

**Streszczenie pracy doktorskiej**  
**pt. „Klimat akustyczny, jako kryterium kształtowania układu dróg i ich otoczenia”**

Rozprawa doktorska podejmuje problematykę wzajemnej lokalizacji drogi i zabudowy w aspekcie analizy i oceny klimatu akustycznego w otoczeniu zabudowy przy wykorzystaniu wskaźników akustycznych i map rozprzestrzeniania się hałasu.

Tematyka pracy sytuowana jest w nurcie prac powiązanych z projektowaniem dróg oraz planowaniem przestrzennym zmierzającym do budowy hierarchicznych sieci drogowych, tj. takich, w których występują drogi (ulice) o funkcjach: ruchowych (A, S a także GP i G), drogi pełniące funkcje tzw. dystrybutorów ruchu (G i Z) i drogi o funkcjach dojazdowych (do źródeł i celów ruchu, a zwłaszcza do zabudowy), tj. Z, L i D. Przy tak ukształtowanej sieci można stosować bardziej racjonalne rozwiązania w zakresie ochrony akustycznej otaczającej zabudowy, co zostało wykazane w rozprawie.

Wykonane przez autora analizy istniejącego zagospodarowania w otoczeniu dróg i ulic prowadzą do wniosku, że nie przykładano należytej wagi do problemu uciążliwości hałasu generowanego przez rosnący ruch drogowy. Obudowa dużej części dróg w Polsce w sposób nieuwzględniający wymagań ochrony przed hałasem oraz wymagań bezpieczeństwa ruchu powoduje bardzo wysokie koszty wprowadzania środków ochrony. Dlatego konieczna jest zmiana dotychczasowej praktyki planistycznej i projektowej wspomagana m.in. przez nowe narzędzia oceny uciążliwości hałasu drogowego. Jednym z nich jest wskazanie sposobów kształtowania układów „droga – zabudowa”. Takie zadanie zostało podjęte przez autora.

Na podstawie analizy istniejących układów „droga-zabudowa” oraz wcześniejszych badań hałasu w otoczeniu dróg z zabudową, a także przeglądu literatury, sformułowano tezy pracy, które syntetycznie ujęte sprowadzają się do stwierdzeń:

- zastosowanie metody wskaźnikowej do oceny ekspozycji na hałas układów zabudowy i terenu wokół drogi może umożliwiać lepsze planowanie (układu) rozmieszczenia budynków wrażliwych na hałas wokół dróg;
- zastosowanie linii referencyjnych w MPZP może przyczyniać się do zmniejszenia potrzebnych zabezpieczeń akustycznych projektowanych dla zabudowy/terenu wokół drogi i/lub do zwiększenia ich efektywności
- Możliwa jest optymalizacja wzajemnej lokalizacji drogi i zabudowy, która powinna obejmować analizę wpływu czynników związanych z ruchem drogowym w tym wpływem hałasu oraz z możliwością ochrony zabudowy w otoczeniu drogi.

Jako główny cel pracy przyjęto opracowanie narzędzia umożliwiającego relatywną ocenę poziomu narażenia na hałas dla założonych układów „droga – zabudowa”. Ponadto w pracy przeprowadzono:

- ocenę możliwości zastosowania linii referencyjnych w miejscowych planach zagospodarowania przestrzennego w celu minimalizacji potrzebnych zabezpieczeń akustycznych zabudowy/terenu wokół drogi oraz zwiększenia ich efektywności,
- analizę wpływu czynników związanych z ruchem drogowym na klimat akustyczny w rejonie zabudowy przy różnych rozwiązaniach wzajemnej lokalizacji drogi i zabudowy, a także wykonano oceny różnych możliwości ochrony zabudowy przed hałasem w otoczeniu drogi.

Na podstawie analizy 770 poligonów zlokalizowanych wzdłuż dróg krajowych i wojewódzkich zidentyfikowano typowe schematy układu „droga – zabudowa”. Do ich klasyfikacji zbudowano modele regresyjne, wykonując wcześniej selekcję statystycznie istotnych zmiennych objaśniających.

Do ocen narażenia zabudowy w otoczeniu dróg na hałas drogowy wprowadzono miarę w postaci mocy akustycznej źródła hałasu i opracowano zależności regresyjne umożliwiające wyznaczanie wartości tej miary w funkcji natężenia ruchu, prędkości i udziału pojazdów ciężkich. Wartość mocy akustycznej pozwala uwzględnić zmienność natężenia ruchu struktury rodzajowej pojazdów oraz średniej prędkości potoku pojazdów. Zastosowanie takie miary usprawniło prowadzenie analiz i umożliwiło przedstawienie ich wyników w bardziej czytelnej formie uogólnionej.

Do ocen ekspozycji na hałas układów „droga – zabudowa” wyselekcjonowano 72 poligony, w odniesieniu, do których zostały wyznaczone wartości wcześniej zdefiniowanego zbioru wskaźników narażenia na hałas.

W pracy przedstawiono metodę wskaźnikowej oceny narażenia na hałas zabudowy w otoczeniu dróg przy wykorzystaniu map hałasu. Zilustrowanie wykorzystania tej metody przedstawiono na przykładzie 7 wybranych poligonów. Opracowana metoda umożliwia wybranie najlepszego układu zabudowy z grupy układów „droga-zabudowa” poddanych analizie. W praktyce opisana metoda może być wykorzystana do porównywania różnych układów „droga – zabudowa” zarówno w fazie planowania przestrzennego (grupa budynków), jak i w fazie projektowania szczegółowego (pojedyncze budynki).

W pracy opisano także analizy związane z określaniem minimalnej odległości zabudowy od krawędzi drogi z uwagi na ochronę akustyczną zabudowy, tj. tzw. linii referencyjnej. Obejmowały one m.in. wykonanie pomiarów hałasu w terenie, kalibrację symulacyjnego modelu obliczeniowego, a następnie wyznaczanie poziomu hałasu przy różnych odległościach zabudowy od drogi. Badania rozprzestrzeniania się hałasu wokół drogi wykazały, że wymagana odległość pierwszej linii zabudowy jest zróżnicowana drogi z uwagi na ochronę akustyczną wynosi w przypadku dużych natężeń ruchu nawet ponad 200 m od krawędzi drogi. Odległości ta zależy od wartości prognozowanego natężenia hałasu, rodzaju pokrycia (teren odbijający i absorbujący falę dźwiękową) oraz wysokości punktu obserwacji. W pracy podano uzasadnienia, dlaczego kwalifikowanie terenów w procesie planowania przestrzennego pod zabudowę i wyznaczanie sposobów zagospodarowania działek powinno uwzględniać linie referencyjne.

Pracę zakończono podsumowaniem oraz wskazaniem kierunków dalszych działań, które wynikają z przeprowadzonych analiz i badań. Najważniejsze z nich sprowadzają się do następujących stwierdzeń:

- zastosowanie wartości mocy akustycznej do oceny klimatu akustycznego pozwala w analizach uprościć sposób opisu wpływu czynników związanych ze zmiennymi ruchowymi,
- opracowano metodę ocen wskaźnikowych będącą narzędziem dla uwzględniania kryterium hałasu drogowego w planowaniu i utrzymaniu,

Wśród kierunków dalszych badań za najważniejsze uznano:

- Wpływ zmian w strukturze rodzajowej pojazdów, tj. pojazdów autonomicznych, pojazdów wyposażonych w systemy wspomagające poruszanie się pojazdów (np. ADAS) oraz pojazdów elektrycznych w analizach rozprzestrzeniania się hałasu
- Pełniejsze uwzględnienie zabudowy arterii wlotowych oraz przejść przez miejscowości wraz ze skrzyżowaniami, drogami serwisowymi, jako całość układu drogowego.
- Wpływ hałasu kolejowego na bezpieczną lokalizację zabudowy wzdłuż drogi kolejowej.

### **Streszczenie pracy doktorskiej**

#### **pt. „Acoustic climate as a criterion for developing the structure of roads and their surroundings”**

The doctoral dissertation addresses the issue of mutual location of the road and buildings in the aspect of analysis and assessment of the acoustic climate in the vicinity of buildings using acoustic indicators and maps of noise propagation.

The subject of the dissertation is situated in the stream of works related to road design and spatial planning aimed at designing hierarchical road networks, i.e. those with roads (streets) with the following functions: traffic (A, S as well as GP and G), roads with functions of traffic distributors (G and Z) and roads with access functions (to traffic sources and destinations, especially to buildings), i.e. Z, L and D. With such a developed network, more rational solutions can be used in the field of noise protection of the surrounding buildings, which was shown at the dissertation.

The Author's analyzes of the existing development in the vicinity of roads and streets lead to the conclusion, that attention was not paid to the problem of noise nuisance generated by increasing traffic. The housing of a large part of roads in Poland in a way, that does not take into account noise protection requirements and traffic safety requirements, causes very high costs of applying noise protection measures. Therefore, it is necessary to change the current planning and design practice, which may be supported through new tools for assessing road noise nuisance. One of them is to indicate ways of developing "road-buildings" layouts. This task was undertaken by the Author.

Based on the analysis of existing "road-buildings" layouts and previous noise studies in the vicinity of roads surrounded by buildings, as well as a review of the literature, dissertation theses were formulated, which are synthetically summarized as follows:

- Application of the indicator method to assess the noise exposure of "building-area" layouts around the road may allow better planning (layout) of the location of noise-sensitive buildings in the vicinity of the road;
- Application of the reference lines in the local spatial development plan (MPZP) may contribute to reducing the need for acoustic protection designed for buildings/area around the road and/or to increasing their efficiency;
- It is possible to optimize the mutual location of the road and buildings, which should include an analysis of the impact of traffic related factors including noise impact and the possibility of protecting buildings in the vicinity of the road.

The main goal of the dissertation was to develop a tool enabling a relative assessment of the level of noise exposure for the assumed "road-buildings" layouts. In addition, the dissertation included:

- Assessment of the possibility of application of the reference lines in local spatial development plans to minimize the necessary noise protection of the building/area around the road and to increase their efficiency;
- Analysis of the impact of traffic-related factors on the acoustic climate in the area of buildings with various solutions for the mutual location of the road and buildings, as well as assessments of various options for buildings protection against noise in the vicinity of the road.

Based on the analysis of 770 test sites, located along national and provincial roads, typical schemes of the "road-buildings" layout were identified. Regression models were built for their classification, having previously selected statistically significant explanatory variables.

To assess the exposure of buildings in the vicinity of roads to road noise, a measure was introduced in the form of noise power. Also a regression relationship was developed to determine the value of this measure as a function of traffic volume, speed and the share of heavy vehicles. The value of noise power allows taking into account the variability of traffic intensity of the generic structure of vehicles and the average speed of vehicle stream. The application of such measure has improved the analysis and made it possible to present their results in a more readable generalized form.

72 test sites were selected for the assessment of noise exposure of "road-buildings" layouts, for which values of a previously defined set of noise exposure indicators were determined.

The dissertation presents a method of index assessment of noise exposure of buildings in the vicinity of roads using noise maps. Introduction of the use of this method is shown on the example of 7 selected test sites. The developed method allows the selection of the best buildings layout from the set of analyzed "road-buildings" layouts. In practice, the described method can be used to compare different "road-buildings" layouts both in the spatial planning phase (group of buildings) and in the detailed design phase (individual buildings).

The dissertation also describes analyzes related to determining the minimum building distance from the road edge due to noise protection of the building, i.e. reference line. They included measuring noise in the field, calibrating the simulation calculation model, and then determining the noise level at different building distances from the road. The studies on the propagation of noise around the road have shown that the required distance of the first building line is varied due to noise protection. In the case of high traffic volume it is even over 200 m from the road edge. This distance depends on the value of the predicted noise level, the type of terrain coverage (the area reflecting and absorbing the sound wave) and the height of the observation point. The dissertation provides justifications why the qualification of areas during the phase of spatial planning for buildings development and the designation of land development of plots should include reference lines.

The dissertation is completed with a summary and an indication of directions for further studies that result from the conducted analyzes and research. The most important of them come down to the following statements:

- The application of noise power value to assess the acoustic climate allows in the analysis to simplify the way of describing the impact of factors associated with traffic variables;
- The indicator assessment method was developed as a tool for including the road noise criterion in planning and maintenance.

Among the directions of further studies, the most important were:

- Impact of changes in the generic structure of vehicles including autonomous vehicles, vehicles equipped with layouts supporting vehicle movement (e.g. ADAS) and electric vehicles, in the analysis of noise propagation;
- More complex consideration of housing of inlet arterial roads and roads passing through the built-up areas with the intersections, service roads, as a whole road system;
- Impact of rail noise on the proper location of buildings along rail roads.