

KILKA UWAG O PROJEKTOWANIU EKRANÓW AKUSTYCZNYCH

SOME OBSERVATIONS ON THE DESIGN OF NOISE BARRIERS

Arkadiusz BOCZKOWSKI
Politechnika Śląska

Streszczenie: Problem skuteczności budowanych ekranów akustycznych stanowi temat wielu rozważań w środowisku akustyków. Z jednej strony ekrany akustyczne są nadal najczęściej i najchętniej stosowanym zabezpieczeniem przed hałasem komunikacyjnym, a z drugiej, ich nadmierna liczba oraz wyniki badań skuteczności istniejących ekranów zmuszają do refleksji nt. zasadności ich stosowania. W wielu przypadkach zbyt niska skuteczność ekranów akustycznych związana jest ze źle przeprowadzonym procesem projektowym. W artykule omówiono podstawowe błędy popełniane przez projektantów ekranów akustycznych oraz związane z tym skutki. Następnie przedstawiono właściwe podejście do procesu projektowania ekranów akustycznych, polegające na wykorzystaniu metod komputerowych oraz przeprowadzeniu szczegółowej analizy rozkładu pola akustycznego za ekranem, jak również na elewacjach chronionych akustycznie budynków.

Słowa kluczowe: ekrany akustyczne, projektowanie ekranów, skuteczność ekranów

1. Wprowadzenie

Ekran akustyczny stanowi obecnie jeden z najczęściej stosowanych środków biernej redukcji przed hałasem. Ekran jest budowany niemal wszędzie, przy drogach, liniach kolejowych, tramwajowych, zakładach przemysłowych, itd. W naszym otoczeniu jest ich coraz więcej. Ale czy spełniają stawiane im wymagania, czy chronią nad przed hałasem dostatecznie dobrze? Aby jednoznacznie odpowiedzieć na to pytanie należy przeanalizować cały szereg czynników mających wpływ na ich skuteczność, wśród których na pierwszy plan wysuwa się proces projektowy. Otóż okazuje się, że najczęstszą przyczyną zbyt niskiej skuteczności ekranów akustycznych są błędy popełniane na etapie planowania i projektowania ekranów, związane głównie z brakiem dostatecznej wiedzy z zakresu akustyki i ochrony środowiska przed hałasem, jak również chęcią minimalizacji kosztów wdrożenia zabezpieczeń akustycznych.

Zasady doboru i projektowania ekranów akustycznych zostały opisane w wielu publikacjach krajowych i zagranicznych [2, 3, 4, 5, 6], a mimo to w dalszym ciągu popełniane są liczne błędy i zaniechania. Dlatego też celem niniejszego artykułu nie jest szczegółowe omówienie zasad projektowania ekranów akustycznych, a przedstawienie najczęściej popełnianych błędów na etapie procesu projektowego oraz przedstawienie przykładu poprawnego podejścia do projektowania ekranów akustycznych.

2. Metody obliczania skuteczności ekranowania

Projektowanie ekranów akustycznych polega takim doborze lokalizacji oraz cech geometrycznych i materiałowych ekranu, aby w jak najlepszy sposób zabezpieczyć chronione obiekty przed ponadnormatywnym i uciążliwym hałasem. Projektowany ekran akustyczny powinien charakteryzować się odpowiednio wysoką skutecznością (efektywnością). Skuteczność ekranu akustycznego zgodnie z [11] opisywana jest wzorem:

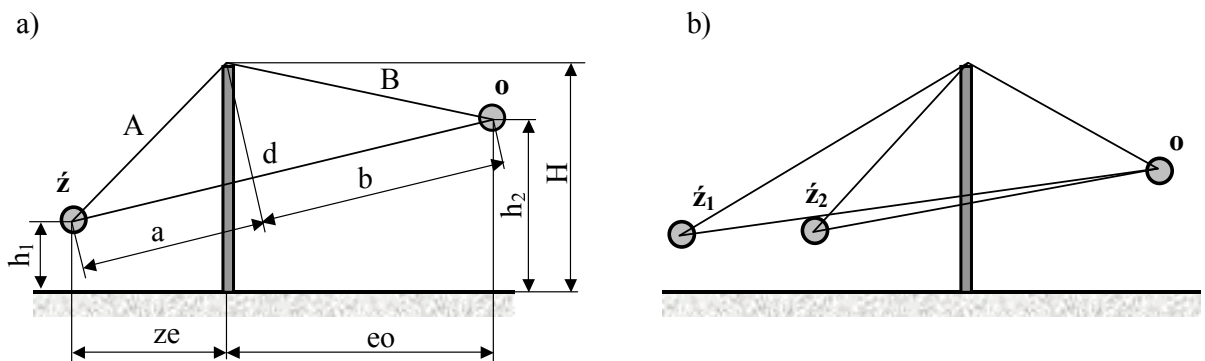
$$D_{IL} = L_A - L_B$$

gdzie:

L_A – poziom dźwięku w danym punkcie przed zainstalowaniem ekranu w dB,

L_B – poziom dźwięku w danym punkcie po zainstalowaniu ekranu w dB.

Ważne jest by skuteczność wyznaczana była dokładnie w tym samym punkcie przed i po wybudowaniu ekranu oraz przy nieziennej charakterystyce źródła hałasu. W przypadku hałasu drogowego pomiary należy wykonywać przy podobnym natężeniu ruchu i strukturze strumienia pojazdów. Jeżeli nie można zapewnić wystarczającego podobieństwa źródeł wówczas należy wprowadzić dodatkowy punkt referencyjny charakteryzujący źródło. Skuteczność ekranu zależy zatem od położenia punktu obserwacji. Maleje wraz ze wzrostem odległości od ekranu oraz wzrostem wysokości punktu obserwacji. Największą skuteczność obserwuje się w punktach zlokalizowanych na niewielkich wysokościach bezpośrednio za ekranem. Zatem można stwierdzić, że skuteczność ekranowania zależy głównie od geometrii układu *źródło – ekran – obserwator*, co przedstawiono na rys. 1. Własności materiałowe ekranu mają tu drugorzędne znaczenie, gdyż w praktyce przy izolacyjności wyższej niż 20 dB energia fali akustycznej przenikającej przez materiał ekranu jest o wiele mniejsza od energii fali akustycznej załamanej na krawędzi górnej lub krawędziach bocznych ekranu oraz fali bezpośredniej docierającej z miejsc nieekranowanych. Dlatego jej wpływ w obliczeniach jest słusznie pomijany.



Rys. 1 Geometria układu *źródło-ekran-obszawator* [2]:

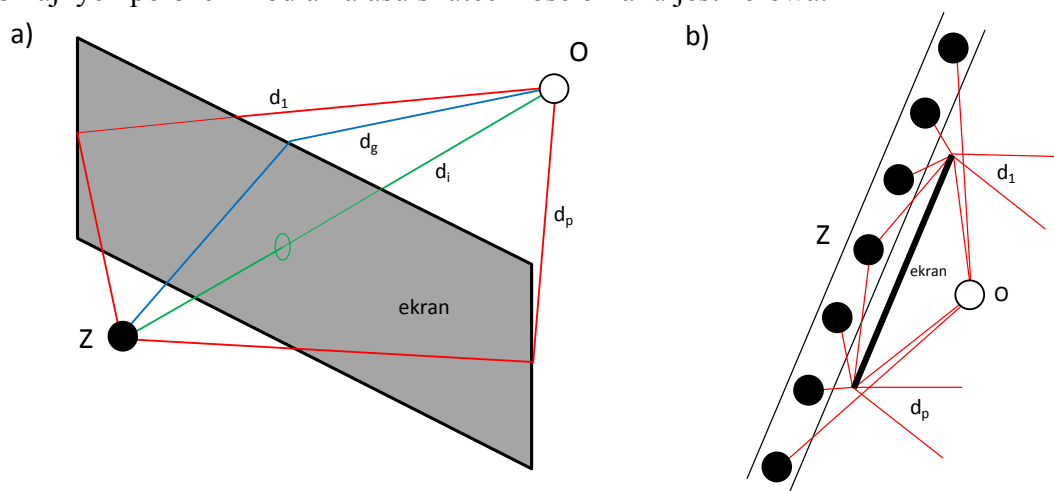
a) model z jednym źródłem, b) model z dwoma źródłami, np. dwoma jezdniami

Skuteczność ekranów akustycznych na etapie ich projektowania może być obliczana na podstawie jednej z metod: Delany’ego, Meakawy, Rettingera, Redfearna czy VDI-2720. Zakłada się, że ekran stanowi nieprzepuszczalną barierę akustyczną, a poziom dźwięku za ekranem jest funkcją odległości i ugięcia fali akustycznej na jego krawędzi górnej. Za ekranem tworzy się obszar tzw. cienia akustycznego, którego rozkład zależy od długości fali oraz od parametrów geometrycznych układu.

W metodach Redfearna, Delany’ego i Meakawy wskaźnikiem skuteczności ekranu jest różnica dróg promienia fali ugiętej na krawędzi ekranu i fali bezpośredniej δ lub liczba Fresnela $N = 2\delta/\lambda$, definiowana jako iloraz wielkości δ i połowy długości fali akustycznej. Przy określaniu efektywności ekranowania ΔL_E , zgodnie z charakterystyką korekcyjną A, należy przyjąć długość fali $\lambda = 0,68$ metra, co odpowiada częstotliwości $f = 500$ Hz. Metoda Rettingera opiera się na wyznaczeniu wskaźnika w zależnego od geometrii układu, wyznaczeniu wartości x, y dla odpowiednich cątek Fresnela, a następnie obliczeniu efektywności ekranowania. Z kolei wyznaczenie skuteczności ekranowania metodą VDI-2720 wymaga wykonania szeregu obliczeń uwzględniających: geometrię terenu, odbicie fal dźwiękowych od powierzchni drogi,

współczynnik korekcji warunków atmosferycznych, itp. Szczegółowy opis wszystkich ww. metod zawarto w [5], natomiast ich porównanie w [2].

Opisane wyżej metody obliczeniowe zakładają, że ekran jest nieskończenie długi, a załamanie fali akustycznej następuje tylko na jego górnej krawędzi. Skuteczność ekranowania oblicza się zatem w wybranym przekroju. W rzeczywistości ekrany akustyczne posiadają skończoną długość, przez co mamy do czynienia również z załamaniem fali dźwiękowej na krawędziach bocznych. Drogi propagacji fali akustycznej od źródła punkowego do punktu odbioru przedstawiono na rys. 2a. Czerwonym kolorem oznaczono falę ugiętą na krawędziach bocznych, niebieskim na krawędzi górnej ekranu, natomiast zielonym falę przenikającą przez ekran akustyczny wskutek jego skończonej izolacyjności. Z kolei na rys. 2b przedstawiono przykład załamania fali akustycznej na krawędziach bocznych ekranu w zależności od położenia źródła punkowego (np. przejeżdżającego po drodze samochodu). W przypadku skrajnych położenia źródła hałasu skuteczność ekranu jest zerowa.



Rys. 2 Propagacja fali akustycznej od źródła (Z) do punktu obserwacji (O):

a) dla źródła punkowego, b) dla źródła liniowego

d_1, d_p – ugięcie na lewej/prawej krawędzi bocznej ekranu, d_g – ugięcie na krawędzi górnej ekranu,

d_i – fala akustyczna przenikająca przez ekran.

Nie uwzględnienie w obliczeniach wpływu załamania fali akustycznej na krawędziach bocznych ekranu w czasie procesu projektowania jest bardzo częstym i bardzo poważnym błędem, który skutkuje uzyskaniem znacznie mniejszej skuteczności ekranu po jego wybudowaniu niż założono.

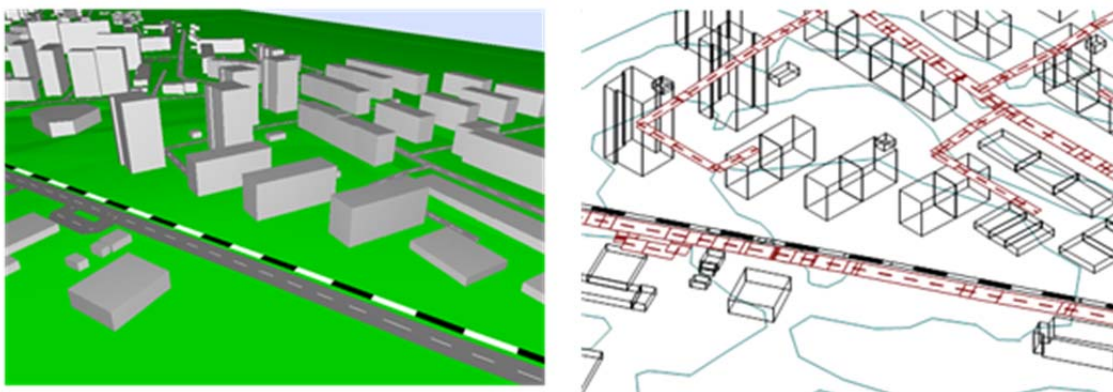
3. Projektowanie ekranów akustycznych z wykorzystaniem metod komputerowych

Uwzględnienie większości zjawisk mających istotny wpływ na propagację fali akustycznej jest możliwe przy zastosowaniu specjalistycznego oprogramowania wspomagającego proces projektowania zabezpieczeń akustycznych. Istnieje wiele różnych programów obliczeniowych, wśród których najpopularniejsze to: CadnaA, SoundPlan, LimaA, Immi, itp. Wspólną cechą wymienionych programów jest możliwość wykonania trójwymiarowego modelu geometrycznego obszaru obliczeń, uwzględniającego naturalne ukształtowanie terenu, budynki i obiekty ekranujące, obszary zielone, pochłanianie gruntu, wpływ warunków meteorologicznych oraz inne obiekty istotne z punktu widzenia propagacji fali akustycznej (np. nasypy, skarpy,

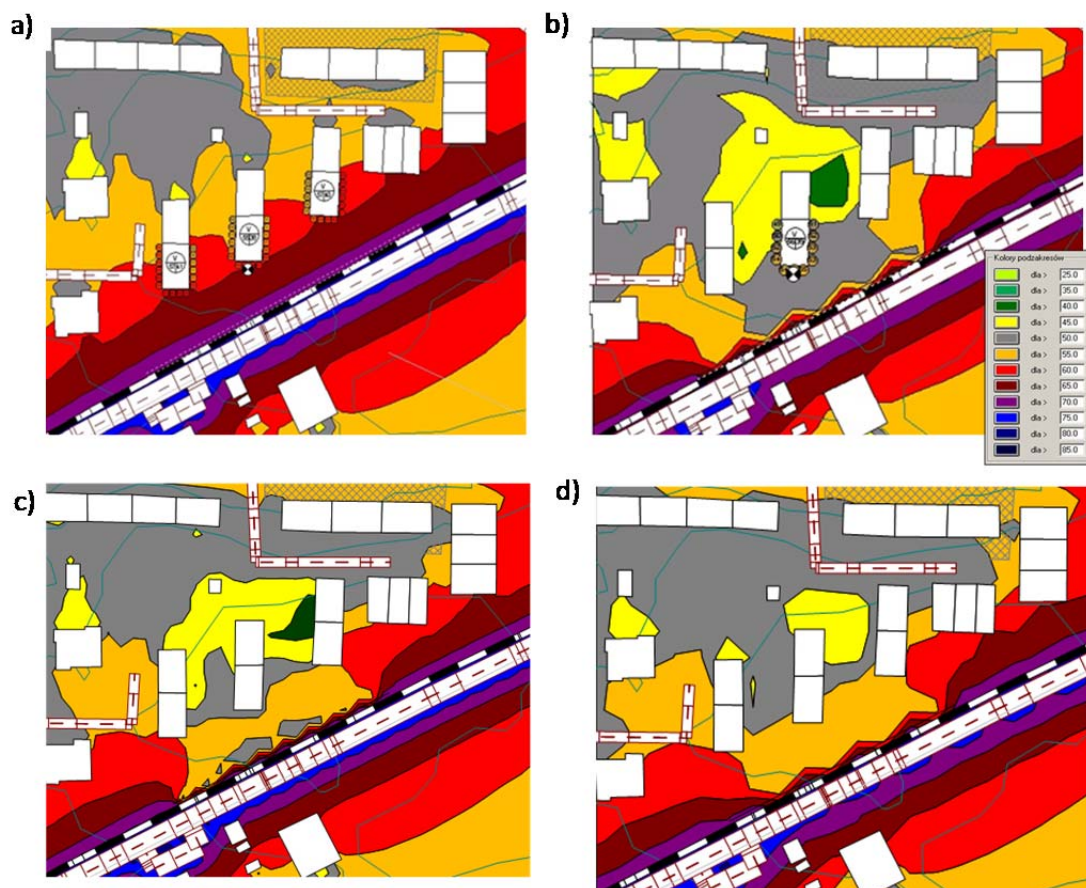
wiadukty, mosty, zbiorniki, itp.). Obliczenia akustyczne prowadzone są zgodnie z normą PN-ISO 9613-2, zalecaną przez Dyrektywę 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie oceny i kontroli poziomu hałasu w środowisku oraz zgodnie z instrukcją ITB 338/96. Umiejętne zastosowanie ww. oprogramowania daje projektantowi możliwość przeprowadzenia pełnej analizy rozkładu pola akustycznego za ekranem w przekrojach poziomych (mapy hałasu) oraz pionowych (analiza cienia akustycznego), jak również analizy rozkładu poziomu dźwięku na elewacjach budynków.

4. Przykład procesu projektowania ekranu akustycznego

Proces projektowania ekranu akustycznego zawsze wiąże się z koniecznością przeprowadzenia wariantowej analizy obliczeniowej, w wyniku której należy optymalnie dobrać lokalizację ekranu lub zespołu ekranów, jego długość, wysokość oraz rodzaj (ekran pochłaniający czy odbijający).



Rys. 3 Model geometryczny (3D) obszaru badań



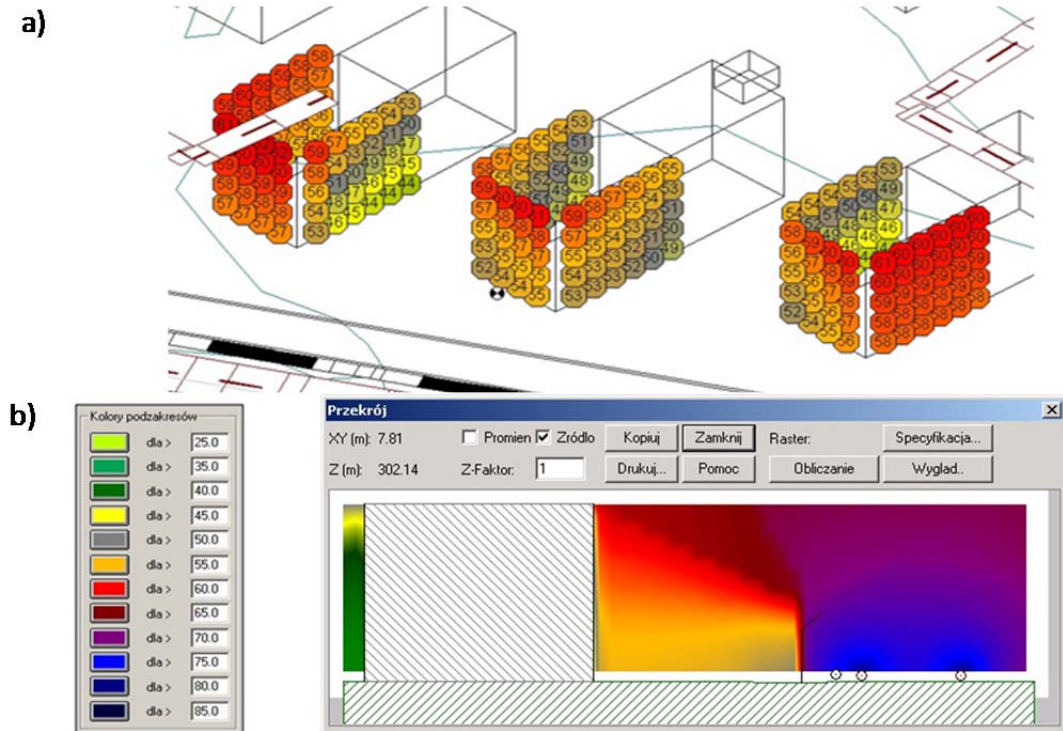
Rys. 4 Rozkład poziomu dźwięku na wysokości 4 m nad poziomem gruntu:

- a) stan bez ekranów akustycznych, b) z zaprojektowanymi ekranami,
c) ekran za krótki, d) ekran za niski

W tym celu należy w pierwszej kolejności wykonać model geometryczny i akustyczny obszaru objętego badaniami akustycznymi. Model ten powinien uwzględniać rzeczywiste ukształtowanie terenu oraz wszelkie elementy ekranujące mające wpływ na propagację fali akustycznej, jak budynki, skarpy, nasypy, itp. Przykład modelu geometrycznego służącego do obliczeń skuteczności projektowanego ekranu przedstawiono na rys. 3.

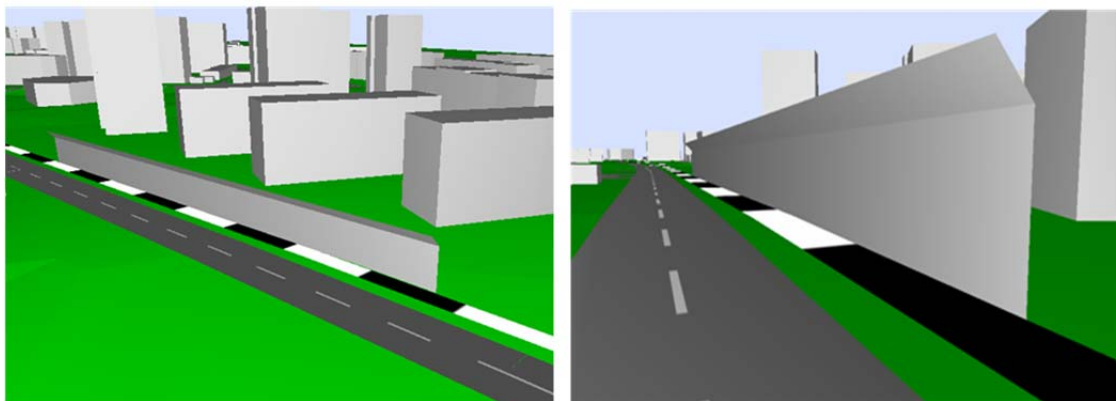
Wstępną lokalizację ekranu zakłada się w zależności od rzeczywistych możliwości jego posadowienia, biorąc pod uwagę możliwy do uzyskania efekt ekologiczny, uzbrojenie terenu, konieczne do wprowadzenia zmiany w organizacji ruchu pieszych i rowerzystów wywołane pojawieniem się ekranu, bezpieczeństwo ruchu, zacienienie, itp. Po wyborze jednej lub kilku możliwych lokalizacji przeprowadza się wstępne obliczenia skuteczności ekranowania analizując uzyskane mapy akustyczne wykonane w przekrojach poziomych na odpowiednich wysokościach. Przykład takich analiz przedstawiono na rys. 4. W tym momencie można jeszcze modyfikować długość, wysokość oraz kształt ekranu w celu uzyskania odpowiedniej skuteczności. Obliczenia poziomu dźwięku najczęściej przeprowadza się w siatce punktów obserwacji o rozmiarach 5×5m lub 10×10m, rozmieszczonej na wysokości odpowiadającej najniższej i najwyższej kondygnacji chronionego budynku. Gęstość siatki obliczeniowej może być zmieniana w zależności od wielkości obszaru obliczeniowego. Liczbę analizowanych odbić przyjmuje się zazwyczaj równą 2, współczynnik pochłaniania gruntów „akustycznie miękkich” (np. trawniki, łąki, pola, drogi nieutwardzone, itp.) ustala się na

0,6, natomiast straty odbić na elewacjach budynków przyjmuje się na poziomie 1 dB ($\alpha = 0,21$).



Rys. 5 Analizy rozkładu pola akustycznego:
 a) w siatce punktów na elewacjach budynków, b) analiza cienia akustycznego w przekroju poprzecznym

Po wyborze najkorzystniejszego wariantu należy sprawdzić i ewentualnie skorygować parametry ekranu w taki sposób, by chronione były nie tylko najniższe kondygnacje budynku, ale również te znajdujące się na najwyższych piętrach. Dodatkowo należy sprawdzić rozkład poziomy dźwięku na poszczególnych elewacjach budynków. Zbyt krótki ekran może spowodować, że nie wszystkie elewacje będą dostatecznie dobrze chronione pod względem akustycznym. Przykład analizy rozkładu poziomego dźwięku na elewacjach budynków przedstawiono na rys. 5, z kolei zoptymalizowany pod względem skuteczności akustycznej ekran chroniący budynki mieszkalne przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6 Postać zaprojektowanego ekranu akustycznego

5. Podstawowe błędy popełniane przy projektowaniu ekranów akustycznych

W praktyce inżynierskiej bardzo często spotykamy się z projektami ekranów wykonywanymi przez osoby nie mające odpowiedniej wiedzy z zakresu akustyki środowiska, bez użycia specjalistycznych narzędzi komputerowych, a co gorsze, co zdarza się w przypadku dużych inwestycji liniowych, bez wizji lokalnej miejsca przyszłej budowy. Takie projektowanie ekranów „zza biurka” skutkuje błędami, które obserwujemy później jeżdżąc po naszych drogach. Do najczęściej popełnianych błędów przy projektowaniu ekranów akustycznych należą:

- zbyt niskie i zbyt krótkie ekrany, co związane jest z presją ograniczania kosztu budowy lub nieumiejętnym projektowaniem,
- budowa ekranów wzdłuż autostrad na obszarach niezabudowanych, np. stawianych w polach, lasach, itd.,
- projektowanie ekranów z licznymi przerwami, np. wjazdami na posesje; takie ekrany nie powinny być budowane, gdyż ich skuteczność jest praktycznie zerowa,
- lokalizacja ekranu zbyt daleko od źródła hałasu, co najczęściej zdarza się w przypadku ekranowania zakładów przemysłowych, ekran traktowany jest jak ogrodzenie,
- stosowanie ekranów odbijających falę akustyczną w miejscach, gdzie powinna ona być pochłaniana; taki błąd skutkuje często pogorszeniem warunków akustycznych po wybudowaniu ekranu,
- projektowanie ekranów o rzędnej posadowienia niższej niż rzędna drogi; taki ekran do wysokości położenia źródła jest nieskuteczny, a koszt jego wybudowania jest bardzo wysoki,
- zbyt rzadkie korzystanie z możliwości bardzo skutecznego ekranowania naturalnego, np. prowadzenie dróg w wykopach czy stosowanie wałów (nasypów) ziemnych.

6. Wnioski

Proces projektowania ekranów akustycznych wiąże się z koniecznością uwzględnienia szeregu czynników mających wpływ na ich skuteczność. Do najważniejszych z nich należy zaliczyć: ukształtowanie terenu, ekranowanie hałasu przez inne budynki i obiekty kubaturowe, załamanie fali akustycznej na krawędziach górnych i bocznych ekranu, własności pochłaniające powierzchni ekranu, kształt samego ekranu, absorpcja gruntu, itp. Uwzględnienie wszystkich wymienionych czynników w czasie procesu projektowania ekranów daje możliwość poprawnego oszacowania możliwych do uzyskania efektów akustycznych, a przez to pozwala na podjęcie świadomej decyzji o budowie ekranu akustycznego. Niestety w wielu przypadkach nawet najlepiej zaprojektowane ekrany nie są w stanie zapewnić zgodności z normatywami na terenach podlegających ochronie przed hałasem i warto o tym wiedzieć przed podjęciem decyzji o ich budowie. Taka informacja pozwoli świadomie zarządzać klimatem akustycznym oraz kształtować stan środowiska akustycznego na co zwrócono uwagę w [8, 9, 10]. Metody obliczeniowe przedstawione w niniejszym artykule mają zastosowanie również przy projektowaniu zabezpieczeń przeciwhałasowych w środowisku przemysłowym co opisano w [1, 7].

7. Literatura

- [1] Boczkowski A.: Designing of noise protection systems in industrial environment. Systems supporting production engineering. Monograph. Eds: Witold Biały, Jan Kaźmierczak. Wydawnictwo Pracowni Komputerowej Jacka Skalmierskiego, Gliwice 2012, s. 42-50.
- [2] Boczkowski A., Komoniewski M.: Weryfikacja algorytmów obliczania efektywności ekranowania drogowych ekranów akustycznych w warunkach rzeczywistych. Materiały XXXI Zimowej Szkoły Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych. Gliwice-Szczyrk 2003. s. 13-20.
- [3] Boczkowski A., Koźlik G.: Weryfikacja dokładności obliczeń emisji akustycznej źródeł hałasu drogowego w zależności od przyjętego sposobu modelowania źródła. Materiały XL Zimowej Szkoły Zwalczenia Zagrożeń Wibroakustycznych. Gliwice-Szczyrk 27.02-02.03.2012. s. 17-29.
- [4] Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 2001.
- [5] Engel Z., Sadowski J., Stawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: Ekrany akustyczne. Ministerstwo OŚZNiL, Instytut Mechaniki i Wibroakustyki AGH, Kraków 1990.
- [6] Kucharski R., Szymański Z.: Wytyczne stosowania i projektowania ekranów akustycznych. Główny Inspektorat Ochrony Środowiska, Instytut Ochrony Środowiska. Zakład Akustyki Środowiska. Warszawa 2008 r.
- [7] Matuszak Z.: Uwagi o badaniach infradźwięków na morskich obiektach pływających. Management Systems in Production Engineering. 1(1) 2011. s. 14-18.
- [8] Mikrut A.: Opracowanie sposobu wykorzystania metod prognozowania hałasu komunikacyjnego w zarządzaniu środowiskiem. Praca dyplomowa realizowana pod opieką Arkadiusza Boczkowskiego. Politechnika Śląska, Zabrze 2004 r.
- [9] Paszkowski W.: Zarządzanie klimatem akustycznym w jednostkach samorządu terytorialnego – nowe podejście. Management Systems in Production Engineering. 2(6) 2012. s. 19-25.
- [10] Paszkowski W.: Elementy planowania przestrzennego w projektowaniu środowiska akustycznego na terenach zurbanizowanych. Management Systems in Production Engineering. 3(3) 2011. s. 33-37.
- [11] PN-ISO 10847:2002. Akustyka. Wyznaczanie skuteczności zewnętrznych ekranów akustycznych w warunkach rzeczywistych.