

# Odpowiedzialna urbanizacja a komfort akustyczny w środowisku mieszkaniowym

## Responsible urbanization and acoustic comfort in a residential environment

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań komfortu i klimatu akustycznego w miejskich strukturach mieszkaniowych. Uznano, że komfort akustyczny jest cechą odpowiedzialnej urbanizacji i zdrowego środowiska mieszkaniowego. Badania dotyczyły wnętrza urbanistycznego mieszkaniowego zespołu zabudowy wielorodzinnej. W artykule przedstawiono ogólny zarys metodyki wykonania poszczególnych etapów badań. W celu porównania przeprowadzono badania w dwóch zespołach mieszkaniowych różnych pod względem formy urbanistycznej. Oddziaływanie wybranych źródeł dźwięku zbadano za pomocą badań terenowych i symulacji komputerowych. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że komfort i klimat akustyczny zostały zidentyfikowane. Stwierdzono, że forma urbanistyczna oraz rozmieszczenie programu funkcjonalnego mają wpływ na poziom komfortu akustycznego. Potwierdzono, że możliwe jest zidentyfikowanie elementów negatywnie wpływających na klimat akustyczny w zespole mieszkaniowym i określenie sposobu ich modyfikacji w celu poprawy klimatu akustycznego. Przedstawione mapy hałasu oraz mapy hałasu 3D elewacji mogą posłużyć jako tło do dalszych badań klimatu akustycznego środowiska mieszkaniowego.

### Abstract

The article presents the results of research on the comfort and acoustic climate of urban housing structures. Acoustic comfort has been recognized as a hallmark of responsible urbanization and a healthy living environment. The research concerned the urban interior of a multi-family housing complex. The paper presents a general outline of the methodology of performing individual stages of the research. In order to compare, the research was carried out in two housing complexes different in terms of urban form. The impact of selected sound sources was investigated by means of field tests and computer simulations. Based on the obtained results, it can be concluded that the comfort and acoustic climate have been identified. It was found that the urban form and the distribution of the service program have an impact on the level of acoustic comfort. It was confirmed that it is possible to identify elements that negatively affect the acoustic climate in a residential complex and determine how to modify them in order to improve the acoustic climate. The presented noise maps and 3D noise maps of the elevation can be used as a background for further research on the acoustic climate of the residential environment.

Słowa kluczowe: urbanizacja, zdrowe akustycznie środowisko zamieszkania, hałas, krajobraz dźwiękowy, komfort akustyczny  
Keywords: urbanization, healthy housing environment, noise, sound environment, acoustic comfort

### Wprowadzenie

Rozważając problem urbanizacji i próbując znaleźć definicję odpowiedzialnej urbanizacji, należy przede wszystkim określić priorytety. Niewątpliwie gwałtowny rozwój obszarów mieszkaniowych ma spory udział w procesie niekontrolowanej urbanizacji, ale też funkcja mieszkania ma naczelne miejsce wśród funkcji niezbędnych człowiekowi do życia (Solarek, 2019). Na jakość środowiska mieszkaniowego, na potrzeby i oczekiwania jakie ludzie wiążą z miejscem zamieszkania wpływają zarówno procesy globalne, jak i lokalne uwarunkowania (Brown, Bhatti, 2003). Reasumując, można stwierdzić, że odpowiedzialna urbanizacja (nie tylko w kontekście obszarów mieszkaniowych) powinna:

### Introduction

When discussing the problem of urbanization and trying to find a definition of responsible urbanization, we should primarily focus on defining priorities. Without a doubt, the rapid development of residential areas has had its sizeable share of influence on the process of uncontrolled urbanization, but the residential function itself occupies the leading spot among functions necessary for human life (Solarek, 2019). The quality of the housing environment, the purposes and expectations that people associate with a place of residence, are affected both by global processes and local conditions (Brown, Bhatti, 2003). To summarize, we can state that responsible urbanization (not only in the context of residential areas), should:

\* Beata Walicka-Góral, Dr inż. arch., Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury, Politechnika Rzeszowska / Beata Walicka-Góral, Ph. D, Faculty of Civil and Environmental Engineering and Architecture, Rzeszow University of Technology, <https://orcid.org/0000-0001-5160-9703>, e-mail: [bwgoral@prz.edu.pl](mailto:bwgoral@prz.edu.pl)

\*\* Krystian Woźniak, Dr inż., Wydział Inżynierii Ładowej, Politechnika Krakowska / Krystian Woźniak, Ph. D, Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology, <https://orcid.org/0000-0002-8126-3341>, e-mail: [kwozniak@pk.edu.pl](mailto:kwozniak@pk.edu.pl)

- uwzględniać jednocześnie perspektywę globalną i lokalną;
- traktować naturę jako element priorytetowy, niezbędny dla przeżycia i rozwoju gatunku ludzkiego;
- realizować prawo człowieka do zdrowego środowiska mieszkaniowego;
- realizować prawo ludzi do różnorodności i wyboru miejsca zamieszkania w ramach obowiązujących priorytetów.

Zdrowe środowisko mieszkaniowe to takie, które umożliwia mieszkańcom rozwój fizyczny, psychiczny, mentalny i sprzyja poczuciu spójności społecznej. Ostatecznym więc celem kształtowania zdrowego środowiska mieszkaniowego jest osiągnięcie wysokiej jakości z korzyścią zarówno dla środowiska, jak i mieszkańców, którzy oczekują komfortu zamieszkania i to w kilku aspektach, omówionych poniżej (Schneider-Skalska, 2011).

KOMFORT UŻYTKOWANIA jest czynnikiem bardzo realnie odczuwanym przez mieszkańców i powszechnie uznawanym za ważny. Jego zapewnienie jest też bardzo klarownym dla użytkowników i projektantów wymogiem. Realizuje się poprzez odpowiedni program użytkowy, dostępność usług i parametry wielkości i dostępności. Parametr dostępności jest jednym z najistotniejszych z punktu widzenia wygody użytkownika, a odległość dogodną dla pieszego dojścia określa się na 500 m, co w przypadku konieczności dojścia i powrotu w krótkim czasie zostaje zmniejszone do 300 m. Ten parametr jest stosowany w osiedlach i miastach powstających w różnorodnych uwarunkowaniach (Rogers, Power, 2000; Interim Report, 2002; Dovey, Pafka, 2020).

KOMFORT PRZESTRZENNY powiązany z poczuciem przynależności i terytorializmem odbierany jest na poziomie skali zabudowy i proporcji wnętrz, czytelnej hierarchizacji przestrzeni, estetyki i kontaktu z naturą (Schneider-Skalska, 2011). Podstawową zasadą w sferze mieszkalnictwa jest utrzymywanie w ludzkiej skali (Orr, 1985; Licklider, 1965). W środowisku mieszkaniowym istotną rolę odgrywają dwa ujęcia skali – w odniesieniu do podziału strukturalnego i wynikającej z niego skali wnętrz urbanistycznych oraz skali budynków i detalu architektonicznego (Biddulph, 2012). Czytelny podział strukturalny sprzyja prawidłowej i oczekiwanej hierarchizacji przestrzeni – podziałowi na publiczną, sąsiedzka i prywatną. Realizowana jest tym samym potrzeba poczucia bezpieczeństwa i związku z określonym terytorium (Moughtin, 2003; Levy, 2017).

KOMFORT KLIMATYCZNY jest kolejnym, niezbędnym warunkiem do osiągnięcia wysokiej jakości środowiska mieszkaniowego. Wymaga zapewnienia odpowiedniego składu i wymiany powietrza, optymalnej temperatury, wilgotności i nasłonecznienia wnętrz urbanistycznych oraz mieszkalnych i w dużym stopniu zależy od czynników zewnętrznych. Niewątpliwie jednak w skali klimatu lokalnego i mikroklimatu istotny wpływ na jego jakość ma sposób kształtowania zabudowy, ilość i sposób wprowadzonej zieleni niskiej i wysokiej, zbiorniki wodne, rodzaj nawierzchni, a nawet faktura elewacji (Lenzholzer, 2015). KOMFORT AKUSTYCZNY pojawia się coraz częściej wśród wymagań stawianych środowisku mieszkaniowemu, ale wydaje się, że jest wciąż niedoceniany, a sposoby jego osiągania mało rozpoznane i rozpowszechnione. Na niedostatek uwagi poświęcanej komfortowi

- take global and local perspective into consideration;
- treat Nature as a priority element, necessary for the survival and development of the human species;
- execute the right of all to a healthy housing environment;
- execute the right of all to diversity and select a place of residence as a part of current priorities.

A healthy housing environment is an environment that enables residents to enjoy physical, psychological and mental development and aids in experiencing social cohesion. The ultimate objective of shaping a healthy housing environment is thus achieving a high quality with benefit both to the environment and residents, who expect a comfort of residence in not only one, but several aspects, which have been discussed below (Schneider-Skalska, 2011).

COMFORT OF USE is a factor that is very tangibly felt by residents and is commonly acknowledged as important. Providing it is a very clear requirement to users and designers. It is provided by an appropriate functional programme, access to services and size and accessibility parameters. The accessibility parameter is one of the most essential ones from the point of view of comfort of use and the distance that can be comfortably travelled on foot is defined at 500 m, which, in the case of the necessity of arriving at a destination and going back in a short time, is lowered to 300 m. This parameter is used in housing complexes and cities that are being built in various conditions (Rogers and Power, 2000; Interim Report, 2002; Dovey, Pafka, 2020).

SPATIAL COMFORT, associated with a feeling of belonging and territorialism, is perceived at the level of the scale of development and proportions of interiors, a clear hierarchisation of space, aesthetic qualities and contact with nature (Schneider-Skalska, 2011). The fundamental principle of housing is maintaining human scale (Orr, 1985; Licklider, 1965).

Two takes on scale play an essential role in the housing environment—in relation to structural divisions and the resultant scale of urban interiors and the scale of buildings and architectural detail (Biddulph, 2012). A legible structural division aids in appropriate and expected hierarchisation of space—a division into public, neighbourly and private space. The need for safety and a link with a specific territory is being satisfied in this manner (Moughtin, 2003; Levy, 2017).

CLIMATE COMFORT is another condition that is necessary to achieve a high quality housing environment. It requires the provision of an appropriate air composition and exchange rate, an optimal temperature, humidity and insolation of urban and residential interiors and is largely dependent on external factors. However, on the scale of local climate and microclimate, an undoubtedly essential impact is exerted on its quality by the manner of shaping development, the amount and method of introducing short and tall greenery, water bodies, types of surfaces and even facade structure (Lenzholzer, 2015).

ACOUSTIC COMFORT appears more and more often

akustycznemu zwraca uwagę wielu badaczy, którzy poszukują sposobów na kształtowanie komfortowego akustycznie środowiska, np. planista miejski Thomas Elmqvist w publikacji *Designing the Urban Soundscape* (Elmqvist, 2013), Tim Beatley w eseju *Celebrating the Natural Soundscapes of Cities* (Beatley, 2013) czy ojciec ekologii akustyki R. Murray Schafer, który w 1977 roku zdefiniował pojęcie *acoustic ecology* (Schafer, 1977).

### HAŁAS A KLIMAT AKUSTYCZNY

Z dźwiękiem mamy do czynienia w wielu aspektach życia, takich jak: muzyka, środowisko, mowa, akustyka pomieszczeń itp. Hałas jest niewątpliwie pochodną dźwięku o negatywnym oddziaływaniu na człowieka i środowisko, jest on w dużej mierze zjawiskiem odczuwalnym subiektywnie w zależności od czynnika drgającego, a przede wszystkim od subiektywnych odczuć ludzkich. Hałasem można nazwać wszelkie niepożądane, niebezpieczne, nieprzyjemne, dokuczliwe, lub szkodliwe drgania ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz elementy organizmu człowieka. Najprostsza definicja hałasu stwierdza, że hałas jest to dźwięk dokuczliwy, nieznośny, a niekiedy powodujący głuchotę. Rozróżnić można różne źródła hałasu (komunikacyjny, przemysłowy, gospodarczy) oraz różne obszary, w których występuje. Hałas środowiskowy jest to hałas występujący w danym środowisku, zewnętrzny, zlokalizowany na zewnątrz budynków, statków, zakładów pracy, środków transportu, na terenach naturalnych i zurbanizowanych. Hałas, niezależnie od sposobu powstawania, natężenia i czasu trwania, powoduje dyskomfort psychiczny i jest odczuwany jako uciążliwy. Szkodliwość hałasu zależy głównie od jego natężenia, zmian w czasie, widma częstotliwości, czasu oddziaływania, a także zawartości składowych niesłyszalnych. Subiektywne odczuwanie hałasu przez człowieka uzależnione jest od kombinacji wartości poszczególnych parametrów charakteryzujących łącznie sygnał akustyczny. Hałas o dużym natężeniu, szczególnie działający na człowieka w dłuższym okresie, prowadzi do zaburzeń czynności układu nerwowego, co przejawia się zmęczeniem, wydłużeniem czasu reakcji, uczuciem niepokoju, a nawet lęku. Czynnikiem, który w sposób istotny wpływa na relacje między warunkami akustycznymi a człowiekiem jest tzw. subiektywna wrażliwość na hałas. Dotyczy ona zarówno fizjologicznych predyspozycji odbioru dźwięku, reakcji emocjonalnych, jak i subiektywnych odczuć. Odczuwanie dźwięku jako hałasu zależy więc zarówno od cech indywidualnych każdego człowieka, jak też od cech fizycznych dźwięku. Hałas powinien być więc niezaprzeczalnie ważnym czynnikiem w projektowaniu i planowaniu zabudowy mieszkaniowej. Optymalne pod względem zdrowotnym kształtowanie otoczenia miejsca przebywania, nauki, pracy umysłowej i wypoczynku człowieka jest bardzo ważne. Mieszkańcy posesji często nie mają możliwości odpoczynku w ciszy i spokoju na swoim terenie. Analizując np. optymalne miejsce ww. aktywności człowieka, a zwłaszcza jego wypoczynku, nie można pominąć kryterium klimatu akustycznego, w jakim ten wypoczynek się może odbywać. Klimat akustyczny zatem staje się jednym z podstawowych elementów, który powinien być etapem projektowania architektonicznego.

among requirements placed on the housing environment, although it appears that it is still underappreciated and methods of achieving it are poorly investigated and spread.

The insufficient amount of attention devoted to acoustic comfort has been pointed out by numerous researchers who are searching for ways to shape an acoustically comfortable environment, e.g. the urban planner Thomas Elmqvist in his publication *Designing the Urban Soundscape* (Elmqvist, 2013), Tim Beatley in his essay *Celebrating the Natural Soundscapes of Cities* (Beatley, 2013) or the father of *acoustic ecology* R. Murray Schafer, who coined the term in 1977 (Schafer, 1977).

### NOISE AND ACOUSTIC CLIMATE

We deal with noise in a great many aspects of our lives, such as in: music, the environment, speech, the acoustic qualities of rooms, etc. Noise is undoubtedly a derivative of sound with a negative effect on humans and the environment, and is largely a phenomenon that is perceived subjectively depending on the vibrating factor—primarily on subjective human impressions. Any undesirable, dangerous, uncomfortable, irritating or harmful vibration of an elastic medium that affects the hearing organ and other senses and elements of the human organism through air can be described as noise. The simplest definition of noise states that noise is an irritating, unbearable sound that also sometimes leads to deafness. Various sources of noise can be distinguished (traffic, industrial, occupational) in addition to various areas in which it occurs. Environmental noise is a noise that is present within a given environment, external noise, which occurs outside of buildings, ships, places of employment, means of transport, in natural and urbanized areas.

Noise, regardless of its origin, intensity and duration, causes psychological discomfort and is perceived as an inconvenience. The harmfulness of noise primarily depends on its intensity, how it changes over time, its frequency spectrum, duration, as well as its inaudible component content. The subjective perception of noise by humans is dependent on a combination of various parameters that together characterise an acoustic signal. High-intensity noise, particularly affecting a person over a longer period, leads to a disruption of the nervous system, which manifests itself in tiredness, a longer reaction time, a feeling of restlessness and even anxiety. The factor that significantly affects relationships between acoustic conditions and people is the so-called subjective noise sensitivity. It applies both to the physiological predispositions of perceiving sound, emotional reactions and subjective impressions. Perceiving a sound as noise thus depends both on specific traits of an individual person and the physical characteristics of sound.

Noise should thus undoubtedly be an important factor in the design and planning of residential development. An optimal shaping of the surroundings of a place of residence, learning, intellectual work or rest in terms of health is very important. The residents of a property often do not have the possibility to rest in peace and

Na klimat akustyczny wokół zabudowy wpływ ma wiele czynników, m.in. odległość zabudowy od drogi (hałas drogowy jest bardzo powszechnym problemem w odniesieniu do budownictwa mieszkaniowego w otoczeniu dróg), odległość od zakładów przemysłowych, ale wpływ mogą mieć także źródła wewnętrzne hałasu (np. parkingi, windy, place zabaw etc.). Do opisu klimatu akustycznego stosuje się szereg wskaźników związanych z hałasem. Podstawowym wskaźnikiem, z uwagi na to, że większość hałasów w środowisku charakteryzuje się zmienną wartością poziomą w czasie, jest poziom równoważny (ekwiwalentny) dźwięku – jest to 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. Poziom równoważny jest wyrażony wzorem (1) (PN-B-02153:2002, 2002):

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad [dB] \quad (1)$$

gdzie:

$L_{Aeq}$  - równoważny poziom dźwięku  $A$  w dB, wyznaczony dla przedziału czasu  $T$ ,

$p_0$  - ciśnienie akustyczne odniesienia ( $2 \cdot 10^{-5}$ Pa),

$p(t)$  – chwilowa wartość ciśnienia akustycznego  $A$ , mierzonego sygnału akustycznego.

Przy pomiarach hałasu, w celu zbliżenia wyników pomiarów do odczucia słuchowego doznanego przez ucho ludzkie stosuje się w układzie pomiarowym filtr korekcyjny  $A$  (w opisie podaje się wg jakiej krzywej był korygowany pomiar np. równoważny poziom dźwięku  $A$ ). Filtr ten uwzględnia sposób, w jaki ludzkie ucho odbiera dźwięk o różnych częstotliwościach.

Wartości pomierzone lub prognozowane (obliczane na podstawie znajomości charakterystyki źródła dźwięku i propagacji) porównuje się z wartościami dopuszczalnymi dźwięku w środowisku (określane w rozporządzeniach). Dopuszczalne poziomy zostały odniesione do terenów o różnych funkcjach urbanistycznych. Zauważyć należy, że dotrzymanie wartości dopuszczalnych niekoniecznie może oznaczać brak uciążliwości dla mieszkańców – wartości dopuszczalne są w większości przypadków wyższe niż np. zalecane przez WHO.

### KLIMAT AKUSTYCZNY JAKO PRZEDMIOT BADAŃ

Komfort akustyczny do niedawna nie budził zainteresowania, a problemy związane z hałasem środowiskowym były rozwiązywane zazwyczaj po zakończeniu etapu projektowania urbanistycznego i architektonicznego. Takie podejście jest nadal najbardziej powszechne i prowadzi wyłącznie do kontroli hałasu, a nie do jego uniknięcia jeszcze na etapie planowania i projektowania (Castiñeira-Ibañez, 2015; Mun, 2009).

Uwzględnienie wymiaru dźwiękowego na wczesnym etapie planowania urbanistycznego jest istotnym elementem odpowiedzialnej urbanizacji. Takie podejście umożliwia traktowanie klimatu akustycznego jako potencjału, a nie tylko zagrożenia dla przestrzeni zurbanizowanych (Kang, 2002).

W ostatnich latach coraz częściej komfort akustyczny jest brany pod uwagę jako integralna część zdrowego

quiet on their own land. When analysing, for instance, an optimal place for the abovementioned human activity, particularly rest, we cannot ignore the criterion of acoustic climate in which said rest can take place in. Acoustic climate thus appears to be one of the fundamental elements that needs to be a stage of urban and architectural design. Acoustic climate around buildings is affected by numerous factors, i.a. the distance between buildings and a road (traffic noise is a very common problem in regards to residential development around roads), the distance to industrial plants. However, external sources of noise (e.g. parking lots, elevators, playgrounds, etc.) can also have an effect. A series of indicators associated with noise is used to describe acoustic climate. The basic indicator, due to the fact that most types of noise in the environment are characterised by a changing level of noise over time, is equivalent continuous sound pressure level—which is the level of continuous sound pressure for a given sound, which has the same average squared sound pressure over a specific time interval  $T$  as an analysed sound with a variable level over time. The equivalent level is expressed using formula (1) (PN-B-02153:2002, 2002):

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{p_0^2} dt \quad [dB]$$

(1)

where:

$L_{Aeq}$  - equivalent continuous sound pressure level  $A$  in dB, determined for time interval  $T$ ,

$p_0$  - reference sound pressure ( $2 \cdot 10^{-5}$ Pa),

$p(t)$  – instantaneous value of sound pressure  $A$ , of the measured acoustic signal.

When performing noise measurements, in order to bring measurement results closer to the auditory sensations experienced by the human ear, corrective filter  $A$  is used (a description is attached, informing according to what curve the measurement was corrected by, e.g. the equivalent continuous sound pressure level  $A$ ). This filter takes into consideration the manner in which the human ear registers sounds with different frequencies. Measured or prognosticated values (calculated based on familiarity with the characteristics of a source of noise and sound propagation) are compared with permissible sound levels in an environment (defined in ordinances). Permissible levels have been defined for areas with various urban functions. It should be noted that maintaining permissible values does not necessarily mean a lack of inconvenience for residents—in the majority of cases permissible values are greater than, for instance, those recommended by WHO.

### ACOUSTIC CLIMATE AS A SUBJECT OF RESEARCH

Acoustic comfort has, until recently, not inspired much interest and problems associated with environmental noise were usually solved after the completion of the urban and architectural design stage. This approach is still the most common and only leads to noise control, instead of its avoidance already at the planning and design stage (Castiñeira-Ibañez, 2015; Mun, 2009).

środowiska zamieszkania (Yang, 2013). Na przełomie ostatnich lat wzrosła świadomość, że aspekty dźwiękowe są ważną częścią środowiska i należy je rozpatrywać na równi z estetyką wizualną i komfortem klimatycznym. Człowiek podświadomie wybiera do zamieszkania przestrzenie fonicznie przyjazne, które oddziałują na niego kojąco, pozytywnie, w których czuje się dobrze. Przyjazna akustycznie przestrzeń polega na ograniczaniu lub eliminacji źródeł hałasu, a także na wprowadzaniu do niej kojących dźwięków (Yu, 2009).

Komfort akustyczny jest ważnym czynnikiem, który należy rozważyć w aspekcie zdrowego, przyjaznego środowiska zamieszkania, a względy akustyczne powinny być integralną częścią projektu urbanistycznego już we wczesnych jego etapach. Istotny jest zarówno dobrze rozplanowany układ budynków, jak i odpowiednio zaprojektowany i rozmieszczony wokół budynków program zagospodarowania terenu tak, aby nie trzeba było stosować środków naprawczych w trakcie eksploatacji (Kerber, 1981). Już istniejące źródła hałasu, niezidentyfikowane na etapie projektowania są często trudne lub niemożliwe do usunięcia (Walicka-Góral, 2020). Ograniczenie hałasu poprzez różnego typu bariery dźwiękowe jest zasadne w ostateczności i tylko wtedy, gdy prowadzi do znacznego zmniejszenia hałasu (Yu, 2009).

Drogą do osiągnięcia przyjaznego krajobrazu dźwiękowego jest poznanie, scharakteryzowanie i wizualne przedstawienie klimatu akustycznego stanu istniejącego. Takie podejście jest drogą do świadomego i odpowiedzialnego kształtowania klimatu akustycznego i ograniczania do minimum niedostatków komfortu akustycznego w projektowanych obszarach mieszkaniowych (Wiener, 1965; Lee, 2007).

Problem zapewnienia na odpowiednim poziomie dopuszczalnych parametrów klimatu akustycznego podejmuje na poziomie prawa Unii Europejskiej dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady. Regulacje wynikające z dyrektywy zostały także wprowadzone w polskim prawodawstwie. Wytyczne dyrektywy, które dotyczą oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku uwzględnione zostały w ustawie Prawo ochrony środowiska. Na podstawie zapisów ustawy, w rozporządzeniu w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku wyznaczone zostały poziomy hałasu w odniesieniu do poziomów dopuszczalnych w podziale na rodzaje terenów, a w tym dla terenu zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej. Wytyczne normowe zarówno w Polsce, jak i w krajach europejskich opierają się na dostępnych badaniach i wytycznych WHO dotyczących wpływu hałasu na zdrowie ludzkie (Walicka-Góral, 2018).

## **CEL BADAŃ**

W pracy opisano wyniki z badań, w których aspekt komfortu akustycznego był rozpatrywany dla mieszkaniowego wnętrza urbanistycznego jako charakterystycznej przestrzeni zewnętrznej zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej. W artykule przedstawiono metodologię, która została zastosowana do przeprowadzenia poszczególnych etapów badań. Badania komfortu i klimatu akustycznego przeprowadzone zostały w celu przedstawienia istniejącego krajobrazu dźwiękowego zewnętrznych

Taking into consideration the sonic dimension at an early stage of urban planning is an essential element of responsible urbanization. Such an approach makes it possible to treat acoustic climate as a potential instead of merely a threat to urbanized spaces (Kang, 2002). In recent years acoustic comfort has been increasingly often taken into consideration as an integral part of a healthy housing environment (Yang, 2013). Awareness of the fact that sound-related aspects are an important part of the environment and should be analysed at an equal level with visual aesthetics and climate comfort has increased. People subconsciously choose sonically friendly places for their housing, ones that soothe them and positively affect them and in which they feel good. An acoustically friendly space is based on limiting or eliminating sources of noise, as well as on introducing soothing sides to it (Yu, 2009). Acoustic comfort is an important factor that should be analysed in the aspect of a healthy and friendly housing environment and acoustic considerations should be an integral part of an urban design already in its early stages. A well-planned layout of buildings and an appropriately designed and placed site development programme around those buildings is essential so that it should not be necessary to apply reparative measures during occupancy (Kerber, 1981). Existing noise sources not identified during the design process are often difficult or impossible to remove (Walicka-Góral, 2020). Limiting noise by using various types of sound barriers is justified only as a last resort and only when it leads to a significant reduction in noise (Yu, 2009).

The way to achieving a friendly soundscape is identifying, characterising and visually representing an extant acoustic climate. Such an approach is a path to a conscious and responsible shaping of the acoustic climate and limits insufficiencies in acoustic comfort in newly designed housing areas to a minimum (Wiener, 1965; Lee, 2007).

The problem of ensuring acceptable acoustic climate parameters at an appropriate level is addressed at the level of European Union law by Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council. The regulations resulting from the directive have also been introduced in Polish legislation. The directive's guidelines concerning the assessment and management of noise levels in the environment have been included in the Environmental Protection Law. Pursuant to the provisions of the Act, in the Regulation on permissible noise levels in the environment, noise levels were determined in relation to the permissible levels by type of area, including multi-family residential areas. Standard guidelines, both in Poland and in European countries, are based on available studies and WHO guidelines on the impact of noise on human health (Walicka-Góral, 2018).

## **RESEARCH GOAL**

The work is a report on the findings of research in which the aspect of acoustic comfort was investigated for a residential urban interior as a characteristic external space of a multi-family residential building complex. The article presents a general outline of the methodology used to perform the individual stages

przestrzeni zespołu zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej z uwzględnieniem wybranych źródeł hałasu. W celu porównania klimatu akustycznego w zabudowie mieszkaniowej wielorodzinnej badanie klimatu akustycznego zostało przeprowadzone w dwóch zespołach zabudowy mieszkaniowej.

## OBSZAR BADAŃ

Obszar badań znajdował się na terenie południowo-wschodniej Polski, w mieście Rzeszów i jego najbliższej okolicy. Wybrane do badań klimatu akustycznego obszary zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej reprezentują typowe układy urbanistyczne charakterystyczne dla współczesnej polskiej zabudowy.

Na il. 1 pokazano plan struktury urbanistycznej poligonu badawczego nr 1. Badany obszar nr 1 składa się z budynków mieszkalnych wielorodzinnych. Południowo-wschodnią ścianę wnętrza urbanistycznego tworzy budynek z 7,5 kondygnacjami naziemnymi mieszkalnymi i jedną kondygnacją naziemną garażową. Północno-zachodnią ścianę wnętrza tworzy zespół dwóch budynków o 2,5 i 3,5 kondygnacjach mieszkalnych. Wewnątrz założenia urbanistycznego zlokalizowane są źródła hałasu. Jest to plac zabaw, który znajduje się w centralnym punkcie. Po stronie południowo-zachodniej wnętrza w miejscu jego przewężenia znajduje się obudowany śmietnik. Wewnątrz wnętrza na granicy przewężenia znajduje się transformator w odległości 5 m od budynku mieszkalnego. We wnętrzu zlokalizowane są cztery wjazdy do garażu podziemnego, a także droga dojazdowa obsługująca budynek Zabłocie oraz łącząca osiedle Zabłocie z drogą lokalną. Droga ta pełni również funkcje drogi manewrowej przy parkingu naziemnym zlokalizowanym wzdłuż całego wnętrza, na jego dłuższej osi. We wnętrzu występuje główny ciąg pieszy, obsługujący dojścia do budynków i będący ścieżką pieszą pomiędzy osiedlami.

Ilustracja 2 przedstawia plan struktury urbanistycznej poligonu badawczego nr 2. Badany obszar nr 2 składa się z budynków mieszkalnych wielorodzinnych. Wnętrze tworzy zespół budynków od 3,5 do 4,5 kondygnacji naziemnych. W centralnym punkcie wnętrza zlokalizowany jest plac zabaw i fontanna. Po zewnętrznej stronie znajdują się obudowane śmietniki. Na granicy wejścia do wnętrza zlokalizowany jest wjazd do garażu podziemnego.

Il. 1. Poligon badawczy nr 1. Widok na układ urbanistyczny i widok na badane wnętrza urbanistyczne. Źródło: zdjęcie od lewej <https://www.google.pl/maps>, (dostęp: 17.03.2015); zdjęcie od prawej: B. Walicka-Góral

Il. 1. Test area no. 1. View of the area's urban layout and a view of the investigated urban interior. Source: image to the left of the <https://www.google.pl/maps>, (accessed: 17.03.2015); image to the right: B. Walicka-Góral



of research. The study of acoustic comfort and climate was performed in order to present the existing soundscape of a multi-family residential complex's external spaces while taking into consideration selected sources of noise. In order to compare acoustic climate within multi-family residential building complexes, the study was carried out in two such complexes.

## TEST AREA

The area that was studied was located in south-eastern Poland in the city of Rzeszów and its immediate vicinity. Areas of multi-family residential buildings selected for the investigation of acoustic climate represent typical urban layouts distinct of contemporary Polish development.

Il. 1 shows the plan of the urban structure of test area no. 1. Test area no. 1 is composed of multi-family residential buildings. The south-eastern wall of the urban interior is formed by a building with 7,5 aboveground residential storeys and a single underground garage storey. The north-western wall of the interior is composed of a complex of two buildings with 2,5 and 3,5 residential storeys. Noise sources were located inside the urban interior. These include a playground, which is located in a central spot. On the south-western side inside the interior at a site where it becomes narrow there is a walled waste collection site. Inside the interior, on the border between the border of the narrow space, there is a power transformation unit, located at a distance of 5 m from a residential building. In the interior there are four entrances to an underground parking garage. The interior also features an access road for the Zabłocie building which also connects the Zabłocie housing complex with a local road. This road also plays the role of a manoeuvring area near the surface parking lot located along the entire interior, along its longer axis. The interior also features main walking trail sequences that provide access to approaches to the building and which are a pedestrian path between housing estates. Il. 2 depicts a plan of the urban structure of test area no. 2. The second test area is composed of multi-family residential buildings. Its interior is formed of a complex of buildings featuring between 3,5 and 4,5 aboveground storeys. At the central point of the





Il. 2. Poligon badawczy nr 2. Widok na układ urbanistyczny i widok na badane wnętrza urbanistyczne. Źródło: zdjęcie od lewej <https://www.google.pl/maps> (dostęp: 17.03.2015), zdjęcie od góry: B. Walicka-Góral

Il. 2. Test area no. 2. View of area the urban layout and a view of the investigated urban interior. Source: image to the left of the <https://www.google.pl/maps> (accessed: 17.03.2015), image on top: B. Walicka-Góral

Parkingi znajdują się na zewnątrz zabudowy. Na zewnątrz badanego wnętrza zlokalizowana jest również droga dojazdowa obsługująca osiedle Staroniwska, będąca również drogą wewnętrzną, która pełni funkcje drogi manewrowej przy parkingu naziemnym obsługującym osiedle. We wnętrzu występują ciągi piesze w postaci dojść do dodatkowych/wewnętrznych wejść do budynków, będące również ścieżką spacerową.

### METODOLOGIA BADAŃ

Badanie klimatu akustycznego dla zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej było realizowane w trzech etapach, które różniły się od siebie typem przeprowadzonych badań. W pierwszym etapie przeprowadzone zostały badania jakościowe, które dotyczyły zbadania zależności pomiędzy istniejącym klimatem akustycznym a odczuwanym przez mieszkańców komfortem akustycznym. Głównym problemem na tym etapie było wytypowanie źródeł hałasu mających wpływ na klimat akustyczny badanej przestrzeni mieszkaniowej, która powinna spełniać podstawowe warunki komfortu akustycznego.

Drugi etap badań dotyczył zbadania w terenie rzeczywistych poziomów hałasu dla wytypowanych na pierwszym etapie źródeł hałasu. Na tym etapie głównym celem przeprowadzonych badań było wyznaczenie rzeczywistego poziomu dźwięku dla wytypowanych

interior there is a playground and a fountain. On the external side there are walled waste collection sites. The border of the entrance to the interior features an entrance to an underground parking garage. Parking spaces are located outside of the building complex. Outside of the investigated interior there is also an access road which connects Staroniwska Housing Estate, which is also an internal road that fulfils the role of a manoeuvring space near a surface parking lot for the housing estate. In the interior there are walking paths in the form of approaches to additional/internal entrances to buildings, which are also a walking trail.

### RESEARCH METHODOLOGY

The investigation of acoustic climate of multi-family residential building complexes was performed in three stages, which differed in the type of studies being performed. The first stage included qualitative research, which focused on investigating the dependency between the existing acoustic climate and the acoustic comfort perceived by residents. The main problem during this stage was determining noise sources that affected the acoustic climate of the investigated residential space, which should meet basic conditions of acoustic comfort.

The second stage concerned the study of actual noise levels for the noise sources determined during the first stage in the field. During this stage the main objective was to determine the actual sound levels for the investigated noise sources associated with the functional programme in the studied residential urban interiors and collecting data necessary to carry out the third stage of the study.

The third stage of the research focused on simulating the acoustic climate of the extant state for the investigated spaces of multi-family residential building complexes.

### EXISTING SOUNDSCAPE ANALYSIS SURVEY

In order to identify the most inconvenient noise sources associated with the functioning of residential buildings, a questionnaire survey was carried out among

źródeł hałasu związanych z programem funkcjonalno-użytkowym w badanych mieszkaniowych wnętrzach urbanistycznych oraz zebranie danych niezbędnych do przeprowadzenia trzeciego etapu badań.

Trzeci etap badań dotyczył badań symulacyjnych klimatu akustycznego stanu istniejącego dla badanych przestrzeni zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej.

## ANALIZA ISTNIEJĄCEGO KRAJOBRAZU DŹWIĘKOWEGO BADANIE ANKIETOWE

W celu poznania najbardziej uciążliwych źródeł dźwięków związanych z funkcjonowaniem zabudowy mieszkaniowej przeprowadzono ankietę wśród mieszkańców poligonów badawczych nr 1 i nr 2, w drodze wywiadu bezpośredniego. Uczestnicy byli wybrani na podstawie adresu zamieszkania. Zadbano o równomierne rozmieszczenie osób ankietowanych względem obszaru analizy przypadku. Najczęściej odpowiedzi udzielały osoby mieszkające w danym miejscu od 5 do 12 lat. Oznacza to, że wywiadu udzielały osoby, które przez dłuższy czas mogły obserwować uciążliwości związane z hałasem w danym miejscu zamieszkania. W wywiadzie uczestniczyło 50 mieszkańców: 30 mieszkańców z poligonu badawczego nr 1 i 20 mieszkańców z poligonu badawczego nr 2.

Zakres pytań zawartych w wywiadzie wynikał z ogólnego rozpoznania potencjalnych uciążliwości hałasowych w mieszkaniowych wnętrzach urbanistycznych oraz rozpoznanych indywidualnie uciążliwości hałasowych.

Ankieta zawierała trzy grupy pytań. Pierwsza grupa dotyczyła pytań ogólnych na temat ogólnego zadowolenia z komfortu akustycznego w miejscu zamieszkania. Druga grupa dotyczyła pytań sprecyzowanych na temat uciążliwości hałasowej poszczególnych elementów programu funkcjonalno-użytkowego w mieszkaniowym wnętrzu urbanistycznym. Trzecia grupa pytań dotyczyła sytuacji demograficzno-społecznej respondenta wywiadu.

Wyniki z przeprowadzonego wywiadu wskazywały, że komfort akustyczny wokół miejsca zamieszkania przez większość respondentów odczuwany był jako dobry (poligon badawczy nr 1 – 63% i poligon badawczy nr 2 – 70%). Respondenci z poligonu badawczego nr 1 zgłaszali jednak brak komfortu akustycznego i występujące uciążliwości hałasowe wokół swojego miejsca zamieszkania (13%). Najczęstszą wymienianą przyczyną wpływającą na brak komfortu akustycznego była głośna zabawa dzieci na placu zabaw oraz działające i przejeżdżające auta. Występujące hałasy przeszkadzały mieszkańcom najczęściej w odpoczynku i w pracy. Wyniki wskazują, że większa część respondentów uważała, że nic nie można zrobić z istniejącym hałasem. Ci respondenci, którzy uważali, że poprawa klimatu akustycznego jest możliwa wymieniali jako główny element do poprawy: zmianę lokalizacji placu zabaw, uspokojenie ruchu samochodowego i zmianę lokalizacji parkingów.

Na il. 3 zaprezentowano wykres z wynikami z odpowiedzi na jedno z pytań ankietowych, które dotyczyło pytania jak ankietowani mieszkańcy oceniają komfort akustyczny wokół najbliższego miejsca zamieszkania.

residents of test areas 1 and 2, in the form of direct interviews. Participants were selected on the basis of their place of residence. Care was taken to evenly distribute respondents relative to the case study analysis area. Answers were most often given by persons living in a given area for a period of between 5 to 12 years. This means that interviews were performed with persons who had been able to observe inconveniences associated with noise in a given place of residence for quite a long period of time. 50 residents participated in the survey: 30 residents from test area no. 1 and 20 residents from test area no. 2.

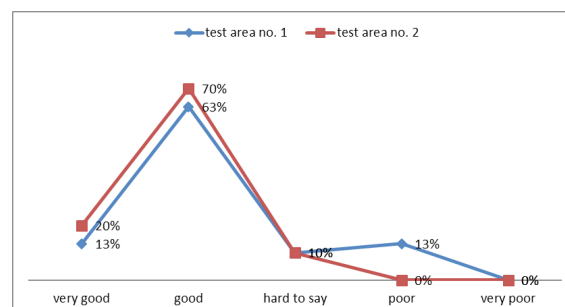
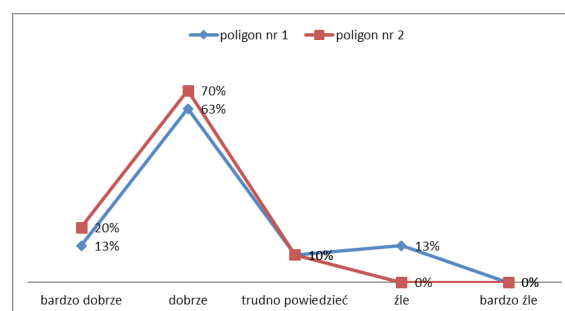
The scope of questions asked during interviews was a result of a general identification of potential noise inconvenience in residential urban interiors and individually identified sources of noise inconvenience.

The questionnaire featured three groups of questions. The first group included general questions about overall satisfaction with acoustic comfort in one's place of residence. The second group included questions that specifically concerned noise inconvenience generated by individual elements of the functional programme in the residential urban interior. The third group of questions pertained to the demographic and social situation of respondents.

The results of the survey indicated that acoustic comfort felt by residents around their place of residence was described as good (test area no. 1 – 63%, test area no. 2 – 70%). Respondents from test area no. 1, however, reported a lack of acoustic comfort and the presence of noise inconveniences around their place of residence (13%). The most often reported cause affecting the lack of acoustic comfort were children

Il. 3. Wykres przedstawia jak mieszkańcy badanych przestrzeni zamieszkania (poligonu badawczego nr 1 i nr 2) oceniają komfort akustyczny. Autor: B. Walicka-Góral

III. 3. Graph showing how residents of the investigated spaces of residence (test areas no. 1 and no. 2) rated acoustic comfort. Author: B. Walicka-Góral



## POMIARY AKUSTYCZNE

Badania terenowe dotyczące wyznaczenia poziomu dźwięku na poligonach badawczych zostały przeprowadzone w czerwcu 2015 r. w ciągu jednego dnia w porze dziennej. Pomiary przeprowadzono w korzystnych warunkach propagacji dźwięku. Dzień pomiarowy charakteryzował się brakiem opadów oraz temperaturą ok. 22 °C. Wiatr wiał z kierunku północno-zachodniego. Wilgotność powietrza wynosiła 50%, a ciśnienie atmosferyczne wahało się w granicy 990.59 hPa.

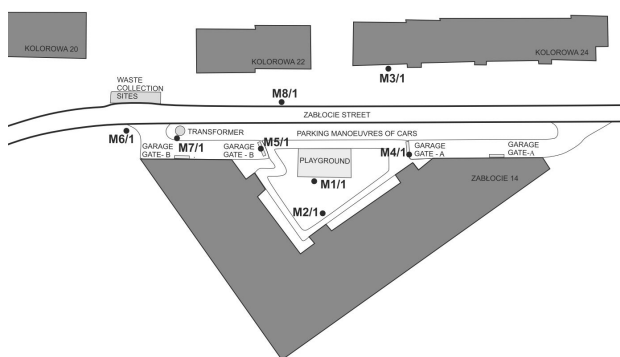
Pomiar hałasu przeprowadzono przy użyciu zestawu mierników dźwięku. Mierzono równoważny poziom dźwięku LAeq dB, szczytowy poziom dźwięku LAm<sub>ax</sub> dB, minimalny poziom dźwięku LA<sub>min</sub> dB oraz hałas impulsowy LA<sub>peak</sub> dB (2002/49/WE, 2002). Wraz z pomiarem poziomu dźwięku, w czasie prowadzenia badań w terenie wykonano pomiar: natężenia ruchu na drodze dojazdowej ul. Zabłocie, częstotliwość wjazdów i wyjazdów z garaży zlokalizowanych w budynku Zabłocie 14, liczbę manewrów parkowania i odjazdów aut z terenu parkingu naziemnego. Lokalizacja poszczególnych mierników nie była stała przez cały okres prowadzonych badań. Ze względu na fakt, że różne zdarzenia dźwiękowe miały miejsce w różnym czasie poszczególne mierniki były umieszczane w punktach pomiarowych w zależności od pory występowania wytypowanego zdarzenia dźwiękowego. Pomiary były wykonywane w sposób ciągły, w czasie trwania danego zdarzenia dźwiękowego. Przedział czasowy dla wyników badań poziomu dźwięku został określony na podstawie obserwacji czasu trwania poszczególnego zdarzenia dźwiękowego w terenie.

Zakres badań poziomu dźwięku w terenie objął źródła hałasu, które zostały wytypowane dla badanych wewnątrz na etapie badań ankietowych przeprowadzonych z mieszkańcami badanych zespołów zabudowy. Przy wybranych źródłach hałasu zostały zlokalizowane punkty pomiarowe. Na il. 4 pokazano lokalizację punktów pomiarowych i lokalizację istniejących źródeł hałasu na poligonie badawczym nr 1.

Dla poligonu badawczego nr 1 były to źródła hałasu, takie

Il. 4. Mapa sytuacyjna dla poligonu badawczego nr 1 (zaznaczono na czarno lokalizację punktów pomiarowych oraz opisano miejsca występowania wybranych zdarzeń dźwiękowych). Autor: B. Walicka-Góral

III. 4. Site map for test area no. 1 (measurement points were marked in black and descriptions of the location of the occurrence of selected sonic events were provided). Author: B. Walicka-Góral



playing loudly at the playground and passing or standing cars with their engines turned on. The noises that had been present most often interfered with the residents' rest or work. Results indicated that the majority of respondents believed that nothing could be done about the existing noise. Those respondents who believed that an improvement of acoustic climate was possible mentioned the following main elements that could be improved: relocating the playground, calming vehicular traffic and relocating parking spaces.

III. 3 shows a graph with the responses to one of the survey questions which concerned how the respondents rated acoustic comfort around their immediate place of residence.

## ACOUSTIC MEASUREMENTS

Field research concerning determining sound levels at the test areas were performed in June 2015 over the course of a single day, during daytime hours. The measurements were performed under favourable sound propagation conditions. The day of performing the measurements was characterised by a lack of precipitation and a temperature of around 22 °C. Wind blew from the north-west. Air humidity was at 50%, while atmospheric pressure was around 990.59 hPa. Noise measurement was performed using a set of sound metres. Measurements included continuous equivalent sound pressure level LAeq dB, maximum sound level LAm<sub>ax</sub> dB, minimum sound level LA<sub>min</sub> dB and peak sound pressure LA<sub>peak</sub> dB (2002/49/WE, 2002). Along with sound level measurements, the following elements were also measured during the performance of field research: traffic intensity along Zabłocie Street access road, frequency of vehicles entering or leaving the parking lot located in the building at 14 Zabłocie Street, the amount of parking manoeuvres and departures of vehicles from the surface parking area. The location of the individual metres was not constant over the entire course of tests. Due to the fact that various sonic events took place at a different time, the individual metres were placed at measurement points

Il. 5. Mapa sytuacyjna dla poligonu badawczego nr 1 (zaznaczono na czarno lokalizację punktów pomiarowych oraz opisano miejsca występowania wybranych zdarzeń dźwiękowych). Autor: B. Walicka-Góral

III. 5. Site map for test area no. 2 (measurement points were marked in black and descriptions of the location of the occurrence of selected sonic events were provided). Author: B. Walicka-Góral



jak: zabawa dzieci na placu zabaw, działanie transformatora, manewr parkowania aut na parkingu naziemnym, przejeżdżające auta ulicą Zabłocie, wjazd/wyjazd auta do garażu podziemnego dla bramy garażowej A – dolnej i górnej, wjazd/wyjazd auta do garażu podziemnego dla bramy garażowej B – dolnej i górnej, wywóz nieczystości stałych z miejsca gromadzenia odpadów stałych.

Dla poligonu badawczego nr 2 były to takie źródła hałasu, jak: zabawy dzieci na placu zabaw, działająca fontanna. Na il. 5 przedstawiono lokalizację punktów pomiarowych i lokalizację istniejących źródeł hałasu dla poligonu badawczego nr 2.

Wyniki poziomu dźwięku dla poszczególnych zdarzeń dźwiękowych zostały wyznaczone przy użyciu programu SvanPC++ na podstawie uzyskanych danych z badań w terenie, analizy tych danych oraz obserwacji i notatek z terenu prowadzonych w trakcie pomiarów hałasu.

Wyniki poziomu hałasu  $L_{Amax}$ , dla jednego z badanych zdarzeń dźwiękowego jak zabawa dzieci na placu zabaw w przypadku poligonu badawczego nr 1, wyniosły 93,2 dB.  $L_{Amax}$  dla tego przypadku jest bardzo wysoki. Brak komfortu akustycznego jest bardzo dokuczliwy w takim przypadku, ponieważ zabawa dzieci trwa dłuższy czas, a hałas z placu zabaw może trwać w okresie letnim od 3 do 5 godzin. Poziom ekspozycji na hałas, na jaki narażony jest odbiorca ma skutki w zależności od czasu trwania hałasu i poziomu jego głośności. Przy tego typu narażeniu mieszkańców na hałas mogą wystąpić negatywne skutki zdrowotne, takie jak np. uszkodzenie słuchu. Czas, po jakim dany poziom dźwięku wpływa negatywnie na zdrowie zależy od jego poziomu. W omawianym przypadku maksymalny czas ekspozycji w ciągu 24 godzin przy poziomie hałasu 91 dB wynosi 2 godziny, po przekroczeniu tego okresu może dojść do uszkodzenia słuchu.

## **SYMULACJA KLIMATU AKUSTYCZNEGO STANU ISTNIEJĄCEGO**

Celem przeprowadzenia trzeciego etapu badań polegających na badaniach symulacyjnych było wizualne zobrazowanie klimatu akustycznego w badanych mieszkaniowych wnętrzach urbanistycznych oraz porównanie wyników pomiędzy badanymi wnętrzami urbanistycznymi. Przeprowadzone badania symulacyjne miały na celu także weryfikację i ocenę przydatności modelu symulacyjnego zbudowanego w programie SoundPLAN do prognozowania rozchodzenia się hałasu w mieszkaniowych wnętrzach urbanistycznych.

Do przeprowadzenia badań symulacyjnych wykorzystano wyniki uzyskane z etapu 1 i 2 przeprowadzonych badań. W celu wizualnego przedstawienia najbardziej niedogodnego klimatu akustycznego, jaki panował na poligonach badawczych, wprowadzono do modeli symulacyjnych wartości maksymalnego poziomu dźwięku  $L_{Amax}$ , przyjmując, że to te maksymalne wartości hałasu są najbardziej uciążliwe dla mieszkańców. Do budowy map hałasu i fasadowych map hałasu 3D zostały wprowadzone wyniki poziomu dźwięku uzyskane na etapie 2 badań dla zdarzeń dźwiękowych, które mają zmienny czas występowania, więc ostatecznie dzienny

depending on the time of occurrence of a given sonic event. The measurements were performed in a continuous manner, over the entire duration of a given sonic event. The time interval for the results of sound level measurements was defined on the basis of observing the duration of individual sonic events in the field.

The scope of sound level analysis in the field covered noise sources that had been determined for the investigated interiors during the survey performed with the residents of the studied building complexes. Measurement sites were placed near selected noise sources. Ill. 4 depicts the location of measurement sites and existing noise sources within test area no. 1.

For test area no. 1 these were noise sources such as: children playing at the playground, noise generated by the transformer unit, parking manoeuvres of cars on the surface parking lot, cars driving along Zabłocie street, entry/exit of a car from an underground parking garage for garage gate A — lower and upper, entry/exit of a car from an underground parking garage for garage gate B — lower and upper, waste collection from waste collection sites.

For test area no. 2 these were noise sources like: children playing at the playground, an operating fountain. Ill. 5 depicts the location of measurement sites and the location of existing noise sources for test area no. 2.

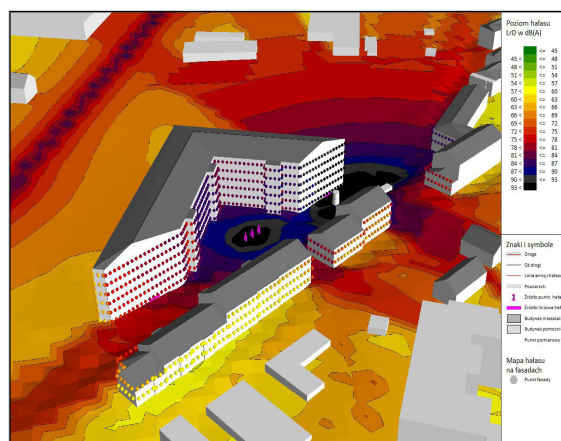
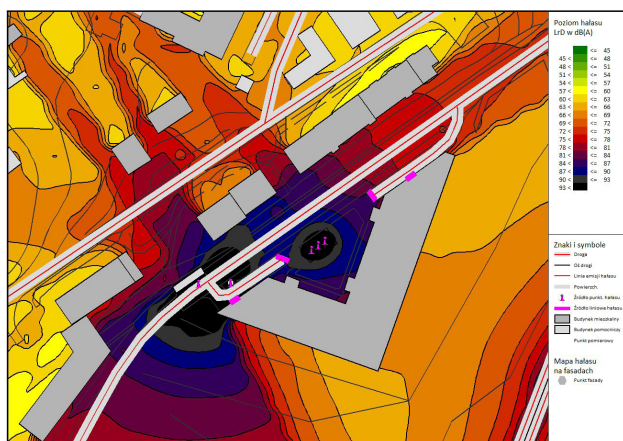
The sound level measurement results for individual sonic events were determined using SvanPC++ software based on data that had been collected during field research, an analysis of said data, observations and field notes written during noise measurements.

The results of  $L_{Amax}$  noise level measurements for one of the studied sonic events, such as the sound of children playing at a playground, amounted to 93,2 dB in the case of test area no. 1.  $L_{Amax}$  for this case is very high. The lack of acoustic comfort is very irritating in this case, as children play for extended periods of time and noise from a playground can have a duration of between 3 to 5 hours in the summer season. The level of exposure to noise that a person is subjected to has different effects depending on the duration of noise and its sound level. With this type of exposure of residents to noise, consequences to their health can occur, such as hearing impairment. The time in which a given noise level negatively affects health depends on its sound level. In the case being discussed, the maximum exposure time over a 24-hour period with a sound level of 91 dB is 2 hours, with risk of hearing impairment occurring should this time be exceeded.

## **EXTANT STATE ACOUSTIC CLIMATE SIMULATION**

The goal of performing the third stage of research, which included a simulation study, was the visual imaging of acoustic climate in the selected residential urban interiors and comparing results between the two investigated urban interiors. The simulation study that was performed was also aimed at validating and assessing the usefulness of a simulation model built using SoundPLAN software to prognosticate noise propagation within residential urban interiors.

Results from the first and second stage of the study were used to carry out the simulation study. In order



II. 6. Mapa hałasu i fasadowa mapa hałasu 3D dla poligonu badawczego nr 1. Autor: B. Walicka-Góral

III. 6. Noise map and 3D facade noise map for test area no. 1. Author: B. Walicka-Góral

uśredniony poziom hałasu jest niższy niż ten przedstawiony na mapach hałasu poniżej.

Do budowy modeli symulacyjnych wykorzystano dane geometryczne dotyczące badanych wewnątrz urbanistycznych i ich otoczenia.

Ilustracje 6 i 7 przedstawiają mapy hałasu badanych mieszkaniowych wewnątrz urbanistycznych.

Symulacje komputerowe klimatu akustycznego stanu istniejącego zostały przedstawione dla obu poligonów badawczych w postaci: map hałasu i fasadowych map hałasu 3D. Dla obu poligonów badawczych została przyjęta taka sama skala rozkładu wartości poziomu hałasu i przyjęto taką samą skalę kolorów. Przyjęto izofony – linie jednakowego poziomu dźwięku co 3 dB, ze względu na fakt, że dopiero zmiany poziomu hałasu o 3 dB są odczuwane przez człowieka. Średnia zdolność człowieka do odczuwania zmian poziomu hałasu nie jest wprost proporcjonalna do wzrostu poziomu natężenia hałasu. Dla większości słuchaczy zmiany poziomu hałasu o ok. 10 dB są zwykle postrzegane jako podwojenie lub zmniejszenie o połowę głośności dźwięku (Anderson 1973). Skale izofon przyjęto rozpoczynając od wartości 45 dB – kolor ciemno zielony do wartości 93 dB i więcej – kolor czarny. Wyznaczenie minimalnej wartości izofon na poziomie 45 dB związane było z tym, że jest to maksymalna dopuszczalna w Polsce wartość poziomu hałasu bytowego w porze nocnej  $L_{N}$ , a w porze dziennej  $L_{DEN}$  55 dB dla terenów zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej w środowisku zewnętrznym (Ordinance of the Minister of the Environment 2007).

Na podstawie uzyskanych wyników z przeprowadzonych symulacji klimatu akustycznego stanu istniejącego panującego na poligonie badawczym nr 1, przy przyjęciu najmniej korzystnych warunków akustycznych, można stwierdzić, że przekroczone zostały dopuszczalne poziomy dźwięku dla zdrowego akustycznie środowiska zamieszkania. Zgodnie z WHO zdrowe akustycznie środowiska zamieszkania to takie, w którym dźwięki nie powodują niekorzystnych skutków zdrowotnych. Według zaleceń WHO granicznymi wartościami poziomu hałasu po przekroczeniu którego mogą wystąpić niekorzystne

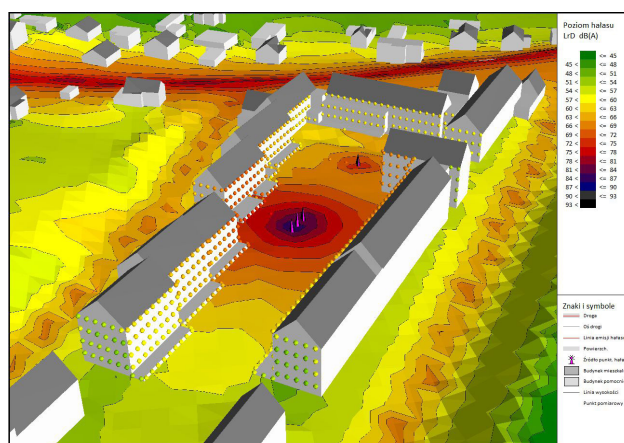
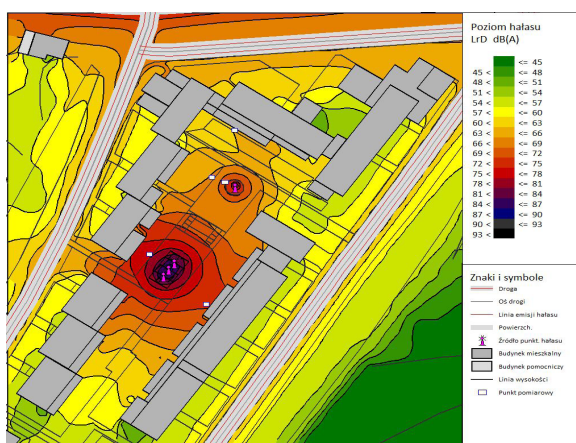
to visually represent the most inconvenient acoustic climate in the test areas, values of maximum sound level  $L_{Amax}$  were entered into the simulation models, assuming that it is those maximum noise values that are the most inconvenient to residents. In order to build noise maps and 3D facade noise maps, the results of sound level measurements performed during the second stage of the study were entered for sound events with a varying occurrence time, and thus ultimately the daily averaged noise level was lower than the one depicted on the noise maps below.

Geometric data concerning the studied urban interiors and their surroundings.

Ills. 6 and 7 depict noise maps of the investigated urban interiors.

Digital extant state acoustic climate simulations were presented for both test areas in the form of: noise maps and 3D facade noise maps. The same noise level distribution value scale was adopted for both test areas, along with the same colour scale. Equal-loudness contours spaced at every 3 dB were adopted due to the fact that only noise levels of 3 dB are perceptible to the human ear. The average human capacity to perceive noise changes is not directly proportional to increases in noise intensity. For most listeners, changes in noise levels by around 10 dB are typically perceived as a given sound being twice as loud or half as loud as the previous one (Anderson, 1973). The equal-loudness contour scale was adopted starting with 45 dB—with a dark green colour, up to a value of 93 dB and higher—signified with the colour black. Determining the minimum value of equal-loudness contours at a level of 45 dB was associated with the fact that it is the maximum living noise permissible in Poland during night-time  $L_{N}$ , while during daytime it is  $L_{DEN}$  55 dB for areas with multi-family residential buildings in an external environment (Ordinance of the Minister of the Environment, 2007).

Based on the results that were obtained and the extant state acoustic climate simulations for test area no. 1, assuming the least-favourable acoustic conditions, it can be concluded that permissible noise levels for



II. 7. Mapa hałasów i fasadowa mapa hałasów 3D dla poligonu badawczego nr 2. Autor: B. Walicka-Góral

III. 7. Noise map and 3D facade noise map for test area no. 2. Author: B. Walicka-Góral

skutki dla zdrowia człowieka jest poziom dźwięku  $L_{DEN}$  powyżej 50 dB w ciągu dnia, a w ciągu nocy powyżej  $L_N$  40 dB (Berglund, Lindvall&Schwela, 1999).

Dla przeprowadzonych badań symulacyjnych graniczny poziom hałasu na fasadach budynków sięgał nawet 87 dB. Na podstawie uzyskanych wyników dla poligonu badawczego nr 1 można stwierdzić, że hałas pochodzący z placu zabaw, tak jak inne hałasy bytowe, ma duże znaczenie w kreowaniu komfortu akustycznego w środowisku zbudowanym.

Wyniki symulacji przeprowadzone dla poligonu badawczego nr 2 wskazują na fakt, że zarówno hałas pochodzący z placu zabaw, jak i hałas pochodzący od działającej fontanny ma znaczący wpływ na klimat akustyczny badanego wnętrza. Na podstawie przeprowadzonych badań symulacyjnych można stwierdzić, że wartości poziomu hałasu odczytane na elewacjach budynków znajdujących się najbliżej placu zabaw są znacznie wyższe niż te, na elewacjach budynków oddalonych od placu zabaw. Różnica pomiędzy tymi wartościami jest wyraźna i sięga nawet 20 dB.

W badanych wnętrzach program funkcjonalno-użytkowy był zróżnicowany. We wnętrzu na poligonie badawczym nr 1 występowało 9 źródeł hałasu, co miało istotny wpływ na mniej korzystny klimat akustyczny. Na poligonie badawczym nr 2 we wnętrzu występowały tylko 2 źródła hałasu. Przeprowadzona symulacja wskazała, że hałas związany z elementami programu funkcjonalno-użytkowego ma istotny wpływ na klimat akustyczny mieszkaniowego wnętrza urbanistycznego.

Wyniki z symulacji komputerowych klimatu akustycznego stanu istniejącego wskazały w sposób obrazowy wagę problemu, jakim jest hałas w środowisku mieszkaniowym. Wizualne przedstawienie hałasu ujawniło skalę problemu, czyli brak komfortu akustycznego na terenie zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej.

## WNIOSKI

Poprzez przeprowadzone badania i uzyskane wyniki można stwierdzić, że komfort akustyczny i klimat akustyczny zostały zidentyfikowane i szczegółowo zbadane. Przedstawione mapy hałasu i fasadowe mapy hałasu 3D mogą

an acoustically healthy housing environment were exceeded. According to WHO, an acoustically healthy housing environment is an environment in which sounds do not cause adverse health effects. According to WHO recommendations, liminal noise value levels that, when exceeded, can cause adverse health effects in humans are sound levels  $L_{DEN}$  above 50 dB during the day and above  $L_N$  40 dB during the night (Berglund, Lindvall&Schwela, 1999).

In the simulation study that was performed, the liminal noise level on building facades reached as much as 87 dB. Based on results obtained for test area no. 1 we can conclude that noise generated by playgrounds, just like any living noise, is highly significant to acoustic comfort in the built environment.

Simulation results performed for test area no. 2 point to the fact that both noise generated at the playground and the noise generated by the functioning fountain had a significant influence on the acoustic climate of the investigated interior. Based on the simulation study that was performed, it can be concluded that noise values registered on the facades of buildings located the closest to the playground were much higher than those on the facades of buildings located further away from it. The difference between these values is considerable and is as high as 20 dB.

The functional programme within the investigated interiors is varied. There were 9 noise sources in the interior of test area no. 1, which had a considerable impact on its less-favourable acoustic climate. There were only 2 noise sources in test area no. 2. The simulation that was performed demonstrated that noise associated with elements of the functional programme has a significant impact on the acoustic climate of residential urban interiors.

The results of digital extant state acoustic climate simulations demonstrated the significance of the problem of noise in a housing environment in a graphical manner. The visual representation of noise revealed the scale of the problem of the lack of acoustic comfort in an area occupied by multi-family residential buildings.

posłużyć jako tło do dalszych badań klimatu akustycznego środowiska zamieszkania. Na podstawie uzyskanych wyników można wskazać, jakie elementy wpływają niekorzystnie na klimat akustyczny w przestrzeni zewnętrznej zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej oraz, które elementy w dalszych badaniach mogą ulegać zmianie czy modyfikacjom w celu poprawy klimatu akustycznego.

Drogą do osiągnięcia komfortu akustycznego na terenach zabudowy mieszkaniowej jest poznanie oraz scharakteryzowanie krajobrazu dźwiękowego i zbadanie klimatu akustycznego. Istotna jest wrażliwość urbanisty, architekta na jakość środowiska akustycznego. Takie podejście jest drogą do świadomego i odpowiedzialnego kształtowania krajobrazu dźwiękowego i kontrolowania klimatu akustycznego, co prowadzi do ograniczania do minimum niedostatków komfortu akustycznego mieszkańców. Komfort akustyczny stawiany jest coraz częściej na pierwszym miejscu wśród cech zdrowego środowiska mieszkaniowego. Niestety jest on wciąż niedoceniany w roli prozdrowotnej, a sposoby jego osiągania są mało rozpoznane i rozpowszechnione.

Wskazane jest, aby w dążeniu do odpowiedzialnej urbanizacji w polityce mieszkaniowej wprowadzić zapisy o wymogu dbania o komfort akustyczny w środowisku zamieszkania. Następujące postulaty, które mogą posłużyć do kreowania odpowiedzialnej urbanistyki akustycznego środowiska zbudowanego to:

1. Istotna rola krajobrazu dźwiękowego. Rolę krajobrazu dźwiękowego należy traktować na takim samym poziomie, jak rolę estetyki wizualnej w procesie planowania miejskiego.
2. Rozpowszechnienie wiedzy na temat skutków hałasu. Działania takie mogą doprowadzić do wzrostu świadomości roli, jaką odgrywa hałas w życiu człowieka, a przez to do zwiększenia wiedzy mieszkańców na temat istnienia norm hałasu, a projektantów do ich przestrzegania.
3. Świadome projektowanie akustyczne. Projektowanie takie może przyczynić się do podniesienia jakości krajobrazu dźwiękowego środowiska zbudowanego.
4. Wyznaczenie stref akustycznych w mieście. Poprzez właściwe planowanie można zidentyfikować obszary wymagające w przyszłości ochrony przed hałasem.
5. Wyznaczenie stref ciszy. Strefy ciszy w projektowanym osiedlu mieszkaniowym należy podzielić na strefę dla terenów rekreacji i na podstrefy dla fasady mieszkania, a resztę osiedla należy projektować w granicach dopuszczanych przez prawo poziomów.
6. Jawność informacji o klimacie akustycznym najbliższego miejsca zamieszkania. Istotne jest wprowadzenie obowiązku analizy akustycznej najbliższego miejsca otoczenia zabudowy. Obowiązek ten powinien dotyczyć zarówno stanu istniejącego, jak i projektowanego środowiska zamieszkania.

W artykule opisano metodologię badania komfortu i klimatu akustycznego rozważając podejście do krajobrazu dźwiękowego w zewnętrznej przestrzeni mieszkaniowej.

## CONCLUSIONS

Based on the research that had been performed and the results that were obtained, we can conclude that acoustic comfort and climate were identified and investigated in detail. The noise maps and 3D facade noise maps that were presented can be used as a background for further studies of the acoustic climate of the housing environment. Based on the results that were obtained, we can identify elements that negatively affect the acoustic climate in the external space of multi-family residential building complexes and which elements can be changed or modified in order to improve said acoustic climate in future research.

The way to achieve acoustic comfort in residential areas is to know and characterize the soundscape and study the acoustic climate. The sensitivity of the urban planner and architect to the quality of the acoustic environment is important. This approach is the way to consciously and responsibly shape the soundscape and control the acoustic climate, which leads to minimizing the shortcomings of the acoustic comfort of the residents. Acoustic comfort is more and more often put on the first place among the features of a healthy living environment. Unfortunately, it is still underestimated in its pro-health role, and the ways to achieve it are little recognized and widespread.

It is recommended to introduce regulations concerning requirements concerning care for acoustic comfort in the housing environment as a part of pursuing responsible urbanization in housing policy. The following postulates that can be used to create responsible urban planning of the acoustic built environment are:

1. Essential role of the soundscape. The role of the soundscape should be treated at the same level as visual aesthetics in the process of city planning.
2. Spreading knowledge on the subject of the effects of noise. Such measures can lead to increased awareness of the role that noise plays in human life, and thus to an increase in the level of knowledge of the existence of noise standards among residents and to designers following them.
3. Conscious acoustic design. Such design can lead to an improvement in the quality of the soundscape of the housing environment.
4. Establishing acoustic zones within cities. Through appropriate planning we can identify areas requiring protection from noise in the future.
5. Establishing quiet zones. Quiet zones in a newly designed residential complex should be divided into a zone for recreational areas and subzones for apartment facades, with the remaining part of a complex to be designed within the limits permissible by law.
6. Open information on the acoustic climate of one's immediate place of residence. It is essential to introduce mandatory acoustic analyses of the immediate surroundings of buildings. This requirement should apply both to an extant state, as well as to the designed state of a housing environment.

The article describes a methodology of studying acoustic climate and comfort, discussing an approach to the soundscape within the external housing space.

## BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

- [7] *Acoustics Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment*. The International Organization for Standardization standard ISO 1999:2013.
- [8] Anderson, G.S., Miller, L.N., Shadley, J.R., (1973). *Fundamentals and Abatement of Highway Traffic Noise*. Cambridge, Mass.: Bolt Beranek and Newman, Inc.
- [9] Beatley, T., (2013). Celebrating the Natural Soundscapes of Cities, presentation Charlottesville, 13 January 2013; <https://www.thenatureofcities.com/2013/01/13/celebrating-the-natural-soundscapes-of-cities/>, accessed 11 February 2021.
- [10] Berglund, B.T., Lindvall T., Schwela, D.H., (1999). *Guidelines for Community Noise*. Geneva: WHO.
- [11] Biddulf, M., (2012). The Problem with Thinking about or for Urban Design. *Journal of Urban Design*, Vol. 17: 1-20.
- [12] Brown, T., Bhatti, M., (2003). Whatever Happened to 'Housing and the Environment'. *Housing Studies* Vol. 18 (4): 505-515.
- [13] Carlson, C., Aytur, S., Gardner, K., Rogers, S., (2012). Complexity in Built Environment, Health, and Destination Walking. *Journal of Urban Health* 89 (2): 270-284.
- [14] Castiñeira-Ibañez S., Rubio C., Sánchez-Pérez J.V., (2015). *Environmental noise control during its transmission phase to protect buildings. Design model for acoustic barriers based on arrays of isolated scatterers*, Build Environ, 93, 179-185.
- [15] Dovey, K., Pafka, E., (2020). What is walkability? The urban DMA, *Urban Studies* Vol. 57 (1): 93-108.
- [16] Elmqvist, T., (2013). *Designing the Urban Soundscape*, Stockholm, 25 August 2013 <https://www.thenatureofcities.com/2013/08/25/designing-the-urban-soundscape>, accessed 20 July 2020.
- [17] Interim Report. Towards A Local Sustainability Profile (2002) European Commission, Ministerio dell'Ambiente e del Territorio, ANPA.
- [18] Kang J., (2002). *Acoustics of long spaces: theory and design guidance*, Thomas Telford.
- [19] Kang J., (2007). *Urban sound environment*, Taylor and Francis.
- [20] Kerber G., Makarewicz R., (1981). *An optical scale model of traffic noise propagation in an urban environment*, Appl. Acoust., 14(5), 331-45.
- [21] Lee P.J., Kim Y.H., Jeon J.Y., Song K.D., (2007). *Effects of apartment building façade and balcony design on the reduction of exterior noise*, Build Environ., 42, 3517-3528.
- [22] Lenzholzer, S., (2015). *Weather in the City. How Design Shapes the Urban Climate*. Rotterdam: naio10 publishers.
- [23] Levy, J. M., (2017). *Contemporary Urban Planning*. New York & London: Routledge, Taylor&Francis Group.
- [24] Licklider, H., (1965). *Architectural scale*. London: The Architectural Press.
- [25] Moughtin, C., (2003). *Urban Design. Street and Square*. Oxford: Architectural Press.
- [26] Mun S., Cho Y., (2009). *Noise barrier optimization using a simulated annealing algorithm*, Appl Acoust, 70, 1094-1098.
- [27] *Ordinance of the Minister of the Environment of the 14th of June 2007 on the matter of permissible noise levels within the environment* (Unified text. Dz.U.2014, pos. 112.)
- [28] Orr, F., (1985). *Scale in Architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold Company.
- [29] PN-B-02153:2002, (2002). *Acoustics. Terminology, symbols and units*.
- [30] Rogers, R., Power, A., (2000). *Cities for a small country*. London: Faber and Faber Limited.
- [31] Schafer, R.M., (1977). *The tuning of the world*. New York: Knopf.
- [32] Schneider-Skalska, G., (2011). *Designing a healthy housing environment: Selected problems*. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing.
- [33] Solarek, K., (2019). *Urban Design in Town Planning. Current Issues and Dilemmas from the Polish and European Perspective*, Warsaw: Warsaw University of Technology Publishing House.
- [34] Torija A. J. and Flindell I. H., (2014) *Listening laboratory study of low height roadside noise barrier performance compared against in-situ field data*, Build Environ, 81, 216-225.
- [35] Version 2002/49 / EC of the European Parliament and the Council of Europe for European evaluation and management Career start on June 25, 2002.
- [36] Walicka-Góral B., (2020). *Noise from refuse collection and disposal in residential developments in the context of Polish legal and formal conditions*, Technical Transactions, e2020035. <https://doi.org/10.37705/TechTrans/e2020035>.
- [37] Walicka-Góral B., (2018) *Wpływ urbanistyczno-architektonicznego kształtowania mieszkaniowego wnętrza urbanistycznego na jego komfort akustyczny*. Praca doktorska. Kraków: Politechnika Krakowska.
- [38] Wiener, F.M., Malme, C.I., Gogos, C.M., (1965). *Sound propagation in urban areas*. The Journal of the Acoustical Society of America 37: 738-747.
- [39] Yang, H.-S., Kim, M.-J., Kang, J., (2013). *Acoustic characteristics of outdoor spaces in an apartment complex*. Noise Control Eng. J., 61, 1-10.
- [40] Yu C. J., Kang J., (2009). *Environmental impact of acoustic materials in residential buildings*, Build Environ, 44(10), 2166-2175.