



**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 8. Innowacyjne metody i środki w kompleksowej ochronie otoczenia drogi przed hałasem z oceną ich skuteczności i uwarunkowań stosowania

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. 8: Politechnika Krakowska, Politechnika
Lubelska

Kierownik Zad. 8: prof. dr hab. inż. Marian Tracz

Data rozpoczęcia Zad. 8: 01.01.2016

Data zakończenia Zad. 8: 30.03.2018

ZADANIE 8:

8 INNOWACYJNE METODY I ŚRODKI W KOMPLEKSOWEJ OCHRONIE OTOCZENIA DROGI PRZED HAŁASEM Z OCENA ICH SKUTECZNOŚCI I UWARUNKOWAŃ STOSOWANIA. [PK, PL]

Zespół badawczy:

Politechnika Krakowska
Instytut Inżynierii Drogowej, Kolejowej i Transportu
prof. dr hab. inż. Marian Tracz
dr inż. Krystian Woźniak – kierownik zadania
dr inż. Remigiusz Wojtal
mgr inż. Agnieszka Michalik
mgr inż. Damian Bogunia
mgr inż. Piotr Worwa

Politechnika Lubelska
dr inż. Janusz Bohatkiewicz

Spis treści:

Zadanie 8:	1
8 Innowacyjne metody i środki w kompleksowej ochronie otoczenia drogi przed hałasem z oceną ich skuteczności i uwarunkowań stosowania. [PK, PL]	1
1. Wprowadzenie - metody i środki ochrony przed hałasem.....	3
2. Ocena skuteczności poszczególnych środków ochrony alternatywnych do ekranów	13
3. Badania symulacyjne hałasu	32
3.1. Badania symulacyjne barier typu Jersey oraz wału ziemnego.....	32
3.2. Modelowanie środków ochrony przed hałasem pojedynczej posesji z wykorzystaniem map hałasu	49
3.3. Analiza lokalizacji zabudowy względem drogi z uwzględnieniem ochrony akustycznej i dostępności.....	65
4. Ocena literaturowa możliwości innowacyjnego wykorzystania wybranych środków ochrony przed hałasem.....	82
4.1. Konwencjonalne rozwiązania w zakresie ekranów akustycznych.....	82
4.2. Niekonwencjonalne rozwiązania w zakresie ekranów akustycznych	84
5. Opracowanie projektu katalogu niekonwencjonalnych środków w ochronie przed hałasem.....	96
6. Wnioski z analiz do opracowania wytycznych wzajemnej lokalizacji drogi i zabudowy z uwzględnieniem infrastruktury w otoczeniu drogi i zabudowy oraz środków ochrony	97

1. Wprowadzenie - metody i środki ochrony przed hałasem

Odpowiednie zaplanowanie układu zabudowy, usytuowanie go w odpowiedniej odległości od dróg na których panują znaczne natężenia ruchu, często z dużym procentowym udziałem pojazdów ciężkich może znacząco wpłynąć na poprawę komfortu akustycznego mieszkańców.

Wcześniejsze planowanie i podejmowanie środków prewencyjnych w odpowiednim momencie inwestycji budowlanej wydaje się być racjonalnym podejściem do zagadnienia ochrony przed hałasem. Jednakże dla istniejących układów zabudowy jednym z rozwiązań może być ochrona akustyczna umieszczona między źródłem a miejscem odbioru.

Najlepszym sposobem na minimalizację wpływu nadmiernego hałasu drogowego jest zapewnienie odpowiednio dużej odległości zabudowy mieszkalnej od krawędzi jezdni. Jednak nie zawsze jest możliwość zapewnienia minimalnej zalecanej odległości zabudowy od drogi. Jeżeli ta odległość jest mniejsza konieczne będzie zastosowanie środka redukcji hałasu w celu zapewnienia odpowiedniej ochrony akustycznej budynków mieszkalnych. Poniżej zostały opisane najczęściej stosowane w Polsce i na świecie sposoby ochrony przed ponadnormatywnym hałasem drogowym z uwzględnieniem wad i zalet danego rozwiązania, ich skuteczności tłumienia hałasu oraz ograniczenia w zastosowaniu.

Ekran akustyczny

Najpopularniejszym sposobem ochrony przed ponadnormatywnym hałasem komunikacyjnym są ekrany akustyczne. Ekran akustyczny jest sztuczną przeszkodą na drodze rozchodzącej się fali dźwiękowej. Głównym celem ekranów jest zmniejszenie energii fali docierającej do odbiorcy i stworzenie cienia akustycznego, czyli obszaru, do którego nie docierają bezpośrednio fale akustyczne [35].

Ekran akustyczny charakteryzuje się różnymi właściwościami akustycznymi, materiałem z jakiego zostały wykonane, kształtem przekroju poprzecznego oraz skutecznością redukcji hałasu.

Ze względu na właściwości akustyczne ekrany można podzielić na [52]:

- ekrany pochłaniające;
- ekrany odbijające dźwięki;
- ekrany odbijająco-rozpraszające.

Podział ekranów akustycznych ze względu na kształt przekroju poprzecznego:

- ekran pionowy,
- pionowy nadwieszony,
- poziomy,
- prostopadłościenny,
- klinowy,
- trapezoidalny,
- pionowo-łukowy,
- pionowo obustronnie nadwieszony,
- łukowy.

Wielkością, która określa skuteczność ekranowania jest efektywność akustyczna ekranu zdefiniowana jako różnica poziomu hałasu w punkcie obserwacji przed, oraz po wprowadzeniu ekranu. Do liczbowej oceny skuteczności można używać poniższej zależności [50]:

$$L_A = L_{A1} - L_{A2} \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie:

L_{A1} - poziom dźwięku w danym punkcie obserwacji, przed zainstalowaniem ekranu [dB]

L_{A2} - poziom dźwięku w tym samym punkcie, po zainstalowaniu ekranu [dB]

Ze względu na skuteczność redukcji hałasu można wyróżnić ekrany posiadające [50]:

- skuteczność bardzo wysoka - $L_A > 10\text{dB}$
- skuteczność zadowalająca - $6\text{dB} < L_A < 10\text{dB}$
- skuteczność tolerowana - $4\text{dB} < L_A < 6\text{dB}$
- ekran praktycznie nie skuteczny - $0\text{dB} < L_A < 4\text{dB}$

Do oceny akustycznej paneli, które wchodzi w skład ekranu akustycznego można się posłużyć następującymi parametrami [4]:

- R_w – jednolicebrowy wskaźnik izolacyjności od dźwięków powietrznych,
- DL_R – jednolicebrowy wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych,
- DL_a – jednolicebrowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku.

Na podstawie wskaźników DL_R i DL_a określono klasy izolacyjności od dźwięków powietrznych zamieszczone w tabeli nr 1.1 oraz klasy właściwości pochłaniających, które zamieszczono w tabeli nr 2.2.

Tablica 1.1. Klasy izolacyjności od dźwięków powietrznych[4]

Klasa	DLR, [dB]
B0	nie określa się
B1	<15
B2	14 do 24
B3	>24

Tablica 2.2 Klasy właściwości pochłaniających[4]

Klasa	Dla, [dB]
A0	nie określa się
A1	<4
A2	4 do 7
A3	8 do 11
A4	12 do 15
A5	>15

Sposobem na zwiększenie skuteczności ekranu akustycznego bez konieczności zwiększania jego wysokości może być zastosowanie oktagonalnego reduktora hałasu. Umieszczenie tego urządzenia na górnej krawędzi ekranu powoduje redukcję poziomu natężenia dźwięku, dzięki absorpcji fal ugiętych. Zastosowanie „oktagonu” daje porównywalny efekt z tym jaki otrzymano by poprzez podwyższenie ekranu akustycznego o 1-1,5 m[2]. Ośmiokątny reduktor może być stosowany zarówno na istniejących ekranach jeżeli wzrósł poziom natężenia dźwięku, a nie ma możliwości zwiększenia wysokości ekranu lub jest to zbyt kosztowne, jak i w przypadku nowobudowanych ekranów w celu obniżenia wysokości ekranu przy zachowaniu takich samych parametrów

izolacyjności dźwiękowej[48]. Według danych podawanych przez producenta[51] oktagonalny reduktor hałasu umożliwi poprawę skuteczności redukcji hałasu od 2 do 3,5 dB, w zależności od miejsca ustawienia ekranu oraz częstotliwości hałasu.

Ekran akustyczny należy zlokalizować maksymalnie blisko źródła hałasu bądź jak najbliżej obiektu chronionego, jednak to rozwiązanie jest mniej korzystne, ponieważ ogranicza się w ten sposób teren w bezpośrednim sąsiedztwie zabudowy. Wysokość ekranu powinna być dobrana tak, aby obiekt chroniony znajdował się w strefie cienia akustycznego czyli tak aby fala dźwiękowa nie mogła bezpośrednio docierać do obserwatora. Również odpowiednio dobrana długość ekranu ma wpływ na jego skuteczność. Jeżeli ekran będzie zbyt krótki to fala dźwiękowa będzie się mogła przedostawać do odbiorcy spoza krawędzi bocznych. W skrajnych przypadkach może się okazać, że wybudowany ekran jest na tyle krótki i nie wpływa na redukcję hałasu u odbiorcy.

Jeżeli lokalizacja projektowanego ekranu będzie przecinać zjazdy indywidualne do posesji, konieczne będzie zastosowanie bram przesuwnych. W przypadku, gdy bramy te nie będą zamykane, fala akustyczna będzie mogła przedostawać się bezpośrednio do odbiorcy. Może się okazać że ekran w ten sposób straci swoją skuteczność. Istotne jest, żeby bramy te były zamykane na noc, kiedy ochrona przed hałasem jest szczególnie ważna.

Ograniczenie w stosowaniu ekranów akustycznych mogą powodować występujące sieci podziemne w miejscu projektowanej lokalizacji ekranu. Występowanie tego typu sieci uniemożliwia wykonania posadowienia słupów ekranu w postaci pali fundamentowych.

Innym ograniczeniem może być fakt występowania fali odbitej przy zastosowaniu ekranów odbijający. Chroniąc zabudowę mieszkalną po jednej stronie drogi można się przyczynić do pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi.

Ze względów estetycznych ekrany akustyczne, a zwłaszcza typu „zielona ściana”, są obsadzone roślinnością zieloną. Powstała w ten sposób konstrukcja bardzo dobrze wkomponowuje się w krajobraz, tworząc połączenie działalności człowieka ze środowiskiem naturalnym. Zastosowanie pnączy na ekranach w niewielkim stopniu zwiększa skuteczność redukcji hałasu, lecz właściwość absorpcji substancji chemicznych znacznie wpływa na ograniczenie zanieczyszczenia powietrza.

Wał ziemny

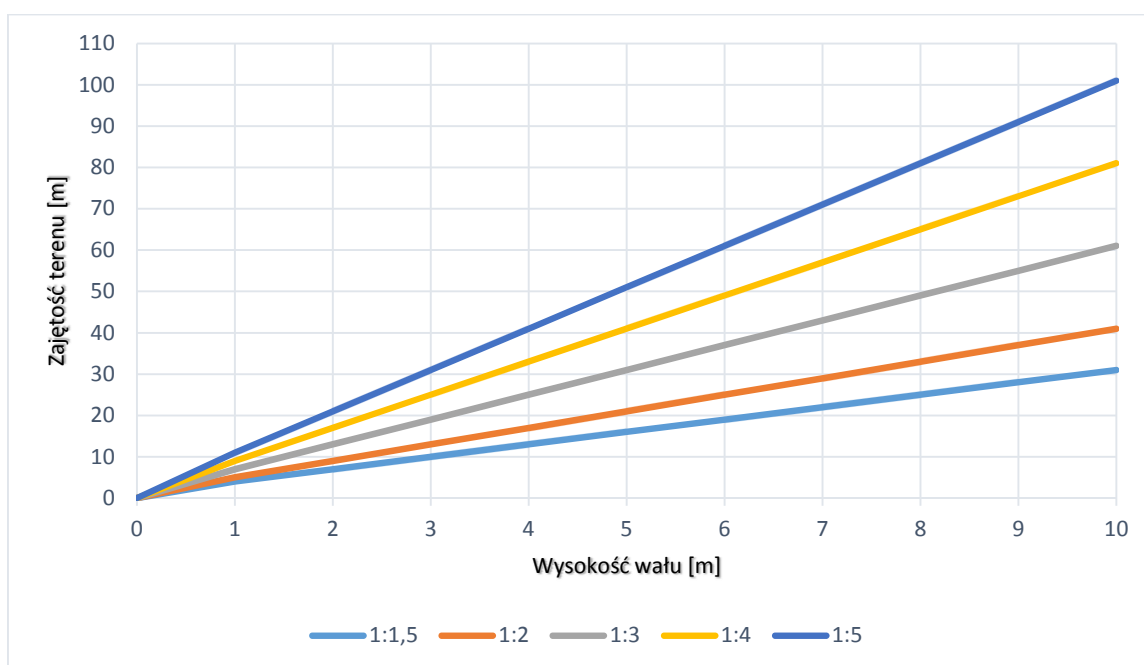
Skutecznym sposobem na redukcję hałasu komunikacyjnego może być zastosowanie wału ziemnego. Rozwiązanie to charakteryzuje się wysoką skutecznością, która wynosi, w zależności od lokalizacji odbiorcy, nawet 15-25 dB, według badań zamieszczonych w [1,25]. Wał ziemny, ze względu na duży obszar wolnego terenu potrzebny do jego wzniesienia, nie zawsze może być stosowany, a zwłaszcza na obszarach miejskich. Na rysunku 1.1 został przedstawiony model zastosowania wału ziemnego jako sposobu ochrony przed hałasem.



Rys. 1.1 Ochrona akustyczna w postaci wału ziemnego i wykopu [„Sound Land Use Planning For Your Community: Model Ordinance Language for Addressing Traffic Noise – Highway Traffic Noise and Land Use Development” Kenneth D. Polcak; PennDOT; February 2004;]

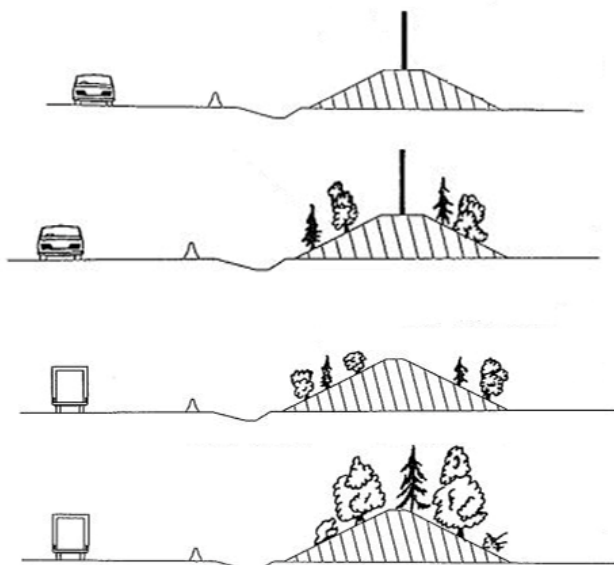
Główną zaletą tego rozwiązania jest łatwość w pozyskaniu materiału do jego budowy. Można wykorzystać grunt, który pozostanie z wykopu pod nową drogę. Do wykonania wału ziemnego najlepiej nadają się grunty: kamieniste, żwirowe i piaszczyste. Inne grunty można zastosować pod warunkiem odpowiedniego zabezpieczenia przed wpływem wody. Inną zaletą jest brak występowania efektu odbicia fali dźwiękowej, jak to występuje w przypadku niektórych typów ekranów akustycznych. Wał ziemny posiada nierówną powierzchnię, a jego skarpy utworzone są pod odpowiednim pochyleniem, co sprzyja rozproszeniu fal dźwiękowych.

Wielkość obszaru wolnego terenu, potrzebnego do wzniesienia wału, zależy głównie od pochylenia skarp i wysokości wału. Gdy te pochylenia są znaczne, występuje konieczność wzmocnienia i zabezpieczenia skarp przed osunięciem lub rozmyciem. Dobrze sprawdzają się w tym celu różnego rodzaju geosyntetyki. Na rysunku nr 1.2 przedstawiono wykres zajętości terenu w zależności od pochylenia skarp i wysokości wału.



Rys. 1.2 Wykres zajętości terenu w zależności od pochylenia skarp i wysokości wału

W celu zwiększenia skuteczności redukcji hałasu, wały można z łatwością łączyć z innymi formami ochrony przed hałasem: ekranami akustycznymi, ogrodzeniami, zielenią oraz cichą nawierzchnią drogową. Na rysunku nr 1.3 przedstawiono przykłady połączenia wału ziemnego z innymi formami ochrony przed hałasem.



Rys. 1.3 Kombinacje wału ziemnego z innymi środkami ochrony

Wał ziemny

Wał ziemny jest to rozwiązanie, które charakteryzuje się dobrymi właściwościami redukcji hałasu, które mogą wynosić do 25 dB[9], przy niewielkim zajęciu terenu. Z tego powodu można je stosować w miejscach, gdzie nie jest możliwe wzniesienie tradycyjnego wału ziemnego. Głównym elementem tych ekranów jest konstrukcja ze stali ocynkowanej, zabezpieczonej przed korozją. Konstrukcja ta obkładana jest geosyntetykami, a następnie zasypana kruszywem umożliwiającym wegetację roślin. Rysunek 1.4 przedstawia elementy konstrukcji ekranu ziemnego, opisane powyżej.



Rys. 1.4 Wał ziemny w trakcie budowy[39]

Po wybudowaniu ekran obsadzany jest roślinnością, przez co lepiej wkomponowuje się w otoczenie. Jedną z głównych zalet tego typu rozwiązania jest wysoka trwałość. Trwałość ta uzależniona jest głównie od trwałości stalowej konstrukcji i wynosi nawet 80 lat[39]. W ekranach ziemnych nie jest konieczna wymiana wypełnienia, przez co ekrany te mogą się okazać korzystniejsze ze względów ekonomicznych.

Inną zaletą tego rozwiązania jest to, że nie powodują zjawiska odbicia fali akustycznej w kierunku obiektów zlokalizowanych po przeciwnej stronie drogi. Dzieje się tak ponieważ powierzchnia ekranów ziemnych jest chropowata, a ściany boczne posiadają odpowiedni skos, co sprzyja rozproszeniu fali dźwiękowej.

Płoty akustyczne

Nową formą ochrony przed hałasem są płoty akustyczne. Jest to forma ogrodzenia, wykonana z materiałów dźwiękoizolacyjnych, która pełni również funkcję taką jak ekran akustyczny. Tego typu ogrodzenie ma duży potencjał redukcji hałasu, podobnie jak ekran akustyczny. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na właściwości tego typu ogrodzenia jest izolacyjność akustyczna i współczynnik pochłaniania dźwięku. Płoty te są wykonane z dźwiękochłonnych paneli z materiału PCV. Pokryte są dodatkowo perforowaną nakładką w celu wzrostu estetyki tego rozwiązania. Zaletami tego typu rozwiązania jest ich trwałość i odporność na wilgoć i grzyby. Ponadto tego typu płoty są szybkie i łatwe w montażu. Ponadto nie są potrzebne żadnego rodzaju łączniki podczas montażu co przyspiesza i ułatwia jego zamontowanie.



Rys.1.5 Płot akustyczny [www.budujemydom.pl/ogrodzenia/16288-płoty-akustyczne-royalacousticfencing-raf]

Cicha nawierzchnia drogowa

Cicha nawierzchnia drogowa charakteryzuje się tym, że maksymalny poziom dźwięku jest niższy od poziomu hałasu nawierzchni referencyjnej. Wartości redukcji dla różnych nawierzchni przedstawiono w zadaniu nr 5. Zaletą stosowania nawierzchni jest redukcja hałasu u źródła oraz brak oddziaływania wizualnego w porównaniu do ekranów, wadą może być mała efektywność (praktycznie 2-4 dB) oraz zmienność redukcji w czasie eksploatacji nawierzchni.

Droga prowadzona w wykopie

Duży wpływ na sposób rozprzestrzeniania się hałasu ma topografia terenu. Poprzez prowadzenie drogi w wykopie można znacznie zredukować poziom hałasu dla zabudowy wzdłuż drogi. Redukcja hałasu będzie zapewniona dzięki skarpom wykopu, a jej skuteczność w dużej mierze będzie zależała od głębokości wykopu, pochylenia skarp oraz ich zagospodarowania. Skuteczność

redukcji hałasu poprzez prowadzenie drogi w wykopie zależy w dużej mierze od głębokości wykopu i może ona wynosić do 20 dBA przy wykopach powyżej 3,0m.

Skuteczność tą można zwiększyć poprzez nasadzenie roślinności lub poprzez kombinację z innymi rozwiązaniami ochrony akustycznej.

Prowadzenie drogi w wykopie może być problematyczne ze względu na konieczność dopasowania się do istniejącej infrastruktury, otaczającego krajobrazu, ograniczenia dostępnego terenu oraz ze względu na występujące warunki gruntowo wodne.

Bierna ochrona przed hałasem w postaci odpowiedniego kształtowania układu zabudowy

Stosowanie środków czynnej ochrony przed hałasem często wiąże się z dużymi nakładami finansowymi. Ponadto ich zastosowanie niejednokrotnie wpływa na pogorszenie bezpieczeństwa ruchu (ograniczona widoczność w obrębach skrzyżowań i zjazdów indywidualnych) oraz pogorszenie odczuć estetycznych. Zastosowane środki ochrony przed nadmiernym hałasem często źle wkomponowują się w otaczający krajobraz, tworząc kontrast pomiędzy środowiskiem naturalnym, a działalnością człowieka.

Jednak poprzez odpowiednie zabiegi na etapie planowania przestrzennego można doprowadzić do sytuacji, że stosowanie środków czynnej ochrony przed hałasem komunikacyjnym nie będzie konieczne lub mało kosztowne. Im bardziej zabudowa lub teren jest wrażliwy na działanie hałasu powinien się znajdować dalej od drogi pełniącej funkcję ruchową. Najbliżej drogi głównej mogą znajdować mało wrażliwe na hałas obiekty komercyjne, magazynowe i parkingi, dalej przy drodze zbiorczej powinny się znajdować obiekty usługowe i handlowe, a najdalej przy lokalnej drodze zabudowa mieszkaniowa, szkoły i szpitale[53].

Wprowadzenie stref buforowych pomiędzy drogą a zabudową mieszkalną

Pierwszym przykładem pozytywnego zabiegu (ze względu na ochronę przed nadmiernym hałasem) na etapie planowania przestrzennego jest utworzenie stref buforowych pomiędzy drogą a zabudową mieszkalną. Wydzielenie takich pasów niezabudowanego terenu, o odpowiedniej szerokości wzdłuż drogi, ma celu zapewnienie odpowiedniego klimatu akustycznego, czyli poziomu dźwięku poniżej dopuszczalnych poziomów. Szerokość takich stref buforowych zależy od wielu czynników, które wpływają na poziom generowanego hałasu: natężenie pojazdów, struktura rodzajowa ruchu, średnia prędkość pojazdów, pochylenie niwelety, rodzaj pokrycia terenu, wysokość punktu odbioru nad terenem oraz obowiązujące dopuszczalne poziomy hałasu.

Strefa buforowa z zielenią

Innym przykładem pozytywnego kształtowania układu zabudowy może być zastosowanie strefy buforowej z zielenią. Do stosowania ochrony w postaci zieleni najlepiej sprawdzają się gęste żywopłoty, krzewy lub drzewa. Poziom redukcji hałasu przez takie rozwiązanie zależy od rodzaju roślinności, szerokości pasa zieleni oraz jego wysokości.

Przy przekroczeniu poziomu dopuszczalnego o nie więcej niż 1,5-3,5 dB lepszym rozwiązaniem od budowy ekranu akustycznego jest zasadzenie gęstego żywopłotu. Żywopłot będzie w tym wypadku lepszym rozwiązaniem ze względów estetycznych oraz ekonomicznych. Jedynym ograniczeniem może być czas niezbędny, aby żywopłot uzyskał pożądaną wysokość. Skuteczność takiego rozwiązania zależy przede wszystkim od gęstości żywopłotu oraz jego wysokości.

Nawet bardzo wąski pas zieleni przynosi korzyści ze względu na poprawę klimatu akustycznego. Pomimo znikomej redukcji hałasu (mierzonej w dB) takiego pasa zieleni, wpływa na poprawę klimatu akustycznego. Zastosowanie pasa zieleni powoduje zmianę kształtu widma fali dźwiękowej, poprzez

absorpcję i rozproszenie wysokich składowych widma. Hałas pozbawiony wysokich składowych staje się mniej dokuczliwy dla odbiorcy[14].

Tłumienie przy użyciu zieleni nie jest zazwyczaj proporcjonalne do odległości pomiędzy źródłem hałasu, a odbiorcą. Z tego powodu nie jest zalecane tworzenie pasów zieleni szerszych niż 50m. Efektownym rozwiązaniem jest tworzenie ekranu roślinnego składającego się z 2-3 pasów zieleni o łącznej szerokości do 50m.

Ekranowanie w postaci zieleni można uznać w niektórych przypadkach za rozwiązanie sezonowe ze względu na opadające liście na czas zimy. Jednak to właśnie w okresie od wiosny do jesieni ochrona przed hałasem jest szczególnie ważna ze względu na otwieranie okien i dłuższe przebywanie na zewnątrz budynku.

Stosowanie zieleni w większości przypadków przynosi dużo korzyści. Oprócz właściwości redukcji hałasu, które jednak są dużo mniejsze od pozostałych form ochrony przed hałasem, zieleń posiada duże walory estetyczne. Należy jednak pamiętać o tworzeniu kompozycji z różnego rodzaju krzewów i drzew, aby uniknąć odczucia monotoności.

Strefa buforowa z zabudową niewrażliwą

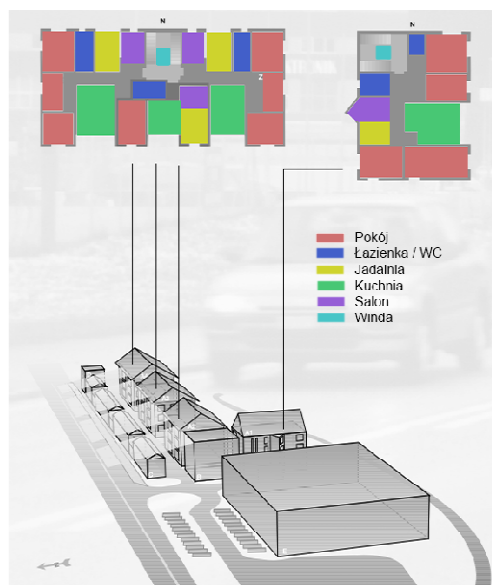
Kolejnym sposobem na zmniejszenie wpływu nadmiernego hałasu może być zastosowanie ekranowania w postaci zabudowy niewrażliwej na ponadnormatywny poziom dźwięku. Do takiej zabudowy można zaliczyć : garaże, budynki usługowe lub przemysłowe.

W zadaniu nr 7 przedstawiono ideę ekranowania w postaci zabudowy niewrażliwej oraz hierarchizacji sieci drogowej. Na przedstawionym modelu budynki mieszkalne chronione są przed nadmiernym hałasem z drogi głównej dzięki ekranowaniu poprzez przemysł lub usługi, z drogi zbiorczej dzięki osłonięciu przez garaże.

Według badań zawartych w [1] , budynek dwukondygnacyjny, który pełni rolę ekranu może zredukować poziom hałasu nawet o 13 dB. Ważną kwestią przy projektowaniu tego typu budynków jest odpowiedni dobór wysokości budynku ekranującego względem budynku chronionego. Zbyt niska zabudowa ekranująca nie będzie spełniała swoich funkcji redukcji hałasu dla wyższych kondygnacji obiektu chronionego. Zbyt wysoki budynek ochronny będzie ograniczał dostęp światła słonecznego oraz będzie tworzył wrażenie bariery.

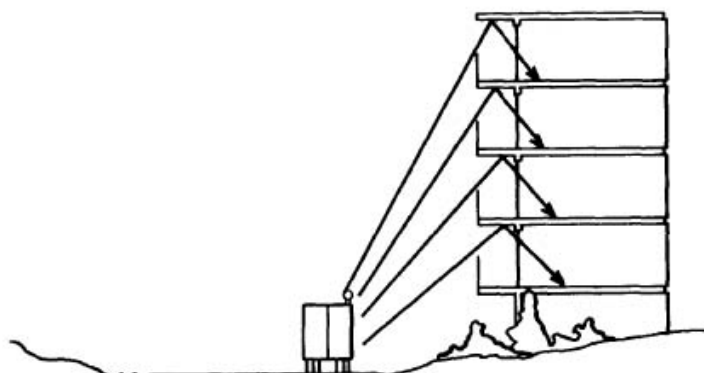
Zabiegi architektoniczne

Wpływ nadmiernego hałasu drogowego można minimalizować poprzez zabieg architektoniczny, jakim jest odpowiednie rozlokowanie pomieszczeń w budynku mieszkalnym. Bardziej wrażliwe na ponadnormatywny hałas pomieszczenia powinny być zlokalizowane jak najdalej źródła hałasu. Do takich pomieszczeń należą pokoje, w których ludzie spędzają najwięcej czasu, śpią, odpoczywają czyli sypialnie, salony, pokoje dzienne. Mniej wrażliwe na hałas pomieszczenia takie jak: kuchnia, łazienka, garderoba należy lokować bliżej źródła hałasu, tak aby mogły one służyć jako strefa buforowa dla pomieszczeń chronionych. Na rysunku 1.6 przedstawiono opisaną powyżej ideę rozmieszczania pomieszczeń w budynku mieszkalnym.



Rys. 1.6 Sposób rozmieszczania pomieszczeń w budynku wg kryterium hałasu[15]

Rożmieszczenie balkonów w budynku wielokondygnacyjnym może mieć wpływ na klimat akustyczny wewnątrz budynku. Problem staje poważny jeśli balkony zostają umieszczone w jednym pionie w wysokim budynku od strony ulicy o znacznym natężeniu ruchu pojazdów. Może dojść wtedy do odbijania się fali akustycznej od balkonu piętro wyżej. Tak zlokalizowany balkon nie będzie dobrze spełniał swojej funkcji rekreacyjnej ze względu na zbyt wysoki poziom hałasu. W celu odpowiedniego wykorzystania balkonu i możliwości wypoczynku zaleca się lokalizować balkony od strony cichej a w przypadku lokalizacji od strony drogi zaleca się przeprowadzić analizę akustyczną w celu uniknięcia ww. zjawiska (np. zastosowanie wykładziny tłumiącej na stropie balkonu). Rysunek 1.7 przedstawia zjawisko odbijania się fali opisane powyżej.



Rys. 1.7 Zjawisko odbijania się fali akustycznej od balkonów znajdujących się powyżej[1]

Kolejnym zabiegiem na etapie projektu architektonicznego, który może wyraźnie wpłynąć na poprawę klimatu akustycznego wewnątrz budynku może być odpowiednie ukształtowanie elewacji budynku. Dobrym tego przykładem może być elewacja budynku Radia Kraków przy al. Juliusza Słowackiego, która została pokazana na rysunku 1.8 Charakterystyczny, półkolisty kształt elewacji budynku sprzyja lepszemu rozchodzeniu się fal akustycznych.



Rys. 1.8 Budynek Radia Kraków przy al. Juliusza Słowackiego[43]

Ekran na elewacji budynku, domknięcie ścian szczytowych

Mało rozpowszechnioną metodą na obniżenie poziomu hałasu wewnątrz budynku jest zastosowanie ekranu na elewacji budynku. Metoda ta polega na tym, że przed elewacją budynku umieszczany jest przezroczysty ekran. Ekran ten umieszczany jest w pewnej odległości od elewacji, tak aby zapewnić odpowiednią przepuszczalność i uwarunkowania przeciwpożarowe. Rozwiązanie to stosowane jest głównie dla budynków nowo budowanych w centrach dużych miast, gdzie ze względu na niewielką ilość wolnego terenu, kłopotliwe jest zastosowanie innego środka. Ekran na elewacji budynku powinny zapewniać odpowiedni dopływ światła słonecznego, dlatego najczęściej wykonywane są ze szkła, lub tworzyw sztucznych. Działanie ekranu na elewacji polega na tym, że fala dźwiękowa odbija się od powierzchni ekranu i nie przedostaje do wnętrza budynku. Skuteczność ekranowania można zwiększyć stosując stolarkę okienną o dużej izolacyjności akustycznej. Na rysunku 1.9 i 1.10 zostały przedstawione przykłady zastosowania ekranu na elewacji w Polsce: budynek głównej siedziby Polskich Linii Lotniczych LOT oraz budynek biurowy FOCUS.



Rys. 1.9 Budynek głównej siedziby PLL LOT[36]



Rys. 1.10 Budynek biurowy FOCUS[36]

Innym sposobem na redukcję hałasu drogowego przy wykorzystaniu ekranu na budynkach, może być domknięcie ścian szczytowych dla budynków usytuowanych prostopadle w stosunku do drogi. Rozwiązanie to jest również rzadko stosowane w Polsce. Rozwiązanie to polega na budowie ekranów akustycznych dopasowanych do szczytowych ścian budynków mieszkalnych. Tak powstały ekran powinien umożliwiać tworzenie cienia akustycznego wyższego od obiektów chronionych. Ograniczeniem dla stosowania tego rozwiązania może być konieczność zmiany organizacji ruchu wewnątrz osiedla oraz ograniczenia liczby wjazdów. Przykład połączenia ścian szczytowych został przedstawiony na rysunku 1.11.



Rys. 1.11 Przykład połączenia ścian szczytowych budynków w Delft, Holandia[43]

2. Ocena skuteczności poszczególnych środków ochrony alternatywnych do ekranów

W ramach oceny skuteczności alternatywnych środków akustycznych przeprowadzono badania in situ dla różnych rodzajów przesłon, które mogły mieć potencjalny wpływ na poziom hałasu

docierający do otoczenia drogi. Pomiarów wykonano wg stałych założeń, tj. : stanowiska pomiarowe na wszystkich poligonach były zawsze zlokalizowane po jednej stronie drogi. Mierniki rozmieszczano na wysokości 1,5 m w następujących miejscach w stosunku do przegrody: 1,5 m przed przegrodą oraz 1,5 m i 10 m za przegrodą. Jeden miernik był umieszczany nad przeszkodą bezpośrednio za przegrodą. W jednej serii pomiary wykonywano 3 krotnie: dwa razy na wysokości 1,5 m oraz raz na wysokości 3 m. Wymieniona wysokość 1,5 i 3m dotyczy mierników przed i za przeszkodą. Pomiar nad przeszkodą był wykonywany w płaszczyźnie przeszkody, ok. 0,5m nad nią umieszczany był mikrofon na statywie. Jeden cykl pomiaru wynosił 15 min. W miejscach pomiaru hałasu dokonywano także analiz prędkości pojazdów oraz ich natężenia i struktury rodzajowej. Wszelkie odstępstwa od powyższych zasad wynikały z sytuacji terenowej na poszczególnych poligonach. Nie zawsze zagospodarowanie poligonu pozwalało na rozmieszczenie mierników w wymienionych miejscach. Pomiary były wykonywane tylko w dobrych warunkach pogodowych, gdy nie występowały opady i silne podmychy wiatru. Do pomiaru natężeniu dźwięku zastosowano mierniki SVAN 1 klasy dokładności.

Badania przeprowadzone zostały w większości w 2016 roku z uzupełnieniem badań w roku 2017. Poligony zostały dobrane ze względu na rodzaj przegrody akustycznej. Pomiary wykonano dla następujących przegród:

- Zwartej zieleni
- Kamiennych murów
- Betonowych prefabrykatów
- Muru z cegieł
- Ogrodzeń drewnianych
- Gabionów
- Przegrody w postaci tworzywa sztucznego (pleksi) w połączeniu z zielenią

Innym czynnikiem wziętym pod uwagę przy wyborze poligonów badawczych było zastosowanie kombinacji środków ochrony przed hałasem. Pomiary wykonano dla kombinacji:

- Ogrodzenia i zieleni
- Ogrodzenia i roślinności pnącej
- Ogrodzenia i tworzywa sztucznego
- Ogrodzenia i przegród bocznych
- Ogrodzenia i zabudowy niewrażliwej

Bezpośrednie wyniki z pomiarów zostały zamieszczone w raporcie okresowym. Poniżej zamieszczono wyniki analizy pomiarów oraz modelowanie sytuacji z poligonów badawczych w celu określenia zakresu wpływu na rozkład hałasu badanych przesłon. Z uwagi na przekrój dróg dla których wykonywano obliczenia modelowe (1x2) źródło modelowane było w osi jezdni, określenie odległości od źródła było bezpośrednio związane z modelowanym przypadkiem, który miał odzwierciedlać warunki identyczne jak w trakcie badań empirycznych.

Wyniki przedstawiono również w formie publikacji złożonej na konferencję INTERNOISE 2018, której kopie załączono do raportu (referat przesłany 05.2018: Tracz M., Woźniak K. Traffic noise reduction as an additional role of gabion fences; INTER-NOISE 2018, the 47th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering will be held in Chicago, Illinois, USA on 26-29 August 2018)

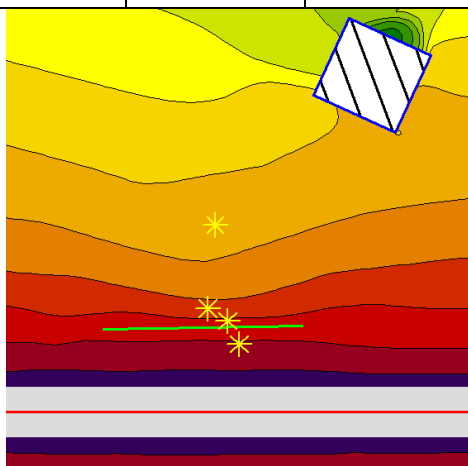
Poligon 1 – zieleń – żywopłot

Poligon badawczy numer 1 znajduje się w miejscowości Biórków. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Trasa oraz niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Pasma żywopłotu znajduje się w

odległości 6,6 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik oraz rów ściekowy. Wymiary żywopłotu to 1,6 m wysokości oraz 1,2 m szerokości .

Tablica 2.1. Wyniki pomiaru na poligonie nr. 1.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	[m]
1,5 m przed	70,8	70,8	71,5	8,1
1,5 m za	66,7	66,8	68,5	12,8
10 m za	61,3	61,8	65,7	21,3
Nad przegrodą	68,4	68,4	69,2	7,2



Rys. 2.1 Mapa akustyczna poligonu 1.

Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni żywopłot o wysokości 1,6 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 4 dB. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika od źródła hałasu spada jego poziom. Około 19 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 6-9 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika. Wpływ na to ma nie tylko obecność przegrody, ale także trawiaste pokrycie terenu. Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m, a więc nad przegrodą, hałas jest o około 2 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach. Podsumowując – żywopłot spełnia swoje funkcje osłony akustycznej, ale tylko w granicach swojej wysokości. Pozostały efekt redukcji hałasu osiągnięty zostaje poprzez odległość i trawiaste pokrycie terenu.

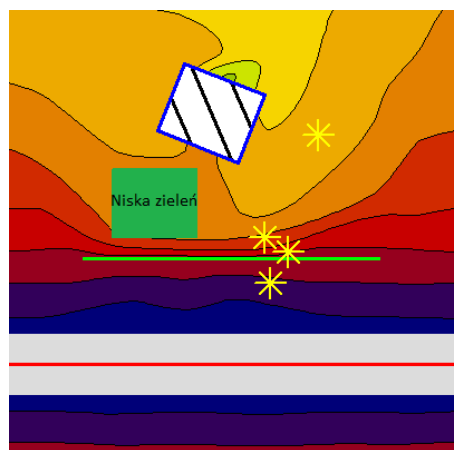
Poligon 2 – zieleń – żywopłot (tuje)

Poligon badawczy numer 2 także znajduje się w miejscowości Biórków. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Pasma żywopłotu znajduje się w odległości 6,5 m od krawędzi jezdni w szerokości tej występuje chodnik oraz rów ściekowy. Wymiary żywopłotu to 3,6 m wysokości oraz 1,4 m szerokości.

Tablica 2.2. Wyniki pomiaru na poligonie nr. 2.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	[m]

1,5 m przed	72,4	72,9	72,3	8,5
1,5 m za	66,0	66,6	68,1	12,9
10 m za	62,7	63,0	65,1	21,4
Nad przegrodą	69,4	69,7	69,7	10,7



Rys. 2.2 Mapa akustyczna poligonu 2.

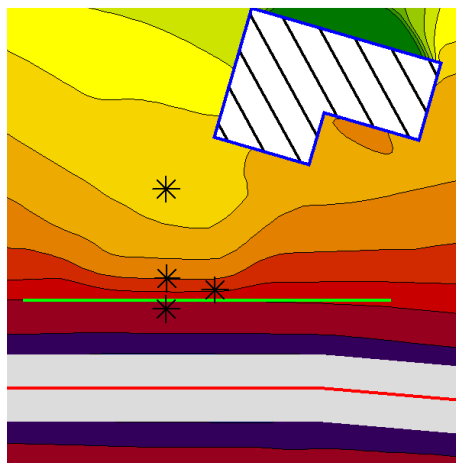
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni żywopłot o wysokości 3,6 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 6 dB. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika od źródła hałasu spada wielkość jego odbioru. Około 19 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 7-10 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.2). Wpływ na to ma nie tylko obecność przegrody, ale także trawiaste pokrycie terenu, obecność niskiej zieleni oraz obecność zabudowy niewrażliwej. Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest o około 2-3 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m. w analogicznych punktach.

Poligon 3 – zielen – żywopłot (tuje)

Poligon badawczy numer 3 znajduje się w miejscowości Posądz. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska. Na odcinku drogi obejmującym badany obszar występuje kilka krótkich łuków poziomych. Poziom drogi znajduje się 1 m. poniżej poziomu terenu, na którym przeprowadzono pomiar. Pasma żywopłotu leży w odległości 6,8 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje rów ściekowy. Wymiary żywopłotu to 2,4 m wysokości oraz 0,8 m szerokości.

Tablica 2.3 Wyniki pomiaru na poligonie nr. 3.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,0 m przed	70,5	70,4	70,2	9,3
1,5 m za	66,6	66,5	67,4	12,6
10 m za	60,4	59,9	64,2	21,1
Nad przegrodą	69,0	68,9	69,7	10,7



Rys. 2.3. Mapa akustyczna poligonu 3.

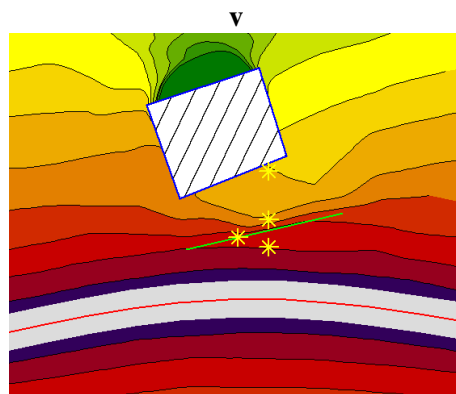
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni pas tui o wysokości 2,4 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 3,9 dB.

Poligon 4 – zieleń – żywopłot (tuje)

Poligon badawczy numer 4 znajduje się w miejscowości Zielonki. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Na odcinku obejmującym badany obszar znajdują się łuki poziome o mały promieniu. Pasma żywopłotu znajduje się w odległości 7 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje pasmo porośnięte trawą.

Tablica 2.4. Wyniki pomiaru na poligonie nr. 4.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,5 m przed	70,3	70,5	70,2	9,0
1,5 m za	64,1	64,3	67,1	14,0
8 m za	62,1	62,4	63,3	20,5
Nad przegrodą	69,4	69,4	69,3	11,5



Rys. 2.4. Mapa akustyczna poligonu 4.

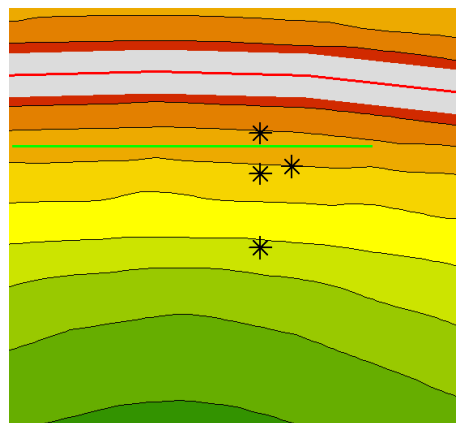
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni żywopłot o wysokości 3,1 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 6 dB. Około 18 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 7-8 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.4).

Poligon 5 – zieleń – żywopłot (tuje)

Poligon badawczy numer 5 znajduje się w miejscowości Biórków Mały. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska. Na odcinku drogi obejmującym badany obszar znajdują się dwa łuki poziome. Pasma żywopłotu znajduje się w odległości 6 m od krawędzi jezdni. Pomiędzy drogą, a ogrodzeniem występuje chodnik oraz spadek o szerokości 6m i różnicy terenowej 2,4m. Wymiary żywopłotu to 5,0 m wysokości oraz 3,0 m szerokości.

Tablica 2.5 Wyniki pomiaru na poligonie nr 5.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	[m]
1,0 m przed	63,5	64,8	70,4	8,5
1,5 m za	60,6	62,1	65,7	14,0
10 m za	58,9	60,2	62,2	22,5
Nad przegrodą	66,8	68,3	67,8	11,0



Rys. 2.5. Mapa akustyczna poligonu 5.

Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni żywopłot o wysokości ok. 5 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 3 dB. Około 20 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 4-8 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.5). Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest nawet do około 6 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach. Dzieje się tak dlatego, że droga na analizowanym odcinku prowadzona jest na nasypie. Odbiornik wraz ze wzrostem wysokości jego ustawienia zbliża się do poziomu źródła hałasu czyli poziomu jezdni. Żywopłot spełnia swoje funkcje osłony akustycznej. Pozostały efekt redukcji hałasu osiągnięty zostaje poprzez odległość oraz obecność zieleni i trawiastego pokrycia terenu. Zasadniczy wpływ na odbiór hałasu ma

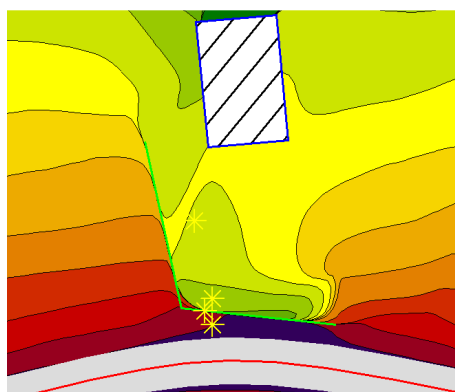
także obecność nasypu drogowego. Aby jeszcze bardziej zwiększyć skuteczność przegrody zielonej należałoby zapewnić jej większą gęstość w wyższych częściach.

Poligon 6 – kamienny mur

Poligon badawczy numer 6 znajduje się w miejscowości Zielonki. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Na analizowanym odcinku drogi występuje nieznaczne pochylenie podłużne oraz znajdują się łuki poziome o niewielkich promieniach. Przegroda w postaci kamiennego muru leży w odległości 3,2 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik i wąski pas zieleni. Wymiary muru to 2,1 m wysokości oraz 0,38 m grubości. Teren za murem porośnięty jest pojedynczymi drzewami i krzewami. Jeden z boków poligonu porasta zwarty pas zieleni.

Tablica 2.6 Wyniki pomiaru na poligonie nr 6.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	[m]
1,5 m przed	71,3	72,4	70,8	5,2
1,5 m za	52,5	53,6	66,8	8,6
10 m za	54,8	55,7	62,0	17,1
Nad przegrodą	60,0	61,0	61,9	6,9



Rys. 2.6. Mapa akustyczna poligonu 6.

Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni kamienny mur o wysokości 2,1 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 18 dB. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika hałas wzrasta. Jest to efekt dopływu hałasu z boku działki oraz stosunkowo niewielka wysokość muru. Mimo to 15 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 8-16 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.6). Na poziomie 3 m hałas jest nawet do około 13 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach. Mur spełnia swoje funkcje osłony akustycznej, ale tylko w zakresie swojej wysokości. W celu poprawy klimatu akustycznego należałoby zwiększyć wysokość przegrody oraz „domknąć” działkę z boków.

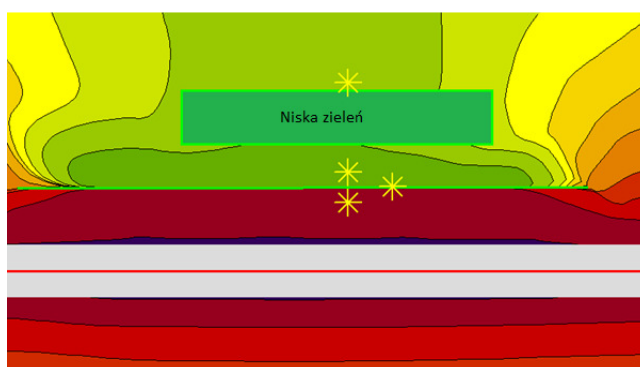
Poligon 7 – kamienny mur

Poligon badawczy numer 7 znajduje się w miejscowości Januszowice. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 6 m. Na analizowanym odcinku drogi występuje znaczne pochylenie podłużne oraz znajdują się łuki poziome o małych promieniach. Przegroda w postaci kamiennego muru leży w

odległości 6,25 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje pobocze, rów ściekowy i pas zieleni. Wymiary muru to 2,7 m. wysokości oraz 0,4 m. grubości. Teren za murem nie jest płaski, łagodnie wznosi się ku górze i jest porośnięty pojedynczymi drzewami i krzewami.

Tablica 2.7 Wyniki pomiaru na poligonie nr 6.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,5 m przed	70,0	71,1	73,5	7,8
1,5 m za	52,5	52,9	65,3	11,2
10 m za	54,0	54,2	59,8	19,7
Nad przegrodą	60,3	61,1	63,7	9,5



Rys. 2.7. Mapa akustyczna poligonu 7.

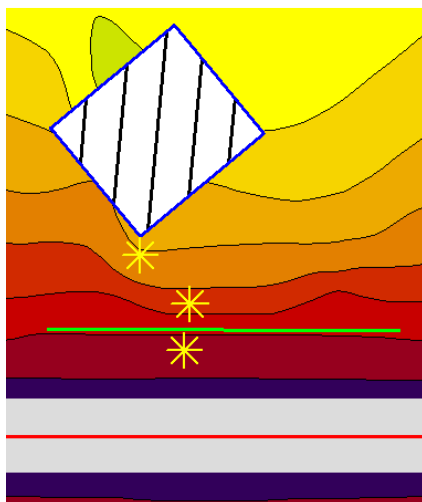
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni kamienny mur o wysokości 2,7 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 18 dB. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika hałas wzrasta. Jest to efekt wznoszenia się terenu za przegrodą i tym samym dopływu hałasu nad murem. Mimo to 18 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 14-16 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.7).

Poligon 8 – ogrodzenie betonowe ażurowe

Poligon badawczy numer 8 znajduje się w miejscowości Szarów. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Trasa oraz niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Betonowe, ażurowe ogrodzenie leży w odległości 5 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik, rów ściekowy i pas zieleni. Wymiary ogrodzenia to 2,2 m wysokości. Ogrodzenie porośnięte jest gęstą warstwą roślinności pnącej tworząc „zieloną ścianę”. Teren za murem jest płaski, i porośnięty drzewami i krzewami.

Tablica 2.8. Wyniki pomiaru na poligonie nr 8.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,0 m przed	70,9	70,4	70,5	7,5
1,5 m za	66,7	66,2	69,0	10,2
5,5 m za	63,7	63,3	66,3	14,2



Rys. 2.8. Mapa akustyczna poligonu 8.

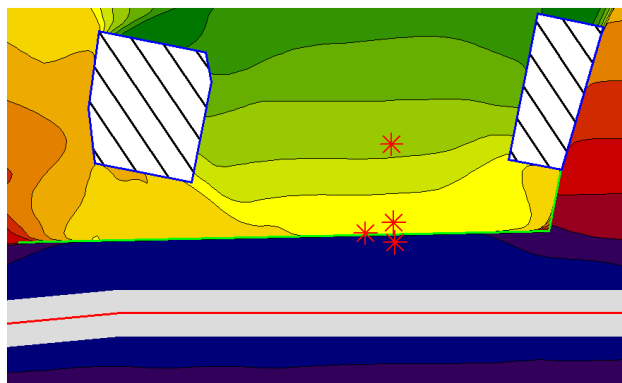
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni betonowe, ażurowe ogrodzenie gęsto porośnięte roślinnością o wysokości 2,2 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 4 dB. Około 13 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 4-7 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.8). Na poziomie 3 m hałas jest o około 3 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach. Rozwiązaniem problemu niskiej skuteczności tłumienia hałasu może okazać się wypełnienie ażurowych przęseł przegrody oraz wykonanie przegród bocznych (zieleń lub ogrodzenie pełne).

Poligon 9 – ogrodzenie betonowe

Poligon badawczy numer 9 znajduje się w miejscowości Posądz. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Na odcinku drogi poprzedzającym badany obszar znajduje się kilka łuków poziomych. Betonowe ogrodzenie leży w odległości 7,0 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje pobocze i rów ściekowy. Wymiary ogrodzenia to 1,8 m wysokości oraz 0,15 m grubości. Porasta je gęsta roślinność pnąca. Teren za ogrodzeniem jest płaski.

Tablica 2.9. Wyniki pomiaru na poligonie nr 9.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,0 m przed	71,6	71,2	70,8	9,5
1,5 m za	58,8	58,3	68,2	12,2
10 m za	57,1	56,0	62,8	20,7
Nad przegrodą	69,0	68,5	69,5	10,6



Rys. 2.9. Mapa akustyczna poligonu 9.

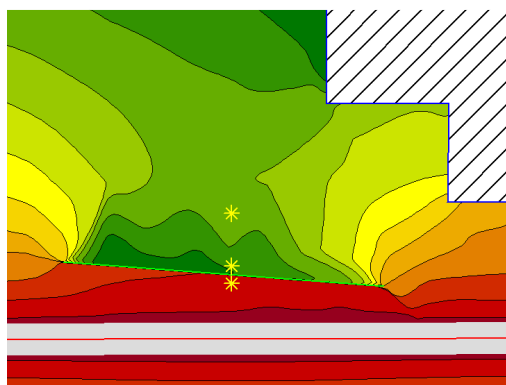
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni betonowe ogrodzenie pełne gęsto porośnięte roślinnością o wysokości 1,8 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 13 dB. Około 19 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 8-15 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.9). Wpływ na to ma nie tylko obecność przegrody, ale także trawiaste pokrycie terenu oraz obecność zabudowy niewrażliwej. Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest o około 6-10 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach. Wśród środków zastosowanych na poligonie można dostrzec próby stworzenia pełnej ochrony przed hałasem. Dzięki ogrodzeniu i zamknięciu boków działki zabudową na jej terenie tworzy się obszar o dobrym klimacie akustycznym. Problem stanowi stosunkowo niewielka wysokość ogrodzenia betonowego.

Poligon 10 – mur ceglany

Poligon badawczy numer 10 znajduje się w Krakowie na ul. Glogera. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 6 m. Na odcinku drogi obejmującym badany obszar niweleta drogi posiada nieznaczny spadek podłużny i przebiega po terenie. Ceglany mur leży w odległości 9,0 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje wąski ciąg pieszy i pas trawy. Wymiary ogrodzenia to 3,0 m wysokości oraz 0,25 m grubości. Charakterystycznym elementem dotyczącym tego poligonu jest dodatkowa różnica wysokości między obszarem za murem, a poziomem drogi.

Tablica 2.10. Wyniki pomiaru na poligonie nr 10.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,5 m przed	62,5	66,0	66,0	10,5
1,5 m za	51,8	54,9	57,8	13,8
10 m za	52,7	55,6	59,0	22,3



Rys. 2.10. Mapa akustyczna poligonu 10.

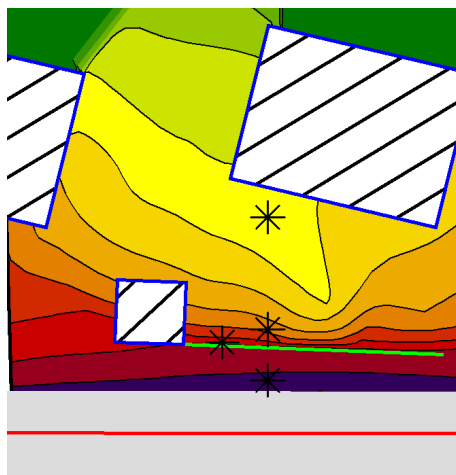
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni ceglany mur o wysokości 3 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 10-12 dB. Tak wielka rozbieżność jest efektem nie tylko skuteczności przegrody, ale także różnicy wysokości między terenem przed i za przegrodą (3,6 m). Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest o około 3 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach (tab. 2.10).

Poligon 11 – ogrodzenie drewniane

Poligon badawczy numer 11 znajduje się w miejscowości Zielonki. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Na analizowanym odcinku drogi występuje niewielkie pochylenie podłużne oraz łuki poziome o małych promieniach. Ogrodzenie murowane o drewnianych przęsłach leży w odległości 4,5 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje wzmocniona skarpa wykopu oraz chodnik. Wymiary ogrodzenia to 2,1 m wysokości oraz kilka cm grubości. Dodatkowo ogrodzenie znajduje się na nasypie o wysokości 1,2 m.

Tablica 2.11. Wyniki pomiaru na poligonie nr 11.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
3,0 m przed	73,2	73,0	73,2	5,0
1,5 m za	60,3	60,5	67,6	9,6
10 m za	57,5	58,2	59,4	18,1
Nad przegrodą	65,4	65,5	66,2	8,0



Rys. 2.11. Mapa akustyczna poligonu 11.

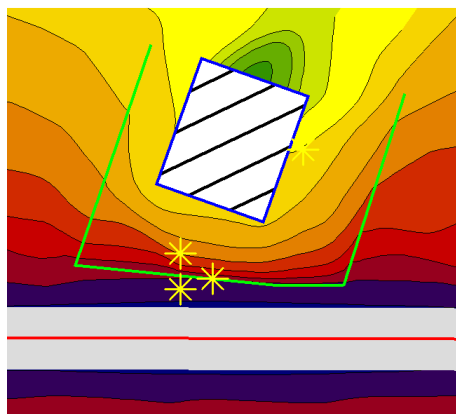
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni zarówno ogrodzenie drewniane, lokalizacja drogi w wykopie jak również lokalizacja obiektu niewrażliwego (garażu) w pobliżu jezdni. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, przed i za przegrodą, wynosi około 12,5 dB.

Poligon 12 – ogrodzenie drewniane

Poligon badawczy numer 12 znajduje się w miejscowości Zielonki. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Na analizowanym odcinku drogi występuje niewielkie pochylenie podłużne oraz łuki poziome o małych promieniach. Ogrodzenie drewniane leży w odległości 2,5 m. od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik o szerokości 2 m. Wymiary ogrodzenia to 2,0 m wysokości oraz kilka cm grubości. Dodatkowo za ogrodzeniem znajduje się pas krzewów o wysokości ok. 2 m.

Tablica 2.12. Wyniki pomiaru na poligonie nr 12.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,5 m przed	72,1	73,9	70,1	4,5
1,5 m za	64,0	65,9	66,3	7,6
10 m za	59,2	61,4	63,3	16,1
Nad przegrodą	66,9	68,7	67,5	6,0



Rys. 2.12. Mapa akustyczna poligonu 12.

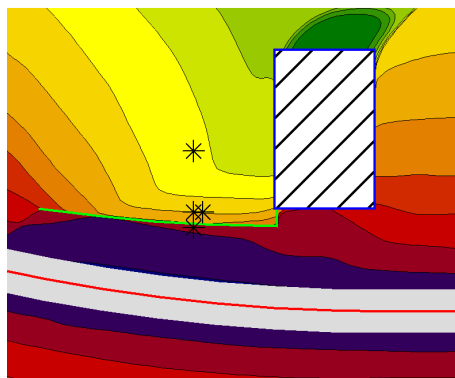
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni drewniane ogrodzenie o wysokości 2,0 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 8 dB. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika od źródła hałasu spada wielkość jego odbioru. Około 15 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 13 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.12). Wpływ na to ma nie tylko obecność przegrody, ale także obecność roślinności niskiej i krzewów oraz przegród bocznych. Skuteczność redukcji hałasu nieznacznie spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest o około 1-2 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach.

Poligon 13 – gabion z krzewami

Poligon badawczy numer 13 znajduje się w Krakowie na ul. Królowej Jadwigi. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 6 m. Na analizowanym odcinku trasa oraz niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie.. Ogrodzenie w postaci gabionów leży w odległości 2,0 m. od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik o szerokości 2 m. Wymiary ogrodzenia to 1,8 m wysokości oraz 0,7 m grubości. Dodatkowo za ogrodzeniem znajduje się pas krzewów.

Tablica 2.13. Wyniki pomiaru na poligonie nr 13.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
0,3 m przed	69,6	68,7	68,8	4,7
1,5 m za	61,3	60,1	64,9	7,2
8,5 m za	-	-	57,4	14,2
Nad przegrodą	64,7	63,6	65,1	5,4



Rys. 2.13. Mapa akustyczna poligonu 13.

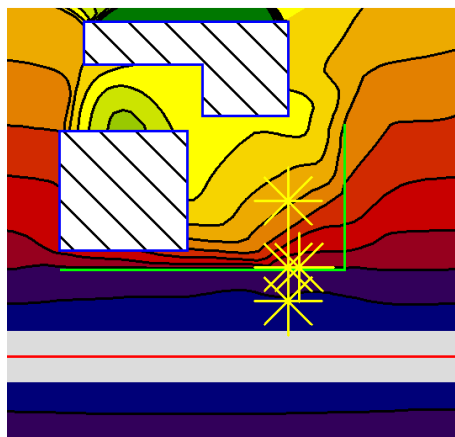
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni gabion o wysokości 1,8 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegradą, wynosi około 8 dB. Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest ponad 4 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m. w analogicznych punktach (tab. 2.13).

Poligon 14 – gabion

Poligon badawczy numer 14 znajduje się w miejscowości Jerzmanowice. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Na analizowanym odcinku drogi znajduje się pochylenie podłużne o nieznacznym nachyleniu. Istotnym elementem tego poligonu jest zniszczona nawierzchnia drogi. Ogrodzenie w postaci gabionów leży w odległości 6,5 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje szerokie pobocze i rów. Wymiary ogrodzenia to 1,8 m. wysokości oraz 0,3 m grubości. Dodatkowo za ogrodzeniem znajduje się pojedyncze drzewa.

Tablica 2.13. Wyniki pomiaru na poligonie nr 13.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
3,5 m przed	76,3	76,8	76,0	6,5
0,2 m za	70,0	70,2	74,0	10,5
8 m za	67,8	68,1	68,1	18,3
Nad przegradą	70,2	70,3	69,9	10,2



Rys. 2.14. Mapa akustyczna poligonu 14.

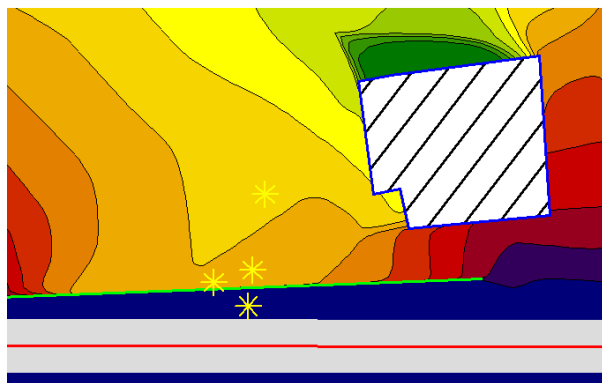
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni gabion o wysokości 1,8 m. Dodatkowo na działce znajdują się wysokie drzewa iglaste. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 6 dB (tab. 2.14).

Poligon 15 – stalowa siatka i „pleksi”

Poligon badawczy numer 15 znajduje się w miejscowości Zielonki. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Na odcinku drogi obejmującym badany obszar znajdują się dwa łuki poziome. Ogrodzenie w postaci stalowej siatki i falowanych płyt „pleksi” leży w odległości 2,5 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik. Wymiary ogrodzenia to 1,8 m wysokości. Dodatkowo za ogrodzeniem znajdują się krzewy o wysokości 2,7 m (rys. 63).

Tablica 2.14. Wyniki pomiaru na poligonie nr 14.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	[m]
1,5 m przed	75,9	75,0	72,2	4,5
1,0 m za	63,9	63,3	67,2	7,1
8,5 m za	59,3	59,0	62,0	14,6
Nad przegrodą	71,6	70,9	71,1	11,5



Rys. 2.15. Mapa akustyczna poligonu 15.

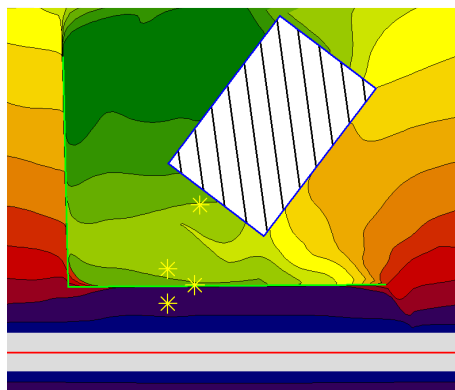
Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni ogrodzenie ze stalowej siatki z przytwierdzonymi płytami pleksi o wysokości 1,8 m oraz rząd krzewów o wysokości 2,7 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 12 dB. Około 14 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 10-16 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.15).

Poligon 16 – ogrodzenie stalowe ze słupami murowanymi, krzewy oraz betonowy prefabrykowany mur

Poligon badawczy numer 16 znajduje się w miejscowości Biórków Wielki. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 8 m. Niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Ogrodzenie w postaci ogrodzenia stalowego ze słupami murowanymi leży w odległości 6,0 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje chodnik i zatoka autobusowa. Dodatkowo za ogrodzeniem znajdują się wysokie krzewy (4,2 m) oraz betonowy prefabrykowany murek (2,5 m).

Tablica 2.15. Wyniki pomiaru na poligonie nr 15.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m		Wys. 3,0 m	
1,5 m przed	72,6	73,0	72,8	8,5
1,5 m za	56,1	56,3	65,4	13,6
10 m za	53,0	52,6	55,7	22,1
Nad przegrodą	69,4	69,6	70,5	11,5



Rys. 2.16. Mapa akustyczna poligonu 16.

Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni ogrodzenie stalowe ze słupami murowanymi, rząd krzewów o wysokości 4,2 m i betonowy murek o wysokości 2,5 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za przegrodą, wynosi około 16 dB. Około 20 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 17-20 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika (tab. 2.16). Wpływ na to ma przede wszystkim obecność potrójnej przegrody, ale także trawiaste pokrycie terenu, obecność krzewów i przegrody bocznej.

Poligon 17 – ogrodzenie i kilka rzędów krzewów

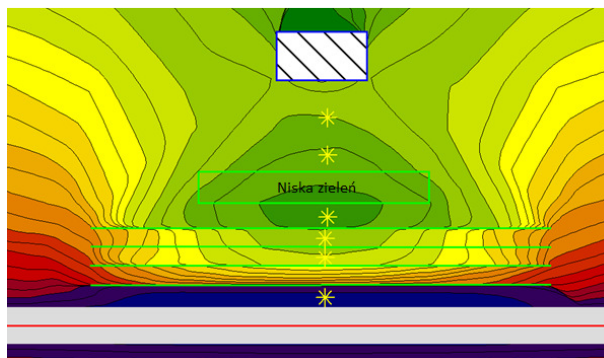
Poligon badawczy numer 17 znajduje się w miejscowości Januszowice. Droga w miejscu przeprowadzenia pomiaru ma przekrój jednojezdniowy dwupasowy o szerokości około 7 m. Niweleta drogi jest płaska i przebiega po terenie. Ogrodzenie w postaci ogrodzenia drewnianego ze słupami murowanymi leży w odległości 3,0 m od krawędzi jezdni a pomiędzy występuje spadek terenu porośnięty trawą o szerokości 3 m. Dodatkowo za ogrodzeniem znajdują się 4 rzędy wysokich krzewów (ok. 4 m). Teren za ogrodzeniem opada w dół.

Tablica 2.17. Wyniki pomiaru na poligonie nr 17.

	Pomiar I	Pomiar II	Pomiar III	Pomiar IV	Odległość od źródła hałasu [m]
	Wys. 1,5 m			Wys. 3,0 m	
1,5 m przed	72,8	72,7	72,6	71,8	5,0
1,5 m za	53,2	55,5	51,6	55,0	17,5
11,5 m za	53,8	57,2	52,2	54,4	27,5
17,5 m za	53,6	54,9	52,4	54,2	33,5

Tablica 2.18. Wyniki drugiego pomiaru na poligonie nr 17.

	Pomiar I	Pomiar II
	Wys. 1,5 m	
1,5 m przed	72,5	73,7
1,0 za 2 rzędem	56,2	60,0
1,0 m za 3 rzędem	52,6	54,2
1,5 m za 4 rzędem	54,6	56,0



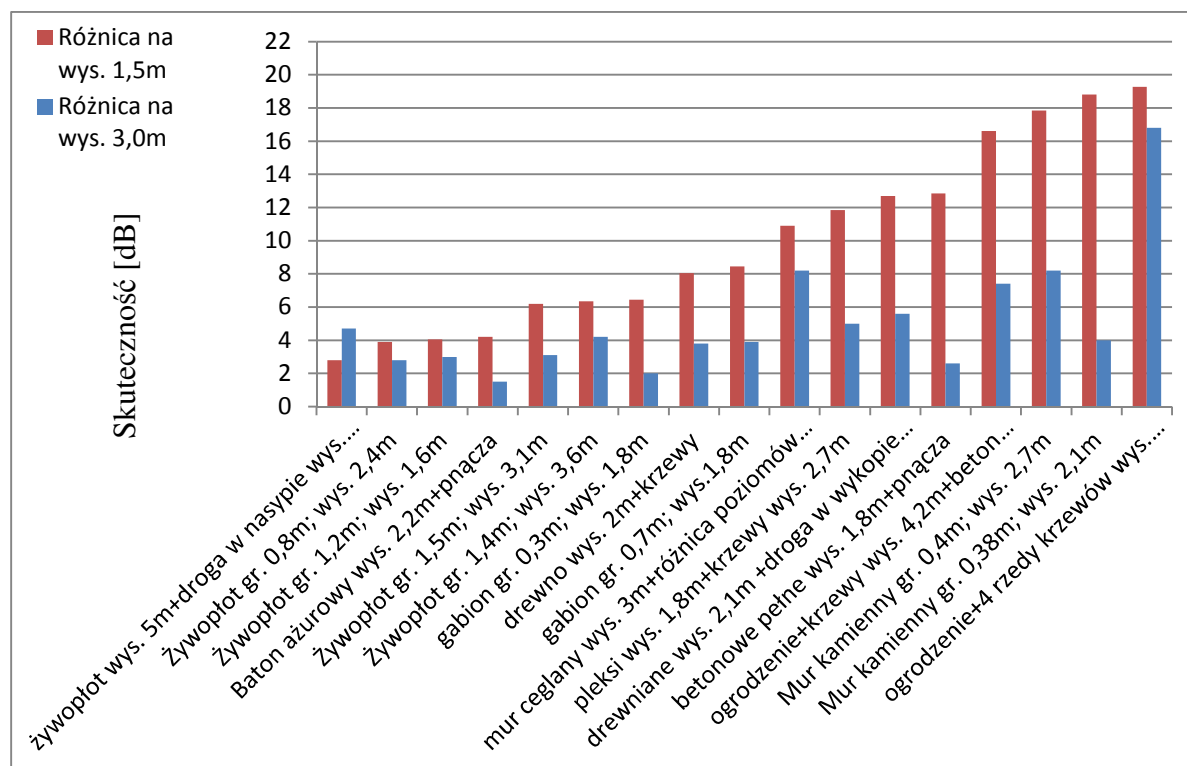
Rys. 2.17. Mapa akustyczna poligonu 17.

Na analizowanym poligonie badawczym funkcje ochrony przed hałasem drogowym pełni ogrodzenie drewniane ze słupami murowanymi oraz 4 rzędy krzewów o wysokości około 4,0 m. Jak wykazał pomiar, różnica między odbieranym hałasem na poziomie 1,5 m, bezpośrednio przed i za wszystkimi przegrodami, wynosi około 16-20 dB. Wraz ze wzrostem odległości odbiornika za przegrodą hałas nieznacznie wzrasta. Jest to wynik dochodzenia do odbiornika fal akustycznych nieosłoniętym bokiem działki. Mimo to około 30,5 m od krawędzi jezdni poziom hałasu maleje o około 18-20 dB w zależności od wysokości ustawienia odbiornika. Wpływ na to ma przede wszystkim obecność czterech rzędów krzewów, ale także trawiaste pokrycie terenu i obecność innej roślinności. Nie bez znaczenia do rozchodzenia się hałasu pozostaje również spadek terenu za ogrodzeniem. Skuteczność redukcji hałasu spada wraz ze wzrostem wysokości odbiornika. Na poziomie 3 m hałas jest o około 2-3 dB wyższy niż na wysokości 1,5 m w analogicznych punktach. Środki zastosowane na poligonie spełniają swoje zadanie i można je uznać za stosunkowo udaną próbę skutecznej ochrony przed hałasem drogowym.

Podsumowanie

Pomiary zostały przeprowadzone na siedemnastu różnych poligonach badawczych. Poligony różniły się między sobą rodzajem przegród oraz zagospodarowaniem terenu. Wyniki pomiarów zostały zestawione na jednym wykresie (rys. 2.18): Niepewność wyników pomiarów i określonych różnic poziomów hałasu związana z powtarzalnością wyników dla przeprowadzonych badań została określona na poziomie 1,2[dB].

Spadek zmierzonych wartości wynika również z różnej odległości punktów pomiarowych od źródła hałasu. Oceniając spadek poziomu hałasu związany ze wzrostem odległości od źródła – należy dodatkowo mieć na uwadze, że sposób zamodelowania źródła hałasu (w osi jezdni) w przypadku punktów pomiarowych położonych blisko krawędzi jezdni stanowi uproszczenie, ponieważ większy wpływ na zmierzony poziom hałasu ma ruch na pasie jezdni położonym „bliżej” miernika - zamienne źródło hałasu jest w istocie bliżej punktu pomiarowego niż źródło zamodelowane w osi jezdni (co przekłada na „szybszy” spadek poziomu hałasu wraz ze zwiększaniem odległości od krawędzi jezdni).

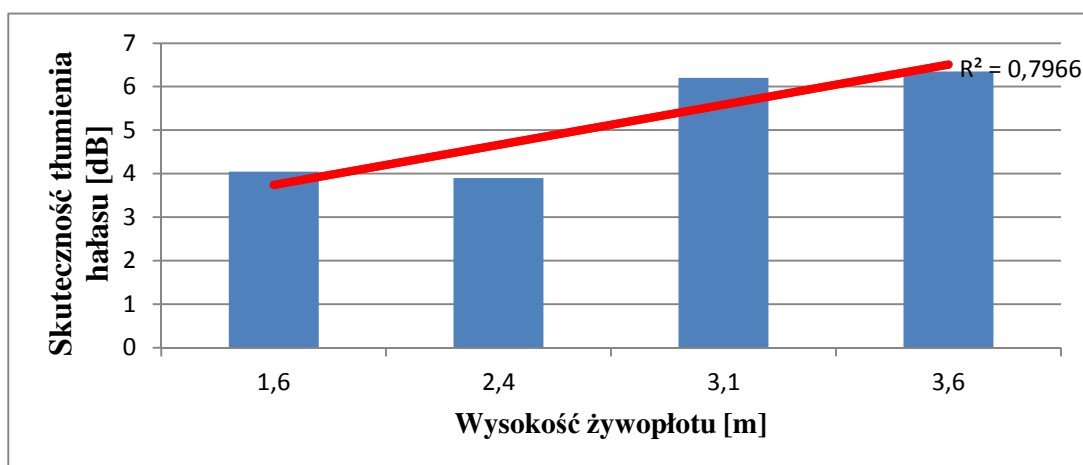


Rys. 2.18. Różnica poziomu hałasu przed i za przesłoną – wyniki z badanych poligonów.

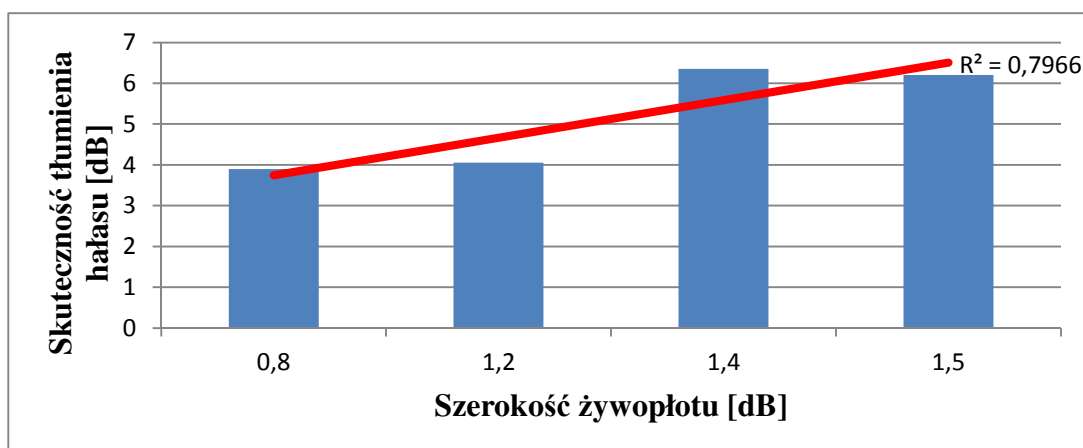
Analiza wyników pomiarów oraz ich zestawienia na wykresie pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- Na analizowanych poligonach pomimo stosowania wielu środków ochronnych praktycznie nie występuje skoordynowana i kompleksowa ochrona przed hałasem.
- Wszystkie analizowane przegrody zapewniają ochronę przed hałasem tylko w granicach swej wysokości, wraz ze wzrostem wysokości odbioru maleje ich skuteczność.
- Żadna z przegród, nie licząc żywoplotów składających się z wysokich krzewów, nie przekroczyła wysokości 3 m.
- Spośród pojedynczych środków ochrony przed hałasem największą osłonę zapewniają mury kamienne. Różnica hałasu bezpośrednio przed i za murem to nawet 18-19 dB, która może wynikać z dodatkowego wpływu fali odbitej od muru.
- Ogrodzenia betonowe, pełne wykazują zdecydowanie wyższą skuteczność niż ogrodzenia betonowe, ażurowe. Estetykę i izolacyjność obu rodzajów ogrodzenia poprawić może roślinność.
- Prowadzenie drogi w wykopie pozwala osiągnąć dobrą izolacyjność akustyczną nawet przy użyciu cienkich przegród. Duży wpływ na odbiór hałasu ma różnica w poziomach terenu przed i za przegrodą.
- Skuteczność przegrody zwiększa się wraz z jej grubością/masą.
- Najlepszy klimat akustyczny na działce osiągnąć można stosując kombinacje różnych środków ochrony przed hałasem: przegród, zieleni, trawiastego pokrycia terenu, zabudowy niewrażliwej, przegród bocznych, odległości.
- Dużą skuteczność w ochronie przed hałasem można osiągnąć za pośrednictwem zwartej zieleni. Jej skuteczność rośnie wraz z szerokością zielonej bariery. Krzewy i drzewa pozwalają także tworzyć przegrody o dużej wysokości. Najmniejszy spadek skuteczności

przegrody wraz z wzrostem wysokości odbioru wykazała właśnie kilkunastometrowa przegroda zielona składająca się z kilku rzędów 4 metrowych krzewów. Wpływ wymiarów przegród zielonych na ich izolacyjność pokazują wykresy (rys. 2.19, 2.20).



Rys.2.19 Wpływ wysokości przegrody „zielonej” na redukcję hałasu.



Rys.2.20 Wpływ szerokości przegrody „zielonej” na redukcję hałasu.

3. Badania symulacyjne hałasu

3.1. Badania symulacyjne barier typu Jersey oraz wału ziemnego

Zarys metodyki badawczej

Użyte metody badawcze opierają się głównie na metodzie symulacyjnej rozchodzenia się hałasu oraz prostej analizie i ocenie wyników modelowania w programie SoundPlan. Modelowano wybrane elementy oraz ich lokalizacje w przekroju drogi a także ukształtowania wysokościowego, ze zmiennymi dotyczącymi geometrii przekroju (szerokość pasa, ilość pasów, wysokość bariery, szerokość korony wału ziemnego, nachylenie jego skarp), natężenia ruchu (struktura rodzajowa, rozkład, prędkość) oraz ukształtowania terenu a także miejsca występowania i wysokości odbiorników.

Dobór modelowych rozwiązań dla analizowanych lokalizacji dróg

Z uwagi na fakt, że bezpośrednio skuteczność urządzeń ekranujących zależy od cienia akustycznego postanowiono rozważyć różne przebiegi drogi i pochylenia terenu w jej otoczeniu, co może mieć znaczenie dla efektów redukcji hałasu przez urządzenie o niezmiennych parametrach. Rozważano 4 lokalizacje (droga o lokalizacji stokowej, grzbietowej oraz dolinowej), opracowano 12 modeli symulacyjnych przedstawiających rozprzestrzenianie się hałasu w otoczeniu drogi w zależności od zastosowanej bariery, jej geometrii oraz odległości od krawędzi jezdni. Podzielono je dodatkowo na 3 grupy ze względu na pochylenie terenu w jakim droga przebiega. Natomiast dla lokalizacji drogi w terenie płaskim przeprowadzono badania dla jednej grupy zawierającej 4 modele symulacyjne zakładając jedno możliwe pochylenie (0%). Łącznie uzyskano 10 grup badawczych różniących się pomiędzy sobą pochyleniem terenu w otoczeniu drogi. Dodatkowo w celu zbadania skuteczności danej bariery przeprowadzono symulację dla terenów nie zawierających żadnej przeszkody.

Lokalizacja grzbietowa

Pierwszą analizowaną lokalizacją drogi jest lokalizacja grzbietowa. Jest to sytuacja, w której przekrój drogi znajduje się w nasypie a teren wokół opada w dół. Analizie zostaną poddane 3 różne ukształtowania terenu, zróżnicowane pod względem pochylenia skarp wokół trasy. Poniżej zamieszczono zdjęcie przedstawiające przebieg drogi w tej lokalizacji (rys.3.1).



Rys. 3.1 Przebieg drogi w lokalizacji grzbietowej

W niniejszej pracy, dla tej lokalizacji, do badań symulacyjnych zostały zastosowane następujące modelowe rozwiązania przekroju drogowego:

GRUPA 1 – teren o pochyleniu 20% po stronie lewej i 10% po stronie prawej drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariery betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariery betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

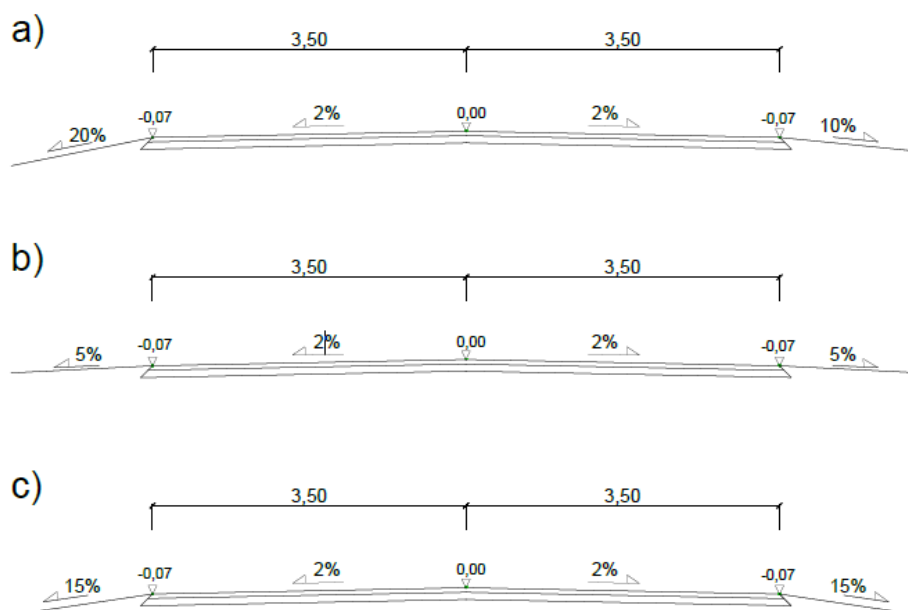
GRUPA 2 – teren o jednakowym 5% pochyleniu po obu stronach drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariery betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariery betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

GRUPA 3 – teren o jednakowym 15% pochyleniu po obu stronach drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariery betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariery betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

W celu zobrazowania różnicy pomiędzy kolejnymi grupami poniżej zamieszczono rysunki przekroju drogowego pokazujące różnice w ukształtowaniu terenu wokół ulicy. W kolejnym rozdziale zamieszczono rysunki przekrojów zawierających rozmieszczenie barier oraz punktów, w których obliczano poziom hałasu nazywanych dalej odbiornikami.



Rys. 3.2 Przekrój poprzeczny drogi w lokalizacji grzbietowej, nieposiadający barier dla grupy a) 1, b) 2 oraz c) 3

Lokalizacja dolinowa

Drugą analizowaną lokalizacją jest lokalizacja dolinowa. Jest to sytuacja, w której przekrój drogi znajduje się w wykopie a otaczający teren wnosi się. Tak jak powyżej analizie zostaną poddane 3 przypadki ukształtowania terenu, zróżnicowane pod względem pochylenia skarp wokół trasy. Poniżej zamieszczono zdjęcie przedstawiające przebieg drogi w tej lokalizacji.



Rys. 3.3 Przebieg drogi w lokalizacji dolinowej

Dla takiej lokalizacji, do badań symulacyjnych zostały zastosowane następujące modelowe rozwiązania przekroju drogowego:

GRUPA 4 – teren o jednakowym 5% pochyleniu po obu stronach drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 4m, szerokości górnej 1,5m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 4m, szerokości górnej 1,5m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

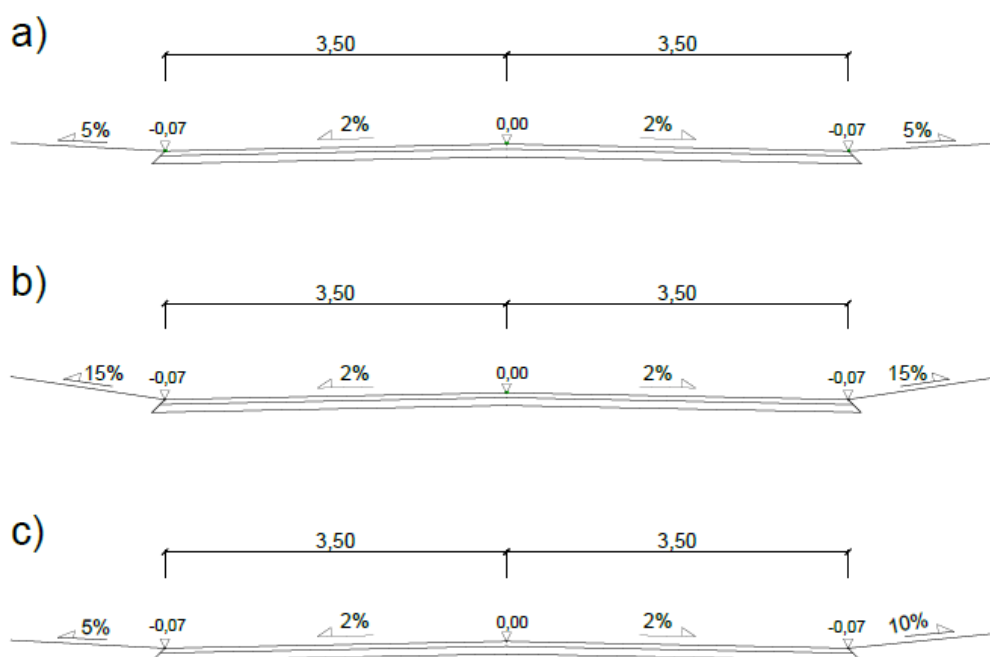
GRUPA 5 – teren o jednakowym 15% pochyleniu po obu stronach drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 4m, szerokości górnej 1,5m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 4m, szerokości górnej 1,5m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

GRUPA 6 – teren o pochyleniu 5% po stronie lewej i 10% po stronie prawej drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 1,2m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 4m, szerokości górnej 1,5m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 4m, szerokości górnej 1,5m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

Aby zobrazować różnicę pomiędzy kolejnymi grupami poniżej zamieszczono rysunki przekroju drogowego pokazujące ukształtowanie terenu wokół ulicy. W kolejnym rozdziale zamieszczono rysunki przekrojów zawierających rozmieszczenie barier oraz odbiorników hałasu.



Rys. 3.4 Przekrój poprzeczny drogi w lokalizacji dolinowej, nieposiadający barier dla grupy a) 1, b) 2 oraz c) 3

Lokalizacja stokowa

Trzecią analizowaną lokalizacją jest lokalizacja stokowa. Jest to sytuacja, w której przekrój drogi znajduje się w ukształtowaniu, w którym z jednej strony drogi teren opada a z drugiej wznosi się. Takie sytuacje możemy spotkać najczęściej w górach. Tutaj również analizie zostaną poddane 3 przypadki, zróżnicowane pod względem pochylenia skarp wokół trasy. Poniżej zamieszczono zdjęcie przedstawiające przebieg drogi w tej lokalizacji.



Rys. 3.5 Przebieg drogi w lokalizacji stokowej

Dla takiej lokalizacji, do badań symulacyjnych zostały zastosowane następujące modelowe rozwiązania przekroju drogowego:

GRUPA 7 – teren o jednakowym 10% pochyleniu po obu stronach drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

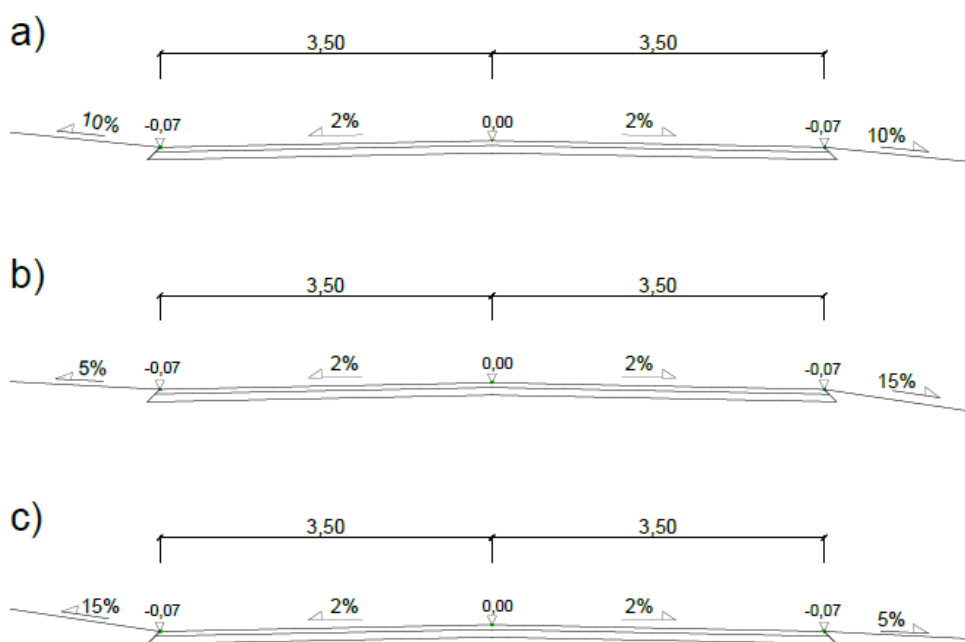
GRUPA 8 – teren o pochyleniu 5% po stronie lewej i 15 % po stronie prawej drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

GRUPA 9 – teren o pochyleniu 15% po stronie lewej i 5 % po stronie prawej od drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 5m, szerokości górnej 1m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

Aby zobrazować różnicę pomiędzy kolejnymi grupami poniżej zamieszczono rysunki przekroju drogowego pokazujące ukształtowanie terenu wokół ulicy. W kolejnym rozdziale zamieszczono rysunki przekrojów zawierających rozmieszczenie barier oraz odbiorników hałasu.



Rys. 3.6 Przekrój poprzeczny drogi w lokalizacji stokowej, nieposiadający barier dla grupy a) 1, b) 2 oraz c) 3

Lokalizacja w terenie płaskim

Ostatnia lokalizacja poddawana analizie obrazuje drogę w terenie płaskim. Teren wokół jezdni układa się jednakowo. W programie zadano zero procentowe pochylenie. W tej sytuacji wyodrębniono tylko jedną grupę przypadków dla takiego ukształtowania. Poniżej zamieszczono zdjęcie przedstawiające przebieg drogi w tej lokalizacji.



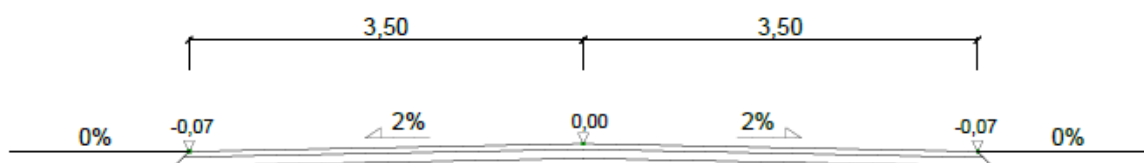
Rys. 3.7 Przebieg drogi w terenie płaskim

Dla takiej lokalizacji, do badań symulacyjnych zostały zastosowane następujące modelowe rozwiązania przekroju drogowego:

GRUPA 10 – teren płaski po obu stronach drogi, zawierającej w przekroju:

- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni
- Bariere betonową o wysokości 0,8m, oddaloną 2m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni
- Wał ziemny o wysokości 3m, szerokości górnej 2m, nachyleniu 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

Poniżej zamieszczono rysunek przekroju drogowego pokazujący ukształtowanie terenu wokół drogi. W kolejnym rozdziale zamieszczono rysunki przekrojów zawierających rozmieszczenie barier oraz odbiorników hałasu.



Rys. 3.8 Przekrój poprzeczny drogi w terenie płaskim, nieposiadający barier dla grupy 10

Modelowanie w programie SoundPlan

W programie SoundPlan należy wprowadzić dodatkowe dane dotyczące przekroju drogowego. Dla wszystkich grup zastosowano takie same parametry trasy – przekrój 1x2 (droga jednojezdniowa dwupasowa), o szerokości pasów 3,5 m. Założono, że w bezpośrednim otoczeniu drogi nie znajdują się już żadne inne przeszkody w rozchodzeniu się hałasu w postaci budynków, drzew, krzewów, przystanków autobusowych i innych.

Przy obliczeniu hałasu emitowanego przez poruszające się pojazdy założono dla każdej z grup taką samą charakterystykę a wprowadzane dane ruchowe przedstawiono w tab.3.1.

Tablica 3.1 Założone natężenie ruchu oraz prędkości pojazdów

Typ pojazdu	Natężenie ruchu [poj./h]		Prędkość pojazdów [km/h]
	dzień	noc	
s.o.	560	250	90
s.c.	140	70	70

W każdym z modeli w celu odczytania wartości rozchodzącego się hałasu zamieszczono 60 odbiorników w założonej odległości i wysokości od źródła. Wysokość odbiorników przyjęto odpowiednio na wysokości 1m (wzrost dzieci), 1,5m (wysokość ucha ludzkiego), 4m oraz 6m.

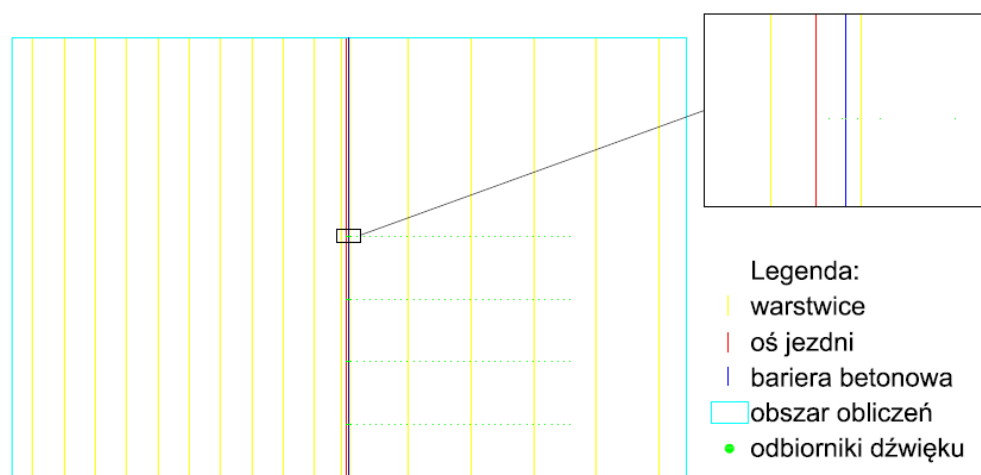
Elementy przekroju drogowego w każdym modelu posiadają jednakowe właściwości fizyczne, odpowiednio bariera betonowa jak i Wał ziemny. W każdej grupie zmieniano jedynie ich położenie względem krawędzi jezdni oraz wysokość a w przypadku wału ziemnego również szerokość korony. Nachylenie ścian wału ziemnego pozostaje w każdym przypadku jednakowe i wynosi 1:1.

Wszystkie modele poddane symulacji zostały opisane w kolejnych podpunktach. Wartości rozchodzenia się hałasu odczytane z każdego z odbiorników i dla każdego modelu oraz różnicę pomiędzy przekrojem bez barier i przekrojem z analizowanym elementem pokazano w tabelach i przedstawiono na wykresach.

Modele drogi w lokalizacji grzbietowej

Teren o pochyleniu 20% po stronie lewej i 10% po stronie prawej drogi

Podczas analizy w pierwszej kolejności stworzono dwuwymiarowy plik w programie Autocad odwzorowujący przekrój poprzeczny drogi. Zamieszczono w nim wszystkie elementy tworzące model. Nadano odpowiednie wysokości warstwicom oraz wrysowano je w takiej odległości, aby przedstawić rzeczywiste nachylenie analizowanego ukształtowania terenu. Poniżej przedstawiono przykład jednego z modeli dla tej grupy.



Rys. 3.9 Przykład odwzorowanie jednego z modeli grupy I w programie Autocad

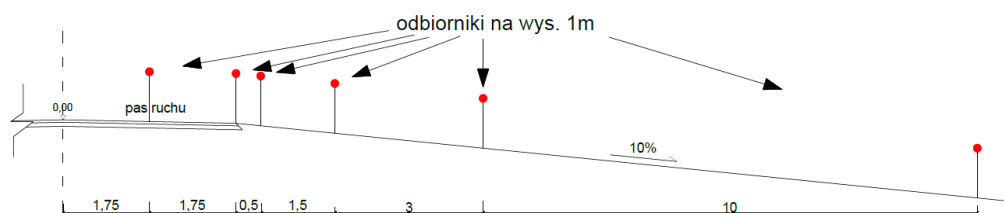
Linie przedstawiające warstwie narysowane po obu stronach osi jezdni są przedstawione w różnych odległościach. Manewrując odległością nadawano spadki terenu zgodnie z założeniami. Jeżeli chodzi o wysokości są one zadane jednakowo dla lewej jak i prawej strony. Im dalej od osi drogi, tym ich wartości maleją zgodnie z założeniami przyjętymi w tej grupie.

W każdym z analizowanych przykładów, dla tej jak i dla kolejnych grup, w przypadku pliku tworzonego w programie Autocad, zmianie ulega jedynie niebieska linia przedstawiająca krawędź bariery. Jest ona przesuwana w miejsce, w którym pojawia się element, który pozwala zredukować dźwięk natomiast usuwana w przypadku poziomu porównawczego.

POZIOM PORÓWNAWCZY

Poziom porównawczy przedstawia rozchodzenie się hałasu w otoczeniu drogi, w przekroju, w którym nie znajdują się żadne elementy mogące wpłynąć na jego redukcję. Jest on utworzony w celu porównania z modelami, w których wprowadzono barierę. Geometria przekroju ulicy jest identyczna jak w innych analizowanych przypadkach oraz posiada te same właściwości ruchowe.

Odbiorniki z czytujące poziom rozchodzącego się dźwięku rozmieszczono na takich wysokościach oraz w takich odległościach, jak w innych modelach dla tej grupy. Poniżej zamieszczono fragment rozmieszczenia tych punktów w terenie w przekroju bez bariery. Pokazano na nim 6 mierników. Są one umieszczone na wysokości 1m i w odległości do 15m od krawędzi jezdni. Każdy kolejny znajduje się 10m dalej od poprzedniego. Reszta odbiorników występuje w tym samym miejscu, lecz odpowiednio o 0,5m, 3m oraz 5m wyżej.

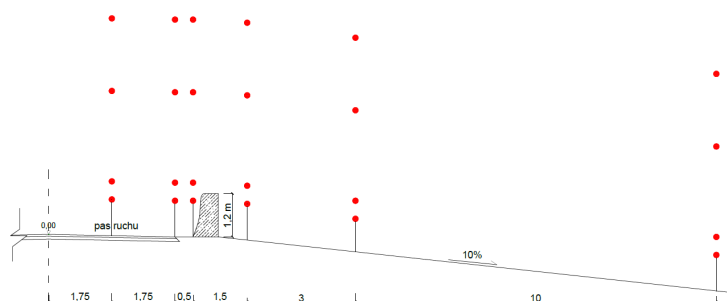


Rys. 3.10 Fragment schematu rozmieszczenia odbiorników dla przekroju bez bariery

MODEL: Bariera betonowa o wysokości 1,2m, oddalona 0,5m od krawędzi jezdni

W tym modelu analizie poddana jest bariera betonowa o wysokości 1,2m, którą umieszczono 0,5m od krawędzi jezdni. Może ona oddzielać krawędź jezdni od chodnika bądź ścieżki rowerowej i wpłynąć na bezpieczeństwo na drodze.

Tak jak w przypadku modelu porównawczego poniżej zamieszczono fragment schematu rozmieszczenia odbiorników dla tego modelu. Czerwone punkty oznaczają punkty kontrolne rozchodzenia się dźwięku odpowiednio na wysokości 1m, 1,5m, 4m oraz 6m.

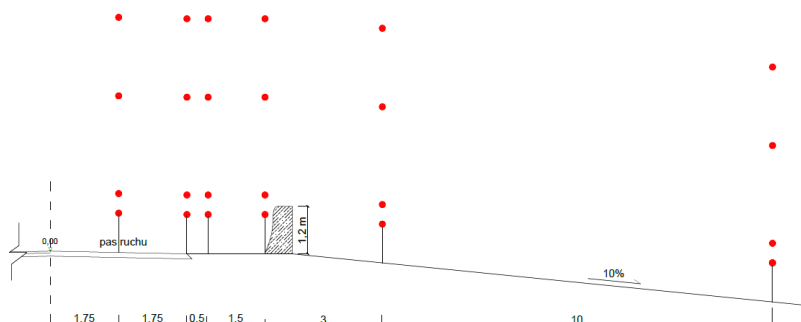


Rys. 3.11 Fragment schematu rozmieszczenia odbiorników dla przekroju z barierą betonową oddaloną 0,5m od krawędzi jezdni

MODEL: Bariera betonowa o wysokości 1,2m, oddalona 2m od krawędzi jezdni

W tym modelu analizie poddana jest bariera betonowa o wysokości 1,2m, którą umieszczono 2m od krawędzi jezdni. Może ona oddzielać chodnik bądź ścieżkę rowerową od stromego terenu i wpłynąć na bezpieczeństwo. Podczas jakiegoś wypadku może zapobiec wypadnięciu poza drogę rowerzystów bądź pieszych.

Poniżej także zamieszczono fragment schematu rozmieszczenia odbiorników w przekroju wraz z barierą betonową znajdującą się 2m od krawędzi jezdni. Czerwone punkty oznaczają mierniki rozchodzenia się dźwięku odpowiednio na wysokości 1m, 1,5m, 4m oraz 6m.

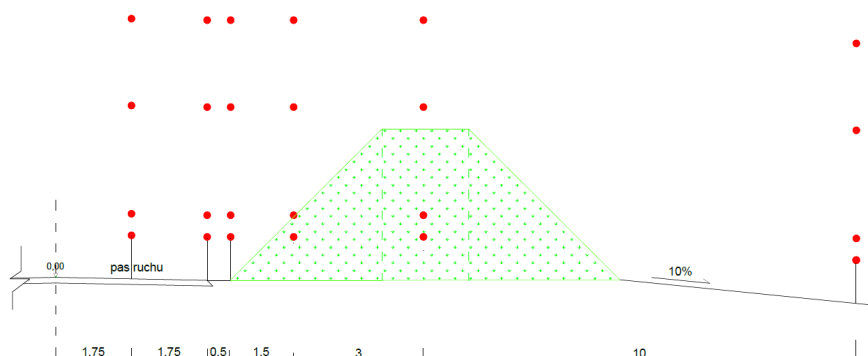


Rys. 3.12 Fragment schematu rozmieszczenia odbiorników dla przekroju z barierą betonową oddaloną 2m od krawędzi jezdni

MODEL: Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu ścian 1:1, oddalony 0,5m od krawędzi jezdni

W tym modelu analizie poddany jest wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, który umieszczono 0,5m od krawędzi jezdni. Może on pełnić dodatkowo funkcję chodnika bądź ścieżki rowerowej oczywiście z odpowiednim zabezpieczeniem krawędzi wału np. poprzez barierki. Zajmuje on dużo miejsca w pasie drogowym. Szerokość jego podstawy wynosi aż 9m.

Poniżej zamieszczono fragment schematu rozmieszczenia odbiorników w przekroju wraz z wałem ziemnym znajdującym się 0,5m od krawędzi jezdni. Czerwone punkty oznaczają mierniki rozchodzenia się dźwięku odpowiednio na wysokości 1m, 1,5m, 4m oraz 6m.



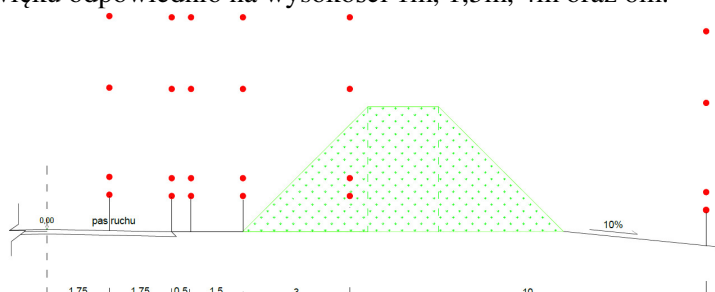
Rys. 3.12 Fragment schematu rozmieszczenia odbiorników dla przekroju z wałem ziemnym oddalonym 0,5m od krawędzi jezdni

Jak wynika z powyższego rysunku wał zajmuje dość dużą powierzchnię. Cztery odbiorniki w takim przypadku wypadły wewnątrz konstrukcji. Ich odczyty zostały pominięte.

MODEL: Wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, nachyleniu ścian 1:1, oddalony 2m od krawędzi jezdni

W tym modelu analizie poddany jest wał ziemny o wysokości 3,5m, szerokości górnej 2m, który umieszczono 2m od krawędzi jezdni. Tak jak poprzednio analizowany ekran może pełnić dodatkowo funkcję chodnika bądź ścieżki rowerowej oczywiście z odpowiednim zabezpieczeniem krawędzi wału np. poprzez barierki. Posiada te same właściwości, co uprzednio analizowany a więc także zajmuje dużą objętość w pasie drogowym.

Poniżej zamieszczono fragment schematu rozmieszczenia odbiorników w przekroju wraz z wałem ziemnym znajdującym się 2m od krawędzi jezdni. Czerwone punkty oznaczają mierniki rozchodzenia się dźwięku odpowiednio na wysokości 1m, 1,5m, 4m oraz 6m.

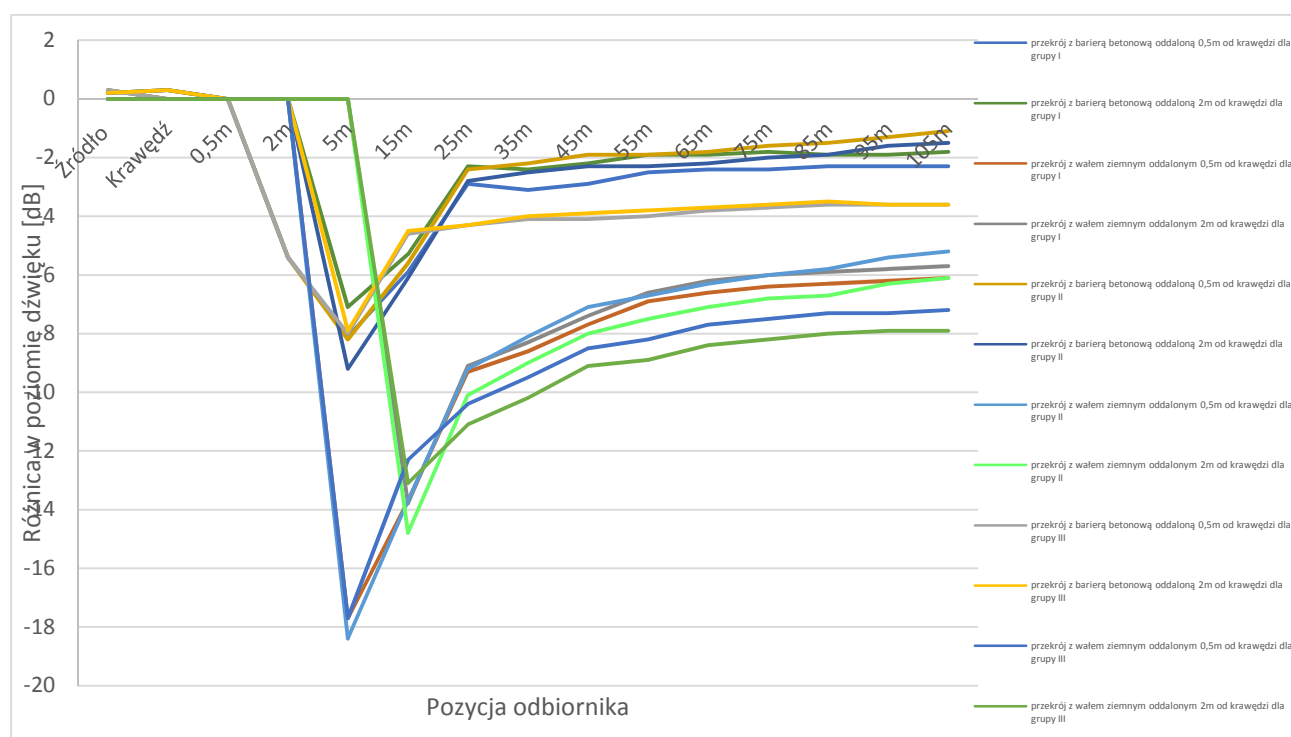


Rys. 3.13 Fragment schematu rozmieszczenia odbiorników dla przekroju z wałem ziemnym oddalonym 2m od krawędzi jezdni

Wszystkie pozostałe analizy zostały wykonane wg opisanych założeń z różnicami wynikającymi z analizowanego czynnika.

Analiza dla drogi w lokalizacji grzbietowej

Na rys. 3.14 zamieszczono wykres, na którym linie przedstawiające różnice w rozchodzeniu się dźwięku w przypadku zastosowania wału bądź betonowej bariery w odniesieniu do przekroju drogi bez tych elementów. Przedstawia on wyniki tylko dla odbiornika na wysokości 1,5m (wysokość ucha ludzkiego), ponieważ w przypadku zamieszczenia na nim wszystkich odczytów wykres stałby się nieczytelny. Oś pionowa przedstawia różnice w wartościach uzyskanego dźwięku, które podawane są w decybelach, natomiast oś pozioma odległości od krawędzi jezdni.

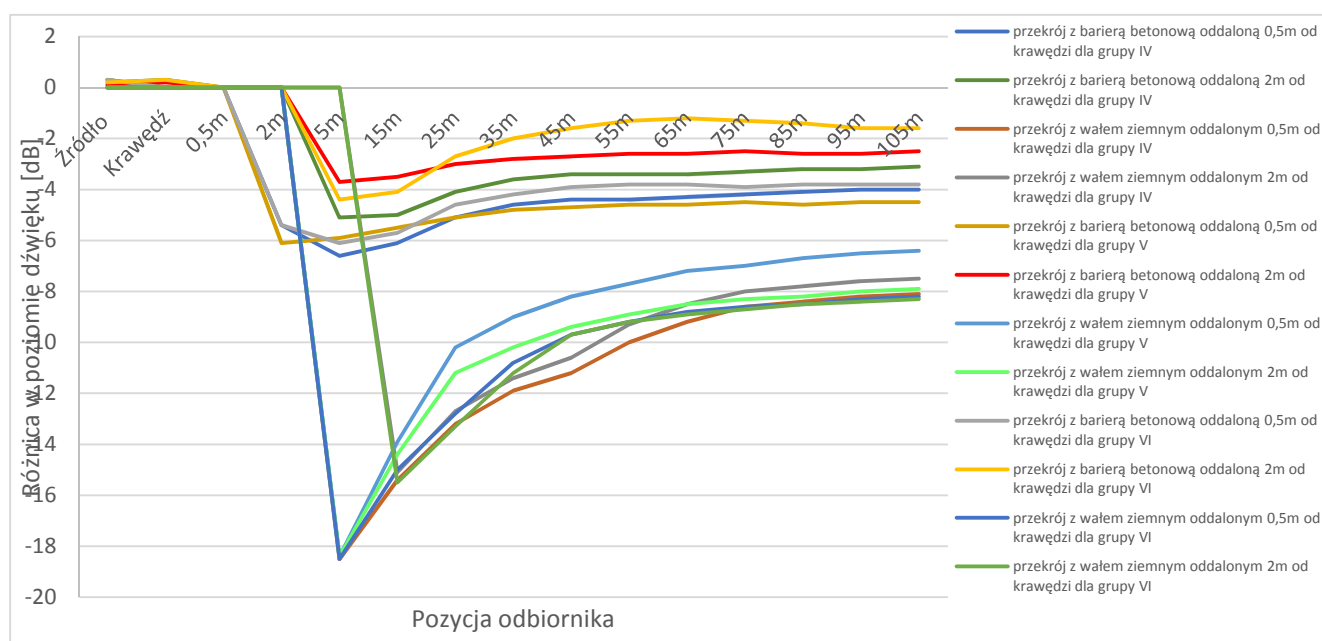


Rys.3.14 Wykres przedstawiający różnice rozchodzenia się dźwięku dla wszystkich modeli w lokalizacji grzbietowej dla odbiornika na wysokości 1,5m

Jak wynika z powyższego wykresu uzyskujemy bardzo dobre wyniki redukcji poziomu dźwięku dla wału ziemnego. W przypadku bariery betonowej możemy zauważyć mniejsze różnice w poziomach hałasu w odniesieniu do przekroju porównawczego.

Wszystkie elementy wykazują najlepsze rezultaty w terenie najbardziej pochylonym, jaki został przyjęty do analizy. Zarówno bariera betonowa jak i wał ziemny w terenie o nachyleniu 15% uzyskują największą redukcję.

Analiza dla drogi w lokalizacji dolinowej

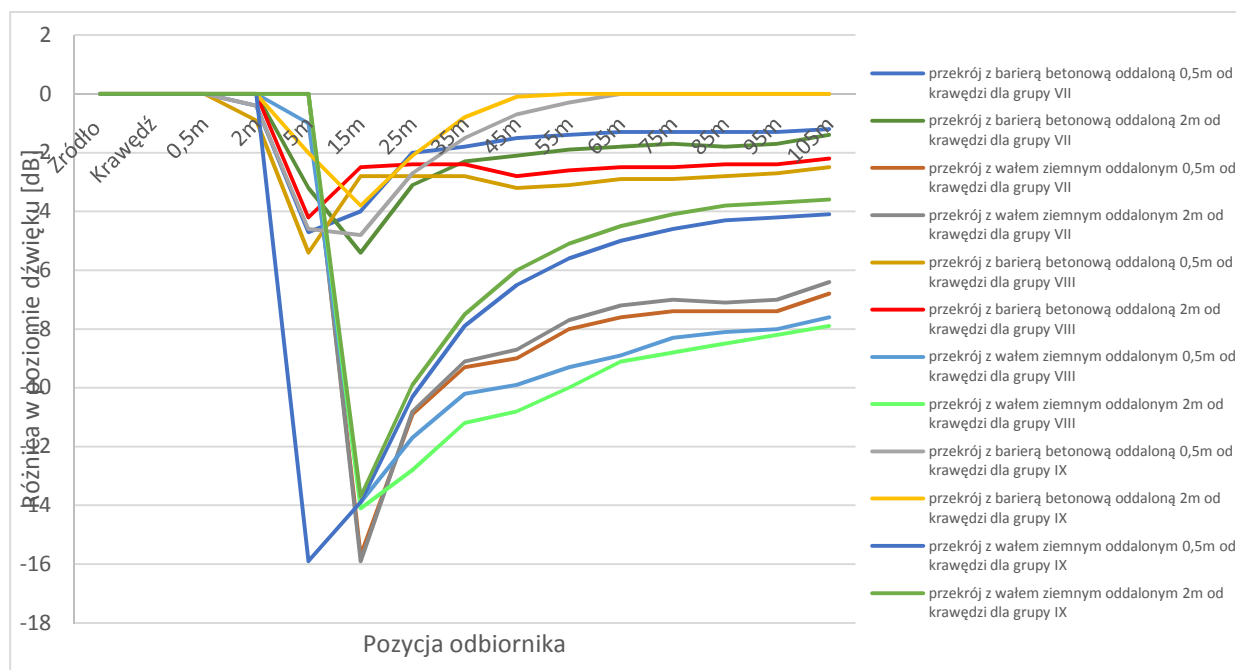


Rys.3.15. Wykres przedstawiający różnice rozchodzenia się dźwięku dla wszystkich modeli w lokalizacji dolinowej dla odbiornika na wysokości 1,5m

Jak wynika z analizy wyników w przypadku drogi w terenie dolinowym te same elementy wykazują mniejszą skuteczność niż w przypadku drogi grzbietowej.

Analiza dla drogi w lokalizacji stokowej

W przypadku drogi stokowej ważnym czynnikiem jest lokalizacja bariery/wału względem otaczającego terenu. Jeżeli teren wznosi się w stosunku do drogi to efekt jest podobny jak w przypadku drogi dolinowej, natomiast dla terenu opadającego analogicznie skuteczność jest porównywalna do drogi grzbietowej.



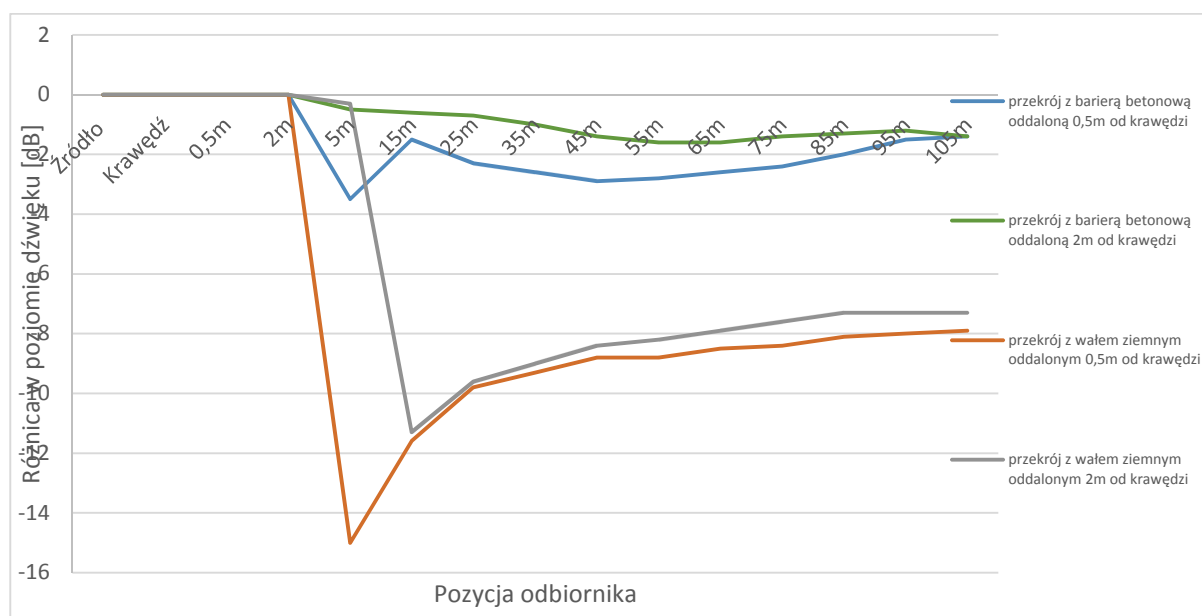
Rys. 3.16. Wykres przedstawiający różnice rozchodzenia się dźwięku dla wszystkich modeli w lokalizacji stokowej dla odbiornika na wysokości 1,5m

Analiza dla drogi w terenie płaskim

W sytuacji gdy droga jest prowadzona po płaskim terenie skuteczność badanych barier i wału zależała głównie od lokalizacji względem krawędzi jezdni oraz wysokości urządzenia. W takim przypadku nie ma wpływu różnic wysokości jak dla terenu opadającego/wznoszącego się. Na rys 3.17 (oraz w tab. 3.2) widoczne są wyniki obliczeń które potwierdzają większą skuteczność w przypadku lokalizacji bariery bliżej źródła hałasu. W tab. 3.2 są dodatkowo zamieszczone dane z analiz dla pozostałych wysokości odbiorników. Wyniki te były rejestrowane dla wszystkich przypadków analiz.

Tablica 3.2 Zestawienie różnic poziomu hałasu w założonych punktach względem sytuacji bez barier

Bariera betonowa oddalona 0.5m od krawędzi jezdni															
Odległość/ Wysokość	Źródło	Krawędź	0,5m	2m	5m	15m	25m	35m	45m	55m	65m	75m	85m	95m	105m
1m	0	0	0	0	-4,2	-2,4	-3	-2,9	-2,8	-2,6	-2,5	-2,3	-2	-1,4	-1,2
1,5m	0	0	0	0	-3,5	-1,5	-2,3	-2,6	-2,9	-2,8	-2,6	-2,4	-2	-1,5	-1,4
4m	0	0	0	0	0	-0,7	-1,7	-2,6	-2,9	-2,9	-2,6	-2,4	-2,3	-2,2	-2,1
6m	0	0	0	0	0	0	-0,7	-1,7	-2,8	-3,5	-3,6	-3,6	-3,5	-3,4	-3,2
Bariera betonowa oddalona 2m od krawędzi jezdni															
1m	0	0	0	0	-3,9	-1,2	-1,4	-1,8	-2,3	-2,2	-2,1	-2,1	-1,6	-1,1	-1
1,5m	0	0	0	0	-0,5	-0,6	-0,7	-1	-1,4	-1,6	-1,6	-1,4	-1,3	-1,2	-1,4
4m	0	0	0	0	0	-0,1	-0,5	-1,2	-1,8	-2,3	-2,5	-2,1	-1,9	-1,7	-1,6
6m	0	0	0	0	0	-0,1	-0,3	-0,5	-3,6	-2,6	-3,2	-3,1	-3	-3	-2,9
Wał ziemny oddalony 0,5m od krawędzi jezdni															
1m	0	0	0	0	-15,5	-11,4	-9,8	-9,3	-8,9	-8,5	-8,3	-8,2	-8,1	-8,2	-7,9
1,5m	0	0	0	0	-15	-11,6	-9,8	-9,3	-8,8	-8,8	-8,5	-8,4	-8,1	-8	-7,9
4m	0	0	0	0	-1,1	-10,3	-11	-11,1	-10,6	-10,1	-9,7	-9,3	-8,9	-8,6	-8,3
6m	0	0	0	0	0	-6,9	-9,6	-10,4	-10,7	-10,7	-10,4	-10,1	-9,9	-9,6	-9,4
Wał ziemny oddalony 2m od krawędzi jezdni															
1m	0	0	0	0	-0,2	-11,2	-9,4	-8,8	-8,6	-8	-7,7	-7,6	-7,6	-7,6	-7,3
1,5m	0	0	0	0	-0,3	-11,3	-9,6	-9	-8,4	-8,2	-7,9	-7,6	-7,3	-7,3	-7,3
4m	0	0	0	0	0	-9	-10,2	-10,3	-9,9	-9,4	-9	-8,6	-8,3	-7,9	-7,6
6m	0	0	0	0	0,1	-4,7	-8,2	-9,4	-9,8	-9,9	-9,6	-9,4	-9,1	-8,9	-8,7



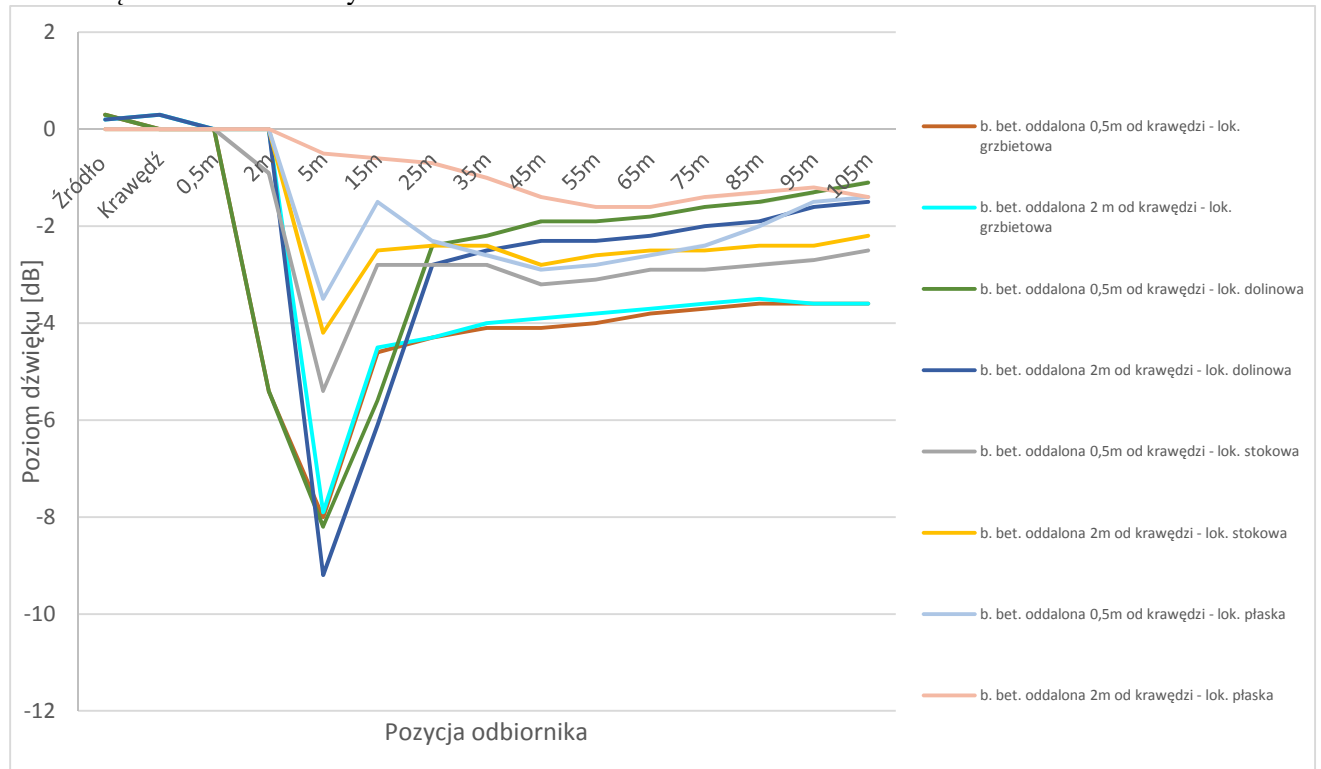
Rys. 3.17. Wykres przedstawiający różnice rozchodzenia się dźwięku dla odbiornika na wysokości 1,5m

Podsumowanie i wnioski

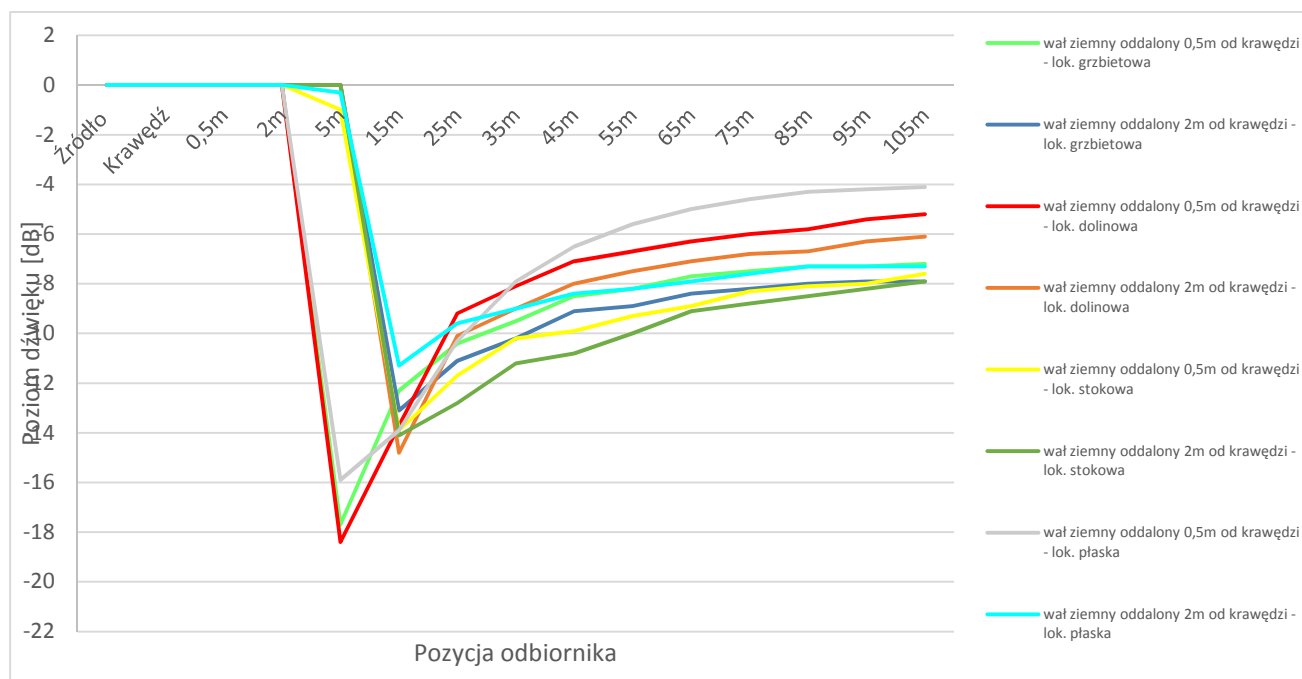
W pierwszej kolejności należy spojrzeć na efekty uzyskane w poszczególnych lokalizacjach w zależności od pochylenia terenu wokół drogi. Na początku przeprowadzono analizę dla lokalizacji grzbietowej. Jak wynika z przeprowadzonych badań zastosowana bariera betonowa przynosi średnie korzyści. Kolejne analizy przeprowadzono dla lokalizacji dolinowej. W tych samych terenach w odniesieniu do modelu bez bariery wał ziemny przynosi większe korzyści nawet o kilkanaście decybeli w przeciwieństwie do zastosowanej bariery betonowej.

Na podstawie analiz można stwierdzić, że wraz ze zmniejszeniem się pochylenia terenu możemy zauważyć coraz mniejsze efekty w przypadku redukcji dźwięku. Podsumowując dokonane analizy dla tej lokalizacji, w przypadku zastosowania wału ziemnego w przekroju drogowym, uzyskujemy bardzo wysoką poprawę akustyczną. Bez względu na zmianę pochylenia terenu, różnice w rozchodzeniu się dźwięku w porównaniu z przekrojem kontrolnym pokazują, iż wykonanie przy jezdni wału zdecydowanie redukuje poziom hałasu.

W celu zobrazowania różnicy pomiędzy lokalizacjami oraz zastosowanymi barierami poniżej przedstawiono dwa wykresy zbiorcze dla grup z pochyleniem terenu 15% dla modeli z barierą betonową oraz wałem ziemnym.



Rys. 3.18. Wykres przedstawiający różnice rozchodzenia się dźwięku dla odbiornika na wysokości 1,5m dla wszystkich lokalizacji z 15% pochyleniem terenu po zastosowaniu bariery betonowej



Rys. 3.19 Wykres przedstawiający różnice rozchodzenia się dźwięku dla odbiornika na wysokości 1,5m dla wszystkich lokalizacji z 15% pochyleniem terenu po zastosowaniu wału ziemnego

Na podstawie dotychczasowych obserwacji można stwierdzić, że dla zastosowanej bariery betonowej w lokalizacji grzbietowej oraz stokowej (po stronie opadającego terenu) uzyskujemy najlepsze wyniki redukcji dźwięku. Choć w lokalizacji stokowej została zastosowana bariera betonowa o mniejszej wysokości to jednak powoduje ona większą redukcję niż w lokalizacji dolinowej, gdzie bariera jest o 40cm wyższa. Podsumowując można stwierdzić, że analizowany element przekroju poprzecznego drogi wykazuje redukcję od około 0,5dB do 9dB.

Zastosowanie wału ziemnego w każdej z lokalizacji pokazuje zmniejszenie się poziomu dźwięku od 4dB do ponad 18dB. Tak jak w przypadku bariery betonowej najlepsze wyniki uzyskujemy dla drogi w lokalizacji stokowej oraz grzbietowej. Należy zaznaczyć, że w rzeczywistych przekrojach drogowych skuteczność rozwiązania z reguły będzie mniejsza z uwagi na konieczność odsunięcia wału od krawędzi jezdni.

W polskim prawie ekrany akustyczne są preferowanym zabezpieczeniem przed hałasem. Czasem prowadzi to do niepotrzebnie wybudowanych ekranów akustycznych, które w przyszłości wymagają odpowiedniej konserwacji. Należy jednak zastanowić się, czy lepszym rozwiązaniem w niektórych przypadkach nie byłoby zastosowanie wałów ziemnych, które są bardziej przyjazne środowisku. Istnieją przypadki, gdzie przy odrobinie wiedzy oraz dobrej woli projektanta i wykonawcy można uzyskać dużą redukcję hałasu wykorzystując odpowiednie bariery BRD lub kształtując wały/pozorne wykopy w przekroju drogi

3.2. Modelowanie środków ochrony przed hałasem pojedynczej posesji z wykorzystaniem map hałasu

W celu analizy wpływu zagospodarowania działki na poziom hałasu na posesji przeprowadzono proces modelowania pojedynczych środków ochronnych oraz ich kombinacji w programie Sound Plan. W modelach przyjęto wysokości 1,5 m nad terenem dla sporządzanych map akustycznych.

Dobór parametrów modelu pojedynczej posesji

Wymiary działki i budynku takie jak długość boku działki przylegającego do pasa drogowego, wymiary budynku w rzucie, odległość budynku od jezdni zostały określone jako średnia z pomiarów wykonanych na próbie 300 działek o kształcie zbliżonym do prostokąta zlokalizowanych w podkrakowskich miejscowościach wzdłuż dróg krajowych. Pomiarów wykonano za pośrednictwem Geoportalu. Uśrednione wartości zawarto w tab.3.3.

Tablica 3.3 Zestawienie wymiarów działki i budynku do modelu

Wymiary działki		Odległość budynku od jezdni [m]	Wymiary budynku	
Bok równoległy do drogi [m]	Bok równoległy do drogi [m]		Bok prostopadły do drogi [m]	
26,05	19,72	12,25	12,18	

Założono płaskie ukształtowanie terenu. Do analizy w modelu przyjęto klasyczny dom jednorodzinny, o dwóch kondygnacjach. Wysokość kondygnacji w świetle 2,8 m. Budynek usytuowano na środku działki.

- a) Wymiary oraz usytuowanie przegród (przesłon tj. ogrodzeń które mogą potencjalnie zredukować poziom hałasu na posesji):

Odległość przegrody od jezdni określono jako średnią z pomiarów wykonanych w terenie. Uśredniona wartość odległości przegrody od krawędzi jezdni wynosi 5,4 m. Przyjęto stałą wysokość przegrody na poziomie 3 m. Długość działki wynosi 62 m. Obszar działki za linią przegrody akustycznej stanowi 90% powierzchni całej działki.

- b) Parametry ruchu:

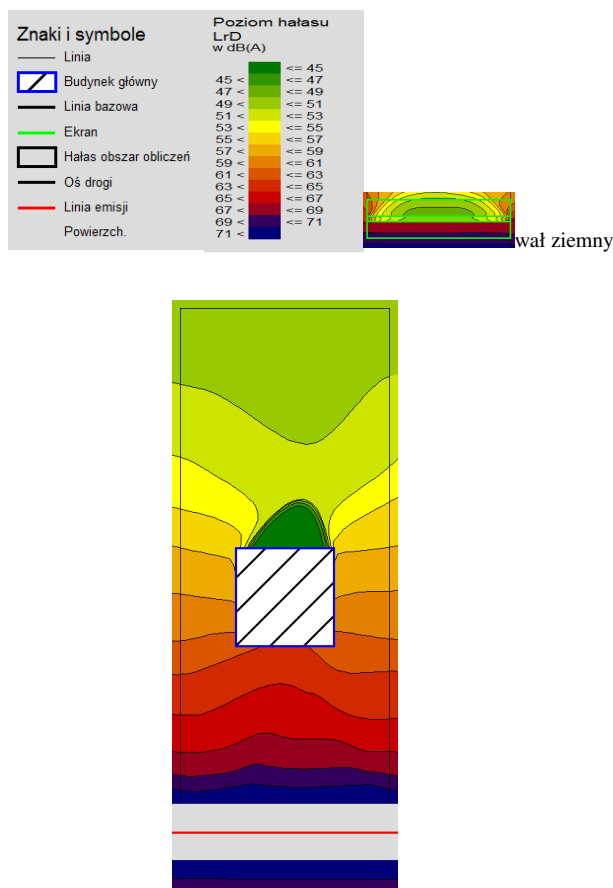
Prędkości pojazdów i natężenie, struktura zostały określone jako średnia z pomiarów:

- średnia prędkość pojazdów osobowych: 61,2 km/h
- średnia prędkość pojazdów ciężarowych: 55,6 km/h
- natężenie pojazdów osobowych: 753 poj/h
- natężenie pojazdów ciężarowych 28 poj/h

Dobór parametrów modelu posesji

Jako model drugi przyjęto trzy działki leżące obok siebie o wymiarach działki z modelu 1. Wymiary budynków i przegrody oraz parametry ruchu pozostały nie zmienione.

We wszystkich modelach przyjęto takie same oznaczenia elementów oraz taki sam podział na poziomy hałas (Rys.3.20).



Rys. 3.20 Skala i legenda do map akustycznych.

Jako poziom odniesienia dla wszystkich modeli przyjęto działkę niechronioną przed hałasem (Rys. 3.21). Założono swobodny i niczym nieograniczony dopływ hałasu na posesję. W przypadku tym strefa, w której poziom hałasu nie przekracza 61 dB zlokalizowana jest zarówno za i obok budynku. Stanowi ona 63,56% powierzchni działki. Hałas nie przekracza 55 dB w części działki zlokalizowanej za budynkiem. Jest to 49,61% powierzchni działki. Budynek mieszkalny jest bezpośrednio narażony na hałas przekraczający dopuszczalne limity hałasu. W kolejnych wariantach modelu przeanalizowano w jaki sposób hałas rozprzestrzenia się po zastosowaniu różnych środków i kombinacji środków ochrony przed hałasem.

Rys. 3.21 Poziom odniesienia dla wszystkich modeli - działka niechroniona przed hałasem.

Modelowanie pojedynczych środków ochrony przed hałasem

W pierwszym etapie analiz symulowano rozchodzenie się hałasu dla stosowanych pojedynczych środków ochrony przed hałasem. Analizowano przypadki:

- Wariant 1 - Działka chroniona przez ekran akustyczny
- Wariant 2 - Działka chroniona przez nawierzchnię cichą
- Wariant 3 - Działka chroniona przez wał ziemny
- Wariant 4 – Działka chroniona przez zabudowę niewrażliwą
- Wariant 5 –Działka chroniona przez ekranowanie wewnętrzne

W tab.3.4 oraz 3.5 zamieszczono wynik analiz - wpływ pojedynczych środków ochrony przed hałasem na przyrost powierzchni działki, na której hałas drogowy nie przekracza granicy 61 dB oraz 55 dB.

Tablica 3.4 Wpływ pojedynczych środków ochrony na powierzchnię działki o hałasie <61 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 61 dB [%]	Przyrost powierzchni po zastosowaniu środka ochrony [%]
Działka niechroniona	63,56	-
Ekran akustyczny	88,78	25,22
Wał ziemny	86,39	22,83
Cicha nawierzchnia	67,21	3,65
Architektura niewrażliwa	71,65	8,10
Ekranowanie wewnętrzne	64,89	1,33

Tablica 3.5. Wpływ pojedynczych środków ochrony na powierzchnię działki o hałasie <55 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 55 dB [%]	Przyrost powierzchni po zastosowaniu środka ochrony [%]
Działka niechroniona	49,61	-
Ekran akustyczny	56,02	6,41
Wał ziemny	55,15	5,54
Cicha nawierzchnia	52,93	3,32
Architektura niewrażliwa	53,39	3,78
Ekranowanie wewnętrzne	57,50	7,89

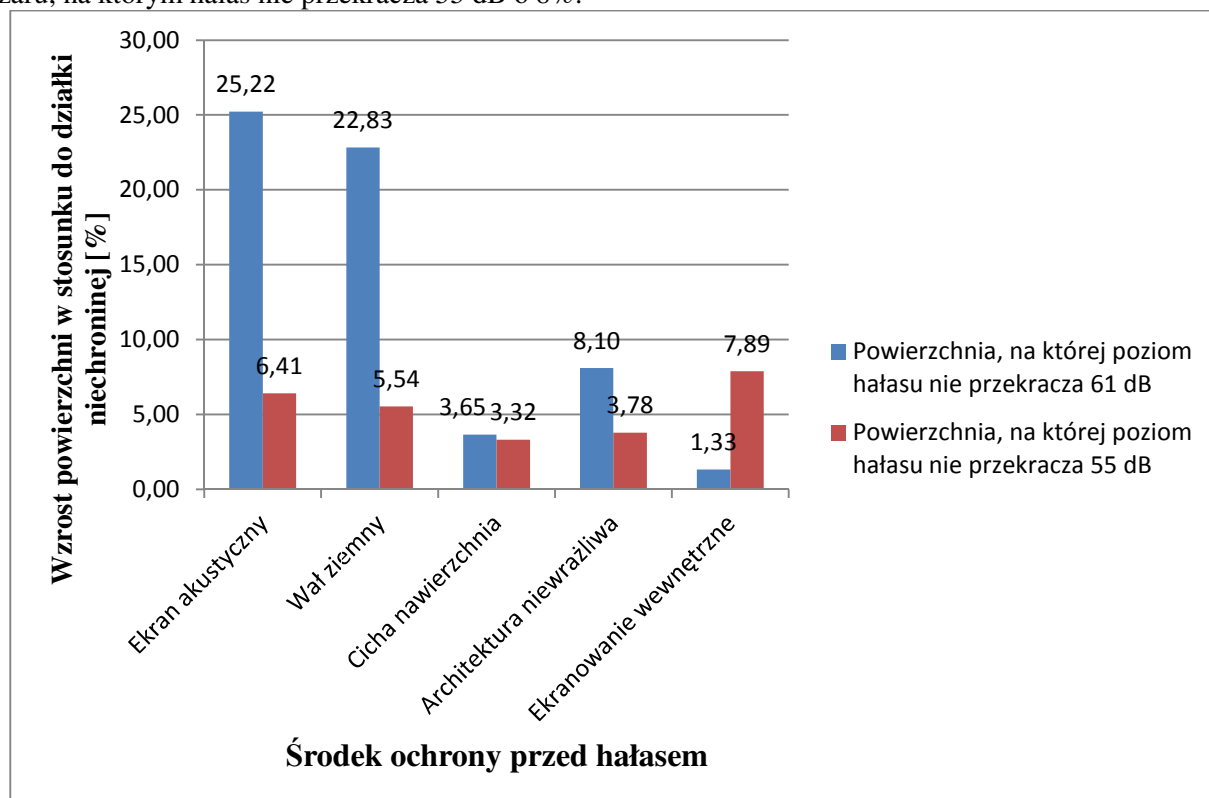
Wyniki pomiarów oraz mapy akustyczne wskazują, że maksymalny obszar, na którym hałas nie będzie przekraczał dopuszczalnych poziomów można osiągnąć stosując ekranowanie akustyczne lub wał ziemny. Ekran akustyczny zwiększa obszar o dopuszczalnym hałasie o 25%, a wał o około 23%. Różnica ta na niekorzyść wału ziemnego bierze się stąd, że wał ziemny zajmuje stosunkowo dużą powierzchnię działki. Powierzchnia ta staje się swego rodzaju powierzchnią „traconą”.

Dość dobre efekty w postaci obszaru osłoniętego przed hałasem drogowym przynosi zlokalizowanie na drodze fal akustycznych architektury niewrażliwej. W standardowych warunkach zasięg ochrony przez taką zabudowę jest jednak ograniczony tylko do części obszaru znajdującego się bezpośrednio za budynkami niewrażliwymi (np. garaż). Pozostała część działki pozostaje narażona na hałas przekraczający dopuszczalne limity.

Zastosowanie nawierzchni cichej nie zabezpiecza działki i zabudowy mieszkalnej przed hałasem drogowym. Ogranicza jednak, już u źródła, jego poziom. Wielkość hałasu, w analogicznych obszarach, w porównaniu do działki niechronionej jest o około 2-3 dB niższa. Tym samym obszar o poziomie hałasu nie przekraczającym 61 dB i 55 dB wzrasta o około 3,5 %.

Najmniejszy wzrost powierzchni terenu narażonego na hałas niższy niż 61 dB nastąpił po zastosowaniu ochrony w postaci ekranowania wewnętrznego i wyniósł 1,3% powierzchni. Hałas drogowy rozchodząc się swobodnie dociera do zabudowy mieszkalnej. Ekranowanie wewnętrzne powoduje odbicie fal akustycznych i tym samym kumulację hałasu na linii elewacji budynku. Klimat

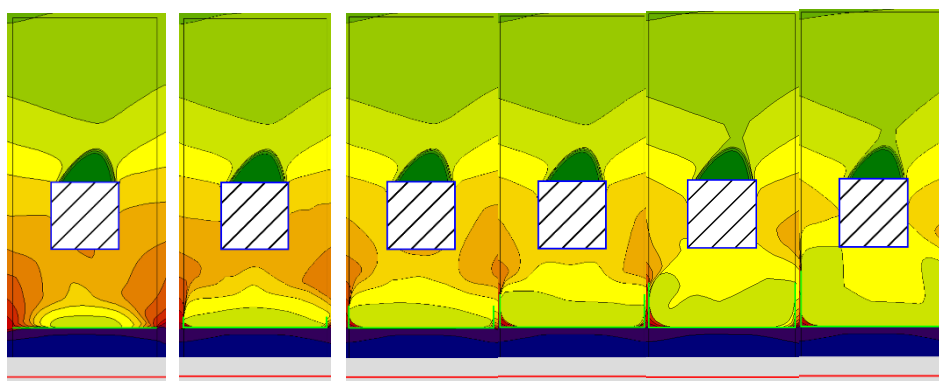
akustyczny gwałtownie polepsza się z kolei za ekranowaniem. Powoduje to wzrost powierzchni obszaru, na którym hałas nie przekracza 55 dB o 8%.



Rys. 3.22. Wpływ pojedynczych środków ochrony na powierzchnie na której hałas nie przekracza wartości granicznych.

Wpływ ekranowania bocznego

Zamodelowano wpływ ekranowania bocznego na klimat akustyczny działki i rozchodzenie się na niej fal akustycznych. Wariant pierwszy posiadał ochronę akustyczną tylko w postaci ekranu akustycznego o wysokości 3m. W kolejnych krokach zamodelowano dodatkowo ekranowanie boczne o tej samej wysokości. Jego długość zwiększano w każdym następnym wariantcie o 2 m.



Rys. 3.23 Modelowane warianty ekranowania bocznego.

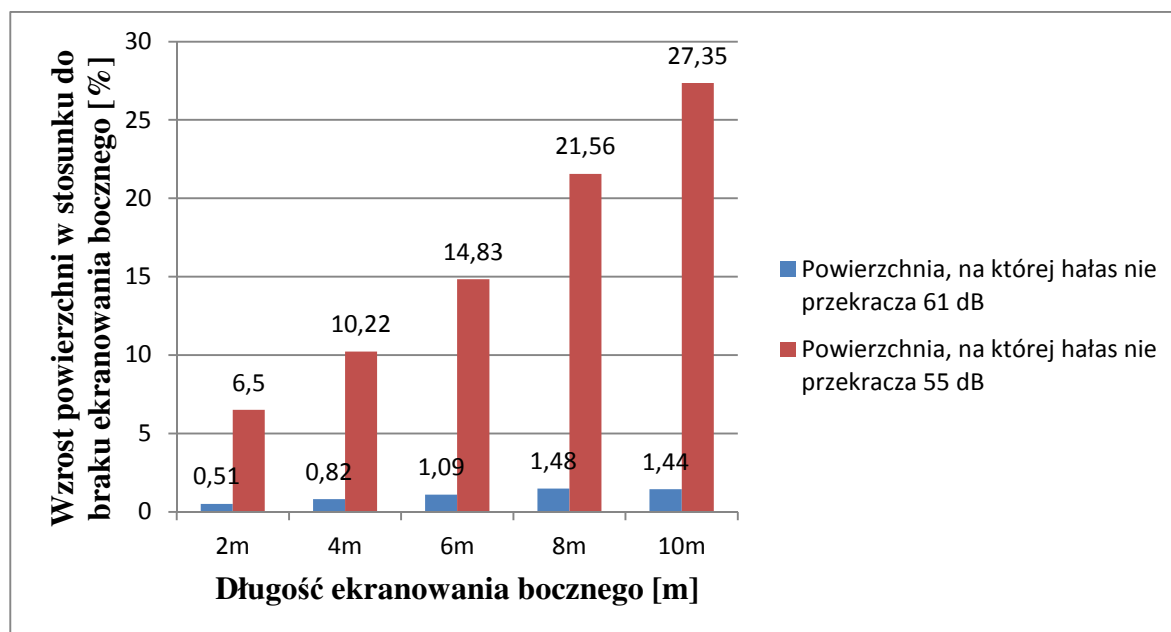
Tablica 3.6 Wpływ ekranowania bocznego na powierzchnię działki o hałasie <61 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 61 dB [%]	Przyrost powierzchni w stosunku do samego ekranu akustycznego [%]	Względny przyrost [%]
Ekran akustyczny	88,78		
Ekran+przegrody boczne dł. 2m	89,29	0,51	0,51
Ekran+przegrody boczne dł. 4m	89,60	0,82	0,30
Ekran+przegrody boczne dł. 6m	89,86	1,09	0,27
Ekran+przegrody boczne dł. 8m	90,26	1,48	0,39
Ekran+przegrody boczne dł. 10m	90,22	1,44	-0,04

Tablica 3.7. Wpływ ekranowania bocznego na powierzchnię działki o hałasie <55 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 55 dB [%]	Przyrost powierzchni w stosunku do samego ekranu akustycznego [%]	Względny przyrost [%]
Ekran akustyczny	56,02		
Ekran+przegrody boczne dł. 2m	62,52	6,50	6,50
Ekran+przegrody boczne dł. 4m	66,24	10,22	3,72
Ekran+przegrody boczne dł. 6m	70,85	14,83	4,61
Ekran+przegrody boczne dł. 8m	77,58	21,56	6,73
Ekran+przegrody boczne dł. 10m	83,37	27,35	5,79

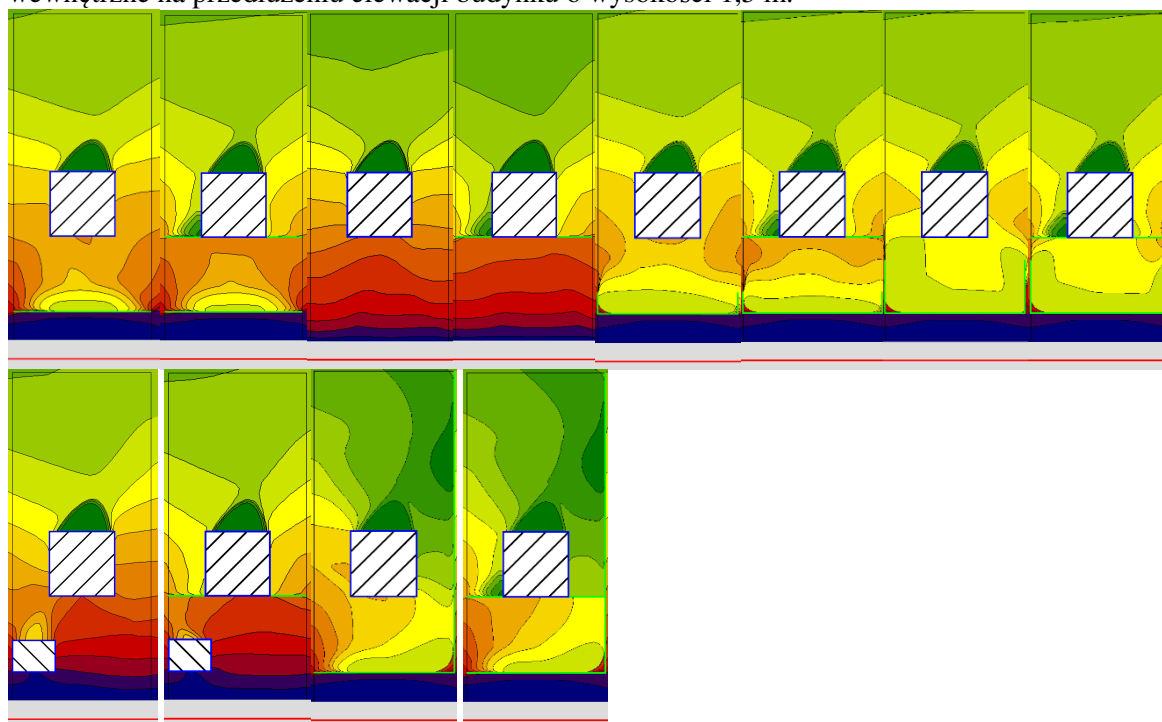
Wyniki zawarte w tab. 3.9 i 3.7 oraz mapy akustyczne wskazują, że wraz ze wzrostem długości ekranowania bocznego wzrasta chroniona powierzchnia działki. Z każdym wydłużeniem o 2 metry ekranowania bocznego powierzchnia, na której hałas nie przekracza 61 dB rośnie o około 0,3-0,5% powierzchni działki. Takie wyniki mogłyby wskazywać, że wpływ przegród bocznych na klimat akustyczny działki jest niewielki. Zaprzeczają temu jednak wyniki z tabeli 25, które wskazują, że przy każdym wydłużeniu ekranowania bocznego powierzchnia o hałasie mniejszym niż 55 dB rośnie o około 4-6,5 %. Pokazuje to jasno, że zmiany w odbiorze hałasu zachodzą w przedziale do 61 dB a ekranowanie boczne ma zasadniczy wpływ na klimat akustyczny na działce. Z analizy wyników wywnioskować można, że dalsze wydłużanie ekranowania bocznego będzie jeszcze bardziej obniżać poziomy hałas na działce. Zważywszy na to, że przy 10m. długości ekranowania bocznego poziom hałasu na 90% powierzchni działki nie przekracza 61 dB, a na 83% 55 dB można uznać, że dalsze wydłużanie ekranu jest bezcelowe.



Rys.3.24 Wpływ ekranowania bocznego na powierzchnie, na której hałas nie przekracza wartości granicznych.

Wpływ ekranowania wewnętrznego

Zamodelowano wpływ ekranowania wewnętrznego na klimat akustyczny działki i rozchodzenie się na niej fal akustycznych. Warianty podstawowe posiadały ochronę akustyczną tylko w postaci pojedynczych środków ochronnych. W kolejnych krokach zamodelowano dodatkowo ekranowanie wewnętrzne na przedłużeniu elewacji budynku o wysokości 1,5 m.



Rys. 3.24 Modelowane warianty ekranowania bocznego.

Tablica 3.8 Wpływ ekranowania wewnętrznego na powierzchnię działki o hałasie <61 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 61 dB		
	Bez ekranowanie wewnętrznego	Z ekranowaniem wewnętrznym	Przyrost
Działka niechroniona	63,56	64,89	1,33
Ekran akustyczny	88,78	89,06	0,28
Ekran+ekranowanie boczne dł. 2m	89,29	89,87	0,58
Ekran+ekranowanie boczne dł. 4m	89,60	89,08	-0,52
Ekran+ekranowanie boczne dł. 6m	89,86	89,71	-0,15
Ekran+ekranowanie boczne dł. 8m	90,26	90,12	-0,13
Ekran+ekranowanie boczne dł. 10m	90,22	90,22	0,00
Ekran+pełne ekranowanie na jednym boku	89,15	89,06	-0,10
Zabudowa niewrażliwa	71,65	69,43	-2,22
Nawierzchnia cicha	67,21	65,08	-2,13

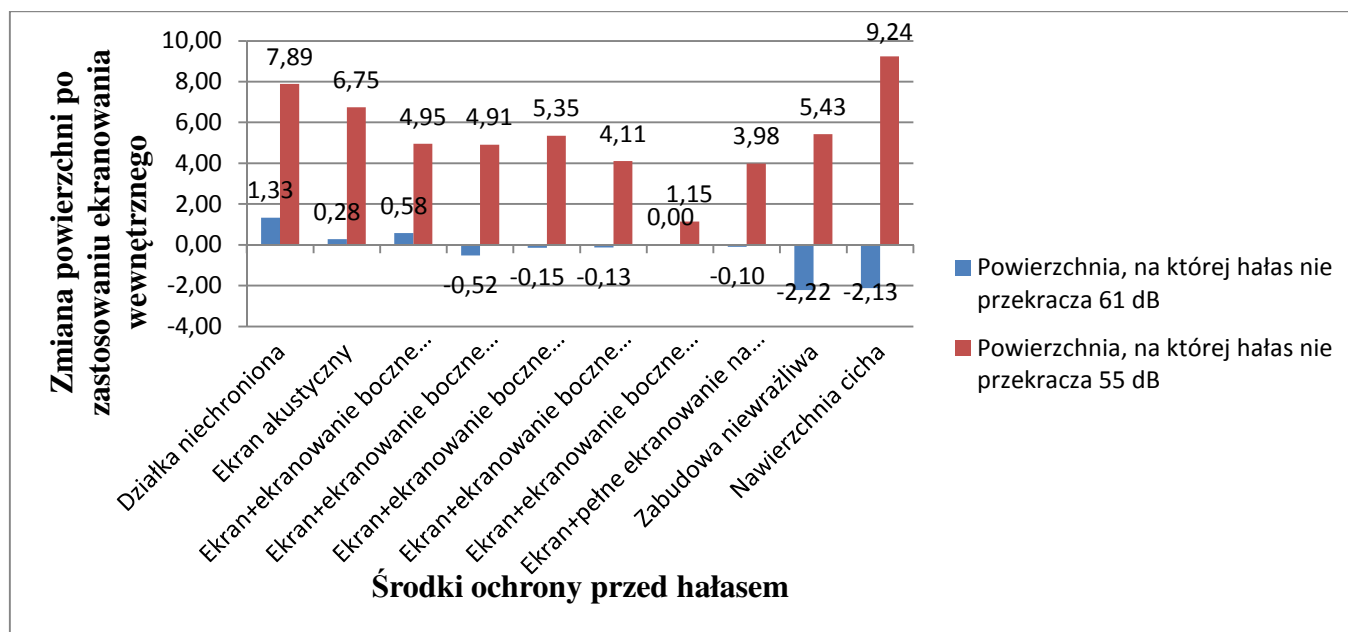
Tabela 3.9 Wpływ ekranowania wewnętrznego na powierzchnię działki o hałasie <55 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 55 dB		
	Bez ekranowanie wewnętrznego	Z ekranowaniem wewnętrznym	Przyrost
Działka niechroniona	49,61	57,50	7,89
Ekran akustyczny	56,02	62,77	6,75
Ekran+ekranowanie boczne dł. 2m	62,52	67,48	4,95
Ekran+ekranowanie boczne dł. 4m	66,24	71,16	4,91
Ekran+ekranowanie boczne dł. 6m	70,85	76,21	5,35
Ekran+ekranowanie boczne dł. 8m	77,58	81,69	4,11
Ekran+ekranowanie boczne dł. 10m	83,37	84,52	1,15
Ekran+pełne ekranowanie na jednym boku	70,95	74,94	3,98
Zabudowa niewrażliwa	53,39	58,82	5,43
Nawierzchnia cicha	52,93	62,17	9,24

Na podstawie wyników zawartych w tab. 3.8 i oraz map akustycznych można stwierdzić, że zastosowanie ekranowania wewnętrznego nie zawsze wpływa korzystnie na klimat akustyczny działki. Stosując ekranowanie wewnętrzne wraz z innymi środkami ochrony przed hałasem nie tylko nie powiększa się obszaru nienarażonego na nadmierny hałas, ale powoduje się jego zmniejszenie. Ekranowanie wewnętrzne zastosowane wzdłuż linii elewacji budynku mieszkalnego powoduje odbicie fal dźwiękowych i tym samym skumulowanie hałasu tuż przed budynkiem. Efekt ten wyeliminować można jedynie zabezpieczając działkę odpowiednio długim ekranowaniem bocznym przed hałasem dostającym się z boków.

Pozytywne oddziaływanie ekranowania wewnętrznego można zaobserwować bezpośrednio za budynkiem mieszkalnym i samymi ekranami. Hałas w tej strefie spada poniżej 55 dB, a obszar o hałasie nie przekraczającym tego poziomu wzrasta od 1 do 9% powierzchni działki względem rozwiązań bez ekranowania wewnętrznego. Największe zyski w strefie chronionej przez ekran osiąga się w stosunku do działki nie chronionej oraz sytuacji, w której na jezdni zastosowano nawierzchnię cichą.

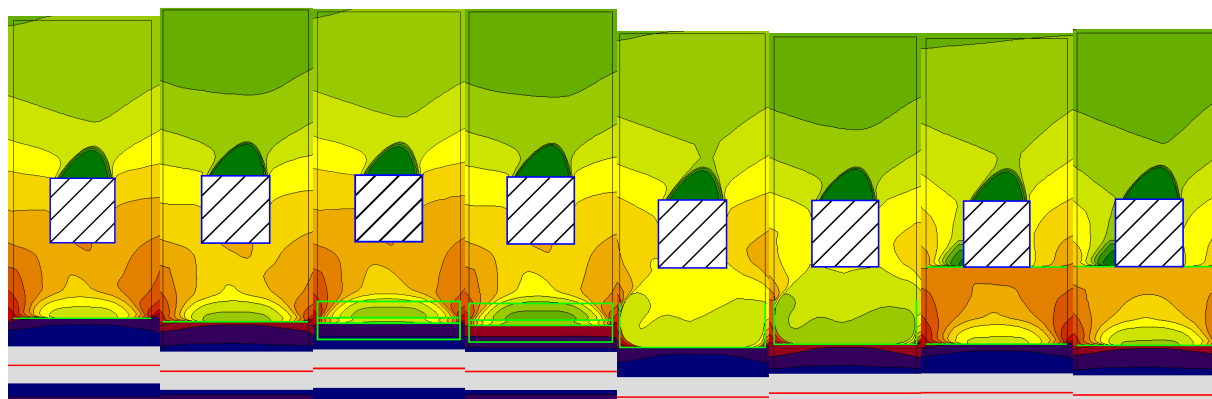
Podsumowując: pełne korzyści z zastosowania ekranowania wewnętrznego w postaci poprawy klimatu akustycznego w tylnej części działki i jednoczesnego nie pogorszenia go w części przed budynkiem można osiągnąć jedynie zabezpieczając boki działki długim ekranowaniem bocznym. W wariantach modelowych satysfakcjonujące wyniki osiągnięto po zastosowaniu jednocześnie z ekranami wewnętrznymi ekranowania bocznego o długości 10 m i ekranowania wzdłuż całej długości jednego boku działki



Rys. 3.25 Wpływ ekranowania wewnętrznego na powierzchnie, na której hałas nie przekracza wartości granicznych.

Wpływ nawierzchni cichej

Zamodelowano wpływ zastosowania nawierzchni cichej na klimat akustyczny działki i rozchodzenie się na niej fal akustycznych. Warianty podstawowe posiadały ochronę akustyczną tylko w postaci pojedynczych środków ochronnych. W kolejnych krokach zamodelowano dodatkowo na jezdni nawierzchnię cichą.



Rys. 3.26 Modelowane warianty z cichą nawierzchnią

Tablica 3.10 Wpływ nawierzchni cichej i różnego układu ekranowania na powierzchnię działki o hałasie <61 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 61 dB [%]		
	Bez nawierzchni cichej	Z nawierzchnią cichą	Przyrost
Działka niechroniona	63,56	67,21	3,65
Ekran akustyczny	88,78	89,02	0,25
Ekran+ekranowanie wewnt.	89,06	89,70	0,64
Ekran+ekranowanie boczne dł. 2m	89,29	90,38	1,08
Ekran+ekranowanie boczne dł. 2m+ekrany wewnt.	89,87	90,37	0,50
Ekran+ekranowanie boczne dł. 4m	89,60	90,28	0,69
Ekran+ekranowanie boczne dł. 4m+ekrany wewnt.	89,08	90,28	1,21
Ekran+ekranowanie boczne dł. 6m	89,86	90,17	0,31
Ekran+ekranowanie boczne dł. 6m+ekrany wewnt.	89,71	90,17	0,46
Ekran+ekranowanie boczne dł. 8m	90,26	90,09	-0,16
Ekran+ekranowanie boczne dł. 8m+ekrany wewnt.	90,12	90,09	-0,03
Ekran+ekranowanie boczne dł. 10m	90,22	90,25	0,04
Ekran+ekranowanie boczne dł. 10m+ekrany wewnt.	90,22	90,25	0,04
Ekran +pełne ekranowanie na jednym boku	89,15	89,82	0,66
Ekran+pełne ekranowanie na jednym boku+ekrany wewnt.	89,06	89,82	0,76

Wał ziemny	86,39	89,99	3,60
Przegroda wewnętrzna	64,89	65,08	0,19

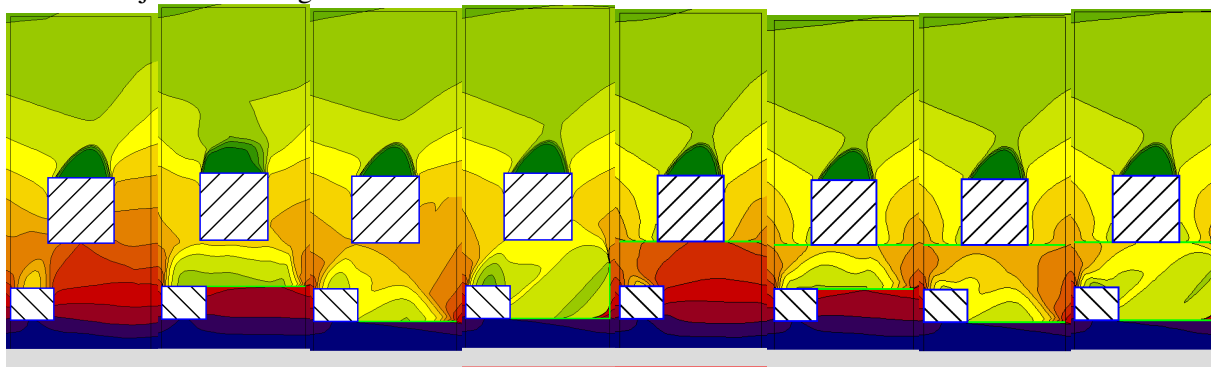
Tablica 3.11 Wpływ nawierzchni cichej i różnego ekranowania na powierzchnię działki o hałasie <55 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 55 dB [%]		
	Bez nawierzchni cichej	Z nawierzchnią cichą	Przyrost
Działka niechroniona	49,61	52,93	3,32
Ekran akustyczny	56,02	63,12	7,09
Ekran+ekranowanie wewnt.	62,77	68,69	5,92
Ekran+ekranowanie boczne dł. 2m	62,52	71,35	8,83
Ekran+ekranowanie boczne dł. 2m+ekrany wewnt.	67,48	75,03	7,56
Ekran+ekranowanie boczne dł. 4m	66,24	76,92	10,68
Ekran+ekranowanie boczne dł. 4m+ekrany wewnt.	71,16	80,19	9,04
Ekran+ekranowanie boczne dł. 6m	70,85	84,35	13,50
Ekran+ekranowanie boczne dł. 6m+ekrany wewnt.	76,21	84,32	8,12
Ekran+ekranowanie boczne dł. 8m	77,58	87,18	9,60
Ekran+ekranowanie boczne dł. 8m+ekrany wewnt.	81,69	88,37	6,68
Ekran+ekranowanie boczne dł. 10m	83,37	89,49	6,12
Ekran+ekranowanie boczne dł. 10m+ekrany wewnt.	84,52	89,00	4,48
Ekran +pełne ekranowanie na jednym boku	70,95	79,47	8,52
Ekran+pełne ekranowanie na jednym boku+ekrany wewnt.	74,94	80,55	5,62
Wał ziemny	55,15	64,94	9,79
Przegroda wewnętrzna	57,50	62,17	4,67

Na podstawie wyników zawartych w tabelach oraz map akustycznych można stwierdzić, że zastosowanie nawierzchni cichej wraz z innymi środkami ochrony przed hałasem w znaczący sposób polepsza klimat akustyczny na działce i w otoczeniu budynku mieszkalnego. Nawierzchnia cicha nie powoduje powiększenia obszaru chronionego, w którym hałas nie przekracza 61 dB. Widać to w tabeli pierwszej – przyrost powierzchni jest bliski zera. Wyraźnie jednak wzrasta udział powierzchni, na której hałas jest niższy niż 55 dB. W niektórych przypadkach jest to nawet około 10 % powierzchni działki. Nawierzchnia cicha ogranicza hałas u źródła. Tym samym wielkość hałasu, w analogicznych obszarach, w porównaniu do modeli niechronionych nawierzchnią cichą jest o około 2-3 dB niższa.

Wpływ zabudowy niewrażliwej

Zamodelowano wpływ zabudowy niewrażliwej na klimat akustyczny działki i rozchodzenie się na niej fal akustycznych. Wariant podstawowy posiadał ochronę akustyczną tylko w postaci budynku niewrażliwego zlokalizowanego w lewym narożniku działki. W kolejnych krokach zamodelowano kombinacje dodatkowego ekranowania.



Rys. 3.27 Modelowane warianty z zabudową niewrażliwą

Tablica 3.12. Wpływ zabudowy niewrażliwej na powierzchnię działki o hałasie <61 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 61 dB [%]	Przyrost powierzchni w stosunku do wyłącznie zabudowy niewrażliwej [%]
Zabudowa niewrażliwa	71,65	
Zabudowa+ekran strona zewnt.	89,57	17,92
Zabudowa+ekran strona wewnt.	82,52	10,86
Zabudowa+ekrany wewnętrzne	69,43	-2,22
Zabudowa+ekran strona zewnt.+ekranowanie boczne 10m	89,97	18,32
Zabudowa+ekran strona zewnt.+ekrany wewnt.	89,37	17,71

Zabudowa+ekran strona wewnt.+ekrany wewnt.	82,31	10,66
Zabudowa+ekran strona zewnt.+ekranowanie boczne 10m+ekrany wewnt.	89,94	18,28

Tabela 3.13. Wpływ zabudowy niewrażliwej na powierzchnię działki o hałasie <55 dB.

Rodzaj środka ochrony	Powierzchnia działki na której poziom hałasu nie przekracza 55 dB [%]	Przyrost powierzchni w stosunku do wyłącznie zabudowy niewrażliwej [%]
Zabudowa niewrażliwa	53,39	
Zabudowa+ekran strona zewnt.	62,67	9,28
Zabudowa+ekran strona wewnt.	66,04	12,65
Zabudowa+ekrany wewnętrzne	58,82	5,43
Zabudowa+ekran strona zewnt.+ekranowanie boczne 10m	78,10	24,71
Zabudowa+ekran strona zewnt.+ekrany wewnt.	66,98	13,59
Zabudowa+ekran strona wewnt.+ekrany wewnt.	69,22	15,83
Zabudowa+ekran strona zewnt.+ekranowanie boczne 10m+ekrany wewnt.	81,74	28,35

Na podstawie wyników zawartych w tabelach oraz map akustycznych można stwierdzić, że kombinacja zabudowy niewrażliwej oraz ekranowania pozytywnie wpływa na klimat akustyczny działki oraz otoczenia zabudowy mieszkalnej. Największy zysk w postaci wzrostu powierzchni chronionej, na której hałas drogowy nie przekracza 61 dB i 55 dB można osiągnąć stosując kombinację zabudowy niewrażliwej, ekranu akustycznego jako przedłużenia zabudowy oraz ekranowania bocznego o długości 10 m. Powierzchnia chroniona dla wartości granicznych 61 dB i 55 dB wzrasta wtedy odpowiednio o 18,3% i 24,7%.

Zastosowanie ekranowania jako przedłużenia ściany wewnętrznej budynku niewrażliwego niesie ze sobą poprawienie warunków akustycznych za ekranami. Wadą tego rozwiązania jest jednak strata dość dużej części działki, która pozostaje nie osłonięta.

Zastosowanie ekranowania wewnętrznego o wysokości 1,5 m powodują zyski w postaci wzrostu terenu narażonego na hałas poniżej 55 dB o 5%, ale tylko w strefie za budynkiem. Jednocześnie

pogarsza się klimat akustyczny tuż przed budynkiem. Obrazuje to spadek terenu narażonego na hałas do 61 dB o około 2%. Jest to efektem odbicia fal akustycznych w rejonie elewacji budynku i skumulowanie hałasu. Na podstawie map akustycznych wywnioskować można, że w sytuacji zastosowania ekranowania bocznego i wyeliminowaniu hałasu dostającego się na działkę z boków stosowanie ekranowania wewnętrznego jest bezcelowe. Zabieg taki nie poprawia bowiem warunków akustycznych, a w skrajnych przypadkach może je pogarszać.

Wpływ wydłużenia ekranowania

Zamodelowano wpływ zastosowania środków ochrony przed hałasem jednocześnie dla trzech bezpośrednio ze sobą sąsiadujących działek, o wymiarach działki modelowej, na klimat akustyczny działki i rozchodzenie się na niej fal akustycznych. Wariant podstawowy nie posiadał ochrony akustycznej. W kolejnych krokach zamodelowano kombinacje różnych środków ochronnych. Oceniono ich wpływ na klimat akustyczny działki środkowej oraz działek skrajnych.

Jako poziom odniesienia dla wszystkich modeli przyjęto układ trzech niechronionych działek. Założono swobodny i niczym nieograniczony dopływ hałasu na posesję. W przypadku tym strefa, w której poziom hałasu nie przekracza 61 dB zlokalizowana jest za budynkami i między nimi. Stanowi 63,54% powierzchni działki środkowej, 64,21% lewej i 63,77% prawej. Hałas nie przekracza 55 dB w części działki zlokalizowanej za budynkami. Jest to 51,53% powierzchni działki środkowej, 51,48% działki lewej oraz 54,15% prawej. Budynki mieszkalne są bezpośrednio narażone na hałas przekraczający dopuszczalne limity hałasu.

Klimat akustyczny dla grupy 3 budynków

W tym etapie analiz prowadzono badania dla 3 budynków sąsiadujących wg scenariusza pisanego wcześniej. Analizowano rozkład hałasu na skrajnych działkach oraz na działce środkowej. Celem takiego podejścia była ocena różnic klimatu akustycznego na działkach skrajnych w ciągu zabudowy oraz na działkach środkowych. Rozważano przypadki:

a) Ekran akustyczny

W kolejnym wariantcie działki zabezpieczono ekranem akustycznym o wysokości 3 m. Klimat akustyczny na działkach polepszył się. Trzykrotne wydłużenie ekranu akustycznego spowodowało praktycznie całkowite wyeliminowanie hałasu, który dostawał się na działkę środkową z boków. Strefa, w której poziom hałasu nie przekracza 55 dB wynosi 90,58% powierzchni działki środkowej i stanowi jednocześnie 100% powierzchni działki za ekranem akustycznym. Na działkach skrajnych powierzchnia, na której hałas nie przekracza 61 dB i 55 dB wynosi odpowiednio: dla lewej działki 89,98% i 77,95%, a dla prawej działki 89,74% i 76,92%. Wskazuje to, że przy zastosowaniu wydłużonej ochrony także działki skrajne na całej swojej powierzchni są chronione przed hałasem przekraczającym dopuszczalne limity.

b) Nawierzchnia cicha

W wariantcie tym działek nie osłonięto, ale na jezdni zastosowano nawierzchnię cichą. Klimat akustyczny na działkach polepszył się. Mimo, że hałas ma swobodny dostęp na posesję strefa, na której poziom hałasu nie przekracza 61 dB wzrosła do 66,86% powierzchni działki środkowej. Na działkach skrajnych udział tej powierzchni także znajduje się na podobnym poziomie około 67%.

c) Wał ziemny

W kolejnym wariantcie działki zabezpieczono wałem ziemnym o wysokości 3 m. Klimat akustyczny na działkach polepszył się. Trzykrotne wydłużenie wału ziemnego spowodowało praktycznie całkowite wyeliminowanie hałasu, który dostawał się na działkę środkową z boków. Strefa, w której poziom hałasu nie przekracza 55 dB wynosi 84,35% powierzchni działki środkowej i stanowi jednocześnie 100% powierzchni działki za ekranem akustycznym. Na działkach skrajnych powierzchnia, na której hałas nie przekracza 61 dB i 55 dB wynosi odpowiednio: dla lewej działki 84,31% i 74,69%, a dla prawej działki 84,27% i 73,33%. Wskazuje to, że przy zastosowaniu

wydłużonej ochrony także działki skrajne na całej swojej powierzchni są chronione przed hałasem przekraczającym dopuszczalne limity. Nieznaczny spadek powierzchni działek chronionej przez wał w stosunku do ekranu akustycznego jest spowodowana tym, że w obliczeniach nie uwzględniono powierzchni, którą zajmuje wał ziemny.

d) Ekranowanie wewnętrzne

W wariantcie tym działki zabezpieczono ekranowaniem wewnętrznym o wysokości 1,5 m. Klimat akustyczny na działkach polepszył się, ale tylko w części za ekranem. Budynki mieszkalny i części działki przylegająca do jezdni narażone są na hałas na poziomie około 65 dB-70 dB przekraczający dopuszczalne limity. Hałas nie przekracza 61 dB na 65% powierzchni poszczególnych działek i obejmuje swym zasięgiem strefę za budynkami mieszkalnym oraz za ekranowaniem wewnętrznym. Hałas nie przekracza 55 dB tylko w części działki zlokalizowanej za budynkiem. Jest to około 60% powierzchni działek.

Podsumowanie

Tabela 3.14. Wpływ wydłużenia ekranowania na klimat akustyczny na trzech działkach.

Środek ochrony przed hałasem	Powierzchnia, na której hałas nie przekracza [%]:					
	61 dB			55 dB		
	lewa	środkowa	prawa	lewa	środkowa	prawa
Działki niechronione	64,21	63,54	63,77	51,48	51,53	54,15
Ekran akustyczny	89,98	90,58	89,74	77,95	90,58	76,92
Wał ziemny	84,31	84,35	84,27	74,69	84,35	73,33
Nawierzchnia cicha	67,54	66,86	67,62	54,95	54,57	54,91
Ekranowanie wewnętrzne	64,99	64,81	65,15	60,68	60,03	58,11

Na podstawie danych z tabeli 34 oraz map akustycznych można stwierdzić, że zastosowanie ciągłej ochrony przed hałasem (ekran akustyczny lub wał ziemny) dla trzech działek zapewnia klimat akustyczny nie przekraczający 55 dB nie tylko działki środkowej, ale także działek skrajnych. Obszar za środkiem ochronnym w przypadku działki środkowej jest chroniony w 100% a działek skrajnych w około 85% w zakresie do 55 dB. Jeśli za próg graniczny przyjmiemy 61 dB wszystkie trzy działki mają zapewnioną 100% ochronę w strefie za ekranem lub wałem.

Zastosowanie nawierzchni cichej lub ekranowania wewnętrznego jest nie wystarczające i naraża budynki mieszkalne oraz znaczną powierzchnie działek na nadmierny poziom hałasu przekraczający dopuszczalne limity.

Wpływ ekranowania bocznego na skrajnych działkach

Zamodelowano wpływ ekranowania bocznego zlokalizowanego na skrajnych działkach na klimat akustyczny działek i rozchodzenie się na nich fal akustycznych. W kolejnych krokach zamodelowano ekranowanie boczne w różnych wariantach o tej samej wysokości co ekran równoległy do jezdni.

Tabela 3.15. Wpływ ułożenia ekranowania na klimat akustyczny na trzech działkach.

Środek ochrony przed hałasem	Powierzchnia, na której hałas nie przekracza [%]:					
	61 dB			55 dB		
	lewa	środkowa	prawa	lewa	środkowa	prawa
Działki niechronione	64,21	63,54	63,77	51,48	51,53	54,15
Ekran akustyczny	89,98	90,58	89,74	77,95	90,58	76,92
Ekranowanie zakrzywione o 30 stopni	87,10	90,53	87,24	86,25	90,53	83,48
Ekranowanie zakrzywione o 45 stopni	84,57	90,53	84,65	84,45	90,53	84,45
Ekranowanie+ ekranowanie boczne dł. 2m	90,50	90,58	90,23	81,94	90,58	78,95
Ekranowanie+ ekranowanie boczne dł. 6m	90,54	90,58	90,23	86,61	90,58	83,44
Ekranowanie+ ekranowanie boczne dł. 10m	90,36	90,53	90,51	90,15	90,53	88,49
Ekranowanie+ ekranowanie boczne dł. 26,5m	90,18	90,53	90,32	90,18	90,53	90,32
Ekranowanie+ ekranowanie boczne na wszystkich bokach dł. 26,5m	90,17	90,53	90,31	90,17	90,53	90,31

Na podstawie danych z tabeli 35 oraz map akustycznych można stwierdzić, że wszystkie rozwiązania zapewniają działce środkowej ochronę akustyczną na poziomie nie przekraczającym 55 dB na 100% powierzchni za ekranowaniem. Hałas boczny na działkach skrajnych wyeliminowany zostaje całkowicie przy zastosowaniu ekranowania bocznego o długości 10 m i dłuższego. W pozostałych przypadkach wpływ hałasu bocznego na klimat akustyczny działek skrajnych jest także znikomy.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie pomiarów hałasu w terenie, modelowania rozwiązań w programie Sound Plan oraz analizy danych można wyciągnąć następujące wnioski:

- W warunkach rzeczywistych pomimo różnych prób podejmowanych przez mieszkańców terenów narażonych na emisję hałasu drogowego, kompleksowa i skoordynowana ochrona przed hałasem występuje niezwykle rzadko.
- Dużą skuteczność w ochronie przed hałasem można osiągnąć za pośrednictwem zwartej zieleni. Jej skuteczność rośnie wraz z szerokością, wysokością i gęstością zielonej bariery (wyniki badań empirycznych [patrz punkt 2 niniejszego opracowania])
- Wszystkie analizowane przegrody zapewniają ochronę przed hałasem wyłącznie w granicach swej wysokości, wraz ze wzrostem wysokości odbiornika maleje ich skuteczność.
- Analiza ochrony przed hałasem musi obejmować nie tylko bok równoległy do liniowego źródła hałasu, ale również prostopadły, co najmniej w pobliżu drogi.
- Największą skuteczność w ochronie przed hałasem można osiągnąć za pomocą kombinacji ekranowania akustycznego i ekranowania akustycznego bocznego o długości minimum 10 metrów.
- Ekranowanie wewnętrzne powoduje odbicie fal akustycznych i tym samym kumulację hałasu na linii elewacji budynku. W związku z tym każdorazowo należy indywidualnie rozważyć lokalizację przegród aby zmaksymalizować ich efektywność.
- Wał ziemny jest dobrą przegrodą akustyczną, jednak należy uwzględnić stratę terenu, który zajmuje.
- Cicha nawierzchnia może stanowić element wspomagający ochronę przed hałasem. Sama w sobie nie zapewnia obniżenia hałasu do wymaganych poziomów jednak dobrze wspomaga inne rozwiązania.
- Zabudowa niewrażliwa powinna być lokalizowana na drodze fali akustycznej, czyli między budynkiem a drogą. Dzięki temu można ograniczyć ilość ekranowania, jednocześnie zapewniając dobre warunki akustyczne na działce.
- Kompleksowa ochrona przed hałasem powinna obejmować więcej niż jedną posesję, jeśli występują obok siebie. Podczas ochrony trzech działek, przy tym samym ekranowaniu można osiągnąć dużo lepszy klimat akustyczny niż w przypadku pojedynczych działek.
- Ochrona przed hałasem powinna być rozważana już w fazie projektowej, aby dobrze zlokalizować przegrody i budynki.
- Ekranowanie nie musi być przestrzenią traconą. Można je wykonać zarówno jako przegrodę zieloną – poprawa estetyki oraz ekologiczności, jak i w postaci nośnika dla ogniw fotowoltaicznych, i wykorzystać je do produkcji prądu [patrz punkt 4.2 niniejszego opracowania].

Wyniki analiz w zakresie użycia map hałasu do planowania zagospodarowania działki, wykorzystania wewnętrznych przesłon akustycznych oraz poszukiwania powierzchni o obniżonym hałasie zostały przedstawione w referatach:

- Tracz M., Woźniak K.: Designing Separate Zones with Reduced Noise on the Property; INTER-NOISE 2016 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Towards a Quieter Future, pp. 4242-4252, Hamburg, Germany

- Woźniak K.: Hałas drogowy jako czynnik warunkujący ergonomiczne kształtowanie stref wypoczynku na posesjach przyległych do drogi; XLV Ogólnopolska Konferencja Ergonomiczna OKE'2017, XV Międzynarodowa Konferencja Ergonomiczna „Człowiek – Nauka – Środowisko” – MSE'2017; Karpacz, Polska

- Woźniak K.: Perception of traffic noise and protection measures by people living along the road; CETRA 2018, 5th International Conference on Road and Rail Infrastructure, Zadar, Croatia

Modelowanie rozkładu hałasu na posesjach przyległych do drogi może być narzędziem wspomagającym w procesie projektowania budynku jak również zagospodarowania terenu wokół niego. Jest to pomocne na etapie budowy nowych budynków ale również może być wykorzystywane do zmian zagospodarowania na terenie posesji z istniejącymi budynkami. Tworząc zagospodarowanie z wewnętrznymi przegrodami w postaci płotów, murów (z cegieł jak również szklanych) można zmniejszać poziom hałasu docierający do wrażliwych pomieszczeń, tworzyć na terenie posesji strefy z obniżonym hałasem (obszary rekreacyjne).

Analiza lokalizacji budynku, zespołu budynków, problem położenia budynku na terenie posesji, układ budynku względem drogi i np. rozmieszczenie pomieszczeń wrażliwych wewnątrz budynku może podlegać ocenie na etapie planistycznym. W kolejnym punkcie przedstawiono analizę ww problemu dla pojedynczej posesji.

3.3. Analiza lokalizacji zabudowy względem drogi z uwzględnieniem ochrony akustycznej i dostępności

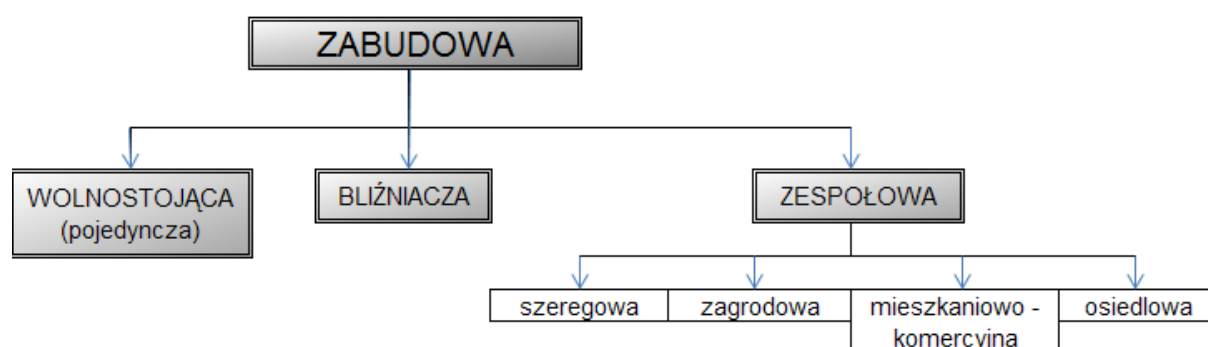
Usytuowanie zabudowy względem drogi

Wg badań autorów ok. 80% budynków zlokalizowanych w pierwszej linii zabudowy w pobliżu dróg znajduje się w strefie zasięgu hałasu przekraczającego poziom dopuszczalny przyjęty w Polsce.

Wobec braku odpowiednio skutecznych przepisów urbanistycznych i zapisów dotyczących lokalizacji wrażliwych budynków względem drogi, problem ochrony przed hałasem stanowi obecnie w Polsce ogromne wyzwanie dla budownictwa drogowego nie tylko pod względem kosztów, ale również pod względem opracowania rozwiązań technicznych umożliwiających zabezpieczenie otoczenia dróg przed hałasem. Trudność rozwiązania tego problemu polega na tym, że występują tu sprzeczności pomiędzy: efektywnością ekranowania, dostępnością do drogi i zabudowy oraz estetyką. Należy pamiętać o ruchu pieszym wzdłuż dróg. Należy zwrócić uwagę na ogromne zaniedbanie dotyczące tego problemu w zakresie zagospodarowania przestrzennego i rozwiązań dotyczących zabudowy.

Jednym z najczęściej stosowanych sposobów ochrony przed hałasem jest w tym przypadku ekranowanie. Bliskość zabudowy ogranicza miejsce na lokalizację ekranów i wymusza urządzenie licznych wjazdów ze względu na brak miejsca na tzw. drogi serwisowe wzdłuż drogi lub w pewnej odległości tak, aby obsługiwały zabudowę. To z kolei powoduje obniżenie efektywności akustycznej ekranu lub konieczność ograniczenia dostępności.

W analizach wzięto pod uwagę podział zabudowy ze względu na usytuowanie względem drogi. Analizowano wrażliwą na hałas zabudowę wzdłuż dróg o dominującej funkcji ruchowej. Wyodrębniono budynki pojedyncze, bliźniacze oraz zespoły budynków. Podział ten przedstawiono na rys.3.28.



Rys.3.28. Podział zabudowy ze względu na usytuowanie względem drogi o funkcji ruchowej.

W analizach wzięto pod uwagę:

- a) Usytuowanie ścian wrażliwych względem drogi
- b) Usytuowanie budynków względem innych budynków
- c) Usytuowanie budynków ze względu na obsługę komunikacyjną zabudowy

Usytuowanie ścian wrażliwych względem drogi

Czynnikiem wpływającym na sposób rozchodzenia się hałasu jest usytuowanie poszczególnych stron budynku względem drogi. Analizowano trzy sposoby lokalizacji ścian wrażliwych względem drogi.

Pierwsza z nich to usytuowanie budynku elewacją frontową równoległą do drogi. Jest to tradycyjny najbardziej powszechny sposób ekspozycji budynku, poprzez dekoracyjność oraz funkcję reprezentacyjną. Zazwyczaj jest to elewacja przednia, sytuowana w kierunku podłużnym w stosunku do połaci dachowej, posiadająca wejście, otwory okienne, czasem taras. Taka lokalizacja wiąże się z narażeniem znacznej części powierzchni budynku na odbiór hałasu drogowego, a także łatwością jego przenikania do wnętrza obiektu.

Drugi sposób lokalizacji to usytuowanie obiektu prostopadle, elewacją szczytową do drogi. Ściana szczytowa jest ścianą konstrukcyjną, sytuowaną w kierunku poprzecznym w stosunku do połaci dachowej. Takie usytuowanie budynku z pozostawieniem wejścia z boku jest stosowane często na wąskich działkach. Ściana ta nie jest atrakcyjna wizualnie, gdyż zazwyczaj nie posiada żadnych otworów okiennych, przez co przedostanie się dźwięków dokuczliwych jest znacznie utrudnione, a ściana frontowa nie jest narażona na ich bezpośrednie działanie.

Trzecim sposobem lokalizacji ścian wrażliwych jest zwrócenie ich pod kątem do drogi. Takie usytuowanie obiektu podyktowane bywa zazwyczaj geometrią wydzielonej działki, której granice biegną pod kątem do osi drogi. Jest to inny rodzaj ekspozycji budynku spotykany przy nowych drogach. Jednak z punktu widzenia wrażliwości na hałas nie jest to korzystny układ. Dwie ściany są narażone na bezpośredni odbiór fal dźwiękowych, a mnogość otworów okiennych i drzwiowych pogarsza komfort domowników.

Poszczególne sposoby usytuowania budynku mogą wynikać z różnych przesłanek. Warto jednak podejmując decyzję o lokalizacji pomieszczeń wrażliwych na hałas (salony, sypialnie), biorąc pod uwagę zdrowie i dobre samopoczucie, wybierać dla nich części domu jak najdalej od drogi.

Usytuowanie budynków względem innych budynków

Przy podziale usytuowania budynków względem innych budynków można rozróżnić budynek pojedynczy, który jest odosobnionym obiektem mieszkalnym. W promieniu 50m nie występuje inna zabudowa mająca wpływ na dany budynek.

Zabudowa rozproszona to zespół budynków znajdujących się w odległości 30-50m od siebie, w formie luźno rozrzuconych i niezależnych siedlisk. Obiekty nie tworzą konkretnej linii zabudowy, jednak przy takim układzie istnieje możliwość ich wzajemnego oddziaływania. Część budynków pełni funkcję ekranu lub powoduje odbicie fal dźwiękowych.

Zabudowa zwarta to zespół budynków znajdujących się w odległości nieprzekraczającej 30m lub bezpośrednio przylegających do siebie. Taki układ zabudowy korzystny z uwagi na ogrzewanie pozbawia część mieszkań dostępu światła, możliwości przewietrzenia, oraz znacznie silniej niż w przypadku zabudowy rozproszonej oddziałuje na sąsiadujące obiekty.

Ostatnim wyróżnionym rodzajem zabudowy jest układ liniowy. Charakteryzujący się uporządkowaną linią sytuowania obiektów mieszkalnych wzdłuż ciągów komunikacyjnych. Przy projektowaniu urbanistycznym taka linia określa obszar dopuszczalnego lub wymaganego położenia budynków, a jej odległość od drogi jest określona w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego. Na niekorzystne działanie hałasu komunikacyjnego w układzie liniowym narażone są głównie obiekty skrajne, posiadające trzy nieekranowane elewacje. Wewnętrzne budynki są osłonięte sąsiednimi, co redukuje ich ekspozycję na bezpośredni odbiór fal dźwiękowych, natomiast powoduje ograniczenie wolnej przestrzeni wokół oraz prywatności mieszkańców.

Usytuowanie budynków ze względu na obsługę zabudowy wjazdami

Rozróżniono dwa rodzaje zjazdów do posesji z drogi, indywidualny i publiczny.

Zjazd indywidualny określony jest przez zarządcę drogi jako zjazd do jednego lub kilku obiektów użytkowanych indywidualnie. Szerokość zjazdu nie powinna być mniejsza niż 4,5 m, w tym szerokość jezdni nie mniejsza niż 3 m.

Zjazd publiczny jest określony przez zarządcę drogi jako zjazd co najmniej do jednego obiektu, w którym jest prowadzona działalność gospodarcza, a w szczególności do stacji paliw, obiektu gastronomicznego, hotelowego, przemysłowego, handlowego lub magazynowego. Szerokość zjazdu nie powinna być mniejsza niż 5,0 m, w tym szerokość jezdni nie mniejsza niż 3,5 m i nie większa niż szerokość jezdni na drodze, taki zjazd powinien posiadać nawierzchnię twardą w granicach pasa drogowego.

Zjazdy z drogi powinny być zaprojektowane i wybudowane w sposób odpowiadający wymaganiom wynikającym z jego usytuowania i przeznaczenia, a w szczególności powinny być dostosowane do wymagań bezpieczeństwa ruchu na drodze, wymiarów gabarytowych pojazdów, dla których są przeznaczone, oraz do wymagań ruchu pieszych.

Zjazdy z drogi głównej można podzielić na 3 typy: bezpośredni, układy obsługiwane przez drogę serwisową oraz sięgaczowe. Pierwszy typ łączy bezpośrednio obiekty mieszkalne, gospodarcze i usługowe z drogą główną, zapewniając w ten sposób dostępność. Są to głównie wjazdy „bramowe”. Niestety gęstość wjazdów do pojedynczych posesji obniża płynność ruchu i stanowi utrudnienia przy konieczności ekranowania przyległego terenu.

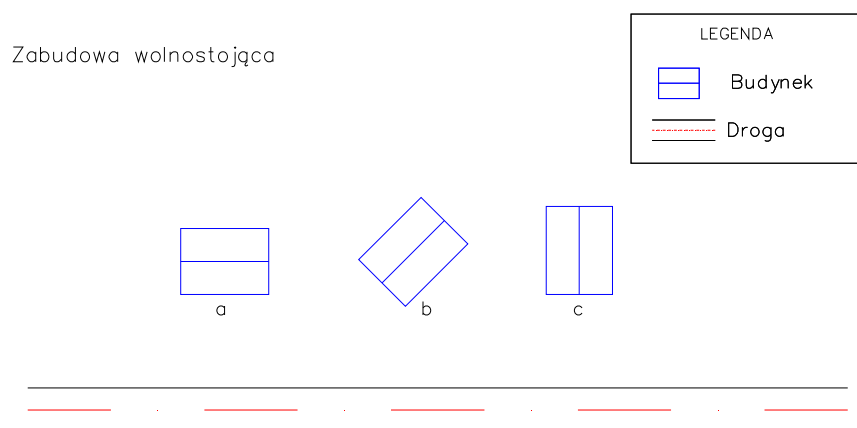
Droga serwisowa jest to droga prowadzona równolegle do drogi o ograniczonej dostępności, która zapewnia bezpośredni dostęp do posesji i łączy się w pewnych odstępach z nowo projektowaną trasą. Jest to korzystny sposób obsługi gęstej zabudowy ze względu na uporządkowanie ruchu i możliwość efektywnego ekranowania. Problem pojawia się, gdy zabudowa jest zbyt rozproszona lub jest za blisko drogi i nie ma możliwości wygospodarowania miejsca na budowę drogi serwisowej. Ponadto systemy dróg serwisowych zazwyczaj wydłużają dojazd do poszczególnych budynków.

Sięgacz jest to droga mająca jeden wjazd i jest zakończona zwykle placem do zawracania. Łączy się prostopadłe z drogą główną. Układ sięgaczowy stosuje się w dzielnicach mieszkaniowych, na osiedlach w celu wyeliminowania ruchu przelotowego. Sięgacz ma klasę ulicy dojazdowej.

Przypadki usytuowania zabudowy

(1). Zabudowa wolnostojąca (pojedyncza).

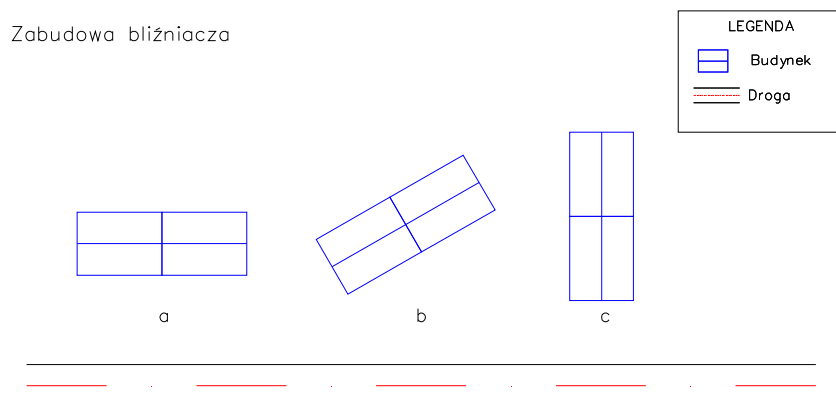
Rozróżniono trzy przypadki usytuowania zabudowy wolnostojącej względem drogi. W pierwszym budynek mieszkalny usytuowany jest równolegle (a), ścianą frontową do drogi. W drugim budynek usytuowany jest pod kątem (b) do drogi. Natomiast przypadek trzeci to usytuowanie budynku prostopadłe (c), ścianą szczytową frontem do drogi. Na rysunku 7.24 przedstawiono schematyczny plan sytuacyjny usytuowania obiektu wolnostojącego względem drogi.



Rys. 3.29. Plan sytuacyjny – usytuowanie obiektu wolnostojącego względem drogi.

(2). Zabudowa bliźniacza

Podobnie jak przy zabudowie wolnostojącej rozróżniono trzy analogiczne przypadki usytuowania zabudowy bliźniaczej. Na rys.7.25. przedstawiono schematyczny plan sytuacyjny usytuowania obiektów bliźniaczych względem drogi.

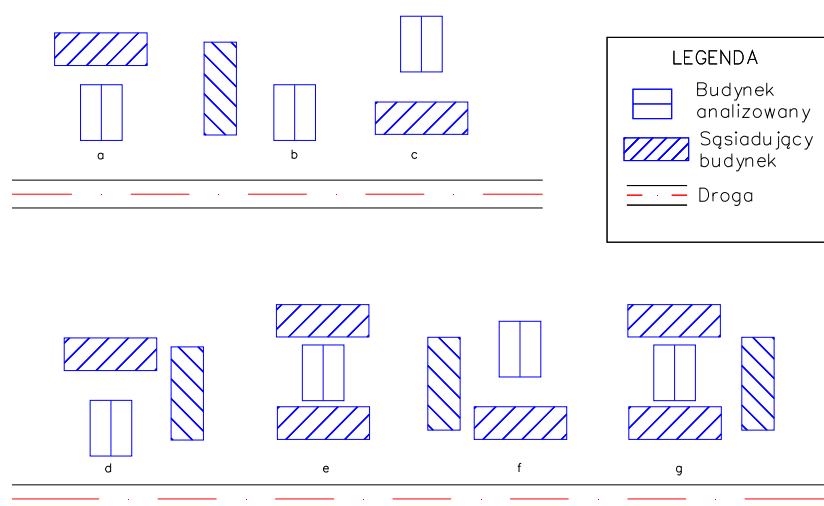


Rys.3.30. Plan sytuacyjny – usytuowanie obiektów bliźniaczych względem drogi

(3). Zespołowa

Zabudowa zespołowa jest układem kilku obiektów zlokalizowanych na jednej posesji. Mogą to być budynki mieszkalne wraz z gospodarczymi, przemysłowymi i usługowymi, lub jak w przypadku zespołu szeregowego czy osiedlowego kilka obiektów mieszkalnych. Układ ten powoduje możliwość wzajemnego oddziaływanie pomiędzy budynkami, zależne od usytuowania ich względem siebie (tłumienie i odbijanie hałasu). Wyróżniony budynek (rys.7.26) w układzie poddany analizie może być osłonięty innym od tyłu, z boku, od przodu lub w kombinacji mieszanej zależnej od ilości budynków na jednej działce. W pierwszym przypadku, gdy budynek jest osłonięty innym od tyłu (a), występuje zjawisko odbicia fali dźwiękowej od budynku znajdującego się w głębi działki i jej wpływ na analizowany budynek. Gdy budynek jest osłonięty innym z boku (b) występuje częściowe ekranowanie oraz odbicie wpływające na analizowany obiekt. Budynek osłonięty od przodu (c) znajduje się w cieniu akustycznym obiektu pierwszoplanowego, których chroni go przed hałasem. Wyróżniono również przypadki mieszanych kombinacji ochrony analizowanego budynku: od tyłu i z boku (d), od tyłu i od przodu (e), od przodu i z boku (f), oraz os tyłu, z boku i od przodu (g). Kombinacje te pozwalają na lepszą ochronę wyróżnionego budynku przez wytworzenie dużego cienia akustycznego, lecz powoduje ograniczenie doświetlenia i przewietrzenia obiektu. Na rysunku 7.26 przedstawiono schematyczny plan sytuacyjny usytuowania obiektów w zabudowie zespołowej względem drogi.

Zespołowa



Rys.3.31. Plan sytuacyjny – usytuowanie obiektów w zabudowie zespołowej względem drogi.

Pomiary hałasu

Badania empiryczne przeprowadzono na poligonach zlokalizowanych przy drodze krajowej nr7 na odcinku Kraków – Kielce. Jest to droga o funkcji ruchowej składająca się z odcinka drogi klasy GP o przekroju poprzecznym 1x2 z poboczem utwardzonym 1,5-2,2 m oraz z odcinka drogi klasy S w obszarze Kielc o przekroju poprzecznym 2x2. Szerokość pasów ruchu w przekroju 1x2 wynosi 3,5 m, a w przekroju 2x2 - 3,75 m.

Głównym kryterium doboru poligonów był podział zabudowy opisany wcześniej oraz poszukiwanie budynku modelowego i odseparowanego od otaczającej zabudowy. Pomiary na poligonach badawczych zostały wykonane miernikami SVANTEK w 4 punktach. Poziom podstawowy pomierzono w odległości 10 m od krawędzi jezdni i na wysokości 1,5m, natomiast

pozostałe punkty na wysokości 2,5 m były zlokalizowane w zależności od rodzaju i sposobu usytuowania budynku.

Do weryfikacji pomiarów i porównania wyników z prognozą wykorzystano różnicę obliczonych i pomierzonych poziomów hałasu w punktach odbioru oraz odchylenie standardowe. Weryfikacja wykazała zadowalającą zgodność wyników pomiarów z prognozą wykonaną przy użyciu programu SoundPlan (odchylenie standardowe 0,96dB). Wyniki weryfikacji umożliwiły wykorzystanie programu SoundPlan do symulacji rozchodzenia się hałasu w różnych przypadkach usytuowania zabudowy. Wybór ten jest uzasadniony szybkością i powtarzalnością obliczeń, możliwością kalibracji danych wejściowych, oraz uzyskaniem wyników zbliżonych do pomiarów, które można przedstawić w sposób graficzny za pomocą map hałasu.

Analizy modelowego usytuowania zabudowy względem drogi w aspekcie wpływu hałasu

Do analiz został wprowadzony współczynnik KLB dla określenia oddziaływania hałasu drogowego na przydrożną zabudowę. Jest to współczynnik odzwierciedlający wrażliwości budynku na hałas przy uwzględnieniu odległości od drogi i rozmiaru ściany budynku. Uwzględnia on pojedynczą ścianę budynku. Za pomocą współczynnika KLB można określić odległość zabudowy od drogi oraz kąt zwrotu ścian budynku przy których odbierany poziom hałasu jest najniższy.

Algorytm wyznaczania współczynnika KLB

Dane wejściowe:

- a) Poziom podstawowy hałasu z pomiarów lub obliczeń (Poziom hałasu w punkcie oddalonym o 10 m od drogi).
- b) Poziom hałasu w punktach odbioru z pomiarów lub obliczeń.
- c) Odległości punktów odbioru od krawędzi jezdni.
- d) Wysokość punktów odbioru nad poziomem jezdni.
- e) Odległość linii zabudowy od krawędzi jezdni.
- f) Szerokość i wysokość użyteczna ścian budynku.

Wyznaczania współczynnika KLB obejmuje następujące kroki:

1. Obliczenie lub pomiar poziomu podstawowego hałasu 10 m od krawędzi jezdni (poziom emisji hałasu).
2. Obliczenie lub pomiar poziomu hałasu w środku rozpiętości ściany budynku, 1 m od fasady, na wysokości ucha ludzkiego w pomieszczeniu.
3. Obliczenie różnicy pomiędzy otrzymanymi poziomami hałasu w środku rozpiętości ściany budynku a poziomem podstawowym hałasu.
4. Obliczenie współczynnika KLB dla każdej ściany wg. wzoru 7.3.

$$KLB = \frac{1}{\left(\Delta L_{Aeq} \cdot \frac{1}{b} \cdot h \right)} \quad (3.1)$$

gdzie:

ΔL_{Aeq} – różnica pomiędzy otrzymanym poziomem hałasu w założonej linii zabudowy a poziomem podstawowym hałasu [dB];

b – szerokość ściany [m];

h – wysokość użyteczna ściany [m].

Współczynnik KLB określa ekspozycję pojedynczej ściany budynku na hałas, natomiast suma współczynników KLB poszczególnych ścian określa poziom narażenia całego budynku na hałas

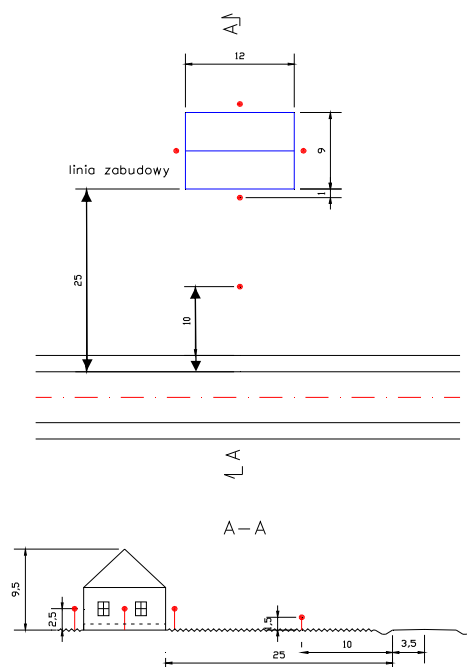
drogowy. Im współczynnik KLB jest mniejszy, tym ekspozycja ściany bądź całego budynku na hałas jest mniejsza.

Założenia wstępne dla analiz ekspozycji zabudowy na hałas:

Analizę przeprowadzono wg danych ruchowych z odcinka drogi krajowej Kraków Kielce (DK nr 7), a więc drogi o wyraźnej funkcji ruchowej. Dla celów analizy modelowego usytuowania zabudowy względem drogi przyjęto następujące założenia:

- odcinek prosty o przekroju 1x2 i szerokością pasów ruchu 3,5 m;
- średniodobowe natężenie ruchu ($\dot{S}DR$) dla DK 7 na odcinku Kraków-Kielce,
- udziały ruchu w porze dnia (6:00 – 22:00) przyjęto 0,87 jako wartości uśrednione dla ciągów drogowych, wartości te posłużyły do obliczenia średniogodzinowego natężenia ruchu q w porze dnia jako danych do prognozy hałasu
- założono teren płaski, otwarty, pokryty trawą i brak wpływu pochylenia niwelety drogi na poziom hałasu ($i \leq 2\%$);
- przyjęto wysokości punktów odbioru nad poziomem jezdni: 1,5 m dla podstawowego poziomu hałasu w odległości 10 m od krawędzi jezdni, oraz 2,5 m dla poziomów hałasu w środku rozpiętości ścian budynku, 1 m od fasady;
- wymiary ściany budynku 9x12 m, o wysokości 9,5 m do kalenicy dachu, wysokość użytkowa kondygnacji 2,5 m;
- linia zabudowy w odległości 25 m od krawędzi jezdni;
- założono brak ekranowania;
- jako źródło zamodelowano oś drogi

Obliczenia poziomów hałasu w punktach odbioru wykonano programem SoundPLAN i dodatkowo wykonano mapy hałasu.

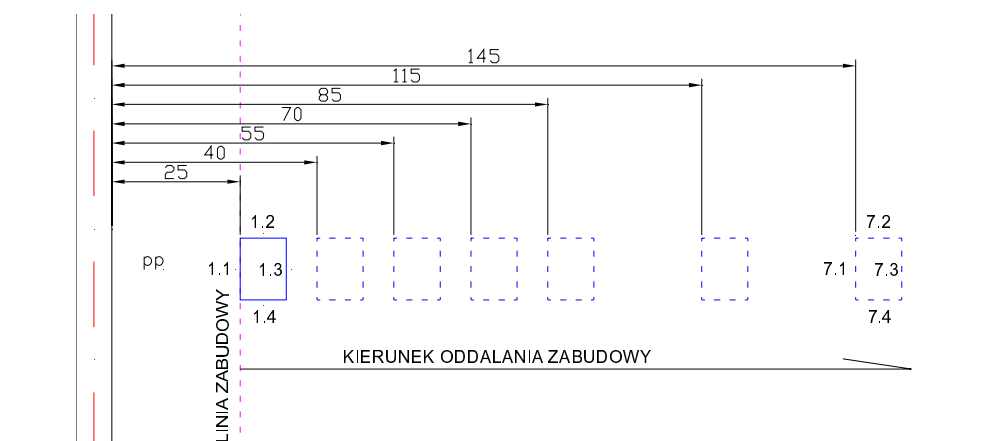


Rys.3.32. Schemat modelowego układu budynku względem drogi.

Modelowe przypadki zabudowy poddane analizie

Analiza I

Podstawowym czynnikiem wpływającym na poziom natężenia dźwięku przy ścianie budynku jest jego odległość od drogi. Analizę przeprowadzono dla 7 obiektów mieszkalnych oddalonych o 25, 40, 55, 70, 85, 115 i 145 m od krawędzi drogi (rys. 3.33). Odległości te przyjęto ze względu na minimalne dopuszczalne i minimalne zalecane odległości zabudowy i terenów chronionych od krawędzi jezdni drogi.



Rys.3.33. Schemat rozmieszczenia budynków ze względu na odległość.

Odbiorniki umieszczono pośrodku fasady każdej ze ścian budynku, oraz jeden 10 m od krawędzi pasa ruchu i oznaczono według załączonego schematu (rys.3.33).

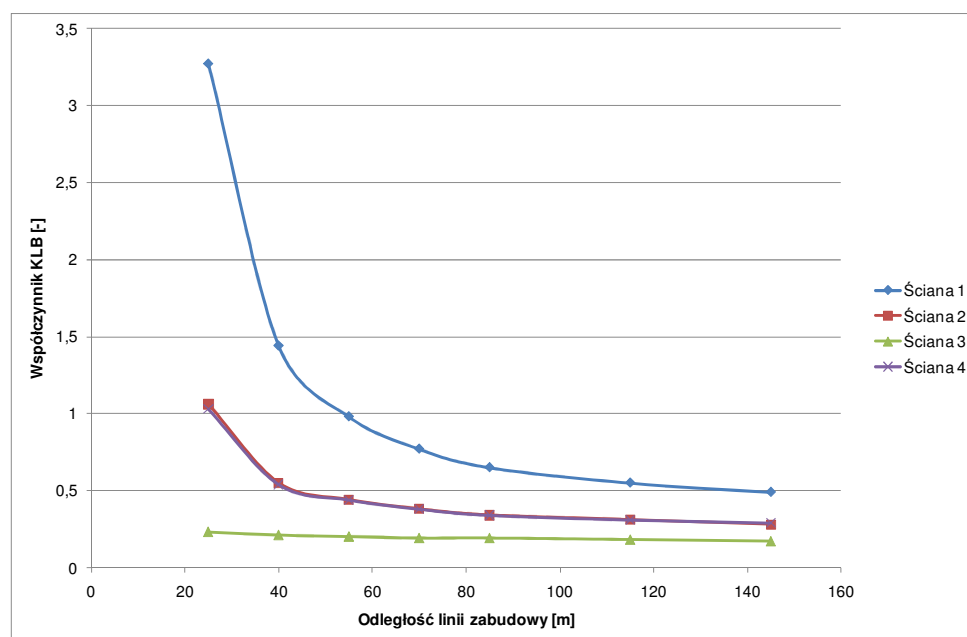
W tabeli 7.6 zestawiono wyniki obliczonych poziomów hałasu przy budynkach oraz współczynnik KLB dla poszczególnych ścian i całych obiektów.

Tablica 3.16. Zestawienie obliczeń dla budynków analizowanych ze względu na odległość.

Pkt. odbioru	Odległość punktu od drogi [m]	Szerokość ściany [m]	Pozio m podst. hałasu (pp) [dBA]	Pozio m przy ścianie (ps) [dBA]	Różnica [dBA]	Wsp. KLB	KLB
Budynek 1							
1.1	24	12	70	68,5	1,5	3,27	5,59
1.2	29,5	9		66,6	3,4	1,06	
1.3	35	12		49,4	20,6	0,23	
1.4	29,5	9		66,5	3,5	1,03	
Budynek 2							
2.1	39	12	70	66,7	3,3	1,44	2,74
2.2	44,5	9		63,4	6,6	0,55	
2.3	50	12		46,8	23,3	0,21	
2.4	44,5	9		63,3	6,7	0,54	
Budynek 3							

3.1	54	12	70	65,1	4,9	0,98	2,06	
3.2	59,5	9		61,8	8,2	0,44		
3.3	65	12		46,1	23,9	0,2		
3.4	59,5	9		61,8	8,2	0,44		
Budynek 4								
4.1	69	12	70	63,8	6,2	0,77	1,72	
4.2	74,5	9		60,5	9,5	0,38		
4.3	80	12		45,2	24,8	0,19		
4.4	74,5	9		60,5	9,5	0,38		
Budynek 5								
5.1	84	12	70	62,7	7,4	0,65	1,53	
5.2	89,5	9		59,5	10,5	0,34		
5.3	95	12		44,3	25,7	0,19		
5.4	89,5	9		59,5	10,5	0,34		
Budynek 6								
6.1	114	12	70	61,3	8,7	0,55	1,35	
6.2	119,5	9		58,4	11,7	0,31		
6.3	125	12		43,0	27,1	0,18		
6.4	119,5	9		58,4	11,7	0,31		
Budynek 7								
7.1	144	12	70	60,3	9,7	0,49	1,23	
7.2	149,5	9		57,1	12,9	0,28		
7.3	155	12		41,4	28,6	0,17		
7.4	149,5	9		57,5	12,5	0,29		
						najniższy KLB	0,17	1,23

Wyniki z tabeli przedstawiono w formie wykresów pokazujących zależności:



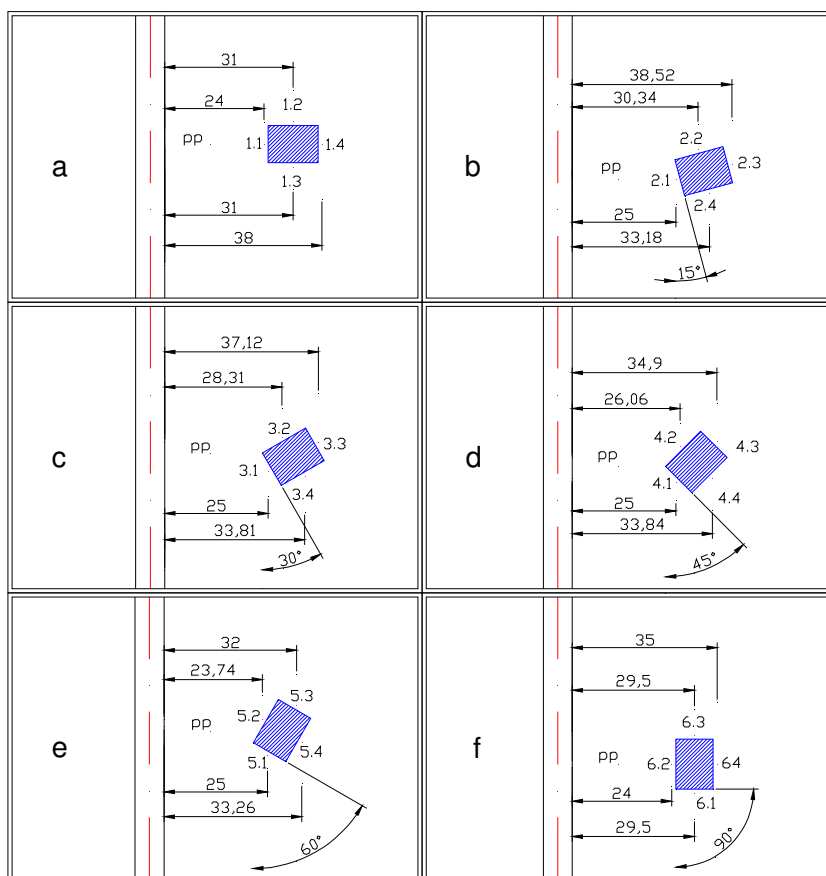
Rys.3.34. Zmiana współczynnika KLB wraz ze wzrostem odległości.

Analiza I potwierdziła, że wraz ze wzrostem odległości budynku od drogi poziom hałasu przy każdej ze ścian maleje, a wartość spadku rośnie logarytmicznie. Analiza zależności pomiędzy poziomem natężenia hałasu a odległością wskazuje, że w odległości 55m od krawędzi jezdni cały budynek znajduje się poniżej strefy dopuszczalnego hałasu.

Wartość współczynnika KLB opisującego narażenie poszczególnych ścian budynku na negatywne oddziaływanie hałasu komunikacyjnego spada wraz ze wzrostem odległości budynku od drogi i jest to funkcja potęgowa, oraz wskazuje pojedynczą ścianę i cały obiekt najmniej narażony.

Analiza II

W analizie II opisano wpływ kąta zwrotu ścian budynku względem drogi na poziom natężenia dźwięku. Analizę B przeprowadzono na 6 obiektach mieszkalnych o kącie zwrotu 0°, 15°, 30°, 45°, 60°, 90° (rys.3.35). Wartości kątów przyjęto na bazie obserwacji istniejącej zabudowy.



Rys.3.35. Schemat rozmieszczenia budynków ze względu na kąt zwrotu względem drogi.

Odbiorniki umieszczono po środku fasady każdej ze ścian budynku, oraz jeden 10 m od krawędzi pasa ruchu.

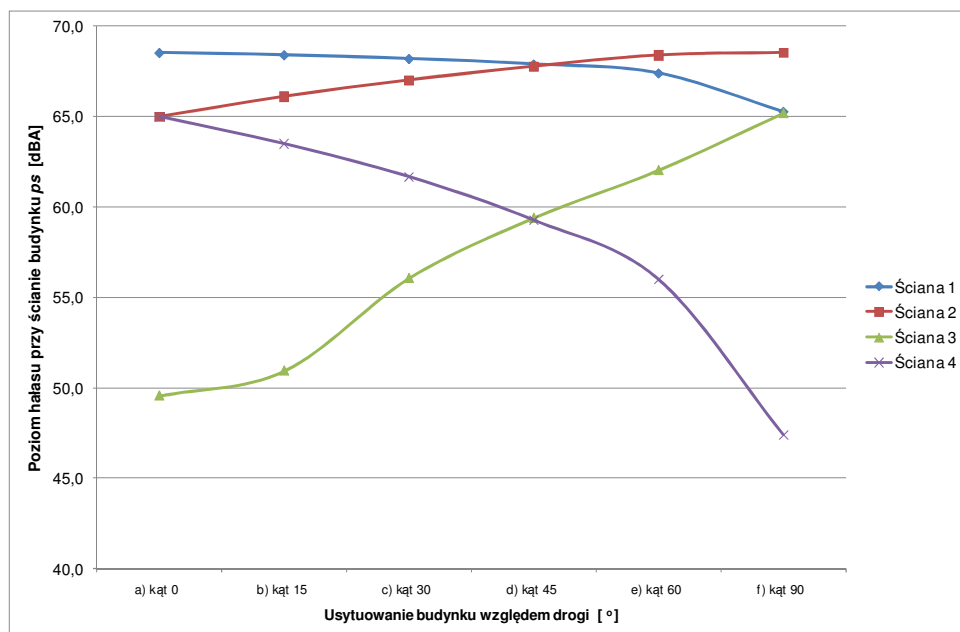
W tabeli 7. zestawiono wyniki obliczonych poziomów hałasu przy budynkach oraz wartości współczynnika KLB dla poszczególnych ścian i całych obiektów.

Tabl. 3.17. Zestawienie obliczeń dla budynków analizowanych ze względu na kąt zwrotu względem drogi.

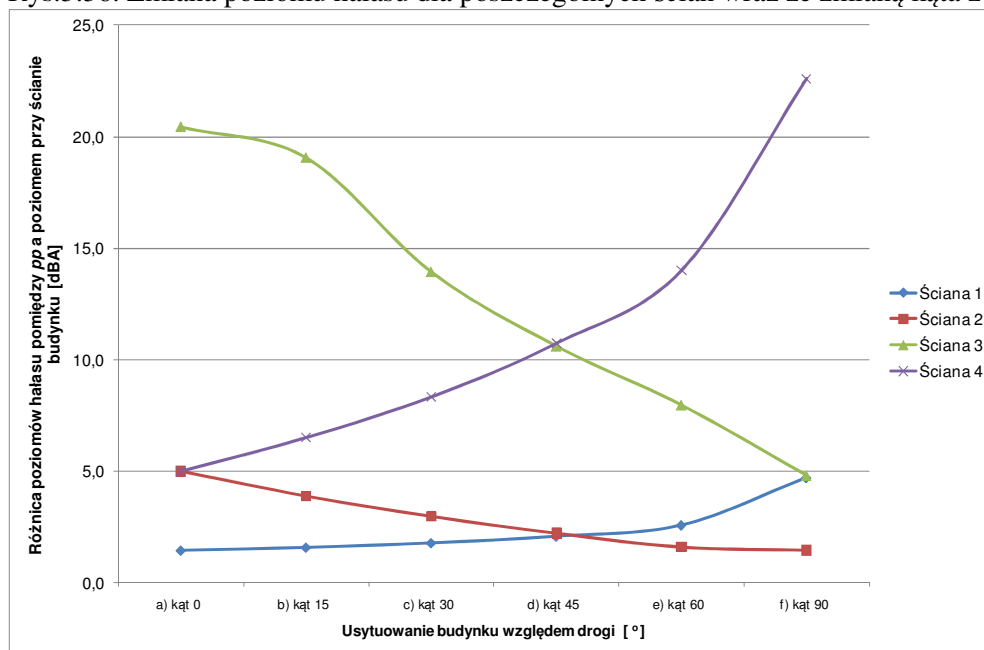
Pkt. odbioru	Odległość punktu od drogi [m]	Szerokość ściany [m]	Poziom m podst. hałasu (pp) [dBA]	Poziom przy ścianie (ps) [dBA]	Różnica [dBA]	Wsp. KLB	Σ KLB
a) Budynek 1 (kąt 0°)							
2.1	24	9	70	68,5	1,5	2,45	4,55
2.2	31	12		65,0	5,0	0,96	
2.3	38	9		49,6	20,4	0,18	
2.4	31	12		65,0	5,0	0,96	
b) Budynek 2 (kąt 15°)							
4.1	25	9	70	68,4	1,6	2,25	4,41

4.2	30,34	12		66,1	3,9	1,23		
4.3	28,52	9		50,9	19,1	0,19		
4.4	33,18	12		63,5	6,5	0,74		
c) Budynek 3 (kąt 30°)								
5.1	25	9	70	68,2	1,8	2	4,44	
5.2	28,31	12		67,0	3,0	1,61		
5.3	37,12	9		56,1	13,9	0,26		
5.4	33,81	12		61,7	8,3	0,58		
d) Budynek 4 (kąt 45°)								
6.1	25	9	70	67,9	2,1	1,71	4,65	
6.2	26,06	12		67,8	2,2	2,15		
6.3	34,9	9		59,4	10,6	0,34		
6.4	33,84	12		59,3	10,7	0,45		
e) Budynek 5 (kąt 60°)								
7.1	25	9	70	67,4	2,6	1,38	5,16	
7.2	23,74	12		68,4	1,6	2,98		
7.3	32	9		62,0	8,0	0,45		
7.4	33,26	12		56,0	14,0	0,34		
f) Budynek 6 (kąt 90°)								
8.1	29,5	9	70	65,3	4,7	0,76	5	
8.2	24	12		68,5	1,5	3,27		
8.3	29,5	9		65,2	4,8	0,75		
8.4	35	12		47,4	22,6	0,21		
						najniższy KLB	0,18	4,41

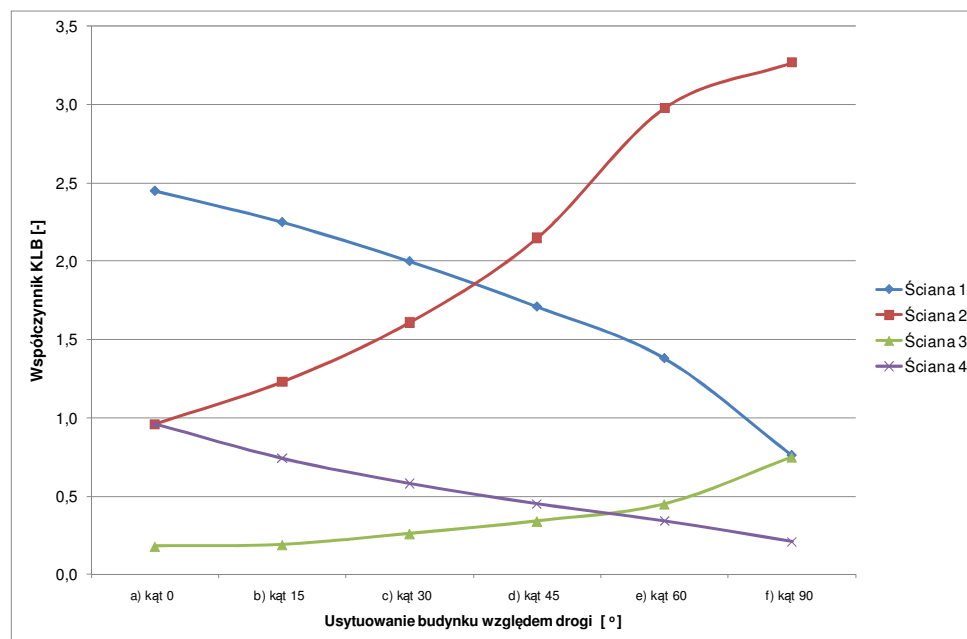
Wyniki z tab.3.17 przedstawiono w formie wykresów pokazujących analizowane zależności.



Rys.3.36. Zmiana poziomu hałasu dla poszczególnych ścian wraz ze zmianą kąta zwrotu budynku.



Rys.3.37. Różnica poziomu hałasu wraz ze zmianą kąta zwrotu budynku.



Rys.3.38. Zmiana współczynnika KLB wraz ze zmianą kąta zwrotu budynku.

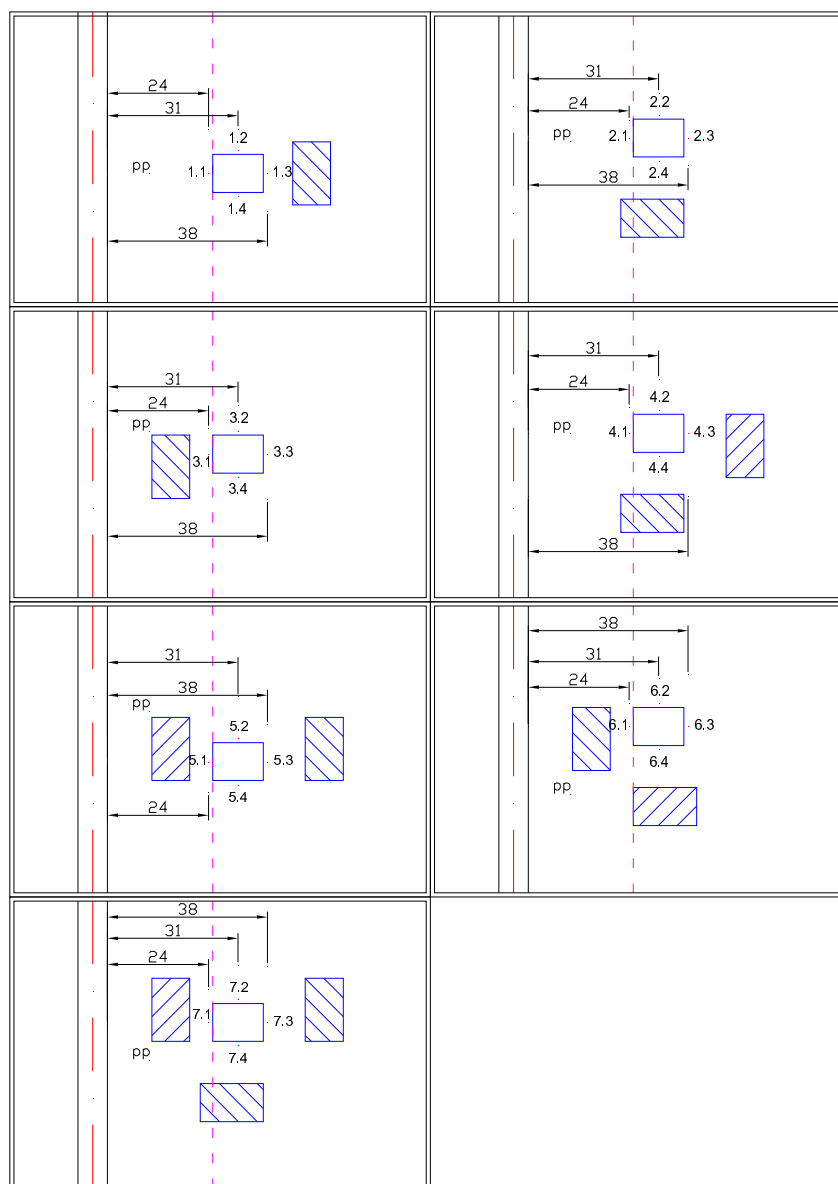
Analiza II pokazuje, że wraz ze zmianą kąta zwrotu budynku względem drogi, poziom oraz różnica natężenia hałasu przy dwóch sąsiadujących ścianach rośnie i przy dwóch pozostałych maleje. Z wykresów tych wynika, że najbardziej optymalnym z punktu widzenia całego budynku, jest usytuowania obiektu pod kątem 45°. Przy tym kącie zwrotu hałas na poszczególnych ścianach rozkłada się w sposób proporcjonalny. Jeżeli zrezygnuje się z umieszczania okien na jednej z elewacji wówczas może okazać się, że usytuowanie budynku pod innym kątem będzie korzystniejsze. Taka lokalizacja jest niezbyt funkcjonalna zwłaszcza na wąskich działkach.

Współczynnik KLB wskazuje, że najbardziej wyciszoną przy podanym w analizie II sposobie zabudowy jest tylna ściana obiektu zwróconego równoległe do drogi. Biorąc pod uwagę niekorzystny wpływ hałasu na cały budynek najlepszym jest prostopadły sposób sytuowania obiektu, ścianą szczytową do drogi. Z analizy wynika, że szerokość ściany zwróconej do drogi powinna być możliwie mała, z uwagi na najwyższy poziom hałasu docierający do niej.

Z powyższych wykresów można wnioskować, że dwiema najmniej wrażliwymi na wpływ hałasu ścianami, są ściany nr 3 i 4.

Analiza III

W analizie III opisano poziom hałasu przy ścianie budynku zależny od sąsiadującej zabudowy. Analizę III przeprowadzono na 7 obiektach mieszkalnych sąsiadujących z innym obiektami, których schematy pokazano na rys. 7.34. Obiekt poddany pomiarom i obliczeniom znajduje się w stałej odległości i zadanym położeniu względem drogi, natomiast obiekty sąsiadujące zmieniają swoje usytuowanie.



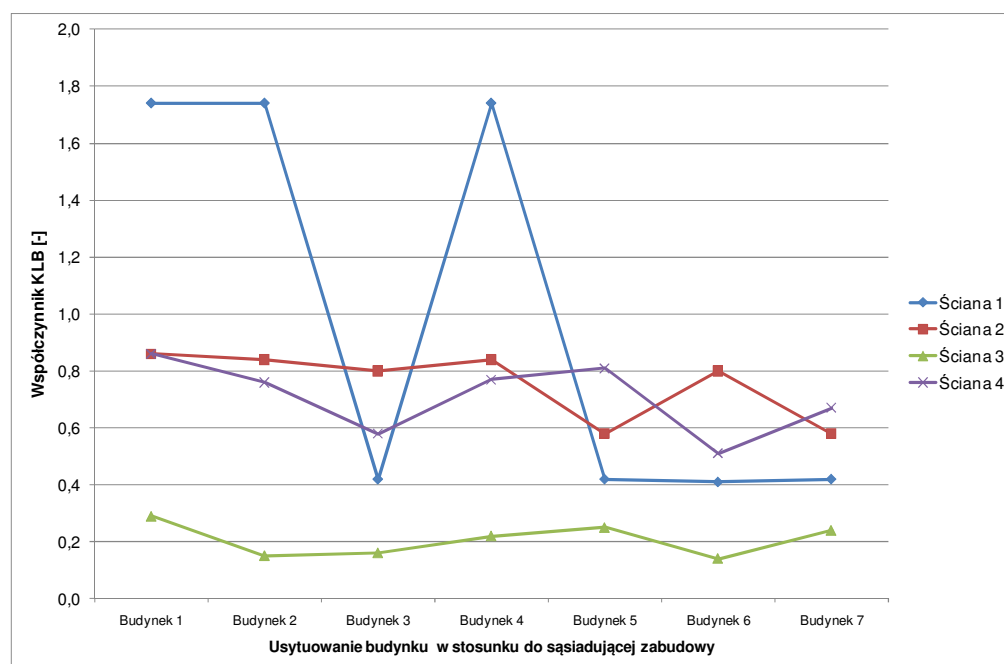
Rys.3.38. Schemat rozmieszczenia budynków w relacji do sąsiadującej zabudowy.

Odbiorniki umieszczono po środku fasady każdej ze ścian budynku, oraz jeden 10 m od krawędzi pasa ruchu.

W tabeli 3.18 zestawiono wyniki obliczonych poziomów hałasu przy budynkach oraz wartości współczynnik *KLB* dla poszczególnych ścian i całych obiektów.

Tabl. 3.18. Zestawienie obliczeń dla budynków analizowanych ze względu na usytuowanie w stosunku do sąsiadującej zabudowy.

Pkt. odbioru	Odległość punktu od drogi [m]	Szerokość ściany [m]	Poziom podst. hałasu (<i>p_{ph}</i>) [dBA]	Poziom przy ścianie (<i>p_{hs}</i>) [dBA]	Różnica [dBA]	Wsp. KLB	Σ KLB
Budynek 1							
1.1	24	9	70	67,9	2,1	1,74	3,75
1.2	31	12		64,4	5,6	0,86	
1.3	38	9		57,7	12,3	0,29	
1.4	31	12		64,4	5,6	0,86	
Budynek 2							
2.1	24	9	70	67,9	2,1	1,74	3,5
2.2	31	12		64,3	5,7	0,84	
2.3	38	9		46,3	23,7	0,15	
2.4	31	12		63,7	6,3	0,76	
Budynek 3							
3.1	24	9	70	61,3	8,7	0,42	1,95
3.2	31	12		64,0	6,0	0,8	
3.3	38	9		47,5	22,5	0,16	
3.4	31	12		61,7	8,3	0,58	
Budynek 4							
4.1	24	9	70	67,9	2,1	1,74	3,57
4.2	31	12		64,3	5,7	0,84	
4.3	38	9		53,4	16,6	0,22	
4.4	31	12		63,8	6,2	0,77	
Budynek 5							
5.1	24	9	70	61,3	8,7	0,42	2,06
5.2	31	12		61,8	8,2	0,58	
5.3	38	9		55,6	14,4	0,25	
5.4	31	12		64,1	5,9	0,81	
Budynek 6							
6.1	24	9	70	61,2	8,8	0,41	1,86
6.2	31	12		64,0	6,0	0,8	
6.3	38	9		43,7	26,3	0,14	
6.4	31	12		60,6	9,4	0,51	
Budynek 7							
7.1	24	9	70	61,3	8,7	0,42	1,91
7.2	31	12		61,8	8,2	0,58	
7.3	38	9		55,0	15,0	0,24	
7.4	31	12		62,8	7,2	0,67	
					najniższy KLB	0,14	1,86



Rys.3.39. Zmiana wartości współczynnika KLB w zależności od rozmieszczenia sąsiadujących budynków.

Analiza III pokazała, że na zmianę poziomu natężenia hałasu przy ścianach budynków poddanych obliczeniom, wpływa sposób usytuowania sąsiadującej zabudowy. Z zestawienia obliczeń wynika, że w przypadku usytuowania tylko dwóch budynków względem siebie, najkorzystniejszym układem jest osłonięcie analizowanego obiektu od strony drogi (budynek 3). Jeżeli na jednej posesji znajdują trzy obiekty, budynek poddany analizie jest najlepiej ekranowany gdy obiekty sąsiadujące usytuowane są z przodu od strony drogi i od boku (budynek 6).

Współczynnik *KLB* wskazuje budynek 6 oraz jego tylną ścianę, jako najlepiej chronioną przed hałasem. W przypadku usytuowania budynku 7, pomimo osłonięcia budynku poddanego analizie z trzech stron, poziom natężenia hałasu przy ścianach i suma współczynnika *KLB* jest większa na skutek wpływu odbicia fal dźwiękowych od tylnego budynku.

Podsumowując można stwierdzić, że:

- Głównym czynnikiem wpływającym na usytuowanie zabudowy jest jej minimalna odległość od drogi. W świetle obecnych wytycznych wynosi ona min. 24 m przy drogach o funkcji ruchowej, co nie gwarantuje pełnej ochrony budynku. Według analiz wykonanych w zadaniu optymalna odległość sytuowania budynków wynosi ok. 55 m.
- Analizując wpływ kąta zwrotu ścian budynku względem drogi na poziom natężenia dźwięku można dojść do wniosku, że najkorzystniejsze jest usytuowanie prostopadłe ścianą szczytową do drogi. Odchyłka kąta do 15° nie wpływa znacznie na odbiór hałasu przy ścianach budynku. Wprowadzony przez autora współczynnik *KLB* pomógł wyznaczyć optymalne ułożenie budynku względem drogi. Biorąc pod uwagę proporcjonalne rozłożenie się poziomów hałasu na poszczególnych ścianach budynku, korzystnym może być sytuowanie go pod kątem 45° , co nie jest jednak korzystne z uwagi na wykorzystanie działki.
- Sytuując budynek mieszkalny w sąsiedztwie z inną zabudową, najkorzystniejszym układem jest osłonięcie go od przodu i z boku. Obiekt usytuowany od tyłu powoduje odbicie fal akustycznych i zwiększenie poziomu hałasu na ścianach budynku mieszkalnego.

Efektywnym rozwiązaniem jest zabudowa zbiorowa osiedlowa, czy też usytuowana w sposób zwarty z wykorzystaniem form sięgaczowych. Taka zabudowa jest w znacznej odległości od drogi, oraz daje wzajemne ekranowanie się obiektów. Sprzyja też efektywnemu zastosowaniu ekranów akustycznych, gdyż nie trzeba zapewniać zjazdów na pojedyncze posesje.

4. OCENA LITERATUROWA MOŻLIWOŚCI INNOWACYJNEGO WYKORZYSTANIA WYBRANYCH ŚRODKÓW OCHRONY PRZED HAŁASEM

4.1. Konwencjonalne rozwiązania w zakresie ekranów akustycznych

Pod względem akustycznym ekrany dzieli się na pochłaniające, odbijające oraz odbijająco-rozpraszające [11]. Ekran pochłaniający konstruowane są z materiałów absorbujących część fali dźwiękowej. Przykładem tego typu rozwiązania są panele płytowe wykonane z metalu, aluminium, tworzywa sztucznego wypełnionego materiałem absorpcyjnym lub z drewna wypełnionego wełną mineralną. Podstawową rolą ekranów odbijających jest skierowanie fali dźwiękowej w kierunku z którego doszła do ekranu i niedopuszczenie do jej przejścia przez ekran. Rozwiązania tego typu konstruowane są na przykład z poliwęglanu lub szkła akrylowego [1]. Ekran odbijająco-rozpraszający poza właściwościami odbijającymi dodatkowo załamują falę dźwiękową dzięki zastosowaniu nierównomiernej powierzchni ekranu akustycznego. Ekran tego typu wykonuje się między innymi z trocinobetonu i zrębkobetonu [30].

Wśród najstarszych drogowych rozwiązań przeciwhałasowych znajdują się ekrany w postaci paneli wykonanych z betonu. Konstruuje się je zazwyczaj jako żelbetowe nośne płyty pokryte płytami akustycznymi wykonanymi na przykład z keramzytobetonu, zrębkobetonu lub trocinobetonu. Panele betonowe posiadają dobre parametry pod względem izolacyjności, jednak w zależności od zastosowanego materiału, cechują je nieco gorsze właściwości pochłaniania dźwięku. Rozwiązanie charakteryzuje wysoka trwałość oraz wysokie koszty wykonania i duży ciężar własny. Waga paneli betonowych wymaga stosowania wzmocnionej konstrukcji montażowej oraz stosowania w trakcie montażu specjalistycznego ciężkiego sprzętu [1].

Innym powszechnie stosowanym rozwiązaniem w zakresie ekranów akustycznych są kasetowe panele wykonane z różnego rodzaju materiałów, na przykład z aluminium, stali lub PVC. Kasety paneli akustycznych wykonuje się jako skrzynki konstruowane z 2 lub 4 profilowanych blach, które łączy się ze sobą za pomocą nitów lub na zamek. Skrzynki wypełnia się materiałem o dobrej izolacji akustycznej np. wełną mineralną i zamyka po bokach elementami z blachy lub z PVC. Rozwiązanie cechują dobre parametry akustyczne. Na rynku dostępne są kasetowe panele pochłaniające oraz odbijające dźwięk, wyposażone w obudowę o dowolnej kolorystyce. Elementy kasetowe można w łatwy sposób łączyć z odmiennymi wypełnieniami ekranów, jak płyty z akrylu lub poliwęglanu. Istnieje możliwość wykonania kaset perforowanych, których duże otwory dają możliwość porostania ściany panelu pnąciami roślin [1]. Wygląd przeciwhałasowych paneli betonowych oraz kasetowych przedstawiono na rysunku 4.2.



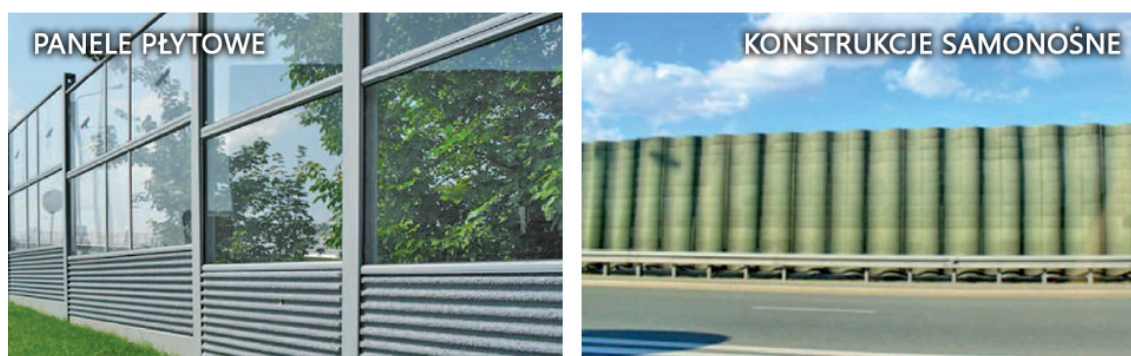
Rys. 4.2. Konwencjonalne ekrany akustyczne – panele betonowe i panele kasetowe [1]

Jako wypełnienie ekranów przezroczystych najczęściej stosuje się elementy płytowe. W zastosowaniu spotyka się także stosowanie płyt nieprzezroczystych, jednak rozwiązanie tego typu wykorzystywane jest bardzo rzadko. Płyty instaluje się w ramach wykonanych ze stali lub aluminium i wsuwa w konstrukcję słupów nośnych. Alternatywnym rozwiązaniem jest stosowanie płyt bez ram, w wyniku ich bezpośredniego docisku kątownikami do słupów konstrukcyjnych. Ze względu na materiał wyróżnia się następujące panele płytowe :

- panele z polimetakrylanu metylu, powszechnie określanego mianem „akrylu”. Materiał wykorzystuje się głównie do wytwarzania płyt przezroczystych o wysokim współczynniku przepuszczania światła. Panele akrylowe cechuje wysoka izolacyjność i brak pochłaniania dźwięku. Orientacyjna cena materiału to minimum 320 zł/m² w przypadku akrylu niezbrojonego i minimum 720 zł/m² w przypadku akrylu zbrojonego. Koszt materiału sprawia, że płytowe panele akrylowe są jednym z najdroższych rozwiązań w zakresie ekranów akustycznych.
- panele z naturalnego szkła hartowanego wykonywane jako pojedyncza tafła szklana lub element kompozytowy klejony z płyty i stosowany przede wszystkim do konstruowania ekranów przezroczystych. Wyższy koszt paneli klejonych z kilku warstw pozwala na uzyskanie korzystniejszych parametrów w zakresie izolacji akustycznej oraz trwałości i wytrzymałości elementu. Ceny płyt szklanych zawierają się zazwyczaj w przedziale od 180 zł/m² do 400 zł/m². Do wad rozwiązania zalicza się przede wszystkim małą odporność na uszkodzenia mechaniczne.
- panele z poliwęglanu to rozwiązanie które nie wymaga stosowania zbrojenia, dzięki czemu jego cena jest znacznie niższa niż pozostałych rozwiązań, średnio wynosi ona około 320 zł/m². Wady materiału to przede wszystkim niska sztywność, podatność na promieniowanie UV i konieczność stosowania mniejszych rozmiarów płyt.

Koszt wykonania ekranów akustycznych wyposażonych w panele płytowe jest znacznie wyższy niż w przypadku stosowania rozwiązań innego typu, jednak w wielu przypadkach zastosowanie płyt jest bardzo korzystne ze względu na walory estetyczne [1].

Innym rozwiązaniem chroniącym przed szkodliwym oddziaływaniem hałasu komunikacyjnego mogą być ekrany akustyczne o konstrukcji samonośnej. Wykonuje się je w postaci murów wznoszonych z elementów drobnowymiarowych takich, jak gazony lub pustaki przeciwdźwiękowe z betonu, żrębkobetonu lub keramzytobetonu. Innym rozwiązaniem konstrukcji samonośnej może być zbrojony nasyp wykonany w postaci pionowej ściany akustycznej. Rozwiązania samonośne są trwałe, wysoce odporne na szkodliwe działanie warunków atmosferycznych i cechują się dobrymi parametrami w zakresie izolacji dźwiękowej. Główną wadą metody jest pracochłonność wykonania. Elementy układa się bowiem ręcznie przy użyciu specjalistycznych zapraw klejowych i finalnie zalewa betonem [1]. Wygląd przeciwhałasowych paneli płytowych oraz konstrukcji samonośnych przedstawiono na rysunku 4.3.



Rys. 4.3. Konwencjonalne ekrany akustyczne – panele płytowe i konstrukcje samonośne [1]

4.2. Niekonwencjonalne rozwiązania w zakresie ekranów akustycznych

Wały ekrano-ziemne

Ekran akustyczny realizowany w postaci wału ziemnego stanowi zalecane rozwiązanie problemu zanieczyszczenia hałasem w obszarach pozamiejskich charakteryzujących się naturalnością krajobrazu. Nasyp gruntowy estetycznie i w bardziej naturalny sposób wpisuje się w nieprzetworzony krajobraz, niż ma to miejsce w przypadku jakiegokolwiek struktury pionowej skonstruowanej z materiałów budowlanych stworzonych przez człowieka. Dodatkową zaletą rozwiązania tego typu jest możliwość obsiewu wału trawą oraz zastosowania nasadzeń, które dodatkowo poprawiają poziom wkomponowania elementu w otaczające go naturalne środowisko [10].

Wały ekrano-ziemne to korzystne rozwiązanie walki z hałasem komunikacyjnym, które cechuje przyjazność dla środowiska oraz przyjemny odbiór pod względem estetycznym. Konstrukcje ziemne posiadają szereg zalet w odniesieniu do konwencjonalnych rozwiązań w postaci pionowych ścian-ekranów. Posiadają one naturalny wygląd i często na pierwszy rzut oka przeciętny użytkownik dróg nie postrzega ich jako bariery dźwiękochłonnej. Nie wymagają one stosowania dodatkowych zabezpieczeń w postaci na przykład barier energochłonnych. W porównaniu do ekranów pionowych, wały tworzą bardziej otwarty obszar. Przy wyższej postrzegalnej skuteczności akustycznej posiadają one także nieograniczoną długość użytkowania. Porównując skuteczność akustyczną wału ziemnego w odniesieniu do ekranu pionowego, jako rozwiązania o porównywalnej skuteczności można wymienić na przykład wał ziemny o wysokości 4.0 m i ekran pionowy o wysokości 3.25 m lub wał ziemny o wysokości 6.5 m i ekran pionowy o wysokości 5.0m, co pokazuje, że chęć uzyskania podobnej skuteczności akustycznej wału ziemnego, co typowego ekranu pionowego, wymaga wzniesienia elementu o nieco większej wysokości. Podstawową wadą wałów ziemnych jest duża zajętość terenu, co uniemożliwia stosowanie rozwiązania w przypadku obszarów o ograniczonym miejscu lub w ciasnych terenach zabudowanych. Przykładowo do wzniesienia nasypu gruntowego o wysokości 4.0 m potrzeba wolnego pasa przestrzeni o szerokości przynajmniej 13.0 m, co sprawia, że rozwiązanie stosowane jest głównie w obszarach pozamiejskich, gdzie jest wystarczająco dużo wolnej przestrzeni do ich prawidłowego skonstruowania. Wzniesiony przez człowieka wał ziemny po obsianiu, w ciągu kilku lat pokrywa się roślinnością, idealnie wtapia się w otoczenie i wzmacnia naturalny charakter krajobrazu. Pokrywająca wał roślinność dodatkowo poprawia skuteczność akustyczną bariery. Z biegiem czasu obsadzony nasyp ziemny staje się niewielkim systemem ekologicznym, w obrębie którego koegzystują różnego rodzaju rośliny i zwierzęta. Poza wspomnianymi zaletami, budowla ziemna nie niesie ze sobą ewentualnych problemów

z wandalizmem i graffiti. Do budowy wałów mogą być stosowane generowane podczas prac budowlanych nadmiary gruntu z wykopów lub pochodzące z recyklingu kruszywa budowlane [10].

Skuteczność akustyczna konwencjonalnych barier akustycznych spada znacznie podczas oddziaływania wiatru. Wały ziemne ze względu na łagodne skarpy są znacznie mniej wrażliwe na ten parametr. Oszacowano, że w wielu przypadkach średni efekt wiatru może wynosić poniżej 1-2 dB (A) dla nasypów ze skarpami o nachyleniu 18 stopni lub dla bardziej stromych stoków z zastosowaniem płaskiego wierzchołka wału. Ekran pionowy mogą być często preferowane jako elementy, które można zlokalizować bliżej źródła hałasu niż nasyp gruntowy, jednak należy pamiętać, że przy podobnej wysokości elementów może to odbywać się kosztem gorszych właściwości akustycznych rozwiązania podczas oddziaływania wiatru. Badania hałasu wskazują, że nasypy ziemne wyposażone w skarpy i szczyty o niepłaskiej powierzchni mogą zmniejszyć hałas bardziej niż konwencjonalne, gładkie trapezoidalne obwałowania. Na płaskich terenach zamiejskich zmiana geometrii wału o wysokości 4.0 m z profilu płaskiego na schodkowy może bowiem zmniejszyć hałas o 4 dB (A) [12].

Odmianą wałów ekrano-ziemnych stanowią zbrojone wały ziemne, które powstają w postaci trapezowych nasypów gruntowych wykonywanych ze zbrojonej gleby. Dzięki zastosowaniu zbrojenia skarpa nasypu może uzyskać strome, niemal pionowe pochylenie, co pozwala na oszczędność miejsca i materiału. Rozwiązanie pozwala na eliminację problemu dużej zajętości terenu typowych wałów ziemnych, przy jednoczesnym utrzymaniu możliwości zastosowania obsiewu wykonanej budowli ziemnej i nadania jej bardziej naturalnego ekologicznego charakteru. Jako materiał zbrojeniowy można stosować szeroką gamę materiałów od metalu, poprzez syntetyki do włókien naturalnych. Elementy w postaci zbrojonych ekranów ziemnych to korzystne rozwiązanie akustyczne, które może nadać przestrzeniom miejskim bardziej naturalny charakter niż stosowanie betonu lub innych typowych ekranów pionowych. Ekran ziemny będą cechować się jednak niższą trwałością niż na przykład ekran betonowy [10]. Przykłady typowego i zbrojonego wału ekrano-ziemnego przedstawiono na rysunku nr 4.4.



Rys. 4.4. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Wały ekrano-ziemne [10]

Bariery biologiczne

Bio-bariery w postaci ekranów akustycznych zaprojektowanych z uwzględnieniem nasadzeń roślinności w obrębie ich struktury konstrukcyjnej znajdują szczególne uzasadnienie wszędzie tam, gdzie z uwagi na ograniczenia terenowe brak jest możliwości wykonania obsadzonych roślinnością wałów ekrano-ziemnych. Dla porównania zajętości terenu obu rozwiązań, bariera biologiczna o wysokości 4.0 m może być umieszczona w wolnym pasie terenu o szerokości 2.5 m, podczas gdy do wzniesienia typowego trapezowego ziemnego nasypu akustycznego o wysokości 4.0 m potrzeba wolnego pasa przestrzeni o szerokości przynajmniej 13.0 m [9].

Pod względem wymagań akustycznych odnośnie izolacyjności i absorpcji dźwięku, jeśli bariera może być przebadana w warunkach laboratoryjnych to powinna być ona zgodna z zapisami europejskiej normy EN 1793-2 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe - Metoda oznaczania właściwości akustycznych - Część 2: Podstawowe właściwości izolacji od dźwięków powietrznych w warunkach dźwięku rozproszonego”. W odmiennych wypadkach, gdy nie ma możliwości wykonania testów laboratoryjnych, przewidziana do wykorzystania bio-bariera musi cechować się hermetycznością oraz ciężarem o wielkości przynajmniej 15 kg na metr kwadratowy powierzchni. W przypadku testów wykonywanych na miejscu budowy należy spełnić procedury badawcze zawarte w normach [9]:

- EN 1793-5 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe - Metoda oznaczania właściwości akustycznych - Część 5: Wartości odbicia dźwięku w warunkach bezpośredniego pola akustycznego w miejscu zamontowania”,
- EN 1793-6 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe - Metoda oznaczania właściwości akustycznych - Część 6: Skuteczność izolacji od dźwięków powietrznych w warunkach dźwiękowych *in situ*”.

Bariery biologiczne są interesującym rozwiązaniem pod względem struktury wypełnienia, którą stanowią pustki powietrzne oraz roślinność. Taka budowa strukturalna zapewnia urządzeniu możliwość prowadzenia skutecznej ochrony akustycznej w postaci ekranu o wysokości do 5.0 m i szerokości u podstawy urządzenia od 2.0 m do 3.0 m. Stosowane są bardzo zróżnicowane formy konstrukcyjne, a możliwość wzrostu części zielonej uzależniona jest od wielu uwarunkowań wpływających na warunki wegetacji roślinnej. Ekran biologiczny w większości przypadków wymaga zakotwiczenia w gruncie. Jako zbrojenie nośne konstrukcji stosuje się różne materiały, wśród których można wymienić drewno, beton, stal, lub tworzywa sztuczne pochodzące z recyklingu. Ponad 20 lat doświadczenia w stosowaniu dźwiękowych barier ekologicznych we Włoszech i w pozostałych krajach Europy zachodniej pozwalają na dokonanie oceny długości okresu użytkowania oraz efektywności części strukturalnej w zależności od materiału zastosowanego do jej wzniesienia [9]:

- Konstrukcje drewniane wykorzystują materiał, który nie przegrzewa się i zapewnia otwarte przestrzenie dla dobrego rozwoju roślinności, jednak natura drewna sprawia pewne problemy pod względem długości użytkowania konstrukcji.
- Struktury z betonu są optymalne z konstrukcyjnego punktu widzenia oraz pod względem trwałości i długości użytkowania, jednak materiał ulega przegrzewaniu, co stwarza niekorzystne warunki dla wegetacji roślinnej. Problem ten jednak znika w momencie gdy rośliny rozwiną się na tyle, że pokryją samą strukturę bariery.
- Ruszty wykonane z metalu stanowią korzystne rozwiązanie zarówno pod względem konstrukcyjnym, jak i pod względem dogodnych warunków dla rozwoju części zielonej.
- Materiały z recyklingu mogą stanowić materiał bazowy do wykonania całej bio-bariery lub element składowy w postaci jednego z większej liczby materiałów służących do jej wzniesienia. Większość rozwiązań w tym zakresie to systemy prototypowe, jednak część z nich jest już dostępna w sprzedaży. Urządzenia tego typu zbudowane są z pustych w środku paneli, których wolne przestrzenie wypełnia się ziemią lub żwirem w sposób umożliwiający rozwinięcie się roślinności na fasadzie bariery.

Wszystkie wymienione typy barier biologicznych wymagają z reguły systemu nawadniania, a powodzenie rozwoju roślinności uzależnione jest między innymi od rodzaju podłoża gruntowego, stosowania gleb wzbogaconych nawozami oraz od wybranych gatunków roślin (preferowane są rosnące lokalnie rośliny o pionierskim charakterze) [9]. Przykłady barier biologicznych zostały przedstawione na rysunku 4.5.



Rys. 4.5. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Struktury barier biologicznych [9]

Ekran zielona ściana

Inną alternatywą dla konwencjonalnych ekranów akustycznych są ekrany typu zielona ściana o konstrukcji stalowej lub drewnianej. W obszarach miejskich popularne jest zwłaszcza rozwiązanie stalowe, skonstruowane z ramy wykonanej z kątowników oraz siatki z prętów zbrojeniowych. Wnętrze ramy wypełnia się elementami o dobrych parametrach pod względem izolacji dźwięku. Grubość ekranu oraz warstwy wypełnienia akustycznego zależna jest od zakładanej skuteczności ekranu względem ochrony przed hałasem. Drewniana wersja ekranu posiada ramę drewnianą, którą z jednej strony obija się deskami, natomiast z drugiej strony montuje się listwy. Wnętrze ramy, podobnie jak w konstrukcji stalowej, wypełnia się materiałem stanowiącym dobrą izolację akustyczną. Pod względem parametrów dźwiękochronnych oba rozwiązania są bardzo podobne. Konstrukcja drewniana spotyka się z lepszym odbiorem estetycznym, jednak wiąże się przy tym z wyższymi kosztami wykonania oraz z większymi kosztami utrzymania. Ekran drewniane trzeba bowiem co okres pięciu lat pokrywać specjalną warstwą ochronną, która chroni drewno przed korozją. W założeniu, po pewnym czasie wykonania zielonej ściany, jej powierzchnia powinna zostać pokryta roślinnością, co jest korzystne zarówno pod względem estetycznym, jak i akustycznym. Doświadczenia realizacyjne w Polsce pokazują jednak, że w polskich warunkach występują trudności z porostem ekranu przez roślinność, co spowodowane jest przede wszystkim znaczną roczną amplitudą temperatury powietrza. Na wzrost roślin niekorzystnie wpływają także środki chemiczne, które w okresie zimowym stosuje się do utrzymania nawierzchni drogowych. Środki te przedostają się do gleby, degradując ją i utrudniając tym samym wzrost roślinności [18]. Przykład zielonej ściany został przedstawiony na rysunku 4.6.



Rys. 4.6. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Zielona ściana [9]

Ekrany akustyczne kombinowane z barierami bezpieczeństwa

W celu zapewnienia lepszej ochrony użytkowników dróg zazwyczaj stosuje się bariery bezpieczeństwa, które instaluje się przed ekranami akustycznymi, tak, aby uderzający w barierę pojazd nie uderzał w masywną barierę akustyczną. Działanie takie pozwala na zmniejszenie konsekwencji wypadków dla pojazdów i ich pasażerów oraz minimalizację ryzyka uszkodzenia bariery podczas takich sytuacji. Bariery bezpieczeństwa instaluje się w takiej odległości od ekranu akustycznego, aby możliwe było odkształcenie się bariery energochłonnej bez oddziaływania na barierę akustyczną. Takie podejście generuje potrzebę większej zajętości terenu na zapewnienie przestrzeni między barierą bezpieczeństwa a barierą dźwiękową, co nie zawsze jest możliwe zwłaszcza w ciasnej przestrzeni aglomeracji miejskich. Problem ten został rozwiązany w obrębie nowych systemów ochrony przed hałasem i skutkami wypadków, w obrębie których bariery akustyczne i bariery bezpieczeństwa są zintegrowane w jedną spójną strukturę [4].

Zintegrowane bariery akustyczne i bezpieczeństwa to ekrany akustyczne wyposażone w elementy bezpieczeństwa ruchu w postaci ochronnych barier metalowych lub betonowych (np. typ New Jersey lub bariera w kształcie litery F). W niektórych przypadkach systemy są wolnostojące, co oznacza, że do ich instalacji nie potrzeba wykonywać fundamentów ani zakotwień [4]. Przykład wolnostojących zintegrowanych barier dźwiękowych i bezpieczeństwa przedstawiono na rysunku 4.7. Bariery zintegrowane oferują szereg innowacyjnych zalet, po pierwsze instalacja zintegrowanego systemu bariery akustycznej i ochronnej jest korzystniejsza niż typowa oddzielna instalacja tych dwóch urządzeń z zastosowaniem samodzielnej bariery ochronnej na krawędzi jezdni. Połączenie obu rodzajów barier pozwala na instalację ekranu akustycznego bliżej krawędzi jezdni niż w przypadku zastosowania obu barier oddzielnie. Bliższa lokalizacja bariery akustycznej względem źródła dźwięku daje z kolei lepszą ochronę akustyczną i lepszą skuteczność w przypadku rozpatrywania barier akustycznych o analogicznej wysokości. Pozwala to na oszczędności materiałowe, ponieważ położone bliżej źródła dźwięku niższe bariery zintegrowane ograniczają hałas w tym samym stopniu, co położone dalej wyższe bariery samodzielne. Dodatkowo do instalacji barier zintegrowanych potrzebna jest mniejsza przestrzeń terenu. Brak konieczności stosowania fundamentów i kotwień znacznie ułatwia i przyspiesza proces montażu oraz sprawia, że instalacja jest także znacznie tańsza i prostsza pod względem technologicznym [4].



Rys. 4.7. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Wolnostojące zintegrowane bariery dźwiękowe i bariery bezpieczeństwa [4]

Systemy zintegrowane wyposażone zarówno w stalowe jak i betonowe elementy bezpieczeństwa ruchu wypadają korzystnie pod względem zagadnień bezpieczeństwa ruchu. Bariery przeszły pozytywnie testy zderzeń prowadzone zgodnie z normami [4]:

- EN 1317-1 „Systemy ograniczające drogę – Część 1: Terminologia i ogólne kryteria metod badań”,
- EN 1317-2 „Systemy ograniczające drogę – Część 1: Klasy działania, kryteria przyjęcia badań zderzeniowych i metody badań barier ochronnych i balustrad”.

Barierę zintegrowaną są także zgodne z wymogami bezpieczeństwa określonymi zapisami normy EN 1794-1 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe - Wymagania pozaakustyczne -Część 1: Właściwości mechaniczne i stateczność” [4].

Maksymalna testowana do tej pory wysokość barier zintegrowanych wynosi 5.0 m w przypadku barier z metalowymi barierami ochronnymi i 4.0 m w przypadku betonowych elementów ochronnych. Koncepcja barier kombinowanych została sprawdzona w rzeczywistych warunkach i produkty tego typu są już dostępne na rynku. Pod względem kosztów rozwiązanie jest droższe niż typowy ekran akustyczny ale wypada korzystnie ekonomicznie w odniesieniu do stosowania oddzielnej bariery akustycznej i oddzielnej bariery ochronnej.

Ekran akustyczny z panelami fotowoltaicznymi

Powiązanie technologii ograniczających hałas drogowy z wytwarzaniem energii odnawialnej zapewnia szereg korzyści dla środowiska. Fotowoltaiczne ekrany akustyczne umożliwiają równoczesne tłumienie hałasu i produkcję energii odnawialnej poprzez przekształcenie energii słonecznej w energię elektryczną, ograniczając w ten sposób emisję gazów cieplarnianych do atmosfery. Panele fotowoltaiczne mogą być bezpośrednią powłoką bariery akustycznej lub mogą stanowić elementy montowane na powierzchni takiej bariery w postaci paneli słonecznych. Lokalizacja modułów fotowoltaicznych w obrębie bariery uzależniona jest od orientacji i geometrii bariery, co z kolei uzależnione jest od przebiegu drogi i uwarunkowań redukcji hałasu komunikacyjnego. Najczęściej stosuje się pionową powierzchnię modułów z dodatkową pochyloną powierzchnią wykonaną w górnej części bariery. Sporadycznie, aby osiągnąć wymagania określone w projekcie, droga jest częściowo lub całkowicie zamknięta obudową w postaci przypominającej tunel [4].

Rozwiązanie jest testowane w wielu krajach Europy od roku 1989, między innymi w Szwajcarii, Niemczech, Włoszech, Holandii oraz Wielkiej Brytanii. Największa ilość instalacji ekranów zintegrowanych z panelami fotowoltaicznymi znajduje się w Niemczech oraz w nieco mniejszym stopniu we Włoszech. Koszt instalacji dużych systemów tego typu wahał się w roku 2012 w przedziale od 1500 do 2500 euro za kW, jednak w związku ze znacznym spadkiem cen paneli fotowoltaicznych obecne koszty rozwiązania są znacznie niższe. Współcześnie na rynku dostępny jest szereg systemów komercyjnych. Wprowadzone odcinki testowe oraz opracowane badania pokazały wpływ stosowania paneli fotowoltaicznych na koszt stosowania zintegrowanej z nimi bariery dźwiękowej. Na podstawie analiz stwierdzono, że sprzedaż prądu wytworzonego przez barierę może obniżyć koszt użytkowania bariery do 30 %. Wielkość ta zależy jednak od różnych czynników, na przykład od ceny rozwiązania i cen energii, od poziomu publicznego dofinansowania stosowania odnawialnych źródeł energii, ilości ogniw fotowoltaicznych oraz od odpowiednich warunków klimatycznych i nasłonecznienia. Podczas badań prowadzonych w 2004 roku w Wielkiej Brytanii nie znaleziono żadnych dowodów na to, że obecność ogniw fotowoltaicznych wpływa na bezpieczeństwo kierowcy, lub że uciążliwość akustyczna spowodowana odbiciem dźwięku od zainstalowanych ogniw fotowoltaicznych jest znacznie podwyższona. Analizy prowadzone w 2012 roku w Belgii brały pod uwagę nie tylko ekonomiczne aspekty inwestycji ale także dostarczane przez nie korzyści ekologiczne. Uwzględnienie tych drugich jest ważne, ponieważ dostarcza pozytywnej oceny rozwiązania pod względem porównania kosztów i korzyści. Wśród wyników badań znalazło się stwierdzenie, że stosowanie ogniw fotowoltaicznych zintegrowanych z barierami akustycznymi może stanowić formę partnerstwa publiczno-prywatnego, w którym wszyscy, rząd, inwestorzy prywatni i rezydenci, mogą odnieść korzyści [4].

Zasadniczo w literaturze stwierdza się, że ogólny zysk z wytwarzania energii przez ogniwa fotowoltaiczne zamontowane na ekranach akustycznych jest stosunkowo niewielki w odniesieniu do

kosztów inwestycji i utrzymania. Jednak subsydia mogą sprawić, że rozwiązanie okaże się w pewnych warunkach opłacalne. Uzyskanie rentowności tym sposobem może wiązać się przeniesieniem kosztów utrzymania na prywatne i publiczne zasoby finansowe. Korzystnym rozwiązaniem mogłoby być podzielenie kosztów finansowania części odpowiedzialnej za produkcję energii z sektora prywatnego oraz zasadniczej konstrukcji bariery dźwiękochłonnej z wydatków publicznych. Możliwość wytwarzania zarobku z produkcji energii odnawialnej sprawia, że rozwiązanie staje się szczególnie atrakcyjne dla sektora prywatnego. Dzieje się tak na przykład w przypadku ekranów akustycznych budowanych we Włoszech, które zostały zbudowane przy wsparciu finansowym prywatnych inwestorów. Kolejną zaletą zastosowania ogniw fotowoltaicznych zamontowanych na ekranach akustycznych jest to, że przy zastosowaniu ogniw na barierze nie zachodzi dodatkowa zajętość terenu. Integracja funkcji drugorzędnej w postaci wytwarzania energii z barierami akustycznymi może również przyspieszyć proces decyzyjny w zakresie realizacji środków ograniczających hałas komunikacyjnych, co przyniesie bezpośrednie korzyści społeczne. Produkcja energii odnawialnej zmniejsza wielkość emisji CO₂ do atmosfery, a stosowanie rozwiązań w postaci paneli fotowoltaicznych zwiększa świadomość społeczną w zakresie kwestii związanych z odnawialnymi źródłami energii oraz ochrony środowiska. Wśród wad rozwiązania wymienia się [4]:

- Potrzeby konserwacyjne oraz koszty konserwacji i utrzymania – komponenty paneli fotowoltaicznych powinny być konserwowane, naprawiane i wymieniane w miarę możliwości bez niszczenia lub usuwania bariery dźwiękowej i przy minimalnych zakłóceniach dla ruchu drogowego. Czyszczenie powierzchni fotowoltaicznych to również kosztowny proces, co powoduje, że nie jest on często stosowany.
- Kradzieże i wandalizm – to problemy, które mogą być rozwiązane przez odpowiednie rozwiązania projektowe na przykład poprzez stosowanie solidnych zabezpieczeń, śrub zabezpieczających przed kradzieżą, instalację ogrodzeń ochronnych i kamer. Jednak wygórowane wymogi w zakresie ochrony rozwiązania mogą opowiadać się przeciw jego wykorzystaniu.

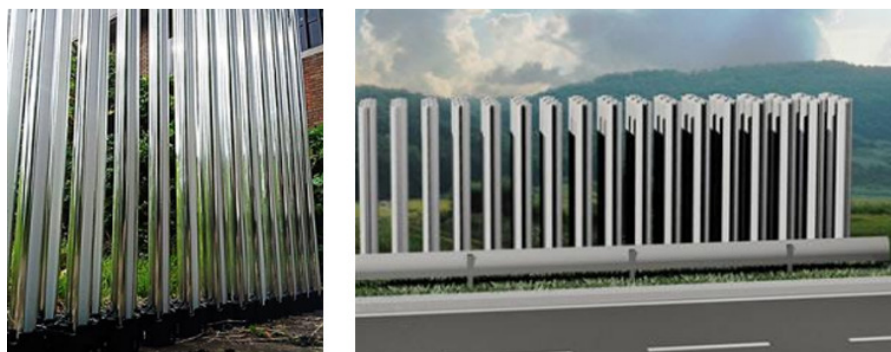
Jeżeli uwzględnimy koszty użytkowania bariery i korzyści z produkcji energii odnawialnej, to bariery akustyczne wyposażone w panele fotowoltaiczne okazują się rozwiązaniem porównywalnym lub tańszym od systemów standardowych. Początkowe koszty inwestycyjne są wysokie, ale sprzedaż wyprodukowanej energii może drastycznie obniżyć poniesione straty. Zwrot kosztów jest jednak silnie uzależniony od zainstalowania barier w miejscach, w których występują korzystne uwarunkowania dla produkcji energii słonecznej. Doświadczenia wykazały, że w sprzyjających warunkach koszt modułów fotowoltaicznych jest odzyskiwany w okresie ich użytkowania [4]. Przykład dźwiękowych ekranów z panelami fotowoltaicznymi przedstawiono na rysunku 4.8.



Rys. 4.8. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Ekrany z panelami fotowoltaicznymi [9]

Ekranu soniczne

Ekranu soniczne to ekranu akustyczne oparte o technologię kryształów sonicznych. Urządzenie konstruowane jest z w postaci regularnych układów okrągłych cylindrów, których nazwa powstała poprzez analogię ich reakcji na dźwięk do funkcjonowania kryształów fotonowych w odniesieniu do światła. Kryształy soniczne słyń z bardzo wysokich parametrów pod względem tłumienia dźwięku przy jego selektywnych częstotliwościach. Korzystne wyniki pod względem tłumienia uzyskiwane są w efekcie wielokrotnego rozpraszania fali dźwiękowej. Możliwość wykorzystania kryształów sonicznych do budowy ekranów akustycznych rozwinęła się w ostatnich latach pod wpływem badań prowadzonych w wielu laboratoriach drogowych, a możliwość ich wykorzystania w drogownictwie zaczyna być uwzględniana także przez krajowe ośrodki administracji drogowej. Przykład dźwiękowych ekranów sonicznych przedstawiono na rysunku 1.9.



Rys. 4.9. Niekonwencjonalne ekranu akustyczne – Ekranu soniczne [3]

Podstawową zaletą rozwiązania, charakterystyczną dla kryształów sonicznych jest możliwość wpływania na osiągnięcie szczytowych zakresów tłumienia dla wybranych częstotliwości dźwięku, co osiągnięte jest poprzez stosowanie różnej odległości między cylindrami. Ta cecha ekranów sonicznych sprawia, że mogą one być dostrojone do lokalnych warunków akustycznych, umożliwiając tłumienie najbardziej uciążliwych częstotliwości hałasu komunikacyjnego. Soniczne bariery kryształiczne wykonane ze sztywnych elementów rezonansowych są w stanie ograniczyć hałas o 9.5 dB (A) w przypadku hałasu samochodowego i 9.0 dB (A) w odniesieniu do hałasu pochodzącego od tramwaju. Poprawę redukcji hałasu można uzyskać przez pokrycie elementów rezonansowych materiałem absorpcyjnym. Przy takim rozwiązaniu osiąga się redukcję hałasu rzędu 11,9 – 13,9 dB (A). Wymienione wartości redukcji dźwięku są bardzo wysokie, jednak należy pamiętać, że w przypadku kryształów sonicznych redukcja hałasu uzależniona jest od częstotliwości dźwięku. W przypadku zmian częstotliwości spadek skuteczności tłumienia może być bardzo duży. Badania wykazały, że losowe usunięcie niektórych cylindrów rozpraszających dźwięk wykazuje znikomy wpływ na skuteczność akustyczną bariery. Cecha może być wykorzystana do poprawy efektywności ekonomicznej bariery w wyniku usunięcia niektórych jej elementów i utworzenia wewnątrz bariery wolnych przestrzeni o znikomym negatywnym wpływie na jej właściwości akustyczne. Wyniki badań i obliczeń wykazują, że soniczne ekranu akustyczne o małej wysokości mogą być wykorzystywane jako efektywne bariery dźwiękowe dla hałasu samochodowego i tramwajowego. Ponadto instalacja tego typu barier nie wymaga wykonywania fundamentów, a do skonstruowania rozwiązania można wykorzystać szeroką gamę dostępnych dziś na rynku materiałów. Ekranu soniczne skutecznie sprawdzają się zarówno w środowisku miejskim, jak i poza miastem, mogą być stosowane na drogach wszystkich klas o dowolnym stanie technicznym. Rozwiązanie jest jednak droższe niż typowo stosowane ekranu akustyczne. Soniczne bariery dźwiękowe cechuje wyższa optyczna przejrzystość i przepuszczalność wiatru niż ma to miejsce w przypadku rozwiązań tradycyjnych. Dodatkowo w

sytuacji, gdy bariery soniczne są stosowane po obu stronach drogi, dzięki ich przepuszczalności znacznie zredukowane jest zjawisko odbijania się dźwięku od barier. Wygląd ekranów sonicznych posiada korzystny odbiór pod względem estetycznym. Bariera przypomina rzeźbę stworzoną z przyjemnych dla wzroku pionowych cylindrycznych kryształów, które dodatkowo posiadają właściwości redukujące hałas. Rozwiązanie jest innowacyjne i powinno być wprowadzane do użytku przynajmniej na poziomie demonstracyjnym, co pozwoliłoby na lepsze warunki dla rozwoju wiedzy na temat jego skuteczności, wydajności oraz poszerzenie możliwości dla wypróbowania różnych materiałów konstrukcyjnych, w celu redukcji kosztów budowy i poprawy oceny rozwiązania pod względem ekonomicznym [3].

Ekran z powłoką TiO₂

Emisje zanieczyszczeń pochodzące od ruchu drogowego stanowią jedno z głównych źródeł zanieczyszczenia powietrza i w określonych warunkach przyczyniają się do powstawania smogu. Smog ma bardzo szkodliwy wpływ zarówno na środowisko naturalne, jak i na życie i zdrowie człowieka. Najkorzystniejszą metodą zwalczania problemu jest walka u źródła, czyli ograniczanie emisji substancji szkodliwych bezpośrednio przez pojazdy samochodowe. Na pojazdy nie mają jednak bezpośredniego wpływu organy administracji drogowej, więc wszelkie inne środki, które mogłyby pomóc w kontrolowaniu rozprzestrzeniania się emisji szkodliwych substancji do powietrza mogą być uznane za korzystne w zastosowaniu na drogach, pod warunkiem, że można udowodnić skuteczność ich funkcjonowania [4].

Na przestrzeni lat prowadzono różne badania mające na celu rozpoznanie wpływu ekranów akustycznych na rozpraszanie zanieczyszczeń powietrza. Pojawiły się między innymi tezy, że bariery dźwiękochłonne zmniejszają stężenie tlenków azotu NO_x oraz cząstek zawieszonych w powietrzu wzdłuż autostrad. Bada się także wpływ zastosowania powłok fotokatalitycznych na ekranach akustycznych na wielkość redukcji tlenków azotu. Stosowanie fotokatalitycznych powłok pochłaniających zanieczyszczenia od jakiegoś czasu stanowi sferę zainteresowania branży drogowej, ponieważ jest to łatwa w implementacji opcja, która posiada szerokie zastosowanie w obrębie istniejącej infrastruktury technicznej. Rozwiązanie można stosować na drogach, w tunelach, na powierzchniach parkingowych a także na ekranach akustycznych. Mechanizm metody opiera się o zastosowanie powłoki fotokatalitycznej wykonanej z dwutlenku tytanu TiO₂, która w obecności światła UV np. w postaci promieniowania słonecznego, wywołuje rozpad zanieczyszczeń takich jak tlenki azotu NO_x. Substancje szkodliwe rozbijane są do nieszkodliwych związków, które mogą być w łatwy sposób zmyte przez opady deszczu. Dwutlenek tytanu stosowany jest jako powłoka fotokatalityczna o białym kolorze. Ostatnie badania wykazały, że istnieje kilka czynników wpływających na skuteczność usuwania NO_x, w tym porowatość, rozmiar cząstki, czas napromieniowania, ekspozycja atmosfery i stężenie zanieczyszczeń. Do tej pory stosowano praktyczne próby użycia powłok z dwutlenku tytanu na ekranach akustycznych między innymi w Holandii, w Niemczech i w Wielkiej Brytanii, jednak próby terenowe spotkały się z umiarkowanym sukcesem, mimo to badania na temat ograniczenia wielkości zanieczyszczeń powietrza przez tego typu rozwiązanie są wciąż prowadzone między innymi w Wielkiej Brytanii. Analizy prowadzone w 2013 roku w Holandii wykazały, że bariery dźwiękowe nie funkcjonują najlepiej pod względem oczyszczania powietrza w rzeczywistych warunkach. Z punktu widzenia zysków i strat ograniczenie emisji tlenków azotu jest jednak koniecznością. Wśród potencjalnych zalet rozwiązania wymienia się możliwość eliminacji do 75% zanieczyszczeń gazowych, które wchodzi w kontakt z powłoką z TiO₂ w słoneczny dzień. Pochmurny dzień wciąż dostarcza wystarczającą ilość światła słonecznego do zapewnienia efektywnej pracy urządzenia. Szacuje się, że ekrany oczyszczające powietrze mogą wpłynąć na redukcję całkowitego emitowanego zanieczyszczenia powietrza na drogach o od 15 do 25 %. Wiele źródeł mówi jednak o znacznie mniejszej skuteczności rozwiązania w realnych warunkach, na przykład gdy występuje wysoka wilgotność, zachodzi osiadanie kurzu i zanieczyszczeń pyłowych na powierzchni powłoki lub występują braki lub ograniczony dopływ promieniowania UV. Główną wadą rozwiązania jest proces produkcji powłok z TiO₂, który wymaga stosowania substancji

chemicznych oraz procedur generujących zanieczyszczenia przyczyniające się do powstawania smogu i pogłębiania się efektu globalnego ocieplenia. W związku z tym, aby zastosowanie rozwiązania było uzasadnione, korzyści pochodzące z jego użycia muszą przeważać nad wielkością obciążenia dla środowiska, jakie niesie ze sobą proces produkcyjny. Rozwiązanie zostało już wdrożone w realnych warunkach na drogach europejskich, jednak jego właściwości są wciąż badane i nie jest ono jeszcze gotowe do szerszego stosowania. Dodatkowo koszt wykonania tego typu barier jest znacznie wyższy w odniesieniu do rozwiązań tradycyjnych [4]. Przykład dźwiękowych ekranów z powłoką TiO_2 przedstawiono na rysunku 4.10.



Rys. 4.10. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Ekrany z powłoką TiO_2 [9]

Porównanie niekonwencjonalnych rozwiązań w zakresie ekranów akustycznych

Zestawienie zbiorcze wybranych charakterystyk analizowanych niekonwencjonalnych rozwiązań w zakresie ekranów akustycznych przedstawiono w tab. 4.1

Tablica 4.1. Porównanie wybranych parametrów niekonwencjonalnych ekranów akustycznych

Rodzaj bariery	Parametry akustyczne	Koszt w odniesieniu do rozwiązań konwencjonalnych	Funkcje dodatkowe	Potencjał zastosowania
Wały ekrano-ziemne	porównywalne do konwencjonalnego ekranu pionowego, przy wykonaniu wału o nieco większej wysokości niż ekran pionowy	brak danych	wegetacja roślin	szerokie zastosowanie w terenach zamiejskich o dużej dostępności terenu
Ekrany biologiczne	$R_w=53$ dB, $DL_R=48$ dB, $DL_a=10$ dB	brak danych	wegetacja roślin	szerokie zastosowanie
Ekrany zielona ściana	$R_w=33$ dB, $DL_R=28$ dB, $DL_a=18$ dB	brak danych	wegetacja roślin	szerokie zastosowanie
Ekrany akustyczne zintegrowane z barierami bezpieczeństwa	$DL_R>24$ dB, $DL_a>11$ dB	wyższe	podniesienie poziomu bezpieczeństwa ruchu	zastosowanie możliwe z pewnymi ograniczeniami

Ekran akustyczne panelami PV	porównywalne do konwencjonalnego ekranu pionowego o tej samej wysokości	w zależności od stosowanego systemu koszty mogą być zbliżone lub wyższe	produkcja energii elektrycznej	zastosowanie możliwe z pewnymi ograniczeniami
Soniczne ekran akustyczne	$DL_R > 22$ dB, $DL_a > 8$ dB	aktualnie koszty wyższe, jednak brak jednoznacznych danych (rozwiązanie wciąż na etapie badań i poszukiwania rozwiązań technologicznych i materiałowych)	wpływ na osiągnięcie szczytowych zakresów tłumienia dla wybranych częstotliwości dźwięku	rozwiązanie nie gotowe do szerokiego stosowania
Ekran akustyczne z powłoką TiO_2	DL_a od 8 do 11 dB	znacznie wyższe	Redukcja zanieczyszczeń powietrza	rozwiązanie nie gotowe do szerokiego stosowania

LITERATURA:

1. Kiprian K., Ligus G. „Geneza i metody ograniczania hałasu drogowego – ekrany akustyczne”, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa – Opole 2011
2. Kotzen B., English C. „Environmental Noise Barriers – A guide to their acoustic and Visual design”, Taylor & Francis Group, New York 2009
3. Landowski B., Kwasińska J. „Ocena stanu i analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz próba jego poprawy”, Polskie Stowarzyszenie Zarządzania Wiedzą, Bydgoszcz 2014
4. Losa M., Bellucci P., Grecco R., Pacciardi S. “Development of guidelines for the implementation of alternative “smart” noise mitigation measures”, Conference of European Directors of Roads CEDR, Paris (France) 2013
5. Maeck J., Morgan P., Muirhead M., Bellucci P., Grecco R. “State-of-the-art on secondary functions for noise barriers and road surfaces”, Conference of European Directors of Roads CEDR, Paris (France) 2015
6. Nawrot J. „Hałas drogowy. Droga krajowa nr 9, przygraniczny odcinek Miejsce Piastowe – Barwinek”, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Delegatura w Jasle, Jasło 2005
7. Peiro-Torres M.P., Redondo J., Brvo J.M., Sanchez Perez J.V. “Open noise barriers based on sonic crystals. Advances in noise control in transport infrastructures” – XII Conference on Transport Engineering, CIT, Valencia (Spain) 2016
8. Poe C., Plovnick A., Hodges T., Hastings A., Dresley S. “Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers”, U.S. Department of transportation, Washington D.C. (USA) 2017

9. Vallati A., De Lieto Vollaro R., Tallini A., Cedola L. “Photovoltaics noise barrier: acoustic and energetic study” 70th Conference of the ATI Engineering Association, Italy 2015
10. Vanhooreweder B., Marcocci S., De Leo A. “Technical Report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers”, Conference of European Directors of Roads CEDR, Paris (France) 2017
11. Wyrwas P., Szyguła A. „Ekrany akustyczne – Zasady projektowania i kryteria doboru”, IV Ogólnopolska Konferencja Mostowców – Konstrukcja i Wyposażenie Mostów, Wisła 2005
12. “Novel solutions for quieter and Greiner cities” – The HOSANNA project summary brochure, Bandhagen, Sweden 2013
<https://www.yumpu.com/en/document/view/9883788/hsanna-summary-brochure-january-2013hq/41> (dostęp 05.11.2017)
13. “Zeszyt fachowy – Fotowoltaika” – Viessman 06/2013 -
https://www.viessmann.pl/content/dam/vi-brands/PL/PDF/Zeszyt-fachowy/Zeszyt_fachowy-Fotowoltaika_06_2013.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Zeszyt_fachowy-Fotowoltaika_06_2013.pdf (dostęp 27.12.2017)

PUBLICYSTYKA:

14. Kompała J., Mrukwa W., Świder J. „Teoria a praktyka stosowania ekranów akustycznych”, kwartalnik „Prace naukowe GIG. Górnictwo i środowisko” 2/2002
15. Kossakowski P. „Ziemny ekran akustyczny EMTE GREEN cz.I” - <http://edroga.pl/ochrona-srodowiska/ziemny-ekran-akustyczny-emte-green-cz-i-07106634> - (dostęp 11.01.2018)
16. Kossakowski P. „Ziemny ekran akustyczny EMTE GREEN cz.II” - <http://edroga.pl/ochrona-srodowiska/ziemny-ekran-akustyczny-emte-green-cz-ii-18106635> - (dostęp 12.01.2018)
17. Leśniowska-Matusik I., Wnuk A. „Wpływ hałasu komunikacyjnego na stan środowiska akustycznego człowieka”, czasopismo „Transport samochodowy” 3/2014
18. Olszanki J. „Metody walki z hałasem komunikacji drogowej,, – czasopismo „Infrastruktura” 5/2007
19. Szuba M. „Ekrany akustyczne rozwiązaniem głośnego problemu” – czasopismo „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 3-4/2015
20. Wroceński M. „Ekrany akustyczne – przedstawienie problemu okiem młodego inżyniera” – czasopismo „Polskie drogi” 4/2014
21. Zawieska J. „Ekrany akustyczne – regulacje prawne i stosowane rozwiązania – z. II” – Inżynier Budownictwa 2012 -
http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_technologie,artykuł,ekrany_akustyczne_regulacje_prawne_i_stosowane_rozwiazania_cz_ii,5926 (dostęp 28.01.2018)

USTAWY, ROZPORZADZENIA I NORMY:

22. Norma PN-EN 1317:2010 „Systemy ograniczające drogę”
23. Norma PN-EN 1793:2017 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe – metoda oznaczania właściwości akustycznych”
24. Norma PN-EN 1794-1:2011 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Wymagania pozaakustyczne Część 1: Właściwości mechaniczne i stateczność”

25. Norma PN-EN 1794-1:2011 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Wymagania pozaakustyczne Część 2: Ogólne bezpieczeństwo i wymagania ekologiczne”
26. Norma PN-EN 1991-1-4:2008 „Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 1-4: Oddziaływania ogólne - Oddziaływania wiatru”
27. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (z późniejszymi zmianami)
28. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 „Prawo ochrony środowiska” (Dz. U. 2001 Nr 62 poz.627, z późniejszymi zmianami)

STRONY INTERNETOWE:

29. <http://www.kontenery.weldon.pl/ekrany-akustyczne/zielona-sciana/> (dostęp 02.01.2018)
30. <http://www.tulla-bud.pl/ekrany-akustyczne-odbijajaco-rozpraszajace> (dostęp 03.11.2017)

INNE:

31. Karta techniczna konstrukcji do montażu paneli fotowoltaicznych BAKS - http://www.baks.com.pl/wp-content/uploads/2017/09/PV_2017.pdf (dostęp 23.12.2017)
32. Karta techniczna systemu NOXER bariery akustycznej z powłoką TiO₂ - https://www.eurovia.com/media/128307/noxermur_a4_gb_bd.pdf (dostęp 27.01.2018)
33. Karta techniczna systemu zintegrowanej bariery akustycznej z barierą ochronną Marcegaglia Buildtech H2-W2-3 Wave Beams - <http://www.marcegagliabuildtech.com/project/noise-protection-guardrail-h2-w2-3-waves/?lang=en> (dostęp 05.12.2017)
34. Karta techniczna systemu zintegrowanej bariery akustycznej z barierą ochronną ReBloc NB100/300_8_H2/W4 - <https://www.rebloc.com/en/noise-barrier/> (dostęp 10.12.2017)
35. Karta techniczna systemu zintegrowanej bariery akustycznej z panelami fotowoltaicznymi Kohlhauer Volta - <https://www.kohlhauer.com/pl/produkty/ekrany-akustyczne-kohlhauer-volta> (dostęp 27.12.2017)
36. Ogólna specyfikacja techniczna dotycząca wykonywania robót ziemnych - www.gddkia.gov.pl/pl/3391/Ogolne-specyfikacje-techniczne (dostęp 21.11.2017)

5. OPRACOWANIE PROJEKTU KATALOGU NIEKONWENCJONALNYCH ŚRODKÓW W OCHRONIE PRZED HAŁASEM

W planowaniu wykorzystania różnych środków do ochrony przed hałasem drogowym przydatnym narzędziem może być katalog zawierający możliwe do stosowania rozwiązania z podaniem ich potencjału redukcji hałasu oraz uwarunkowań stosowania. Katalog taki powinien być katalogiem otwartym z uwagi na poszerzającą się gamę możliwych sposobów walki z hałasem drogowym. W ramach zadania 8 przebadano wiele ogrodzeń (naturalnych, zieleni, betonowych, murowanych itd.) które zasadniczo nie powstają z uwagi na hałas drogowy ale mają wpływ na rozprzestrzenianie się hałasu. Z kolei urządzenia przeciwhałasowe (głównie ekrany akustyczne) powoli zaczynają również pełnić funkcje dodatkowe, nie tylko akustyczne. Projekt układu

katalogu z wykorzystaniem literaturowych danych opracowanych w punkcie 5 przedstawiono w odrębnym opracowaniu I (wydzielonym jako przedmiot umowy). Docelowo projekt katalogu powinien być wykorzystany do zestawienia wszystkich dostępnych środków nie tylko badanych w projekcie ale również opisanych w literaturze, wymaga to jednak uzupełnień i uzgodnień w zakresie zawartości i stanu prawnego (np. możliwość lokalizacji urządzeń poza pasem drogowym).

Układ zawartości wygląda następująco:

Środek ochrony przed hałasem (z przykładami graficznymi)/ Technologia wykonania / Parametry / Uwarunkowania zastosowania / Zalety / Wady / Przykłady zastosowania

Załączono w osobnym opracowaniu

6. WNIOSKI Z ANALIZ DO OPACOWANIA WYTYCZNYCH WZAJEMNEJ LOKALIZACJI DROGI I ZABUDOWY Z UWZGLĘDNIENIEM INFRASTRUKTURY W OTOCZENIU DROGI I ZABUDOWY ORAZ ŚRODKÓW OCHRONY

Z pomiarów, badań symulacyjnych, literatury i analiz wynikają przesłanki które powinny być uwzględniane w kształtowaniu wzajemnej lokalizacji drogi i zabudowy. Biorąc pod uwagę różne inne formy zmniejszające hałas docierający do otoczenia drogi można sformułować wniosek o dużym potencjale redukcji hałasu środkami innymi niż tradycyjne ekrany. Przy uwzględnieniu pewnej specyfiki ukształtowania terenu i skali przekroczeń poziomu dopuszczalnego mogą one stanowić dobrą i wystarczającą ochronę otoczenia przed hałasem. Poniżej zamieszczono tabelę 6.1 z porównaniem skuteczności wybranych środków.

Tablica 6.1 Porównanie środków ochrony przed hałasem drogowym

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
Pas zieleni	2 dB - park o szer. 10m[14] 10 dB - leśny pas ochronny o szer. 100m[14]	-Walory estetyczne -Ograniczenie zanieczyszczenia powietrza -Absorpcja i rozproszenie wysokich składowych widma hałasu	-Ograniczenie widoczności -Sezonowość rozwiązania -Możliwość pogorszenia przyczepności do drogi poprzez opadające liście -Możliwość uszkodzenia infrastruktury podziemnej poprzez korzenie drzew -Konieczność pielęgnacji	-Występująca infrastruktura podziemna

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
Żywopłot, tuje	Od 1,5 do 3,5	<ul style="list-style-type: none"> -Walory estetyczne - Dodatkowo oddziaływanie psychologiczne i środowiskowe (redukcja zanieczyszczeń powietrza) -Możliwość łączenia z innymi formami ochrony 	<ul style="list-style-type: none"> -Ograniczenie widoczności -Konieczność pielęgnacji - Długi czas wzrostu - W przypadku żywopłotów sezonowość 	<ul style="list-style-type: none"> -Możliwość wegetacji
Ogrodzenia betonowe prefabrykowane pełne (ażurowe)	do 10 (3-6)dB	<ul style="list-style-type: none"> -Niewielkie zajęcie terenu -Łatwość montażu -Walory estetyczne niektórych rozwiązań - Łączona funkcja 	<ul style="list-style-type: none"> -Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła 	<ul style="list-style-type: none"> - W zależności od stopnia wypełnienia spadek redukcji hałasu dla „mocno” ażurowych -Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi
Ogrodzenia gabionowe	do 6 (4-5) dB	<ul style="list-style-type: none"> - Łączona funkcja -Walory estetyczne niektórych rozwiązań Łatwość wykonania 	<ul style="list-style-type: none"> -Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła - Szerokość rzędu 0,3-0,8m 	<ul style="list-style-type: none"> -Skuteczność zależna głównie od wypełnienia gabionów -

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
Ogrodzenia murowane	do 10 dB	<ul style="list-style-type: none"> - Łączona funkcja - Walory estetyczne niektórych rozwiązań 	<ul style="list-style-type: none"> - Ograniczenie widoczności - Lokalizacja w większej odległości od źródła - Szerokość rzędu 0,3-0,5m 	<ul style="list-style-type: none"> - Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi
Ogrodzenia łączone (podmurówka + wypełnienie najczęściej sztachetami)	2 - 9 dB	<ul style="list-style-type: none"> - Łączona funkcja - Walory estetyczne niektórych rozwiązań 	<ul style="list-style-type: none"> - Ograniczenie widoczności - Lokalizacja w większej odległości od źródła - Spadek skuteczności wraz z powiększaniem części wypełnienia 	<ul style="list-style-type: none"> - Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi
Ogrodzenia łączone (zielen + płot ze sztachetami, siatka z pleksi, betonowe prefabrykowane)	Zależy od zestawienia elementów, 2 - 8 dB	<ul style="list-style-type: none"> - Łączona funkcja - Walory estetyczne niektórych rozwiązań 	<ul style="list-style-type: none"> - Ograniczenie widoczności - Lokalizacja w większej odległości od źródła 	<ul style="list-style-type: none"> - Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi
Wał ziemny	do 15-25 dB [1,25]	<ul style="list-style-type: none"> - Łatwość w pozyskaniu materiału do budowy - Brak występowania efektu odbicia fali dźwiękowej - Możliwość łączenia z innymi środkami ochrony - Dobre wkomponowanie 	<ul style="list-style-type: none"> - Stosunkowo duże zajęcie terenu - Ograniczenie widoczności 	<ul style="list-style-type: none"> - Brak dostępnego terenu do wzniesienia

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
		w otaczający krajobraz		
Ekran ziemny (pionowa bariera biologiczna)	do 25 dB [9]	-Wysoka trwałość konstrukcji -Brak występowania efektu odbicia fali dźwiękowej -Dobre wkomponowanie w otaczający krajobraz -Niewielkie zajęcie terenu	-Ograniczenie widoczności -Ograniczenie docierania promieni słonecznych	-Brak dostępnego terenu do wzniesienia
Cicha nawierzchnia	praktyczna 2-4 dB	-Brak wpływu na dostępność, krajobraz	-Zmniejszona trwałość nawierzchni -Większy koszt wybudowania -Obniżenie redukcji hałasu w wyniku starzenia się nawierzchni	-Odcinki o większej długości
Ekran akustyczny	do 20 dB[40]	-Niewielkie zajęcie terenu -Łatwość montażu -Walory estetyczne niektórych rozwiązań	-Ograniczenie widoczności -Tworzenie efektu bariery -Utrudnienie rozwiązań odwodnienia -Tworzenie monotonnego krajobrazu wzdłuż drogi	-Występowanie podziemnych instalacji w miejscu projektowanej lokalizacji ekranu -Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
				przeciwnej stronie drogi przy zastosowaniu ekranu odbijającego
Droga w wykopie	10 dB - wykop do 3m[16] 20 dB - wykop powyżej 3m[16]	-Możliwość łączenia z innymi formami ochrony	-Możliwość osuwania skarp wykopu -Możliwość tworzenia się zasp śnieżnych	-Ograniczenie dostępnego terenu -Konieczność dopasowania niwelety do istniejącej infrastruktury -Występujące warunki gruntowo wodne
Zabudowa niewrażliwa	13 dB - budynek dwukondygnacyjny[1]	-Funkcjonalność rozwiązania	-Ograniczenie dopływu promieni słonecznych	-Brak dostępnego terenu do wzniesienia
Ekran na elewacji budynku	Ponad 20 dB [6]	-Brak zajętości terenu -Możliwość zastosowania w centrum miasta	-Problematyczne w zastosowaniu dla istniejących budynków -Problematyczne zapewnienie przewietrzalności i warunków przeciwpożarowych	-Stosowane głównie dla budynków nowo budowanych

Uwaga: wszystkie powyższe wartości które zostały zaczerpnięte z literatury posiadają odwołania do pozycji lit, pozostałe wartości zostały określone na podstawie prac wykonanych w RID – zad.8

Z analiz lokalizacji i zagospodarowanie posesji można stwierdzić, że

- Głównym czynnikiem wpływającym na poziom hałasu dla zabudowy jest jej minimalna odległość od drogi. W świetle ustawy o drogach publicznych wynosi ona min. 25 m przy drogach (lokalizacja budynków (obiektów budowlanych) poza terenem zabudowy) i min 10m (dla terenów zabudowy), co nie gwarantuje pełnej ochrony budynku. Według analiz wykonanych w zadaniu optymalna odległość sytuowania budynków wynosi ok. 55 m.
- Analizując wpływ kąta zwrotu ścian budynku względem drogi na poziom natężenia dźwięku można dojść do wniosku, że najkorzystniejsze jest usytuowanie prostopadłe ścianą szczytową do drogi. Odchyłka kąta do 15° nie wpływa znacznie na odbiór hałasu przy ścianach budynku.

Wprowadzony przez autora współczynnik KLB pomógł wyznaczyć optymalne ułożenie budynku względem drogi. Biorąc pod uwagę proporcjonalne rozłożenie się poziomów hałasu na poszczególnych ścianach budynku, korzystnym może być sytuowanie go pod kątem 45°, co nie jest jednak korzystne z uwagi na wykorzystanie działki.

- Sytuując budynek mieszkalny w sąsiedztwie z inną zabudową, najkorzystniejszym układem jest osłonięcie go od przodu i z boku. Obiekt usytuowany od tyłu powoduje odbicie fal akustycznych i zwiększenie poziomu hałasu na ścianach budynku mieszkalnego.

Efektywnym rozwiązaniem jest zabudowa zbiorowa osiedlowa, czy też usytuowana w sposób zwarty z wykorzystaniem form sięgaczowych. Taka zabudowa jest w znacznej odległości od drogi, oraz daje wzajemne ekranowanie się obiektów. Sprzyja też efektywnemu zastosowaniu ekranów akustycznych, gdyż nie trzeba zapewniać zjazdów na pojedyncze posesje.

Na podstawie analiz porównawczych barier i wałów ziemnych można stwierdzić, że dla zastosowanej bariery betonowej w lokalizacji grzbietowej oraz stokowej uzyskujemy najlepsze wyniki redukcji dźwięku. Można stwierdzić, że analizowany element przekroju poprzecznego drogi przynosi wyniki redukcji hałasu od ok. 0,5dB do 9dB. Warto zatem rozważyć wykorzystanie tego typu barier BRD w opisanych przypadkach otrzymując dodatkowy efekt redukcji hałasu. Ponieważ tego typu bariera odbija fale padającą należy zwrócić uwagę na zagospodarowanie po drugiej stronie otoczenia drogi. Zastosowanie wału ziemnego w każdej z lokalizacji pokazuje zmniejszenie się poziomu dźwięku od 4dB do ponad 18dB, co potwierdziło informacje literaturowe. Jest on dobrą ochroną przeciwhałasową porównywalną do ekranów akustycznych, lecz nie jest tak powszechnie stosowany. Spowodowane to jest faktem, że zajmuje on zdecydowanie więcej miejsca w przekroju niż ekran. Zaletą jego jest brak konieczności fundamentowania, może być on tańszy a także sprawia mniej kłopotów w utrzymaniu. Dodatkowo może być po nim prowadzony chodnik, ciąg pieszo-rowerowy, o ile będą spełnione wszystkie wymogi bezpieczeństwa.

Przedstawiona metodyka badań prowadzonych w celu optymalnego kształtowania otoczenia budynku wykazała przydatność map hałasu do modelowania symulacyjnego propagacji hałasu w obrębie posesji w poszukiwaniu powierzchni do wykorzystania na strefę wypoczynku. Poszukiwano również sposobów ukształtowania takiego obszaru z uwzględnieniem prywatności i komfortu psychicznego niezbędnego do relaksu i odpoczynku. Po przeprowadzeniu analiz modelowych rozwiązań można stwierdzić 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.

Biorąc pod uwagę powyższe zaleca się w przypadkach lokalizacji zabudowy w pobliżu drogi o istotnym natężeniu ruchu przeprowadzić „audyt akustyczny” na etapie planistycznym z wykorzystaniem map hałasu, analizując także rozprzestrzenianie się hałasu na różnych wysokościach.

Przy nowo powstających inwestycjach najlepszym wyjściem jest nie dopuszczanie do lokalizacji budynków w strefie zagrożonej znaczącym hałasem komunikacyjnym, lecz przy budynkach istniejących ekranowanie wewnętrzne staje się racjonalnym rozwiązaniem problemu. Analizy wykazały, że świadome kształtowanie zagospodarowania posesji umożliwia wypoczynek i rekreację również na terenach posesji przyległych do hałaśliwych dróg. Tą metodą można sprawdzać efektywność dodatkowych przesłon (np. zieleni, ogrodzeń i ekranów).

Bibliografia:

- [1] Cheng H., Harris R.A., Yin M.: Using Micro Data to Assess Traffic Noise Impact on Residential Property Value: an Application of the Hedonic Model, TRB 2011 Annual Meeting CD-ROM, pp. 1-14, 2011.
- [2] A Guide to the Reduction of Traffic Noise For Use by Builders, Designers, & Residents, Vic Roads, p. 26, 2003.
- [3] Gastberger T., Graf P.: Siedlungsverträgliche Lärmschutzwände, Lärminfo 9, Arbeitshilfe zum baulichen Lärmschutz an Strassen, Zürich, 2009
- [4] Corbisier C.: Living with Noise, Public Roads, Vol. 67, No. 1, 2003.
- [5] Mickiewicz P.: Zarządzanie procesem przygotowania inwestycji drogowych w aspekcie współpracy z jednostkami zewnętrznymi i udziału społeczeństwa w podejmowaniu decyzji, Zeszyty Naukowe Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego, vol. 25, pp. 487-497, 2011.
- [6] CEDR Transnational Road Research Programme Call 2012: Noise: ON-AIR Guidance Book on the Integration of Noise in Road Planning, Bendtsen H, Fryd J, Popp C., et al., 2015.
- [7] Arnold L. B.: Highway Noise Study Analysis - Route 58 City of Norfolk, Project: 0058-122-104, C501 PPMS#: 17546, VDOT Traffic Noise Study, 2001.
- [8] Ministerstwo Infrastruktury i Budownictwa, Dz. U. 2015 poz. 1422, Obwieszczenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 17 lipca 2015 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu rozporządzenia Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, Polska, 2015.
- [9] KBR: Traffic Noise Analysis, Sam Houston Tollway (US 290 to SH 249), 2008.
- [10] Hendriks R., Rymer B., Buehler D., Andrews J.: Technical Noise Supplement to the Caltrans Traffic Noise Analysis Protocol, A Guide for Measuring, Modeling, and Abating Highway Operation and Construction Noise Impacts, Report No. CT-HWANP-RT-13-069.25.2, Sacramento, California, 2013.
- [11] Tracz M., Woźniak K.: Designing separate zones with reduced noise on the property, in Conferences Proceedings Inter-Noise, pp. 4242–4252, Hamburg, 2016.
- [12] Suh S., Badagnani V, Mongeau L., Bolton J. S.: The performance of noise barriers with absorptive edge treatments, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, 2003.
- [13] Abo-Qudais S, Alhiary A.: Effect of Traffic Characteristics and Road Geometric Parameters on Developed Traffic Noise Levels, TRB 2004 Annual Meeting CD-ROM, 2004.
- [14] Hauri E., Steiner V., Huber-Maurus A., Schweizer P.: Um-Raum-Potenziale erkennen und nutzen, Strategien zur Verbesserung von verkehrsbelasteten Wohnsituationen mit offener Bebauungsstruktur Studie „Gute Beispiele“, 2006
- [15] Kim K. S., Park S. J., Kweon Y.-J.: Highway traffic noise effects on land price in an urban area, Transportation Research Part D, vol. 12, no. 4, pp. 275–280, 2007.
- [16] Hvad koster støj? - værdisætning af vejstøj ved brug af husprismetoden, Miljøprojekt no. 795 2003, p. 50, 2003.
- [17] Donavan R.P., Rymer B., et al.: Further Development of the Sound Intensity Method of Measuring Tire Noise Performance of In-Situ Pavements, Sacramento, California, 2006.
- [18] Report on status of rubberized asphalt traffic noise reduction in Sacramento country, Sacramento County Department of Environmental Review and Assessment and Bollard & Brennan, Inc. Consultants in Acoustics and Noise Control Engineering, 1999.
- [19] Kutay M. E., Petros K, Kocak S.: A New Numerical Modeling Approach for Sound Propagation and Generation: the Lattice Boltzmann Method, TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM, 2010.
- [20] Qing L., Sang L., Harvey J. T., Compaction of noise-reducing asphalt mixtures in the laboratory, TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM, pp. 1–17, 2010, Transportation Research

- Board 89th Annual Meeting, Washington, D.C., January 2009.
- [21] Scofield L.: Evaluation of Acoustic Longevity of Diamond Ground Surfaces, TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM, 2010.
- [22] Rymer B., Donovan P. R., Kohler E.: Tire/Pavement Noise Levels Related To Roadway Friction Improvement, TRB 2010 Annual Meeting CD-ROM, pp. 1–14, 2010.
- [23] Carlson D. D., Zhu H, Xiao C.: Analysis of Traffic Noise Before and After Paving With Asphalt-Rubber
- [24] Bilawchuk S.: Tire noise assessment of Asphalt Rubber Crumb pavement, Canadian Acoustics, vol. 33, no. 1, pp. 37–41, 2005.
- [25] Hendriks R. W., et al.: California, vehicle noise emission levels, Final Report no. FHWA/CA/TL-87/03, Sacramento, California, 1987.
- [26] Hendriks R.: Distance Limits for Traffic Noise Prediction Models, Technical Advisory, Noise TAN-02-02, 2002
- [27] Growing neighborhoods in growing corridors : land use planning for highway noise, Report FHWA/MT-08-002/8117-36, Montana Department of Transportation, 2008.
- [28] Reiter D, Bowlby W., Herman L., Boyer J.: Traffic Noise in Montana: Community Awareness and Recommendations, Report FHWA/MT-04-007/8172, 2004.
- [29] Hanson C. E., Towers D. A., Meister L. D.: Transit Noise and Vibration Impact Assessment, Report no FTA-VA-90-1003-06 FTA Federal Transit Administration., Washington, D.C., 2006.
- [30] Hendriks R.: General Guidelines For Studying the Effects of Noise Barriers on Distant Receivers, Technical Advisory TAN-98-01-R9701, California Department of Transportation Environmental Program, Sacramento, California, 1998.
- [31] Reyff J. et al.: I-80 Davis OGAC Pavement Noise Study. Traffic Noise Levels Associated With Aging Open Grade Asphalt Concrete Overlay, 7th Year Summary Report, Sacramento, California, USA, 2005.
- [32] Alvino M., Bergtröm S., et al.: Niewiążący przewodnik dobrych praktyk na temat stosowania dyrektywy 2003/10/WE dotyczącej narażenia na działanie hałasu w miejscu pracy, Komisja Europejska, Luksemburg, 2009.
- [33] Descornet G., Goubert L.: Noise classification of road pavements Task 1: Technical background information, European Commission Directorate-General Environment, 2006.
- [34] Ochrona mieszkańców dużych miast przed hałasem - Informacja o wynikach kontroli, Najwyższa Izba Kontroli, Warszawa, 2014.
- [35] Neithalath N., Garcia R., Weiss J., Olek J.: Tire-pavement interaction noise: Recent research on concrete pavement surface type and texture in Proceedings - 8th International Conference on Concrete Pavements: Innovations for Concrete Pavement: Technology Transfer for the Next Generation, 2005, paper 6, vol. 1, pp. 88–105.
- [36] Donovan P.R.: Comparative Measurements of Tire/Pavement Noise in Europe and the United States: Noise Intensity Testing in Europe (NITE) Study, A Summary of the NITE Study, California Department of Transportation, Sacramento, California, 2005.
- [37] Donovan P.R.: Comparative Measurements of Tire/Pavement Noise in Europe and the United States: Noise Intensity Testing in Europe (NITE) Study, Final report no. FHWA/CA/MI-2006/09, California Department of Transportation, Sacramento, California 2006.
- [38] Hendriks R.: Berm and Wall Options, Coding of Low Barriers, Zero Height Index, Grade Corrections, and Other Issues in Sound32/ Sound 2000 and LeqV2 Traffic Noise Prediction Programs Technical Advisory, Noise TAN-02-01, California Department of Transportation, Sacramento, California 2003.
- [39] Marczak P.: Zagrożenie hałasem. Wybrane zagadnienia, Biuro Analiz i Dokumentacji Zespół Analiz i Opracowań Tematycznych, Kancelaria Senatu, Warszawa 2012.
- [40] Highway Traffic Noise Analysis And Abatement Policy And Guidance, U.S. Department of

- Transportation Federal Highway Administration, Washington, D.C., 995
- [41] Angst Ch., Beltzung F., Bosshardt D., Grolimund H.-J., Pestalozzi H.: Low-noise road surfaces in urban areas. Final report 2007 – Condensed Version. Federal Office for the Environment, Bern, 23 pp., 2008.
- [42] Zrałek E., Kucharski R., et al.: Raport o stanie akustycznym środowiska w Polsce na podstawie wyników realizacji map akustycznych, Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Instytut Ochrony Środowiska Państwowy Instytut Badawczy, 2013.
- [43] Arnold L. B.: Highway Noise Study Analysis - Route 58 City of Norfolk, Project: 0058-122-104, C501 PPMS#: 17546, VDOT Traffic Noise Study, 2001.
- [44] KBR: Traffic Noise Analysis, Sam Houston Tollway (US 290 to SH 249), 2008.
- [45] Hendriks R.: Additional Calibration of Traffic Noise Prediction Models, Technical Advisory, Noise TAN-03-01, California Department of Transportation, Sacramento, California, 2003.
- [46] Good practice guide on quiet areas, European Environment Agency Technical report No 4/2014, Luxembourg, European Union, 2014.
- [47] Hendriks R.: Traffic Noise Attenuation as a function of ground and vegetation, Final report FHWA/CA/TL-95/23, Sacramento, California 1995.
- [48] Alimohammadi I., Nassiri P., Behzad M., Hosseini M. R.: Reliability Analysis of Traffic Noise Estimation in Highways of Theran by Monte Carlo Simulation Method, Iranian J. Environ. Health Sci. Eng., vol. 2, no. 4, pp. 229–236, 2005.
- [49] Wayson R, MacDonald J., Lindeman W., Berrios M., El-Assar A.: Florida Noise Barrier Evaluation and Computer Model Validation, TRB 2003 Annual Meeting CD-ROM, 2003.
- [50] Hendriks R.: Use of California Vehicle Noise Reference Energy Mean Emission Levels (Calveno REMELS) in STAMINA2.0 FHWA Highway Traffic Noise Prediction Program, Technical Advisory, Noise TAN 95-0, 2005.
- [51] Highway Traffic Noise in The United States Problem and Response, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 2006.
- [52] Lindeman W.: Defining Reasonable and Feasible Traffic Noise Abatement: Consideration of a Quantitative Approach, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1792, pp. 83–88, 2002.
- [53] Chandrasekhar B.P., Koushki P.A., Ali M.A., Prasad CSRK: Measurement, Modeling and Mitigation of Arterial Road Traffic Noise in a Medium-Size Urban Area, TRB 2002 Annual Meeting CD-ROM, 2002.
- [54] Yanez-Uribe G., Balachandran B.: Northern Sub-Area Study (NSAS) / GA 400 Corridor Methodology for Determining Total Area of Noise Impacts, TRB 2006 Annual Meeting CD-ROM, pp. 1–11, 2006.
- [55] Heishman P.: Use of the Traffic Noise Model in a Municipal Land Use Approval Process, TRB 2008 Annual Meeting CD-ROM, 2008.
- [56] Bekhor S., Iscovitch I.: A Model to Minimize Road Traffic Noise in the Planning Phase of a New Neighborhood, TRB 2011 Annual Meeting CD-ROM, 2011.
- [57] Radosz M., Tracz M.: Lokalizacja zabudowy względem dróg w aspekcie ochrony przed hałasem, Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej. Budownictwo i Inżynieria Środowiska, Rocznik 2012, tom z. 59, nr 3/IV, s.313-322
- [58] McCallum-Clark M., Hardy, R., Hunt M.: Transportation and noise: land use planning options for a quieter New Zealand, Land Transport New Zealand Research Report 299. 147pp., Wellington, New Zealand, 2006.
- [59] L.C. (Eelco) den Boer, A. (Arno) Schrotten: Traffic noise reduction in Europe, Health effects, social costs and technical and policy options to reduce road and rail traffic noise, Report CE Delft, pp. 70, 2007.
- [60] Isles S.: Modelling, Measuring and Mitigating Road Traffic Noise, Austroads Research Report AP-R277/05, ARRB Group Marshall Day Acoustics Pty Ltd, Austroads Inc., Sydney, 2005.

- [61] Jabben J., Potma C., Lutter S.: Baten van geluidmaatregelen, Een inventarisatie voor weg- en railverkeer in Nederland RIVM 680300002/2007, Bilthoven, Nederland, 2007.
- [62] Strassenlärmsanierung: Massnahmenplanung innerorts, Handbuch, Fachstelle Lärmschutz, Baudirektion Kanton Zürich, 2005.
- [63] Kwiecień J., Szopińska K.: Implementation Of The Eu Noise Directive In Process Of Urban Planning in Poland, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XL-4/W1, 29th Urban Data Management Symposium, 29 – 31 May, 2013, London, United Kingdom.
- [64] Mitchell P.: Speed and Road Traffic Noise, The role that lower speeds could play in cutting noise from traffic, A report commissioned by the UK Noise Association, 2009.
- [65] Collins B. K., et al.: The Audible Landscape: A Manual For Highway Noise And Land Use, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1976.
- Kiprian K., Ligus G. „Geneza i metody ograniczania hałasu drogowego – ekrany akustyczne”, Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Warszawa – Opole 2011
- Kotzen B., English C. „Environmental Noise Barriers – A guide to their acoustic and Visual design”, Taylor & Francis Group, New York 2009
- Landowski B., Kwasińska J. „Ocena stanu i analiza bezpieczeństwa ruchu drogowego oraz próba jego poprawy”, Polskie Stowarzyszenie Zarządzania Wiedzą, Bydgoszcz 2014
- Losa M., Bellucci P., Grecco R., Pacciardi S. “Development of guidelines for the implementation of alternative “smart” noise mitigation measures”, Conference of European Directors of Roads CEDR, Paris (France) 2013
- Maeck J., Morgan P., Muirhead M., Bellucci P., Grecco R. “State-of-the-art on secondary functions for noise barriers and road surfaces”, Conference of European Directors of Roads CEDR, Paris (France) 2015
- Nawrot J. „Hałas drogowy. Droga krajowa nr 9, przygraniczny odcinek Miejsce Piastowe – Barwinek”, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska w Rzeszowie, Delegatura w Jaśle, Jasło 2005
- Peiro-Torres M.P., Redondo J., Brvo J.M., Sanchez Perez J.V. “Open noise barriers based on sonic crystals. Advances in noise control in transport infrastructures” – XII Conference on Transport Engineering, CIT, Valencia (Spain) 2016
- Poe C., Plovnick A., Hodges T., Hastings A., Dresley S. “Highway Renewable Energy: Photovoltaic Noise Barriers”, U.S. Department of transportation, Washington D.C. (USA) 2017
- Vallati A., De Lieto Vollaro R., Tallini A., Cedola L. “Photovoltaics noise barrier: acoustic and energetic study” 70th Conference of the ATI Engineering Association, Italy 2015
- Vanhooreweder B., Marcocci S., De Leo A. “Technical Report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers”, Conference of European Directors of Roads CEDR, Paris (France) 2017
- Wyrwas P., Szyguła A. „Ekrany akustyczne – Zasady projektowania i kryteria doboru”, IV Ogólnopolska Konferencja Mostowców – Konstrukcja i Wyposażenie Mostów, Wisła 2005
- “Novel solutions for quieter and Greiner cities” – The HOSANNA project summary brochure, Bandhagen, Sweden 2013 <https://www.yumpu.com/en/document/view/9883788/hsanna-summary-brochure-january-2013hq/41> (dostęp 05.11.2017)
- “Zeszyt fachowy – Fotowoltaika” – Viessman 06/2013 - https://www.viessmann.pl/content/dam/vi-brands/PL/PDF/Zeszyt-fachowy/Zeszyt_fachowy-Fotowoltaika_06_2013.pdf/_jcr_content/renditions/original.media_file.download_attachment.file/Zeszyt_fachowy-Fotowoltaika_06_2013.pdf (dostęp 27.12.2017)
- Norma PN-EN 1317:2010 „Systemy ograniczające drogę”
- Norma PN-EN 1793:2017 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe – metoda oznaczania właściwości akustycznych”
- Norma PN-EN 1794-1:2011 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Wymagania pozaakustyczne

- Część 1: Właściwości mechaniczne i stateczność”
Norma PN-EN 1794-1:2011 „Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Wymagania pozaakustyczne
Część 2: Ogólne bezpieczeństwo i wymagania ekologiczne”
Norma PN-EN 1991-1-4:2008 „Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 1-4: Oddziaływania ogólne - Oddziaływania wiatru”
Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (z późniejszymi zmianami)
Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 „Prawo ochrony środowiska” (Dz. U. 2001 Nr 62 poz.627, z późniejszymi zmianami)
- [1] Główny Urząd Statystyczny – Budownictwo mieszkaniowe – tablice przeglądowe od 1991 roku;
[2] Ustawa z dnia 21 marca 1985 r. o drogach publicznych wraz z późniejszymi zmianami (Dz.U. 1985 Nr 14 poz. 60);
[3] S. Radosz, M. Tracz: Lokalizacja zabudowy względem dróg w aspekcie ochrony przed hałasem. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej nr. 283, 2012 r. Budownictwo i Inżynieria Środowiska 259 (3/12/IV);
[4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz. U. 2014, nr 0, poz. 112);
[5] Spławińska M., Buczek, P., Zmienność natężeń ruchu na drogach krajowych i ich wpływ na poziom hałasu. Drogownictwo, 2015;
[6] Spławińska M.: Charakterystyki zmienności natężeń ruchu i ich wpływ na eksploatację wybranych obiektów drogowych. Rozprawa doktorska, Politechnika Krakowska, Kraków 2013;
[7] Śleszyński P. wraz z zespołem – Analiza stanu i uwarunkowań prac planistycznych w gminach w 2012 roku; PAN Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania, 2014;
[8] Bodin T., Björk J., Ardö J., & Albin, M., Annoyance, sleep and concentration problems due to combined traffic noise and the benefit of quiet side. International journal of environmental research and public health, 12(2), 1612-1628, 2015;
[9] Dworak K., Domańska, H., & Paciej, J., Hałas środowiskowy a zdrowie. Referat przedstawiony na Ogólnopolskiej Sesji Popularnonaukowej " Środowisko a zdrowie-2005". Częstochowa, 2005;
[10] Gnat S, Bas M., Badanie wpływu emisji hałasu komunikacyjnego na ceny lokali mieszkalnych, Analiza rynku i zarządzanie nieruchomościami – Monografia Naukowa 2014
[11] Szczepańska A., Senetra, A., & Wasilewicz-Pszczółkowska, M., The effect of road traffic noise on the prices of residential property – A case study of the Polish city of Olsztyn. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 36, 167-177, 2015;
[12] DEPA. Hvad koster støj? Værdisætning af vejstøj ved brug af husprismetoden. Miljøprojekt Nr. 795, 2003;
[13] Kim K. S., Park S. J., & Kweon, Y. J., Highway traffic noise effects on land price in an urban area. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 12(4), 275-280, 2007.
[14] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem (Dz. U. Nr 140, poz. 824);

Załącznik Z8.1 Dokumentacja fotograficzna z poligonów badawczych - w wersji elektronicznej