

MALWINA SPŁAWIŃSKA¹⁾

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TRAFFIC FLOW VARIABILITY ON NOISE LEVEL ON ROADS

ANALIZA WPŁYWU ZMIENNOŚCI NATĘŻENIA RUCHU NA POZIOM HAŁASU NA DROGACH

STRESZCZENIE. W pracy przedstawiono wyniki analiz dotyczących rocznej zmienności obliczeniowego poziomu hałasu drogowego w punkcie odniesienia. Ze względu na duże różnice pomiędzy wartościami średnimi i maksymalnymi hałasu opracowano wskaźniki przeliczeniowe umożliwiające przejście z wartości średnich do największych średnich rocznych. Określono korzystny, czasowy zakres przeprowadzania pomiarów wyrwykowych, pozwalający na wiarygodne szacowanie wartości średniej rocznej oraz wartości średniej największej obliczeniowego poziomu hałasu drogowego. W pracy opracowano także wskaźniki przeliczeniowe średniego dobowego ruchu rocznego (w grupie wszystkich pojazdów oraz pojazdów ciężkich) z podziałem na dwa okresy dobowe, umożliwiające wyznaczenie poziomu hałasu w przypadku braku możliwości wykonania bezpośredniego pomiaru natężenia ruchu. Analizy przeprowadzono wykorzystując dane uzyskane z 25 stacji ciągłego pomiaru ruchu, zlokalizowanych na krajowych drogach zamiejskich szybkiego ruchu (drogi klasy A i S) i wyposażonych w najnowocześniejsze liczniki SICK oraz Golden River.

SŁOWA KLUCZOWE: drogi, hałas drogowy, natężenie ruchu, średni dobowy ruch w roku (SDRR), zmienność natężenia ruchu.

ABSTRACT. The paper presents the results of analyses concerning the annual variability of the road traffic noise level calculated in the reference point. Because of the large differences between the average noise values and the maximum ones, scaling factors enabling one to convert annual average values into the highest annual averages have been developed. The time range favourable for conducting sampling measurements ensuring the reliable estimation of annual average and highest annual average of the road traffic noise level has been determined. Moreover, factors for scaling the annual average daily traffic (for all vehicles and heavy vehicles, respectively), with a division into two daily periods, have been developed. The scaling factors make it possible to determine the noise level when no direct measurement of traffic intensity can be carried out. The analyses were made using data from 25 automatic traffic recorders (ATRs), equipped with state-of-the-art SICK and Golden river vehicle counters, located on national interurban expressways (class A and S roads).

KEYWORDS: annual average daily traffic (AADT), road noise, roads, traffic flow variability, traffic volume.

DOI: 10.7409/rabdim.019.009

¹⁾ Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Drogowej i Kolejowej, ul. Warszawska 24, 31-155 Kraków; msplaw@pk.edu.pl

1. WPROWADZENIE

Istotnym czynnikiem zanieczyszczającym środowisko jest hałas komunikacyjny związany przede wszystkim z ruchem samochodowym. Podstawowym wskaźnikiem oceny jego poziomu jest tzw. równoważny poziom dźwięku A (L_{Aeq}^p) wyznaczany w przypadku hałasu drogowego w dwóch okresach dobowych (porze dziennej D w godzinach 06:00-22:00 oraz nocnej N w godzinach 22:00-06:00). Pomimo tego, że hałas stanowi zagrożenie głównie na obszarach zurbanizowanych, to ocenia się, że blisko 50% mieszkańców jest narażona na hałas z dróg zamiejskich przekraczający 50 dB, a około 25% na hałas przekraczający 55 dB i to w porze nocnej [1]. Ponadto, zgodnie z wynikami analiz przedstawionymi w [2], przekroczenia norm utrzymują się średnio przez 92% czasu. Zauważono także, że ze względu na ciągły wzrost motoryzacji i rozwój infrastruktury drogowej udział osób zagrożonych ponadnormatywnym hałasem drogowym w Polsce ma tendencje wzrostowe. Powoduje to konieczność przeznaczania coraz większych środków na zabezpieczenia akustyczne zlokalizowane w otoczeniu istniejących i nowo projektowanych odcinków drogowych. Biorąc pod uwagę, że głównym celem Programu Budowy Dróg Krajowych w latach 2014-2023 jest wzrost gęstości autostrad (A) i dróg ekspresowych (S) (z 8,5 do 22,7 km/1000 km² [3]) problem ten będzie dotyczył coraz bardziej otoczenia dróg szybkiego ruchu.

Rozporządzenie [4, 5] reguluje dopuszczalny poziom hałasu drogowego w zależności od funkcji urbanistycznej danego terenu, jednakże brakuje jednoznacznych wskazań do jakich wartości L_{Aeq}^p określone normy się odnoszą. W praktyce często przyjmuje się średnią roczną wartość L_{Aeq} zamiast wartości największej (co jest podyktowane względami ekonomicznymi) i może prowadzić do niedostatecznego zabezpieczenia akustycznego otoczenia drogi. Według [6] różnica pomiędzy wartościami L_{Aeq}^p uzyskanymi na podstawie średnich rocznych wartości natężeń oraz wartości maksymalnych, wynosi średnio 2,4 dB w zakresie od 1,6 dB do 4,0 dB wg [7]. Przyjęcie średnich natężeń ze wszystkich dni w roku lub średnich z roboczych dni tygodnia prowadzi do różnic w poziomie dźwięku mogących przekraczać 1 dB. Według [8] wartość odchylenia standardowego L_{Aeq} z dwutygodniowego pomiaru wynosi około 4,5 dB przy poziomie dźwięku około 50 dB. Badania te przeprowadzono na stosunkowo niewielkiej próbie (13 odcinków pomiarowych), lecz wskazują one jednoznacznie na potrzebę dogłębnej analizy zmienności zakresu poziomu hałasu w ciągu roku, szczególnie w odniesieniu do dróg wyższych klas technicznych. W przeszłości, ze względu na nieliczne stacje pomiarów ciągłych (SCPR) zlokalizowane przy trasach dróg klasy A i S,

1. INTRODUCTION

Traffic noise, generated mainly by motor traffic, is a major environment polluting factor. The principal indicator of its level is equivalent sound level A (L_{Aeq}^t), which in the case of road traffic noise is determined in two daily periods (daytime D from 06:00 to 22:00 hours and nighttime N from 22:00 to 06:00 hours). Even though noise poses a hazard mainly in urbanized areas, it is estimated that nearly 50% of the inhabitants are exposed to noise coming from interurban roads, which exceeds 50 dB, and about 25% to noise exceeding 55 dB, in nighttime too [1]. Moreover, according to the results reported in [2], the standard overages persist for 92% of the time. It has also been found that due to the steadily growing motorization and road infrastructure the percentage of persons affected by above-standard noise in Poland shows an upward tendency. Consequently, increasingly greater funds need to be allocated to noise protection measures situated in the neighbourhood of the existing and planned road sections. Considering that the main objective of the Programme of the Construction of National Roads in Poland in the years 2014-2023 is to increase the density of motorways (A) and expressways (S) (from 8.5 to 22.7 km/100 km² [3]), the problem will increasingly apply to the surroundings of fast traffic roads.

Government orders [4, 5] regulate the maximum allowable road traffic noise level depending on the urban-planning function of the particular land, but it is not explicitly indicated to what L_{Aeq}^t values the specific standards refer. In practice, often the annual average value of L_{Aeq} instead of its maximum value is assumed (which is dictated by economic considerations). This can lead to inadequate acoustic protection of road surroundings. According to [6], the difference between the L_{Aeq}^t values based on annual average noise levels and the ones based on the maximum noise levels amounts on average to 2.4 dB, ranging from 1.6 dB to 4.0 dB [7]. The assumption of average noise levels from all the days in the year or averages from the working days of the week leads to differences in the sound level which can exceed 1 dB. According to [8], the standard deviation of L_{Aeq} for a two-week measurement amounts to 4.5 dB at the sound level of 50 dB. Although the investigations were carried out on a relatively small sample (13 measuring sections), they clearly indicate the need for an in-depth analysis of the variability of the noise level during the year, especially for higher design standard roads. In the past, because of the few automatic traffic recorders (ATRs) located along roads of class A and S, such analyses were possible only for roads of class GP.

takie analizy były możliwe wyłącznie w odniesieniu do dróg klasy GP. Drugą kwestią mogącą mieć wpływ na złe oszacowanie poziomu hałasu i tym samym niepoprawne zabezpieczenie przed jego skutkami (zagrożenia hałasem wyższym od poziomu dopuszczalnego), jest brak wytycznych w jakich okresach powinno się wykonywać jego pomiary oraz związane z nimi pomiary natężenia ruchu. Także w literaturze trudno znaleźć analizy dotyczące dokładności estymacji L_{Aeq}^p na podstawie pomiarów wyrwykowych czy w oparciu o średni dobowy ruch w roku *SDRR*, będący podejściem często stosowanym w praktyce. Nieliczne publikacje dotyczące tego zagadnienia (głównie odnoszące się do terenów miejskich), wskazują jednoznacznie na konieczność uwzględnienia przy szacowaniu poziomu hałasu niepewności wynikającej z pomiarów. Według [9] istnieje bardzo słaba zależność pomiędzy poziomem dźwięku pomierzonym a wyznaczonym na podstawie *SDRR*. Wartość współczynnika determinacji R^2 wynosi poniżej 0,5, a w przypadku miasta Atlanty zaledwie 0,06. Według [10] średni poziom dźwięku w porze dnia od poniedziałku do piątku jest o 3 dB wyższy niż w soboty i niedziele, natomiast w nocy około 2 dB wyższy w piątki od pozostałych dni tygodnia. Zgodnie z [11] współczynnik korelacji Pearsona pomiędzy poziomem dźwięku wyznaczonym w sezonie letnim i jesienno-zimowym w Toronto wynosi 0,79.

Celem prowadzonych badań i analiz jest zatem określenie skutków eksploatacyjnych przyjmowania do oceny poziomu hałasu średniej w roku wartości L_{Aeq} zamiast wartości maksymalnej. Ponadto celem analiz jest określenie korzystnego przedziału czasu do przeprowadzania pomiarów wyrwykowych umożliwiających wiarygodne szacowanie poziomu hałasu, a także określenie wskaźników przeliczeniowych *SDRR* dla poszczególnych okresów dobowych umożliwiających wyznaczenie poziomu hałasu w sytuacji braku możliwości wykonania bezpośredniego pomiaru ruchu.

2. METODA BADAŃ I ŹRÓDŁO DANYCH

Głównym generatorem hałasu drogowego jest ruch pojazdów. Zgodnie z [12] istnieje silna zależność regresyjna pomiędzy zmierzonymi charakterystykami ruchu na odcinkach poza obszarem zabudowy a równoważnym poziomem dźwięku: współczynnik determinacji $R^2 = 0,978$ wobec $R^2 = 0,826$ w przypadku otoczenia skrzyżowań drogowych [13]. Z tego powodu badania ograniczono do analizy wpływu rzeczywistych wartości natężeń ruchu, zmiennych w ciągu roku, na jego poziom. Na podstawie [14] przyjęto stałą prędkość pojazdów. W analizach wykorzystano dane pochodzące z liczników typu Golden River oraz SICK ze stacji ciągłego pomiaru ruchu (SCPR), zlokalizowanych na drogach klasy A

Another factor which can contribute to incorrect estimates of road traffic noise and so to improper protection against its consequences (noise pollution exceeding the allowable level), is the lack of guidelines as to the periods in which road traffic noise and the associated traffic volume should be measured. Also in the literature it is hard to find analyses concerning the accuracy of L_{Aeq}^t estimates based on sampling measurements or on the annual average daily traffic *AADT*, which approach is often used in practice. The few publications devoted to this problem (mainly concerning urban areas) clearly indicate that the uncertainty stemming from measurements must be taken into account in noise level estimation. According to [9], there is a very weak dependence between the measured sound level and the one determined on the basis of *AADT*. Determination coefficient R^2 amounts to 0.5 and in the case of the city of Atlanta, merely to 0.06. According to [10], the average sound level in daytime from Monday to Friday is 3 dB higher than on Saturdays and Sundays, while in nighttime on Fridays it is about 2 dB higher than on the other days of the week. According to [11], the coefficient of Pearson's correlation between the sound levels determined in respectively the summer season and the autumn-winter season in Toronto amounts to 0.79.

Therefore the aim of the on-going research and analyses is to determine the operational consequences of using annual average L_{Aeq} instead of its maximum value to assess the sound level. Another aim is to determine a time interval favourable for conducting sampling measurements for reliable noise level estimates and for determining *AADT* scaling factors for the particular daily periods, making it possible to determine the noise level when no direct traffic measurements can be carried out.

2. TEST METHOD AND DATA SOURCES

The main generator of road traffic noise is vehicular traffic. According to [12], there is a strong regression dependence between the traffic characteristics measured along road sections outside built-up areas and the equivalent sound level – determination coefficient $R^2 = 0.978$ as compared with $R^2 = 0.826$ in the surroundings of road junctions [13]. For this reason the research was limited to an analysis of the influence of the actual traffic volumes measured during the year on the sound level. On the basis of [14] a constant vehicle speed was assumed. Data acquired from ATRs equipped with Golden River and SICK vehicle counters and located on class A and S roads in Poland were used in the analyses. Automatic

i S na terenie Polski. Jako reprezentatywne wybrano stacje wykonujące ciągłe pomiary ruchu przez minimum 14 dni w miesiącu.

traffic recorders measuring traffic continuously for minimum 14 days per month were selected as the representative ATRs.

Table 1. Location of measuring stations and technical description of traffic data
Tablica 1. Lokalizacja stacji pomiarowych oraz charakterystyka danych ruchowych

Measuring station No. Nr stacji pomiarowej	National route No. Nr DK	Counter type Typ licznika	Locality Miejscowość	AADT [Veh/d] SDRR [P/d]	HGVs u_v [%]	Cross-section Przekrój	Road class Klasa drogi	C [%]
26009	S7l	GR	Podchojny	18 148	22.5	2×2	S	100.0
26087	S7f	GR	Ostojów	21 201	22.9	2×2	S	100.0
06062	S19c	GR	Wola Skromowska	6 144	33.8	1×2	S	96.7
30027	A2	GR	Sługocin	24 206	37.7	2×2	A	98.4
30036	A2	GR	Krzesiny	61 534	29.0	2×2	A	98.6
30038	A2	GR	Kuny	23 155	38.3	2×2	A	100.0
08088	S3a	GR	Marwice	13 231	24.5	2×2	S	97.3
22611	S6	SICK	Gdańsk Osowa	71 499	7.5	2×2	S	99.5
24608	S1	SICK	Łączka	16 696	19.6	2×2	S	98.6
26615	S7k	SICK	Kostomłoty I	15 422	21.2	2×2	S	93.4
12602	A4	SICK	Kraków Południe	50 319 ^{*)}	14.6	2×2	A	99.5
10629	S8	SICK	Pawlikowice	10 638	28.5	2×2	S	98.4
10618	S8	SICK	Jakubów	29 137	24.3	2×2	S	98.6
28619	S7j	SICK	Witramowo	13 491	19.0	2×2	S	98.4
32603	A6	SICK	Szczecin Żydowice	15 486	16.4	2×2	A	99.2
32610	S3a	SICK	Siemczyn / Sitno	13 242	14.7	2×2	S	97.5
14623	S7	SICK	Długowola	31 088	14.0	2×2	S	99.2
14625	S8	SICK	Lucynów	31 109	14.0	2×2	S	97.5
14612	S7	SICK	Kazuń Nowy / Łomna	32 527	5.9	2×2	S	96.7
14624	S8	SICK	Radziejowice	23 560	16.5	2×2	S	98.6
14622	A2a	SICK	Mińsk Mazowiecki	12 986	16.1	2×2	A	98.6
02601	A4	SICK	Jadwisin	28 987	27.3	2×2	A	99.5
02626	A4	SICK	Kąty Wrocławskie	49 011	20.4	2×2	A	97.3
02627	S8e	SICK	Pawłowice Dąbrowa	24 899	19.0	2×2	S	97.5
08628	S3	SICK	Zielona Góra	20 665	15.0	1×2/2×2	S	99.5

^{*)} underrated value on the grounds of an unconsidered in counts acceleration lane on one of traffic directions
zaniżona wartość ze względu na nieuwzględnienie w pomiarach pasa włączenia na jednym z kierunków ruchu

Ostatecznie wykorzystano dane z roku 2015 pozyskane z 18 stacji SICK (5 – A; 13 – S) oraz 7 stacji GR (3 – A; 4 – S), zgodnie z Tabl. 1. W tablicy tej przedstawiono także dane dotyczące wskaźnika kompletności C , wyrażonego jako stosunek liczby dostępnych danych do oczekiwanych. Szczegóły wykonanych badań charakterystyk ruchu przedstawiono w [15]. Ze względu na brak możliwości przeprowadzenia bezpośredniego pomiaru hałasu (konieczny ciągły roczny pomiar) oraz wykazaną zbieżność pomiędzy wynikami rzeczywistych pomiarów L_{Aeq} , a wartościami prognozowanymi uzyskanymi z obecnie zalecanych modeli obliczeniowych, do badań wykorzystano wyłącznie metodę obliczeniową Radosza. Różnice zarówno pomiędzy wartościami rzeczywistymi i obliczeniowymi oraz pomiędzy różnymi modelami, wyniosły poniżej 1 dB [12, 16]. Analizy przeprowadzono w odniesieniu do wszystkich pojazdów monitorowanych w przekroju drogi oraz z uwzględnieniem wyłącznie pojaz-

Ultimately data for 2015 acquired from 18 SICK ATRs (5 – A and 13 – S) and 7 GR ATRs (3 – A and 4 – S), as shown in Table 1, were used. The table also contains data on completion rate C , expressed as a ratio of the number of the available data to that of the expected data. Details of the study of traffic characteristics can be found in [15]. Since it was impossible to carry out a direct noise measurement (noise needs to be continuously measured for a year) and considering the proven convergence between the results of actual measurements of L_{Aeq} and the values forecasted using the currently recommended computational models, solely the Radosz calculation method was used for the investigations. The differences between the actual values and the calculated ones and between the different models are below 1 dB [12, 16]. The analyses were carried out for the road cross section for all vehicles and for only heavy vehicles, twice during twenty four hours,

dów ciężkich, dwukrotnie w ciągu doby: tj. w porze dziennej D, w godzinach 06:00-22:00 oraz w porze nocnej N, w godzinach 22:00-06:00.

3. ANALIZA WRAŻLIWOŚCI POZIOMÓW DŹWIĘKÓW

Ze względu na brak przepisów określających jednoznacznie normy dopuszczalnego poziomu hałasu na drogach, wartości L_{Aeq}^p obliczono na podstawie:

- natężenia ruchu ogółu pojazdów i pojazdów ciężkich dla kolejnych dni w roku, średnia w roku z uzyskanych wielkości – $L_{Aeq_sr_rok}^p$, największa wartość w roku – $L_{Aeq_max}^p$,
- średniego natężenia ogółu pojazdów i pojazdów ciężkich w roku – L_{Aeq}^p oraz przy ograniczeniu do dni od wtorku do czwartku – $L_{Aeq_wt-cz}^p$,
- średniego dobowego ruchu w roku oddzielnie w grupie wszystkich pojazdów i pojazdów ciężkich (wszystkich pojazdów $SDRR$, pojazdów ciężkich z rozkładem na poszczególne pory dnia i nocy $SDRR_C$ – na podstawie opracowania Ruch Drogowy [17] – $L_{Aeq_RD}^p$,
- średniego dobowego ruchu w roku $SDRR$, $SDRR_C$ – rozkład na poszczególne pory dnia i nocy na podstawie wartości średnich wyznaczonych dla każdej ze stacji, osobno dla dni od wtorku do czwartku – $L_{Aeq_SCPR}^p$,
- średniego dobowego ruchu w roku $SDRR$ – rozkład na poszczególne pory dnia i nocy na podstawie wartości średnich wyznaczonych dla każdej stacji osobno dla dni od wtorku do czwartku oraz stałej wartości u_c wyznaczonej jako udział $SDRR_C$ w $SDRR$ – $L_{Aeq_SCPR_u_c}^p$.

Następnie uzyskane wyniki porównano ze sobą. Z przeprowadzonych analiz wyciągnięto następujące wnioski:

- średni w roku poziom hałasu drogowego w punkcie odniesienia można wyznaczać zarówno na podstawie natężeń ruchu z kolejnych dni w roku (ich średniej) jak i przy ograniczeniu do dni tygodnia od wtorku do czwartku (korzystny okres przeprowadzania pomiarów krótkotrwałych ruchu [18, 19]), a także na podstawie średnich wartości w roku (średnia różnica pomiędzy wartościami wyznaczonymi różnymi sposobami poniżej 0,5 dB – Rys. 1a i Rys. 1b),
- średni w roku poziom hałasu w punkcie odniesienia można wyznaczać na podstawie $SDRR$ i $SDRR_C$ oraz średniego rozkładu na poszczególne pory dnia uzyskane dla dni wtorek-czwartek (średnia różnica w stosunku do wartości L_{Aeq}^p wyznaczonej bezpośrednio dla pory N i D wynosi około 0,1 dB – Rys. 1d),

i.e. in daytime D from 06:00 to 22:00 hours and in nighttime N from 22:00 to 06:00 hours.

3. SENSITIVITY ANALYSIS OF NOISE LEVELS

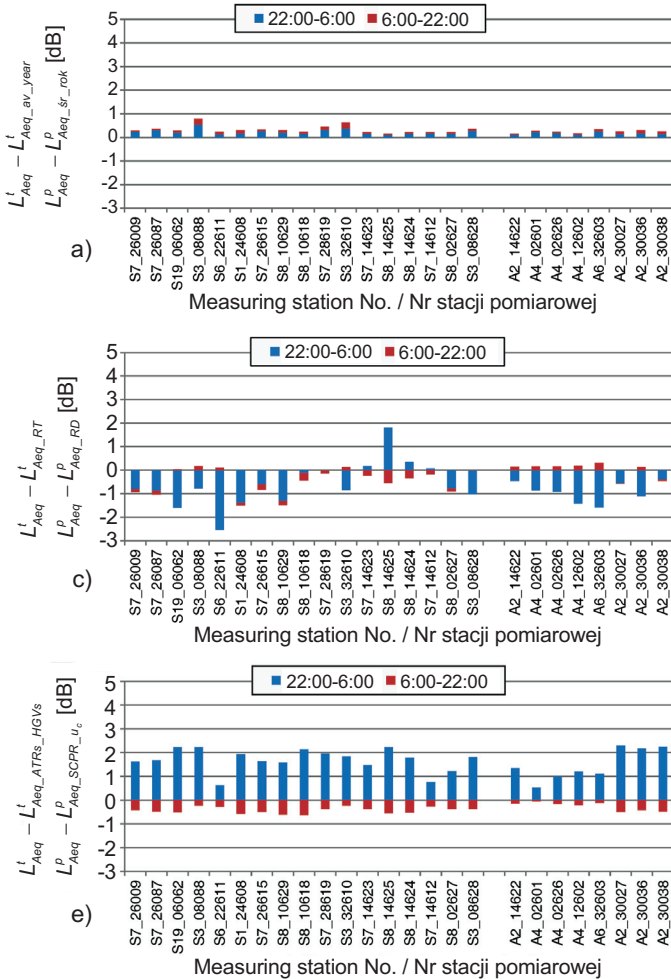
Because of the lack of regulations which would explicitly specify standards of allowable noise level on roads, L_{Aeq}^l values were calculated on the basis of:

- the traffic volume for respectively all vehicles and heavy vehicles for the consecutive days in the year – $L_{Aeq_av}^{l\ year}$ (an annual average of the acquired quantities), $L_{Aeq_max}^l$ (the highest value in the year),
- the average traffic volume for respectively all vehicles and heavy vehicles – L_{Aeq}^l and at weekdays limited to from Tuesday to Thursday – $L_{Aeq_tu-thu}^l$,
- the annual average daily traffic ($AADT$ – all vehicles, $AADT_C$ – heavy vehicles, broken down into the particular periods of the day and night, separately for the group of all vehicles and the group of heavy vehicles) based on the study “Road Traffic” (RT) [17] – $L_{Aeq_RT}^l$,
- the annual average daily traffic $AADT$, $AADT_C$, broken down into the particular periods of the day and night, based on the values determined separately for each of the ATRs for the days from Tuesday to Thursday – $L_{Aeq_ATRs}^l$,
- the annual average daily traffic $AADT$, broken down into the particular periods of the day and night, based on the averages determined separately for each of the ATRs for the days from Tuesday to Thursday and constant value u_c determined as percentage of $AADT_C$ in $AADT$ – $L_{Aeq_ATRs_HGVs}^l$.

Then the obtained values were compared with one another. The following conclusions were drawn from the analyses:

- the annual average level of road traffic noise in the reference point can be determined on the basis of the traffic volumes for both the consecutive days in the year (their average) and weekdays limited to from Tuesday to Thursday (the period favourable for conducting short-duration traffic measurements [18, 19]), and also on the basis of the annual average values (the mean difference between the values determined in the different ways amounts to less than 0.5 dB – Fig. 1a and Fig. 1b),
- the annual average noise level in the reference point can be determined on the basis of $AADT$ and $AADT_C$ and the average for the particular periods of the day, obtained for the days from Tuesday to Thursday (the mean difference between the values and the L_{Aeq}^l value determined directly for nighttime N and daytime D amounts to about 0.1 dB – Fig. 1d),

- średni w roku poziom hałasu w punkcie odniesienia można wyznaczyć na podstawie *SDRR* oraz średniego rozkładu na poszczególne pory dnia od wtorku do czwartku uzyskanemu dla ogółu pojazdów lub na podstawie opracowania RD [17] wyłącznie w odniesieniu do pory D (średnia różnica w stosunku do wartości L_{Aeq}^P wyznaczonej bezpośrednio dla pory D wynosi poniżej 0,5 dB – Rys. 1c i Rys. 1e). W przypadku pory N uzyskano średnią różnicę przekraczającą 1,5 dB przy zakresie różnic przekraczającym 4,0 dB,
- średni w roku poziom hałasu drogowego w punkcie odniesienia różni się od wartości maksymalnej w roku średnio o (odpowiednio pora N i D – Rys. 1f): -2,2 dB (zakres od -1,5 do -4,7) i -1,5 dB (zakres od -1,1 do -2,5). W celu oszacowania wartości maksymalnej w roku należy wyznaczyć wskaźniki przeliczeniowe wartości średnich w roku na szczytowe w roku.



- the annual average noise level in the reference point can be determined on the basis of *AADT* and the average for the particular periods of the day from Tuesday to Thursday, obtained for all vehicles or on the basis of the RT study [17] solely for time D (the mean difference between the values and the L_{Aeq}^t directly determined for time D amounts to less than 0.5 dB – Fig. 1c and Fig. 1e). For time N the difference exceeds 1.5 dB at a difference range of over 4.0 dB,
- the annual average noise level in the reference point differs from the maximum annual value on average by (for respectively N and D – Rys. 1f): -2,2 dB (the range of -1.5 to -4,7) and -1,5 dB (the range of -1.1 to -2.5). In order to estimate the maximum annual value one should determine the factors for scaling the annual averages to peak annual values.

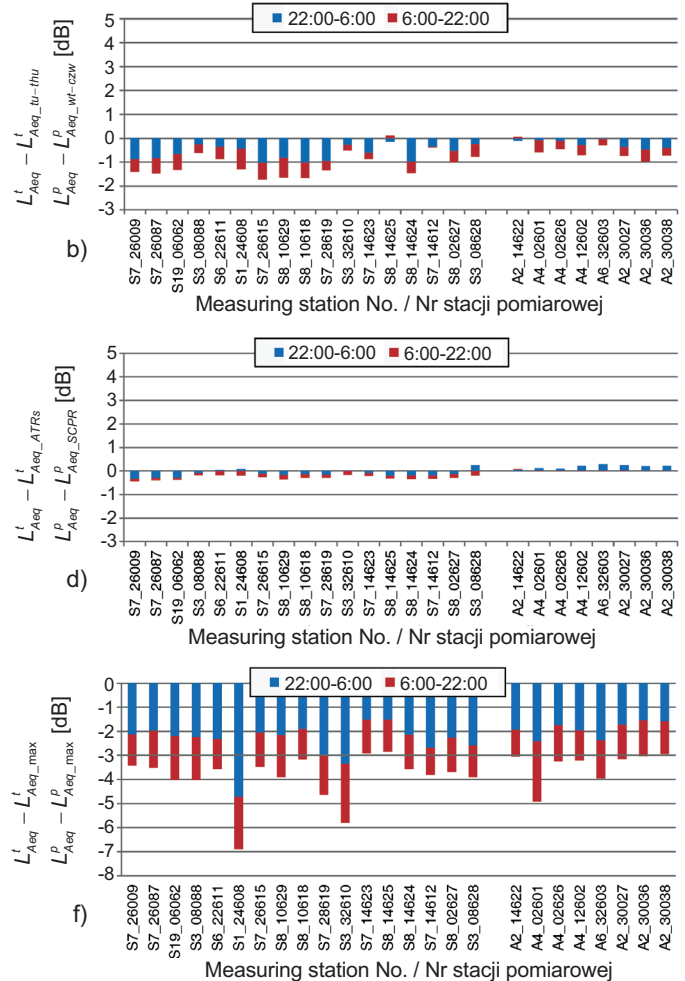


Fig. 1. Differences in the level of road noise at the reference point [dB] determined between the L_{Aeq}^t value and: a) $L_{Aeq_av_year}^t$,

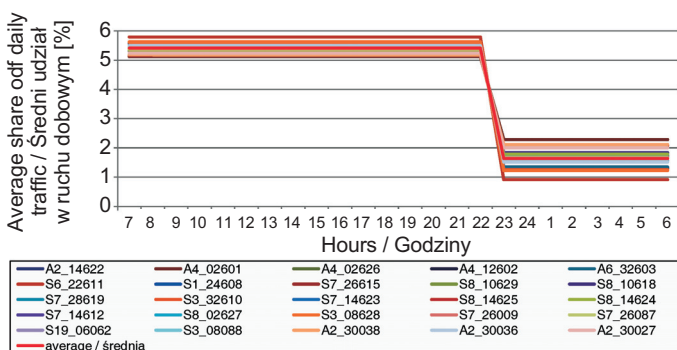
b) $L_{Aeq_tu_thu}^t$, c) $L_{Aeq_RD}^t$, d) $L_{Aeq_ATRs}^t$, e) $L_{Aeq_ATRs_HGVS}^t$, f) $L_{Aeq_max}^t$

Rys. 1. Różnice poziomu hałasu drogowego w punkcie odniesienia [dB] wyznaczone pomiędzy wartością L_{Aeq}^P oraz: a) $L_{Aeq_sr_rok}^P$,

b) $L_{Aeq_wt_czw}^P$, c) $L_{Aeq_RT}^P$, d) $L_{Aeq_SCPR}^P$, e) $L_{Aeq_SCPR_u_c}^P$, f) $L_{Aeq_max}^P$

4. WSKAŹNIKI PRZELICZENIOWE *SDRR* Z UWGLĘNIENIEM PORY DNIA

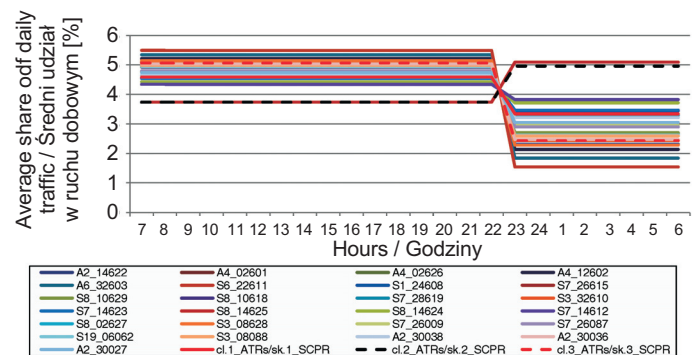
Istnieje możliwość oszacowania średniego rocznego poziomu hałasu drogowego na podstawie *SDRR* i *SDRR_c* oraz – w ograniczonym stopniu – rozkładu na poszczególne pory dnia na podstawie zaleceń zamieszczonych w opracowaniu RD. Zachodzi potrzeba określenia nowych wskaźników przeliczeniowych natężeń dobowych na natężenia odnoszące się do ośmiogodzinnych i szesnastogodzinnych przedziałów czasowych. W tym celu, dla każdej ze stacji, określono w pierwszej kolejności typowe profile zmienności dobowej dla dni wtorek-czwartek, a następnie typowe profile dla wszystkich analizowanych stacji łącznie. Rys. 2 przedstawia przeciętny procentowy udział natężeń godzinowych w przedziałach czasu 22:00-6:00 i 6:00-22:00. Średnia wartość σ dla danych z całego roku wynosi 0,26% dla ogółu pojazdów oraz 0,35% dla pojazdów ciężkich. W przypadku ogółu pojazdów, ze względu na małe zróżnicowanie uzyskanych profili (średnie odchylenie standardowe udziałów w ruchu dobowym natężeń godzinowych σ wynosi odpowiednio dla pory N i D: 0,31% i 0,16%) zdecydowano o utworzeniu jednego typowego profilu zmienności dobowej. W przypadku pojazdów ciężkich, ze względu na znaczne zróżnicowanie uzyskanych profili (Rys. 2b – wartość σ wynosi odpowiednio dla pory N i D: 0,73% i 0,37%) zdecydowano podzielić dane na odcinki ruchowo jednorodne. Do tego celu zastosowano analizę skupień. W algorytmie grupowania metodą *k*-średnich jako wstępne centra skupień wybrano obserwacje tak, by zmaksymalizować odległości skupień. Słuszność takiego podejścia wykazano we wcześniejszych pracach, między innymi w [20] dotyczącej podziału terytorium Polski na grupy jednorodne temperaturowo i ruchowo (ze względu na ruch pojazdów ciężkich). W ten sposób utworzono trzy skupienia różniące się od siebie w możliwie największym stopniu.



a)

4. AADT SCALING FACTORS CONSIDERING TIME OF THE DAY

It is possible to estimate the annual average road traffic noise level on the basis of *AADT* and *AADT_c* and to a limited extent, on the basis of the breakdown into the particular periods of the day by following the recommendations contained in the RT study. There is a need to specify new factors for scaling daily traffic volumes to eight-hour and sixteen-hour traffic volumes. For this purpose typical daily traffic flow variability profiles for the days Monday-Thursday were determined for each of the ATRs and then typical profiles were determined for all the considered ATRs jointly. Fig. 2 shows the average percentage of hourly traffic in the intervals: 22:00-6:00 and 6:00-22:00. The mean value of σ for the data from the whole year amounts to 0.26% for all vehicles and to 0.35% for heavy vehicles. Because of the little difference between the individual profiles obtained for all vehicles (the mean standard deviation σ of the hourly traffic in the daily traffic amounts to 0.31% and 0.16% for respectively time N and D), it was decided to create one typical profile of daily variability. In the case of heavy vehicles, because of the considerable differences between the obtained profiles (Fig. 2b, σ amounts to 0.73% and 0.37% for respectively N and D), it was decided to divide the data into traffic-wise homogenous segments. Cluster analysis was used for this purpose. In the *k*-means clustering algorithm, as the initial clustering centres such observations were selected to maximize the distance between the clusters. The validity of this approach had been proven in earlier works, i.a. in [20] dealing with the division of the area of Poland into temperature-wise and (heavy vehicle) traffic-wise clusters. Three clusters differing from one another to the highest degree were created in this way.



b)

Fig. 2. Average shares of daily traffic from the distinguished periods D and N for ATRs: a) all vehicles, b) heavy vehicles

Rys. 2. Przeciętne udziały godzinowe w ruchu dobowym natężeń z wyróżnionych okresów D i N dla SCPR: a) ogółu pojazdów, b) pojazdów ciężkich

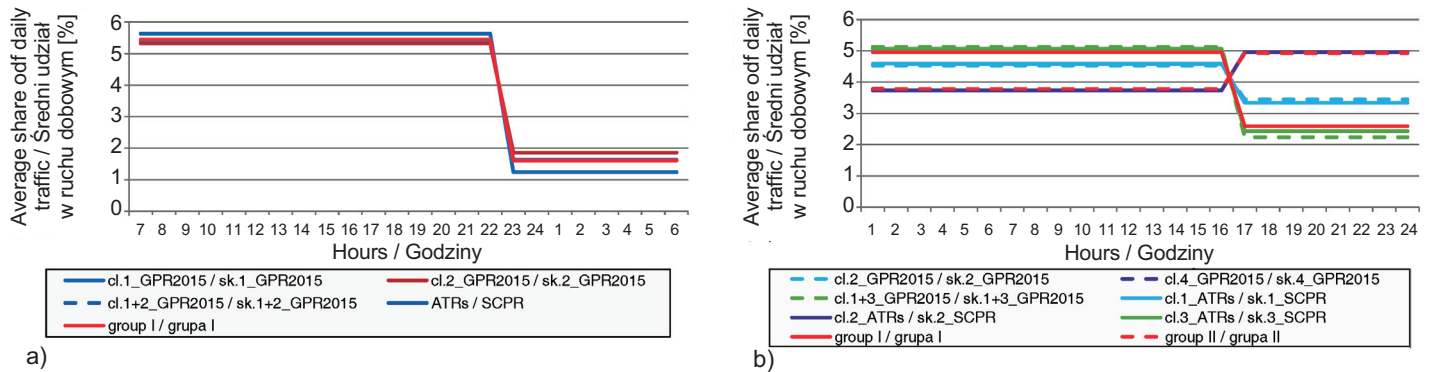


Fig. 3. Average shares of daily traffic from distinguished periods D and N for data from GPR2015: a) all vehicles, b) heavy vehicles
 Rys. 3. Przeciętne udziały godzinowe w ruchu dobowym natężeń z wyróżnionych okresów D i N dla danych pochodzących z GPR2015: a) ogółu pojazdów, b) pojazdów ciężkich

W celu zwiększenia bazy danych analogiczne analizy wykonano na danych pochodzących z pomiarów dobowych wykonanych w ramach GPR2015. Ze względu na dużą próbę (136 odcinków dróg klasy A i 219 odcinków klasy S) wyniki przedstawiono jako średnie uzyskane dla wynikowych skupień. Ze względu na zbliżone średnie, uzyskane dla skupień 1 i 2 – ogół pojazdów oraz 1 i 3 – pojazdy ciężkie, połączono je jak pokazuje Rys. 3. Ze względu na dużą zbieżność uzyskanych wyników zarówno dla danych pochodzących ze SCPR jak i z GPR2015 ostateczne typowe profile określono łącznie dla wszystkich danych. W przypadku pojazdów ciężkich ze względu na brak jednoznacznych cech klasyfikujących odcinki dróg do poszczególnych skupień oraz zbliżone średnie dla większości skupień, zdecydowano o podziale na dwie grupy jednorodnie ruchowo tj. na odcinki należące do skupienia 4 (GPR2015 – 21 przypadków) i stację S8_14625 – grupa II oraz pozostałe odcinki – grupa I. Odcinki należące do grupy II zlokalizowane są głównie w ciągu S8 i A2 i leżącym w bezpośredniej strefie oddziaływania Warszawy oraz w przypadku S8 na wschód od niej. W przypadku ogółu pojazdów utworzono jedną grupę. Statystyki opisowe poszczególnych grup przedstawiono w Tabl. 2. Należy zauważyć, że zastosowana metodyka pozwala na uzyskanie większej dokładności szacunków niż stosowanie zaproponowanych w [21] stabelaryzowanych wartości wskaźników przeliczeniowych pomiędzy poziomem dźwięku wyznaczonym w różnym okresie czasu (np. poziom dźwięku w nocy wyznacza się jako poziom dźwięku w porze dnia minus 7,1 dB niezależnie od wielkości natężenia ruchu). W celu weryfikacji uzyskanych wskaźników przeliczeniowych wyznaczono podstawowy poziom hałasu drogowego w punkcie odniesienia na podstawie $SDRR$ oraz tychże typowych wskaźników $L_{Aeq_TP}^p$. Uzyskane wielkości przyrównano analogicznie jak we wcześniejszych analizach do wartości L_{Aeq}^p . Na podstawie $SDRR$ średnia różnica pomiędzy wartością

In order to expand the database similar analyses were carried out for the data coming from the daily measurements carried out as part of GPR2015 (General Traffic Survey 2015). Because of the large sample size (136 class A road sections and 219 class S road sections) the results were presented as the means obtained for the output clusters. Since the means obtained for clusters 1 and 2 (all vehicles) and clusters 1 and 3 (heavy vehicles) were very similar, they were combined as shown in Fig. 3. Considering the high convergence between the ATR data and the GPR2015 data, the ultimate typical profiles were determined for all the data jointly. In the case of heavy vehicles, because of no distinct features which would classify the road sections into the particular clusters and since the mean values were similar for all the clusters it was decided to divide the data into two traffic-wise homogenous groups, i.e. into road sections belonging to cluster 4 (GPR2015 – 21 cases) and ATR S8_14625 – group II and the other road sections – group I. The sections in group II are located mainly on S8 (east of the Warsaw influence zone) and A2 (within the Warsaw influence zone). In the case of all vehicles, one group was created. Descriptive statistics for the particular groups are presented in Table 2. It should be noted that this methodology yields more precise estimates than the ones obtained using the tabularized scaling factor values proposed in [21] for the sound levels determined in different time periods (e.g. a nighttime sound level is determined as a daytime sound level minus 7.1 dB, regardless of the traffic volume). In order to verify the determined scaling factors the basic road traffic noise level in the reference point was determined on the basis of $AADT$ and the scaling typical factors $L_{Aeq_TP}^t$. As in the earlier analyses, the obtained values were compared with the L_{Aeq}^t values. On the basis of $AADT$ the mean difference between the L_{Aeq}^p directly

wyznaczoną L_{Aeq}^P bezpośrednio dla pór N i D wynosi odpowiednio: 0,1 dB (zakres od -2,3 dB do 1,1 dB) i -0,2 dB (zakres od -0,5 dB do 0,1 dB), co pokazuje Rys. 4. Można zatem uznać, że przy wykorzystaniu opracowanych wskaźników przeliczeniowych uzyskuje się wystarczającą dokładność szacowania średniego w roku poziomu hałasu drogowego zarówno w porze dziennej jak i nocnej.

Table 2. Descriptive statistics of individual groups of daily variation

Tablica 2. Statystyki opisowe poszczególnych grup zmienności dobowej

Time of the day Pora dnia	All vehicles Ogół pojazdów		Heavy vehicles Pojazdy ciężkie			
	Group / Grupa I		Group / Grupa II		Group / Grupa III	
	Av./śr. [%]	σ [%]	Av./śr. [%]	σ [%]	Av./śr. [%]	σ [%]
6:00-22:00	5.45	0.61	4.96	0.76	3.78	0.61
22:00-6:00	1.61	0.51	2.59	0.76	4.94	0.77

5. WSKAŹNIKI PRZELICZENIOWE SZCZYTOWYCH NATĘŻEŃ W ROKU

Ze względu na duże różnice pomiędzy średnim i maksymalnym w roku poziomem hałasu drogowego (w przypadku pory N nawet ponad 4 dB) istnieje potrzeba określenia dodatkowych wskaźników przeliczeniowych wartości średnich rocznych natężeń ($SO_{p,RR}$ – w porach D i N) na średnio największe w roku ($SO_{p,RMD}$ – dla dni tygodnia w miesiącu i roku, oraz pór dnia D i N). W tym celu określono dla każdej ze stacji średni udział pory dnia w tygodniu (suma natężeń w godzinach 06:00-22:00 lub 22:00-06:00) o największym natężeniu ruchu w każdym z miesięcy w $SO_{p,RR}$. Ze względu na znacznie odbiegające od przeciętnych wyniki pomiarów bezpośrednio związane z dniami ustawowo wolnymi od pracy, pominięto je w analizach. Następnie uśredniono uzyskane wyniki w grupie dróg, wg opracowania RD o gospodarczym charakterze przenieszonego ruchu (pominięto stacje: S3_32610, S3_08088, S7_28619, S3_08628, A6_32603). W ten sposób uzyskano wskaźniki przeliczeniowe $SO_{p,RR}$ na $SO_{p,RMD}$ wynoszące odpowiednio (Rys. 5): pora N – 1,7; pora D – 1,3. Te wskaźniki można stosować także w odniesieniu do $SDRR$ razem ze wskaźnikami opracowanymi w rozdziale 4.

Następnie wyznaczono wartość poziomu hałasu drogowego, jak w przypadku $L_{Aeq_TP}^P$, przy czym zamiast wyłącznie wartości $SDRR$ przyjęto wartość $SDRR$ pomnożoną przez uzyskany wskaźnik przeliczeniowy $L_{Aeq_SORMD}^P$ i przyrównano ją do wartości maksymalnej w roku $L_{Aeq_max}^P$. Średnia różnica

determined for nighttime N and daytime D amounts to respectively 0.1 dB (the range of -2.3 dB to 1.1 dB) and -0.2 dB (the range of -0.5 dB to 0.1 dB), as shown in Fig. 4. Therefore it can be concluded that using the scaling factors the annual average road traffic noise level for both daytime and nighttime is estimated with sufficient accuracy.

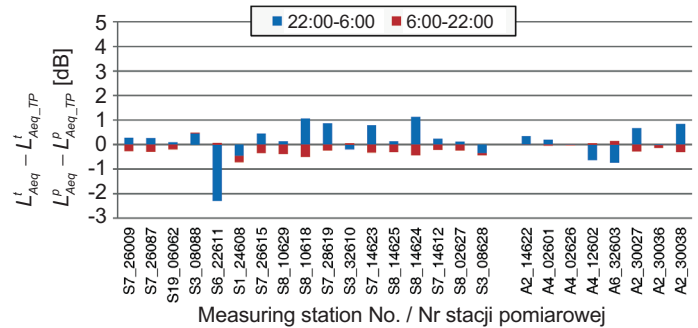


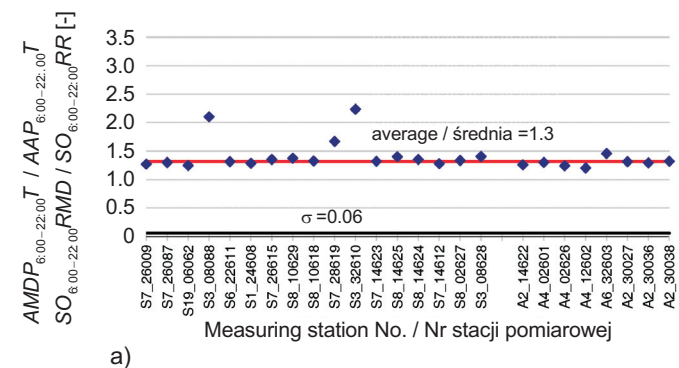
Fig. 4. Differences in the level of road noise at the reference point [dB] determined between the value of L_{Aeq}^t and $L_{Aeq_TP}^t$
Rys. 4. Różnice poziomu hałasu drogowego w punkcie odniesienia [dB] wyznaczone pomiędzy wartością L_{Aeq}^P a $L_{Aeq_TP}^P$

5. SCALING FACTORS OF THE PEAK TRAFFIC INTENSITY PER YEAR

Because of the large differences (for nighttime amounting to as much as over 4 dB) between the annual average noise level and the annual peak noise level it is necessary to determine additional factors for scaling the annual average noise levels ($AAP_{i,T}$ – in daytime D and nighttime N) to averagely the highest annual noise levels ($AMDP_{i,T}$ – for weekdays in the month and in the year and for time D and time N). Therefore for each of the ATRs the average percentage of the time of the day in the week (the sum of noise levels in the hours 06.00-22.00 or 22.00-06.00) with the highest traffic intensity in each of the months in $AAP_{i,T}$ was determined. Test results of measurements directly connected with statutory holidays have been omitted on the grounds of their values considerably diverge from average levels. Then the obtained results were averaged for the group of roads carrying economic traffic acc. to the RT study (ATRs: S3_32610, S3_08088, S7_28619, S3_08628, A6_32603 were omitted). In this way factors for scaling $AAP_{i,T}$ to $AMDP_{i,T}$, amounting to respectively (Fig. 5): 1.7 for N and 1.3 for D, were obtained. The scaling factors, together with the factors developed in section 4, can also be applied to $AADT$.

Then the road traffic noise level was determined similarly as in the case of $L_{Aeq_TP}^t$, but instead of solely the $AADT$ value, the $AADT$ value multiplied by the obtained scaling factor $L_{Aeq_AMDPT}^t$ was assumed and compared with the

pomiędzy oboma wartościami wynosi odpowiednio: pora N 0,2 dB (zakres od -2,2 do 2,0 – przy pominięciu stacji S6_22611 oraz biorąc pod uwagę drugą największą wartość w roku w przypadku stacji S1_24608 zakres od -0,9 do 1,4); pora D 0,2 dB (zakres od -0,4 do 1,3), co daje akceptowalne wyniki. Przyjęcie opracowanych typowych wskaźników przeliczeniowych (rozkład $SDRR$ i $SDRR_C$ na poszczególne pory dnia oraz przejście na $SO_P RMD$) pozwala szacować poziom hałasu odpowiadający średnio dwunastu (dla pory N) i trzynastu (dla pory D) szczytowym okresom w roku (średnie wartości natężeń w przypadku pory N lub D uszeregowane od wartości największych do najmniejszych w roku – Rys. 6). Jednocześnie w przypadku 80% (dla pory N) i ponad 60% (dla pory D) stacji uzyskuje się wartości natężeń większe od szacowanych – mniej niż dziesięć razy w roku (tj. w przypadku poniżej 3% wszystkich okresów w roku).



maximum annual value $L_{Aeq_max}^T$. The average difference between the two values amounts to respectively 0.2 dB (the range of -2,2 to 2.0 when ATR S6_22611 is omitted and the range of -0.9 to 1.4 when the second highest annual value is assumed for ATR S1_24608) for nighttime N and to 2 dB (the range of -0.4 to 1.3) for daytime D, which means that the results are acceptable. Adopting the developed typical scaling factors ($AADT$ and $AADT_C$ broken down into the particular periods of the day, and the conversion to $AMDP_T$) one can estimate the noise level corresponding on average to twelve (for time N) and thirteen (for time D) peak periods in the year (the average noise levels for time N or D, arranged in a descending order – Fig. 6). At the same time for 80% (for time N) and over 60% (for time D) of the ATRs one gets values higher than the ones estimated fewer than ten times per year (below 3% of all the periods in the year).

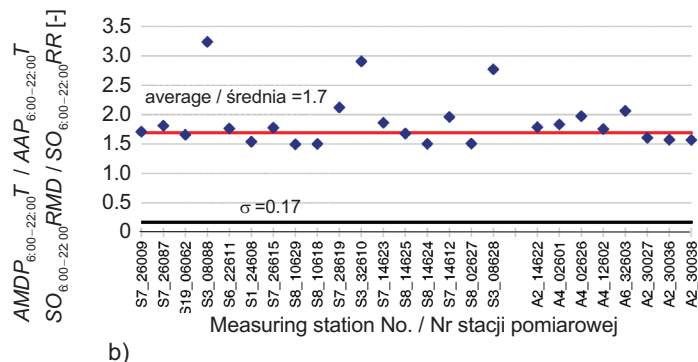


Fig. 5. Share of the average-highest daily traffic volumes in AAP_T : a) time of the day D, b) time of the night N
Rys. 5. Udział średnio największych dobowych natężeń ruchu w $SO_P RR$: a) pora dnia D, b) pora nocy N

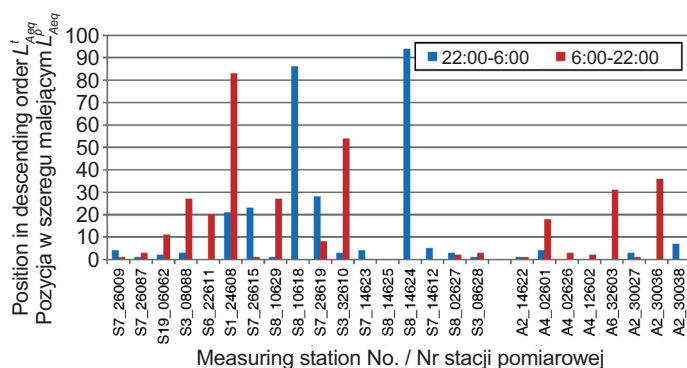


Fig. 6. Position in a descending order of consecutive periods in the year with the highest level of road noise L_{Aeq}^T
Rys. 6. Pozycja w szeregu malejącym kolejnych okresów w roku o największym poziomie hałasu drogowego L_{Aeq}^P

6. WYBÓR OKRESU PRZEPROWADZANIA POMIARÓW RUCHU DO OCENY HAŁASU DROGOWEGO

W przypadku oceny hałasu drogowego metodą obliczeniową, której podstawę (zgodnie z wcześniejszymi ustaleniami)

6. CHOOSING PERIODS OF CARRYING OUT MEASUREMENTS OF TRAFFIC VOLUMES FOR ASSESSMENT OF TRAFFIC NOISE

When road traffic noise is to be assessed using the calculation method based (as determined earlier) on $AADT$, the road traffic noise measurement should be carried out in a period proper for such an assessment. According to [18],

stanowi *SDRR*, pomiar ruchu powinien przypadać w okresie odpowiednim do takiego szacowania. Według zaleceń [18] w sytuacji braku możliwości przyporządkowania do przekroju pomiarowego referencyjnej stacji ciągłych pomiarów ruchu, pomiar powinien być dwudziestoczworogodzinny i prowadzony we wtorki, środy i czwartki w okresie od 1 kwietnia do 15 czerwca lub od 10 września do 31 października, poza tygodniami, w których występują święta. W pracy [19] wykazano, że dla danych pochodzących z tego okresu (z wyjątkiem kwietnia) uzyskuje się nie tylko największą dokładność szacowanego *SDRR*, ale także najmniejsze zróżnicowanie kolejnych dobowych natężeń ruchu bez względu na rodzaj pojazdów. Występuje nawet ponad dwukrotna redukcja błędu w stosunku do pomiaru w innych okresach. Okres ten zawiera się także w zalecanym czasie przeprowadzania pomiaru hałasu drogowego. Zgodnie z [22] jest to pomiar dwudziestoczworogodzinny, w miesiącach od kwietnia do października, w roboczych dniach tygodnia, tj. od godziny 22:00 w poniedziałek do godziny 06:00 w piątek, z wyłączeniem wszystkich dni świątecznych i wolnych od pracy. Zastosowanie procedury obliczeniowej wymaga weryfikacji modelu za pomocą bezpośredniego pomiaru poziomu hałasu w tych samych warunkach dot. parametrów źródła i rozprzestrzeniania się dźwięku [4, 23]. Wykonując zatem bezpośredni pomiar hałasu w tym okresie, jego wynik można łatwo sprowadzić do wartości średniej w roku, proporcjonalnie w stosunku do pomierzonej wartości natężeń ruchu i *SDRR*.

Sprawa komplikuje się w sytuacji szacowania nie średniego a szczytowego w roku poziomu dźwięku ze względu na brak w literaturze fachowej wskazań dotyczących wykonywania pomiarów. Dlatego też istnieje potrzeba określenia odpowiednich dni i miesięcy pomiarowych. W tym celu podzielono uzyskane dane na trzy przedziały poziomu dźwięku: średni w roku $L_{Aeq}^p \pm 1$ dB, poniżej średniego $(L_{Aeq}^p - 1)$ dB i powyżej średniego $(L_{Aeq}^p + 1)$ dB. Analizy ograniczono do danych pochodzących ze stacji SICK (najbardziej wiarygodne dane) zlokalizowanych na odcinkach dróg o gospodarczym charakterze przenoszonego ruchu, znajdujących się poza strefą oddziaływania przejść granicznych. W Tabl. 3 przedstawiono liczbę przypadków występujących w każdym z wydzielonych przedziałów, dla przedziału $L_{Aeq}^p \pm 1$ dB podano procentowy udział w całości. Średnio około 60% przypadków w porze N i 70% w porze D ma wartości zbliżone do średnich w roku, natomiast po 20% przypadków występuje w przedziale $L_{Aeq}^p \pm 1$ dla pory N i $L_{Aeq}^p - 1$ dla pory D. Pozostałe 10% przypadków dla pory D występuje w przedziale $L_{Aeq}^p + 1$. Przypadki należące do przedziału $(L_{Aeq}^p - 1)$, odpowiadają okresowi w roku, w którym nie powinny być przeprowadzane pomiary hałasu, także w celu określenia

when an ATR cannot be assigned to the measuring cross section, the measurement should be conducted for twenty four hours on Tuesdays, Wednesdays and Thursdays in the period from 1 April to 15 June or from 10 September to 31 October, except for the weeks in which holidays occur. It was shown in [19] that for the data coming from this period (except for April) not only the highest accuracy of the *AADT* estimate, but also the smallest differences between the consecutive daily traffic volumes are obtained, regardless of the type of vehicles. More than a twofold reduction in the error in comparison with the measurements in the other periods occurs. This period is within the time recommended for carrying out the road traffic noise measurement. According [22], it is a twenty-four hour measurement in the months from April to October, on working weekdays, i.e. from 22:00 hours on Monday to 06.00 hours on Friday, excluding all holidays and non-working days. In order to use the calculation procedure one must verify the model through a direct noise level measurement in identical conditions as regards source parameters and sound propagation [4, 23]. Thus when one carries out a direct noise measurement in this period, its result can be easily reduced to the annual average, proportionally to the measured traffic intensity and *AADT*.

This becomes complicated when not the annual average noise level, but the peak annual noise level is to be estimated, which is due to the fact that in the literature on the subject there are no recommendations concerning the relevant measurements. Therefore proper measuring days and months need to be specified. For this purpose the data were divided into three sound level intervals: annual average $L_{Aeq}^t \pm 1$ dB, below average $(L_{Aeq}^t - 1)$ and above average $(L_{Aeq}^t + 1)$. The analyses were limited to the SICK ATRs (the most reliable data) located on road sections carrying economic traffic, outside the zone of influence of border crossing. Table 3 shows the number of cases in each of the intervals. In the case of interval $L_{Aeq}^t \pm 1$ dB, this number is expressed as a percentage of the total. On average about 60% of the cases in time N and 70% in time D show values close to the annual averages, while 20% of the cases occur in interval $L_{Aeq}^t \pm 1$ for time N and the same percentage in interval $L_{Aeq}^t - 1$ for time D. The remaining 10% of the cases for time D are within interval $L_{Aeq}^t + 1$. The cases belonging to interval $(L_{Aeq}^t - 1)$ correspond to the periods in the year when no noise measurements should be conducted, including measurements aimed at determining annual averages. These are, i.a., the winter months, public holidays, Saturdays and Sundays. The

średnich wartości w roku. Są to między innymi miesiące zimowe, dni ustawowo wolne od pracy, soboty, niedziele. Przypadki należące do przedziału $> L_{Aeq}^p + 1$, odpowiadają okresowi w roku odpowiedniemu do przeprowadzania pomiarów hałasu w celu określenia szczytowych wartości w roku. W Tabl. 4 przedstawiono liczbę przypadków należących do poszukiwanego przedziału w poszczególnych miesiącach. Z analiz usunięto dni ustawowo wolne od pracy oraz bezpośrednio z nimi związane – czas, w którym nie powinny być przeprowadzane pomiary.

cases belonging to interval $> (L_{Aeq}^t + 1)$ correspond to the period in the year which is suitable for conducting noise measurements aimed at determining peak annual values. Table 4 shows the number of cases belonging to the sought interval in the particular months. Public holidays and the adjacent days – the time when measurements should not be conducted – were not included in the analyses.

Table 3. The number of cases into interval in a range of the sound level values lower and higher than the $L_{Aeq}^t \pm 1$ dB
Tablica 3. Liczba przypadków w przedziale o wartościach poziomu dźwięku mniejszych i większych od wartości $L_{Aeq}^p \pm 1$ dB

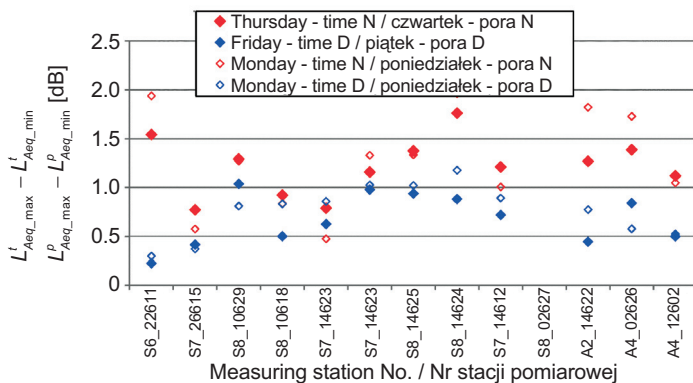
Measuring station No. Nr stacji pomiarowej	$< (L_{Aeq}^t - 1)$ [-], $< (L_{Aeq}^p - 1)$ [-]		$> (L_{Aeq}^t + 1)$ [-], $> (L_{Aeq}^p + 1)$ [-]		$L_{Aeq}^t \pm 1$ [%], $L_{Aeq}^p \pm 1$ [%]	
	22:00-6:00	6:00-22:00	22:00-6:00	6:00-22:00	22:00-6:00	6:00-22:00
S6_22611	56	88	40	21	73.3	69.8
S7_26615	71	99	151	90	34.6	44.6
S8_10629	80	117	131	149	41.2	26.1
S8_10618	66	102	145	44	41.4	59.5
S7_14623	73	53	55	12	64.4	82.0
S8_14625	32	31	7	12	89.0	88.1
S8_14624	76	77	114	42	46.8	66.8
S7_14612	66	28	30	10	73.1	89.4
S8_02627	67	76	26	21	74.1	73.0
A2_14622	54	26	31	1	76.4	92.5
A4_02626	60	76	38	6	72.6	77.1
A4_12602	66	97	43	8	69.8	70.9

Table 4. The number of cases in particular months of the year (I-XII) in a range of the sound level values higher than the $L_{Aeq}^t + 1$ dB

Tablica 4. Liczba przypadków w poszczególnych miesiącach w roku (I-XII) o wartościach poziomu dźwięku większych od wartości $L_{Aeq}^p + 1$ dB

Measuring station No. Nr stacji pomiarowej	Time of the night N / Pora nocy N												Time of the day D / Pora dnia D									
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
S6_22611	0	0	0	0	6	19	12	0	0	1	0	0	0	0	1	8	7	0	0	0	0	
S7_26615	0	13	14	12	16	21	20	18	5	12	11	1	2	6	17	18	13	21	5	2	0	
S8_10629	0	9	9	10	15	7	13	18	17	13	12	8	11	13	17	14	14	21	21	15	8	
S8_10618	1	16	12	11	14	13	10	18	17	13	12	0	0	1	1	0	1	9	13	9	6	
S7_14623	0	0	3	1	10	10	13	5	4	2	0	0	0	0	0	1	2	4	3	0	0	
S8_14625	0	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	3	3	
S8_14624	0	8	7	6	9	6	15	18	17	13	12	0	0	0	0	2	2	8	9	9	9	
S7_14612	0	0	0	0	2	10	13	0	0	1	0	0	0	0	0	3	2	1	1	0	0	
S8_02627	0	2	2	0	1	1	4	1	3	4	5	0	0	0	0	0	0	5	4	3	6	
A2_14622	0	0	0	0	5	9	8	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
A4_02626	7	4	0	3	3	7	4	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	
A4_12602	6	2	4	2	2	7	10	3	0	2	1	0	0	0	2	1	1	1	0	0	0	
Average / Średnia	1	5	4	4	7	9	10	7	5	5	5	1	1	2	3	4	4	6	5	3	3	

Biorąc pod uwagę możliwość wykonania ciągłego dwudziestoczterogodzinnego pomiaru, dominującymi miesiącami w roku, w których występują najczęściej wartości w poszukiwanym przedziale, są miesiące lipiec i sierpień. Wykonując analogiczne analizy dla dnia tygodnia w dominującym miesiącu uzyskano dominujący dzień tygodnia (dzień, w którym występują najczęściej wartości w poszukiwanym przedziale). Jest to w przypadku pory N czwartek (lub poniedziałek) natomiast dla pory D piątek (lub poniedziałek). Dla danych pochodzących z tego okresu (miesiące: lipiec i sierpień, dni: od 22:00 w czwartek do 22:00 w piątek) uzyskano najmniejszą wartość obliczeniową poziomu dźwięku $L_{Aeq_min}^P$ mniejszą od wartości maksymalnej w roku (w przypadku stacji 02627, 02626 i 14622, ze względu na to, że maksymalna wartość wypada w okresie związanym z dniami wolnymi i znacznie przewyższa wartości w kolejnych godzinach) średnio o: pora N – 1,2 dB (zakres od 0,8 do 1,8 – około 70% poniżej wartości 1,3); pora D – 0,7 (zakres od 0,2 do 1,0). Ilustrację uzyskanych wyników przedstawia Rys. 7. W przypadku danych z poniedziałku od godz. 06:00 do wtorku godz. 06:00 (lipiec i sierpień), uzyskano średnią różnicę określoną analogicznie jak w dniach czwartek–piątek, wynoszącą odpowiednio: pora N – 1,3 dB (zakres od 0,5 do 2,0 – około 70% poniżej wartości 1,3); pora D – 0,8 (zakres od 0,3 do 1,2 – ponad 90% poniżej wartości 1,0).



7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzone analizy wrażliwości poziomu dźwięku wykazały, że zarówno średni w roku jak i średnio największy w roku poziom hałasu drogowego można szacować na podstawie *SDRR*. W przypadku możliwości wykonania pomiarów krótkotrwałych (dwudziestoczterogodzinnych zgodnie z [18]), do rozkładu ruchu w poszczególnych porach dnia można zastosować wprost średnio-godzinny, procentowy udział w ruchu dobowym natężeń z wyróżnionych okresów N i D uzyskany z pomiarów w dniach od wtorku do czwartku. Ze względu na duże zróżnicowanie wartości poziomu dźwięku, wyznaczonych przy użyciu u_c , w odniesieniu do

Considering the possibility of conducting a continuous twenty four-hour measurement, the dominant months in the year, in which values most often occur in the sought interval, are July and August. Similar analyses were carried out for the weekdays in the dominant month. The dominant weekday (the day on which values most often occur in the sought interval) was found to be Thursday (or Monday) for time N and Friday (or Monday) for time D. For the data coming from this period (the months July and August, the days from 22:00 hours on Thursday to 22:00 hours on Friday) the lowest noise level value $L_{Aeq_min}^L$ was obtained. It was lower than the maximum annual value (for ATRs: 02627, 02626 and 14622 due to the fact that the maximum value falls in the period associated with public holidays and it significantly exceeds the values in the consecutive hours) on average by 1.2 dB (the range of 0.8 to 1.8 – about 70% below the value of 1.3) for time N and by 0.7 (the range of 0.2 to 1.0) for time D. The results are illustrated in Fig. 7. In the case of the data from Monday from 06:00 hours to Tuesday 06:00 hours (July and August) the average difference, determined similarly as on the days Thursday-Friday, amounted to respectively 1.3 dB (the range of 0.5 to 2.0 – about 70% below the value of 1.3) for time N, and 0.8 (the range of 0.3 to 1.2 – over 90% below the value of 1.0) for time D.

Fig. 7. Difference in the level of road noise at the reference point between the highest value in the year and the lowest one from the analyzed period [dB]

Rys. 7. Różnica w poziomie hałasu drogowego w punkcie odniesienia pomiędzy wartością największą w roku a najmniejszą z analizowanego okresu [dB]

7. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The analyses of sound level sensitivity have shown that both the annual average road traffic noise level and the annual average peak noise level can be estimated on the basis of *AADT*. If it is possible to carry out short-duration (twenty-four hour long acc. to [18]) measurements, for a traffic breakdown into the particular periods of the day, one can use directly the average hourly percentage of the noise levels from the distinguished periods N and D in the daily traffic, obtained from measurements carried out on the days from Tuesday to Thursday. Because of the large differences between the sound level values determined

doby oraz do poszczególnych okresów doby, w analizach należy uwzględnić także dobowe profile zmienności pojazdów ciężkich, a nie tylko udział pojazdów ciężkich w *SDRR*. W przypadku braku możliwości przeprowadzenia pomiaru ruchu należy zastosować wskaźniki przeliczeniowe z Tabl. 2 (w przypadku pory D można stosować także wskaźniki zamieszczone w pracy [17]). Należy także zwrócić uwagę, że tylko dla 60% okresów N i 70% okresów D uzyskuje się wartości poziomu dźwięku zbliżone do wartości średnich w roku (± 1 dB), a dla około 20% okresów N i 10% okresów D uzyskuje się wartości o ponad 1 dB większe. W celu przejścia z wartości średniej w roku do średnio największej należy użyć wskaźników przeliczeniowych *SDRR* na *SO_pRMD* (pora N – 1,7; pora D – 1,3). Na Rys. 8 przedstawiono rzeczywisty, obliczeniowy podstawowy poziom hałasu drogowego w porze N i D (wartości średnia i maksymalna). Zaznaczono odpowiadający mu poziom hałasu, szacowany przy wykorzystaniu opracowanych wskaźników przeliczeniowych, w przypadku wartości średniej dla pory D, także dodatkowo przy wykorzystaniu wskaźników zamieszczonych w opracowaniu RD [17]. Średnia bezwzględna różnica pomiędzy wartością rzeczywistą a szacowaną wynosi 0,2 dB. Największa różnica w grupie dróg zamiejskich o gospodarczym charakterze przenoszonego ruchu (z wyłączeniem dróg zlokalizowanych w strefie przygranicznej) nie przekracza 1 dB, co daje akceptowalną dokładność.

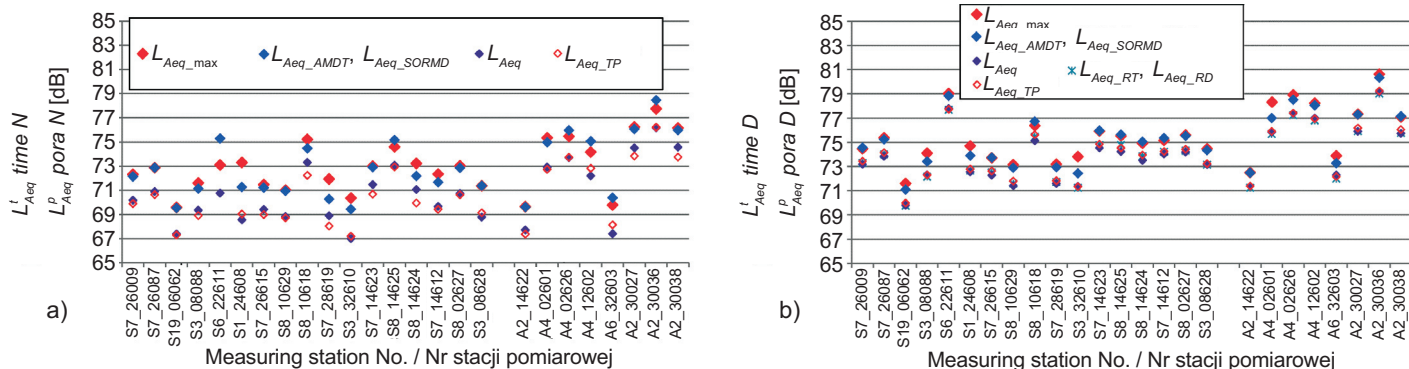


Fig. 8. The noise level at the reference point depending on the reliable traffic volume: a) time of the night N, b) time of the day D
Rys. 8. Poziom hałasu w punkcie odniesienia w zależności od przyjętego miarodajnego natężenia ruchu: a) pora N, b) pora D

Analizując zakres zmienności poziomu hałasu w ciągu roku stwierdzono, że największy obliczeniowy poziom hałasu uzyskuje się w przypadku pory N w lipcu i sierpniu (w poniedziałki i czwartki), natomiast w przypadku pory D od lipca do października (w poniedziałki i piątki). Biorąc pod uwagę zalecany w [22] termin i zakres wykonywania pomiarów hałasu i wykonując dwukrotnie dwudziestoczegodzinnny pomiar w godzinach od 22:00 w czwartek do 22:00 w piątek w lipcu i sierpniu (z wyjątkiem dni ustawowo wolnych od pracy i bezpośrednio z nimi związanych), uzyskuje

using HGVs, as regards the day and the particular periods of the day, also the daily profiles of heavy vehicle variability, and not only the percentage of heavy vehicles in *AADT*, should be taken into account. If it is not possible to carry out a traffic measurement, one should use the scaling factors contained in Table 2 (in the case of time D; also the factors included in the study [17] can be used). It should be noted that only for 60% of the N periods and 70% of the D periods sound level values close to the annual averages (± 1 dB) are obtained, whereas for about 20% of the N periods and 10% of the D periods the obtained values are over 1 dB higher. In order to convert the annual average to the highest average one should use the factors scaling *AADT* to *AMD_{pT}* (1.7 for time N and 1.3 for time D). Figure 8 shows the actual calculated basic road traffic noise in time N and D (the average value and the maximum value). It also includes the corresponding noise level estimated using the developed scaling factors (the average for time D) and the one obtained using the factors included in the RT study [17]. The average absolute difference between the actual value and the estimated one amounts to 0.2 dB. In the group of interurban roads carrying economic traffic (excluding roads located in the border zone) the largest difference does not exceed 1 dB, which is an acceptable accuracy.

An analysis of the noise level variability during the year showed that the highest calculated noise level is obtained for July and August (on Mondays and Thursdays) in time N and for the July-October period (Monday) in time D. Taking into account the recommended time and range of noise measurements [22] and carrying twice a twenty-four hour measurement in the hours from 22.00 on Thursday to 22.00 on Friday in July and August (except for public holidays and the adjacent days) one gets a noise level value on average lower than the highest annual value by 1.1 dB

się obliczeniową wartość hałasu średnio mniejszą od największej wartości w roku o 1,1 dB i 0,6 dB (odpowiednio dla pory N i D) oraz większą od średniej w roku średnio o 0,9 dB i 0,7 dB (odpowiednio dla pory N i D). Powyższe wnioski wskazują jednoznacznie na potrzebę uwzględniania wahań natężeń ruchu (tygodniowych, sezonowych) do opracowań akustycznych oraz na potrzebę jednoznacznego określenia do jakiej wartości poziomu dźwięku powinny odnosić się normy hałasu. Przyjęcie wartości średniej w roku może prowadzić do przekroczeń poziomu hałasu o więcej niż 1 dB nawet ponad 130 razy (Rys. 9) i to głównie w miesiącach ciepłych sprzyjających aktywności na świeżym powietrzu i wietrzeniu pomieszczeń.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [1] Zagrożenia hałasem. Wybrane zagadnienia. Biuro Analiz i Dokumentacji Kancelarii Senatu. Opracowania tematyczne OT-612. Luty 2012
- [2] *Baranowski J., Błażejczyk K., Milewski P.*: Klimat akustyczny w otoczeniu wybranych odcinków dróg w Polsce - wyniki wstępne. *Prace i Studia Geograficzne*, **56**, 2014, 17-36
- [3] Załącznik do uchwały nr 156/2015 Rady Ministrów z dnia 8 września 2015 r., Program budowy dróg krajowych na lata 2014-2023 (z perspektywą do 2025 r.), 4.09.2015
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem. *Dziennik Ustaw*, 2011, Nr 140, poz. 824
- [5] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku. *Dziennik Ustaw*, 2012, poz. 1109
- [6] *Splawińska M., Buczek P.*: Problem zmienności natężeń ruchu na drogach krajowych i ich wpływ na poziom hałasu. *Drogownictwo*, **LXX**, 2, 2015, 46-52
- [7] *Karantonis P., Gonzaga D.*: Comparing weekly and weekday averaged traffic data when modelling traffic noise. *The 14th International Congress on Sound and Vibration 2007*, 4, 2007, 3454-3461
- [8] *Alberola J., Flindell I.H., Bullmore A.J.*: Variability in road traffic noise levels. *Applied Acoustics*, **66**, 10, 2005, 1180-1195
- [9] *Lee E.Y., Jerrett M., Ross Z., Coogan P.F., Seto E.Y.W.*: Assessment of traffic-related noise in three cities in the United States. *Environmental Research*, 132, 2014, 182-189

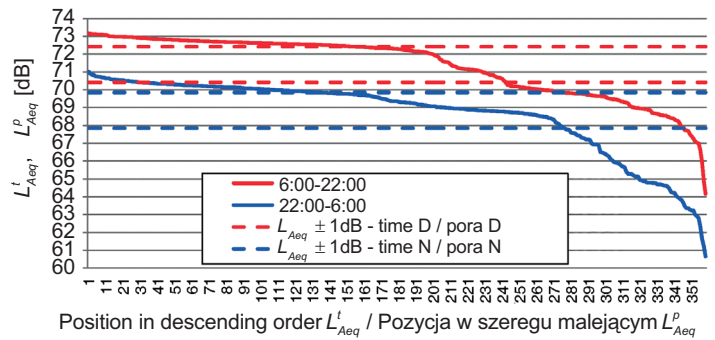


Fig. 9. The noise level at the reference point ranked from the highest to the lowest values in the year – station S8_10629
Rys. 9. Poziom hałasu w punkcie odniesienia uszeregowany od wartości największej do najmniejszej w roku – stacja S8_10629

and 0.6 dB (for time N and D, respectively). The above conclusions clearly indicate that it is necessary to take traffic volume fluctuations (weekly and seasonal) into account in acoustic studies and to explicitly define to what sound level value the noise standards should refer. If the annual average is adopted, this can lead to a noise level exceeded by more than 1 dB for over 130 times (Fig. 9), mainly in warm months conducive to outdoor activities and airing rooms.

- [10] *Bakowski A., Radziszewski L.*: Variability of road traffic noise recorded by stationary monitoring stations. *E3S Web of Conferences*, **22**, 00012, 2017, 1-7
- [11] *Zuo F., Li Y., Johnson S., Johnson J., Varughese S., Copes R., Liu F., Wu H.J., Hou R., Chen H.*: Temporal and spatial variability of traffic-related noise in the City of Toronto, Canada. *Science of The Total Environment*, **472**, 2014, 1100-1107
- [12] *Gierasimiuk P., Motylewicz M.*: Hałas w otoczeniu dróg i ulic - problemy oceny i działania ochronne, rozdział w monografii „Inżynieria Środowiska - Młodym Okiem” t. VII: „Uwarunkowania sanitarno-inżynierskie”, Białystok 2014, 59-93
- [13] *Motylewicz M., Gardziejczyk W.*: Wpływ charakterystyk ruchu na poziom hałasu w otoczeniu przykładowych skrzyżowań z wyspą centralną. *Czasopismo Inżynierii Łądowej, Środowiska i Architektury*, **63**, 1/II, 2016, 275-282
- [14] *Prędkość pojazdów w Polsce w 2015 roku. Raport Krajowej Rady Bezpieczeństwa Ruchu Drogowego*, Sesja I, Warszawa 2015
- [15] *Splawińska M.*: Analiza wybranych charakterystyk ruchu na drogach szybkiego ruchu. *Drogownictwo*, **LXXIII**, 2, 2018, 61-68

- [16] *Splawińska M., Buczek P.*: Wpływ zmienności dobowej natężeń ruchu na autostradach i drogach ekspresowych na poziom hałasu drogowego. III Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Technicznej TRANSEIA „Oceny oddziaływania na środowisko w budownictwie komunikacyjnym”, 6 - 8 grudnia 2017 r.
- [17] Ruch Drogowy 2015. GDDKiA, Warszawa 2016
- [18] Metody szacowania Średniego Dobowego Ruchu Roczego (SDRR) na podstawie pomiarów krótkotrwałych - 24 godzinnych. GDDKiA, Wydział Sieci Drogowej i Analiz Ruchu, Departament Studiów, 22 maja 2017 r.
- [19] *Splawińska M.*: Określenie korzystnych okresów pomiarów wyrywkowych do wyznaczenia średniego dobowego ruchu w roku. *Drogownictwo*, **LXX**, 1, 2015, 23-28
- [20] *Splawińska M.*: Methodology for determining traffic volume for the analysis of roads efficiency. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **15**, 1, 2016, 45-60, DOI: 10.7409/rabdim.016.003
- [21] *Brink M., Schäffer B., Pieren R., Wunderli J.M.*: Conversion between noise exposure indicators Leq_{24h} , L_{Day} , $L_{Evening}$, L_{Night} , L_{dn} and L_{den} : Principles and practical guidance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, **221**, 1, 2018, 54-63
- [22] Wytyczne wykonywania pomiarów hałasu przy drogach krajowych prowadzonych w trakcie generalnego pomiaru ruchu. Biuro Ekspertyz i Projektów Budownictwa komunikacyjnego EKKOM na zlecenie GDDKiA, Warszawa 2005
- [23] *Pietrzak K., Tokarski Z., Kowalski K.*: Assessment of the traffic noise reduction when using tramway screening. *Roads and Bridges - Drogi i Mosty*, **17**, 2, 2018, 127-139, DOI: 10.7409//rabdim.018.008