning hour and the entire afternoon hour. The way of matching variables in pairs and the results of the analysis of correlations for 1-, 5- and 15-minute intervals are presented in Table 1.

Table 1. Values of Pearson linear correlation coefficients determined on the basis of  $L_{aeq} 1 min$ ,  $L_{aeq} 5 min$  and  $L_{aeq} 15 min$  and corresponding motion conditions for the selected time intervals

Pearson linear correlation coefficients	Time interval		
	1 min	5 min	15 min
Qi Laeq	0.25	<b>0.51</b>	<b>0.67</b>
Q1 i Laeq	0.45	0.35	<b>0.62</b>
Q2 i Laeq	-0.17	<b>0.65</b>	<b>0.50</b>
QL i Laeq	0.25	0.49	<b>0.65</b>
QC i Laeq	0.19	0.10	<b>0.88</b>
QL1 i Laeq	0.46	0.36	<b>0.60</b>
QL2 i Laeq	-0.19	<b>0.61</b>	0.49
QC1 i Laeq	0.15	-0.03	0.49
QC2 i Laeq	0.13	0.24	<b>0.62</b>
%Ci Laeq	0.11	0.00	<b>0.53</b>
%C1 i Laeq	0.00	-0.14	-0.16
%C2 i Laeq	0.20	0.18	<b>0.70</b>

The analysis of Pearson linear correlation coefficients presented in Table 1 shows that values indicating the occurrence of relation between pairs of variables is observed only for 5- and 15- min intervals. The correlation coefficient above 0.5 is regarded as the one that describes a strong relation between variables. The strongest relation was found to hold between the equivalent sound level  $L_{aeq}$  15 min, and the traffic volume of heavy vehicles. The correlation coefficient for that pair of variables was 0.88. The coefficient takes on a positive value, which means, the more heavy vehicles drove along the road part of concern, the higher noise was recorded. Another strong correlation is found for the index  $L_{aeq}$  15 min and a majority of motion characteristics quoted before. The lack of significant relations for 5- minute intervals can be explained by the fact that the noise index  $L_{aeq}$  5 min is too sensitive when sudden leaps in the sound level caused by more noisy vehicles occur.

To illustrate the effect of the traffic volume of heavy vehicles on the level of recorded noise for 15-min time intervals, a graph was plotted for that pair of variables which showed the highest correlation coefficient. The graph is presented in Figure 6.

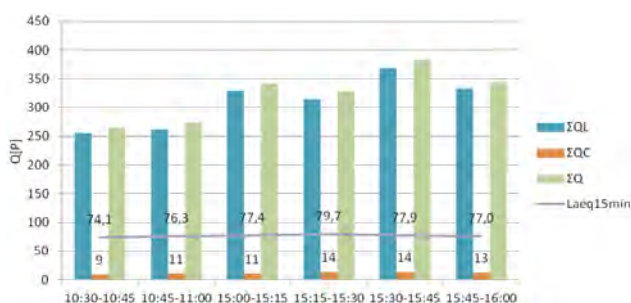


Fig. 6. Vehicular traffic volume taking into account vehicle type, and equivalent sound levels  $L_{aeq}$  15 min, corresponding to road and acoustic conditions in the morning and afternoon rush hours on 5 Feb. 2014 in the part of Sandomierska Street in Kielce

The data presented in Figure 6 indicates that in a majority of cases, the greater number of heavy vehicles drove along the part of the road, the higher was the value of the corresponding equivalent sound level,  $L_{aeq}$  15 min. The lowest index was found for that quarter of measurements when the number of heavy vehicles was 9, which constituted a share of 3.4%. The highest index  $L_{aeq}$  15 min corresponded to the passage of the fourth type of vehicles, whose share was 4.3%.

#### 4. Conclusions and summary

The analysis of the data obtained from the measurements of sound level and the volume of

vehicular motion performed during rush hours on 5 Feb. 2014 in Sandomierska Street in Kielce, shows the acoustic climate near the route is unfavourable. Equivalent sound levels,  $L_{aeq}$  1h are quite high and those exceed the limits permitted for a given time of the day [12]. The results obtained for morning and afternoon rush hours, however, are much higher when compared with the value of 16-hour index  $L_{aeq}$  D stated in the standard, which resulted from the assumption made for the study, i.e. the selection of the period of time with a very heavy load of vehicular traffic. The volume of traffic in off-peak periods was much lower. Equivalent sound level calculated on the basis of noise measurement results and traffic volume data recorded for the full 16-hour period specified in the standard would be also much lower.

Based on the computed values of the Pearson linear correlation coefficient, it can be concluded that a strong relation holds between recorded noise and the number of vehicles driving through a given road. The highest positive value of the coefficient was obtained for the following variables:  $L_{aeq}$  15 min and the number of heavy vehicles. The more heavy vehicles travelled, the higher noise emissions were recorded. An increase in the number of passenger cars affected the recorded sound levels to a lesser extent. No significant relation was found between the travel direction structure and noise production. During the measurements, researchers observed that vehicles driving along the roadway located closer (direction to the city centre) gave more annoyance than traffic travelling along the other roadway in the opposite direction. The results of analyses, however, do not confirm a relation of that kind.

The comparison of the results of measurements of traffic volume with those carried out in 2009 [16], when freight traffic moved in Sandomierska Street, shows a clear decrease in both the total number of vehicles, and also that of heavy vehicles. In 2009, 150 heavy vehicles per hour travelled along the road part of concern. In the latest measurements, only over 50 such vehicles were recorded. On the basis of the short-term measurements conducted for the study, it can be concluded that a reduction in the number of heavy vehicles contributed to the improvement of the acoustic climate of the surroundings. The new section of the express way S74 took the freight traffic and reduced the number of vehicles in Sandomierska Street, thus partly relieving the local residents of noise annoyance and negative effects produced by it.

## References

- [1] Kotus J.: *Ocena wpływu zagrożeń hałasowych na częstość występowania chorób słuchu z zastosowaniem środków teleinformatycznych*. PhD. dissertation under the guidance of prof. dr. eng. Bożena Kostek, Gdansk University of Technology, Gdańsk 2007.
- [2] Engel Z.: *Człowiek a hałas. Doktor Honoris Causa Politechniki Świętokrzyskiej*. Publisher Kielce University of Technology, Kielce 2012.
- [3] Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M.: *Klimat akustyczny w otoczeniu ulic prowadzących ruch tranzytowy pojazdów ciężarowych* – chapter in the monography: *Metody ochrony środowiska przed hałasem – teoria i praktyka*, Zakopane 2013, p. 69-86.
- [4] Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001.
- [5] Gardziejczyk W.: *Wpływ technologii wykonania i tekstury nawierzchni drogowych na hałas pojazdów samochodowych*. Rozprawy naukowe nr 121, Białystok University of Technology, Białystok 2005.
- [6] Kucharski R.J.: *Hałas drogowy*. WKiŁ, Warszawa 1979.
- [7] Lebedowska B.: *Hałas wokół autostrad. Metody prognozowania*. Monografy Lodz University of Technology, Łódź 1998.
- [8] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*, (Dz.U. Nr 178, poz. 1841)
- [9] Mutli authored paper: *Ocena jakości środowiska w województwie śląskim w zakresie hałasu, na podstawie badań monitoringowych i inspekcyjnych WIOŚ w Katowicach oraz zarządców dróg i lotnisk, w latach 2000-2009*. Written under the direction of A. Wrześniak, J. Kopyczok, edited by R. Danecki, A. Pillich-Konieczny, A. Szczygieł. Library of Environmental Monitoring, Katowice 2010.
- [10] Website: [www.techbud.com.pl](http://www.techbud.com.pl)
- [11] Sadowski J.: *Akustyka w urbanistyce, architekturze i budownictwie*, Arkady, Warszawa 1971.
- [12] *Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku*, (Dz.U. z 8 października 2012, poz. 1109).
- [13] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 29 września 2001 r. w sprawie wysokości jednostkowych stawek kar za przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu*, (Dz.U. Nr 120, poz. 1285).
- [14] Iwański M., Stępień M.: *Wpływ rozwiązań komunikacyjnych na powstawanie hałasu drogowego i kształtowanie środowiska*, IV Training Conference, "The problem of noise in the city. Acoustic climate in urban spaces", Publisher Abrys Sp. z.o.o, Kielce 2011.
- [15] *Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem* (Dz. U. Nr 192 z dnia 2 października 2007 r., poz. 1392).
- [16] Borkowski B., Głocki K.: *Opracowanie wyników ciągłego monitoringu ul. Ogrodowa, ul. Sandomierska, ul. Warszawska*, AGH Kraków, September 2010.

Monika Stępień

# Analiza wyników krótkoterminowych pomiarów hałasu drogowego na przykładzie przekroju ulicy Sandomierskiej w Kielcach

## 1. Wprowadzenie

Hałas jest zjawiskiem powszechnym, towarzyszy praktycznie każdej działalności człowieka. Jego wysoki poziom obniża jakość życia, utrudnia pracę, naukę oraz wypoczynek. Zanieczyszczenie hałasem jest przyczyną wielu negatywnych następstw zdrowotnych [1]. Jest również jedną z głównych przyczyn degradacji środowiska naturalnego. Niezadowalający klimat akustyczny zauważa się w szczególności

w miastach, gdzie przebywa i pracuje większa część społeczeństwa. Szacuje się, że około 54% mieszkańców większych polskich aglomeracji skarży się na hałas pochodzenia zewnętrznego, głównie komunikacyjnego [2]. Przez obszary zabudowane przebiega aż 23% dróg krajowych, na których realizowany jest głównie ruch tranzytowy, szczególnie uciążliwy [3]. Każdy przekrój drogowy charakteryzuje się specyficznym, niepowtarzalnym klimatem akustycznym,

zmiennym w zależności od wielu czynników związanych z ruchem pojazdów, z drogą i jej otoczeniem, a także z warunkami atmosferycznymi [4-7].

Podczas rozpoznawania klimatu akustycznego w mieście najbardziej interesujące jest łączne oddziaływanie wielu źródeł hałasu – pojazdów biorących udział w ruchu. Przy w miarę gęstym ruchu poziomy hałasu od pojedynczych przejazdów nakładają się na siebie. Ulicę można więc traktować jako umowne, powierzchniowe źródło dźwięku [6]. Obserwowany przy arterii komunikacyjnej poziom hałasu nieustannie zmienia się w czasie. Jego odpowiednia ocena nie jest możliwa przy znajomości jedynie wartości występujących w pewnych momentach.

Do określania wartości hałasów charakteryzujących dowolne, przyjęte przez badacza czasy odniesienia, wprowadzono poziomy równoważne. Równoważny poziom dźwięku A to, skorygowany według krzywej korekcyjnej A, poziom ciśnienia akustycznego ciągłego ustalonego dźwięku, który w określonym przedziale czasu T ma taki sam średni kwadrat ciśnienia akustycznego, jak analizowany dźwięk o poziomie zmiennym w czasie [8]. Równoważny poziom dźwięku A dla przedziału czasu T jest także zwany średnim poziomem dźwięku z czasem uśredniania zaznaczonym za pomocą indeksu, np.  $L_{A1h}$ , co oznacza jednogodzinny średni poziom dźwięku. Poziom równoważny jest podstawowym wskaźnikiem liczbowego opisu klimatu akustycznego [9].

Poziomy równoważne dźwięków w dużej mierze zależą od struktury rodzajowej ruchu. Do najbardziej hałaśliwych pojazdów należą te z grupy ciężkich oraz motocykle. Generowany przez nie poziom dźwięku waha się od 79 dB do 98 dB. Samochody osobowe są mniej uciążliwe. Podczas ich przejazdów rejestruje się poziomy hałasu od 70 dB do 84 dB [10]. Z uwagi na ogromne obciążenie ruchem oraz duży udział pojazdów ciężkich, w dużych miastach systematycznie są prowadzone pomiary poziomu hałasu [11]. Ich wyniki są regularnie kontrolowane, a wszelkie przekroczenia wartości dopuszczalnych, podanych w [12], skutkują obciążeniami finansowymi nałożonymi na zarządców dróg [13]. Nieustannie podejmowane są próby ograniczenia poziomu hałasu poprzez stosowanie różnych metod i środków [14].

Jednym z niedawnych działań kieleckich władz, zmierzającym w kierunku poprawy klimatu akustycznego, była budowa nowego odcinka drogowego S74. Przed wprowadzeniem połączenia alternatywnego ruchu tranzytowego zmierzającego ze wschodu na zachód kierowany był przez ulicę Sandomierską w Kielcach, pełniącą wówczas funkcję drogi krajowej.

Celem badań przedstawionych w opracowaniu jest analiza i ocena aktualnie występującego klimatu akustycznego w okolicy wybranego przekroju ulicy Sandomierskiej, kształtowanego przez ruch drogowy. Szczególną uwagę zwrócono na natężenie ruchu ciężkiego, strukturę rodzajową oraz kierunkową.

## 2. Metodyka wykonanych badań

Pomiary zrealizowano przy ulicy Sandomierskiej w Kielcach, która obecnie pełni funkcję drogi głównej. Wykonano je w przekroju pomiędzy skrzyżowaniami z ulicami: Daleką i Śląską. Na wytypowanym odcinku pochylenie podłużne wynosi 2% w kierunku centrum miasta. Ulica Sandomierska posiada dwie jezdnie, na każdej po trzy pasy ruchu. Między nimi jest pas dzielący o szerokości 2,5 m. Zarówno po lewej, jak i po prawej stronie badanego przekroju znajdują się niskie budynki usługowe, użyteczności publicznej oraz placówka wychowawcza stałego zamieszkania. Zabudowa zlokalizowana jest w odległości kilkunastu metrów od krawędzi jezdni.

Przekrój poprzeczny ulicy Sandomierskiej, w pobliżu którego wykonano pomiary, przedstawiono na rysunku 1.

Do badań wytypowano dzień roboczy, środę 5 lutego 2014 roku. Podczas rejestracji wielkości akustycznych i ruchowych określono warunki meteorologiczne, takie jak: temperatura powietrza, wilgotność względna, ciśnienie atmosferyczne oraz prędkość wiatru. Równocześnie z monitoringiem hałasu komunikacyjnego notowano natężenie, strukturę rodzajową i kierunkową ruchu. Dane zgromadzono dla dwóch godzin. Reprezentatywne godzinowe przedziały czasowe określono na podstawie rozkładu natężenia ruchu, który dokładnie rozpoznano, wykonując pomiary wstępne. W dzień poprzedzający docelową rejestrację danych zebrano informacje ruchowe w wybranym przekroju ulicznym. Na podstawie analizy wyników natężenia ruchu zdecydowano o docelowym czasie pomiarów. Pierwszy wybrany okres to poranny szczyt komunikacyjny, przypadający na godzinę od 10.00 do 11.00. Drugi to najbardziej obciążona ruchem pojazdów popołudniowa godzina, pomiędzy 15.00 a 16.00.

Prace pomiarowe wykonano zgodnie z rozporządzeniem ministra środowiska [15]. Według wymagań określono warunki meteorologiczne. W dzień badań była słoneczna pogoda, bez opadów oraz zalegającego śniegu na powierzchni jezdni. Temperatura powietrza wynosiła 1°C, wilgotność względna powietrza – 43%, ciśnienie atmosferyczne – 980 hPa, a wiatr nie przekraczał 5 m/s.

Do pomiarów hałasu wykorzystano decybelomierz Extech SDL600, który umożliwia precyzyjny pomiar poziomu dźwięku i odpowiada normie EN 61672-1, klasa dokładności 2. Wykorzystano metodę bezpośrednich pomiarów za pomocą próbkowania. W urządzeniu ustawiono charakterystykę korekcyjną A, stałą czasową FAST oraz częstotliwość próbkowania 1 s. Pomiarów wykonano na wysokości 1,5 m, w odległości 1,5 m od krawędzi jezdni. Z uwagi na trudność jednoczesnego notowania poziomu hałasu oraz danych ruchowych natężenie ruchu rejestrowano za pomocą techniki wideofilmowania. Po zebraniu materiału badawczego informacje charakteryzujące ruch, odtworzono i zestawiono w formie tabelarycznej w arkuszu kalkulacyjnym programu Microsoft Excel.

Ze względu na strukturę rodzajową ruchu oraz kierunek jazdy, pojazdy podzielono na cztery grupy:

- a) L1 – pojazdy lekkie poruszające się po bliższej jezdni, od centrum miasta,
- b) L2 – pojazdy lekkie poruszające się po dalszej jezdni, do centrum miasta,
- c) C1 – pojazdy ciężkie poruszające się po bliższej jezdni, od centrum miasta,
- d) C2 – pojazdy ciężkie poruszające się po dalszej jezdni, do centrum miasta.

Do pojazdów lekkich zaliczono samochody osobowe i dostawcze, a do ciężkich samochody ciężarowe, autobusy, ciągniki oraz motocykle. Jednoślady zostały przyporządkowane do kategorii pojazdów ciężkich z uwagi na ich wysoką hałaśliwość [15]. Przyjęto, że pojazdy przekraczają badany przekrój drogi z prędkością dopuszczalną na terenie zabudowanym 50 km/h.

### 3. Wyniki wykonanych badań

#### 3.1. Natężenie ruchu

Z obserwacji natężenia ruchu w przekroju ulicy Sandomierskiej podczas wykonywania porannych i popołudniowych pomiarów wynika, że badany przekrój przekraczały głównie pojazdy lekkie. Ruch ciężki był niewielki, przeważnie przejeżdżały autobusy miejskie oraz pojazdy zaopatrzenia. Ruch był płynny.

W celu zobrazowania rozkładu danych ruchowych i charakteru ruchu kołowego na ulicy Sandomierskiej sporządzono wykres słupkowy przedstawiający natężenie pojazdów w godzinach od 10.00 do 11.00 oraz od 15.00 do 16.00. Liczbę pojazdów przekraczających przekrój drogowy z uwzględnieniem struktury rodzajowej oraz kierunkowej przedstawiono na rysunku 2.

Z analizy danych zamieszczonych na rysunku 2 można wnioskować, że znacznie większa liczba pojazdów przekroczyła przekrój uliczny podczas popo-

łudniowych notowań. Wyraźnie widoczna jest zmiana struktury kierunkowej pojazdów lekkich dla dwóch godzin pomiarowych. Od 10.00 do 11.00 w kierunku od centrum miasta przejechało 537, a w kierunku do centrum 615 pojazdów. Podczas szczytu popołudniowego w kierunku od centrum przekrój ulicy Sandomierskiej przekroczyło 794 pojazdy, a w kierunku do centrum 602. Struktura rodzajowa 47/53 rano i 57/43 po południu wskazuje, że charakter ruchu na ulicy Sandomierskiej jest podyktowany rytmem pracy. Na drogach miejskich zwykle obserwuje się większe natężenie pojazdów jadących w stronę centrum miasta w godzinach porannych, co prawdopodobnie jest związane z godzinami rozpoczęcia pracy i otwarcia instytucji. Po południu większe natężenie ruchu pojazdów jadących w stronę wylotu z miasta jest związane z powrotami do domów. Z uwagi na ruch ciężki zarówno podczas pomiaru porannego, jak i popołudniowego zanotowano podobną liczbę pojazdów. Przeważały jednak te zmierzające w stronę wylotu z miasta.

#### 3.2. Hałas

W czasie wykonywania pomiarów obserwowano sekundowe wskazania miernika dźwięku. W przypadku gdy po ulicy nie poruszały się żadne pojazdy na wyświetlaczu urządzenia ukazywały się wielkości rzędu pięćdziesięciu kilku decybeli. Te wyniki można uznać za poziom tła akustycznego otoczenia. Podczas przejazdu pojazdów typu lekkiego poziom dźwięku wynosił najczęściej od 71 dB do 80 dB. Pojazdy ciężkie generowały zwykle dźwięk od 78 dB do 103 dB. Zauważono również dużo większy hałas w czasie przejazdu pojazdów starszych lub/i w złym stanie technicznym. Często obserwowany wtedy poziom dźwięku był porównywalny z tym generowanym przez niektóre pojazdy ciężkie.

Przebieg zmian poziomu dźwięku w porannej i popołudniowej godzinie szczytu komunikacyjnego wraz ze wskazaniem godzinnych poziomów równoważnych,  $L_{Aeq} 1 h$  przedstawiono na rysunku 3.

Równoważny poziom dźwięku wyznaczony dla okresu jednej godziny pomiaru porannego,  $L_{Aeq} 1 h$  wynosił 88,2 dB, a dla popołudniowego 78,1 dB. Na podstawie danych zaprezentowanych na rysunku 3 można zaobserwować wyraźne dłuższe skoki notowań hałasu spowodowane przejazdami pojazdów w grupach. Zarówno w jednym, jak i w drugim kierunku od wytypowanego przekroju drogi uwidocznił się wpływ odległych skrzyżowań sterowanych sygnalizacją świetlną. Pojazdy oczekujące na możliwość konty-



nuowania podróży gromadziły się przed linią warunkowego zatrzymania na skrzyżowaniach, a w momencie wyświetlenia sygnału zielonego jednocześnie ruszały, docierając w kolumnie do punktu notowań.

W czwartej oraz w dwudziestej trzeciej minucie porannego pomiaru przekrój ulicy przekroczyły dwa pojazdy uprzywilejowane, jadące z włączonym sygnałem dźwiękowym. Ich przejazd spowodował wysokie notowania hałasu, wynoszące maksymalnie odpowiednio 122 dB oraz 117 dB. Takie wyniki chwilowego poziomu dźwięku obarczają błędem analizy wpływu ruchu pojazdów na hałas pochodzenia drogowego. Dla zobrazowania wpływu pojedynczych, odstających wyników pomiarów hałasu na jego zagregowane wartości opisane za pomocą równoważnych poziomów dźwięków, obliczone odpowiednio dla interwałów 1-, 5-, 15- i 60-minutowych, wykonano dwa wykresy. Obliczone wartości wskaźników  $L_{aeq}$  (1, 5, 15, 60 min) dla pierwszej godziny pomiaru, od 10.00 do 11.00, przedstawiono na rysunku 4. Wartości wskaźników  $L_{aeq}$  (1, 5, 15, 60 min) dla drugiej godziny pomiaru, od 15.00 do 16.00, przedstawiono na rysunku 5.

Porównanie rozkładu danych zamieszczonych na rysunkach 4 i 5 potwierdza istotny wpływ przejazdu pojazdów uprzywilejowanych z aktywnym sygnałem dźwiękowym na wskaźniki hałasowe. Syreny karetek spowodowały obserwację odstających wyników w pierwszej godzinie pomiaru. Równoważny poziom dźwięku  $L_{aeq}$  1 min, wyznaczony dla minuty, podczas której przejechała pierwsza z nich, osiągnął wartość 104,4 dB. Ten sam wskaźnik obliczony dla dwudziestej trzeciej minuty wynosił aż 99,7 dB. Pozostałe wyniki dotyczące  $L_{aeq}$  1 min przyjmowały wartości do 85 dB zarówno w pierwszej, jak i drugiej godzinie pomiaru. Wpływ głośniejszych sygnałów ostrzegawczych pojazdów uwidacznia się również w wartościach, jakie przyjmują wskaźniki  $L_{aeq}$  5 min,  $L_{aeq}$  15 min oraz  $L_{aeq}$  1 h obliczone na podstawie danych zgromadzonych od 10.00 do 11.00. Bezcelowe jest więc wykonywanie analiz uwzględniających hałas i ruch drogowy na podstawie pomiarów zgromadzonych w pierwszych dwóch kwadransach godziny dziesiątej. Wielkości zanotowane w tym czasie wykluczono ze zbioru danych.

W celu zbadania zależności występujących między hałasem opisanym obliczonymi wartościami równoważnego poziomu dźwięku  $L_{aeq}$  a natężeniem (Q), strukturą rodzajową (L, C) oraz kierunkową ruchu (1, 2), obliczono współczynnik korelacji liniowej według Pearsona dla odpowiednich par zmiennych. Analizę wykonano w oparciu o 5400 wyników ha-

łasowych odpowiadających warunkom akustycznym w drugiej połowie godziny 10.00 oraz o godzinie 15.00. Sposób zestawiania wartości zmiennych w pary i wartości wynikowe analizy korelacji dla interwałów 1-, 5- oraz 15-minutowych zestawiono w tabeli 1.

Na podstawie analizy współczynników korelacji liniowej według Pearsona, zestawionych w tabeli 1, można stwierdzić, że wartości wskazujące na istnienie zależności między badanymi parami zmiennych obserwuje się tylko dla interwałów 5- i 15-minutowych. Poziom opisujący silną zależność między zmiennymi określono dla współczynnika korelacji powyżej 0,5. Największa siła związku ujawniła się pomiędzy równoważnym poziomem dźwięku  $L_{aeq}$  15 min a natężeniem pojazdów ciężkich, współczynnik korelacji wynosi dla tej pary zmiennych 0,88. Przyjmuje on dodatnią wartość, co oznacza, że im więcej pojazdów tego typu przekroczyło badany przekrój drogi, tym większy zarejestrowano hałas. Silną korelację obserwuje się również dla zestawienia wskaźnika  $L_{aeq}$  15 min z większością przedstawionych charakterystyk ruchowych. Brak istotnych zależności w przypadku analiz w interwałach pięciominutowych można tłumaczyć tym, że wskaźnik hałasowy  $L_{aeq}$  5 min jest zbyt podatny na nagłe skoki poziomu dźwięku powodowane pojedynczymi przejazdami pojazdów bardziej hałaśliwych.

W celu zobrazowania wpływu natężenia ruchu pojazdów ciężkich na poziom zarejestrowanego hałasu, w przeliczeniu na 15-minutowe odstępy czasu, dla tej pary zmiennych, która charakteryzowała się największą wartością współczynnika korelacji, wykonano wykres przedstawiony na rysunku 6.

Z danych zamieszczonych na rysunku 6 wynika, że w większości przypadków im większa liczba pojazdów ciężkich przekroczyła badany przekrój drogi, tym większa odpowiada mu wartość równoważnego poziomu dźwięku,  $L_{aeq}$  15 min. Najmniejszą wartość wskaźnika obliczono dla tych piętnastu minut pomiaru, gdzie natężenie pojazdów ciężkich wynosiło 9, a ich udział to 3,4%. Największy wskaźnik  $L_{aeq}$  15 min odpowiadał przejazdowi czwartego rodzaju pojazdów, przy ich udziale 4,3%.

#### 4. Wnioski i podsumowanie

Po wykonaniu analizy danych uzyskanych z pomiarów poziomu hałasu i natężenia ruchu kołowego wykonanych w czasie trwania godzin szczytu komunikacyjnego, w dniu 5 lutego 2014 roku, na ulicy Sandomierskiej w Kielcach, można stwierdzić, że klimat akustyczny w otoczeniu tej trasy jest nieko-

rzystny. Równoważne poziomy dźwięków,  $L_{Aeq} 1 h$  są dość wysokie i znacznie przekraczają wartości dopuszczalne określone dla pory dnia [12]. Jednak uzyskane wyniki wskaźników obliczonych dla godziny porannego oraz popołudniowego szczytu komunikacyjnego, w odniesieniu do normowej wartości szesnastogodzinnego wskaźnika  $L_{Aeq} D$ , są dużo wyższe z uwagi na celowy dobór najbardziej obciążonych ruchem pojazdów okresów. Natężenie ruchu kołowego poza wybranymi godzinami porannego i popołudniowego szczytu komunikacyjnego było dużo niższe. Równoważny poziom dźwięku obliczony na podstawie wyników hałasowych oraz natężeniowych, zarejestrowanych dla pełnego, normowo określonego przedziału czasu, byłby również dużo niższy.

Na podstawie obliczonych wartości współczynnika korelacji liniowej według Pearsona można wnioskować, że istnieje silna zależność pomiędzy zarejestrowanym hałasem a liczbą pojazdów przekraczających badany przekrój ulicy. Największą dodatnią wartość współczynnika uzyskano dla zmiennych takich jak  $L_{Aeq} 15 \text{ min}$  oraz liczba pojazdów ciężkich. Im więcej takich pojazdów przekroczyło przekrój ulicy Sandomierskiej, tym większe zarejestrowano natężenie hałasu. Wzrost liczby samochodów osobowych w mniejszym stopniu decydował o wyższych noto-

waniach poziomów dźwięku. Nie zaobserwowano istotnego związku między strukturą kierunkową ruchu a hałasem. Z własnych obserwacji prowadzonych podczas pomiaru wynika, że przejazdy pojazdów, niezależnie od ich rodzaju, po bliższej jezdni (w kierunku 1, od centrum miasta) powodowały odczucia większego dyskomfortu niż ruch odbywający się po drugiej jezdni. Wyniki wykonanych analiz nie potwierdzają jednak podobnych zależności.

Porównując przedstawione wyniki pomiarów natężenia ruchu pojazdów z tymi z 2009 roku [16], kiedy ruch tranzytowy odbywał się po ulicy Sandomierskiej, wyraźnie widać spadek całkowitej liczby pojazdów, jak i zmniejszenie ruchu ciężkiego. W 2009 roku przekrój uliczny przekraczało do 150 pojazdów ciężkich na godzinę. Obecnie zanotowano tylko ponad 50 takich pojazdów. Bazując na otrzymanych wynikach krótkoterminowych pomiarów, można stwierdzić, że ograniczenie liczby pojazdów ciężkich spowodowało polepszenie się klimatu akustycznego otoczenia. Nowy odcinek drogi ekspresowej S74 przejął ruch tranzytowy i odciążył ulicę Sandomierską od dużej ilości pojazdów, a jej mieszkańców i użytkowników ochronił przed ujemnymi skutkami oddziaływania większego niż obecnie hałasu.