



**Projekt realizowany w ramach Wspólnego Przedsięwzięcia RID,
finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju
oraz Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad**

**Wynik z osiągniętego etapu/etapów prac nad Projektem będącym
przedmiotem umowy pn:**

Ochrona przed hałasem drogowym

Zadanie 9. Kompleksowa ochrona otoczenia dróg przed hałasem z uwzględnieniem cichych nawierzchni i infrastruktury redukującej hałas

Akronim Projektu: OT1-1D/PK-PW-PWR-IBDiM-PL

Numer umowy: DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016

Lider i Współwykonawcy: PK, PW, PWR, IBDiM, PL

Kierownik Projektu: prof. dr hab. inż. Marian Tracz

Lider i Współwykonawcy Zad. 9: Politechnika Krakowska, Politechnika
Warszawska, Politechnika Lubelska

Kierownik Zad. 9: prof. dr hab. inż. Marian Tracz

Data rozpoczęcia Zad. 9: 01.12.2016

Data zakończenia Zad. 9: 30.05.2018



Zadanie 9:

**KOMPLEKSOWA OCHRONA OTOCZENIA
DRÓG PRZED HAŁASEM Z
UWZGLĘDNIENIEM CICHYCH
NAWIERZCHNI I INFRASTRUKTURY
REDUKUJĄCEJ HAŁAS. [PK, PW, PL]**

Zespół badawczy:

Politechnika Krakowska
Instytut Inżynierii Drogowej, Kolejowej i Transportu
prof. dr hab. inż. Marian Tracz – kierownik zadania
dr inż. Krystian Woźniak
mgr inż. Piotr Buczek

Politechnika Warszawska
dr hab. inż. Karol J. Kowalski, prof. PW

Politechnika Lubelska
dr inż. Janusz Bohatkiewicz

Spis treści:

Zadanie 9:.....	1
KOMPLEKSOWA OCHRONA OTOCZENIA DRÓG PRZED HAŁASEM Z UWZGLĘDNIENIEM CICHYCH NAWIERZCHNI I INFRASTRUKTURY REDUKUJĄCEJ HAŁAS. [PK, PW, PL]	1
9.1. KOMPLEKSOWE PODEJŚCIE DO CHRONY OTOCZENIA DRÓG PRZED HAŁASEM DROGOWYM	3
9.1.2. Potrzeba kompleksowego podejścia do ochrony otoczenia dróg przed hałasem	5
9.1.3. Zestaw analiz i działań w kompleksowym podejściu do ochrony otoczenia dróg klasy GP/G przed hałasem	6
9.1.4. Grupy najważniejszych czynników wpływających na klimat akustyczny w otoczeniu dróg	7
9.1.5. Dane do analiz	8
9.2. WPŁYW LOKALIZACJI ZABUDOWY: ROLA ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO.....	9
9.2.1. Lokalizacja zabudowy względem dróg w aspekcie ochrony przed hałasem	10
9.2.2. Kształtowanie rozwiązań urbanistycznych w otoczeniu dróg	11
9.2.3. Odległości zabudowy od dróg z uwagi na ochronę przed hałasem	13
9.3. WYKORZYSTANIE ŚRODKÓW ORGANIZACJI RUCHU DROGOWEGO	15
9.4. ZABUDOWA I JEJ LOKALIZACJA W OBRĘBIE POSESJI; ZAGOSPODAROWANIE POSESJI LOKALIZACJA WRAŻLIWYCH POMIESZCZEŃ, ŚCIAN, OKIEN, DRZWI; STOLARKA OKIENNA I DRZWIOWA	24
9.5. ZESTAW ANALIZ I DZIAŁAŃ W KOMPLEKSOWYM PODEJŚCIU DO OCHRONY OTOCZENIA DRÓG GP PRZED HAŁASEM	34
9.5.2. Ochrona otoczenia dróg w zagranicznych raportach badawczych.....	37
9.5.2.1. Badania prędkości w miejscach funkcjonowania fotoradarów, [2].	41
9.5.2.2. Wpływ ograniczeń prędkości na redukcję rzeczywistej prędkości pojazdów na odcinku drogi	42
9.5.2.3. Efektywność ograniczeń prędkości pojazdów.....	42
9.5.2.4. Pomiary redukcji prędkości dla obniżenia poziomu hałasu	53
9.6. ZASTOSOWANIE CICHYCH NAWIERZCHNI	56
9.6.1. Uwarunkowania związane z zastosowaniem cichych nawierzchni na obudowanych odcinkach dróg o ograniczonej długości.....	56
9.6.2. Możliwości zastosowania i wyboru cichej nawierzchni.....	59
9.6.3. Uwagi Dipl. Phys., Dr Ing. Wolfram Bartolomaeusa, BASt RFN.....	64
Załączniki do zadania 9	65
Z 2.1. Tok postępowania w obliczeniach akustycznych	68
Z.4.2. Założenia do oceny wielokryterialnej i metody AHP	99
Z.4.3. Schemat wykonania oceny wielokryterialnej – budowa modelu decyzyjnego	100
Ocena i wybór wariantów z uwagi na uwarunkowania ekonomiczne, ekologiczne i społeczne oraz definiowanie kryteriów do modelu decyzyjnego – etap 3.....	106
Analiza wariantów w modelu decyzyjnym – etap 4.....	109
Wybór wariantu – etap 5	112
Wdrożenie wariantu i jego ocena – etap 6.....	112

9.1.KOMPLEKSOWE PODEJŚCIE DO CHRONY OTOCZENIA DRÓG PRZED HAŁASEM DROGOWYM

Głównym celem naukowym, a zarazem praktycznym zadania było stworzenie procedury, czyli algorytmu postępowania do kompleksowego a zarazem komplementarnego podejścia do ochrony przed hałasem otoczenia drogi i jego elementów, tj. zabudowy wrażliwej na hałas wraz z otaczającymi ją terenami posesji (które mogą służyć także do wypoczynku i rekreacji, oraz jako ogródki), a także terenów służących tym celom. Sprowadza się to do projektowania ochrony otoczenia drogi przed hałasem w sposób kompleksowy, z uwzględnieniem możliwości innowacyjnego, łącznego stosowania poszczególnych rozwiązań i środków w zależności od poziomu hałasu drogowego (pomierzonego lub prognozowanego) oraz uwarunkowań lokalnych i ekonomicznych.

Algorytm postępowania w kompleksowym podejściu do ochrony otoczenia drogi przed hałasem jest przedstawiony w osobnym opracowaniu (przedmiot umowy) wraz z dodatkowym opisem.

9.1.1. Elementy kompleksowego podejścia

Kompleksowe podejście do ochrony otoczenia drogi przed hałasem obejmuje problemy i rozwiązania w zakresie:

- a) **Urbanistyki**, to jest racjonalnego planowania zagospodarowania terenu wraz z drogami, zwłaszcza klas G, GP i wyższych oraz projektowania tych dróg, to jest projektowania drogi i jej otoczenia łącznie, w tym uwzględnienia zagospodarowania i ukształtowania otoczenia planowanej, projektowanej bądź rozbudowywanej drogi, a w tym także:
- dostosowania istniejącej zabudowy i zagospodarowania w jej otoczeniu do zwiększającego się ruchu i jego uciążliwości,
 - tworzenia nowych układów zagospodarowania otoczenia drogi (często dotyczy to odcinków podmiejskich dróg), np. tworzenia sięgaczy drogowych,
 - odchodzenia od zabudowy lokalizowanej równolegle do drogi i tworzenia obudowywanych sięgaczy (prowadzonych od drogi), bądź układów zabudowy sytuowanej inaczej w zależności od tego, czy przedmiotem analiz będzie: istniejąca zabudowa wiejska (dom, zaplecze i pole rolne), bądź zabudowa o funkcji mieszkalnej (zazwyczaj

deweloperska) połączonej z innymi funkcjami (z zapleczem i terenem upraw ogrodowych bądź/sadem),

- b) **ukształtowania sytuacyjno-wysokościowego**(trasy i niwelety) oraz przekroju drogi - z uwzględnieniem map prognozowanego hałasu (jego izofon) i kryteriów ekonomicznych, co powinno uwzględniać ustalenie linii referencyjnych i zabudowy wrażliwej na hałas przy wzięciu pod uwagę możliwości jej ochrony,
- c) **doboru przekroju drogi i konstrukcji nawierzchni**, w tym zastosowania tzw. cichych nawierzchni, z uwzględnieniem w miarę potrzeb chodników i ścieżek rowerowych,
- d) **inżynierii ruchu**, tj. możliwości redukcji prędkości na obudowanych odcinkach, oraz możliwości zmniejszenia natężeń ruchu i wpływania na udział ruchu ciężkiego, w tym jego eliminacji na przedmiotowym odcinku drogi lub ograniczonego użytkowania z zakazami (o ile to możliwe) w pewnych okresach dnia/tygodnia- głównie okresach pobytu mieszkańców w domu, zwłaszcza w okresie weekendów,
- e) **środków i metod redukujących hałas rozchodzący się od drogi**, tj. środków ekranujących i osłon (np. garaże) oraz zmniejszających hałas, tj. tłumiących, jak: wały, ekrany, ogrodzenia, zieleń różnego typu –w otoczeniu drogi i realizowanych na granicach drogi i posesji (oraz ewentualnie sąsiedztwa),zastosowania ww. metod i środków **w otoczeniu drogi i w otoczeniu zabudowy**,
- f) **dotyczącym zabudowy wrażliwej na hałas, tj. zwłaszcza budynków mieszkalnych**, a w tym lokalizacji zabudowy na terenie posesji i lokalizacja wrażliwych i /niewrażliwych pomieszczeń w samym budynku, a także budowy balkonów i logii,
- g) zastosowania środków **dotyczących bezpośrednio mieszkańców i użytkowników** wrażliwej na hałas zabudowy, a także terenu posesji wokół zabudowy,
- h) **ograniczania hałasu docierającego do pomieszczeń w budynku** (stolarka okienna i drzwiowa, ściany),
- i) kreacji **cichych powierzchni** na terenie posesji (i w otoczeniu), przez zastosowanie osłon i zieleni oraz innych środków.

W wielu przypadkach **osłonę** zabudowy/terenu wrażliwego na hałas może zapewnić także **zabudowa komercyjna i usługowa**(patrz przykłady dot. sięgaczy),

Komplementarność będzie w tym przypadku oznaczać możliwość stosowania jednych środków zamiast drugich, w zależności od praktycznych uwarunkowań terenowych (odległości drogi od zabudowy, wysokość zabudowy) i możliwości, np. zastosowania cichej nawierzchni zamiast redukcji prędkości i odwrotnie (albo łącznie), albo dźwiękochłonnej stolarki okiennej

zamiast cichej nawierzchni itp. Takie podejście jest szczególnie istotne i możliwe w przypadku dróg klasy GP (a także G), w tym zwłaszcza **nowych obwodnic**.

Planowanie urbanistyczne zagospodarowania terenu powinno także uwzględniać potrzebę zmian układów własnościowych (w wielu przypadkach występują w otoczeniu drogi układy „pasków własnościowych” gruntów pod ostrym kątem do istniejącej lub planowanej drogi) dla poprawy możliwości racjonalnej zabudowy, budowy sięgaczy itp..

Badania realizowane w zadaniach 7 i 8, a także w zadaniu 5 uwzględniały także celowość wypracowania bądź wskazania racjonalnej metodyki oceny wariantów planowanej ochrony przed hałasem w niniejszym zadaniu 9, **m.in. z wykorzystaniem map hałasu**. Celem praktycznym zadania 9 było opracowanie materiałów do wytycznych dotyczących projektowania i utrzymania infrastruktury w otoczeniu drogi, w aspekcie ochrony przed hałasem, dla projektowanych, przebudowywanych oraz remontowanych dróg - łączących wiedzę zawartą w zadaniach 5, 7 i 8.

9.1.2. Potrzeba kompleksowego podejścia do ochrony otoczenia dróg przed hałasem

Analizy wielu praktycznych przypadków dotyczących ochrony akustycznej otoczenia drogi możliwości takiej ochrony, analizowanych przez autorów w zadaniach 7-9 projektu RID I-76 i w innych pracach własnych, wskazują na celowość kompleksowego uwzględniania w ochronie akustycznej otoczenia dróg, zwłaszcza dróg klasy GP i G (np. nowych obwodnic) zestawu metod i środków do ochrony przed hałasem drogowym z uwzględnieniem tego, czy problem dotyczy zagospodarowania istniejącego, czy projektowanego, a w tym:

- odległości pomiędzy źródłem hałasu (droga i pasy ruchu) i odbiorcą (budynek wrażliwy, teren wokół budynku) i możliwości jej zwiększenia,
- zastosowania środków inżynierii ruchu, czyli środków redukujących prędkość i ograniczających natężenie ruchu i w tym pojazdów ciężkich oraz środka budowlanego tj. cichych nawierzchni redukujących hałas „u źródła”,
- zastosowania metod i środków ograniczających i redukujących rozchodzenie się hałasu w otoczeniu drogi i w otoczeniu zabudowy,
- zastosowania środków dotyczących bezpośrednio mieszkańców i użytkowników wrażliwej na hałas zabudowy, łącznie z terenem posesji wokół zabudowy w otoczeniu drogi,
- zastosowanie innego niż równoległy do drogi układu zabudowy mieszkaniowej (stosowanego w Polsce tradycyjnie).

W wielu przypadkach ochronę zabudowy/terenu wrażliwego na hałas może zapewnić także rząd garaży oraz zabudowa komercyjna i usługowa – szczególnie w przypadku realizacji zabudowy wzdłuż tzw. „sięgaczy” (patrz przykłady), a w przypadku pojedynczych domów także pojedyncze garaże lub budynki gospodarcze.

Kompleksowe podejście do ochrony otoczenia dróg przed hałasem oznacza uwzględnienie w ochronie przed hałasem czynników i środków wpływających na:

- a) powstawanie uciążliwego hałasu i jego poziom oraz zmienność,
- b) rozchodzenie się hałasu w otoczeniu drogi,
- c) hałas u odbiorców, tj. mieszkańców zabudowy w ich mieszkaniu, w domu – w trakcie wypoczynku, nauki lub pracy, bądź w otoczeniu domu w trakcie rekreacji, itp.
- d) gotowość do poprawy klimatu akustycznego wokół ich zabudowy i w budynku.

Wskazane jest stosowanie innowacyjnych procedur postępowania oraz metod i środków (mapy hałasu), przy zachowaniu istoty wniosków z ocen oddziaływania na środowisko (OOŚ). Kompleksowe podejście identyfikuje zestaw analiz i działań które powinny być podjęte dla ustalenia optymalnej i racjonalnej ochrony akustycznej otoczenia.

Najtrudniejszy jest przypadek ochrony akustycznej planowanej nowej zabudowy na zazwyczaj wąskich działkach dochodzących do drogi. W takich przypadkach wskazane są przekształcenia własnościowe na poziomie gminy trudne do realizacji, ale prowadzące do budowy nowej zabudowy wzdłuż sięgaczy.

9.1.3. Zestaw analiz i działań w kompleksowym podejściu do ochrony otoczenia dróg klasy GP/G przed hałasem

Problem ochrony akustycznej otoczenia drogi może występować w następujących przypadkach:

- **budowy nowej drogi lub rozbudowy drogi istniejącej**(np. do przekroju 2+1, o pasy ruchu powolnego), pas w pobliżu istniejącej zabudowy lub terenów chronionych,
- **znacznego wzrostu natężeń ruchu**, a także zmian struktury rodzajowej ruchu w ostatnim okresie, występujących zwłaszcza przy zmianach sieci i zagospodarowania terenu,
- gdy w otoczeniu istniejącej drogi, o istniejącej dużej emisji hałasu drogowego lub przy przewidywanym wzroście hałasu, jest planowana/istniejąca zabudowa **równoległa do drogi** lub powstaje zabudowa **wzdłuż sięgaczy** dochodzących do drogi.

Trudne sytuacje występują wzdłuż odcinków wylotowych z miast, gdzie przy braku planów zagospodarowania występuje bardzo często niejednorodność zagospodarowania, tj. zabudowa mieszkaniowa obok przemysłowej (produkcja, składy, bazy), a także zabudowa komercyjna. W tej strefie występuje na ogół duże zapotrzebowanie na miejsca do tworzenia nowej zabudowy mieszkalnej (nierazko w formie małych osiedli) oraz na cele przemysłowo-komercyjne. Najtrudniejsze są przypadki, kiedy wrażliwa zabudowa jest realizowana przy drodze, a właściciele działki/lub deweloperzy nie uwzględniają kryterium hałasu przy lokalizacji zabudowy. Takie sytuacje występują coraz rzadziej ze względów ekonomicznych, oraz z powodu rosnącej wrażliwości przyszłych mieszkańców na hałas. Jak wykazały badania ankietowe rośnie świadomość uciążliwości hałasu wśród obecnych i przyszłych mieszkańców. Jak wynika z badań ankietowych autorów, przyszli mieszkańcy (właściciele działek) często nie biorą pod uwagę kryterium hałasu, najczęściej dlatego, że nie zakładają, iż na drodze może wystąpić duży wzrost ruchu lub nie mają świadomości zagrożeń hałasem.

Zestaw analiz w kompleksowym podejściu do ochrony otoczenia dróg przed hałasem powinien wynikać z **raportu OOS**, który obejmuje porównanie wariantów inwestycji wykonywane w ramach raportu oddziaływani inwestycji na środowisko. To porównanie powinno obejmować również wariantowanie środków ochrony akustycznej. Warianty powinny uwzględniać kompleksowe podejście i nie powinny ograniczać się do wyboru rodzaju ekranów akustycznych, ale powinny uwzględniać także tańsze środki ochrony możliwe do realizacji przez mieszkańców.

Wariantowanie powinno być oparte na nakreślonym schemacie postępowania uwzględniającym kilka środków i metod ochrony przed hałasem. Ocena powinna także uwzględniać ingerencję wizualną ruchu i urządzeń ochrony przed hałasem i estetykę rozwiązań np. z wykorzystaniem fotomontażu.

9.1.4. Grupy najważniejszych czynników wpływających na klimat akustyczny w otoczeniu dróg

W kompleksowym podejściu do oceny klimatu akustycznego w otoczeniu dróg i w jego ochronie przed hałasem drogowym, wskazane jest uwzględnienie 6 grup czynników wpływających na klimat akustyczny (prezentuje je strona tytułowa opisu projektu):

- a. **zagospodarowanie przestrzenne otoczenia**(wstęp do Opisu Projektu i zad.7),
- b. **ruch drogowy**, charakteryzowanych przez: natężenia ruchu Q , prędkości v , udziały ruchu ciężarowego pac i ich zmienności (zad.6, 7,8),

- c. **rodzaj nawierzchni** (zad.1-4 i 5,9),
- d. **środki ochrony akustycznej** istniejące i możliwe do wprowadzenia na terenie posesji (ogrodzenia, zieleń, inne) oraz poza posesją: (ekrany, wały, zabudowa osłaniająca) które nie były w tym projekcie objęte badaniami (zad.8, zad.7),
- e. budynki i **ich lokalizacje** tj. odległości od drogi oraz zagospodarowania terenu posesji (zad.7 i zad.8),
- f. **sama zabudowa**; lokalizacji wrażliwych pomieszczeń, ścian, okien, drzwi – według danych z literatury (zad.8).

Wymienione czynniki są, lub mogą być uwzględniane w różnych stadiach przez: administrację samorządową, administrację drogową, projektantów dróg (geometria i nawierzchnia), ekspertów ochrony środowiska (OOŚ, sposoby i środki ochrony przed hałasem), deweloperów i projektantów zabudowy oraz samych mieszkańców. W nawiasach podano w których zadaniach projektu (oprócz zad.9) są przedstawione analizy poszczególnych problemów.

9.1.5. Dane do analiz

Do analiz powstającego w otoczeniu drogi hałasu i jego oddziaływań potrzebne są następujące dane dotyczące drogi i zabudowy (z podaniem co jest zmieniane);

- a. **trasy i niwelety drogi, obejmujące:** klasę techniczną drogi, prędkość projektową, prędkości dopuszczalne oraz dane dotyczące przekroju poprzecznego (w tym liczna pasów: 1x2, 1x2+1, 2x2, 2x3 pasy w obrębie pasa drogowego, chodniki, ścieżki rowerowe, także pasy dodatkowe (o ile występują, np. pasy na wzniesieniach, dla relacji skrzyżnych) i przekrój drogi wraz z najbliższym otoczeniem (w tym odległość zabudowy od krawędzi jezdni),
- b. w przypadkach, gdy zabudowa w otoczeniu będzie się znajdować powyżej lub poniżej drogi wskazane jest przygotowanie ujmujących to **profilu poprzecznych**, a także jeśli możliwe planów warstwicznych niezbędnych do analiz rozchodzenia się hałasu,
- c. **ruchu drogowego** istniejącego (i jeśli możliwe także prognozowanego z uwzględnieniem zmian w sieci drogowej), oraz **jego charakterystyk** (natężenia ruchu i ich zmienność w ciągu roku oraz doby), struktura rodzajowa i jej zmienność, oraz prędkości ruchu i ich zmienność na długości analizowanego odcinka drogi, gdzie mają miejsce istotne zmiany pochyleń niwelety i trasy drogi (łuki),

- d. w odniesieniu do ruchu wskazane jest **także pozyskanie danych dotyczących możliwych zmian natężeń ruchu w przyszłości** - związanych ze obecnymi zmianami w sieci drogowej oraz zmianami zagospodarowania. Istotne są także dane dotyczące **lokalnych ograniczeń: prędkości i ruchu pojazdów ciężarowych** z uwzględnieniem pór dnia i dni tygodnia, a także innych charakterystyk wynikających ze specyfiki miejsca,
- e. charakterystyki **warstwy ścieralnej nawierzchni**,
- f. pozostałe dane niezbędne do określenia rozprzestrzeniania się hałasu, w tym dane geodezyjne do stworzenia numerycznego modelu terenu.

Dane do analiz hałasu powinny być przygotowane w formie umożliwiającej ich wykorzystanie do obliczeń punktowych i izofon hałasu oraz do sporządzania map hałasu przy zastosowaniu dostępnego oprogramowania komputerowego. Mapy hałasu umożliwiają m.in. identyfikację problemów szczegółowych.

9.2. WPŁYW LOKALIZACJI ZABUDOWY: ROLA ZAGOSPODAROWANIA PRZESTRZENNEGO

Zagospodarowanie przestrzenne powinno być realizowane na podstawie planów zagospodarowania przestrzennego. Jest ono podstawą racjonalnego rozwoju kraju, regionów, miast i gmin. W planach zagospodarowania określa się sposób wykorzystania terenów, lokalizację poszczególnych funkcji w tym lokalizację terenów dla różnych typów budownictwa i innych form zagospodarowania, między innymi przebiegu dróg szynowych i kołowych, a w tym będących przedmiotem analiz naukowych w niniejszym projekcie dróg klas GP i G, tj. otoczenia dróg, które do niedawna były najważniejszymi dla rozwoju transportu. Te drogi zapewniały dość dużą przepustowość i wysokie prędkości ruchu.

Obecnie drogi krajowe klasy GP i G pełnią w dalszym ciągu funkcje ważne dla transportu krajowego, ale głównie w skali regionów i województw oraz tam, gdzie nie ma jeszcze zbudowanych, lub nie są planowane połączenia z drogami klas A lub S. Znaczna część dróg GP służy rozwojowi sieci drogowej w danym regionie kraju, rozprowadzając ruch drogowy z dróg klas A i S do dróg wojewódzkich i powiatowych, a przez nie do wielu ośrodków regionalnych i miast.

Dość żywiołowy proces obudowy dróg klasy GP zabudową mieszkaniową, głównie na wylotach z miast, a także zabudową komercyjną, przemysłową i składową, w wielu

przypadkach wyprzedził tworzenie planów. **Dotyczy to szczególnie takich odcinków analizowanych dróg, które mają dobre połączenia dzięki nowym węzłom z drogami A i S**, dzięki czemu ułatwiają one transport z miejsc produkcji, składowania w otoczeniu tych dróg, co jest bardzo istotne dla rozwoju przemysłu i handlu. Zbudowanie nowych węzłów na drogach A i S powoduje jednak zazwyczaj bardzo duży wzrost ruchu (w tym ciężarowego) na dochodzących do nich drogach GP i G, w związku z lokalizowaniem przy nich zabudowy przemysłowej i komercyjnej, co przekłada się na duży wzrost uciążliwości akustycznej tych dróg dla otoczenia. Podobne procesy zachodzą także na odcinków wylotowych z miast, które są obudowywane różnego typu zabudową, a w tym głównie zabudową mieszkaniową. Należy podkreślić, że takie scenariusze rozwojowe nie były generalnie brane pod uwagę przy lokalizowaniu zabudowy wzdłuż tych dróg GP w latach wcześniejszych. Dlatego też **pomoc w ograniczeniu uciążliwości ruchu w stosunku do wrażliwej zabudowy na takich odcinkach dróg powinna być przewidziana przepisami prawnymi.**

Tworzenie nowej zabudowy mieszkaniowej, nierzadko wraz z zabudową komercyjną i usługową ma także miejsce na długości małych miast i miejscowości oraz na terenach zamieszkanych poza granicami miast. W tych przypadkach spotyka się najczęściej zabudowę lokalizowaną blisko jezdni, którą przy wzroście ruchu nie jest łatwo chronić przed hałasem drogowym.

Opisane procesy, wobec braku uregulowań i działań w zakresie **gospodarki przestrzennej**, a także na ogół bez planów zagospodarowania, spowodowały lokalizację znacznej części zabudowy mieszkalnej wrażliwej na hałas blisko dróg, nierzadko w sposób chaotyczny bez uwzględnienia aktualnych i przyszłych oddziaływań hałasu i możliwości potrzebnej ochrony zabudowy przed hałasem.

Tej tematyce był poświęcony m.in. artykuł wynikający z prac przy projekcie: **Tracz, M.: Kształtowanie otoczenia dróg krajowych klasy GP w programie przekształceń sieci drogowej.** Drogownictwo 11/2017 s.s.369-374 oraz 2 artykuły w miesięczniku INFRASTRUKTURA w formie wywiadów z Prof. M. Traczem.

9.2.1. Lokalizacja zabudowy względem dróg w aspekcie ochrony przed hałasem

Rozwiązań problemu ochrony zabudowy przed hałasem należy poszukiwać głównie w fazach planowania i projektowania zarówno zagospodarowania (w tym zabudowy) jak i dróg. Na ogół dzieje się tak, że administracja drogowa nie ma wpływu na zagospodarowanie i

zabudowę terenów poza pasem drogowym w terenach zamiejskich, a ograniczony w terenach podmiejskich. Równocześnie jest zobligowana prawem do ich ochrony przed hałasem i innymi wpływami, nie tylko w przypadku budowy nowej drogi, ale także w przypadku przebudowy drogi istniejącej. Skutkiem tego i powszechnego w Polsce zjawiska lokalizowania zabudowy rażąco blisko dróg (dominuje kryterium niskiego kosztu dojazdu na posesję) zabezpieczenie otoczenia przed hałasem jest bardzo często technicznie trudne i bardzo kosztowne. Badania autorów dotyczące dróg GP w 3 województwach świadczą o dużej skali konfliktu ruchu drogowego z otoczeniem w zakresie hałasu. Zapewnienie sprawnego i bezpiecznego dostępu do drogi z równoczesnym ograniczeniem do minimum hałasu i innych konfliktów drogi z otoczeniem wymaga kompleksowego i racjonalnego podejścia do ochrony przed hałasem, w którym problem lokalizacji zabudowy względem dróg musi być rozwiązywany w pierwszej kolejności. Należy podkreślić, że dużo zależy od świadomości i wiedzy inwestorów, chociaż zastrzeżenia budzi uwzględnianie efektów już realizowanych inwestycji drogowych. Wiele złych rozwiązań jest także wynikiem **niedopracowanych uregulowań dotyczących dostępności do dróg**.

9.2.2. Kształtowanie rozwiązań urbanistycznych w otoczeniu dróg

Można rozróżnić dwa etapy podejmowania decyzji lokalizacyjnych:

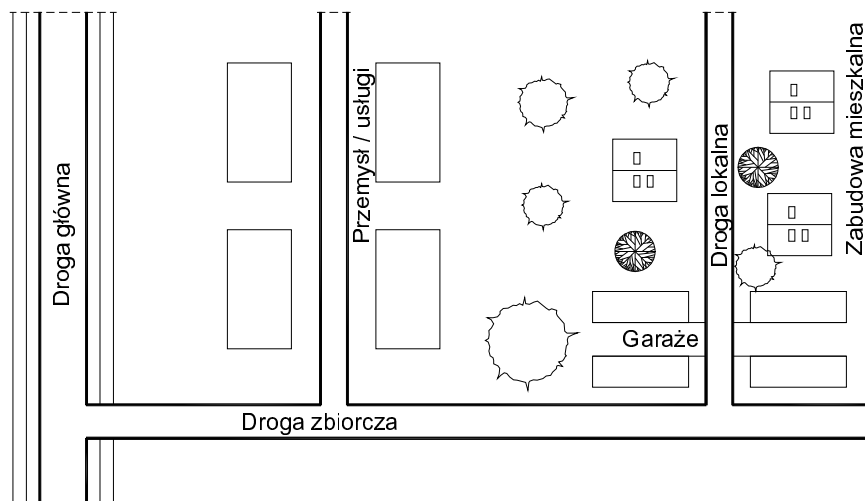
- pierwszy, to racjonalne kształtowanie rozwiązań urbanistycznych w rejonie dróg GP (które zapewniają dostępność), co rzadko było realizowane w przeszłości przy małym ruchu,
- drugi, to stosowanie zalecanych lub przestrzeganie minimalnych w aspekcie hałasu odległości lokalizacji zabudowy od dróg; odległości zalecane to te za izofoną zasięgu hałasu, gdzie nie trzeba stosować ekranowania; odległości minimalne, jako wymagane należy zapewnić z uwagi na możliwość efektywnego ekranowania. Należy podkreślić, że dynamiczne zmiany w sieci drogowej powodują także zmiany w rozkładach ruchu.

W kształtowaniu rozwiązań urbanistycznych w rejonie dróg zaleca się przestrzegać następujące zasady:

- strefowania zabudowy, tzn. lokalizowania zabudowy według zasady – im bardziej zabudowa lub teren są wrażliwe na hałas, tym dalej od drogi pełniącej funkcję ruchową (rys.(9.2.1)); co oznacza, że najbliższej drogi wyższej klasy powinny być lokalizowane mało wrażliwe na hałas: obiekty magazynowe, produkcyjne, komercyjne, parkingi, obiekty handlowe i usługowe z dostępem z sięgacza/drogi lokalnej lub drogi zbiorczej, a najdalej przy drodze

lokalnej - szkoły, przychodnie i zabudowa mieszkaniowa, lub osłaniane zabudową niewrażliwą.

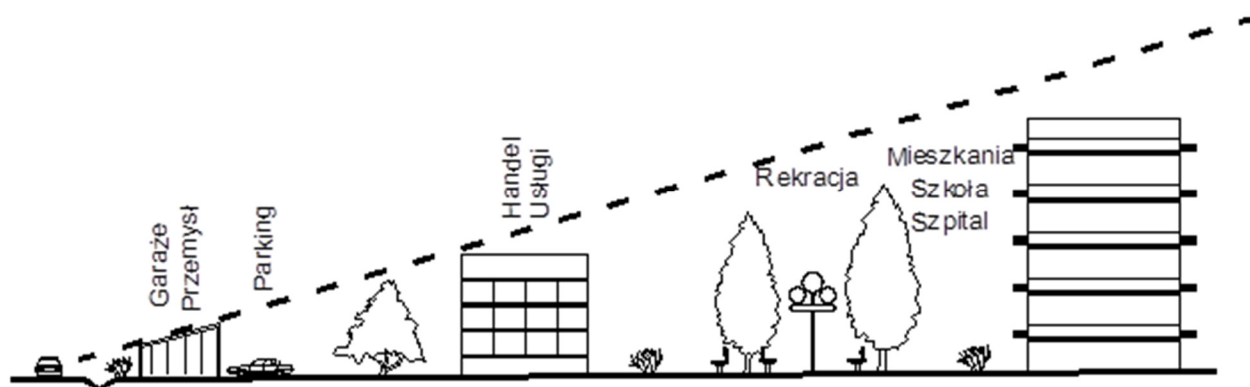
- stosowanie ochrony biernej polegającej na ekranowaniu zabudowy wrażliwej na hałas obiektami niewrażliwymi (np. przy zjeździe w kierunku drogi zbiorczej lub sięgacza (rys. 9.2.1 i 9.2.2));



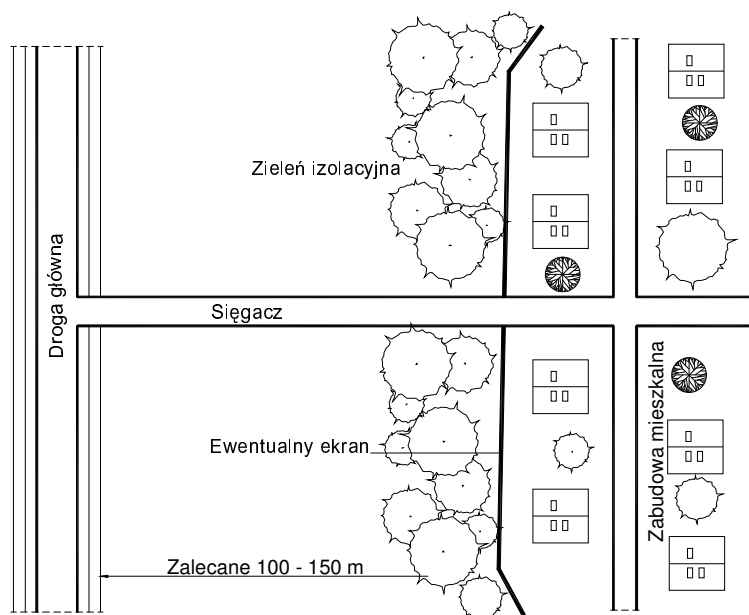
Rys.9.2.1. Przykład możliwego strefowanie zabudowy w rejonie dróg dla ochrony przed hałasem

- wykorzystywanie przy drogach głównych form sięgaczowych, tzn. lokalizowania nawet małych osiedli, albo nawet dwóch lub trzech budynków, dalej od drogi przez ich wspólne połączenie z drogą główną w celu obniżenia kosztów (rys.9.2.1 i 9.2.3).

Należy zwrócić uwagę, że ten typ układów zabudowy jest obecnie nierzadko stosowany przez deweloperów, co jest korzystne dla mieszkańców, dla ruchu na drodze głównej, a także dla deweloperów i dla mieszkańców.



Rys.9.2.2. Strefowanie i bierna ochrona przed hałasem



Rys.9.2.3. Połączenie sięgaczem zabudowy z drogą

Jak pokazują przykłady ilustrujące raport zad.7 lokalizowanie zabudowy wzdłuż sięgaczy staje się coraz bardziej popularne z uwagi na łatwe i proste ograniczanie hałasu rozchodzącego się od strony drogi (np. zabudowę komercyjną przy zjeździe w kierunku zabudowy mieszkalnej) i dobre warunki w zakresie klimatu akustycznego. W budowie sięgaczy, stosunkowo łatwe jest poszerzenie drogi pełniącej funkcje ruchowe o pasy dla relacji skrętnych, jeśli są potrzebne.

9.2.3. Odległości zabudowy od dróg z uwagi na ochronę przed hałasem

Odległości zabudowy i terenów chronionych od krawędzi jezdni dróg GP o funkcjach ruchowych w aspekcie ochrony przed hałasem powinny być większe od zasięgu uciążliwego hałasu. Zasięg tego hałasu zależy od:

- charakterystyk ruchu na drodze, który jako źródło hałasu charakteryzują: natężenie ruchu, średnia prędkość potoku ruchu i udział w nim pojazdów ciężkich (najbardziej hałaśliwych),
- pochylenia niwelety drogi,
- rodzaju i pokrycia terenu,
- wysokości zabudowy (punktu odbioru) nad terenem,
- ekranowania i tłumienia występującego pomiędzy drogą a zabudową,
- obowiązującego standardu jakości klimatu akustycznego, czyli od dopuszczalnego poziomu hałasu dla danego terenu.

9.3. WYKORZYSTANIE ŚRODKÓW ORGANIZACJI RUCHU DROGOWEGO

W rozdz. 9.1.4. podano główne czynniki wpływające na klimat akustyczny w otoczeniu dróg. Wpływ na te czynniki może powodować ograniczenie, albo zwiększenie poziomu hałasu. Poniżej w tab. 9.3.1 dla lepszej identyfikacji wartości redukcji poziomu hałasu podano, jak wpływa redukcja poziomu hałasu na jego subiektywny odbiór.

Tablica 9.3.3.1. Wpływ redukcji poziomu hałasu na jego subiektywny odbiór i możliwości jego zmniejszenia [1,2]

Redukcja poziomu hałasu [dB]	Odbiór subiektywny hałasu	Procent zmniejszenia energii akustycznej/ (możliwość osiągnięcia)
0	poziom odniesienia	0
-3	słyszalna zmiana	50% (osiągalne)
-5	znacznie słyszalna zmiana	67% (średnio osiągalne)
-10	o połowę ciszej	90% (trudno osiągalna)

Głównym czynnikiem powodującym powstawanie hałasu drogowego jest potok pojazdów i jego natężenie. Od wielkości natężenia ruchu zależy wielkość emisji hałasu. W praktyce nie jest możliwe wprowadzenie takiej stałej organizacji ruchu (opartej tylko na oznakowaniu), która ograniczałaby wielkość natężenia ruchu wszystkich kategorii pojazdów i tym samym poziom hałasu (choć technicznie rozwiązania takie są możliwe). Takie rozwiązanie jest możliwe do zastosowania częściowo w przypadku dróg dojazdowych i lokalnych występujących w ramach osiedli mieszkaniowych. Możliwe jest tam ograniczenie natężenia ruchu pojazdów wyłącznie do mieszkańców jednak i to nie gwarantuje, że w szczycie ruchu porannego lub popołudniowego nie będzie dochodziło do znacznej emisji hałasu od pojazdów mieszkańców. W pozostałych przypadkach jest to możliwe dzięki systemom zarządzania ruchem.

Pośrednie ograniczenie liczby pojazdów jest możliwe poprzez odpowiednią hierarchizację sieci dróg oraz w miastach wyraźne wydzielenie układu ulic podstawowych (ruchowych) i uzupełniających (dojazdowych i lokalnych). W takich sytuacjach możliwe jest kształtowanie

natężeń ruchu na niektórych połączeniach. Wymaga to jednak odpowiednich sposobów i środków organizacji ruchu związanych z pozyskiwaniem danych o ruchu i aktywnym sterowaniem ruchem na większych obszarach mieszkalnych. Jak można zauważyć poniżej (tablica 9.3.3.2) dopiero ograniczenie natężenia ruchu powyżej 50% wykazują słyszalne zmiany w odbiorze hałasu drogowego.

Tablica 9.3.3.2. Wpływ ograniczenia natężenia ruchu na redukcję poziomu hałasu [1]

Ograniczenie natężenia ruchu	Redukcja poziomu hałasu (L_{Aeq}) [dB]
10%	0,5
20%	1,0
30%	1,6
40%	2,2
50%	3,0
75%	6,0

Zarządzanie dostępnością dróg i zakazy poruszania się określonych kategorii pojazdów dotyczą przede wszystkim pojazdów szczególnie hałaśliwych, które wywierają najbardziej niekorzystny wpływ na klimat akustyczny: pojazdów ciężarowych i motocykli. W ten sposób można np. wprowadzić zakaz ruchu pojazdów ciężarowych na odcinku drogi w pobliżu dzielnicy mieszkaniowej w nocy. Poniżej (tablica 9.3.3) przedstawiono jak ograniczenie potoku ruchu pojazdów ciężkich wpływa na obniżenie poziomu hałasu.

Tablica 9.3.3 Wpływ zmniejszenia udziału w ruchu pojazdów ciężkich na redukcję poziomu hałasu [1]

Zmniejszenie udziału w ruchu pojazdów ciężkich	Prędkość 50 km/h	Prędkość 80 km/h
z 5% do 0	- 0,7 dB	- 1,0 dB
z 10% do 0	- 1,4 dB	- 1,9 dB
z 15% do 0	- 2,0 dB	- 2,6 dB

Jazda z nadmierną prędkością jest zjawiskiem powszechnym i stanowi duży problem. Ograniczenie prędkości jest rozwiązaniem jednym z częściej zalecanych w ochronie przed hałasem (rys. 9.3.1, fot). W praktyce krajowej rozwiązanie to sporadycznie jest stosowane w celu ochrony przed hałasem, z uwagi na dużą tolerancję przekroczeń dopuszczalnej prędkości.



Rys. 9.3.1. Przykład ograniczenia prędkości na autostradzie do 100 km/h w porze nocy z uwagi na hałas drogowy (Niemcy)

Oprócz zagrożenia wypadkowego prędkość powoduje zwiększoną emisję hałasu, która wynika nie tylko z pracy silnika (jazdy na wysokich obrotach, naprzemiennych przyspieszeń i hamowań), ale również z hałasu opon toczących się po nawierzchni oraz zwłaszcza w przypadku pojazdów ciężarowych, hałasu uderzających o siebie elementów pojazdu i ładunku. Egzekwowanie ograniczeń prędkości może równocześnie jednocześnie stanowić element walki z hałasem. Poniżej przedstawiono (tablica 9.3.4) wpływ redukcji prędkości poszczególnych grup pojazdów na redukcję hałasu.

Tablica 9.3.3.4. Wpływ ograniczenia prędkości ruchu na redukcję hałasu [1]

Ograniczenie prędkości ruchu [km/h]	Redukcja poziomu hałasu – pojazdy lekkie [dB]	Redukcja poziomu hałasu – pojazdy ciężkie [dB]
130 → 120	1,0	-
120 → 110	1,1	-
110 → 100	1,2	-
100 → 90	1,3	1,0
90 → 80	1,5	1,1
80 → 70	1,7	1,2
70 → 60	1,9	1,4
60 → 50	2,3	1,7
50 → 40	2,8	2,1
40 → 30	3,6	2,7

Z przedstawionych powyżej informacji wynika, że działania związane z pojedynczymi parametrami ruchu przynoszą co najwyżej słyszalne zmiany poziomu hałasu. Efektywniejszym

rozwiązaniem w zakresie redukcji hałasu mogą być równoczesne ograniczenia więcej niż jednego parametru ruchu. Jednocześnie należy uwzględnić efekt związany ze stylem jazdy, który w dużej części zależy od rozwiązań i organizacji ruchu – efekt wpływu przyspieszania na poziom hałasu pokazano poniżej (tablica 9.3.5). Styl jazdy jako czynnik, który może pogarszać poziom klimatu akustycznego występuje głównie przy przejściach dróg krajowych przez miejscowości, gdzie dominuje ruch o charakterze przerywanym (skrzyżowania, wjazdy, zjazdy).

Tablica 9.3.3.5. Przykładowy wpływ stylu jazdy (przyspieszenia) na zwiększenie poziomu hałasu

Rodzaj pojazdu	Przyspieszanie przy prędkości 30 km/h	Przyspieszanie przy prędkości 50 km/h
Samochód osobowy	+ 2,0	+ 1,4
Samochód dostawczy	+ 3,5	+ 2,3
Samochód ciężarowy (zależnie od mocy silnika)	od + 3,5 do + 4,4	od + 2,7 do + 3,5

Istotnym w grupie czynników ruchowych jest płynność ruchu. Rozwiązania związane z płynnością ruchu z punktu widzenia ochrony przed hałasem są efektem jak najmniejszej liczby zatrzymań i ruszań pojazdów. Efekt ten osiągnąć jest poprzez stosowanie odpowiednich sposobów sterowania ruchem w miastach i poza nimi zwłaszcza w trakcie godzin szczytu komunikacyjnego, czasowych koncentracji ruchu (np. ruch rekreacyjny, masowe imprezy itp.). Płynność ruchu w obszarach miejskich jest związana również ściśle z zanieczyszczeniami powietrza od pojazdów. Utrzymanie płynności w sieci dróg ma również na celu poprawę przepustowości i przede wszystkim odpowiednich warunków ruchu dla użytkowników sieci drogowej. Osiągnąć to jest m.in. poprzez stosowanie zaawansowanych technik sterowania ruchem. Płynność ruchu nierozzerwalnie jest związana ze stylem jazdy kierowców i w przypadku agresywnego stylu jazdy należy się spodziewać bardzo niekorzystnych efektów związanych z hałasem.

Punktami newralgicznymi w sieci drogowej, gdzie dochodzi do największych ograniczeń płynności ruchu są skrzyżowania drogowe. Odpowiednie sterowanie ruchem może zapewnić redukcję hałasu w skrajnych przypadkach powyżej 9 dB [1] (przypadki związane ze zmianami sposobów sterowania ruchem na skrzyżowaniach z sygnalizacją świetlną). Mniejszą redukcję, jednak bardzo istotną z punktu widzenia ochrony przed hałasem otrzymuje się po zastosowaniu rond, gdzie ruch może się odbywać się płynnie (w znacznej części bez zatrzymań) – redukcja hałasu w przypadku rond w stosunku do innych rozwiązań skrzyżowań wynosi w

tym przypadku 3-5 dB [1]. Przykład ronda, w którym wyspa środkowa pełni rolę ekranu akustycznego pokazano na fotografii rys.9.3.2.



Fot.9.3.2. Przykład ronda z wyspą środkową pełniącą rolę m.in. ekranu akustycznego (Niemcy)

Do rozwiązań najbardziej zaawansowanych technologicznie, które mogą przyczynić się do polepszenia klimatu akustycznego wokół dróg należą inteligentne systemy transportowe (ang. *Intelligent Transportation Systems – ITS*) [2]. Dają one możliwość znacznego ograniczenia niekorzystnego wpływu transportu na środowisko. Efekt ten uzyskiwany jest dzięki zmianom w kształtowaniu potoku ruchu i sposobach jego poruszania się (płynność ruchu, prędkość) przy wykorzystaniu telematyki drogowej i coraz częściej systemów pokładowych w samochodach. Obszary zastosowania ITS kluczowe z punktu widzenia ochrony środowiska to przede wszystkim:

- zarządzanie natężeniem ruchu i strukturą rodzajową ruchu (optymalizacja wykorzystania infrastruktury, systemy informacji),
- zarządzanie dostępnością do dróg,
- promowanie wykorzystania bardziej ekologicznych środków transportu,
- kontrola prędkości (w tym wpływanie na styl jazdy).

Jak można zauważyć systemy ITS są narzędziem, które umożliwia uzyskanie pewnych efektów opisywanych powyżej w części dotyczącej organizacji ruchu. Ze względu na szersze możliwości tych systemów wydzielono je do kolejnej grupy rozwiązań mogących mieć wpływ na kształtowanie hałasu w otoczeniu dróg. Zarządzanie natężeniem ruchu mające na względzie środowiskową optymalizację wykorzystania infrastruktury drogowej to przede wszystkim

działania, które zmierzają do ograniczenia zatłoczenia i bardziej racjonalnego rozłożenia obciążenia ruchem w ramach sieci drogowej. W ten sposób zmniejsza się liczba pojazdów, które generują zanieczyszczenia, a jednocześnie tworzy się mniej zatorów i poprawia się płynność ruchu, dzięki czemu maleje również emisja hałasu oraz szkodliwych substancji, jak również zmniejsza się zużycie paliwa.

Zarządzanie natężeniem ruchu umożliwia również elektroniczny system poboru opłat za korzystanie z infrastruktury. Jest on stosowany głównie na autostradach, ale również w niektórych centrach europejskich miast i na odcinkach dróg przebiegających przez obszary cenne środowiskowo. Znaczących efektów w zakresie ochrony przed hałasem nie uzyskuje się jedynie poprzez zwykłe (statyczne) oznakowanie dróg. Efekt rozkładu ruchu uzyskuje się w systemach sterowania ruchem za pomocą znaków o zmiennej treści (VMS) przy wspomaganie systemami informacji drogowej w czasie rzeczywistym, które przekazują komunikaty kierowcom, a także w niedalekiej przyszłości bezpośrednio do urządzeń pokładowych w pojazdach. Bardziej racjonalny rozkład ruchu umożliwia też nawigacja satelitarna, urządzenia do planowania podróży (tzw. planery) oraz systemy zarządzania logistyką i dostawami, które umożliwiają wybór odpowiedniej trasy.

Zarządzanie dostępnością infrastruktury drogowej to kontrolowanie możliwości korzystania z dróg przez pojazdy. Zakazy poruszania się określonych kategorii pojazdów dotyczą przede wszystkim pojazdów ciężkich, które wywierają najbardziej niekorzystny wpływ na środowisko. Niezależnie od innych czynników, niedopuszczanie do przejazdu takich pojazdów przez tereny akustycznie i środowiskowo wrażliwe oznacza duże korzyści ekologiczne i zdrowotne dla mieszkańców. Techniki ITS mają szerokie zastosowanie głównie w automatycznym egzekwowaniu zakazów ruchu pojazdów. Dużą skuteczność wykazuje połączone stosowanie wag bez-zatrzymaniowych (ang. *Weight in Motion*), urządzeń identyfikujących kategorię pojazdu, znaków o zmiennej treści nakazujących objazd lub zakazujących wjazdu oraz fotoradarów rejestrujących łamanie zakazu. Z korzyścią dla środowiska stosowana jest również kontrola wjazdu (ang. *Ramp Metering*), która przeciwdziała nadmiernemu zagęszczeniu pojazdów na danym odcinku drogi.

Oprócz automatycznych urządzeń egzekwujących zakaz wjazdu możliwe jest również fizyczne uniemożliwienie dostępu do obszarów wrażliwych, które całkowicie eliminuje tranzytowy ruch pojazdów i związany z nimi zwiększenie emisji hałasu. Są to instalacje, które fizycznie uniemożliwiają wjazd do pewnych stref w miastach, za wyjątkiem wybranych) pojazdów. Systemy ITS znajdują również wykorzystanie głównie poprzez systemy sterowania ruchem zapewniające priorytet środkom transportu miejskiego, w tym pierwszeństwo w przejeździe

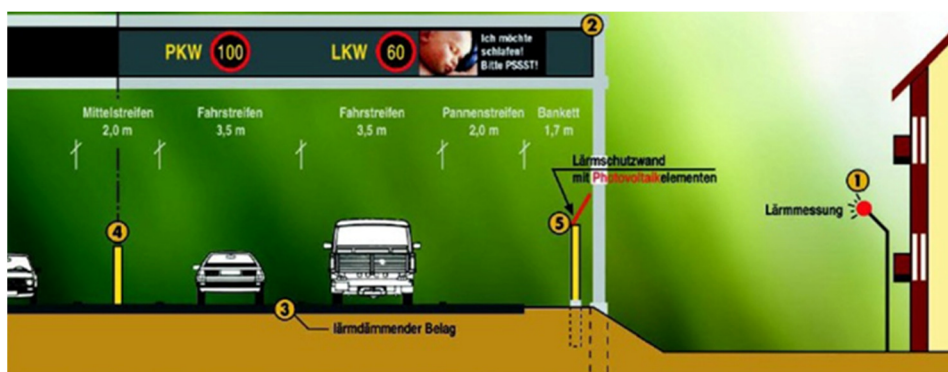
przez skrzyżowania oraz dynamiczne sterowanie ruchem na pasach ruchu dla autobusów. Możliwe są także działania wspomagające: wydajne systemy informujące o możliwościach i udogodnieniach korzystania z urządzeń *Park and Ride*, połączeń różnych środków komunikacji (multimodalność), wspólnych przystankach, przesiadkach, godzinach odjazdów, czasie przejazdu itp.

Kontrola prędkości skutecznie pomaga zapewnić ekologiczną jazdę (ang. *Eco-Driving*). Polega ona przede wszystkim na płynnym stylu jazdy (unikanie gwałtownych przyspieszeń i hamowań) i jeździe na niskich obrotach silnika – efekt stylu jazdy opisano powyżej. Prowadzenie pojazdów w sposób przyjazny dla środowiska ma przede wszystkim na celu zmniejszenie tych emisji, które są zależne od sposobu jazdy, głównie CO₂ i hałasu oraz niższe zużycie paliwa. Powszechnie stosowanym systemem ITS jest automatyczne egzekwowanie prędkości za pomocą znaków o zmiennej treści. Szczególną skutecznością odznacza się opisywana już wcześniej odcinkowa kontrola prędkości (ang. *Section Control*), gdyż oprócz egzekwowania przepisowej prędkości zapewnia bardziej jednolity styl jazdy. Odcinkowa kontrola prędkości jest jednak możliwa tylko na fragmentach dróg pozbawionych zjazdów, dlatego w warunkach miejskich z uwagi na gęstość skrzyżowań można stosować kaskadową kontrolę fotoradarową. Oprócz tego w niektórych krajach jest już wprowadzane inteligentne dostosowanie prędkości. Dzięki temu urządzeniu, które bazuje na mapach z naniesionymi wartościami prędkości dopuszczalnej, pojazd sam zapobiega łamaniu ograniczeń prędkości przez kierowcę. Z punktu widzenia ochrony przed hałasem największe znaczenie i najpowszechniejsze zastosowanie mają:

- zarządzanie natężeniem ruchu i strukturą rodzajową ruchu,
- zarządzanie dostępnością do dróg,
- kontrola prędkości.

Każdy ruch pojazdów silnikowych generuje hałas. Zarządzanie natężeniem ruchu w przyszłości (obecnie w praktyce pojawiają się pierwsze praktyczne próby głównie dotyczące zanieczyszczeń powietrza) za pomocą znaków o zmiennej treści umożliwi zmniejszenie obciążenia ruchem odcinków dróg wymagających ochrony przed hałasem poprzez skierowanie części pojazdów na trasy alternatywne. ITS umożliwiają zarządzanie natężeniem ruchu w sposób dynamiczny i skierowanie ruchu na mniej obciążone odcinki dróg i trasy, na których ruch pojazdów powoduje mniejsze szkody środowiskowe. Uruchamianie objazdów i tymczasowe wyłączanie pasów ruchu może mieć miejsce w zależności od natężenia ruchu, pory dnia i roku, a także w określone dni. Aby lepiej przygotować na to kierowców ostrzeżenia może przekazywać system informacji o ruchu drogowym. Równie skutecznym rozwiązaniem może

być zastosowanie systemu pomiarowego zamontowanego na elewacji budynku i w przypadku znacznego wpływu hałasu na obiekt wyświetlanie stosownych komunikatów – przykład takiego rozwiązania przedstawiono na rys. 9.3.3..



Oznaczenia:

- 1 – system pomiarowy hałasu,
- 2 - tablica o zmiennej treści (VMS) wyświetlająca odpowiedni komunikat o ograniczeniu prędkości ze względu na zbyt duży poziom hałasu,
- 3 – nawierzchnia drogowa redukująca hałas,
- 4 – ekrany akustyczne z zasilaniem fotowoltaicznym,

Rys. 9.3.3.3. Przykładowy system ITS wspomagający ograniczenie poziomu hałasu w pobliżu budynku mieszkalnego[1]

Równie ważną rolę w zakresie ochrony przed hałasem może spełniać elektroniczny pobór opłat, który poprzez zmniejszenie liczby pojazdów oddziałuje korzystnie na emisję hałasu i klimat akustyczny w otoczeniu dróg. Z ekonomicznego punktu widzenia największe emocje wzbudza obecnie pobór opłat za wjazd do centrów miast, przejazd autostradami, tunelami i obiektami mostowymi. Jednak z punktu widzenia ochrony przed hałasem bardziej istotne są pobierane elektronicznie opłaty za przejazd przez cenne obszary środowiskowo oraz opłaty za wjazd i parkowanie w centrach miast oraz w obszarach tradycyjnie zatłoczonych. Korzystne kształtowanie klimatu akustycznego za pomocą ITS jest również możliwe poprzez dynamiczne zarządzanie opłatami: różnicowanie wysokości opłat ze względu na kategorię pojazdu, określone dni, pory dnia czy pory roku. Przykładem jest centrum Londynu.

Zarządzanie dostępnością dróg i zakazy poruszania się określonych kategorii pojazdów dotyczą przede wszystkim pojazdów szczególnie hałaśliwych, które wywierają najbardziej niekorzystny wpływ na klimat akustyczny: ciężarówek i motocykli. Również zarządzanie dostępnością odbywa się w sposób dynamiczny i można je uzależnić od zmiennych, takich jak

określony dzień, pora dnia lub roku. W ten sposób można np. wprowadzić zakaz ruchu pojazdów ciężarowych na odcinku drogi w pobliżu dzielnicy mieszkaniowej w nocy.

Redukcja hałasu dla tego rodzaju rozwiązań w zależy od przyjętej strategii sterowania ruchem i szacuje się, że może ona wahać się od 2 dB do 9 dB (głównie w rejonie skrzyżowań).

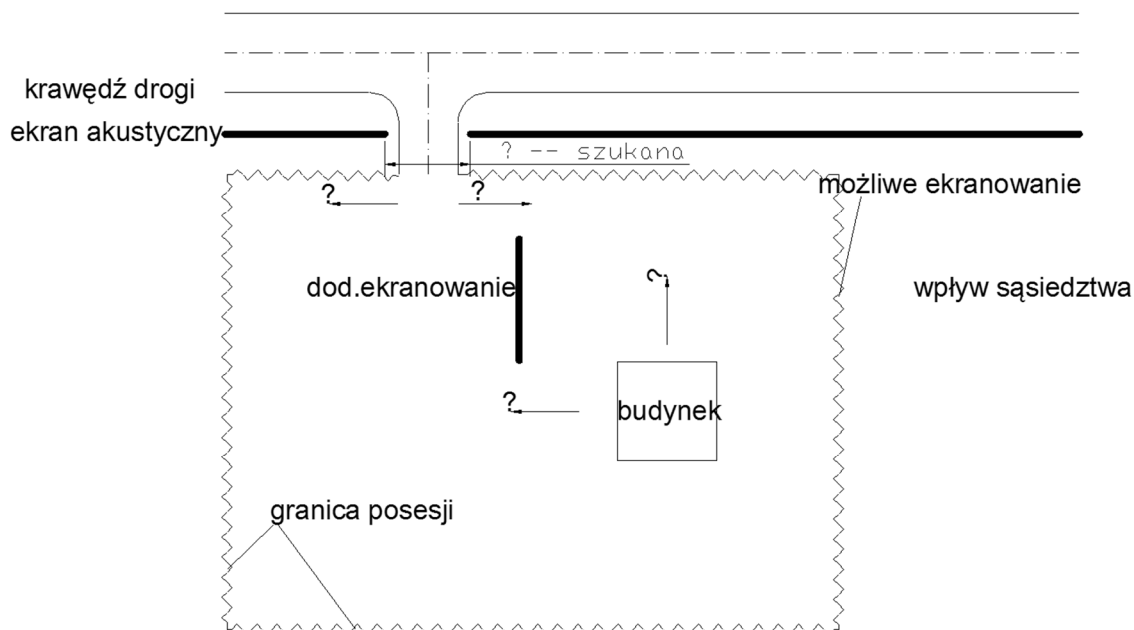
9.4.ZABUDOWA I JEJ LOKALIZACJA W OBREBIE POSESJI; ZAGOSPODAROWANIE POSESJI LOKALIZACJA WRAŻLIWYCH POMIESZCZEŃ, ŚCIAN, OKIEN, DRZWI; STOLARKA OKIENNA I DRZWIOWA

Hałas drogowy jest bardzo powszechnym problemem w odniesieniu do budownictwa mieszkaniowego w otoczeniu dróg. Wiele działek mieszkaniowych z istniejącymi bądź projektowanymi domami jest zlokalizowanych przy ruchliwych drogach i ulicach z powodu ich posiadania od wielu lat, nabycia takiej działki w okresie małych natężeń ruchu, bądź niedoceniań tego kryterium. Oprócz ekranów akustycznych istnieje wiele sposobów na ograniczenie wpływu hałasu drogowego przy danym zagospodarowaniu terenu posesji. Można to zrobić na etapie planowania wykorzystania działki budowlanej, poszukując optymalnej lokalizacji budynku wraz z wjazdem oraz miejscem przeznaczonym na wypoczynek, a nawet rekreację. Wykorzystanie terenu wokół budynku do odpoczynku i rekreacji jest w takich przypadkach mocno uwarunkowane hałasem drogowym, który dociera do człowieka po godzinach pracy poza domem. **Należy pamiętać o racjonalnym rozmieszczeniu w budynku pomieszczeń wrażliwych i mało wrażliwych na hałas.**

Poniżej przedstawiono przykład analizy lokalizacji budynku mieszkalnego oraz powierzchni wypoczynku na działce z wykorzystaniem map hałasu. Do tworzenia tych map można zastosować techniki symulacyjne hałasu oraz pomiary empiryczne hałasu. Hałas można analizować także na poszczególnych elewacjach budynku, szczególnie tych, na których znajdują się okna pokoi przeznaczonych na wypoczynek. Na rys.9.4.1 przedstawiono elementy zagospodarowania posesji, które powinny podlegać ocenie pod kątem możliwości wpływu na propagację hałasem drogowym na posesji. W przypadku lokalizowania nowych budynków w poszukiwaniu optymalnych z punktu widzenia hałasu rozwiązań można oceniać:

- usytuowanie wjazdu i budynków na terenie działki (? możliwe przesunięcia),
- różne rodzaje ogrodzeń mogące redukować hałas,
- zastosowanie roślinności (np. tuje), osobno lub z ogrodzeniem,
- dodatkowe ekranowanie na terenie posesji osłaniające budynek lub miejsce na rekreację,
- układ pomieszczeń w budynku – szczególnie tych wrażliwych na hałas,
- usytuowanie i wielkość otworów okiennych oraz

- izolacyjność elewacji i okien/drzwi.



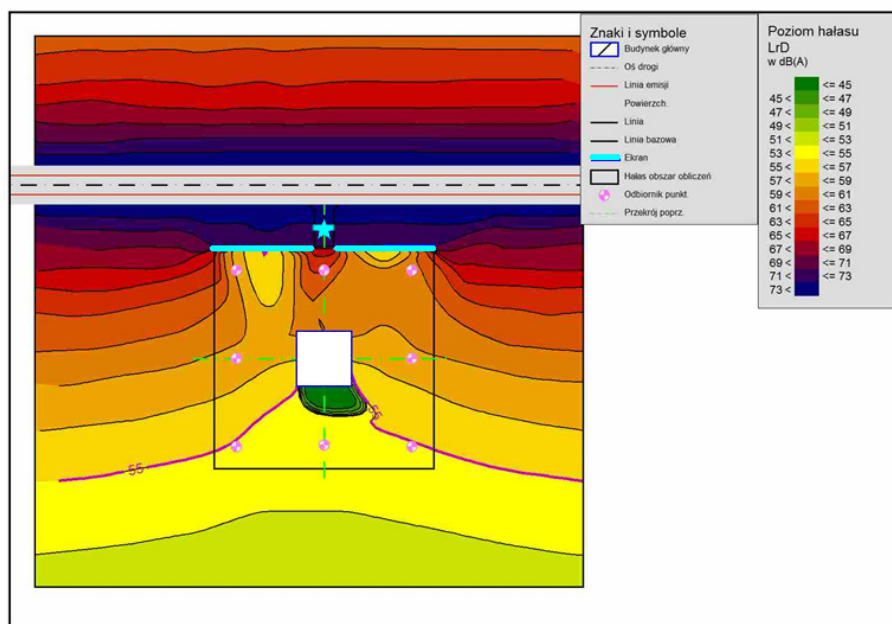
Rys. 9.4.1. Schemat do analiz kształtowania zagospodarowania posesji przyległej do drogi wg kryterium klimatu akustycznego [opracowanie własne]



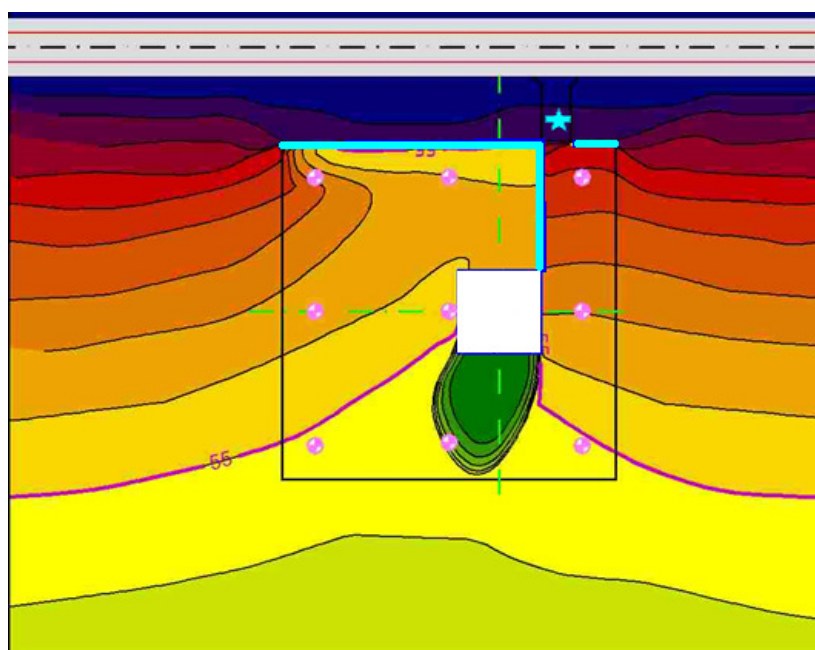
Rys.9.4.2. Przykładowa posesja zlokalizowaną przy drodze - bez osłon akustycznych, z niską zielenią [opracowanie własne]

Na kolejnych rysunkach przedstawiono przykładowe analizy wyników obliczeń symulacyjnych rozchodzenia się hałasu dla sześciu potencjalnych miejsc lokalizacji budynku wraz z wjazdem i ogrodzeniem na posesji w celu ustalenia lokalizacji powierzchni o obniżonym hałasie. Wyniki przedstawiono w postaci map hałasu dla badanych przypadków.

Przedstawione mapy hałasu są wykonane dla wysokości 1,5m nad terenem. Rozkład wysokościowy hałasu może być istotny dla układu pomieszczeń wewnątrz budynku (dla kondygnacji powyżej parteru), a także dla ewentualnej budowy tarasu. W tym celu można wykonywać również analizy rozkładu hałasu w przekrojach poprzecznych (wysokościowych). Poniżej zamieszczono jedynie przykładowe mapy akustyczne, szerszy opis na temat analiz, metodyki i wyników znajduje się w **Zad.8**.

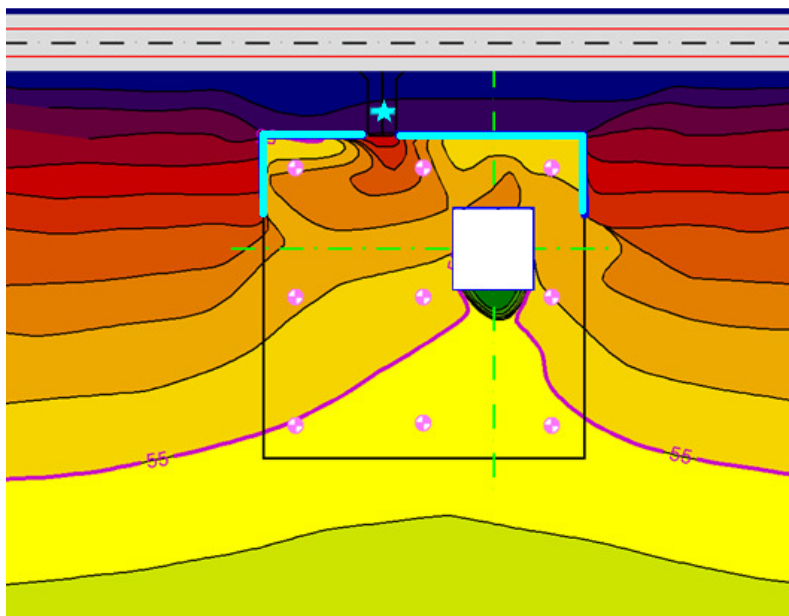


Rys.9.4.3. Rozkład hałasu na posesji – budynek i wjazd zlokalizowane na środku działki, ogrodzenie od strony drogi częściowo osłania posesję [opracowanie własne]

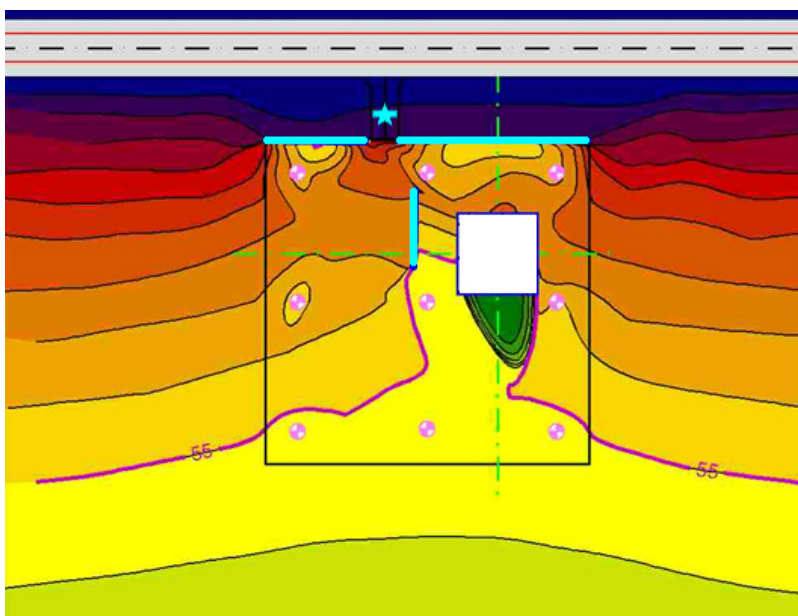


Rys. 9.4.4. Rozkład hałasu na posesji – budynek i wjazd przesunięte na jedną stronę

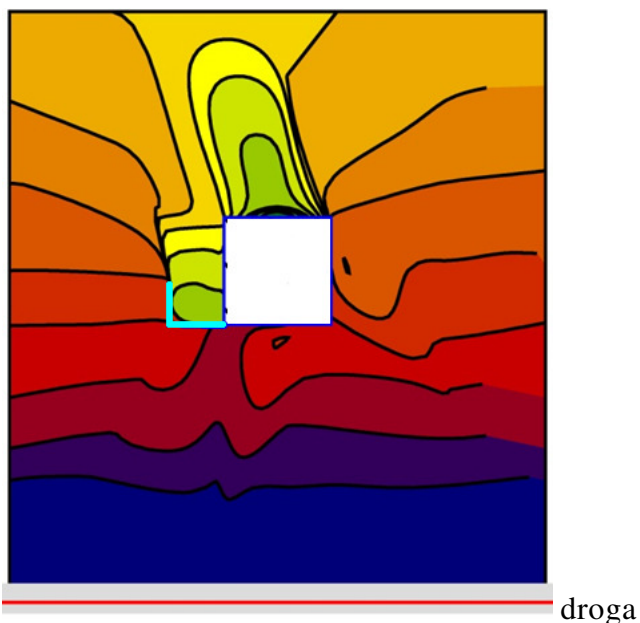
działki, ogrodzenie od strony drogi częściowo osłania posesję, wewnątrz równoległe do wjazdu zlokalizowano przegrodę [opracowanie własne]



Rys. 9.4.5. Rozkład hałasu na posesji – budynek i wjazd przesunięte na przeciwległe strony działki, ogrodzenie od strony drogi przedłużono na boki działki [opracowanie własne]



Rys. 9.4.6. Rozkład hałasu na posesji – budynek i wjazd przesunięte na przeciwległe strony działki, ogrodzenie od strony drogi częściowo osłania posesję, wewnątrz równoległe do wjazdu zlokalizowano przegrodę [opracowanie własne]



Rys. 9.4.7. Rozkład hałasu na posesji – brak osłony przez ogrodzenie, wewnątrz zlokalizowano przegrodę w kształcie litery L, przy budynku dla rekreacji[opracowanie własne]

Wszystkie powyższe przykłady pokazują jak istotna jest analiza przeprowadzana na etapie planowania zagospodarowania posesji, dla uzyskania jej optymalnego zagospodarowania.. Oprócz walorów akustycznych istotne są również inne aspekty kształtowania działki. Są to między innymi zagadnienia: związane z estetyką otoczenia w którym mamy wypoczywać oraz z prywatnością, której większość mieszkańców poszukuje. W tym celu często dodatkowo na terenie posesji planuje się zieleń osłonową (średnią i wysoką np. krzewy, drzewa etc.) i elementy tzw. małej architektury. Na rys.9.4.8 przedstawiono taką przykładową strefę zlokalizowaną za budynkiem mieszkalnym osłoniętą dodatkowo zielenią w formie żywotników.



Rys. 9.4.8.Przykładowastrefa zlokalizowana za budynkiem mieszkalnym osłonięta dodatkowo zielenią i murkiem[opracowanie własne]

Przedstawione przykłady map hałasu w obrębie posesji pozwalają sformułować wniosek, iż możliwym jest, a w niektórych przypadkach koniecznym:

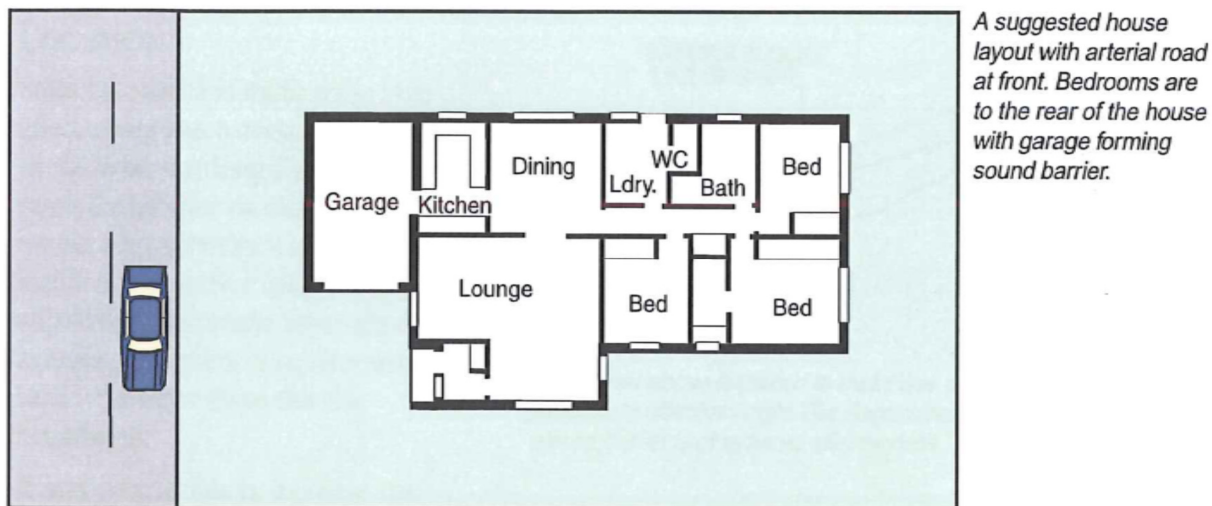
- planowanie na terenie posesji stref z obniżonym hałasem takim, który nie jest uciążliwy dla odpoczynku i rekreacji,
- poszukiwanie lokalizacji budynku na działce z wykorzystaniem map hałasu,
- analiza rozkładu pomieszczeń wrażliwych wewnątrz budynku oraz lokalizacja otworów okiennych na elewacjach z wykorzystaniem map hałasu.

Nie wszędzie warunki terenowe, takie jak chociażby szerokość pasa drogowego, pozwalają na wybudowanie ekranów akustycznych, a nawet jeżeli pojawią się ekrany, to poziom hałasu pomimo, że będzie niższy od dopuszczalnego, może być wciąż uciążliwy dla mieszkańców. Przy nowo powstających inwestycjach najlepszym wyjściem jest niedopuszczanie do lokalizacji budynków w strefie zagrożonej znaczącym hałasem drogowym, lecz przy budynkach istniejących ekranowanie wewnętrzne staje się racjonalnym rozwiązaniem problemu.

W celu zapewnienia komfortowych warunków akustycznych wewnątrz budynków również można posłużyć się mapami akustycznymi. Poniżej przedstawiono dwa przykłady rozmieszczenia pomieszczeń wewnątrz budynków jednorodzinnych z uwzględnieniem docierającego do elewacji hałasu drogowego.

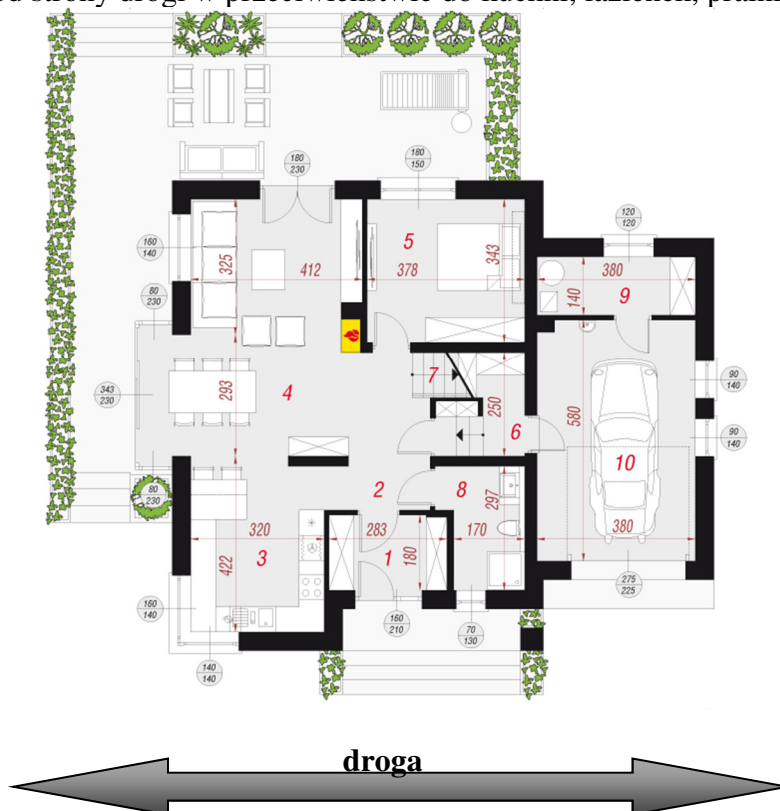
W pierwszym przypadku zlokalizowany jest budynek o mniejszej powierzchni użytkowej, na kolejnym powierzchnia użytkowa jest dużo większa. W takiej sytuacji należy

przeanalizować rozmieszczenie pomieszczeń wrażliwych i otworów okiennych wspomagając się mapą akustyczną. Na rys.9.4.9, rys.9.4.10 i rys.9.4.11) przedstawiono korzystne akustycznie lokalizacje pokoi związanych z wypoczynkiem w stosunku do drogi, czyli źródła hałasu. W takich przypadkach zawsze należy również uwzględnić nasłonecznienie ww. pomieszczeń. Garaż i kuchnia od strony drogi oraz jedno okno pokoju dziennego.

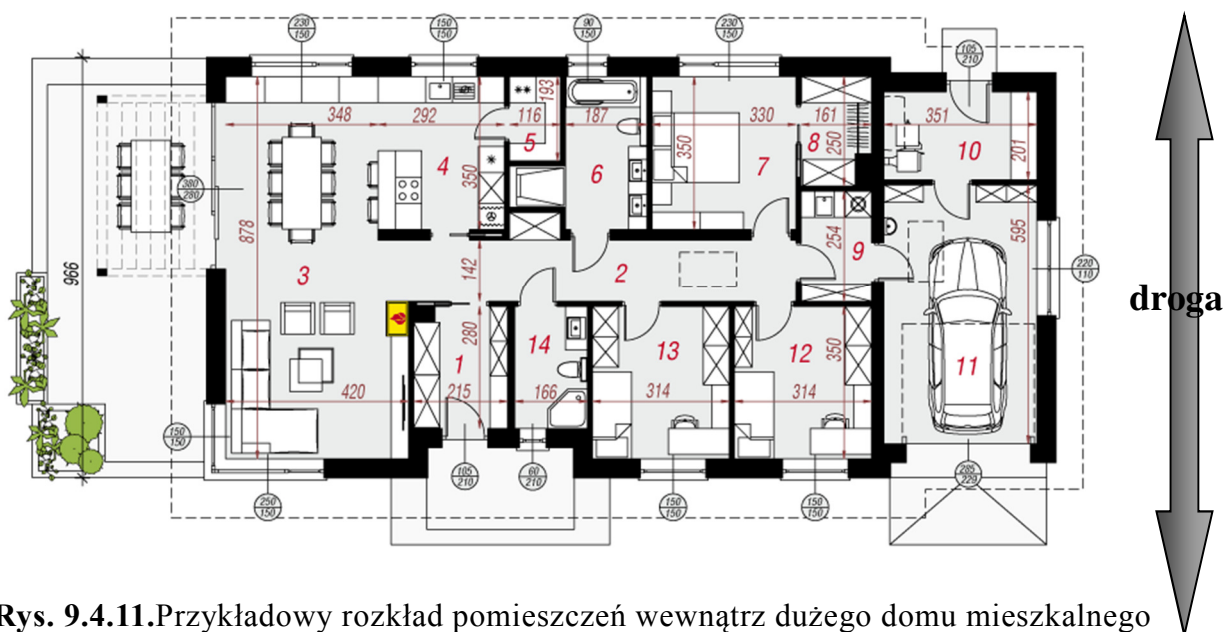


Rys.9.4.9. Przykład korzystnego pod względem akustycznym zlokalizowania pokoi związanych z wypoczynkiem (sypialnie - bed, pokój dzienny - lounge) z literatury

W przedstawionych przykładach pomieszczenia wrażliwe (sypialnie, pokoje dnia nie są lokalizowane od strony drogi w przeciwieństwie do kuchni, łazienek, pralni itp.



Rys. 9.4.10. Przykładowy rozkład pomieszczeń wewnątrz małego domu mieszkalnego z uwzględnieniem hałasu docierającego od drogi [www.archon.pl]



Rys. 9.4.11. Przykładowy rozkład pomieszczeń wewnątrz dużego domu mieszkalnego z uwzględnieniem hałasu docierającego od strony drogi [www.archon.pl]

Obowiązujące przepisy, a w szczególności warunki techniczne jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie wskazują, że: *budynek z pomieszczeniami przeznaczonymi do pobytu ludzi powinien być wznoszony poza zasięgiem zagrożeń i uciążliwości określonych w przepisach odrębnych, przy czym dopuszcza się wznoszenie budynków w tym zasięgu pod warunkiem zastosowania środków technicznych zmniejszających uciążliwość poniżej poziomu ustalonego w tych przepisach, bądź zwiększających odporność budynku na te zagrożenia i uciążliwości (...).*

Po wyczerpaniu wszystkich możliwości redukcji hałasu docierającego do budynku pozostaje zatem do analizy odporność budynku (i jego elementów) na hałas. W przypadku budynku dotyczy to głównie właściwości akustycznych ściany zewnętrznej. Przegrody zewnętrzne i wewnętrzne, w tym ściany zewnętrzne i okna, powinny mieć odpowiednią izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych. Wymagania akustyczne dotyczą wypadkowej izolacyjności całej ściany zewnętrznej przy zamkniętych oknach. Elementy składowe ściany (okna, część pełna, nawiewniki powietrza itp.) powinny być tak dobrane, aby skonstruowana z nich przegroda spełniała warunki normowe.

Znając prognozę poziomu hałasu docierającego do poszczególnych ścian (elewacji) oraz znając wskaźniki izolacyjności akustycznej ściany zewnętrznej można planować funkcje pomieszczeń w budynku z uwzględnieniem kryterium hałasu. Tradycyjna ściana zewnętrzna

wykonywana jest w budynkach mieszkalnych z części pełnej w postaci muru ocieplonego (izolacyjność ściany masywnej przeciętnie w przedziale 44-48dB) oraz osadzonego w nim okna lub drzwi balkonowych. Współczesne okna najczęściej wykonywane są z PVC ale również z drewna lub profili aluminiowych. Izolacyjność akustyczna tego typu okien jest zależna głównie od zastosowanego oszklenia, właściwości akustycznych ramy oraz uszczelnienia przylgi, a zwłaszcza zastosowanego sposobu rozszczelnienia okna wykonywanego w celu zapewnienia odpowiedniego napływu powietrza. Wskaźnik izolacyjności akustycznej dla okien wykonanych z profili PVC ze standardowym oszkleniem osiąga wartości w granicach 24–33 dB (27–33 dB dla okien nierozszczelnionych). Możliwe jest wykonanie okien o lepszej izolacyjności (o najwyższej klasie akustycznej OK_{38}), których określone laboratoryjnie tłumienie akustyczne wynosi nawet $R_w = 42\text{dB}$.

Najważniejsze czynniki, które mają wpływ na poziom tłumienia akustycznego okna to:

- rodzaj zastosowanego oszklenia,
- nawiewniki okienne (które powodują zmniejszenie izolacyjności akustycznej okna),
- wymiary okien (wraz ze wzrostem powierzchni okien, ich izolacyjność akustyczna zmniejsza się),
- rodzaj profilu okiennego,
- rodzaj zastosowanych uszczelek,
- rodzaj wzmocnień i ich sztywność oraz typ okuć,
- rodzaj uszczelnienia szczeliny montażowej.

Więcej informacji na temat izolacyjności przegród budowlanych można znaleźć w publikacjach Instytutu Techniki Budowlanej.

Dodatkowymi sposobami poprawy izolacyjności przegród zewnętrznych są rozwiązania, które poprawiają tłumienie hałasu poprzez dodatkowe „osłony” przed oknami, wprowadzane obecnie eksperymentalnie. Są one najczęściej przeszklone, ale mogą być także nieprzezroczyste (forma okiennic) stosowane w porze nocy, kiedy nie jest istotny dopływ światła. Takie rozwiązania realizowane w formie eksperymentów w ramach programu CEDR umożliwiają poprawę parametrów akustycznych okien oraz umożliwiają np. przewietrzanie pomieszczeń (rys.9.4.12). Inną formą takich okien są takie okna, które stanowią pełną zasłonę (na okres nocy). Mieszkańcy zwracają uwagi na niedogodność mycia takich okien.



Rys. 9.4.12.Przykładowa dodatkowa ochrona okna przed pomieszczeniem wrażliwym od strony ruchliwej ulicy [CEDR]

9.5. ZESTAW ANALIZ I DZIAŁAŃ W KOMPLEKSOWYM PODEJŚCIU DO OCHRONY OTOCZENIA DRÓG GP PRZED HAŁASEM

W kompleksowym podejściu do ochrony akustycznej otoczenia drogi/ulicy należy:

- a. Ustalić dane niezbędne do analiz akustycznych, w tym dopuszczalne limity hałasu (zależnie od otoczenia):
- b. Przeprowadzić analizy akustyczne przy wykorzystaniu oprogramowania komputerowego oraz map hałasu

Kluczowym czynnikiem dla klimatu akustycznego w otoczeniu dróg jest w warunkach polskich lokalizacja zabudowy. Resorcy infrastruktury i środowiska realizują ochronę akustyczną otoczenia dróg A i S ekranami akustycznymi. Dostępność do pozostałych dróg w tym GP i inne czynniki powodują, że generalnie trudno jest ekranami chronić otoczenie dróg – nie tylko z powodu kosztów, ale także z powodu nierozwiązanych po 1990 roku problemów urbanistycznych. Dlatego też bardzo ważny jest czynnik lokalizacji zabudowy.

9.5.1. Lokalizacja zabudowy

Budynki są lokalizowane wzdłuż jezdni istniejących dróg w różnych odległościach od zabudowy. W Polsce obecnie na ogół problem dotyczy dwóch sytuacji:

- a. **dróg, które były realizowane przed wieloma laty i przechodziły różne przebudowy** (Fot. 9.5.1 i 9.5.2), a na odcinkach pomiędzy miastami były obudowywane domami mieszkalnymi (po jednej lub po dwóch stronach drogi) wraz z zabudową gospodarczą (stodoła, obora - sytuowane za budynkiem, a w niektórych miejscach garaż) zazwyczaj w powiązaniu z polami uprawnymi. Do tej grupy należy zaliczyć także obudowę odcinków dróg przechodzących przez centralne części wsi, gdzie oprócz ruchu kołowego występuje także ruch pieszy po poboczach (gruntowych lub pokrytych nawierzchnią) lub po chodnikach),
- b. **dróg wylotowych z miast - na przedmieściach, a także do kilkunastu kilometrów od miast**, które w ostatnich kilkunastu latach na odcinkach kilku kilometrów (M.Tracz, Drogownictwo 11/2017), a nawet dłuższych są stopniowo obudowywane różnego rodzaju zabudową - nie tylko mieszkalną, ale w znacznej części także przemysłową, składową, komercyjną i inną dla której oddziaływanie hałasu drogowego nie jest istotne. W terenach podmiejskich w ostatnim okresie coraz częściej lokalizuje się zabudowę mieszkalną także wzdłuż sięgaczy dochodzących do jezdni o dużych natężeniach ruchu, co jest z uwagi na

hałas rozwiązaniem znacznie korzystniejszym. Przykłady takich rozwiązań przedstawiono w zad.7.

W otoczeniu dróg tych obydwóch grup powstają coraz liczniejsze budynki wrażliwe na hałas w różnych od tych dróg odległościach. Równocześnie na podanych wyżej odcinkach dróg na ogół szybko zwiększają się natężenia ruchu kołowego. Występuje także ruch pieszy i rowerowy. Wzrasta zarówno zagrożenie brd związane z ruchem pieszym oraz z częstymi wjazdami, jak i niekorzystne oddziaływanie hałasu na otoczenie. Problem urządzeń dla ruchu pieszych i częste wjazdy do zabudowy powodują, że stosowanie ekranów akustycznych staje się wątpliwe zarówno pod względem ekonomicznym, jak i funkcjonalnym. Powstaje problem jak w takich sytuacjach chronić zabudowę przed hałasem drogowym. Takie sytuacje są analizowane w raporcie m.in. w **zadaniu 7**.



Fot. 9.5.1. Jednostronna zabudowa na odcinku drogi krajowej

Na przedstawionym odcinku występuje zabudowa mieszkaniowa zlokalizowana dłuższym bokiem równoległe do drogi lub prostopadle, a zabudowa gospodarcza w wielu miejscach chroni zabudowę mieszkalną przed hałasem. Występują niekorzystne wjazdy.

Na fot. 9.5.2. występują korzystne oddalenia budynków mieszkalnych od drogi, ale gęste wjazdy powodują duże utrudnienie w budowie ekranowania.

Powyższe przykłady dobrze ilustrują trudności ochrony akustycznej zabudowy zlokalizowanej w otoczeniu drogi.



Fot. 9.5.2. Zabudowa dwustronna na odcinku drogi krajowej

W przedstawionej sytuacji wykonywane są dwa rodzaje analiz w zależności od tego, czy wrażliwa (analizowana) zabudowa istnieje, czy jest projektowana jej lokalizacja. W obydwu przypadkach wskazane jest jej uwzględnienie (wykonanie obliczeń) dla ustalonych danych ruchowych w sytuacji:

- a. bez zabudowy (o ile nie istnieje),
- b. z zabudową – dla ustalonej wcześniej (i modyfikowanej nowej zabudowy w zależności od możliwości jej lokalizacji) – rys.9.5.1, rys.9.5.2.

Jeśli na analizowanym odcinku drogi nie istnieje zabudowa, wówczas możliwe jest łatwiejsze podjęcie ustaleń dotyczących otoczenia drogi i ewentualnej zabudowy, co może mieć miejsce w przypadku budowy obwodnicy na drodze GP.

W przypadku istniejącej drogi i zabudowy problem jest trudny do rozwiązania. Dotyczy dwóch sytuacji: obudowywania drogi i istotnego wzrostu ruchu, co obecnie ma miejsce często, a także w niektórych przypadkach także konieczności poszerzenia drogi.

W większości przypadków zabudowa zlokalizowana w bliskiej, a nawet bardzo bliskiej odległości od drogi uniemożliwia zastosowanie ekranów akustycznych. Wtedy na ogół pozostają dwie możliwości sugerowane w literaturze m.in. programu CEDR, to znaczy:

- wprowadzenie lokalnych ograniczeń prędkości,
- wykonania cichej nawierzchni.

z zastosowania innych form osłon (np. niskie ekrany połączone z ogrodzeniem, zieleń).

Stąd też w literaturze zagranicznej i w materiałach konferencyjnych bardzo aktualnym problemem jest możliwość redukcji hałasu „u źródła”, tzn. przy zastosowaniu ograniczeń prędkości oraz tzw. cichych nawierzchni („Ograniczenie prędkości vs cicha nawierzchnia”). Poszerzeniem problemu prędkości jest możliwość stosowania innych metod inżynierii ruchu (ograniczanie natężeń ruchu, zmiany struktury rodzajowej potoku ruchu). Które z tych rozwiązań stosować? Jak je realizować? Dlatego temu zagadnieniu poświęcono w pracach nad zadaniem i w raporcie wiele miejsca (zad.7 i zad.8).

9.5.1. „Prędkość versus cicha nawierzchnia”. Redukcja hałasu na krótkich odcinkach dróg otoczonych zabudową:

Jak dowodzą liczne analizy klimatu akustycznego w otoczeniu dróg wykonane przez autorów w zadaniach 7 i 8, na wielu odcinkach w otoczeniu dróg klas GP i G znajduje się wrażliwa na hałas zabudowa. W wielu przypadkach jest ona zlokalizowana bardzo blisko drogi. Jak pokazały analizy w zad.7 budynki i wjazdy są zlokalizowane w różnych odległościach od siebie, co tworzy sytuację niekorzystną pod względem klimatu akustycznego, a także bezpieczeństwa ruchu.

W otoczeniu dróg tych obydwóch grup powstają coraz liczniejsze budynki wrażliwe na hałas w różnych od tych dróg odległościach. Równocześnie na podanych wyżej odcinkach dróg nierzadko szybko zwiększają się natężenia ruchu kołowego. Występuje także ruch pieszy i rowerowy. Wzrasta zarówno zagrożenie brd związane z ruchem pieszym oraz z częstymi wjazdami, jak i niekorzystne oddziaływanie hałasu na otoczenie. Problem urządzeń dla ruchu pieszych i częste wjazdy do zabudowy powodują, że stosowanie ekranów akustycznych staje się wątpliwe zarówno pod względem ekonomicznym, brd, jak i funkcjonalnym. Powstaje problem jak w takich sytuacjach chronić zabudowę przed hałasem drogowym. Takie sytuacje są analizowane w raporcie m.in. w zadaniu zad.7.

9.5.2. Ochrona otoczenia dróg w zagranicznych raportach badawczych

W publikacjach zagranicznych z ostatnich lat dla opisanych wyżej sytuacji proponowane są różne sposoby ochrony przed hałasem. Istotne są tutaj zalecenia i analizy podawane w niektórych raportach programu CEDR, np. *CEDR Contractor Report 2017-03*,

ON-AIR Guidancebook on the integration of noise in Road planning, 09-2017, które podają m.in. następujące sposoby:

- **wykonanie cichych nawierzchni,**
- **redukcję prędkości,**
- zmniejszenie natężeń ruchu całego potoku,
- zmniejszenie lub zakaz ruchu pojazdów ciężarowych i/lub autobusów.

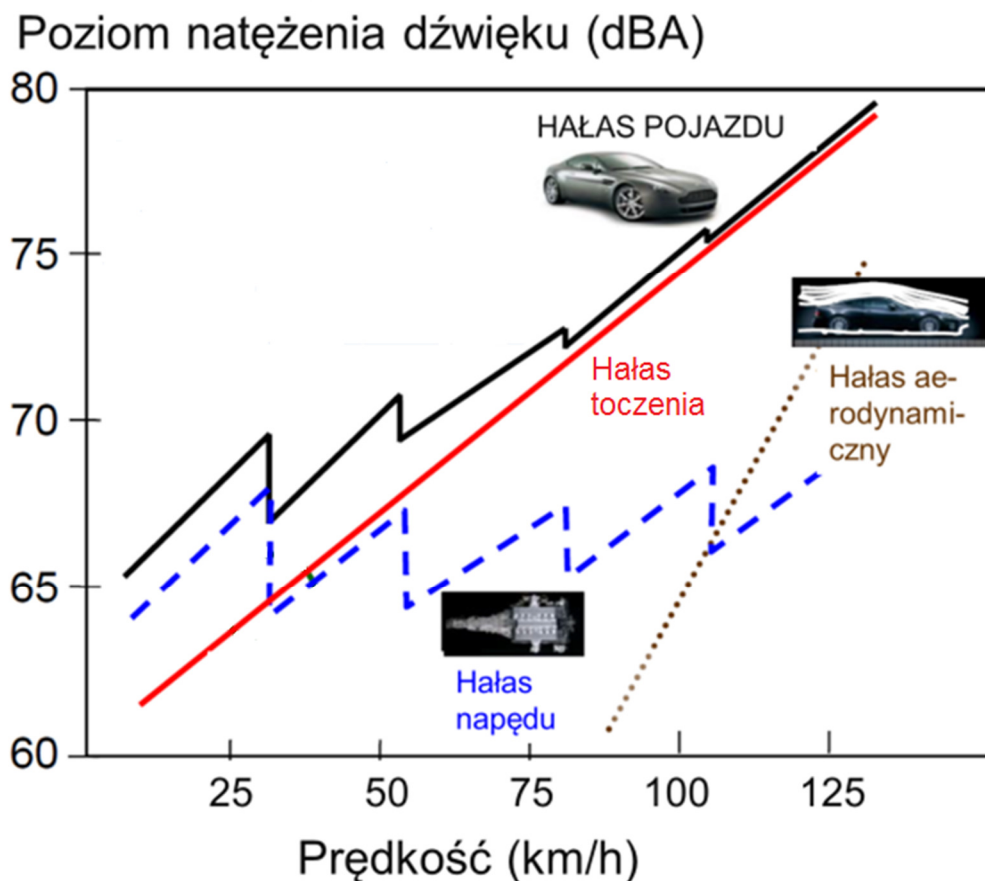
Dwa ostatnie sposoby są na ogół bardzo trudne do realizacji pod względem praktycznym (kwestie możliwości lokalnej sieci drogowej i wydłużania tras przejazdu), ekonomicznym i formalnym, co powoduje, że pomimo pewnych zaleceń w raportach CEDR i w innych publikacjach nt. redukcji hałasu, nie są one stosowane. Tylko w miastach o bogatej sieci ulic, takie możliwości mogą być brane pod uwagę (np. wprowadzanie zakazu ruchu ciężarowego po godz. 22, albo jego zakaz w niedzielę), natomiast jest to bardzo trudne do realizacji w sieci dróg zamiejskich. W niniejszym raporcie autorzy koncentrują się głównie na drogach poza terenem zabudowy miejskiej. Zatem zasadniczo pozostają dwa pierwsze sposoby.

Wprowadzenie **ograniczeń prędkości** jest relatywnie łatwe i niezbyt kosztowne, ale wiąże się z tym pewne problemy dotyczące koniecznego nadzoru: automatycznego, bądź policji. Wprowadzenie **cichej nawierzchni** jest zdecydowanie bardziej kosztowne, ale mniej kłopotliwe dla organizacji ruchu. Jednakże nawierzchnie te cechuje zmniejszanie się tego efektu redukującego hałaśliwość nawierzchni w czasie eksploatacji o kilka dB z 7-8 nawet do 3 dB. Analizy dotyczące prędkości bazują na danych z literatury i wrywkowych pomiarach autorów. Należy podkreślić, że na ostatniej cyklicznej konferencji INTERNOISE 2016 w Hamburgu prezentowano liczne referaty dotyczące różnych aspektów cichych nawierzchni.

W 2009 r. opublikowano raport opracowany przez UK Noise Association na temat zależności pomiędzy prędkością i hałasem drogowym. Opisuje on rolę jaką może odgrywać redukcja prędkości w zmniejszaniu hałasu drogowego. Raport podaje, że istnieje mierzalna zależność pomiędzy hałasem drogowym i prędkością.

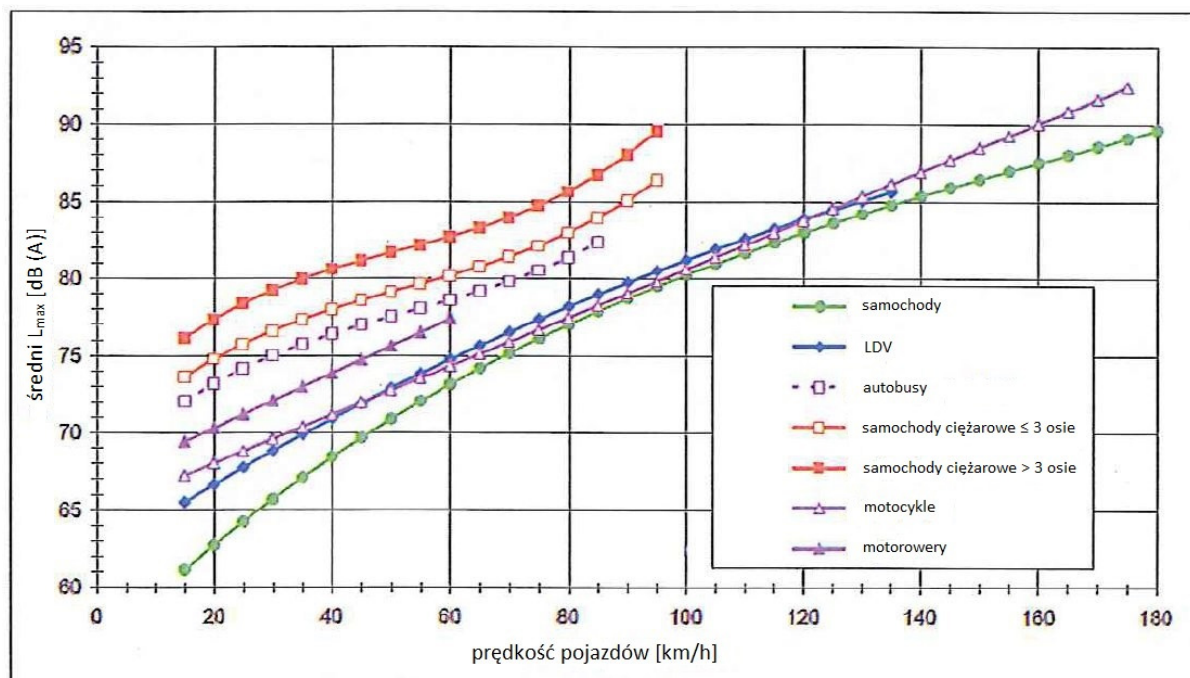
W obszarach miejskich przy prędkościach 30-60 km/h, ograniczenie prędkości o 10 km/h może zmniejszyć hałas o 40%. Redukcja hałasu jest nieco mniejsza w odniesieniu do ruchu samochodów ciężarowych i wynosi ok. 2-3 dB przy redukcji prędkości o 10 km/h.

Poziom hałas może zmniejszyć nie tylko redukcja natężenia ruchu, ale także zmiana struktury rodzajowej ruchu oraz duża płynność ruchu. Pewną redukcję hałasu może zapewnić klasyczne uspokojenie ruchu.



Rys.9.5.3 Ogólna zależność pomiędzy hałaśliwościami od napędu (silnik i biegi R1-R5) i toczenia przy zmianach prędkości (silnik, toczenie, hałas aerodynamiczny). Speed and Road Traffic Noise. UK Noise Association

Hałas wytwarzany przez pojazdy poruszające się po drodze jest kombinacją dwóch składowych tj. hałasu wytworzonego przez silnik pojazdu przy poszczególnych biegach oraz powstającego przy toczeniu kół po nawierzchni co pokazuje rys. 9.5.3. [Speed and Road Traffic Noise]. Ruch kół po nawierzchni (toczenie) jest głównym źródłem hałasu przy prędkości 55 km/h większości samochodów osobowych, a także samochodów ciężarowych przy prędkości ponad 70 km/h z hałasem silnika dominującym przy niskich prędkościach, chociaż zmiany technologiczne powodują, że hałas toczenia może teraz dominować przy prędkościach powyżej 20-40 km/h dla nowych samochodów i 30-60 km/h dla nowych samochodów ciężarowych. Wpływ prędkości na hałas toczenia i na hałas całkowity jest bardzo istotny przy stosowaniu różnych środków redukcji hałaśliwości.



Rys.9.5.4. Wykresy hałaśliwości różnych rodzajów pojazdów w zależności od prędkości [Speed and Road Traffic Noise]

W klasycznym ruchu miejskim obydwa rodzaje hałasu są istotne. Na drogach z limitami prędkości wyższymi niż 50km/h redukcja hałasu w dużej mierze zależy od redukcji składowej hałasu toczenia. Hałas od silnika zmienia się z jego wielkością, mocą i ciężarem (rys.9.5.4). Hałas od toczenia rośnie liniowo wraz z prędkością, a zmienia się z wielkością kół oraz nawierzchnią. Prędkość ruchu, jego natężenie i struktura są czynnikami wzajemnie dynamicznie powiązаныmi, które łącznie wpływają na charakterystykę jazdy i jej parametry (przyspieszanie, hamowanie, i inne) na co ma wpływ kierowca, pojazd i otoczenie.

Z wykresu wynika, że na drogach GP/G analizowanych w projekcie już od prędkości dopuszczalnej 50 km/h powszechne przekroczenia dozwolonego limitu powodują, że **czynnik redukcji prędkości może mieć istotne znaczenie i może być ekwiwalentem tzw. cichej nawierzchni**. Dużo zależy od długości odcinka na której należy utrzymać obniżoną prędkość, bowiem kierowcy, zwłaszcza przy stosowaniu fotoradarów uważają, że po przejechaniu w pobliżu radaru mogą ponownie zwiększyć prędkość pojazdu. Pod tym względem skuteczniejsze, ale głównie wobec kierowców zamiejscowych, wydają się być tablice miejscowości i znaki ograniczenia prędkości.

Należy zwrócić uwagę, że planowane coraz powszechniejsze stosowanie silników elektrycznych może znacznie obniżyć hałas, także na obudowanych odcinkach dróg

9.5.2.1. Badania prędkości w miejscach funkcjonowania fotoradarów, [2].

Badania były prowadzone przez ITS W-wa w latach 2015-2016. Badania prowadzone były zasadniczo w miastach m.in. w Warszawie i w Nowym Dworze Mazowieckim w 4 sesjach. Ich celem było sprawdzenie, jak zastosowanie fotoradarów może wpływać na poprawę brd przez redukcję prędkości w miejscach podwyższonego ryzyka. Zaletą tego typu badań jest to, że można ocenić, czy tym sposobem możliwe byłoby połączenie badań do celów brd i akustycznych. Badania prowadzone w miejscach podwyższonego ryzyka tam., gdzie wcześniej funkcjonowały fotoradary straży miejskich. Poniżej podano wyniki badań prowadzonych w Nowym Dworze Mazowieckim.

W I sesji pomiarowej w 2016 r.(kwiecień) stwierdzono, że w ciągu doby aż 73% kierowców przekroczyło dopuszczalną prędkość, a 45% (ponad 103 tys. kierowców) jechało z prędkością większą od dopuszczalnej o więcej niż 10 km/h. W III sesji w maju 2017 w 6 punktach pomiarowych prędkość dopuszczalną przekraczało mniej bo 54% (wcześniej 77%), a udział kierowców przekraczających dopuszczalną prędkość o więcej niż 10 km/h spadł z 45% do 21%. W IV sesji stwierdzono, że udział kierowców przekraczających dopuszczalną prędkość o więcej niż 10 km/h spadł do 2%, jednak 90% kierowców przyspieszało zaraz po minięciu fotoradaru i ponad połowa kierowców (53%) przekraczała 1800 m za fotoradarem prędkość o więcej niż 10 km/h. Wniosek z tych badań jest taki, że fotoradary mają istotny wpływ na zachowanie kierowców, ale występują one jedynie w bezpośredniej okolicy fotoradaru.

Z przeprowadzonych badań wynikało także, że w miejscu lokalizacji fotoradaru 400-600 kierowców przekracza w ciągu doby prędkość o więcej niż 10 km/h, a 60-70 kierowców o więcej niż 20 km/h. Wnioski jakie płyną z tych badań w odniesieniu do hałasu są takie, że pomimo łatwych pomiarów (ich analiza jest jednak czasochłonna) **nie jest to najlepszy sposób na redukcję prędkości na odcinkach dłuższych niż 200 m**. Być może zastosowanie kilku fotoradarów w pewnych odległościach dałoby pożądane wyniki w zakresie redukcji prędkości. Możliwe jest także zastosowanie „odcinkowego pomiaru prędkości”.

9.5.2.2. Wpływ ograniczeń prędkości na redukcję rzeczywistej prędkości pojazdów na odcinku drogi

Jak podkreślono wyraźnie w raporcie „Speed and Road Traffic Noise” (2009) , prędkość ruchu jest, obok jego natężenia i struktury rodzajowej, jednym z czynników ruchowych wpływających na poziom hałasu w otoczeniu drogi. Zmniejszenie prędkości jest, obok możliwości zastosowania cichej nawierzchni jednym z kilku możliwych sposobów zmniejszenia poziomu hałasu generowanego przez ruch, szczególnie na obudowanych odcinkach zamiejskich dróg klasy GP i G. Wprowadzenie ograniczeń prędkości jest sposobem relatywnie prostym i niedrogim do wprowadzenia, w stosunku do innych sposobów i metod. Zastosowanie ograniczeń prędkości może skutkować także poprawą bezpieczeństwa ruchu na danym odcinku drogi.

Zmiana innych czynników ruchowych wpływających na poziom hałasu wymienionych wcześniej, tj. np. zmniejszenie wielkości natężenia ruchu lub udziału w potoku ruchu pojazdów ciężkich (głównie pojazdów ciężarowych i autobusów), nie jest łatwa do wprowadzenia w praktyce bez zmian w sieci drogowej, (tj. zmian organizacji ruchu i budowy nowych odcinków dróg np. obwodnic, co wiąże się z dużymi kosztami). Możliwe jest wprowadzenie zakazów lub ograniczeń dla ruchu ciężarowego, ale to wiąże się przeważnie z ograniczeniami możliwości rozwojowych terenów wzdłuż danej drogi, co potwierdzają zmiany ruchu na drogach krajowych GP i na drogach wojewódzkich.

W zarządzaniu prędkością można stosować środki prawne i organizacji ruchu, obejmujące swoim zakresem: ogólne i lokalne limity prędkości, strefowanie prędkości w sieci dróg/ulic i w wyznaczonych obszarach, służące redukcji prędkości pojazdów, a w tym: lokalne i zmienne ograniczenia prędkości (znak B-33 – ograniczenie prędkości).

W praktyce ograniczenia prędkości w odniesienia do niektórych okresów doby (np. pory nocnej) są rzadko stosowane pomimo, iż wyjazdy autobusów miejskich i pojazdów ciężarowych z baz we wczesnych godzinach rannych są szczególnie uciążliwe dla mieszkańców.

9.5.2.3. Efektywność ograniczeń prędkości pojazdów

Biorąc pod uwagę niskie koszty wprowadzenia lokalnych ograniczeń prędkości, jej redukcja może być jednym ze sposobów zmniejszenia uciążliwości hałasu. Może być także jednym ze środków stosowanych kompleksowo do redukcji hałasu drogowego w odniesieniu do odcinków dróg przechodzących przez tereny zabudowy miast i wsi oraz przez obudowane zamiejskie

odcinki dróg. O korzyściach w zakresie ochrony przed hałasem drogowym, wynikających ze stosowania ogólnych i lokalnych ograniczeń prędkości, będzie decydować rzeczywista efektywność funkcjonowania tych środków zarządzania prędkością i koszty (urządzeń i nadzoru).

Analizy dotyczące określenia potencjalnego wpływu ograniczeń prędkości na hałas generowany przez drogę muszą uwzględniać w pierwszej kolejności możliwe zachowania kierowców, tj. sposobu przestrzegania ogólnych limitów prędkości i lokalnych limitów prędkości wprowadzanych znakami; tj. znakiem D42 - „obszar zabudowy” lub znakami lokalnych ograniczeń prędkości, tj. znakiem B33 - „ograniczenie prędkości”, lub też rzadko stosowanym znakiem D51 – „kontrola prędkości”.

Badając efektywność ww. znaków ograniczenia prędkości, w analizie danych z literatury i w badaniach empirycznych, należy pamiętać o uwzględnieniu zwyczajowych marginesów tolerancji dla przekraczania dozwolonej prędkości przez kierowcę, która jest różna jak podano wcześniej. Dlatego niezbędne jest uwzględnianie tych lokalnych zwyczajów w analizach danych z literatury, przy ich wykorzystywaniu w naszych krajowych analizach.

Należy zwrócić uwagę na to, że w obecnej praktyce krajowej w Polsce generalnie ograniczenia prędkości stosuje się dla poprawy bezpieczeństwa ruchu i nie stosuje się dodatkowego znaku podającego, że przyczyną ograniczenia prędkości w danym miejscu jest nadmierny hałas. W wielu przypadkach ograniczenia prędkości wynikające z zabudowy (teren zabudowany – większa aktywność pieszych i rowerzystów) i z zagrożeń bezpieczeństwa ruchu, spełniają również funkcję akustycznej ochrony przed nadmiernym hałasem. Niestety rzadkie przypadki monitoringu takich zmian uniemożliwiły autorom pomiary. Ten efekt może być nieco inny przy zastosowaniu środków uspokojenia ruchu. Dlatego też, po ewentualnym uzasadnionym wprowadzeniu znaków mających na celu ograniczenie hałasu warto wykonać pomiary weryfikujące.

Przegląd literatury w zakresie wpływu ograniczeń prędkości na rzeczywiste prędkości kierujących

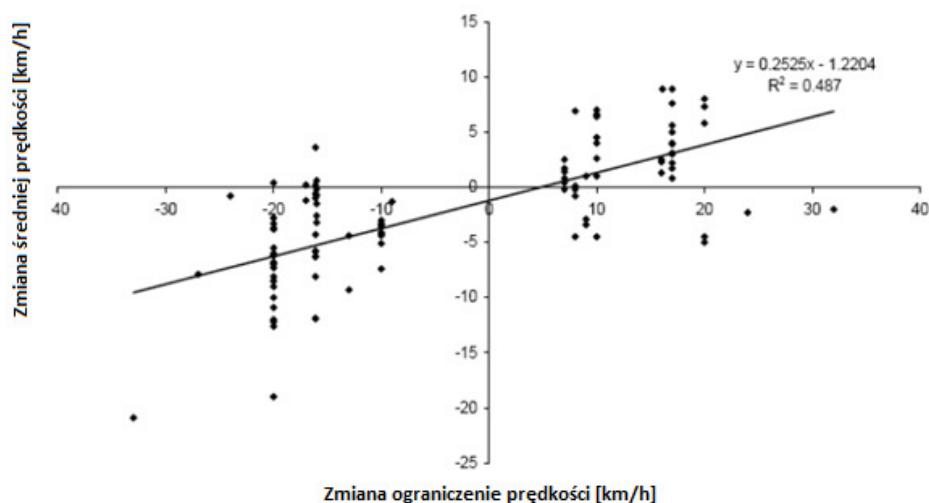
Przegląd literatury uwzględnia zarówno doświadczenia zagraniczne jak i krajowe w stosowaniu lokalnych limitów prędkości oraz środków zarządzania prędkością. Istotnym czynnikiem wpływającym na wartość redukcji jest powód jego stosowania. W przypadku badań zagranicznych powodem stosowania ograniczeń prędkości są względy bezpieczeństwa i sprawności ruchu, rzadko względy środowiskowe. W efekcie redukcje prędkości stosowane są lokalnie, a ich wpływ na rzeczywistą redukcję prędkości jest niewielki.

Jak wskazują doświadczenia krajowe, powodowane głównie brakiem właściwej hierarchizacji sieci drogowej i kontroli dostępności do dróg, ograniczenia prędkości mają dużo większy wpływ na rzeczywistą wartość prędkości i często związane są z występującą zabudową. Redukcja prędkości pozytywnie wpływa na klimat akustyczny wokół dróg, jednakże redukcja jej wielkości w wielu przypadkach jest niewystarczająca z uwagi na nieco inne oczekiwania wynikające z bezpieczeństwa ruchu drogowego i uwarunkowań środowiskowych.

Wyniki badań zagranicznych (zestawienie pozycji literatury na końcu tego punktu)

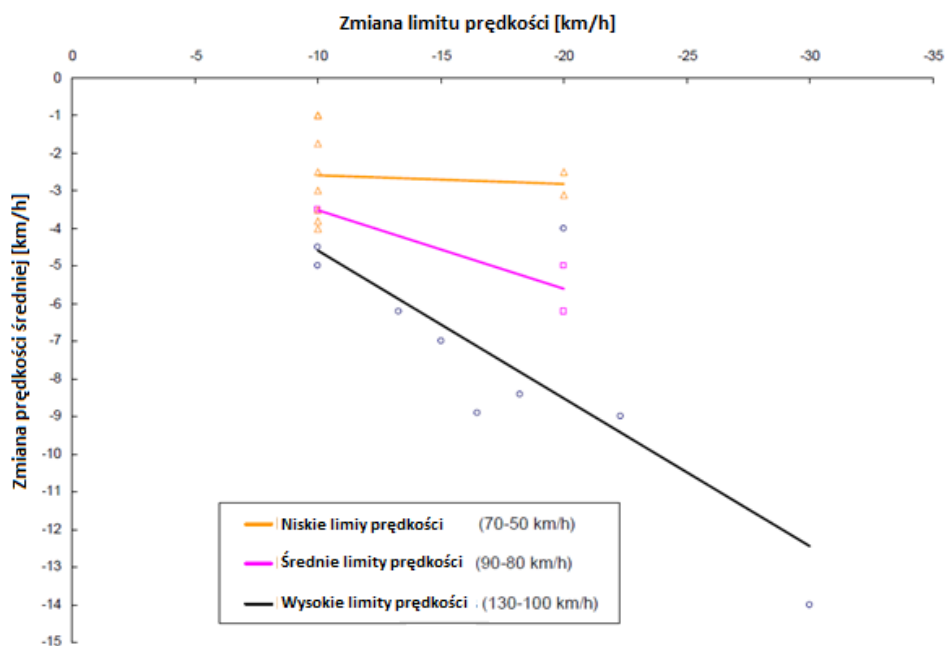
Przegląd literatury zagranicznej wskazuje, że wielkość rzeczywistych redukcji prędkości pojazdów zależy od przyjętej wartości wyjściowej ograniczenia prędkości, jak również od wartości samego ograniczenia prędkości [12]. Najczęściej podaje się, co stanowi duże uogólnienie realizowanych badań, że w miejscach w których zmniejszono maksymalną dozwoloną prędkość przy użyciu znaku i nie zastosowano dodatkowych środków redukcji prędkości, średnia prędkość pojazdów zmniejszała się o ok. 25% wartości wprowadzonej zmiany [4].

Wpływ redukcji limitów prędkości na zmianę prędkości średniej na przykładzie wyników badań z różnych krajów został przedstawiony poniżej. W norweskim raporcie badawczym [4] przedstawiono wyniki badań, na podstawie których autorzy ustalili, że średnia prędkość pojazdów zmniejsza się o ok. 1/4 różnicy pomiędzy “nowym”, a “starym” ograniczeniem (rys.9.5.5.) .Przy zmniejszeniu ograniczenia prędkości z 60 km/h do 50 km/h prędkość średnia zmniejszała się średnio o 2,8 km/h. Jest to wartość zbliżona do tej wynikającej z modelu przedstawionego na rys. 9.5.5 opracowanego według badań australijskich [1].



Rys.9.5.5. Wpływ zmiany limitu prędkości na prędkość średnią pojazdów [1].

W referacie [12] przedstawiono zależność pomiędzy wielkością zmiany limitu prędkości, a spodziewaną zmianą prędkości średniej (Rys.9.5.6).



Rys.9.5.6. Wpływ zmiany ograniczenia prędkości na zmianę prędkości średniej [12]

W raporcie australijskim [10] oszacowano, ograniczenia prędkości z 60 km/h do 50 km/h spowodowało zmniejszenie średniej prędkości pojazdów o 2-3 km/h. Badania brytyjskie wykazały, że zmiana ograniczenia z 64 km/h do 48 km/h, spowodowała zmniejszenie prędkości pojazdów o ok. 5 km/h [8], a więc powyżej 25% wartości zmiany ograniczenia prędkości.

W publikacji [13], podano, że zmniejszenie limitu prędkości z 60 km/h do 50 km/h w południowej Australii doprowadziło do zmniejszenia prędkości średniej o 3,8 km/h. W publikacji [10] analizowano wpływ zmniejszenia limitu prędkości w stanie Victoria (Australia) z 60 km/h do 50 km/h. Ustalono, że prędkość średnia zmniejszyła się o 2-3 km/h.

W raporcie [5] podano, że zmiana ograniczeń prędkości w obszarach zabudowanych w Danii w 1985 r. spowodowała zmniejszenie prędkości średniej o 3-4 km/h.

Jak można zauważyć zmiany limitów prędkości mają statystycznie istotny wpływ na prędkość średnią pojazdów po zmianach. W tab.9.4 zestawiono dane o wpływie redukcji limitów prędkości na zmianę prędkości średniej.

Tablica9.4. Wpływ zmniejszenia limitów prędkości na zmianę prędkości średniej [1]

Literatura	Kraj	Redukcja limitu prędkości [km/h]	Zmiany prędkości średniej[km/h]
Finch i inni (1994)	Szwajcaria	ze 130 na 120km/h	5
Nilsson (1990) cytowany przez Stuster'a i innych (1998)	Szwecja	ze 110 na 90km/h	14
Peltola (1991) cytowany przez Stuster'a i innych (1998)	UK	ze 100 na 80km/h	4
Frith i Tomath (1982) cytowany przez Pattersona'a i innych (2000)	Nowa Zelandia	z 88 lub 97 na 80km/h (zamięskie)	13-16
Engel i Thomsen (1988) cytowany przez Cameron'a i Elvik'A (2008)	Dania	z 60 na 50km/h (miejskie)	3-4
Roads and Traffic Authority (2000)	Australia (Nowa Południowa Walia)	z 60kna 50km/h (drogi lokalne)	0,94
Hoareau, Newstead i Cameron (2006) cytowani przez Cameron'a i Elvik'a (2008)	Australia (Victoria)	z 60 na 50km/h (drogi lokalne)	2-3
Kloedon, Wooley i McLean (2007) cytowani przez Cameron'a i Elvik'a (2008)	Australia (Południowa Australia)	z 60 na 50km/h (drogi lokalne)	3,8
WalshiSmith (1999) cytowaniu przez Archer'a i innych (2008)	Australia (Queensland)	z 60 na 50km/h (drogi lokalne)	5
Hoareau i Newstead (2004) cytowani przez Archer'a i innych (2008)	Australia (Australia Zachodnia)	z 60k na 50km/h (drogi lokalne)	1

W australijskim raporcie [2] zawierającym ocenę zastosowania różnych środków zarządzania prędkością na wjazdach do miejscowości (przed wystąpieniem znaku ograniczenia prędkości) i na odcinkach dróg zamiejskich, przedstawiono ich wpływ na zmianę prędkości odpowiednio w sposób jakościowy i ilościowy co pokazuje Tablica 9.5.

Tablica 9.5. Redukcja prędkości na wjazdach do miejscowości [2]

Środek	Opis	Redukcja prędkości	Okres stosowanie środka
Uprzednie znaki ostrzegawcze	Oznakowanie ostrzegające przed niższym limitem prędkości	minimalna	od dawna
Strefy buforowe	Krótki odcinek zapewniający stopniową redukcję prędkości pojazdów	minimalna	od dawna
Znaki odliczania	Znaki, na których widoczne są ukośne linie. Liczba linii zmniejsza się aż do miejsca, w którym zaczyna obowiązywać niższe ograniczenia	minimalna	Nietestowany
Bramy wjazdowe	Połączenie znaków i innych technik	25km/h	od dawna (tylko w N. Zelandii)

Tablica 9.6. Redukcja prędkości na odcinku drogi zamiejskiej według [2]

Środek	Opis	Redukcja prędkości	Okres stosowanie środka
Limity prędkości	Ustanawianie właściwych limitów prędkości na drodze zamiejskiej	4 km/h	stosowany ale nie na szeroka skalę
Zwężenie drogi	Zwężenie drogi poprzez środki fizyczne i wpływające na percepcję lub kombinacja obu	5 km/h	stosowany próbnie
Znaki ograniczenia prędkości aktywowane w zależności od warunków pogodowych	Znaki dynamiczne informujące kierowców o warunkach pogodowych i znaki statyczne informujące o zmianach prędkości	5 km/h	stosowany próbnie

Innym narzędziem służącym do zarządzania prędkością, są znaki o zmiennej treści wyświetlające, w zależności od prędkości pojazdu, różne treści (np. aktualna prędkość pojazdu, napis „zwolnij”). Mogą one wpłynąć na redukcję prędkości od 3,2 do 36 km/h [7]. W Danii

odnotowano redukcję średniej prędkości pojazdów od 1 do 2 km/h. W przypadku, gdy na tablicach zmiennej treści wyświetlany był limit prędkości 80 km/h zamiast 100 km/h zaobserwowano redukcję prędkości o ok 3,4 km/h. Przy złych warunkach atmosferycznych (gołoledź) redukcja prędkości wyniosła ok 5,1 km/h [11].

Przegląd badań krajowych

Wyniki badań wpływu zmiany ograniczenia prędkości na jej redukcję prowadzone w Polsce wskazują na podobne wyniki do badań zagranicznych w zakresie redukcji prędkości, tj. redukcji wynoszącej ok. 25% wartości zmiany ograniczenia prędkości. Badania te, prowadzone w Polsce po zmianie limitu w 2004 roku na terenach zabudowy z 60 km/h do 50 km/h w odniesieniu do odcinków ulic jak i przejść drogowych przez miejscowości zostały opisane w [9].

Obszerne badania wpływu różnych środków zarządzania prędkością na drogach samorządowych w Polsce, w tym lokalnych i obszarowych limitów prędkości, były prowadzone w ramach opracowania [KRBRD]. Wyniki tych badań zostały przedstawione w tablicy 9.7. Wyniki te mogą zostać wykorzystane do oceny zmian klimatu akustycznego w otoczeniu drogi po wprowadzeniu środków zarządzania prędkością. Limity lokalne 40 km/h i 50 km/h dotyczą odcinków dróg przechodzących przez małe miejscowości, pozostałe występują na odcinkach dróg zamiejskich. Obszarowe limity prędkości były oceniane na terenie miast.

W przypadku dróg krajowych szczególne znaczenie mają odcinki dróg zamiejskich przechodzących przez małe miejscowości. Wzdłuż tych odcinków może być zlokalizowana zabudowa, która będzie bezpośrednio narażona na działanie hałasu drogowego. Na odcinkach tych może występować limit prędkości lokalny 60 km/h, 70 km/h lub ogólny wynikający z występowania terenu zabudowy (50/60 km/h).

Należy zauważyć, że wartości redukcji prędkości na odcinkach przejść przez małe miejscowości oraz drogach zamiejskich z zabudową wzdłuż drogi są znacznie większe niż w przypadku limitów prędkości na drodze o jednorodnym zagospodarowaniu otoczenia drogi. Wpływ na to ma zmieniające się otoczenie drogi oraz jego percepcja.

Tablica 9.7. Wartości redukcji prędkości dla różnych środków zarządzania prędkością [KRBRD]

Środek zarządzania prędkością	redukcja			
	Prędkość średnia V	Wskaźnik zmienność i WZV	Prędkość średnia V	Wskaźnik zmienność i WZV
	[km/h] [%]	- [%]	[km/h] [%]	- [%]
limit lokalny 40 km/h	64.4	0.185	4.4 6.8%	0.012 6.5%
limit lokalny 50 km/h	69.9	0.185	9.1 13.0%	0.006 3.2%
limit lokalny 60 km/h	82.3	0.174	11.9 14.5%	0.022 12.6%
limit lokalny 70 km/h	79.9	0.170	9.3 11.6%	-0.024 -14.1%
Strefa zamieszkania	38.0	0.203	5.1 13.4%	-0.034 -16.7%
TEMPO 30	45.4	0.185	7.4 16.3%	-0.018 -9.7%
Środki uspokojenia ruchu (teren zabudowy)	60.0	0.173	6.2 10.3%	0.006 3.5%
Nadzór prędkości (teren zabudowany)	66.6	0.159	10.5 15.8%	-0.007 -4.4%

W tabl.9.6 przedstawiono wartości średnie prędkości na odcinkach o ogólnym limicie prędkości zlokalizowanych poza terenem zabudowy (90/70 km/h) i na terenie zabudowy o ogólnym limicie prędkości (50/60 km/h) i z lokalnymi limitami prędkości (50 km/h, 60 km/h, 70 km/h – odcinki z zabudową na odcinkach zamiejskich). Dodatkowo wyróżniono przekrój poprzeczny z i bez pasa środkowego wielofunkcyjnego oraz, w przypadku jego braku, typ przekroju poprzecznego (z chodnikami, poboczami utwardzonymi i poboczami gruntowymi).

Tabela 9.8. Wartości prędkości średniej dla ograniczeń prędkości na dwupasowych drogach krajowych.

Wartość limitu prędkości	Parametr prędkości	Redukcja prędkości względem odcinka z ogólnym limitem prędkości		
	Prędkość średnia V	90 km/h utwardzone pobocza	90 km/h gruntowe pobocza	90 km/h między blisko położonymi miejscowościami
	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
90 km/h U Utwardzone pobocza	87,9	-	-	-
90 km/h Gruntowe pobocza	86,8	-	-	-
90 km/h między blisko położonymi miejscowościami	76,9	-	-	-
50/60 km/h Pas wielofunkcyjny	61,4	26,5	25,4	15,5
70 km/h Odcinki z zabudową	70,2	17,7	16,6	6,7
50/60 km/h Utwardzone. pobocza	78,5	9,4	8,3	wzrost
50/60 km/h Gruntowe pobocze	73,2	14,7	13,6	3,7
50/60 km/h Chodniki	68,3	19,6	18,5	8,6
60 km/h Utwardzone. pobocza	83,5	4,4	3,3	wzrost
60 km/h Gruntowe pobocze	73,4	14,5	13,4	3,5
50 km/h Utwardzone. pobocza	75,2	12,7	11,6	1,7
50 km/h Gruntowe pobocze	69,8	18,1	17	7,1
50 km/h Chodniki	63,4	24,5	23,4	13,5

Przedstawione wyniki wartości prędkości w tab. 5 wskazują na istotny wpływ na wartość redukcji rzeczywistej prędkości następujących czynników:

- występowania zabudowy wzdłuż drogi,
- rozwiązania przekroju poprzecznego,
- występowania lokalnych limitów prędkości (znaki B-33) lub ogólnych limitów prędkości (znak D-42), w tym dodatkowo wzmocnionych znakiem B-33.

Wpływ ten przedstawia się następująco:

1. Prędkość średnia na odcinkach dróg zamiejskich bez zabudowy wynosi około 87-88 km/h w zależności od rozwiązania przekroju poprzecznego. W przypadku występowania lokalnie odcinków z zabudową (blisko położone miejscowości) wartość prędkości na odcinkach dróg zamiejskich bez zabudowy wynosi ok. 77 km/h. Wartości te stanowią warunki wyjściowe do oceny efektywności rzeczywistej prędkości
2. Wprowadzenie znaku z ograniczeniem prędkości do 70 km/h ze względu na występującą zabudowę (zarówno w celu podniesienia prędkości na terenach zabudowy – z 50/60 km/h do 70 km/h, jak i obniżenia na odcinkach dróg zamiejskich z 90 km/h do 70 km/h) powoduje redukcję rzeczywistej prędkości od 6,7 km/h do 17,7 km/h względem odcinka drogi zamiejskiej.
3. Zastosowanie wyłącznie oznakowania w formie znaku D-42 bez dodatkowych środków zarządzania prędkością powoduje rzeczywistą redukcję prędkości względem odcinka zamiejskiego do 19,6 km/h w przypadku przekroju poprzecznego z chodnikami wzdłuż drogi. Dla dróg z przechodzących przez małe miejscowości z utwardzonymi poboczami, w przypadku blisko położonych miejscowości obserwowano brak wpływu oznakowania na prędkość rzeczywistą pojazdów.
4. Najbardziej efektywnym rozwiązaniem jest w zakresie redukcji prędkości jest wprowadzenie pasów wielofunkcyjnych, w takim przypadku redukcja prędkości względem odcinka zamiejskiego wynosi od 15,5 km/h do 26,5 km/h.
5. Wprowadzenie lokalnego limitu prędkości na odcinku przejść drogowych przez miejscowości do 60 km/h powoduje wzrost prędkości ok 5 km/h dla odcinków z utwardzonymi poboczami oraz praktycznie brak wpływu w przypadku odcinków z poboczami gruntowymi (wzrost prędkości o 0,2 km/h)
6. Pozytywny wpływ na wartość rzeczywistych prędkości na odcinkach przejść przez miejscowości ma zastosowanie lokalnego obniżenia prędkości do 50 km/h (znakiem B-33), co może mieć znacznie głównie w porze nocy. Redukcja prędkości wynosi ok. 3,3-3,4 km/h w przypadku odcinków z utwardzonymi i gruntowymi poboczami oraz 4,9 km/h w przypadku odcinków z chodnikami.
7. Występowanie pasa wielofunkcyjnego na odcinku przejść drogowych przez miejscowości powoduje redukcję prędkości, a także jej ujednorodnienie. Największa redukcja rzeczywistej prędkości występuje w przypadku przekrojów poprzecznych z utwardzonymi poboczami, tj. 17,1 km/h, następnie dla przekroju z poboczami gruntowymi 11,8 km/h oraz dla przekroju z chodnikami 6,9 km/h.

Badania literaturowe przedstawione w tabeli 4 wskazują, że redukcja rzeczywistej prędkości zależy również od występowania środków uspokojenia ruchu oraz środków nadzoru nad prędkością:

1. Występowanie środków uspokojenia ruchu powoduje redukcję prędkości o około 6,2 km/h.
2. Występowanie oznakowania informującego o możliwej kontroli prędkości na odcinku drogi powoduje redukcję prędkości o 10,5 km/h. Rozwiązanie takie jest dużo bardziej efektywne w zakresie redukcji prędkości w porównaniu do automatycznego nadzoru nad prędkością za pomocą fotoradarów, gdzie obserwowany efekt redukcji prędkości występuje na relatywnie krótkim odcinku wynoszącym około 200-300m.

Na podstawie przeprowadzonej analizy dostępnych badań prędkości oraz badań własnych można stwierdzić, że stosowanie środków zarządzania prędkością w postaci limitów prędkości w odniesieniu do terenów zurbanizowanych na sieci dróg zamiejskich może być efektywnym środkiem poprawy klimatu akustycznego.

Badania wskazują, że efektywnym, nisko-kosztowym środkiem redukcji prędkości byłoby wprowadzenie limitu prędkości 50 km/h w okresie całej doby oraz znaki informujące o odcinkowym nadzorze nad prędkością.

Należy rozważyć również stosowanie środków budowlanych i organizacji ruchu pozwalających na przekształcanie przekrojów poprzecznych dróg poprzez wprowadzenie elementów uspokojenia ruchu oraz pasów wielofunkcyjnych.

LITERATURA dotycząca badań w zakresie ograniczeń prędkości pkt 9.5.4

1. Austroads Ltd.: *Infrastructure/Speed Limit Relationship in Relation to Road Safety Outcomes*. AP-T141/10, 2010
2. Austroads Ltd.: *Methods for Reducing Speeds on Rural Roads Compendium of Good Practice*. AP-R449-14, 2014.
3. Austroads Ltd.: *Urban speed management in Australia*. AP-118-96, 1996.
4. Elvik R., Christensen P., Amundsen A.: *Speed and road accidents: an evaluation of the power model*. TOI report 740/2004, Institute of Transport Economics, Oslo, Norway, 2004.
5. Engel U., Thomsen L.K.: *Speeds, speed limits and accidents. The road safety trend in built up areas after the introduction of the 50 km/h limit*. Technical Report 3/1988, Danish Council of Road Safety Research, Gentofte, Denmark, 1988.
6. ETSC: *Managing Speed Towards Safe and Sustainable Road Transport*. 2008.
7. Federal Highway Administration: *Speed Management: A Manual for Local Rural Roads Owners*. FHWA-SA-12-027, U.S. Department of Transportation, 2012.

8. Finch D. J., Kompfner P., Lockwood C.R., Maycock G.: Speed, speed limits and accidents, project. Report PR 58, Transport Research Laboratory, Crowthorne, UK, 1994.
9. Gaca S., Kieć M.: Badania reakcji kierujących pojazdami na zmianę ograniczenia prędkości na terenach zabudowy, Transport Miejski i Regionalny, Nr 12, 2005.
10. Hoareau E., Newstead S., Cameron M.: An evaluation of the default 50 km/h speed limit in Victoria. Report No. 261, Monash University Accident Research Centre, November, 2006.
11. <http://mobility.tamu.edu/mip/strategies-pdfs/active-traffic/technical-summary/Variable-Speed-Limit-4-Pg.pdf>
12. Jurewicz C.: Impact of lower speed limits, for improved road safety, on network operations. Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, 10 -13 November, Sydney, New South Wales, 2009.
13. Kloeden C., Woolley J., McLean J.: A follow-up evaluation of the 50 km/h default urban speed limit in South Australia. In: Proceedings, Australasian Road Safety Research, Policing Education Conference, Melbourne, Australia, 2007.
14. VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH: Evaluierung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen in Berlin. Senat für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2013.

9.5.2.4. Pomiary redukcji prędkości dla obniżenia poziomu hałasu

W opisanych wcześniej analizach uwzględniano możliwości i efektywność ograniczania prędkości *znakami, tablicami miejscowości, foto-radarami* oraz korektę wartości prędkości z uwagi na stosowanie zwyczajowej tolerancji przy penalizacji kierowców przekraczających prędkość. Dla ograniczonej weryfikacji wpływu ograniczenia prędkości na jej redukcję i redukcję poziomu hałasu autorzy wykonali pomiary na DK nr 7. w miejscu, gdzie ograniczenie prędkości jest stosowane ze względów brd, ale może także służyć dla poprawy klimatu akustycznego w otoczeniu drogi. Wprowadzenie ograniczeń prędkości jest relatywnie łatwe, a koszt zależy od tego, czy jest to nadzór policji na drodze, czy jest to stosowanie fotoradarów z których zapis należy dalej analizować. Jazda z wyższą prędkością przez niektórych kierowców niż podawana znakami lub tablicami miejscowości, powoduje jednak emisję wyższego poziomu hałasu, co powinno się uwzględnić przy jego prognozowaniu.

W pomiarach autorów pomierzono parametry ruchu (prędkość i natężenie) oraz poziomy hałasu. Poniżej podano zestawione parametrów ruchu i wyniki pomiaru poziomu hałasu przeprowadzonego w dwóch przekrojach drogi krajowej. W pierwszej lokalizacji znajdował się automatyczny fotoradar do pomiaru prędkości, w drugim przekroju nie było

nadzoru nad prędkością. Stąd widoczne są różnice w pomierzonej prędkości średniej oraz poziomie hałasu.

Parametry ruchu: natężenie $Q=322$ P/h, udział ruchu ciężkiego $uc=15\%$

Hałas mierzony w punkcie z nadzorem prędkością
(fotoradar zdjęcie)

V_{sr} pojazdów lekkich = 54,9km/h

V_{sr} pojazdów ciężkich = 57,8km/h

Poziom hałasu $LeqA = 70,8$ dBA



Hałas mierzony ok. 500m od fotoradaru

V_{sr} lekkich = 71,6km/h

V_{sr} ciężkich = 67,3km/h

$LeqA = 74,0$ dBA

Różnica średniej prędkości (wzrost) poj. lekkich wyniosła

16,7km/h, zaś poj. ciężkich 9,5km/h natomiast różnica poziomu równoważnego hałasu wyniosła **3,2dBA**.



W praktyce możliwości wykorzystania ograniczeń prędkości do redukcji hałasu mogą dotyczyć następujących sytuacji:

- a. Odcinków miejskich przebiegających przez teren zabudowy, gdzie limit prędkości jest determinowany znakami „D42” obszar zabudowy czyli 50 km/h.
- b. Odcinków zamiejskich przebiegających przez teren zabudowy, gdzie limit prędkości jest determinowany znakami „D42” obszar zabudowy (symbol znaków) czyli 50 km/h.
- c. Odcinków zamiejskich z ograniczeniami prędkości znakami „B33”

Znakom tym może towarzyszyć znak podający informację, że limit prędkości wynika z zagrożenia otoczenia drogi nadmiernym hałasem, ale w literaturze brak badań tego czy taki znak powodowałby lepsze respektowanie ograniczenia prędkości czy odwrotnie. W Polsce brak jest badań dotyczących efektywności rozwiązania w którym znakom ograniczenia prędkości (kojarzonymi zazwyczaj z bezpieczeństwem ruchu) towarzyszą znaki mówiące o redukcji związanej z nadmiernym hałasem. Brak pewności, co do sposobu reagowania kierowców na taką kombinację znaków.

Dlatego skutecznym rozwiązaniem może być w takich przypadkach stosowanie fotoradarów. Należy podkreślić, że w każdym z tych przypadków ograniczenie prędkości może służyć także do zmniejszenia zagrożenia wypadkowego.

W opracowaniu problemu w tym miejscu wykorzystano oprócz pomiarów i obserwacji autorów, także następujące publikacje i materiały badawcze:

Kieć M., Woźniak K; **Jak skuteczność zarządzania prędkością może wpływać na poziom hałasu w otoczeniu drogi.** III Międzynarodowej Konferencji Naukowo – Technicznej TRANSEIA „Oceny oddziaływania na środowisko w budownictwie komunikacyjnym”, Krynica 2017,

W literaturze podaje się następujące redukcje poziomu hałasu, które można uzyskać przy Redukcji prędkości Redukcja hałasu dB

Km/h	Pojazdy lekkie	Pojazdy ciężkie
40 do 30	3,6	2,7
50 do 40	2,8	2,1
60 do 50	2,3	1,7
70 do 60	1,9	1,4
70 do 50-	3,2 ?	3,1

9.6. ZASTOSOWANIE CICHYCH NAWIERZCHNI

Z uwagi na dość różnorodne i nie całkiem zgodne ze sobą stanowiska dotyczące możliwości i uwarunkowań zastosowania tzw. cichych nawierzchni (m.in. w raportach CEDR stanowisko jego lidera Dr H.Bendtsena z Danii) zdecydowano przedstawić 3 opisy problemu zastosowania cichych nawierzchni:

- a. Uwarunkowania związane z zastosowaniem cichych nawierzchni na obudowanych odcinkach dróg o ograniczonej długości** – opracowany przez Prof. K. Kowalskiego z PW – element zad.5
- b. Możliwości zastosowania i wyboru cichej nawierzchni** - opracowany przez Dr J. Bohatkiewicza z PL
- c. Uwagi Dr Bartolomeusa do pytań przesłanych przez prof. M.Tracza.**

9.6.1. Uwarunkowania związane z zastosowaniem cichych nawierzchni na obudowanych odcinkach dróg o ograniczonej długości

– opracowanie Prof. K. Kowalski z PW (m.in. autor katalogu - rozdz.5)

Podstawowy problem sprowadza się do możliwości zastosowania cichej nawierzchni na drogach GP przechodzących blisko zabudowy kiedy zastosowanie środków ekranujących lub osłaniających jest w praktyce utrudnione lub niemożliwe. Wtedy cicha nawierzchnia lub obniżenie prędkości mogą poprawić klimat akustyczny w otoczeniu drogi przy zabudowie. Mogą to być odcinki od kilkudziesięciu (kilkuset) metrów do kilku/ kilkunastu km. Generalnie nie chodzi o odcinki miejskie (choć problem dotyczy także odcinków wylotowych z miasta). Na takich drogach można się liczyć z prędkościami 50-70 km/h przy ograniczeniach znakiem 50 km/h lub białą tablicą, lub przy ograniczeniu znakiem 60 km/h (wtedy w praktyce rejestruje się prędkość 60-75 km/h). Jaką nawierzchnię można zarekomendować?, Jaka może być najmniejsza długość odcinka z taką nawierzchnią. żeby się firmie opłacało się ją wykonać (ekonomia, technologia). Częste wjazdy do zabudowy powodują, że zastosowanie ekranów akustycznych, a także osłon w postaci zieleni (np. tuje) i ogrodzeń jest niezbyt efektywne pod

względem akustycznym i posiada takie wady jak zagrożenie bezpieczeństwa ruchu z powodu ograniczeń widoczności przy wyjazdach (możliwość kolizji z pojazdami, z pieszymi i rowerzystami).

DOKUMENTY POWOŁANE:

RID-76-Zad2-Załącznik 1: Wymagania techniczne w zakresie rozwiązań materiałowo-technologicznych nawierzchni redukujących hałas drogowy. Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym, 2018.

RID-76-Zad2-Załącznik 2: Wymagania techniczne w zakresie eksploatacji nawierzchni drogowej w celu utrzymania poziomu hałaśliwości. Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym, 2018.

RID-76-Zad52-Załącznik 1: Katalog klasyfikacyjny nawierzchni drogowych w odniesieniu do hałasu drogowego. Projekt RID – I/76 Ochrona przed hałasem drogowym, 2018.

Wytyczne RID-76-Zad2-Załącznik 1 zostały opracowane w celu przedstawienia wymagań technicznych w zakresie rozwiązań materiałowych oraz uwarunkowań technologicznych dotyczących wykonywania warstw ścieralnych asfaltowych nawierzchni drogowych redukujących hałas drogowy. Wytyczne przeznaczone są do stosowania na drogach klasy A, S i GP z dopuszczeniem stosowania na drogach klasy G przy przebudowie dróg. Zastosowano podział na dwie grupy: nawierzchnie o obniżonej hałaśliwości oraz nawierzchnie ciche.

Mieszanki mineralno-asfaltowe ciche PA powinny być stosowane wyłącznie na drogach dwujezdniowych z węzłami drogowymi typu WA lub WB w miejscach, gdzie nie jest spodziewane zatrzymanie pojazdów, na których nie dopuszcza się ruchu pojazdów rolniczych i maszyn budowlanych oraz brak jest lokalnych zjazdów. Długość odcinka drogowego wykonanego z PA powinna wynosić min. 500 m.

Zaleca się ograniczenie stosowanie warstw porowatych cichych do dróg klas A (autostradach), S (ekspresowych) i GP (główna ruchu przyspieszonego). Ze względu na skuteczność utrzymania nawierzchni porowatych najkorzystniejszym rozwiązaniem jest stosowanie nawierzchni porowatych na drogach o dopuszczalnej prędkości pojazdów powyżej 80 km/h, o minimalnej długości odcinka 1000 m i z maksymalną liczbą pasów w jednym kierunku 3 (pod warunkiem zapewnienia ich właściwego odwodnienia).

Półotwarta struktura warstw nawierzchni o obniżonej hałaśliwości z mieszanki BBTM z mieszanek mineralno-asfaltowych, z odpowiednio ukształtowaną teksturą, wpływa na redukcję hałasu powstającego na styku opony z nawierzchnią. Mieszanki mineralno-asfaltowe o obniżonej hałaśliwości typu BBTM powinny być stosowane przede wszystkim na drogach, na

których prędkość pojazdów wynosi minimum 50 km/h, a ruch pojazdów rolniczych jest zabroniony.

W celu zachowania korzystnych cech akustycznych oraz trwałości nawierzchni, zaleca się stosowanie BBTM 8 wg RID-76-Zad2-Załącznik 1:

- w miejscach hamowania/przyspieszania/zatrzymania/włączenia do ruchu pojazdów (obszar 100 m przed i za skrzyżowaniem i przejściem dla pieszych): mieszanki BBTM 8A o zawartości wolnej przestrzeni 4 - 8 %; długość odcinka drogowego wykonanego z BBTM 8A powinna wynosić min. 200 m.
- w miejscach ruchu pojazdów ze stałą prędkością: mieszanki BBTM 8B o zawartości wolnej przestrzeni 8-12 %; długość odcinka wykonanego z BBTM 8B powinna wynosić min. 300 m.

W zakresie skuteczności akustycznej mieszanki BBTM 8A charakteryzują się mniej korzystnymi właściwościami w stosunku do mieszanek BBTM 8B. Ze względu na niższą prędkość pojazdów w miejscu aplikacji mieszanek BBTM 8A skuteczność akustyczna może być dodatkowo obniżona.

W przypadku zaprojektowania i wykonania mieszanki BBTM 8 zgodnie z wytycznymi RID-76-Zad2-Załącznik 1 oraz w przypadku ich eksploatacji zgodnie z wytycznymi RID-76-Zad2-Załącznik 2, nawierzchnia drogowa w odniesieniu do hałasu drogowego może być klasyfikowana jako redukująca hałas: nawierzchnia o obniżonej hałaśliwości. Katalog RID-76-Zad5-Załącznik 1 przedstawia nawierzchnie drogowe w stanie dobrym, pomiędzy trzecim a czwartym rokiem typowej eksploatacji zgodnej z założeniami projektu drogowego: współczynnik korekcyjny w stosunku do nawierzchni referencyjnej wynosi **-2,5 dB (BBTM 8A)** oraz **-4,0 dB (BBTM 8B)**. Zaznaczyć należy, że w praktyce wartości mogą się różnić w zakresie $\pm 1,5$ dB od wielkości katalogowych. Różnice wynikać mogą z dokładności pomiarów i prognoz hałasu środowiskowego w otoczeniu drogi oraz z uwarunkowań materiałowo-technologicznych, w tym m.in. uziarnienia, zawartości lepiszcza, stopnia zagęszczenia, warunków pogodowych wykonania warstw nawierzchni drogowych.

W trakcie eksploatacji nawierzchnie drogowe podlegają zmianom w zakresie cech powierzchniowych, które skutkują zmianami w hałasie drogowym. W okresie eksploatacji nawierzchni konieczne jest dokonywanie zabiegów utrzymaniowych i remontów cząstkowych polegających m.in. na usuwaniu kurzu, zimowym utrzymaniu, uszczelnianiu połączeń technologicznych, usuwaniu wybojów i ubytków, wymianie masy zalewowej w szczelinach technologicznych nawierzchni z betonu cementowego i naprawach powierzchniowych, m.in. w celu zachowania właściwości związanych z hałasem drogowym. Remonty okresowe

nawierzchni drogowej polegające m.in. na wymianie asfaltowej warstwy ścieralnej skutkować mogą przywróceniem pierwotnych cech powierzchniowych nawierzchni drogowej i przywróceniem pierwotnych właściwości w zakresie hałaśliwości nawierzchni.

Okres zachowania właściwości akustycznych nawierzchni o obniżonej hałaśliwości z mieszanki BBTM w trakcie eksploatacji (bez przeprowadzania remontu okresowego) wynosi 9 lat. W pierwszym okresie eksploatacji (do 1 roku) występować mogą różnice w stosunku do przedstawionej wartości: początkowym okresie eksploatacji wartości te mogą być o 0,5-1,0 dB wyższe. W kolejnym okresie eksploatacji (1-4 lat) następuje stabilizacja. W pozostałym okresie eksploatacji występować może przyrost hałaśliwości w zakresie 0-1,5 dB.

9.6.2. Możliwości zastosowania i wyboru cichej nawierzchni

Opracował dr inż. J.Bohatkiewicz, PL

Rodzaj i stan nawierzchni to jeden z czynników mających znaczący wpływ na kształtowanie emisji hałasu drogowego – obok prędkości bardzo istotny przy kształtowaniu klimatu akustycznego w otoczeniu obudowanej drogi. Jak opisano w pkt 9.5.3.1. (rys. 9.5.3), pojazd poruszający się po drodze generuje hałas, który tworzą źródła składowe, tj.:

- źródła główne – hałas pracującego silnika i zespołu napędowego oraz hałas toczących się kół po nawierzchni drogi, a także:
- źródła drugorzędne, tj. hałas aerodynamiczny powstający ze względu na zawirowania powietrza wokół pojazdu w trakcie jego ruchu, hałas luźno zamocowanych elementów pojazdu oraz ładunku (głównie pojazdy ciężarowe).

Podstawowy wpływ na kształtowanie hałasu w otoczeniu drogi mają źródła główne. Poziom hałasu generowanego przez nie rośnie wraz z prędkością. Przyjmuje się, że do około 50 km/h dominującym jest hałas pochodzący głównie od silnika pojazdu natomiast powyżej tej prędkości dominuje hałas toczenia kół po nawierzchni drogowej [4] – przy niektórych rodzajach nawierzchni efekt redukcji obserwowany jest również przy niższych prędkościach [6,9] Ten rodzaj hałasu jest związany z dwoma grupami zjawisk mechanicznych (drżania opony i jej elementów) oraz aerodynamicznych (związanych z dynamiką ośrodka gazowego w obszarze styku opony z nawierzchnią). Zjawiska te a zwłaszcza mechaniczne są silnie związane z prędkością pojazdu.

Obudowa dróg powoduje, że możliwość redukcji hałasu na takich odcinkach dróg przez zastosowanie tzw. cichych nawierzchni w ostatnich latach nabierają coraz większego znaczenia i zaczynają stanowić alternatywę dla ekranów akustycznych. Stosowanie nowych rodzajów nawierzchni jest coraz powszechniejsze w różnych krajach – również w Polsce. Nawierzchnie drogowe pełnią szczególną rolę w ruchu drogowym i muszą być projektowane w taki sposób, aby spełniały przede wszystkim wymagania bezpieczeństwa i komfortu użytkowników. W związku z tym powinny one charakteryzować się odpowiednią przyczepnością, równością oraz powinny zapewniać skuteczne odprowadzanie wody z powierzchni jezdni. Ponadto nawierzchnie te mogą pełnić bardzo znaczącą rolę w redukcji hałasu w strefie emisji pod warunkiem zachowania wymienionych powyżej cech.

Nawierzchnie mające cechy redukujące hałas drogowy (popularnie nazywane również cichymi nawierzchniami) można podzielić na dwie zasadnicze grupy [4]:

- otwarte (porowate),
- zamknięte (o zamkniętej strukturze).

Powyższy podział dotyczy głównie nawierzchni bitumicznych jednakże nawierzchnie betonowe można zakwalifikować w tym przypadku do nawierzchni o zamkniętej strukturze (przy zastosowaniu różnych metod wykończenia powierzchni).

Nawierzchnie porowate nie są w Polsce powszechnie stosowane z powodu problemów powodowanych przez utrzymanie w okresie zimy (brak możliwości stosowania typowych mieszanek do posypywania dróg) oraz efektem utraty właściwości redukowania pochłaniania dźwięku już po kilku latach ich użytkowania (obserwacje wskazują, że utrata redukcji hałasu to początkowo nawet 1,5-2,0 dB na rok) [2]. Jest to spowodowane zatykaniem wolnych przestrzeni przez zanieczyszczenia generowane przez pojazdy – czyszczenie tych nawierzchni powinno być wykonywane raz na około 2-3 lata co generuje dodatkowe koszty. Proces zatykania porów przebiega szybciej na drogach o niższych prędkościach ponieważ nie zachodzi zjawisko samooczyszczania – polega ono na wrywaniu zanieczyszczeń z porów przez koła pojazdów poruszających się z dużą prędkością. Dodatkowo nawierzchnie te zużywają się szybciej na skutek niszczenia przez pojazdy ciężkie zwłaszcza w miejscach gdzie występują duże siły ścinające (rejony skrzyżowań, przystanków autobusowych itp.). Ponadto nawierzchnie porowate pod wpływem oblodzenia charakteryzują się zbyt niskimi właściwościami poślizgowymi, co ma wpływ na pogorszenie bezpieczeństwa kierowców i użytkowników dróg. Mogą także występować inne efekty, starzenia nawierzchni porowatych, które są ściśle powiązane z oddziaływaniem ciepła pochodzącego bezpośrednio od promieni

słonecznych. W specyficznych zakresach temperatur warstwa wiążąca topi się i może zatkać puste przestrzenie w niższych partiach i pogorszyć tym samym efekt redukcji hałasu.

Trwałość tych nawierzchni określana jest na około 10 lat jednak w warunkach krajowych jest ona niższa. W Holandii wytrzymałość konstrukcyjną tego typu nawierzchni określa się jako trzy czwarte wytrzymałości tradycyjnej mieszanki mineralno-asfaltowej. Warstwy ścieralne z asfaltów porowatych charakteryzują się natomiast mniejszą podatnością na tworzenie kolein. Nawierzchnie wykonane w tej technologii mają także wiele pozytywnych cech dla bezpieczeństwa użytkowników drogi. Na drogach zastosowanym asfaltem porowatym nie występuje zjawisko aquaplaningu. Dzięki porowatej strukturze woda jest szybko odprowadzana z powierzchni jezdni. Zjawisko to również dobrze wpływa na widoczność podczas opadów deszczu. Przejeżdżające pojazdy nie tworzą za sobą efektu chmury wody, która ogranicza widoczność innym użytkownikom drogi. Asfalty porowate w czasie opadów atmosferycznych mają o wiele lepszą przyczepność niż tradycyjne nawierzchnie asfaltowe. W przypadku suchej nawierzchni przyczepność jest na podobnym poziomie. Należy jednak pamiętać, że warstwa ścieralna wykonana z asfaltów porowatych przez pierwsze miesiące użytkowania ma o wiele gorszą przyczepność niż inne nawierzchnie. Jest to spowodowane lepyszczem otaczającym kruszywo. W jednym z ostatnich raportów CEDR z 2017 r. we wnioskach dotyczących stosowania cichych nawierzchni wskazuje, że nawierzchnie porowate dobrze sprawdzają się na drogach (zwłaszcza autostradach) w Holandii i Belgii z uwagi na małe zabrudzenie jezdni i częste opady (czyszczenie nawierzchni).

W przypadku dróg klasy GP w Polsce można mieć spore obawy co do efektywności nawierzchni porowatych z opisanych wyżej względów.

Nawierzchnie bitumiczne szczelne, mogą także charakteryzować się właściwościami redukującymi hałas. Udział wolnych przestrzeni w konstrukcjach tego typu jest zdecydowanie mniejszy (nie większy niż około 4%). W przeciwieństwie do nawierzchni porowatych, dużą zaletą tego typu nawierzchni jest ich łatwiejsze utrzymanie. Dodatkowo nawierzchnie szczelne nie tracą wraz z czasem użytkowania tak szybko jak nawierzchnie porowate właściwości redukujących hałas (trwałości akustycznej). Są one także bardziej trwałe i odporne na działanie czynników atmosferycznych. Przykładem nawierzchni szczelnych stosowanych w Polsce mogą być np. nawierzchnie asfaltowe z mastyksu grysowego np.: SMA 5 lub SMA 8, które charakteryzują się redukcją hałasu toczenia do około 4 dB w porównaniu do nawierzchni typowych SMA 11 [6], przy czym wartości te są uzyskane na podstawie pomiarów wykonywanych metodą statystycznego pomiaru podczas przejazdu. W przypadku równoważnego poziomu dźwięku wartości redukcji hałasu w stosunku do typowej nawierzchni

SMA 11 wynoszą maksymalnie 2-3 dB [4]. Należy jednak zwrócić uwagę, że odniesienie wartości redukcji hałasu po przebudowie do stanu przed przebudową nawierzchni może przynosić nawet wartości ponad 7 dB [4].

Dobre właściwości redukujące hałas toczenia można osiągnąć w tych nawierzchniach poprzez zmianę wielkości maksymalnej kruszywa. W tym celu w nawierzchniach bitumicznych stosuje się odpowiedni proces przesiewania ziarna oraz dodatkowo można także zmieniać temperaturę przy ich wykonywaniu. Dzięki tym zabiegom uzyskuje się odpowiednią strukturę powierzchni drogi. Udział hałasu spowodowany oddziaływaniem ziaren stanowiących makroteksturę jest zależny od typów pojazdów [7]. Nawierzchnia optymalizowana pod względem akustycznym dla lekkich samochodów może powodować większe oddziaływania akustyczne przy przejazdach samochodów ciężarowych. Hałas toczenia powstający na styku nawierzchni i opony można także ograniczyć poprzez unikanie w makroteksturze nawierzchni dużych nierówności (tzw. *peaks*) [12]. Jeżeli jednak nawierzchnia jest zbyt równa i gładka zredukowany jest przepływ powietrza w miejscu styku nawierzchni z kołami pojazdów, co z kolei prowadzi do wzmocnienia efektu rogu (takie ukształtowanie geometryczne w miejscu wejścia i wyjścia opony ze styku z nawierzchnią, które przypomina kształtem tubę głosową i działa w podobny sposób) i w konsekwencji do zwiększenia hałasu toczenia [4]. Z tego względu, przy projektowaniu nawierzchni bitumicznych szczelnych należy brać pod uwagę obydwie te efekty. W przypadku samochodów ciężkich, bardziej szorstka nawierzchnia może powodować redukcję poziomu hałasu oraz zmniejszać różnice pomiędzy hałaśliwością opon różnego typu. Należy także wspomnieć, że hałas toczenia zwiększa się na nawierzchniach równych i gładkich w przypadku ruchu z poślizgiem w związku z występowaniem efektu „*stick-slip*” (związany z poślizgiem towarzyszącym ruchowi tocznemu koła pojazdu oraz drganiami opasania i ścian bocznych opony) [11].

Do nawierzchni szczelnych należą także nawierzchnie betonowe. Cechą charakterystyczną tych nawierzchni jest ich duża trwałość. Nawierzchnie te charakteryzują się dużą wytrzymałością na odkształcenia i powstawanie kolein. W przypadku nawierzchni betonowych procesy utrzymaniowe są mniej wymagające niż w przypadku technologii asfaltów porowatych. Podstawowymi problemami w przypadku nawierzchni betonowych są: odpowiednie utrzymanie i monitorowanie szczelin (dylatacji) oraz stanu tekstury warstwy ścieralnej. Jednym z istotniejszych parametrów mających wpływ na poziom hałaśliwości nawierzchni betonowych jest tekstura (makrotekstura), którą nadaje się w trakcie ich wykonywania. Wraz z upływem czasu i eksploatacją drogi tekstura ta niszczy się. Powierzchnia staje się przez to śliska i głośniejsza z uwagi na intensyfikację zjawisk aerodynamicznych

i mechanicznych. Zmiana parametrów szorstkości wpływa także na pogorszenie przyczepności opon samochodowych do powierzchni drogi. W tym celu konstrukcja powinna mieć odpowiednią teksturę. Przez okres eksploatacji tekstura ta ulega niszczeniu (jej poprawa polega na odpowiednim szlifowaniu nawierzchni).

Bibliografia do pkt:9.6.2

1. Bendtsen H., Larsen H.J. *Traffic Management and Noise*. Road Directorate, Danish Road Institute, 2007.
2. Bohatkiewicz J. *Modelowanie i ocena rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym*. Politechnika Lubelska. 2017.
3. Bohatkiewicz J., Biernacki S., Jamrozik K., Kuliś S. *Efekty wpływu systemów ITS na klimat akustyczny w otoczeniu dróg*. II Polski Kongres ITS. Warszawa, 2009 [w: <http://edroga.pl/inzynieria-ruchu/its-w-ograniczaniu-halasu-drogowego-cz-i-2306230> i <http://edroga.pl/inzynieria-ruchu/its-w-ograniczaniu-halasu-drogowego-cz-ii-2506237> z 06.2016 r.]
4. Bohatkiewicz J., Hałucha M. The Impact of Quiet Pavements' Usage on Traffic Noise on People in Loosely Built-Up Areas. [w:] *Traffic Noise: Exposure, Health Effects and Mitigation*. Acoustics Research and Technology. New York, 2017.
5. Ejsmont J. *Ciche nawierzchnie drogowe*. IV Koszalińska Konferencja Naukowo - Techniczna "Hałas - Profilaktyka - Zdrowie 2000." Kołobrzeg, 2000.
6. Gardziejczyk W. *Hałas od przejeżdżającego pojazdu w zależności od jego prędkości i charakterystyki nawierzchni drogowej*. Magazyn Autostrady, 7/2015.
7. Gardziejczyk W. *Influence of road pavement macrotexture on tyre/road noise of vehicles*. Baltic Journal of Road and Bridge Engineering 9 (3). 2014.
8. Gardziejczyk W., Gierasimiuk P., Motylewicz M. *Noisiness of the Surfaces on Low-Speed Roads*. Coatings 2016, 6(2).
9. Maeck J., Bergiers A. *Noise Reducing Thin Asphalt Layers in a Urban Environment: a pilot study in Antwerp*. INTER-NOISE 2016. Hamburg, 2016..
10. Ruttmar I. i in. *Eksploatacja i utrzymanie nawierzchni z asfaltu porowatego*. Zastosowanie nowoczesnych technologii w konstrukcjach drogowych. Zakopane, 2010.
11. Sandberg U., Ejsmont J. *Tyre/road noise reference book*. Informex. 2002.
12. Sandberg U. *Influence of Road Surface Texture on Traffic Characteristics Related to Environment, Economy and Safety*. Swedish National Road Administration. 1998.

9.6.3. Uwagi Dipl. Phys., Dr Ing. Wolfram Bartolomaeusa, BAST RFN

Wobec rozbieżności w aktualnych publikacjach (EURONOISE, INTERNOISE, CEDR) zespół badawczy z PK zwrócił się do Dr W. Bartolomaeusa (Dipl. Phys. Dr Ing. Wolfram Bartolomaeus, Federal Highway Research Institute BAST Germany) czołowego eksperta niemieckiego w zakresie hałasu drogowego z prośbą o informację w kilku sprawach związanych z ochroną przed hałasem otoczenia dróg, które pod względem dostępności i parametrów technicznych odpowiadają naszym drogom krajowym klas GP i G. Takie drogi w Polsce są na wielu odcinkach wylotowych z miast a także pomiędzy miastami obudowane i nadal obudowywane.

Odpowiedzi Dr Wolframa Bartolomaeusa na zadane pytania

1. Czy dla ograniczenia oddziaływania hałasu w opisanej wyżej sytuacji stosowane są często ograniczenia prędkości

*Odpowiedź. Jeśli nie jest możliwy żaden inny środek ochrony przed hałasem, ograniczenie prędkości jest oczywiście stosowane. W ostatnim czasie nawet na głównych drogach przechodzących przez miasta spotyka się **Tempo 30**. Stosowane jest również **Tempo 50** jako środek ochrony przed hałasem poza „formalnymi” obszarami zabudowy, jeśli w pobliżu drogi znajduje się zabudowa.*

2. Czy tzw. ciche nawierzchnie są powszechnie stosowane do redukcji prędkości na opisanych drogach?

Odpowiedź: „Ciche nawierzchnie” są regularnie i często stosowane nie tylko na autostradach i drogach ekspresowych, ale także na drogach o niskiej prędkości. Ciche nawierzchnie są skuteczne nawet przy niskich prędkościach. Jednak ciche nawierzchnie porowate są wykorzystywane tylko na autostradach. Te nawierzchnie zanieczyszczają się zbyt szybko przy zbyt niskiej prędkości (oczyszczanie przez ssanie wywoływane szybka jazdą). Przy innych cichych nawierzchniach należy zachować ostrożność, jeśli miałyby być stosowane w miejscach o zwiększonych mechanicznych wymaganiach (krzywe, hamowanie, przyspieszanie). Nie są one odpowiednie w przypadkach wysokiego udziału w ruchu samochodów ciężarowych.

3. Czy na przejściach drogowych przez miejscowości są stosowane także inne środki redukcji prędkości?

Odpowiedź: Inne środki na przejściach drogowych przez miejscowości. Najskuteczniejsze jest przeniesienie ruchu na obwodnice. Możliwe są również odpowiednie zakazy jazdy dla pojazdów

*ciężarowych (w niektórych przypadkach tylko w nocy) - jeśli nic innego nie da się zastosować.
W przeciwnym razie pomaga tylko Tempo 30 lub nawierzchnie o niskim poziomie hałasu.*

Załączniki do zadania 9

Z1. Konspekt „Przewodnika do zintegrowanego planowania i projektowania dróg oraz ich otoczenia według kryterium hałasu drogowego

Z2-4. Przykłady analiz hałasu w otoczeniu drogi do zadania 9.

Z5. Metoda oceny kompozycji i estetyki środków ochrony przed hałasem.

Z6. Metoda AHP jako narzędzie matematyczne do ocen wariantowej ochrony przed hałasem.

Z1. Przewodnik do zintegrowanego planowania i projektowania dróg oraz ich otoczenia według kryterium hałasu – proponowana zawartość

Część I

1. Wprowadzenie

1.1. Cele i zawartość przewodnika

1.1.1. Sytuacje jakich będzie dotyczyć przewodnik

- a. Planowanie nowych dróg klas GP (G?) – głównie obwodnice, poszerzanie i przebudowy dróg istniejących (możliwe jest ujęcie problematyki dróg A i S),
- b. Planowanie i projektowanie zabudowy oraz terenów użytkowanych przez człowieka w otoczeniu dróg/ulic (przy przejściu przez tereny zabudowy) istniejących i projektowanych
- c. Zmiany w ruchu, protesty itp.

1.1.2. Do kogo może być adresowany przewodnik

- a. Władze samorządowe; wojewódzkie, powiatowe, gminne,
- b. *Inwestorzy (deweloperzy), mieszkańcy,*
- c. Architekci i urbaniści, projektanci dróg i zabudowy, rzeczoznawcy z zakresu ochrony środowiska, projektanci miejsc rekreacji,
- d. Administracja drogowa (DK, DW, DM),
- e. Inwestorzy prywatni, deweloperzy.

1.2. Opracowania związane z tematyką przewodnika

- 1.2.1. Uregulowania dotyczące hałasu i ochrony przed hałasem
 - 1.2.2. Uregulowania dotyczące zabudowy i jej lokalizacji
 - 1.2.3. Uregulowania dotyczące drogi i jej lokalizacji
- *istniejące przepisy, wytyczne, przewodniki krajowe, UE, CEDR*

2. Niekorzystne oddziaływania hałasu drogowego (wszyscy wymienieni w

1.1.2 – wszyscy (W), eksperci (E)

2.1. Uciążliwości hałasu drogowego (*dla uświadomienia władz, mieszkańców, deweloperów*)
W

2.2. Wpływy na zdrowie mieszkańców -wpływ na pracę i naukę, na możliwość rekreacji w budynku, na terenie posesji i w pobliżu - W

2.3. Wpływy ekonomiczne(wpływ na wartość posesji) E

2.4. Dopuszczalne limity hałasu(zależnie od zagospodarowania otoczenia drogi w świetle przepisów: rodzaj zabudowy, tereny rekreacyjne, budowlane) oraz opisowe wartościowanie wpływu

2.5. Główne czynniki wpływające na poziom powstającego hałasu „u źródła” (ruch – natężenie, prędkość, natężenie ruchu ciężkiego, nawierzchnia, przekrój drogi) – E, W

2.6. Czynniki wpływające na rozchodzenie się hałasu drogowego (topografia terenu (droga w terenie płaskim, dolinowa, grzbietowa, sięgacz), zabudowa osłonowa wokół drogi, ekrany sztuczne, ogrodzenia, zieleń, E

2.7. Działania i środki ograniczające wpływ hałasu (odsunięcie od drogi, strefa buforowa, eliminacja użytkowania wrażliwego na hałas, zieleń, zieleń osłonowa)

2.8. Prognozowanie hałasu wokół drogi (co obejmuje i formy prezentacji, metody prognozowania, mapy hałasu), formy określania uciążliwości w odniesieniu do terenów zamieszkania i rekreacji .

3. Podstawowe środki i działania dla ograniczenia hałasu drogowego przy jego powstawaniu, rozchodzeniu się i ochronie odbiorców

3.1. Możliwości ochrony przed hałasem (ogólnie). Identyfikacja możliwych opcji redukcji hałasu; w projektowaniu drogi (trasa niweleta, przekrój), w planowaniu zagospodarowania otoczenia drogi, w projektowaniu zagospodarowania posesji w tym lokalizacji zabudowy i stref cichych, w projektowaniu zabudowy, w tym budynków mieszkalnych

3.2 W planowaniu, projektowaniu, użytkowaniu (nadzór) i utrzymaniu dróg (nawierzchnie),

3.3. W zakresie wpływu na ruch (natężenie, prędkość, udział ruchu ciężkiego i środki inżynierii ruchu)

3.4. W zakresie wyboru nawierzchni

3.5. W zakresie rozchodzenia się hałasu (odległość, różne środki tłumienia i ekranowania)

3.6. Wykorzystanie zieleni do redukcji hałasu

3.7. Zastosowanie ogrodzeń do redukcji hałasu

3.8. W zakresie stosowanie środków ochrony zabudowy i jej otoczenia

3.9. Środki dotyczące samej zabudowy w tym rozmieszczenia pomieszczeń, okien, balkonów, garażu i podjazdu i innych

3.10. W odniesieniu do terenu rekreacji w obrębie posesji

3.11 Przeciętne możliwości redukcji hałasu przy zastosowaniu wybranych środków ochrony

3.12. Przykłady dobrej praktyki

4. Wizualizacja rozwiązań. Zastosowanie map hałasu

Z2. Przykłady analiz hałasu w otoczeniu drogi do zadania 9

Zgodnie z kartą programową zadania 9 zostały opracowane zostały 3 przykłady analiz dla odcinka drogi z zabudową w otoczeniu i dodatkowy przykład analizy estetyczno-ergonomicznej.

Celem przykładów było przedstawienie takiej techniki wykonywania analiz aby:

- możliwa była wizualizacja rozchodzenia się hałasu w otoczeniu, która będzie ilustrować zagrożenia związane z hałasem i ich wagę (kolorystyka map hałasu odzwierciedlająca zagrożenie hałasem), zrozumiała dla osób z administracji drogowej i samorządowej, dla mieszkańców otoczenia drogi i innych osób uczestniczących w konsultacjach społecznych. Taka analiza może być bardzo przydatna szczególnie przy budowie obwodnic klasy GP/G,
- możliwe było pokazanie, który system zabudowy (równoległy do drogi, czy sięgaczowy jest lepszy,
- możliwe było pokazanie jak pewnymi sposobami i dodatkowymi elementami zagospodarowania (zabudowa niewrażliwa na hałas; komercyjna, usługowa, lub wał czy ekran zlokalizowany w optymalnym miejscu)) można ulepszać sytuację mieszkańców w istniejącej/planowanej zabudowie.
- możliwym było pokazanie jakie będą skutki wzrostu ruchu na analizowanym odcinku,

Zaprezentowana na przykładach technika umożliwia także określenie jakości rozwiązań drogowych i zabezpieczeń drogi przez obliczenie na podstawie map hałasu zestawu wskaźników zrozumiałych dla fachowców.

Z 2.1. Tok postępowania w obliczeniach akustycznych

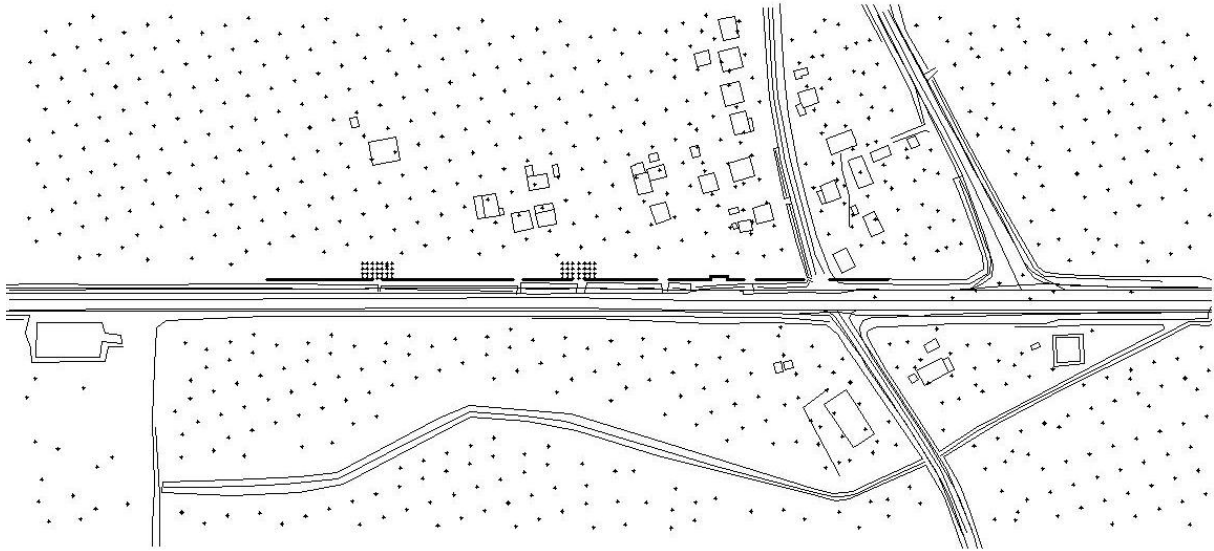
Przed przystąpieniem do obliczeń równoważnego poziomu dźwięku w programie SoundPLAN 7.4 należy zebrać odpowiednie dane, które są niezbędne do wykorzystania w procesie obliczeniowym. Zbieranie danych można realizować etapami:

Pierwszym krokiem jest inwentaryzacja terenu, dla którego zostanie przeprowadzona analiza akustyczna. Dla każdego poligonu należy zebrać następujące dane:

- szerokość jezdni i poboczy,
- rodzaj występującej nawierzchni,
- odległość od krawędzi jezdni lub innych przeszkód terenowych
- długość i wysokość elementów infrastruktury,

- pokrycie terenu,
- lokalizacja zabudowy
- natężenie i struktura ruchu, prędkość pojazdów.

Na podstawie inwentaryzacji przeprowadzonych w terenie, oraz analiz dostępnych ortofotomap, a także przeprowadzonych (przez autorów) pomiarów hałasu oraz towarzyszących im pomiarów natężenia ruchu i prędkości wykonuje się plany sytuacyjne. Rys. Z1



Rys.Z1. Przykład podkładu mapowego w formacie „.dxf”.

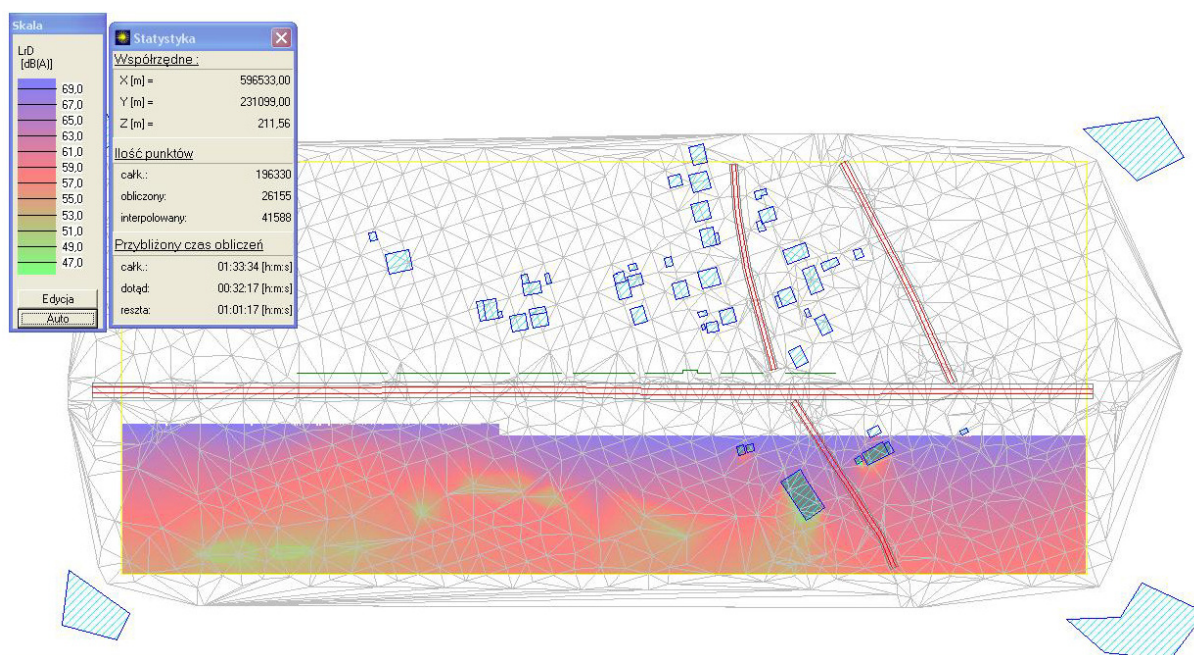
Z dostępnych punktów wysokościowych w pakiecie SoundPLAN wykonuje się numeryczny model terenu. W kolejnym etapie nadaje się poszczególnym elementom na rysunku Z1 odpowiadające im typy obiektów z biblioteki pakietu SoundPLAN.



Rys.Z2. Sytuacja po zdefiniowaniu typów obiektów.

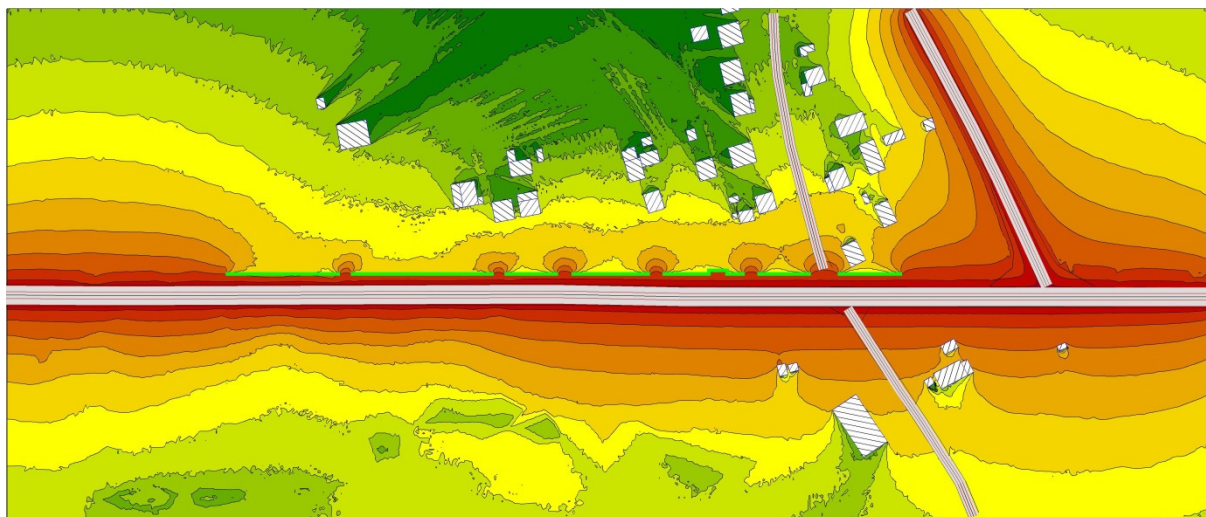
Następnie w analizach (tu przykładach) obiekty należy zdefiniować tzn. w przypadku drogi wpisać natężenie ruchu, prędkość pojazdów, rodzaj nawierzchni itp. Obiektom nadaje się wysokości oraz przypisuje je do wczytanego poprzednio poziomu terenu.

Po zdefiniowaniu i edycji wszystkich obiektów określa się zakres obliczeniowy i przystępuje do obliczeń mapy akustycznej rys Z3



Rys. Z3 Ilustracja graficzna postępu obliczeń.

Po wykonaniu obliczeń przystępuje się do wykonania części graficznej, w której określa się zakres przedstawianych poziomów hałasu i odpowiadające im kolory.



Rys. Z4, Przykład mapy akustycznej wykonanej w programie SoundPLAN.

Gęstość siatki punktów odbioru dobiera się w zależności od konfiguracji terenu oraz stopnia złożoności sytuacji urbanistycznej. Obliczenia akustyczne mają postać iteracyjną z dużą liczbą iteracji związanych ze znaczną liczbą zmiennych.

Przykład analizy Z2.2. Ochrona zabudowy zlokalizowanej przy sięgaczach od drogi głównej. Przykład ilustruje analizy klimatu akustycznego przy tworzeniu zabudowy wokół sięgacza: bez dodatkowego osłaniania zabudowy i z dodatkowym osłanianiem zabudowy mieszkaniowej w formie zabudowy komercyjnej lub/i wału ziemnego.

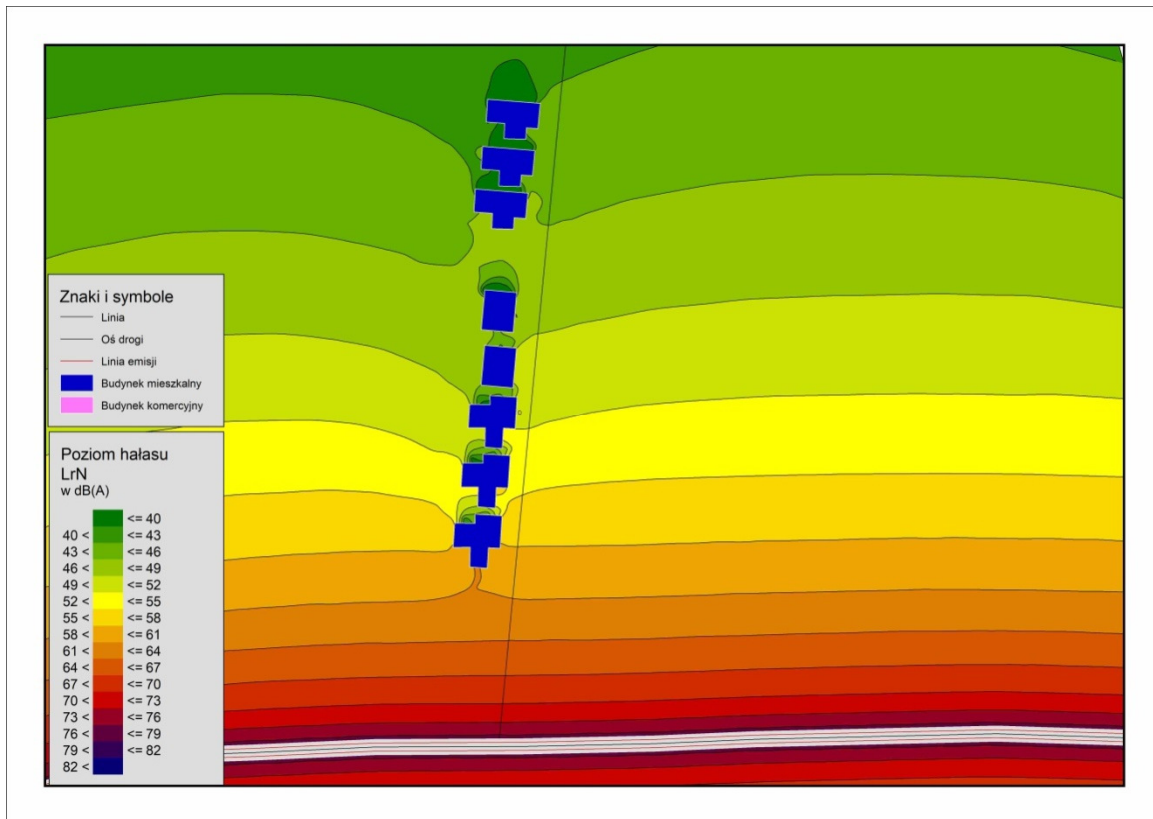
Zabudowa rozmieszczona wzdłuż sięgacza została poddana analizie dla następującego zestawu danych: natężenie ruchu 21500 poj./24h, udział pojazdów ciężkich 15%, prędkość pojazdów 50km/h.

Symulację rozprzestrzeniania hałasu przeprowadzono dla 4 przypadków rozbudowy układu sięgaczowego:

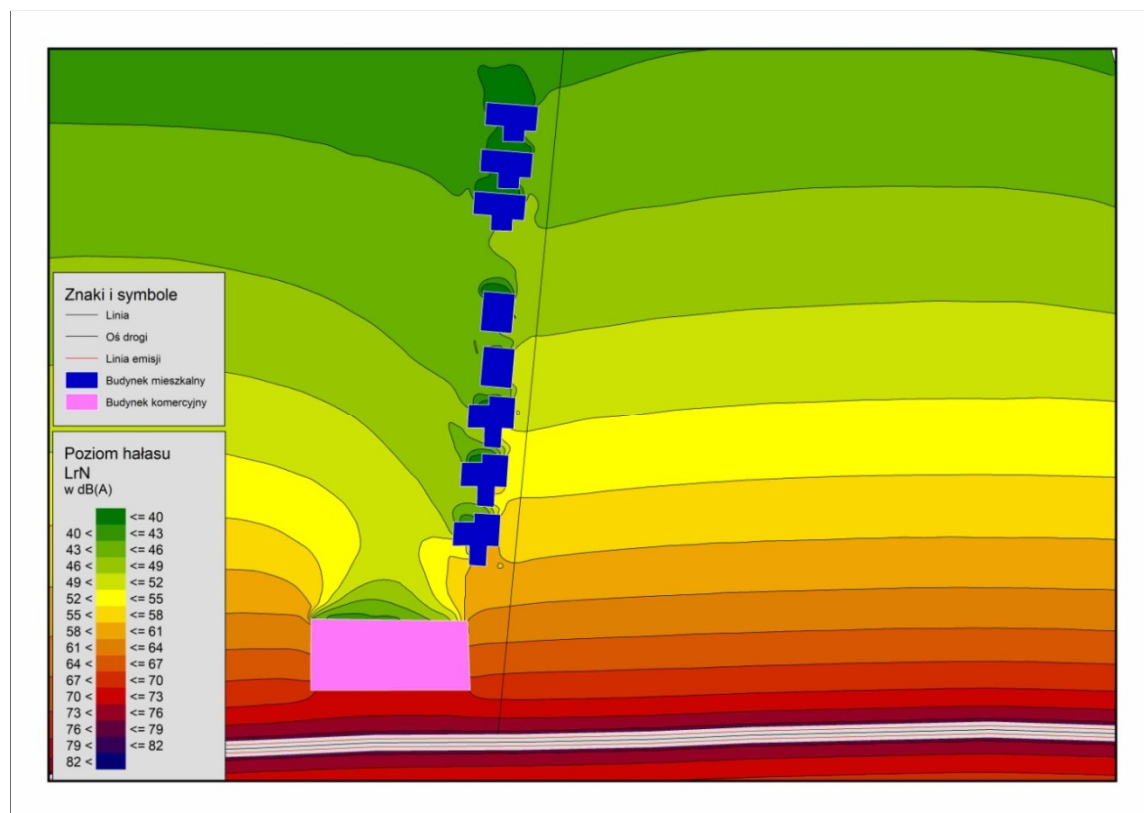
- z zabudową jednostronną,
- z zabudową jednostronną oraz ochroną akustyczną dzięki zabudowie komercyjnej,
- z zabudową jednostronną oraz ochroną akustyczną dzięki zabudowie komercyjnej oraz przy dobudowie zabudowy mieszkalnej po drugiej stronie sięgacza,
- z zabudową dwustronną oraz ochroną akustyczną dzięki zabudowie komercyjnej i wałowi ziemnemu (który można budować stopniowo).

Przedstawione obrazy – wyniki analiz mogą służyć ekspertom w ich analizach lub do konsultacji społecznych. Do analiz eksperckich można wykorzystać wskaźniki, który pokazują obraz sytuacji w obiektywny sposób.

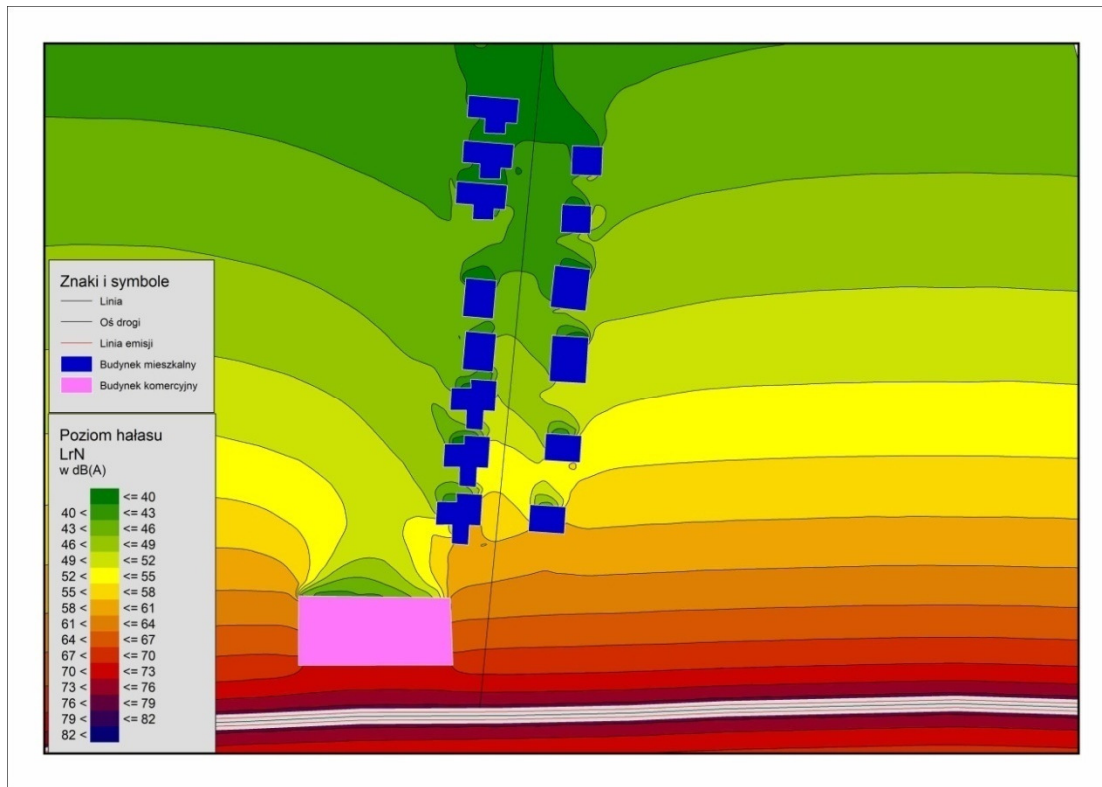
Na poniższych rysunkach zaprezentowano możliwe etapowanie rozbudowy układu sięgacza oraz wykonane zabezpieczenia akustyczne.



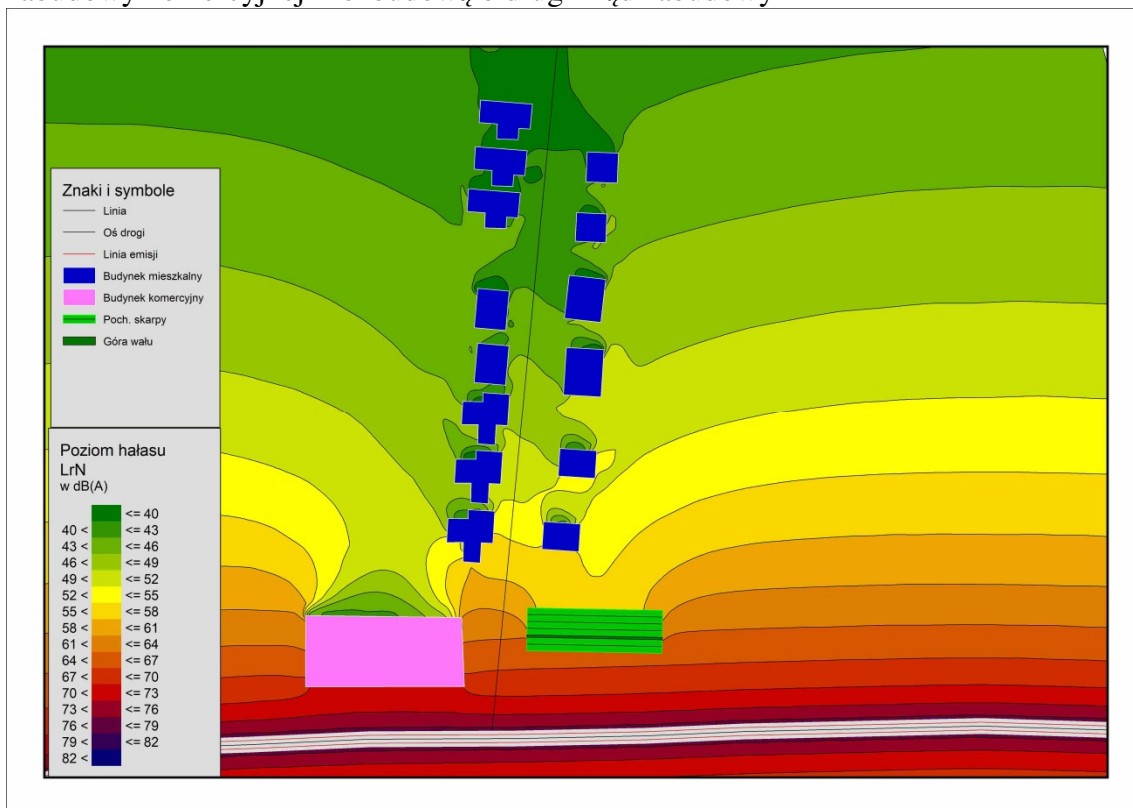
Rys. Z5. Zabudowa rozmieszczona wzdłuż sięgacza



Rys.Z6. Zabudowa rozmieszczona wzdłuż sięgacza z ochroną akustyczną w formie zabudowy komercyjnej



Rys.Z7. Zabudowa rozmieszczona wzdłuż sięgacza z ochroną akustyczną w formie zabudowy komercyjnej i rozbudową o drugi rząd zabudowy

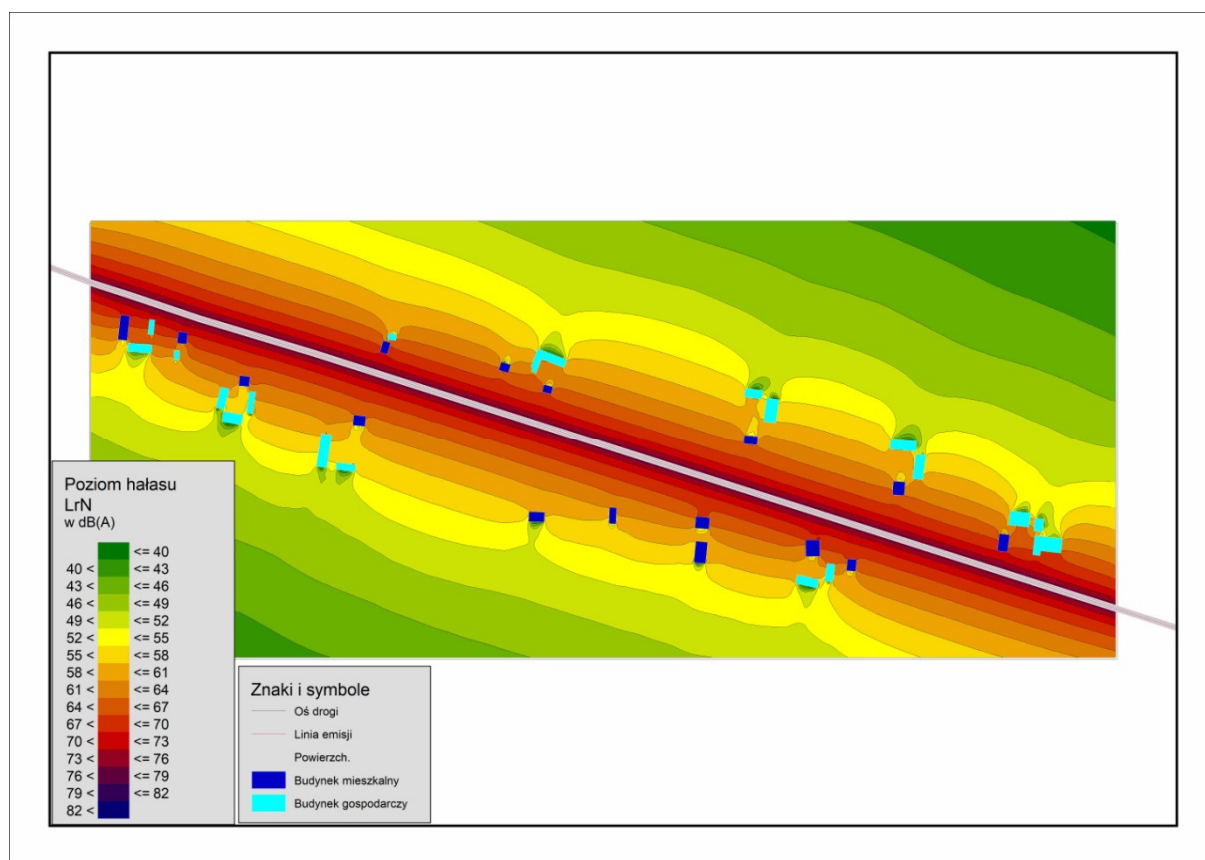


Rys.Z8. Pełna zabudowa rozmieszczona wzdłuż sięgacza z ochroną akustyczną w formie zabudowy komercyjnej i wału ziemnego

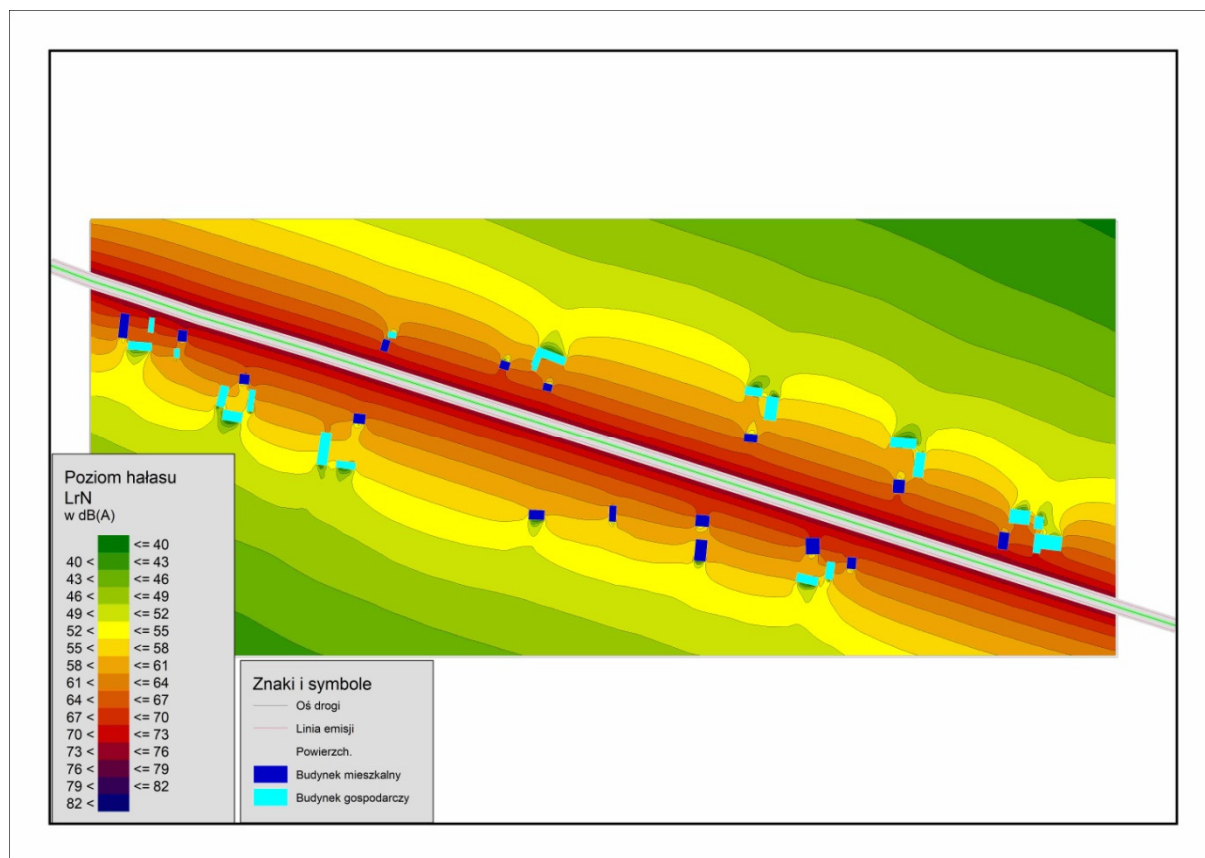
Wykonane powyżej układy rozprzestrzeniania się hałasu i dwóch wybranych form zabezpieczeń akustycznych dla układu z zabudową sięgaczową ilustrują podatność układu sięgaczowego na różne formy zabezpieczeń akustycznych. W przypadku projektowania zabudowy rozmieszczonej wzdłuż sięgacza (oraz innych układów) ważnym elementem jest zapewnienie przestrzeni pomiędzy drogą a zabudową uzależnionej od natężenia ruchu oraz jej zagospodarowania. Odległość powinna zostać dobrana zgodnie z analizami przeprowadzonymi w rozdziale 7.

Przykład analizy Z2.3. Klimat akustyczny w otoczeniu zabudowy przy istniejącej drodze w przypadku jej poszerzenia do przekroju 2x2.

Drugi przykład analiz dotyczył zabudowy rozproszonej wzdłuż drogi. Układ został poddany modyfikacji poprzez rozbudowę drogi z przekroju 1x2 (pasy o szerokości 3,5m) do przekroju 2x2 (pasy szerokości 2x3,5m oraz pas dzielący o szerokości 3m). Parametry ruchu pozostały niezmiennie tj. natężenie ruchu 21500 poj./24h, udział pojazdów ciężkich 15%, prędkość pojazdów 50km/h wyniki analizy przedstawiono na rys. Z9 i Z10.



Rys. Z.9. Zabudowa rozproszona przekrój 1x2



Rys. Z.10 Zabudowa rozproszona przekrój 2x2

Analiza powyższych rysunków skłania do wniosku, że w przypadku takiej modyfikacji otrzymane wyniki rozprzestrzeniania się hałasu nie różnią się zasadniczo. Występują małe różnice w zasięgu izolinii rzędu kilku metrów, co związane jest wyłącznie ze zmianą odległości linii emisji w przypadku zmiany przekroju drogi. W przypadku rozbudowy drogi przy takim układzie zabudowy rozproszonej wzdłuż drogi występują problemy związane z doбором zabezpieczeń akustycznych z uwzględnieniem kosztów wykonania skutecznych zabezpieczeń akustycznych zarówno w przypadku przekroju 1x2 jak i 2x2. Jednakże dobór zabezpieczeń akustycznych w przypadku niezmienności parametrów ruchu powinien być podobny z uwagi na zbliżone poziomy hałasu przy zabudowie

Przykład analizy Przykład analizy różnych środków ochrony dla zabudowy w stanie istniejącym, dla różnych natężeń ruchu – studia przypadku

Metodyka analiz

Poziom hałasu w otoczeniu drogi oceniany był poprzez zastosowanie wskaźnika poziomu równoważnego dźwięku L_{Aeq} [dB]. Ocena poziomu hałasu dotyczyła pory dnia i nocy, poziom porównywany był z wartościami dopuszczalnymi dla tych okresów, przy założeniu zagospodarowania terenu jako zabudowa jednorodzinna.

Wybór przykładu

Odcinek drogi jaki został wybrany do badań znajduje się w gminie Gnojnik w miejscowości Uszew.



Rys. Z11. Fragment mapy sytuacyjno- wysokościowej miejscowości Uszew z zaznaczonym obszarem poddanym analizie

Do niniejszej analizy wybrano odcinek o długości 2,11 km drogi krajowej DK75. Odcinek ten został dobrany ze względu na duże natężenie na nim panujące oraz występującą liczną zabudowę mieszkalną w bliskim otoczeniu drogi. Ponadto w obszarze badań nie występują środki mające na celu ochronę przed ponadnormatywnym hałasem.



Rys. Z12. Mapa drogowa z zaznaczonym obszarem gminy Gnojnik

Źródło:

<https://www.google.pl/maps/place/Gnojnik/@49.8919651,20.5553494,12z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x471620a3a6cdbc33:0xc3b5eee11b94f6b7!8m2!3d49.8988575!4d20.6262458>

Natężenia dla analizowanego odcinka pochodzą z Generalnego Pomiaru Ruchu przeprowadzonego przez GDDKiA w 2015 roku. Dane potrzebne do analizy pobrano z punktu pomiarowego nr 20915 z odcinka Brzesko- Tymowa. Dodatkowo do analizy przyjęto natężenie minimalne i maksymalne, zarejestrowane na odcinkach dróg krajowych o takim samym przekroju poprzecznym i takiej samej klasie (w celu porównania potencjalnego zagrożenia związanego z występującym ruchem na innych odcinkach o podobnej charakterystyce geometrycznej).

Tablica Z.1. Zestawienie natężenie ruchu na odcinku Brzesko- Tymowa drogi krajowej DK75 oraz natężenia minimalnego i maksymalnego zarejestrowanego na odcinkach dróg krajowych o takim samym przekroju poprzecznym i o takiej samej klasie drogi

	Przedział czasowy [h]	Natężenie ruchu q [P/h]	Udział pojazdów ciężkich [%]	Natężenie pojazdów lekkich [P/h]	Natężenie pojazdów ciężkich [P/h]
Minimalne	6-22	239	35	155	84
	22-6	48	45	26	22
DK75	6-22	600	22	468	273
	22-6	119	35	77	126

Maksymalne	6-22	1820	15	1547	132
	22-6	3660	35	234	42

Z2.4 Metoda prognozowania klimatu akustycznego

Projekt oceny wielokryterialnej ochrony akustycznej rozpoczęto od wyboru obszaru badań. Obszar do analiz klimatu akustycznego został wybrany pod kątem natężenia ruchu oraz gęstości zabudowy w bliskim sąsiedztwie drogi. Wpływ na wybór obszaru do analiz miały także prace badawcze przeprowadzone w miejscowości Uszew w latach ubiegłych. Wybrano obszar badań na odcinku drogi krajowej DK75 o długości 2,11 km w miejscowości Uszew w gminie Gnojniki. Następnie po pozyskaniu mapy sytuacyjnej został utworzony model terenu wraz z drogą i zabudową mieszkalną i niemieszkalną w programie AUTOCad Civil 3D. Utworzony model został następnie wprowadzony do programu PC ++ Soundplan 7.2., w celu prognozowania hałasu drogowego. Program ten stworzony został dla potrzeb analiz rozchodzenia się dźwięku w przestrzeni, uwzględniając powierzchnię terenu (rzeźbę, pokrycie), budynki i inne przeszkody. Następnym krokiem było zadanie parametrów analizowanej drogi. Droga zamodelowano jako jednojezdniową dwupasmową o szerokości pasa 3,25 m. Wartość prędkości dla analizowanego odcinka wynosiła 50 km/h dla przedziału czasowego 6-22 i 60 km/h dla godzin od 22-6. Wartości natężenia ruchu zostały przyjęte zgodnie z tabelą 4. Założono teren jako płaski. Natomiast budynki mieszkalne zostały zamodelowane jako dwukondygnacyjne. Wysokość każdej z kondygnacji wynosiła 2,8 m. W następnej kolejności dla stanu istniejącego utworzono sześć map siatkowych terenu, dla wszystkich trzech wariantów natężeń ruchu z dodatkowym podziałem każdego wariantu na dwa przedziały czasowe (od 6-22 i od 22-6). Wyżej omówione mapy zostały przedstawione w załączniku nr 2. Z map siatkowych zaobserwowano, że zasięg izolinii z ponadnormatywną wartością hałasu dla każdego z wariantów swoim zakresem obejmuje jedynie budynki znajdujące się w bezpośrednim sąsiedztwie z drogą. Biorąc pod uwagę powyższą obserwację założono receptory (mają na celu dokładny odczyt poziomu hałasu) na fasadach budynków znajdujących się jedynie bezpośrednio przy drodze. Odczyty dokonano na wysokości 1,5 m dla I kondygnacji oraz na wysokości 4,3 m dla II kondygnacji (wysokość I kondygnacji + 1,5 m) względem terenu. Budynków mieszkalnych będących w bezpośrednim sąsiedztwie drogi na analizowanym odcinku było 76. Następnie dokonano odczytania poziomu hałasu [dB] dla zadanych receptorów. Otrzymane wartości zostały zobrazowane na wykresach. W

dalszej części dokonano analiz ochrony akustycznej przyjmując różne środki ochrony przed ponadnormatywnym hałasem.

Podział na warianty ochrony przed hałasem:

a) Ogrodzenia (płoty akustyczne)- Wariant I

W tej części został przeanalizowany wpływ płotów akustycznych na poziom hałasu na wcześniej zdefiniowanych receptorach znajdującym się na fasadach budynków, gdzie poziom dopuszczalnego poziomu hałasu został przekroczony. W tym celu zostały zamodelowane ogrodzenia do budynków znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie z drogą zgodnie z mapą sytuacyjno- wysokościową analizowanego terenu. Założono wysokość płotów równą 2 m. W dalszej części dokonano odczytów poziomu hałasu [dB] dla wcześniej zdefiniowanych receptorów. Wyniki te zostały porównane z wynikami dla stanu istniejącego. Celem tego porównania było zobrazowanie różnicy w liczbie budynków, na których fasadach została spełniona norma dopuszczalnego poziomu dźwięku. Ponadto stworzono wykresy obrazujące poziom hałasu dla zadanych receptorów ze względu na przyjęte natężenia.

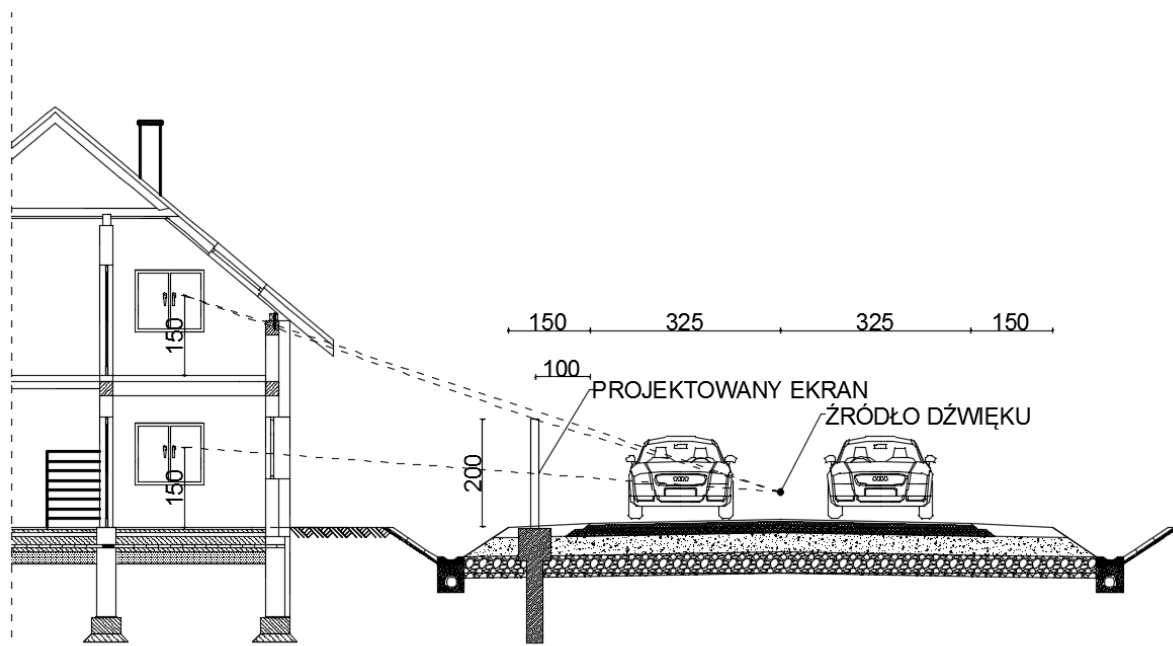
b) "Cicha" nawierzchnia- Wariant II

W tej części została przeanalizowana sytuacja akustyczna na danym obszarze, gdy jako środek ochrony przed ponadnormatywnym hałasem przyjęto zarówno płoty akustyczne jak i "cichą" nawierzchnię. Ogrodzenia akustyczne zostały uwzględnione w tym wariantcie ze względu na niski koszt ich montażu przy wysokiej efektywności (redukują hałas nawet o 25 dB). Wartość redukcji hałasu za sprawą "cichej" nawierzchni przyjęto równą 4 dB. Przyjęto taką wartość, ponieważ przedział o jaki jest w stanie obniżyć się hałas za sprawą "cichej" nawierzchni wynosi od 3 do 5 dB. Została przyjęta średnia z tego przedziału. Następnie został odczytany poziom dźwięku [dB] dla zdefiniowanych receptorów. Wyniki zostały poddane porównaniu z wynikami ze stanu istniejącego. Dokonano zestawienia przy pomocy wykresów dla otrzymanych danych.

c) Ekrany akustyczne- Wariant III

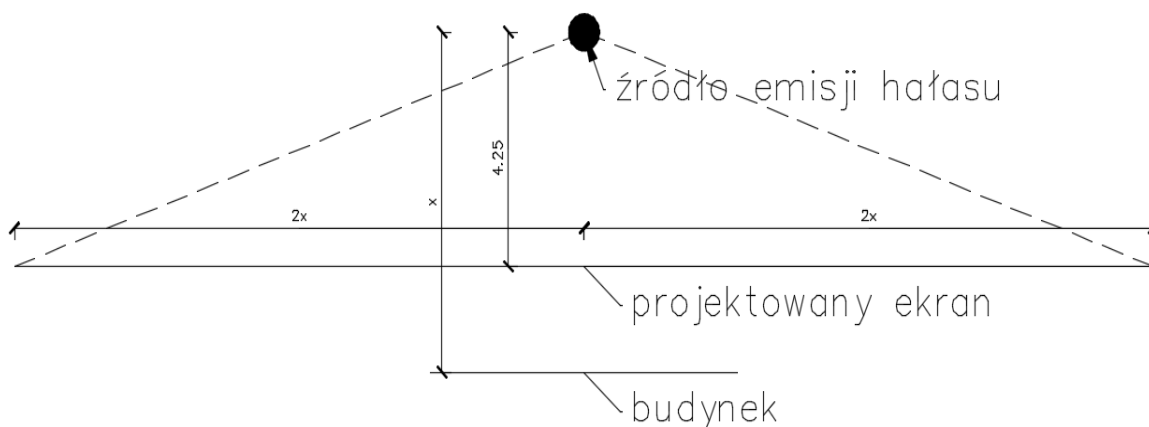
W tej części został opracowany wariant, w którym za środek akustyczny przyjęto ekrany akustyczne. Bierzemy pod uwagę w tym wariantcie również płoty akustyczne ze względu na niski koszt ich montażu przy wysokiej efektywności (redukują hałas nawet o 25 dB). W celu wyznaczenia miejsc, w których został przekroczony dopuszczalny poziom dźwięku i potrzebują ochrony przed ponadnormatywnym hałasem (po zastosowaniu płotów akustycznych) wywołano wyniki graficzne dla wariantu I. Skala wartości dźwięku została podzielona na dwie części, dzieli ona budynki na te, na których fasadach odczytano ponadnormatywną wartość

natężenia dźwięku jak i te dla których norma jest spełniona (załącznik 3). Wysokość ekranu przyjęto stałą, wynoszącą 2 m. Ekran ten zlokalizowano 1 m od krawędzi drogi.



Rys.Z13. Schemat lokalizacji ekranów akustycznych

W celu określenia długości modelowanego ekranu została zmierzona odległość od źródła emisji (przyjęto na środku jezdni), a budynkiem mieszkalnym, na którego fasadzie odczytano poziom dźwięku przekraczający normę. Długość ekranu jest czterokrotnością wyżej opisanej odległości. Ekran z jednej i drugiej strony jest w tej samej odległości względem środka budynku, który ma za zadanie chronić.



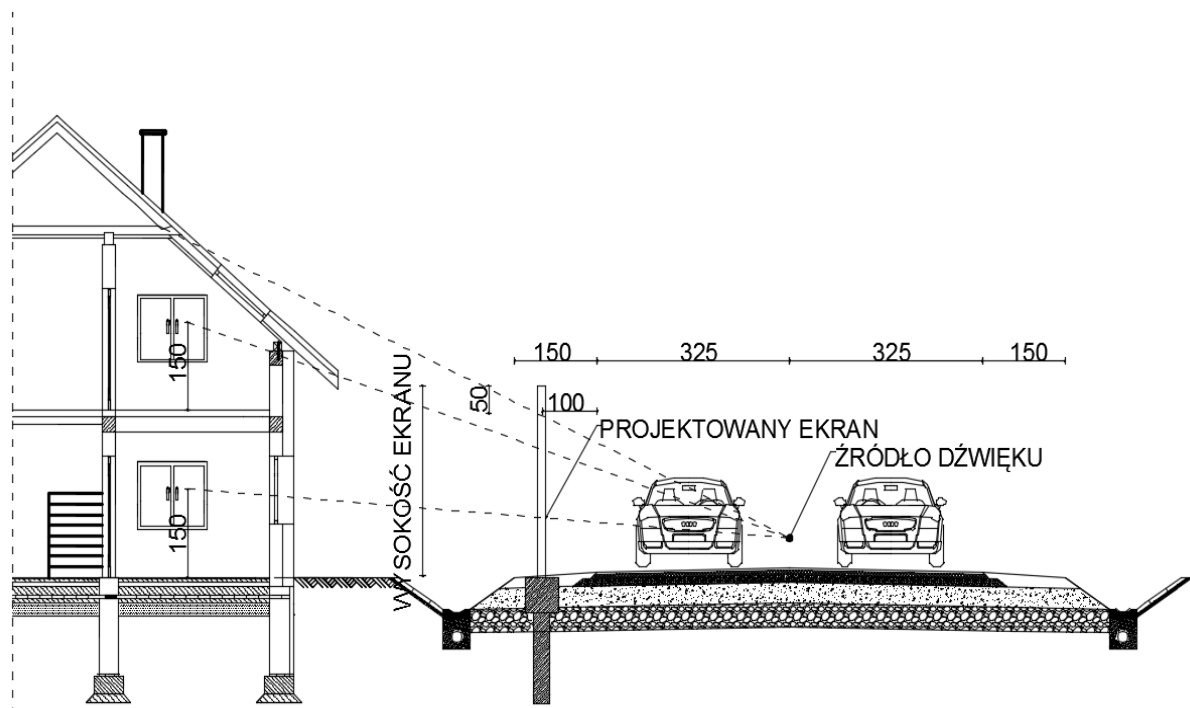
Rysunek Z14. Schemat przyjmowania długości ekranu

Gdy projektowany ekran swoim zasięgiem pokrywał się z zasięgiem innego ekranu akustycznego w miejscu przecinania się ich zasięgów ekrany zostały połączone. W dalszej części otrzymano wyniki dla zdefiniowanych receptorów oraz zobrazowano za pomocą

wykresów otrzymane wartości. Została także pokazana różnica w liczbie budynków na których została spełniona norma poziomu dźwięku. Wyniki te pokazano w formie wykresów biorąc pod uwagę również kondygnację, na której znajdował się receptor.

d) Ekran akustyczny- Wariant IV

W tej części analizy zostały przeprowadzone te same czynności co dla wariantu trzeciego. Jediną różnicą jest przyjęcie zmiennej wysokości ekranu akustycznego. Z celu określenia tej odległości zdefiniowano dokładną lokalizację, w której zostało przyjęte źródło dźwięku. Założono ją na środku jezdni (pomiędzy dwoma pasami ruchu) na wysokości 0,5 m nad poziomem jezdni. Długość i lokalizacja ekranów została przyjęta jak dla modelu z wariantu III. Obliczono także średnią odległość pomiędzy budynkami chronionymi przez dany ekran, a źródłem hałasu. Do średniej brano pod uwagę tylko budynki, których odległość od krawędzi drogi nie przekraczała 20 m, ponieważ miało na uwadze jak najlepszą ochronę budynków znajdujących się jak najbliżej drogi, a branie wszystkich odległości spowodowałoby obniżenie się wysokości ekranu na tyle duże, że nie chroniłoby one budynków znajdujących się najbliżej drogi, na których wartość poziomu hałasu jest największa. Natomiast w celu obliczenia wysokości ekranu poprowadzono linię od założonego punktu źródła dźwięku do miejsca gdzie kończy się II kondygnacji budynku. Następnie przedłużono wysokość ekranu do wyżej opisanej linii (ekran znajdował się w tym samym miejscu co dla wariantu trzeciego). Wysokość ekranu została zwiększona o 50cm od punktu przecięcia się tych dwóch prostych.

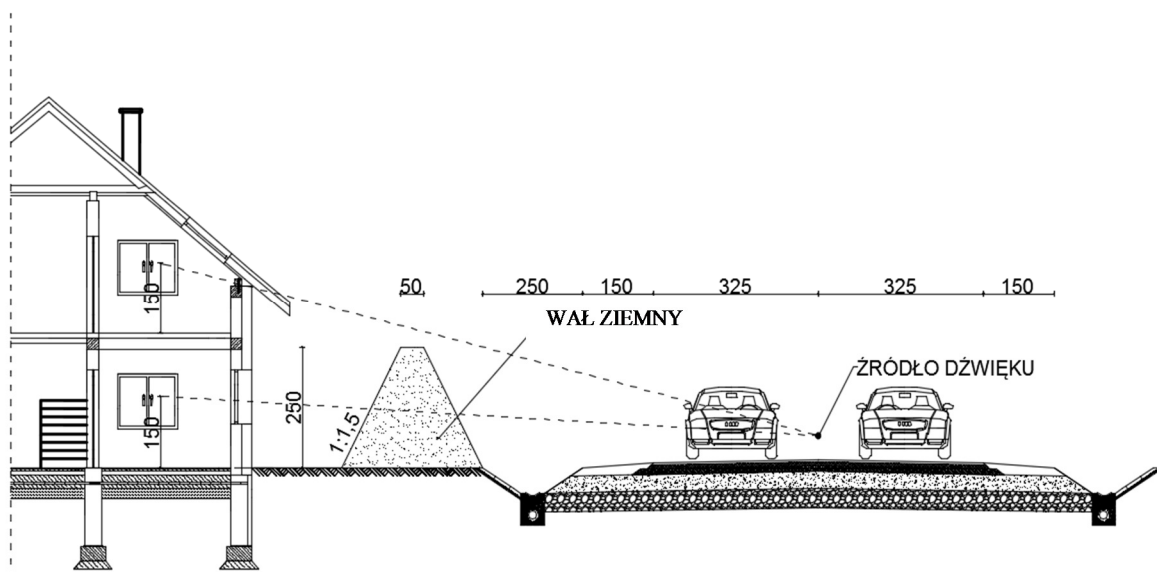


Rys. Z15. Schemat wyznaczania wysokości ekranów akustycznych

W dalszej części dokonano odczytów poziomu hałasu [dB] dla wcześniej zdefiniowanych receptorów. Wyniki te zostały porównane z wynikami dla stanu istniejącego. Celem tego porównania było zobrazowanie różnicy w liczbie budynków, na których fasadach została spełniona norma dopuszczalnego poziomu dźwięku. Ponadto stworzono wykresy obrazujące poziom hałasu dla zadanych receptorów ze względu na przyjęte natężenia.

e) Wały ziemne- Wariant V

W tej części analiz jako środek ochrony przed hałasem przyjęto wał ziemny. Ponadto zastosowano zamodelowane w wariantcie pierwszym ogrodzenia akustyczne. Ogrodzenia akustyczne zostały uwzględnione w tym wariantcie ze względu na niski koszt ich montażu przy wysokiej efektywności (redukują hałas nawet o 25 dB). Zarówno długość jak i lokalizacja wałów były takie same jak dla wariantu trzeciego i czwartego. Jedną różnicą była zapotrzebowanie w przekroju poprzecznym na postawienie tego rodzaju środka ochrony akustycznej. Wysokość wału przyjęto stałą i wynosiła ona 2,5 m, szerokość korony równa była 0,5 m a spadek skarp wynosił 1:1,5.



Rys.Z16. Schemat przekroju poprzecznego wariantu V- z użyciem wału ziemnego

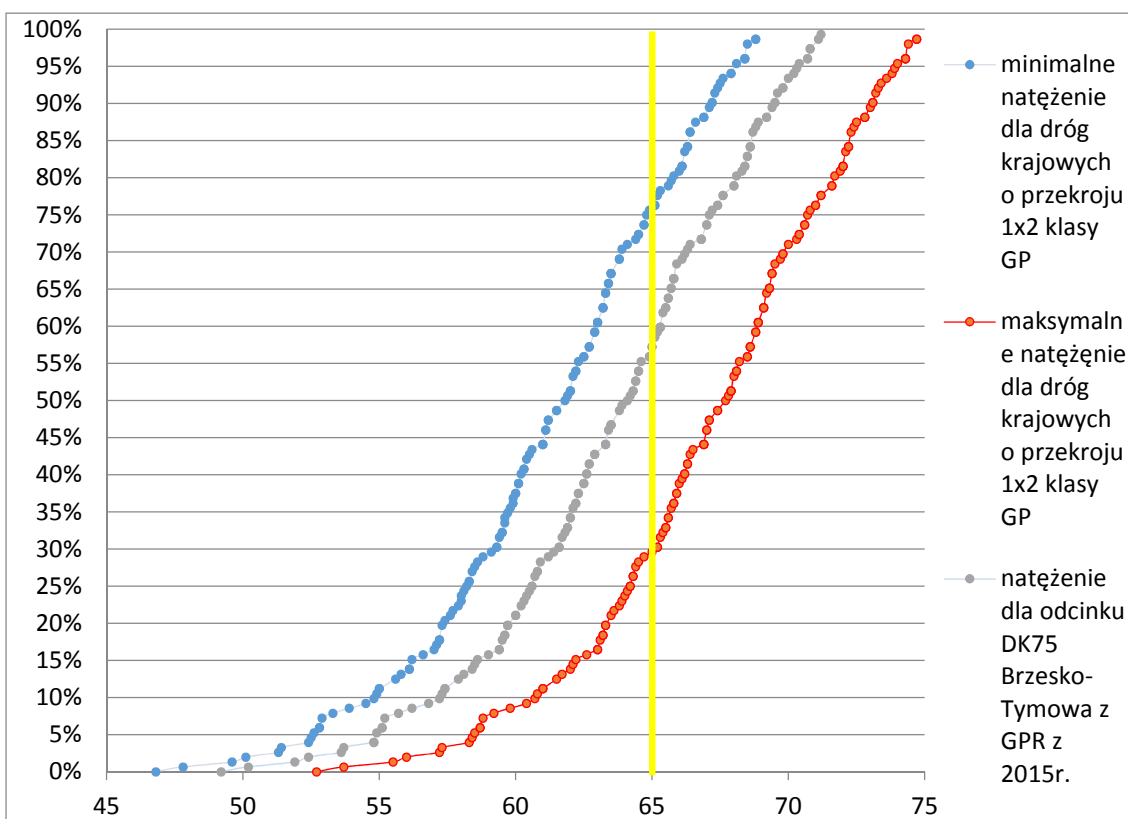
W dalszej części dokonano odczytów poziomu hałasu [dB] dla wcześniej zdefiniowanych receptorów. Wyniki te zostały porównane z wynikami dla stanu istniejącego. Celem tego porównania było zobrazowanie różnicy w liczbie budynków, na których fasadach została spełniona norma dopuszczalnego poziomu dźwięku. Ponadto stworzono wykresy obrazujące poziom hałasu dla zadanych receptorów ze względu na przyjęte natężenia.

W celu dokładniejszego pokazania zmian po zastosowaniu wyżej wymienionych środków redukcji hałasu komunikacyjnego przeanalizowano wyniki dla konkretnego budynku. Wybrano budynek znajdujący się najbliżej wybranego odcinka drogi ze względu na potencjalnie największe zagrożenie ponadnormatywnym hałasem.

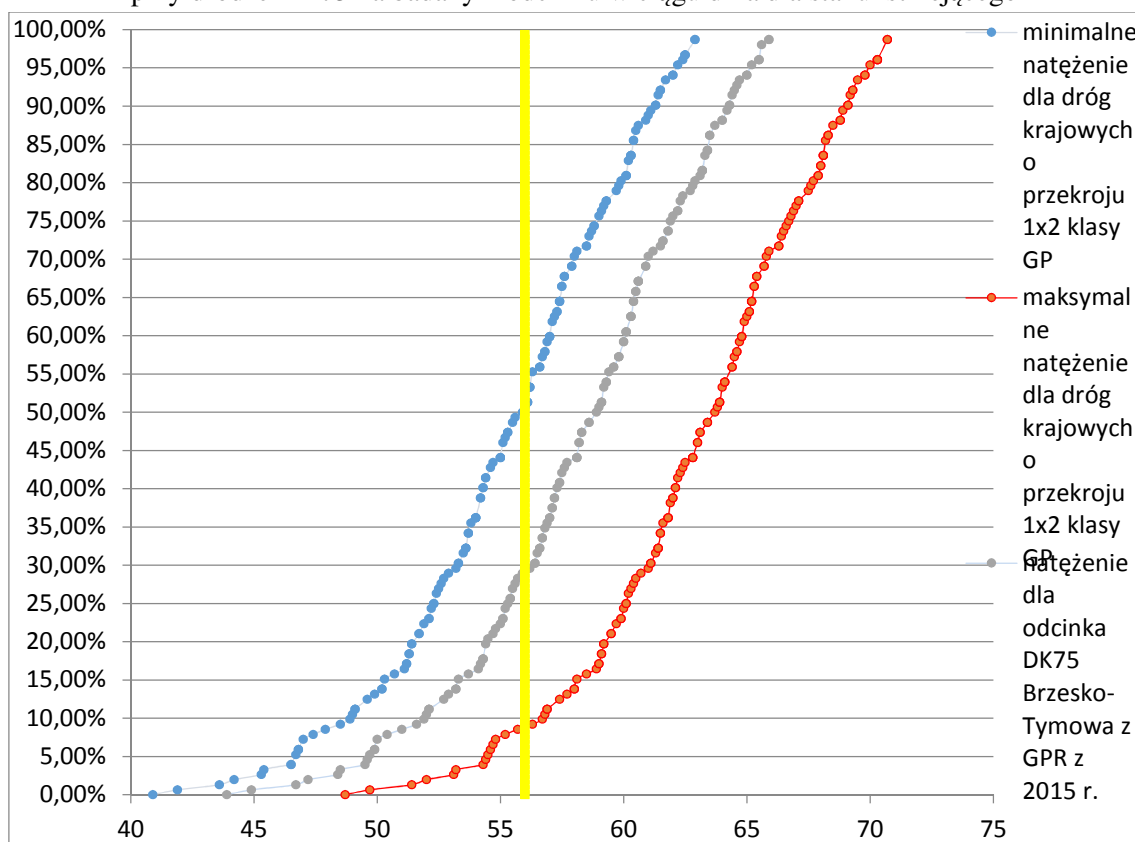
Z.2.5 Analiza stanu akustycznego badanego obszaru

Analizę stanu akustycznego badanego obszaru rozpoczęto od analizy stanu istniejącego. Wyniki pokazujące poziom dźwięku zostały pokazane na wykresach, które obrazują procentowy udział budynków na których fasadach odczytano dopuszczalną wartość poziomu dźwięku.

Wyniki analiz



Rys. Z.17. Wykres procentowego rozkładu poziomu hałasu na fasadach budynków znajdujących się przy drodze DK75 na badanym odcinku w ciągu dnia dla stanu istniejącego



Rys.Z18. Wykres procentowego rozkładu poziomu hałasu na fasadach budynków znajdujących się przy drodze DK75 na badanym odcinku w ciągu nocy

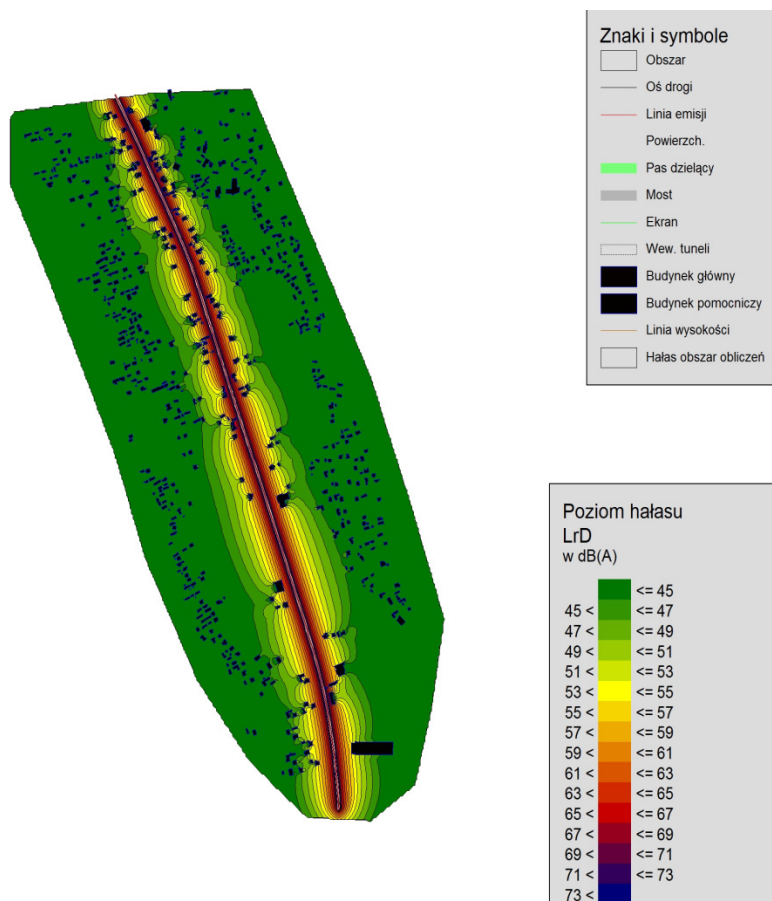
Zestawienie wyników analiz

Tabela Z.2. Liczba receptorów spełniających normę dopuszczalnego poziomu dźwięku uwzględniając wysokość lokalizacji receptorów dla stanu istniejącego

	Przedział czasowy [h]	Liczba receptorów spełniających normę dopuszczalnego poziomu dźwięku	Liczba receptorów spełniających normę dopuszczalnego poziomu dźwięku	
			I kondygnacja	II kondygnacja
Minimalne natężenie	6-22	120	76	54
	22-6	78	51	27
DK75	6-22	95	76	35
	22-6	45	33	10
Maksymalne natężenie	6-22	50	46	12
	22-6	14	12	2

Wyniki analizy pokazały klimat akustyczny panujący na analizowanym odcinku drogi krajowej DK75. Wartości hałasu pojazdów przy założonych warunkach mieszczą się w przedziałach 58,5 dB do 74,7 dB w ciągu dnia i od 40,9 do 70,7 dB w ciągu nocy. Wartość graniczna dla dnia wynosi 65 dB, a dla nocy o 9 dB mniej (56 dB). Wartości hałasu analizowane dla nocy są (22-6) są mniejsze o 4-5,9 dB w stosunku do dnia (6-22). Jest to spowodowane mniejszym natężeniem ruchu. Różnice są na tyle małe pomiędzy natężeniem dźwięku podczas dnia i nocy, ponieważ odsetek pojazdów ciężkich (generują większy hałas) w ciągu nocy jest większy niż w ciągu dnia. Większa liczba receptorów dla których odczytano wartość poziomu dźwięku spełniającą normę znajdowała się na I kondygnacji budynków. W dalszych analizach testowano różne warianty ochrony akustycznej tj. płoty akustyczne, "ciche" nawierzchnie, ekrany akustyczne, czy wały ziemne.

Dla każdego wariantu wykonano mapy hałasu (przykładowa mapa na rys.Z19).



Rys. Z19. Przykładowa mapa hałasu dla minimalnych natężeń ruchu analizowanego na odcinkach dróg krajowych o takim samym przekroju poprzecznym i tej samej klasy co analizowany odcinek w przedziale czasowym od 6 do 22 dla stanu istniejącego z uwzględnieniem ogrodzeń

Analizy zostały przeprowadzone dla pięciu różnych wariantów środków ochrony przed hałasem. Warianty ochrony akustycznej różniły się efektywnością, konstrukcją, materiałem potrzebnym do ich wykonania, stopniem skomplikowania wykonania jak i zapotrzebowaniem w przekroju poprzecznym niezbędnym do ich montażu. Wyniki analiz zestawiono w jednej tabeli.Z3.

Tabela Z3. Zestawienie ilości budynków, na których fasadach pomiar poziom hałasu nie przekroczył normy

Natężenie	Przebieg czasowy [h]	Liczba receptorów spełniających normę dopuszczalnego poziomu dźwięku					Liczba receptorów spełniających normę dopuszczalnego poziomu dźwięku (I kondygnacja)					Liczba receptorów spełniających normę dopuszczalnego poziomu dźwięku (II kondygnacja)				
		W I	W II	W III	W IV	W V	W I	W II	W III	W IV	W V	W I	W II	W III	W IV	W V
Minimalne	6-22	140	152	152	152	145	Dla stanu istniejącego nie ma budynków z przekroczoną normą					64	76	74	76	69
	22-6	128	141	143	144	137	76	76	76	76	76	52	65	67	68	61
DK75	6-22	128	140	146	149	140	Dla stanu istniejącego nie ma budynków z przekroczoną normą					52	64	70	73	64
	22-6	99	128	108	136	133	76	76	76	76	76	23	52	32	60	57
Maksymalne	6-22	103	128	139	136	133	76	76	76	76	76	27	52	63	60	57
	22-6	59	95	118	107	107	55	76	75	75	75	4	19	43	32	32

Analiza przypadku pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- rodzaj środka ochrony akustycznej zasadniczo wpływa na poziom hałasu u odbiorcy
- odległość umiejscowienia środka ochrony przed ponadnormatywnym hałasem wpływa na jego wartości w miejscu odbioru
- łączenie środków ochronnych wpływa korzystnie na jego redukcję
- łatwiej jest chronić pierwszą kondygnację budynków niż pozostałe
- trudniej jest zapewnić ochronę akustyczną w godzinach od 22- 6

Wyniki dla budynku leżącego najbliżej drogi

W tej części wybrano budynek najbliżej drogi, ponieważ jest on najbardziej narażony na szkodliwe działanie hałasu drogowego. Ponadto dzięki pokazaniu dokładnych wartości poziomu hałasu dla konkretnego receptora można dokładniej zobrazować efektywność założonych wariantów.

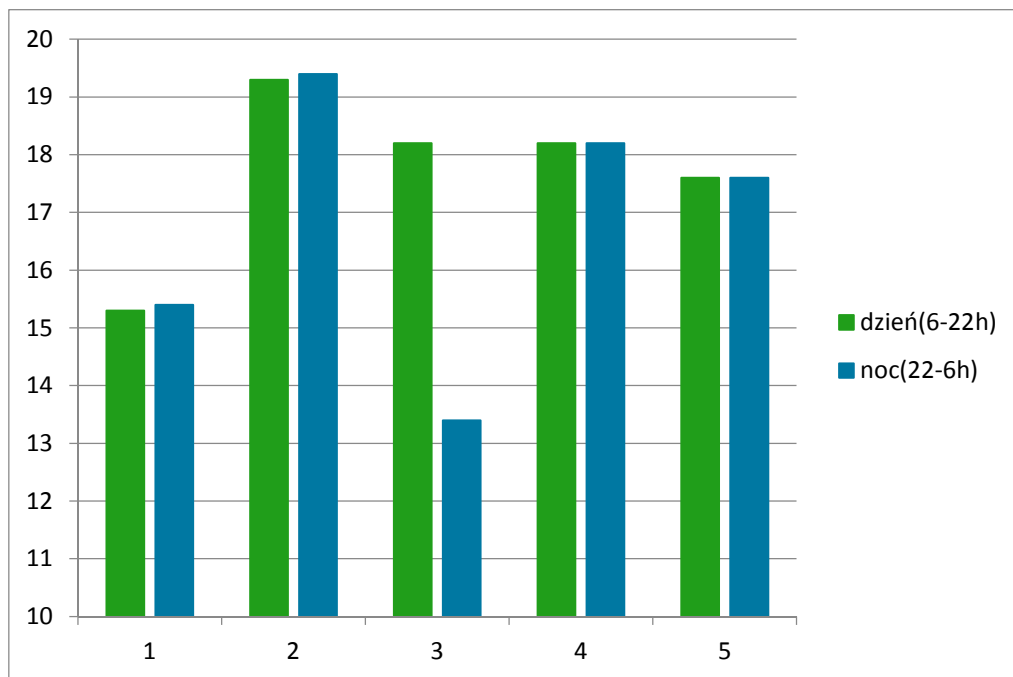
Z.2.6 Zestawienie wyników pomiaru hałasu dla receptorów umieszczonych na konkretnym budynku

- Tabela Z.4. Zestawienie wartości poziomu hałasu dla wybranego budynku

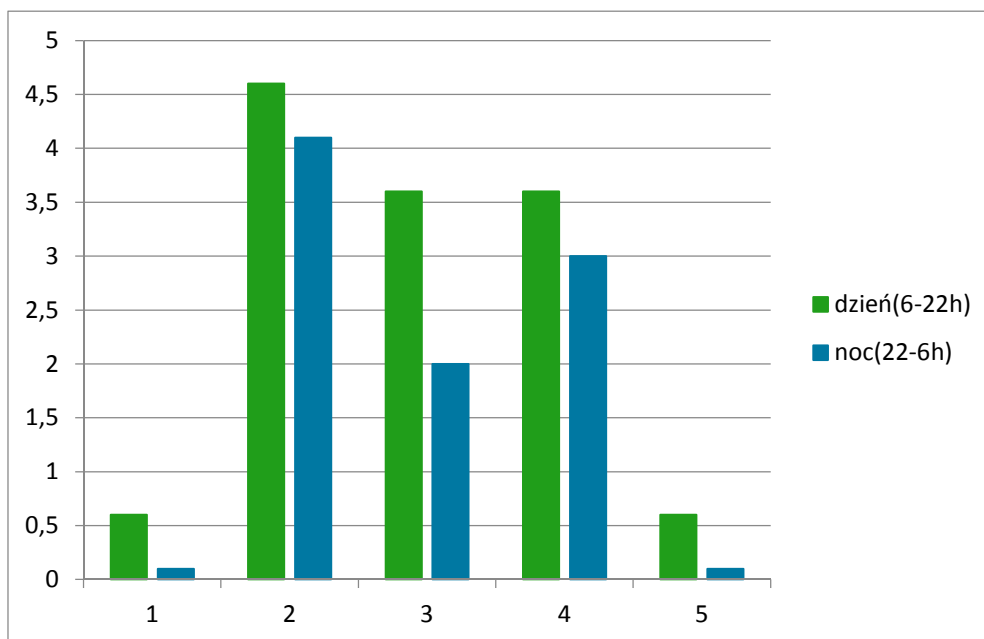
	Natężenie	Minimalne		DK75		Maksymalne	
	Przedział czasowy [h]	6-22	22-6	6-22	22-6	6-22	22-6
Stan istniejący	Kondygnacja I	68,4	62,5	70,7	65,5	74,3	70,3
	Kondygnacja II	68,8	62,9	71,2	65,9	74,7	70,7
W I	Kondygnacja I	51,4	76,1	55,4	50,1	59,0	54,9
	Kondygnacja II	67,1	61,8	71,1	65,8	74,7	70,6
W II	Kondygnacja I	47,4	42,1	51,4	46,1	55,0	50,9
	Kondygnacja II	63,1	57,8	67,1	61,8	70,7	66,6
W III	Kondygnacja I	50,2	44,2	52,5	52,1	56,1	51,6
	Kondygnacja II	65,8	59,9	68,1	63,9	71,7	67,1
W IV	Kondygnacja I	49,6	44,2	52,5	47,3	56,0	51,5
	Kondygnacja II	62,9	59,9	68,1	62,9	71,1	66,3
W V	Kondygnacja I	50,8	44,8	53,1	47,9	56,7	52,6
	Kondygnacja II	68,7	62,8	71,1	65,8	74,7	70,6

Zestawienie różnic w wartości poziomu dźwięku [dB] o jaki dany wariant zmniejszył poziom hałasu

Na wykresach przedstawiono wartości o jaką zmniejszył się poziom dźwięku dzięki zastosowaniu różnych środków ochrony przed hałasem.



- Wykres Z.20. Różnica wartości redukcji dźwięku po zastosowaniu środków ochrony dla każdego z analizowanych wariantów dla I kondygnacji



- Wykres Z.21. Różnica wartości redukcji dźwięku po zastosowaniu środków ochrony dla każdego z analizowanych wariantów dla II kondygnacji

Z.3. Metoda oceny kompozycji i estetyki środków ochrony przed hałasem

Najpopularniejszym stosowanym środkiem redukcji hałasu jest obecnie ekran akustyczny. Ekran akustyczny jest środkiem sztucznym i nie jest rozwiązaniem idealnym ze względu na ingerencje w krajobraz oglądany zarówno od strony drogi przez kierowców i pasażerów, jak i przez mieszkańców. Kierowcy i pasażerowie pojazdów widzą dany ekran akustyczny tylko przez krótki okres przejazdu wzdłuż niego, ale kiedy ekranowanie obejmuje dłuższy odcinek drogi jazda staje się monotonna i uciążliwa dla kierowców, a estetyka ekranu szczególnie ważna.

Ocena ekranów jest szczególnie ważna przede wszystkim dla mieszkańców odgrodzonych od drogi, często betonowymi lub innymi nieprzeźroczystymi ekranami o wysokości sięgającej niekiedy nawet 5-6 m. Są oni zmuszeni do stałego oglądania tych sztucznych przegród, ograniczających widoki i powodujących uczucie odcięcia. Dotychczas praktyka wskazuje, że nierzadko mieszkańcy są niezadowoleni z ekranów; z ich obecności, z konstrukcji, kolorystyki i braku ich maskowania.

Przed realizacją projektu mieszkańcy na ogół nie mają świadomości zmian w otoczeniu ich budynku i widoków z okien o wyglądzie ekranu po jego zbudowaniu.

Projektant w trakcie planowania przebudowy, rozbudowy albo budowy nowego odcinka drogi, skrzyżowania lub węzła oprócz spełnienia wymogów przepisów technicznych musi uwzględnić także zalecenia wynikające z przeprowadzonej procedury oceny oddziaływania na środowisko (jeżeli procedura taka była wymagana dla przedsięwzięcia), uwzględniającej w szczególności ustalenia raportu OOS (raport o oddziaływaniu na środowisko) oraz udział społeczeństwa w podejmowaniu decyzji administracyjnej. Problematykę tą reguluje głównie ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz ocenach oddziaływania na środowisko, która zobowiązuje organ administracji prowadzący ocenę oddziaływania na środowisko do umożliwienia zapoznania się przez strony postępowania oraz ogół społeczeństwa z niezbędnymi materiałami, w szczególności z raportem oos.

Zarówno organ, jak i inwestor mogą także zapoznawać społeczeństwo z oddziaływaniami akustycznymi drogi i projektowanymi zabezpieczeniami przed hałasem w formie otwartej rozprawy administracyjnej lub spotkań informacyjnych. Stąd od zespołu projektowego oczekuje się umiejętności przygotowania materiałów do konsultacji społecznych.”

Wiąże się to z koniecznością uwzględnienia w projektowaniu także aspektów estetycznych rozwiązania. Projekt, który będzie spełniał uwarunkowania techniczne,

ekonomiczne i środowiskowe powinien być także analizowany pod względem estetyki, co powoduje konieczność użycia odpowiednich metod i narzędzi prezentacji oraz oceny estetyki.

Wyniki prowadzonych badań potwierdzają wzrost zainteresowania poprawą estetyki w drogownictwie. Stąd też ważne stają się możliwości oceny rozwiązania jeszcze przed jego realizacją, dzięki wykorzystaniu technik prezentacji wizualnej.

Z.3.1. Wizualizacja ekranów akustycznych na etapie ich projektowania

Najbardziej wiarygodnym sposobem przedstawiania w formie zdjęć wyglądu projektowanych obiektów, w tym przypadku drogowych, jest fotomontaż zwany inaczej wizualizacją statyczną. Przeprowadzone badania [3] potwierdzają tezę, że opinie wypracowane na podstawie fotomontażu nie zmieniają się po realizacji przedmiotu wizualizacji lub zmieniają się w sposób mało istotny. Współczesne narzędzia wizualizacji, zwłaszcza związane z możliwością użycia technik komputerowych sprawiają, że opracowanie obrazu przed zrealizowaniem inwestycji drogowej jest łatwiejsze i w praktyce może być dostępne dla większości projektantów. Problemem jest znajomość podstawowych zasad rządzących estetyką, zasad tworzenia obrazów perspektywicznych i obrazu graficznego, a także odpowiednich narzędzi i technik. Poznanie tych zagadnień umożliwia dokonanie oceny estetycznej projektowanych rozwiązań jeszcze przed ich zrealizowaniem. Najkorzystniejsze jest zastosowanie foto-symulacji komputerowej. Obrazy wykonane techniką fotomontażu oraz dyskusje nad przyszłym rozwiązaniem w ramach konsultacji społecznych umożliwiają wprowadzenie do projektu różnych zmian.

Do zrealizowania foto-symulacji niezbędne jest uzyskanie lub wykonanie odpowiednich zdjęć. Po wprowadzeniu zdjęć do komputera przystępuje się do ich obróbki statycznej.

Podczas całego procesu wykonywania fotomontażu należy zwracać uwagę na potencjalne błędy, które mogą zmniejszyć efekt pracy. Należy zwracać uwagę na optymalne przygotowanie zdjęć; unikać ich wykonywania przy dużym nasłonecznieniu lub z cieniami, wykonywać zdjęcia w nietypowej perspektywie itp.).

Z.3.2. Przykłady zastosowań

Należy pamiętać, że ocena pod względem estetycznym może dotyczyć obrazów oglądanych zarówno z drogi, jak również z jej otoczenia, np. z drzwi lub okien domu mieszkalnego, z ogrodu, z parku itp. W dotychczasowych ocenach estetycznych na ogół analizuje się estetykę rozwiązań widzianych przez użytkowników drogi, głównie kierowców. Dlatego istotną sprawą

jest to, aby umożliwić ocenę rozwiązań drogowych takich jak ekrany akustyczne nie tylko w nawiązaniu do widoku z drogi, odbieranego przez kierowców i pasażerów przez bardzo krótki okres przejazdu wzdłuż ekranu, ale także a może przede wszystkim mieszkańcom, którzy spędzają większość czasu "za" ekranem. Powinni oni mieć możliwość wypowiedzenia się na temat:

- typu ekranu (oczywiście poza rozwiązaniami zmieniającymi efektywność ekranowania),
- kolorystyki ekranu,
- materiału z jakiego będzie wykonany ekran,
- zastosowania monolitycznej jednorodnej formy nieprzezroczystej, przezroczystej lub ekranu z przezroczystymi oknami,
- kompozycji ekranu z krajobrazem,
- maskowania ekranu jako elementu sztucznego dla krajobrazu przez zielen pod różną postacią lub ewentualnie nad innym środkiem aktywnej ochrony np. wałem ziemnym.

Różne warianty projektu ekranowania widzianego z drogi (pozycja kierowców) i z budynku przedstawiają przykłady przedstawione na fot. 1 -10.. Dwie pierwsze fotografie (fot.1 i fot.2) przedstawiają budynek przewidziany do ekranowania zlokalizowany przy ruchliwej drodze w stanie istniejącym. Fotografia pierwsza (fot.1) i wszystkie nieparzyste (fot.3, fot.5, fot.7 i fot.9) przedstawiają widoki na budynek od strony drogi, zaś fotografia druga (fot.2) i wszystkie fotografie parzyste (fot.4, fot.6, fot.8 i fot.10) przedstawiają widoki od strony budynku w kierunku drogi.

Wariant I (fot.3 i 4) przedstawia projekt z zastosowaniem na całej długości ekranu przezroczystego, najbardziej przyjaznego dla mieszkańców ze względu na minimalizację oddziaływania na krajobraz oglądany z domu lub ogrodu przed domem. Wariant II (fot. 4 i 5) to rozwiązanie z częścią górną przezroczystą, a dolną wykonaną z materiału nie przezroczystego. Jest to próba połączenia konstrukcji z różnych materiałów w celu optymalizacji oddziaływań wizualnych oraz kompozycji z terenem.

Kolejny wariant III (fot. 7 i 8) przedstawia projekt z ekranem betonowym, od strony drogi z okładziną poprawiającą efektywność ekranu, natomiast od strony budynku taki ekran nie jest nieprzyjemny, a betonowy mur wyraźnie kontrastuje z zielenią i wizualnie odcina budynek od drogi. Ostatni wariant IV (fot.9 i 10) przedstawia ekranu tworzący zieloną ścianą,

która dobrze komponuje się z zielenią przydrożną, a dodatkowe urozmaicenie zapewniają prostokątne elementy przezroczyste.

Oczywiście każdy z wariantów może zostać poszerzony o pod-warianty, dla umożliwienia wyboru koloru dla każdej ze stron ekranu (od drogi czy od strony budynku) oraz miejsca elementów przezroczystych. Przedmiotem fotomontażu może być również projekt maskowania ekranu zielenią. Dotyczy to zwłaszcza wariantów z nieprzezroczystym ekranem. Ukrycie elementu sztucznego za ścianą z zieleni poprawia odbiór przegrody widokowej.

Tak przygotowane przykładowe warianty projektowanego rozwiązania stanowią dobry materiał do przeprowadzenia konsultacji społecznych, nie tylko informujących o inwestycji ale przede wszystkich wypracowujących optymalne, czasami kompromisowe rozwiązanie.



Fot.1. Budynek w stanie istniejącym
widok od strony drogi



Fot.2. Widok od strony budynku w kierunku -
drogi- stan istniejący



Fot.3. Wariant I - widok z drogi
- ekran przezroczysty



Fot.4. Wariant I - widok na drogę
- ekran przezroczysty



Fot.5. Wariant II - widok z drogi
- ekran przezroczysty w górnej części



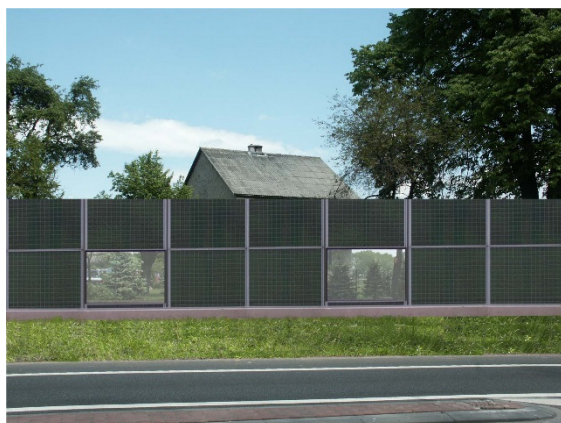
Fot.6. Wariant II - widok na drogę
- ekran przezroczysty w górnej części



Fot.7. Wariant III - widok z drogi
- ekran betonowy



Fot.8. Wariant III - widok na drogę
- ekran betonowy



Fot.9. Wariant IV - widok z drogi
- ekran typu zielona ściana z elementami
przezroczystymi



Fot.10. Wariant IV - widok na drogę
- ekran typu zielona ściana z elementami
przezroczystymi

Należy zwrócić uwagę na to, że fotomontaż, czyli obróbka statyczna obrazów graficznych może służyć jako metoda oceny oddziaływań projektowanych zmian na krajobraz. Dzięki

zastosowaniu tej metody można poznać opinie osób co do zakresu odbioru nowego widoku z okna, z podwórka, czy wyglądu obiektów inżynierskich, kompozycji obiektu z otoczeniem, lokalnych upodobań dotyczących kolorów, faktury, rodzaju materiałów itp. Przytoczone przykłady pokazują możliwości zastosowania fotomontażu.

Niewątpliwie estetyka jest nieodłącznym elementem każdego dzieła inżynierskiego niezależnie od tego, czy uwzględnia się ją w projektowaniu. Podczas projektowania i realizacji należy brać pod uwagę odbiór efektu końcowego przez użytkowników i otoczenie Drogi, a także to czy rozwiązania można modyfikować w przyszłość (np. kolorystyka, elementy małej architektury).

W ostatnich latach w Polsce wybudowanych zostało dużo ekranów akustycznych wzdłuż ruchliwych ulic i dróg. Projektowanie tych obiektów powinno się wspomagać studiami nad estetyką rozwiązania. Do wyboru jest szeroki wachlarz materiałów, z których wykonywane są ekrany, tak więc można dobrać kolor i rodzaj w zależności od miejsca, w którym on powstanie. Bardzo dobrą ilustracją do tych rozważań będą obrazy wariantów z różnymi typami ekranu wkomponowane w obraz stanu istniejącego. Oprócz doboru koloru można również manipulować kształtem i materiałem do wykonania ekranu.

Proces projektowania urządzeń ochrony przeciwhałasowej powinien obejmować także analizę elementów projektu pod względem estetycznym oraz konsultacją proponowanego rozwiązania (lepiej jego wariantów) ze społeczeństwem. Projektant po obliczeniach akustycznych efektywności tłumienia hałasu i wyborze rozwiązań konstrukcyjnych powinien oceniać stopień wkomponowania ekranu w otoczenie, jego estetykę w tym wielkość wzorów (zależna od prędkości) i pozostawianie okien, jego maskowanie zielenią z dwóch stron, a następnie skonsultować swój projekt z mieszkańcami. W procesie projektowania optymalnym sposobem przedstawiania inwestycji dla osób nie związanych ze środowiskiem projektowym jest fotomontaż. Należy także pamiętać o różnych kryterium oceny odbieranej inwestycji, tzn. o ocenie mieszkańców po jednej stronie ekranu, jak również użytkowników drogi z drugiej strony, a także o kompozycji obiektu z krajobrazem widzianym z dalszej perspektywy.

Wizualizacja rozwiązań drogowych pomaga osobom zainteresowanym inwestycją, a nie związanych ze środowiskiem technicznym, lepiej przybliżyć specyfikę przedsięwzięcia niż rysunki techniczne. Techniki fotomontażu poza formą dają również wyobrażenie o kolorystyce, teksturze i odbiorze innych aspektów estetycznych.

Z4. Metoda AHP jako narzędzie matematyczne do ocen wariantowej ochrony przed hałasem

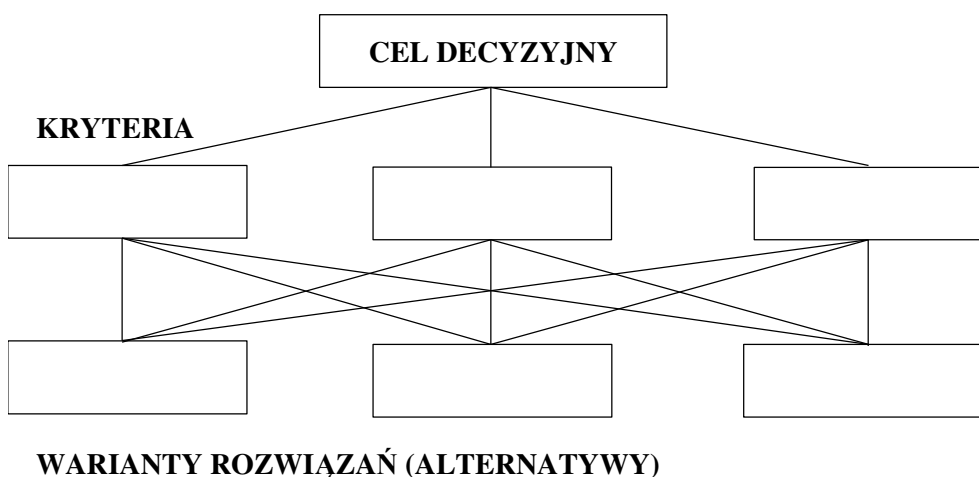
Z4.1 Metoda AHP w ocenie wariantowej rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym

Pomimo coraz lepszej wiedzy związanej z rozwiązaniami drogowymi i środkami zabezpieczającymi przed hałasem drogowym, nadal problemem jest ich właściwy dobór oraz decyzje uwzględniające wiele kryteriów, jakie powinny im towarzyszyć [1]. Stosowanie najpowszechniejszego do tej pory środka zabezpieczającego przed hałasem drogowym, jakim jest ekran akustyczny - również choć w ograniczonym zakresie, na drogach krajowych GP (w tym na obwodnicach) - a zwłaszcza na drogach S i A stało się znaczącym problemem ze względu na koszty, problemy estetyczne oraz problemy społeczne i bezpieczeństwo ruchu drogowego, a także na utrzymanie w kolejnych latach eksploatacji. Powodem tych problemów jest brak jednoznacznych procedur wyboru rozwiązań, a głównie braku stosowania różnorodnych kryteriów, jakie należy uwzględnić w procesie podejmowania decyzji. Decyzja ta musi uwzględniać, w zależności od przypadku, w różnym stopniu, uwarunkowania ekologiczne, społeczne, a także ekonomiczne [1] i zagospodarowanie przestrzenne. Poprzednio opisane metody oceny dotyczyły generalnie dróg klasy GP i G, a szczególnie odcinkowej ochrony otoczenia drogi z zabudową taką, jaką się spotyka na wylotach z miast oraz przy przejściach przez małe miejscowości i wioski.

Proponowana metodyka oceny wariantowej rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym, modelowania decyzji, przyjęcia kryteriów oceny została wprowadzona na podstawie [1]. W niniejszym powtórzono szereg zapisów za [1], a pominięto szczegóły i elementy związane z analizami wpływu hałasu na zdrowie ludzi oraz szacowanie kosztów hałasu. W poniższym opisie nie wprowadzono przykładu obliczeniowego ze względu na ograniczony zakres wskaźników opisywanych w tym zadaniu.

Metoda AHP została zaproponowana przez amerykańskiego matematyka Thomasa L. Saaty w latach siedemdziesiątych XX wieku [6, 7]. W metodzie tej każdy hierarchiczny model decyzyjny ma określony cel, kryteria, które są oceniane pod kątem ich znaczenia dla celu oraz wariantu rozwiązania (alternatywy). Oceniane są one również pod kątem ich preferencji w odniesieniu do każdego kryterium. Ogólny schemat trypoziomowego modelu AHP przedstawiono na rys. z.4.1.

Jednym z ważniejszych działań w metodzie AHP jest przygotowanie struktury modelu decyzyjnego, który musi zachowywać odpowiednią hierarchię poszczególnych elementów. Prawidłowo przygotowana struktura hierarchiczna umożliwia uporządkowanie podobnych (jednorodnych) elementów w grupy (cel decyzyjny, kryteria i podkryteria, warianty rozwiązań). Taka strukturalna budowa modelu umożliwia wykonanie analiz uwzględniających wszystkie zagadnienia dotyczące podejmowanej decyzji zwłaszcza w zakresie wyboru wariantów chroniących przed hałasem drogowym.



Rys. Z.4.1. Hierarchiczny model decyzyjny AHP – schemat ogólny

Po zbudowaniu modelu decyzyjnego wszystkie kryteria podlegają porównaniu parami. Jeżeli struktura modelu składa się z kryteriów i podkryteriów to początkowo porównywane są (oceniane) parami kryteria pomiędzy sobą względem celu decyzyjnego, podkryteria z danej grupy względem kryteriów a warianty rozwiązań względem wszystkich podkryteriów. W trakcie porównania używana jest dziewięciostopniowa skala porównawcza. Porównania kryteriów i subkryteriów są jedną z bardziej pracochłonnych prac w analizie AHP i wymagają bardzo rzetelnego oraz obiektywnego (zwłaszcza do informacji jakościowych) podejścia. Etap ten w metodzie AHP powoduje najwięcej problemów związanych z niezgodnością ocen podczas porównań parami kryteriów i subkryteriów. Bardzo często angażuje się do tego grupy ekspertów, którzy powinni mieć wysoki poziom merytoryczny (wiedza i doświadczenie) oraz zachować obiektywne podejście do oceny.

W kolejnym etapie obliczane są wartości współczynników wagowych (wagi, priorytety) dla poszczególnych kryteriów, podkryteriów (jeśli występują) oraz wariantów. Wyniki

porównań wprowadzane są do macierzy porównań. W dalszych analizach wykorzystywany jest rachunek macierzowy lub inne uproszczone metody, które niewiele mniej dokładne dają jednak wystarczające wyniki oraz przyspieszenie obliczeń. Po obliczeniu współczynników wagowych wykonuje się dla każdej macierzy porównań analizę jakości, dzięki której możliwa jest ocena zgodności a przez to rzetelności wykonanych porównań. Ocenę tą wykonuje się na podstawie analizy współczynnika zgodności CR (*ang. consistency ratio*). Dzięki temu współczynnikowi określana jest również jakość pracy ekspertów po wykonaniu porównań. Często wykonywana jest też analiza wrażliwości dzięki której możliwe staje się sprawdzenie, jak na wartości poszczególnych wag (priorytetów) wpływają zmiany poszczególnych ocen.

Metoda AHP stosowana jest w drogownictwie (w Polsce) głównie przy wyborze lokalizacji wariantów dróg. Została ona zaproponowana do stosowania w **Podręczniku dobrych praktyk wykonywania opracowań środowiskowych dla dróg krajowych** [2] dla wyboru najlepszego wariantu lokalizacji drogi (głównie autostrady i drogi ekspresowe). Model ten był wielokrotnie wykorzystywany w ocenie i wyborze lokalizacji wielu autostrad i dróg ekspresowych w Polsce od 2008 r. – na jego podstawie wybrano szereg przebiegów autostrad i dróg ekspresowych a także dróg niższych klas technicznych. Kryteria, które stosowane są w wyborze wariantów wynikają w tych przypadkach z wyników analiz technicznych, przyrodniczych itp. [8].

Z.4.2. Założenia do oceny wielokryterialnej i metody AHP

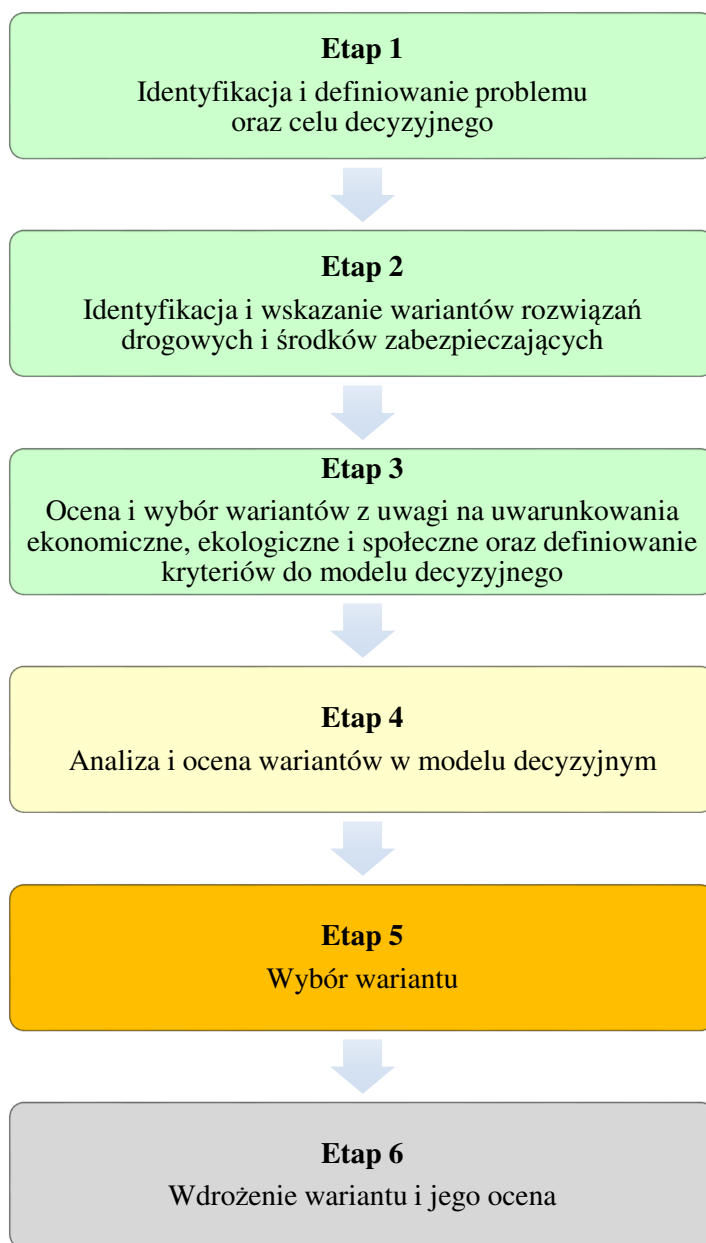
W ocenie wielokryterialnej (nazywanej dalej także modelem) dotyczącej wyboru rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem uwzględniono następujące założenia [1]:

- ocena (model decyzyjny) została oparta na analitycznym procesie hierarchicznym AHP.
- dla potrzeb modelu możliwe jest użycie grupy kryteriów i odpowiadające im sub-kryteria.
- model składa się w ramach struktury hierarchicznej z czterech poziomów: celu decyzyjnego, trzech grup kryteriów (społecznego, środowiskowego i technicznego), odpowiadającym kryteriom oraz wariantom rozwiązań chroniących przed hałasem.
- ocena (porównania parami) powinna być wykonana przez grupę specjalistów i ewentualnie projektantów związanych z rozwiązaniami drogowymi.
- model może być wykorzystywany we wszystkich rodzajach analiz i opracowaniach środowiskowych, gdzie stosowane są co najmniej dwa warianty rozwiązań.

- model umożliwia wybór optymalnego wariantu rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem drogowym z uwzględnieniem kryteriów ilościowych i jakościowych.

Z.4.3. Schemat wykonania oceny wielokryterialnej – budowa modelu decyzyjnego

Podstawowym zadaniem w metodzie AHP jest budowa modelu decyzyjnego, w którym struktura hierarchiczna umożliwia zebranie w jednym miejscu wszystkich kryteriów wpływających na ostateczną decyzję wyboru wariantu. Na rys. z. 4.2 przedstawiono ogólny schemat modelu decyzyjnego, którego celem jest wybór optymalnego rozwiązania drogowego i środków zabezpieczających przed hałasem drogowym [1]. Szczegółowy opis poszczególnych etapów podano w [1].



Rys. Z. 4.2. Schemat i etapy modelu decyzyjnego wyboru rozwiązania drogowego i środków zabezpieczających przed hałasem drogowym [1]

Identyfikacja i definiowanie problemu oraz celu decyzyjnego – etap 1

W pierwszym etapie budowy modelu należy określić co jest faktycznym przedmiotem decyzji. Z reguły tym przedmiotem jest rozwiązanie problemu uciążliwości akustycznych dzięki wyborowi jednego wariantu spośród założonych wariantów ochrony przed hałasem. Należy zwrócić uwagę, że ten sam problem można sformułować na wiele różnych sposobów. Podczas analizy i definiowania problemu decyzyjnego z reguły analizowane są różnego rodzaju pytania związane z tym problemem. Aby problem decyzyjny nie był zbyt

uogólniony należy sprowadzić go do konkretnej perspektywy, np. mieszkańca, zarządcy drogi (GDDKiA), organu wydającego decyzję.

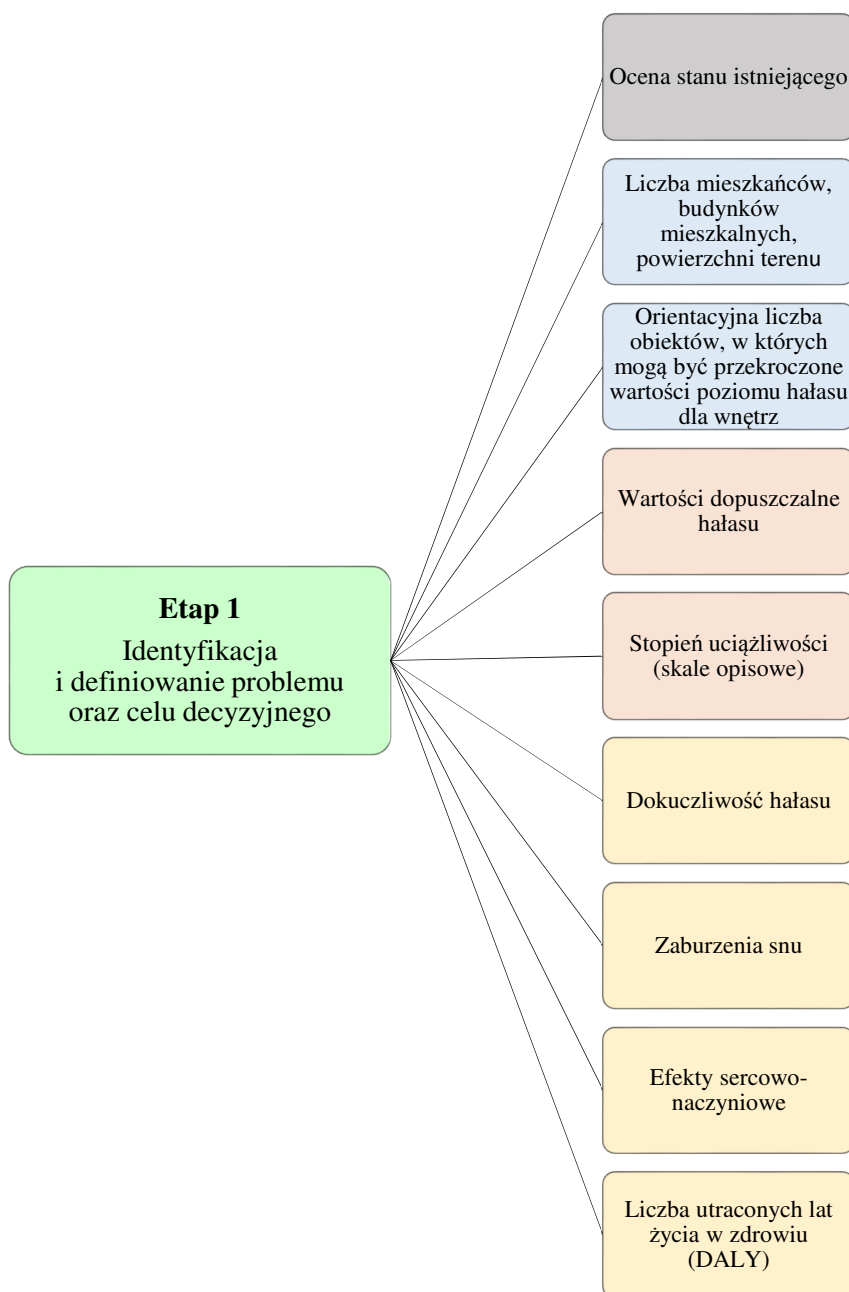
Cel decyzyjny, który nazywany jest również nadrzędnym celem (kryterium) decyzyjnym (*ang. goal*) powinien odpowiadać na pytanie co się chce osiągnąć poprzez rozwiązanie danego problemu decyzyjnego.

W celu prawidłowej identyfikacji problemu i sformułowania celu decyzyjnego należy wykonać analizę wskaźników dotyczących oddziaływania hałasu na ludzi i otoczenie dla stanu istniejącego (dalej nazywanego także wariantem istniejącym) podanych w tabl. 4.1 i na rys. z.4.3.

Tablica Z.4.1. Zestawienie wskaźników związanych z oddziaływaniem hałasu na ludzi i otoczenie [1]

Wskaźnik	Uwagi
Wskaźniki opisowe	
Ocena stanu istniejącego	Podstawą oceny stanu istniejącego jest wizja w terenie, która powinna być wykonana bez względu na to, czy decyzja będzie podejmowana dla nowej inwestycji czy istniejącego obiektu (drogi, skrzyżowania itd.). W przypadku istniejących obiektów drogowych możliwe jest wykonanie ankiety nt. dokuczliwości hałasu drogowego, preferowanych metod ochrony przed hałasem, poziomu konfliktu wywołanego nadmiernym hałasem itd.
Wskaźniki techniczne dla obiektów i terenu	
Liczba mieszkańców, budynków mieszkalnych, powierzchni terenu	Zestawienie należy wykonać dla określonych przedziałów emisji hałasu z jednoczesnym wskazaniem granicy przekroczeń wartości dopuszczalnych zgodnych z obowiązującymi przepisami. Zestawienie i wskazanie granicy wartości dopuszczalnych powinno być wykonane w przedziałach emisji hałasu co 5 dB (lub mniejszych) w zakresach uwzględniających wartości dopuszczalne dla pory doby lub dnia oraz pory nocy – podobnie jak w przypadku wymagań dla map akustycznych.
Orientacyjna liczba obiektów, w których mogą być przekroczone wartości poziomu hałasu dla wnętrza	Jest to całkowita liczba obiektów zlokalizowanych w obszarze od 60 dB i więcej dla pory doby i pory nocy. Zgodnie z [5] przyjęto, że poziom hałasu nie może przekroczyć 40 dB.
Wskaźniki związane ze spełnieniem wymagań formalnych i uciążliwości dla ludzi	
Wartości dopuszczalne hałasu	Zaleca się wskazanie granicy, od której zaczynają obowiązywać zgodnie z [4].
Stopień uciążliwości	Zaleca się wskazanie zakresu uciążliwości wg skal opisanych w [1].
Wskaźnik zagrożonej hałasem ludności	Wskaźnik można wyznaczyć na podstawie [1].
Wskaźniki określające wpływ na zdrowie ludzi	
Dokuczliwość hałasu	Procent i liczba osób narażonych na dokuczliwość D i wysoką dokuczliwość WD wg [1].
Zaburzenia snu	Procent i liczba osób narażonych na zaburzenia snu ZS i wysokie zaburzenia snu WZS wg [1].
Zaburzenia snu	Procent przebudzeń PP – w przypadku, jeśli jest dostępny poziom ekspozycyjny dźwięku w pomieszczeniu SEL_{in} (poziom ciśnienia akustycznego w ciągu 1 s) – wg [1].

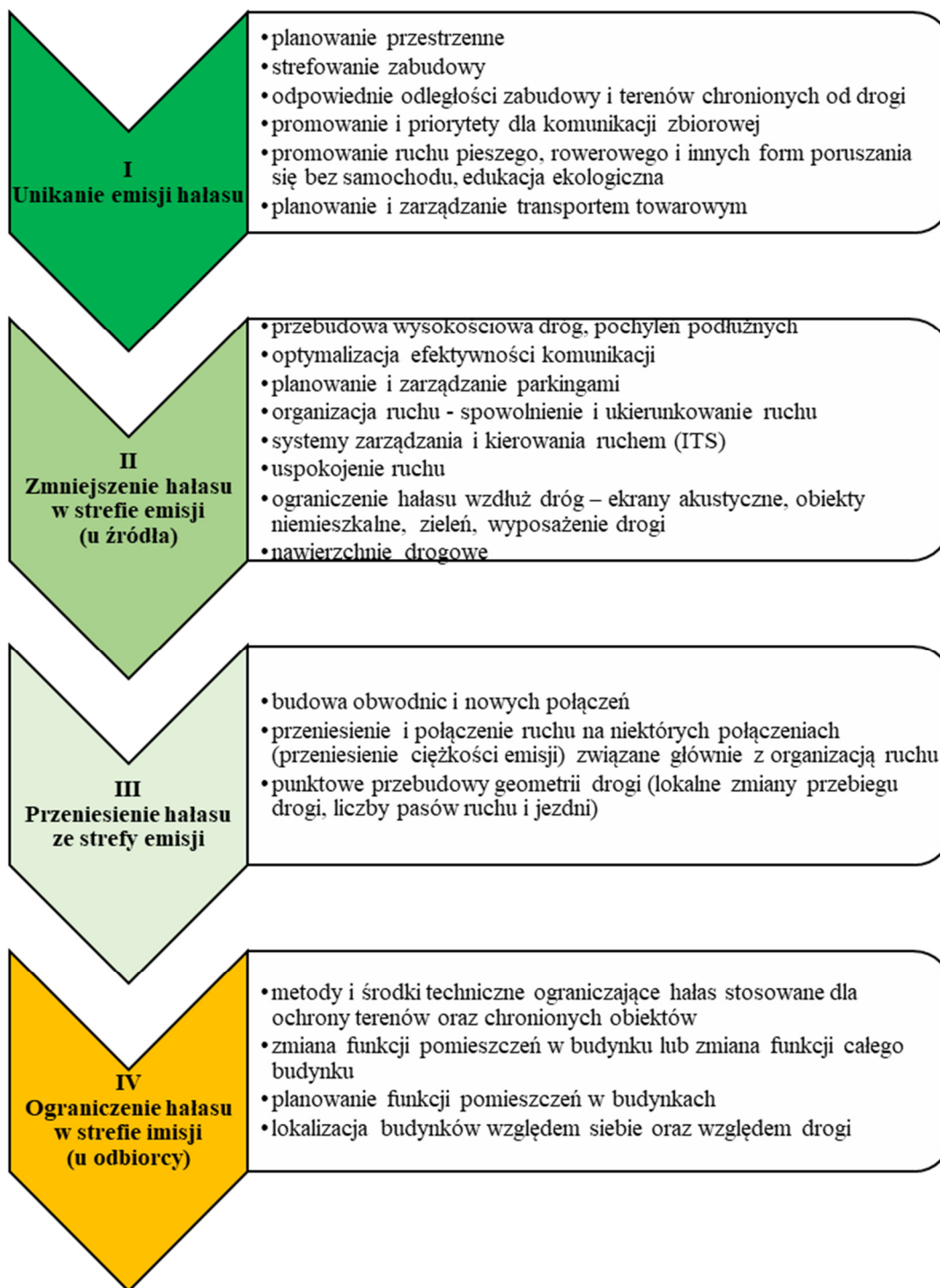
Efekty sercowo-naczyniowe	Ryzyko względne wystąpienia zawału mięśnia sercowego <i>OR</i> wg [1].
Liczby utraconych lat życia w zdrowiu – wskaźnik DALY	Obliczenie tego wskaźnika można wykonać na podstawie [1]. Z uwagi na charakter i wydźwięk tego wskaźnika powinno się go używać do szacowania wartości tylko dla dużych obszarów. Zaleca się szacowanie tego wskaźnika dopiero po ukazaniu się ostatecznej wersji załącznika III do zmienionej Dyrektywy END [3], kiedy ustalone zostaną ostateczne postacie wzorów oraz wartości współczynników.



Rys. Z.4.3. Wskaźniki służące do identyfikacji oraz definiowania problemu i celu decyzyjnego dla wariantu istniejącego [1]

Identyfikacja i wskazanie wariantów rozwiązań drogowych i środków zabezp. – etap 2

Identyfikacja i wybór rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających powinna być oparta na wynikach etapu 1 dla stanu (wariantu) istniejącego. Praktycznie od celu decyzyjnego (strategii) będą zależały przyjęte warianty rozwiązań. Inne będą warianty związane z działaniami ochrony przed hałasem w przypadku, kiedy dla odcinka drogi w najbliższych latach przewidywana jest budowa obwodnicy a inna, kiedy ta obwodnica jest celem działań. Innym przykładem może być wybór wariantów rozwiązań, kiedy celem jest ochrona przed hałasem przede wszystkim w porze nocy. Przy wyborze wariantów rozwiązań można wykorzystać schemat postępowania jak na rys. z.4.4 – więcej informacji nt. poszczególnych rozwiązań chroniących przed hałasem i schematu postępowania podano w [1].



Rys. Z.4.4. Schemat postępowania w wyborze rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem drogowym [1]

W przypadku konieczności wyboru wariantów rozwiązań powinno się wykonać dla każdego z nich następujące obliczenia:

- Liczby ludności zagrożonej w przyjętych zakresach emisji hałasu. Najczęściej zakresy te przyjmuje się co 5 dB jednak w przypadku analiz szczegółowych zakresy te mogą mieć mniejszą wartość.

- Wskaźników jak w etapie 1 (punkt powyżej), jak dla wariantu istniejącego – rys. z.4.3 i tabl. 4.1.

Wartości poszczególnych wskaźników uzyskane dla poszczególnych wariantów wskazują na warianty preferowane z punktu widzenia przede wszystkim wpływu hałasu na zdrowie ludzi. W przypadku porównania stanu istniejącego (wariantu zerowego) i jednego wariantu rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem nie ma konieczności prowadzenia dalszych analiz i etapów związanych z modelem AHP. Należy jednak w takiej sytuacji rozważyć, czy jest to faktycznie jedyne rozwiązanie nie tylko z punktu widzenia zdrowia ludzi, ale także z uwagi na kryteria techniczne i środowiskowe. Jeśli rozważania te doprowadzą do przekonania, że kryteria te odgrywają rolę w rozwiązaniu wówczas należy wprowadzić dodatkowy wariant rozwiązań lub warianty i wykonać dalsze etapy modelu decyzyjnego.

W etapie 2 powinno nastąpić zdefiniowanie głównie z uwagi na zdrowie ludzi i uciążliwości hałasu wariantów rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem. W etapie 3 nastąpi po dodatkowych analizach dla wszystkich wariantów ostateczny wybór wariantów ocenianych w modelu decyzyjnym.

Ocena i wybór wariantów z uwagi na uwarunkowania ekonomiczne, ekologiczne i społeczne oraz definiowanie kryteriów do modelu decyzyjnego – etap 3

W dotychczasowych rozwiązaniach związanych z ochroną przed hałasem dominuje przeważnie jednoczynnikowy (jednokryterialny) sposób podejmowania decyzji. Tym kryterium są głównie uwarunkowania związane bezpośrednio z wartościami dopuszczalnymi hałasu. Faktycznym kryterium stosowanym w przygotowaniu inwestycji jest w wielu przypadkach kryterium ekonomiczne (nakłady na realizację zabezpieczeń) i pośrednio wskaźniki związane z wpływem na zdrowie ludzi (głównie próby ograniczania emisji hałasu w najtrudniejszych miejscach – *hot spots*).

W schemacie postępowania związanym z wyborem rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem drogowym w pierwszej kolejności należy poddać analizie wszystkie warianty z uwagi wskaźniki dotyczące oddziaływania hałasu na ludzi i otoczenie zgodnie z zapisami tabl. 9.1 – podobnie jak w etapie 2 wariant w stanie istniejącym. Ponadto dla każdego wariantu należy wykonać analizę wskaźników CBA (*Cost-Benefit Analysis*) i CEA (*Cost-Effectiveness Analysis*), które pełnią rolę kryterium zintegrowanej efektywności ekonomicznej, ekologicznej i społecznej – zgodnie z tabl. 4.2.

Tab.Z.4.2. Wskaźniki efektywności ekonomicznej, ekologicznej i społecznej

Kryterium	Wskaźnik	Uwagi
Zintegrowana efektywność ekonomiczna, ekologiczna i społeczna	Wskaźnik zintegrowanej efektywności ekonomicznej, ekologicznej i społecznej E_{ees} uzyskiwany na podstawie analizy CBA.	Analiza CBA, której efektem jest wskaźnik E_{ees} powinna być wykonana zgodnie z opisem zawartym w [1].
Korzyści-koszty	Wskaźnik B/C (współczynnik korzyści do kosztów).	Uwaga jak wyżej. Wartości B/C mogą przyjmować następujące wartości: <ul style="list-style-type: none"> • $B/C < 1$ – koszty przewyższają korzyści – należy rozważyć sens stosowania wariantu rozwiązań, • $B/C = 1$ – korzyści równe kosztom – wariant ma sens stosowania • $B/C > 1$ – korzyści przewyższają koszty – wariant jest uzasadniony do zastosowania
Koszty-efektywność	Współczynnik efektywności kosztowej CER związany głównie z porównaniem przyjętych rozwiązań.	Analiza CEA, której efektem jest współczynnik efektywności kosztowej CER powinna być obliczana zgodnie z [1].

Wariant spełniający warunek $C/B > 1$ można uznać za zasadny do realizacji z punktu widzenia ekonomicznego oraz społecznego i może on zostać zakwalifikowany do dalszej analizy i oceny. Z kolei analiza efektywności kosztowej CER wskazuje w przypadku każdego wariantu koszt jednostkowy przyjętych rozwiązań na np. jednego mieszkańca. Koszty te mogą się różnić zasadniczo pomiędzy wariantami i na tym etapie stanowią drugi element kryterium wyboru wariantu do dalszych analiz i oceny. Dzięki analizie wskaźników dotyczących oddziaływania hałasu na ludzi i otoczenie oraz analizie CBA i CEA można dokonać wyboru (preselekcji) wariantów, które najlepiej spełniają funkcje związane z ochroną ludzi przed hałasem i równocześnie są optymalne kosztowo. Warianty te mogą być poddane dalsze analizie i ocenie z punktu widzenia innych kryteriów. Wskaźniki dotyczące oddziaływania hałasu na ludzi i otoczenie oraz kryterium zintegrowanej efektywności ekonomicznej, ekologicznej i społecznej stanowią kryterium wstępnej selekcji wariantów i efektem tych analiz powinien

być wybór wariantów najkorzystniejszych z uwagi na ochronę ludzi, terenów oraz koszty i efekty ochrony. Należy zauważyć, że wybrane warianty niekoniecznie mogą być wariantami, które są akceptowane społecznie, będą spełniały inne uwarunkowania środowiskowe oraz będą spełniały szereg trudnych uwarunkowań technicznych. Wstępny wybór wariantów powinien wskazać co najmniej na dwa warianty (lub więcej) tak, aby dzięki dodatkowej ocenie możliwe stało się stwierdzenie, że rozwiązanie jest optymalne również technicznie. Jednocześnie analiza CBA i CEA nie uwzględnia innych aspektów (kryteriów) społecznych i środowiskowych, które mogą być skuteczną przeszkodą w wyborze ostatecznego rozwiązania. Dlatego też wyboru wariantów nie powinno się ostatecznie dokonywać na tym etapie tylko należy go kontynuować.

Aby wybrane warianty w wyniku analizy wskaźników dotyczących oddziaływania hałasu na ludzi i otoczenie oraz analizy CBA i CEA można było poddać dalszej ocenie i wyborowi w metodzie AHP konieczne jest stworzenie dla tych rozwiązań listy kryteriów. Zastosowanie metody AHP umożliwia wprowadzenie wielu dodatkowych kryteriów oceny wariantów. W zależności od rodzaju wykonywanego opracowania środowiskowego kryteria te mogą mieć postać ilościową lub jakościową. Poniżej zebrano i zgrupowano poszczególne kryteria i podkryteria oraz wskaźniki dla potrzeb dalszej oceny w modelu decyzyjnym AHP. Do podstawowych kryteriów, które powinno się rozważyć na kolejnym etapie analizy i oceny wariantów należą:

- Kryterium społeczne – względy społeczne (kryterium użytkowników otoczenia drogi);
 - preferencje i akceptacja społeczna,
 - przestrzeń publiczna,
 - warunki poruszania się osób niepełnosprawnych.
- Kryterium środowiskowe – oddziaływania środowiskowe i oddziaływania skumulowane;
 - zanieczyszczenia powietrza,
 - wibracje i drgania,
 - wpływ na rośliny i zwierzęta,
 - wpływ na wody,
 - wpływ na grunty rolne i leśne,
 - zmiana krajobrazu i estetyka,
 - wpływ na dobra materialne,
 - wpływ na dobra kultury,
 - estetyka środków ekranujących,

- kumulacja oddziaływań.
- Kryterium techniczne;
 - bezpieczeństwo ruchu drogowego,
 - trwałość techniczna,
 - trwałość efektów akustycznych w czasie (trwałość akustyczna),
 - wypełnienie przepisów lokalnych i technicznych,
 - przepustowość i warunki ruchu, płynność ruchu,
 - względy konstrukcyjne (np. posadowienie)
 - względy technologiczne i materiałowe,
 - warunki budowy i montażu,
 - warunki użytkowania i utrzymania.

Powyższe listy podkryteriów nie jest listą zamkniętą i w dalszej ocenie możliwe jest wprowadzanie dodatkowych elementów lub ich ograniczanie. Więcej informacji nt. możliwych wskaźników do stosowania dla poszczególnych kryteriów podano w [1].

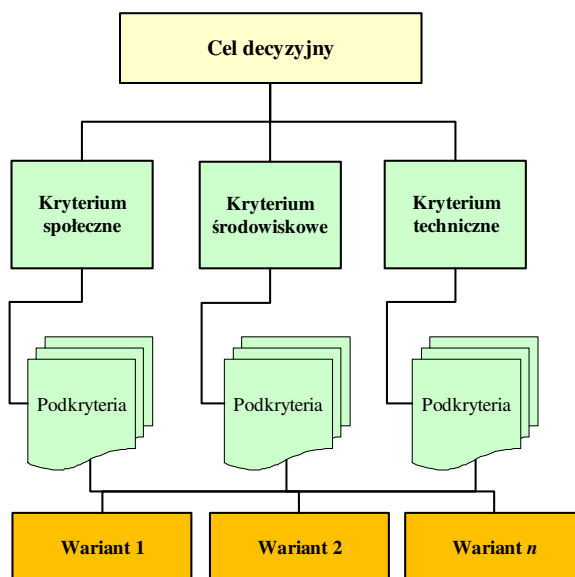
Analiza wariantów w modelu decyzyjnym – etap 4

Analiza i ocena wariantów w tym rodzaju oceny wielokryterialnej wiąże się z użyciem metody AHP. Po określeniu celu decyzyjnego, wyborze wariantów rozwiązań oraz kryteriów i podkryteriów oceny możliwa jest dalsza analiza i wybór wariantu rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym. Model, którego celem jest ocena i wybór określonego wariantu rozwiązania jest próbą odzwierciedlenia złożonej rzeczywistości. Faktycznie model może odzwierciedlać jedynie fragment tej rzeczywistości przy uwzględnieniu najistotniejszych jego fragmentów. Ze względu na dużą liczbę rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem, różny sposób ich funkcjonowania w terenie, zmienne kryteria oceny wariantów trudno jest na tym etapie formułować procedurę postępowania – o wiele prościej jest przygotować model zgodnie z określonym schematem. Model w takiej sytuacji daje możliwość oceny w trakcie podejmowania decyzji o wyborze konkretnego wariantu rozwiązań. Nie jest możliwe podjęcie prawidłowej decyzji z punktu widzenia zdefiniowanych wcześniej kryteriów jedynie na podstawie prostej obserwacji i analizy. Podejmowane w ten sposób większość decyzji skutkuje obecnie błędnymi rozwiązaniami opartymi na dwóch założeniach: ceny i braku możliwości stworzenia realnej strategii działania czy zastosowania określonego rozwiązania. Zastosowanie metody AHP umożliwia zebranie wszelkich elementów składających się na decyzję w strukturę hierarchicznego modelu. Konstruowanie struktury hierarchicznej w modelu polega na określeniu składowych tego problemu, ich grupowaniu w jednorodne zbiory,

a następnie porządkowaniu tych zbiorów na odpowiednich poziomach i zgodnie z łączącymi je relacjami – strukturę taką pokazano na rys. z.4.1.

Bardzo istotną sprawą w modelu jest dobór kryteriów, które będą najlepiej opisywały (oceniały) główny cel. Kryteria te zostały sformułowane w poprzednim punkcie jednak lista ich nie jest zamknięta ze względu na różne przypadki i sytuacje jakie często występują w rzeczywistości. Dobór kryteriów jest jednym z najważniejszych fragmentów prac nad modelem i w razie problemów należy skorzystać z pomocy specjalistów i projektantów z doświadczeniem w podobnych tego przypadkach.

Zgodnie z zasadami model AHP powinien być tak skonstruowany, aby jego elementy składowe były ułożone w hierarchii od ogółu do szczegółu. Najwyżej położone elementy mają największe znaczenie dla procesu decyzyjnego. Jest to tzw. hierarchia dominacji, której rolą jest możliwość oceny wpływu elementów położonych niżej na elementy położone wyżej. Siła tego wpływu jest oceniana dzięki porównaniu parami elementów z niższego poziomu na elementy wyższego poziomu przy zastosowaniu przeważnie dziewięciostopniowej skali liczbowej (stosowane mogą być różne skale jednak dziewięciopunktowa jest rozwiązaniem podstawowym). W procesie oceny przewagi niższych elementów nad wyższymi zawsze celowi decyzyjnemu przypisuje się wartość równą 1 lub 100%. Wartość ta dzielona jest na kryteria, które wpływają na cel decyzyjny. Otrzymywane są wówczas wagi dla poszczególnych kryteriów. Im wyższa wartość takiej wagi tym większe dane kryterium ma wpływ na badane zjawisko (cel nadrzędny). W rozbudowanych strukturach hierarchicznych może być stosowanych kilka poziomów elementów (kryteriów). Zbytne rozbudowanie modelu nie ma jednak większego sensu ze względu na pracochłonność analizy i mało praktyczne znaczenie. Jednocześnie pod kryteriami umieszczane są w strukturze hierarchicznej warianty rozwiązań, które dla modelu stanowią warianty decyzyjne (alternatywy). Na rys. z.4.5 przedstawiono model hierarchicznej struktury elementów z warstwą kryteriów i podkryteriów (czteropoziomowa struktura hierarchiczna), które zaleca się do stosowania w analizie wyboru wariantów.



Rys. Z.4.5. Hierarchiczna struktura z warstwą kryteriów i podkryteriów w modelu decyzyjnym rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem drogowym [1]

Przygotowanie struktury hierarchicznej modelu decyzyjnego jest pierwszym krokiem i przygotowaniem do dalszych analiz. W kolejnym kroku (w jednym z trudniejszych w metodzie AHP) analizowane są poprzez porównanie parami elementy, które zostały wprowadzone do poszczególnych grup – kryteriów, podkryteriów i wariantów. Porównania te wykonywane są dzięki dziewięciostopniowej skali twórcy metody [6, 7], gdzie określana jest danej parze przewaga jednego z elementów i stopień tej przewagi. Po wykonaniu porównań parami następuje szacowanie wag dla poszczególnych grup i elementów.

W modelu decyzyjnym dotyczącym wyboru rozwiązań drogowych i środków zabezpieczających przed hałasem występują kryteria i podkryteria, które mają charakter ilościowy (mierzalny) i jakościowy (niemierzalny w niektórych sytuacjach). Dzięki metodzie AHP możliwe jest ich połączenie w jednym modelu. W trakcie porównania elementów parami wykorzystywana jest jak już wcześniej wspomniano skala dziewięciostopniowa – jest to skala dwubiegunowa służąca do porównania elementów (kryteriów, podkryteriów, wariantów) posiadających wspólną właściwość oraz nadawania tym elementom stopni przewagi. Stopnie przewagi przeważnie posiadają określenia werbalne – np. 1 to takie samo znaczenie, 9 całkowita przewaga jednego elementu nad drugim. Porównania parami elementów można dokonywać przy użyciu arkusza (kwestionariusza). Wzór takiego arkusza jak również metody obliczania wag dla wariantów, kryteriów i podkryteriów oraz sprawdzenie wyników obliczeń podano w [1].

Wybór wariantu – etap 5

Wybór wariantu na podstawie przygotowanego modelu i wyników oceny dokonuje się na podstawie wartości uzyskanych wag dla poszczególnych rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym. Decyzja ostateczna powinna być podjęta po przedstawieniu zarządcy drogi wyników analiz. Należy zwrócić szczególną uwagę na to, że model decyzyjny i wyniki osiągnięte z niego nie są celem a jedynie narzędziem w procesie decyzyjnym.

Wdrożenie wariantu i jego ocena – etap 6

Etap wdrożenia i ocena rozwiązań w rzeczywistości to bardzo ważny element całego procesu należącego do procesu inwestycyjnego w drogownictwie. W praktyce poznanie cech obiektu po realizacji i porównanie ich do założeń jest niezwykle ważnym elementem wdrożenia wariantu i jego ostatecznej oceny. Wymogiem formalnym może być wykonanie analizy porealizacyjnej lub na dalszym etapie eksploatacji obiektu przeglądu ekologicznego zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Bibliografia:

1. Bohatkiewicz J. *Modelowanie i ocena rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym*. Politechnika Lubelska. Lublin, 2017.
<http://bc.pollub.pl/dlibra/docmetadata?id=13123>
2. Bohatkiewicz J., Adamczyk J., Tracz M. i in. *Podręcznik dobrych praktyk wykonywania prac w środowiskach dla dróg krajowych*. Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad. Kraków, 2008.
3. Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku. Directive 2002/49/EC. Directive of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise. Official Journal of the European Communities, L 189, 18.7.2002, p. 12–25.
4. Obwieszczenie Ministra Środowiska z dnia 15 października 2013 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. z 2014 r., poz. 112).
5. PN-87/B-02151/02 Akustyka budowlana. *Ochrona przed hałasem pomieszczeń w budynkach. Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach*. 1987.
6. Saaty T.L. *How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process*. European Journal of Operation Research 48 1990. pp. 9-26.
7. Saaty T.L. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*. Pittsburgh PA: RWS Publications 1996.
8. Żabicki P., Gardziejczyk W. *Wybrane aspekty analizy wielokryterialnej w projektowaniu odcinków drogowych*. Budownictwo i Architektura 13 (1). 2014.