



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

**Przedmiot umowy pn:**

**Ochrona przed hałasem drogowym**

**Tytuł przedmiotu umowy\*:**

**Projekt katalogu metod i środków do stosowania w ochronie przed  
hałasem**

\*zgodny z opisem, stanowiącym załącznik nr 1 do umowy nr DZP/RID-I-76/15/NCBR/2016  
wytyczne/instrukcja/analiza/metodologia/wzór/rekomendacje

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

Data rozpoczęcia: 01.01.2016

Data zakończenia: 30.05.2018

---

Na prawach rękopisu

## **Ekran akustyczny**

### ***Technologia wykonania / Parametry***

Ekran akustyczny to najczęściej stosowany sposób poprawy klimatu akustycznego. Ekran akustyczny jest to obiekt zaprojektowany na ogół wyłącznie w celu ochrony przed hałasem terenów i obiektów budowlanych na ten hałas wrażliwych (w szczególności terenów i budynków mieszkalnych).

Realizację tego celu uzyskuje się za pomocą:

- Usytuowania ekranu na drodze rozprzestrzeniania się dźwięku między źródłem, a obserwatorem (odbiorcą),
- Przesłonięcia odbiorcy w ten sposób, że nie dociera do niego fala akustyczna biegnąca bezpośrednio ze źródła.

Podział ekranów akustycznych

Ze względu na różny charakter zabudowy oraz warunki terenowe występują rozmaite formy i kształty ekranów akustycznych.

Własności akustyczne:

- odbijające (odbijają fale dźwiękową w kierunku źródła)
- odbijająco - rozpraszające (posiadają dodatkowo własności rozpraszające)
- pochłaniające (posiadają kształt podnoszący chłonność, wypełnione materiałami absorpcyjnymi, możliwość osadzenia roślin)

Materiał, z jakiego zbudowano ekran:

- metalowe ( rys. 1. )
- betonowe ( rys. 2. )
- ceramiczne
- drewniane ( rys. 3. )
- szklane ( rys. 4 )
- z tworzyw sztucznych ( rys. 5. )
- inne



Rys. 1. Ekran akustyczny o konstrukcji metalowej.



Rys. 2. Ekran akustyczny o konstrukcji betonowej.



Rys. 3. Ekran akustyczny o konstrukcji drewnianej.



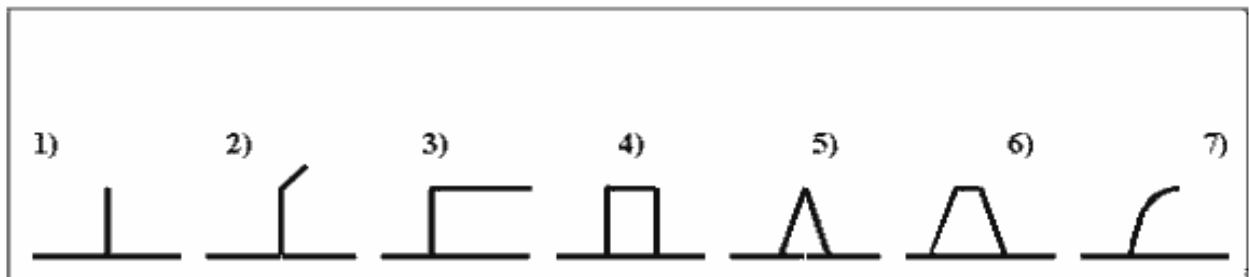
Rys. 4. Ekran akustyczny o konstrukcji szklanej.



Rys. 5. Ekran akustyczny o konstrukcji z tworzywa sztucznego.

Kształt przekroju poprzecznego:

- pionowe (1)
- pionowe nadwieszane (2)
- poziome (3)
- prostopadłościenne (4)
- klinowe (5)
- trapezowe (6)
- łukowe (7)



Rys. 6. Podział ekranów ze względu na kształt przekroju poprzecznego.

Kształt rzutu pionowego:

- prostoliniowe
- krzywoliniowe (względny akustyczne, estetyka, warunki terenowe, usuwanie monotonii)

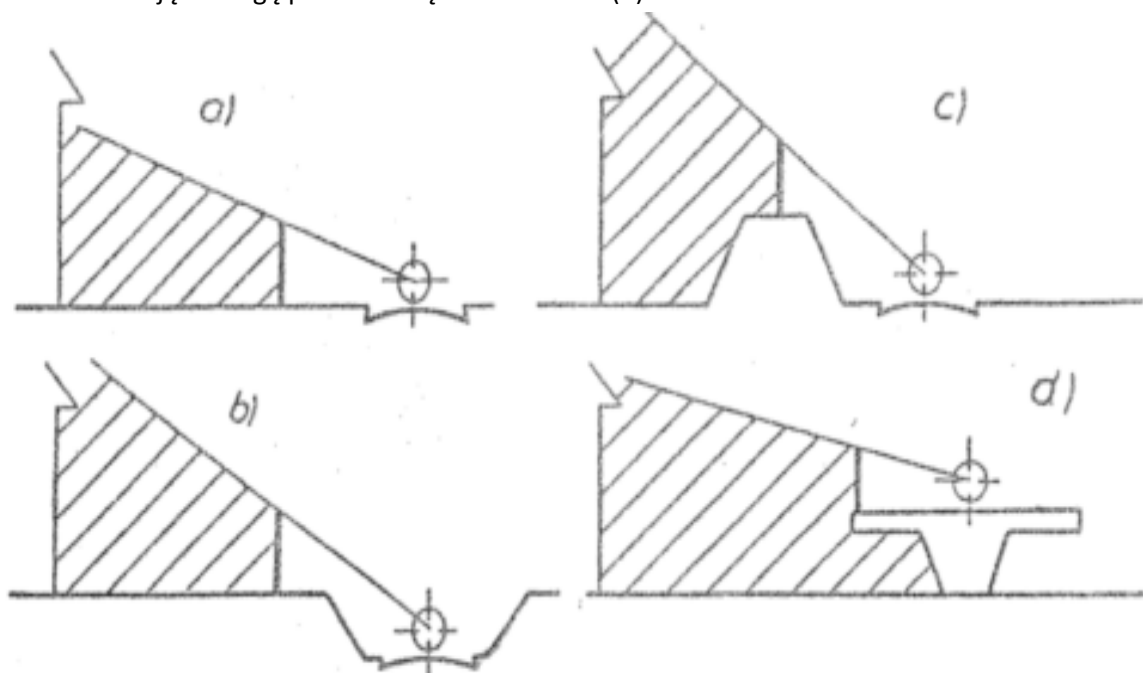
Sposób montowania;

- segmentowy (składany z kolejnych dużych segmentów o katalogowej wielkości)
- modułowy (składany z kolejnych elementów o małym module)

Warunki terenowe w otoczeniu drogi, ekrany możemy podzielić na:

- wolnostojące (a)
- ekranujące drogę prowadzoną w wykopie (b)
- stanowiące uzupełnienie naturalnego lub sztucznego nasypu (wzniesienia) (c)

- ekranujące drogę prowadzoną na estakadzie (d)



Rys. 7. Podział ekranów ze względu na warunki terenowe w otoczeniu drogi.

#### Skuteczność ekranu akustycznego

Skuteczność ekranu zależy od tego, ile energii akustycznej emitowanej przez źródło przedostanie się poza ekran i dotrze do punktu odbioru (odbiorcy). Do liczbowej oceny skuteczności można używać prostej zależności:

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

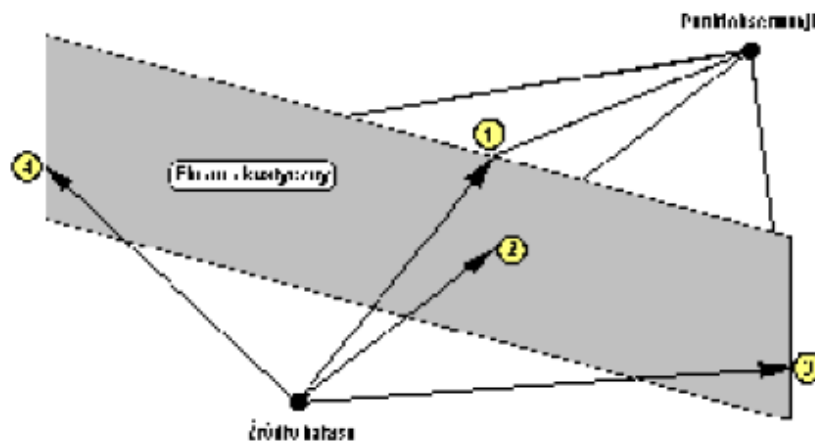
gdzie:

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

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

Warunkiem koniecznym, aby ekran stanowił skuteczną ochronę przed hałasem jest by odbiorca znajdował się w obszarze cienia akustycznego. Obszar cienia nie jest zupełnie pozbawiony hałasu, ponieważ fale dźwiękowe, załamując się na krawędzi ekranu, wnikają w ten obszar. Drogi przenikania fal akustycznych od źródła do odbiorcy:

- Bezpośrednio przez konstrukcje ekranu (stopień przenikania dźwięku przez konstrukcje ekranu zależy od jego masy oraz konstrukcji elementów, z którego ekran zbudowano) (2)
- Załamanie fal akustycznych na:
  - Górnej krawędzi ekranu (1)
  - Bocznych krawędziach ekranu (3,4)



Rys. 8. Drogi przenikania fal akustycznych od źródła do odbiorcy

Zjawisko załamania powoduje zmniejszenie się energii akustycznej niesionej przez fale, co odbiera się organem słuchu jako obniżenie poziomu dźwięku. Im głębiej w cieniu akustycznym umieści się odbiorcę, tym kąt załamania fal akustycznych na krawędzi ekranu będzie większy, a więc większy stopień obniżenia poziomu hałasu. Warunek znalezienia się odbiorcy w cieniu akustycznym określić można wzorem:

$$h_{obs} \leq \frac{r_{obs}}{r_e} \cdot (h_e - h_z) + h_z \quad (2)$$

gdzie:

$h_{obs}$  – wysokość punktu obserwacji, [m]

$h_e$  – wysokość ekranu akustycznego, [m]

$h_z$  – wysokość źródła dźwięku, [m]

$r_{obs}$  – odległość horyzontalna punktu obserwacji od źródła, [m]

$r_e$  – odległość horyzontalna ekranu od źródła, [m]

Analizując skuteczność rozwiązania ekranu akustycznego należy rozpatrywać go jako element zagospodarowania przestrzeni, którego własności zależą od tej przestrzeni. Może się okazać, że rozwiązanie dobrze się sprawujące w jednych warunkach, przeniesione w inne zawodzi. Stąd też bardzo istotną fazą jest analiza koncepcji i projektu ekranu. Błędy popełnione na tym etapie są później trudne do wyeliminowania.

Dla zapewnienia pożądanej skuteczności ekranu, należy rozpatrywać następujące zagadnienia:

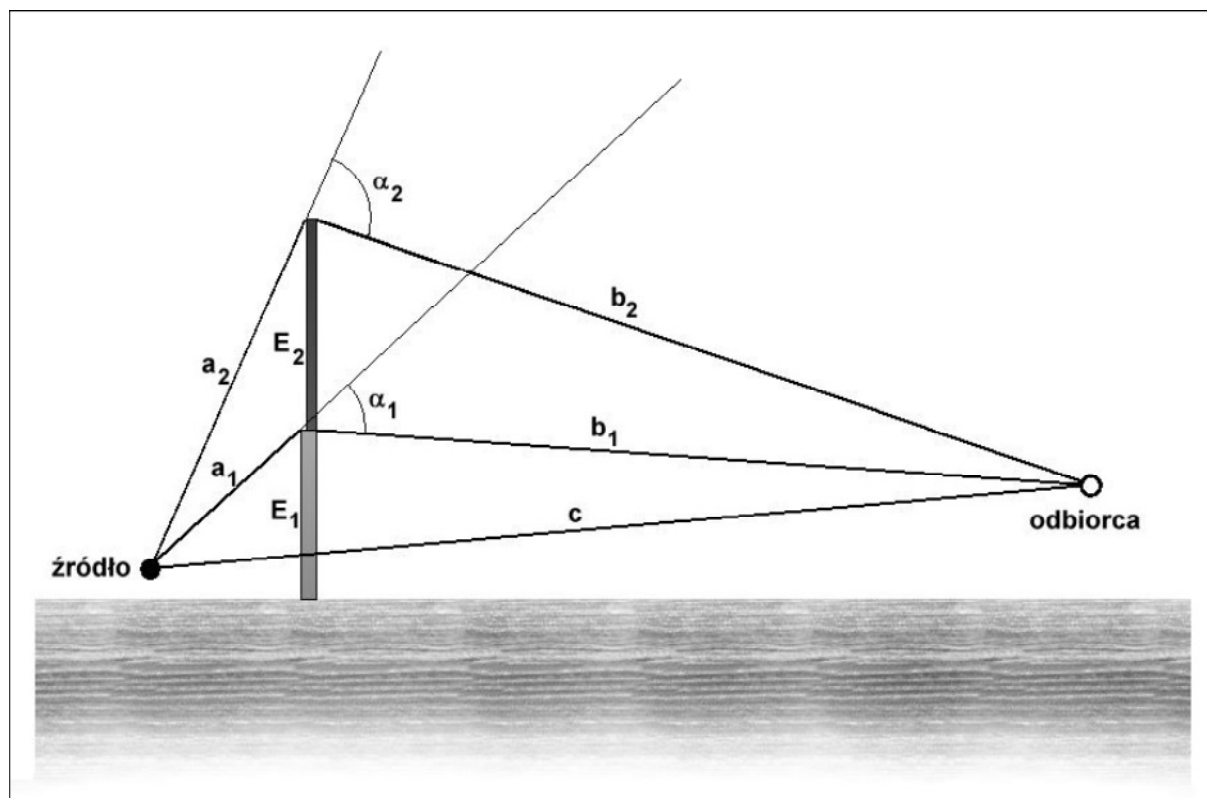
- miejsce posadowienia ekranu (lokalizacja)
- parametry geometryczne (wysokość, długość)
- materiał, z którego ekran został wykonany

#### Lokalizacja ekranu

Ekran powinien być zlokalizowany maksymalnie blisko źródła hałasu lub maksymalnie blisko obiektu chronionego. Pierwsze rozwiązanie jest lepsze, ponieważ nie ogranicza terenu i przestrzeni w bezpośredniej odległości od zabudowy. Najczęściej jednak usytuowanie ekranu jest narzucone z góry, poprzez ograniczenia techniczne, terenowe i ekonomiczne. Aby zwiększyć skuteczność ekranu, projektant może manewrować jedynie jego wysokością.

## Wysokość ekranu

Jednym z podstawowych parametrów ekranu akustycznego jest jego wysokość. Wysokość ekranu decyduje o tym, czy budowlane obiekty chronione znajdują się w obszarze cienia akustycznego. Wartość skuteczności ekranu związana ze stopniem załamania się fali akustycznej na jego krawędzi – patrz kąty  $\alpha_1$  oraz  $\alpha_2$ .



Rys. 9. Załamanie się fali akustycznej w zależności od wysokości ekranu

Im głębiej w cieniu akustycznym zlokalizuje się odbiorcę hałasu, tym kąt załamania fal akustycznych na krawędzi ekranu będzie większy, a więc także większa skuteczność.

[„Podstawy stosowania ekranów akustycznych w środowisku” R.J. Kucharski materiał z Międzynarodowej Konferencji: „Walka z hałasem na etapie projektowania” 23-25 kwietnia 2003r.]

## Oktagon

Nowoczesnym sposobem zwiększania skuteczności ekranu akustycznego bez zwiększania jego wysokości jest oktagonalny (ośmiokątny) reduktor hałasu. Jest to urządzenie, które zainstalowane na górze ekranu, pozwala na dalszą redukcję poziomu natężenia dźwięku dzięki absorpcji hałasu ugiętego na górnej krawędzi ekranu. Specyficzny kształt geometryczny jak również odpowiednich materiałów czyni „oktagon” efektywnym i praktycznym sposobem redukcji hałasu. Przy tej samej wysokości ekranu dołączony do niego „oktagon” poprawia efekt tłumienia o średnią wartość 3dB. Przy użyciu „oktagonu” możliwe jest zredukowanie nawet o 1 metr całkowitej wysokości ekranu przy zachowaniu tej samej efektywności jakie daje konwencjonalny ekran.

[<http://www.signalco.pl>]





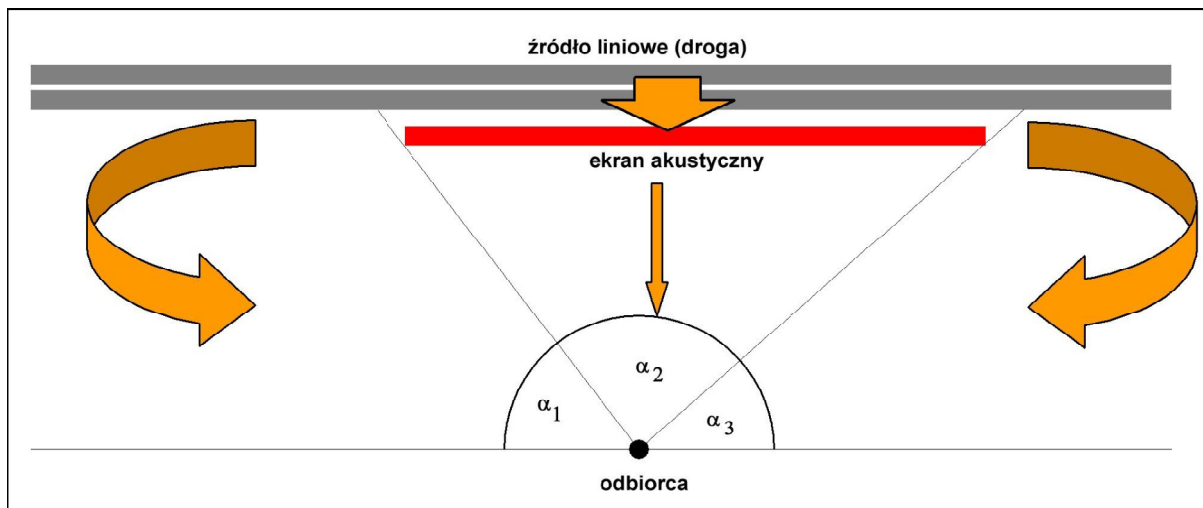
Rys. 10. Przykład 1 zastosowania „oktagonu”



Rys. 11. Przykład 2 zastosowania „oktagonu”

### Długość ekranu

Do chronionego obszaru za ekranem mogą przedostawać się fale akustyczne również spoza krawędzi bocznych. Im krótszy ekran, tym poziom dźwięku tych fal będzie większy. Szczególnie istotne jest to zjawisko w przypadku, gdy mamy do czynienia ze źródłem liniowym. W niektórych przypadkach może się okazać, iż ekran jest na tyle krótki, że nie ma on żadnego znaczenia dla zmniejszenia hałasu u odbiorcy. Ekran o teoretycznej skuteczności 10dB, lecz zbyt krótki, oddziałuje praktycznie bez efektu. Schemat tego zjawiska pokazano na rys. 12 (schemat) oraz rys. 13 (rozwiązanie praktyczne).



Rys. 12 Przenikanie fali akustycznej przez krawędzie boczne ekranu – schemat



Rys. 13 Przenikanie fali akustycznej przez krawędzie boczne ekranu – rozwiązanie praktyczne

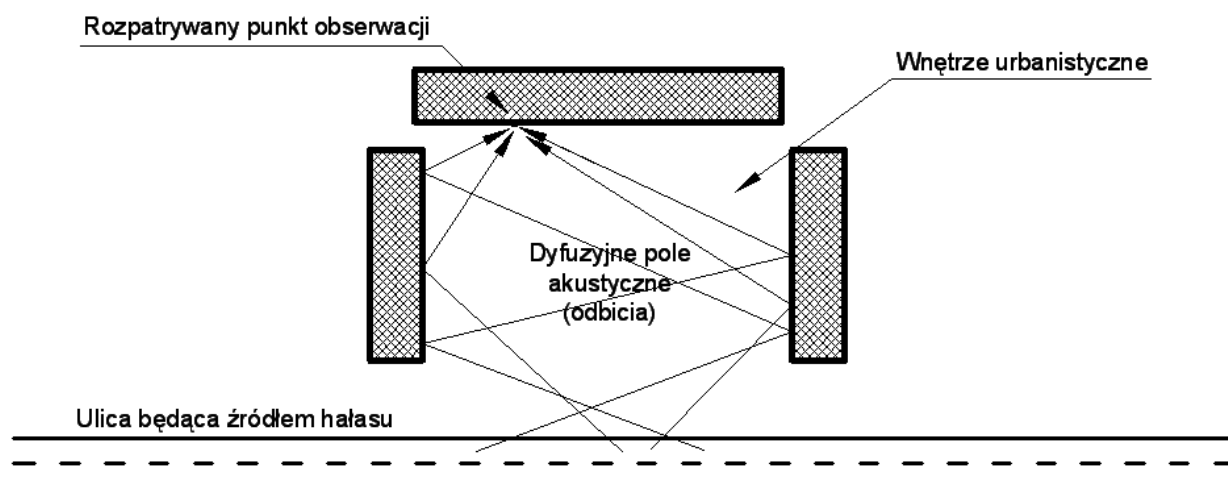
#### Występowanie fali odbitych

Pole akustyczne w przestrzeni (w środowisku) może mieć charakter:

- Pola fali swobodnie biegnącej,
- Pola dyfuzyjnego.

Pole fali swobodnie biegnącej charakteryzuje się wyraźnie dominującym dźwiękiem, pochodzącym od określonego źródła i z określonego kierunku, przy stosunkowo niewielkim poziomie zakłóceń innymi

sygnałami akustycznymi. Ekran akustyczny lokalizuje się przede wszystkim na drodze propagacji tego typu fali. Pole dyfuzyjne natomiast powstaje wtedy, gdy mamy odczynienia z dużą liczbą fal odbitych dobiegających z różnych kierunków.



Rys. 14 Schemat pola dyfuzyjnego

Wprowadzenie w pole dyfuzyjne ekranu akustycznego odbijającego może dodatkowo pogorszyć sytuację. Natomiast lokalizacja w takim miejscu ekranu z elementami pochłaniającymi może mieć skutek pozytywny.

#### Materiał

Ekran akustyczny budowany jest ze specjalnych materiałów i elementów, zapewniających uzyskanie właściwych parametrów akustycznych. W większości przypadków są to rozwiązania panelowe (panele) o konstrukcji sandwich'owej. Rozwiązania elementów do budowy ekranu muszą mieć określoną izolacyjność akustyczną oraz własności pochłaniające. Stopień przenikania dźwięku przez konstrukcję ekranu (izolacyjność akustyczna) zależy od jego masy. Gęstość powierzchniowa ekranu „m” powinna spełniać warunek:

$$m > 3 \cdot 10^{\frac{(L_{dop} - L_a - 10)}{14}} \quad (3)$$

gdzie:

$L_{dop}$  – dopuszczalny poziom hałasu, [dB]

$L_A$  – poziom dźwięku przed zainstalowaniem ekranu, [dB].

Generalnie izolacyjność akustyczna nie powinna być mniejsza niż:

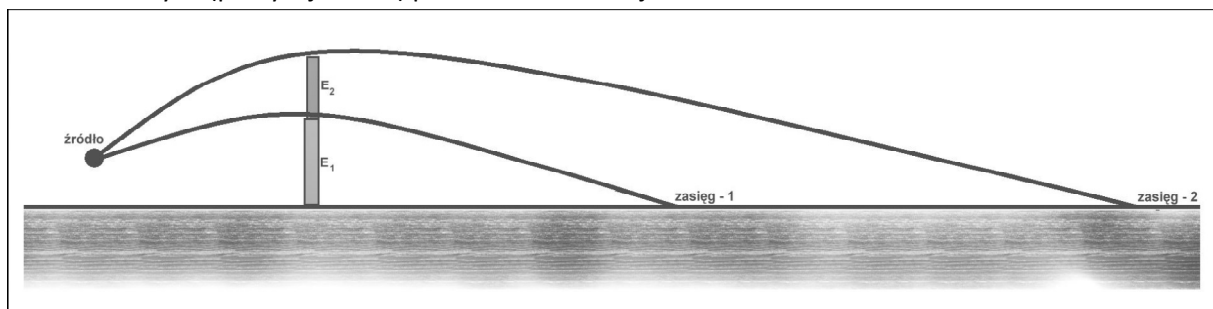
- ok. 20 dB w przypadku ekranu lekkiego, którego rzeczywista skuteczność jest nie większa niż 7-10 dB,
- ok. 25 dB dla ekranów masywnych, o skuteczności obniżenia poziomu dźwięku powyżej 10 dB.

Parametry izolacyjności akustycznej i charakterystyki pochłaniania dźwięku dobiera się z uwzględnieniem aktualnych i przewidywanych warunków w miejscu posadowienia ekranu (jest to jedna z istotniejszych faz projektowania). Nie dopuszczalna jest zmiana tych elementów (w tak zwanym projekcie wykonawczym, zastępczym) bez wykonania ponownie pełnej analizy akustycznej, czyli całego projektu ekranu poza projektem konstrukcyjnym.

#### Uwarunkowania związane z warunkami meteorologicznymi

Skuteczność ekranowania nie jest wartością stałą w czasie. Zmienia się ona, tak zresztą jak warunki rozprzestrzeniania się dźwięku, wraz z zaistnieniem różnych kombinacji warunków pogodowych. W niektórych przypadkach może się okazać, iż dobrze zaprojektowany ekran akustyczny wykazuje czasem obniżenie wartości skuteczności niemal do zera. Ma to miejsce dla:

- Specyficznych zestawów wartości gradientów temperatury i gradientów wiatru,
- Dalszych (powyżej 100 m) punktów obserwacji.



Rys. 15. Schemat przebiegu zjawiska zakrzywania się „promienia dźwiękowego”, dla dwóch wysokości ekranu

Rozpatrywane zakrzywienie powoduje znaczne zmniejszenie skuteczności ekranu od pewnej odległości (zasięgu). Zdarzają się takie dni, gdy ocena skuteczności ekranu na skutek specyficznego zestawu parametrów pogodowych, jest bardzo niska. Nie jest to błąd projektowania, choć sygnały o występowaniu tego zjawiska należy kontrolować. Należy dążyć do możliwie dużej wysokości ekranu. Wtedy zasięg zmniejszenia się skuteczności ekranu podczas inwersji temperaturowej jest duży. Natomiast ekrany niskie, poniżej 3,5 – 4 m są bardzo „czułe” na zmiany warunków atmosferycznych. Z uwagi na zasięgi obniżania się skuteczności ekranów akustycznych z uwagi na warunki atmosferyczne nie powinno się rozpatrywać ochrony przy pomocy ekranów akustycznych obiektów oddalonych o więcej niż 150 – 200 m od źródła.

[„Ekran akustyczny. Uwarunkowania ich zastosowania” R.J. Kucharski, materiał z seminarium „Ochrona akustyczna w drogownictwie” 23-24 marca 2006r.]

[„Ekran akustyczny przy drogach” R.J. Kucharski, artykuł z magazynu Autostrady 7/2005]

#### Metody projektowania efektywności ekranów akustycznych

Przez wiele lat, opracowanych zostało w różnych ośrodkach zajmujących się problematyką ekranową, kilka metod obliczeniowych efektywności ekranowania. Pośród najpopularniejszych z nich wymienić należy metody: Rettingera, Radfearna, VDI-270, Delany’ego czy metoda Meakawy. Również w warunkach krajowych w ramach badań własnych w Instytucie Ochrony Środowiska opracowana została metodyka prognozowania hałasu drogowego i obliczania skuteczności ekranowania przez Dr

---

inż. R.J.Kucharskiego. Dzięki dynamicznemu rozwojowi elektroniki i informatyki w ostatnich latach obecnie dysponuje się bardzo dużymi mocami obliczeniowymi oraz znacznie lepszymi programami pozwalającymi prognozować klimat akustyczny już nie tylko lokalnie ale również w ujęciu globalnym. Obecnie tworzy się cyfrowe modele terenu nie tylko dla wybranych fragmentów miast, ale również dla całych miast czy aglomeracji miejskich. Powstały liczne komercyjne programy umożliwiające prognozowaniu hałasu w środowisku. Pośród nich wymienić należy: SoundPlan, Cadna, Mithra, Immi i inne.

[„Ogólne aspekty ekranowania w Polsce. Lokalna poprawa klimatu akustycznego” J. Adamczyk, W. Ciesielka, materiał z seminarium „Ochrona akustyczna w drogownictwie” 23-24 marca 2006r.]

### **Zalety**

Do zalet ekranów akustycznych można zaliczyć:

- małe zajęcie terenu
- łatwość montażu
- dobra efektywność (pod warunkiem ich prawidłowego rozwiązania)
- akceptowalne koszty
- estetyka (niektórych) rozwiązań – w zasadzie możliwość estetyzacji

### **Wady**

Natomiast do wad ekranów akustycznych można zaliczyć:

- tworzenie efektu bariery
- trudności z obsługa bezpośredniego otoczenia drogi
- tworzenie monotonnego krajobrazu wzdłuż drogi
- utrudnienie rozwiązań odwodnienia
- ograniczenie widoczności

### **Przykłady zastosowania**

Estetyka ekranów

Od wielu lat przywiązuje się duże znaczenie do estetyki dróg i jej wpływu na wygląd miejscowości i krajobrazu. Dlatego ekrany akustyczne oprócz spełniania swoich funkcji, nie powinny negatywnie wpływać na wizualny odbiór otoczenia. Problem estetyki dróg, w tym kształtowanie urządzeń chroniących przed hałasem nie może być ujęty w formie trwałych reguł, dlatego przedstawia się je jako szereg ogólnych zaleceń, które są pomocne w przyjęciu dobrego rozwiązania. Należy zatem projektować ekrany z uwzględnieniem aspektów estetycznych:

- unikanie monotonii poprzez manipulację liniowych form (podział, zakrzywianie, podkreślenia tekstury powierzchni i koloru),
- stosowanie pojęcia architektoniczne (rytm, proporcja, ład, harmonia, kontrast),
- odpowiednie używanie materiałów (np. przezroczystych), kolorów, tekstury, (zapewnia odpowiednią ilość światła dziennego chronionym mieszkańcom i pomaga kierowcom rozpoznać gdzie się znajdują na długości drogi),
- odpowiednie używanie kształtu i wysokości (np. stopniowanie, zygzaki),
- zapewnienie zgodności z przyległą okolicą, stylu i materiału budynków, harmonizacja z lokalnym sąsiedztwem,

- koordynacja z wyposażeniem drogi – unikanie wizualnych konfliktów z istniejącym wyposażeniem drogi (znaki drogowe, latarnie, znaki bramowe, bariery ochronne i energochłonne),
- użycie roślinności – zapewnienie miększego lub uwypuklonego widoku bariery, umożliwienie zmian wyglądu w zależności od pory roku i różnych warunków oświetlenia dziennego oraz wzrostu zieleni powyżej bariery.



Rys. 16. Przykład nr 1 estetycznego rozwiązania ekranu akustycznego.



Rys. 1.17. Przykład nr 2 estetycznego rozwiązania ekranu akustycznego.



Rys. 18. Przykład nr 3 estetycznego rozwiązania ekranu akustycznego.



Rys. 1.19. Przykład nr 4 estetycznego rozwiązania ekranu akustycznego.



Rys. 20. Przykład nr 5 estetycznego rozwiązania ekranu akustycznego.

### **Wały ekra-no-ziemne**

#### ***Technologia wykonania:***

Wał ekra-no-ziemny to nasyp gruntowy, czyli budowla ziemna wykonana powyżej istniejącego poziomu terenu. Do wykonania wału stosuje się grunty przydatne do wykonywania budowli ziemnych. Do budowy nasypu wykorzystuje się następujący sprzęt [36]:

- Koparki, zrywarki, ładowarki oraz młoty pneumatyczne lub mechaniczne do odspajania gruntu,
- zgarniarki, spycharki i równiarki do jednoczesnego odspajania i przemieszczania gruntu,
- walce, płyty wibracyjne oraz ubijaki do zagęszczania gruntu.

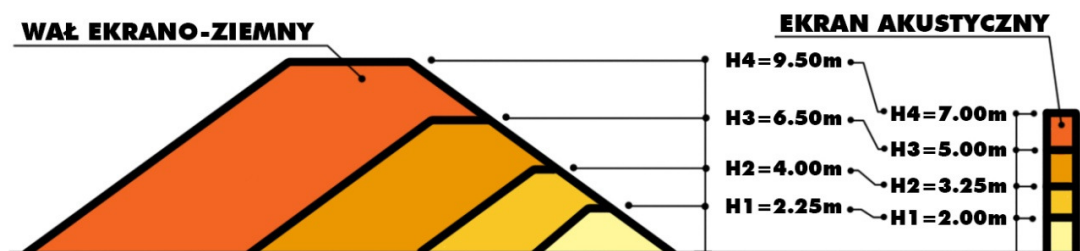
Grunty w nasypie układa i zagęszcza się w warstwach. Grunty cechujące się odmiennymi parametrami technicznymi wbudowywane są w oddzielnych warstwach. Każdą warstwę układa się utrzymując jej stałą grubość na całej szerokości nasypu. Wał wznosi się równomiernie na całej jego szerokości. Grunty przepuszczalne wbudowywane są poziomo, natomiast mało przepuszczalne ze spadkiem górnej powierzchni około 4.0 %. Ukształtowanie powierzchni warstwy wykonuje się w sposób zabezpieczający przed lokalnym gromadzeniem się wody. Zagęszczanie nasypu prowadzone jest od krawędzi zewnętrznej ku osi wału. Materiały ziemne, zwłaszcza grunty spoiste, poddaje się zagęszczeniu bezpośrednio po ułożeniu warstwy. Podczas prowadzenia prac istotne jest zabezpieczenie wału ziemnego przed dostawaniem się wody do jego wnętrza. W przypadku wykonywania wałów ziemnych przy drogach klasy A i S stosuje się skarpki o nachyleniu 1:3 gdy wysokość wału nie przekracza 2.0 m i 1:1,5 przy wysokości od 2.0 m do 8.0 m. W przypadku dróg pozostałych klas technicznych stosuje się wały ziemne o skarpkach 1:1.5. W wyjątkowych przypadkach, na przykład przy nasypach wyższych niż 8.0 m, budowie na obszarze wpływów górniczych lub podczas budowy w gruncie o małej nośności, pochylenie skarp określa się w oparciu o obliczenia ich stateczności [36].

#### ***Parametry:***

Skuteczność akustyczną wału ekra-no-ziemnego w odniesieniu do konwencjonalnego pionowego ekranu akustycznego przedstawiono na rysunku 21. Jako rozwiązania o porównywalnej

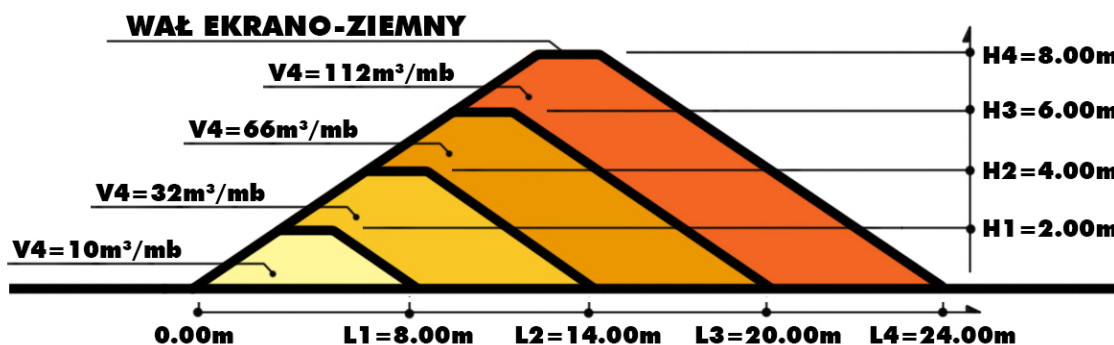


skuteczności akustycznej można wyróżnić na przykład wał ziemny o wysokości 4.0 m i ekran pionowy o wysokości 3.25 m. Chęć uzyskania podobnej skuteczności akustycznej wału ziemnego, co typowego ekranu pionowego, wymaga wzniesienia ziemnej zapory dźwiękowej o nieco większej wysokości niż miałyby to miejsce w przypadku ekranu pionowego [10].



Rys. 21. Skuteczność akustyczna wału ekrano-ziemnego w odniesieniu do konwencjonalnego pionowego ekranu akustycznego (opracowanie własne na podstawie [10])

Na rysunku 22 przedstawiono zależność zajętości terenu oraz objętości mas ziemnych od wysokości wału ziemnego o najczęściej stosowanym nachyleniu skarpy 1:1,5.



Rys. 22. Zależność zajętości terenu oraz objętości wału ekrano-ziemnego o skarpie o nachyleniu 1:1,5 od jego wysokości (opracowanie własne)

#### **Uwarunkowania stosowania:**

Rozwiązanie zalecane jest do stosowania w obszarze pozamiejskim ze względu na naturalny wygląd dostosowany do nieprzetworzonego krajobrazu oraz dużą zajętość terenu, która uniemożliwia budowę wałów ekrano-ziemnych w przypadku obszarów o ograniczonym miejscu lub w ciasnych terenach zabudowanych [10].

#### **Zalety [10]:**

- naturalny wygląd dostosowany do otwartego nieprzetworzonego krajobrazu,
- przyjazność dla środowiska,
- korzystny odbiór estetyczny,
- niskie koszty budowy, konserwacji i utrzymania,
- nieograniczona długość użytkowania,
- niska wrażliwość akustyczna na działanie wiatru (łagodne skarpy).

#### **Wady [10]:**

- duża zajętość terenu

## **Ekrany biologiczne**

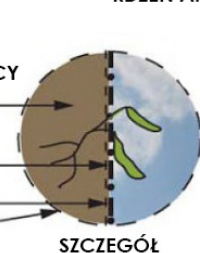
### ***Technologia wykonania:***

Biologiczne, gruntowe ekrany akustyczne mogą posiadać konstrukcję stalową, drewnianą, betonową lub wykonaną z tworzyw sztucznych. Struktura konstrukcyjna (szkielet) jest pusta w środku, co umożliwia wypełnienie wnętrza ekranu gruntem i zapewnienie możliwości wykonania nasadzeń i porostu struktury roślinnością [9]. W zakresie wykonania bio-bariery dźwiękowej można stosować różne rozwiązania konstrukcyjne, których przykłady przedstawiono na rysunku 23.

### **ŚCIANA SKRZYNKOWA**

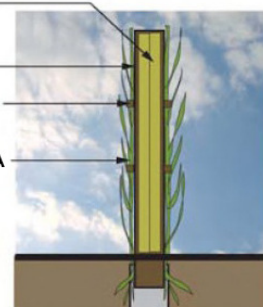


### **RDZEŃ AKUSTYCZNY**

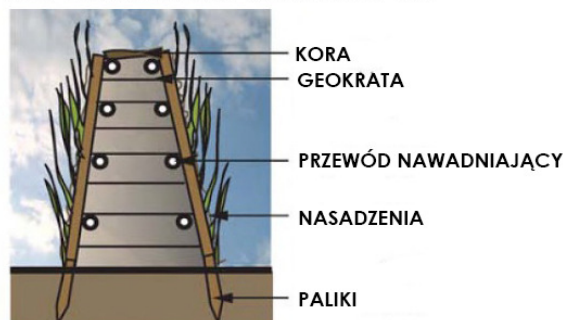


### **ZIELONA ŚCIANA**

WSPORNIK DREWNIANY  
LISTWY DREWNIANE  
NASADZENIA

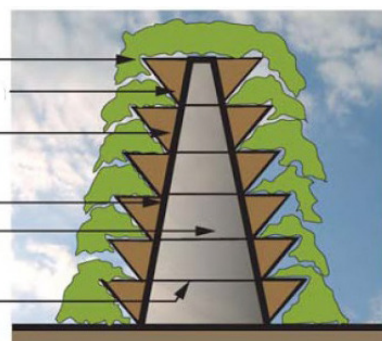


### **ZIELONA ŚCIANA Z WYPEŁNIENIEM GRUNTOWYM**



### **ŚCIANA TYPU STOS**

ROŚLINNOŚĆ  
GRUNT URODZAJNY  
SKRZYŃKA DO NASADZEŃ  
RAMA KONSTRUKCYJNA  
BALAST - GRUNT  
STEŻENIA POZIOME

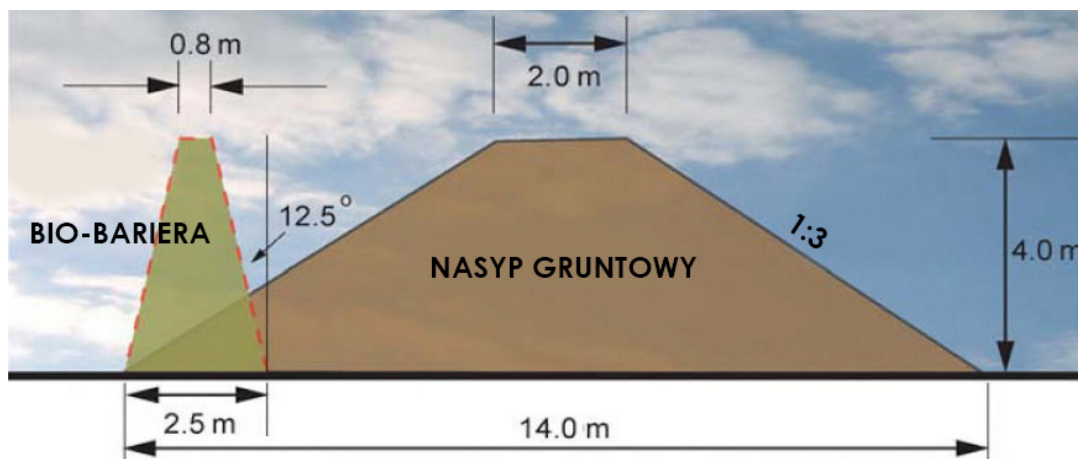


Rys. 23. Przykładowe schematy konstrukcyjne barier biologicznych [2]

Do barier biologicznych zaliczane są także ekrany akustyczne typu „Zielona ściana”, których wypełnienie nie stanowi ośrodek gruntowy, a materiał o dobrej izolacji akustycznej. Zazwyczaj w tym celu stosowane są płyty wykonane z wełny mineralnej. Roślinność porasta zewnętrzną powłokę zielonej ściany, pnąc się po jej powierzchni, wykonanej na przykład w formie siatki stalowej. W niniejszym podrozdziale skupiono się na charakterystyce barier biologicznych opartych o wypełnienia gruntowe. Rozwiązanie w formie klasycznej zielonej ściany zostało scharakteryzowane oddzielnie, w kolejnym podrozdziale pracy. Pionowe biologiczne bariery stalowe wykonuje się ze stali kortenowskiej o podniesionej odporności na korozję [2].

### ***Parametry:***

Istotnym parametrem barier biologicznych jest niewielka zajętość terenu. Porównanie zajętości terenu bariery biologicznej o wysokości 4.0 m, w odniesieniu do wału ekrano-ziemnego o analogicznej wysokości, przedstawiono na rysunku 24. Z porównania wynika, że stosując pionową barierę biologiczną w miejsce wału ziemnego można wykonać zieloną barierę ekologiczną uzyskując przy tym oszczędność zajętości terenu przekraczającą 80%.



Rys. 24. Zajętość terenu pionowej bariery biologicznej [2]

Parametry akustyczne podano dla bariery biologicznej w systemie EMTE GREEN. Ekran tego typu został wykonany wzdłuż ulicy Krakowskiej w Kielcach, przy następujących wymaganiach akustycznych [15]:

- jednoliczbowy ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej właściwej  $R_w = 53$  dB,
- jednoliczbowy wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych  $DL_R = 48$  dB,
- jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_\alpha = 10$  dB.

**Uwarunkowania stosowania:**

Bio-bariery to rozwiązanie korzystne do zastosowań w przypadku ograniczeń terenowych, gdzie nie ma możliwości wykonania wałów ekrano-ziemnych obsadzonych roślinnością. Rozwiązanie stanowi korzystną alternatywę dla wałów ziemnych w obszarach zabudowanych, gdzie dostępność terenu jest znacznie ograniczona, umożliwiając zastosowanie w obszarze miejskim ekranu o naturalnym i estetycznym wyglądzie, który zapewnia także bardzo dobre parametry pod względem akustycznym [9].

**Zalety [2]:**

- Bardzo dobre parametry akustyczne,
- znacznie mniejsza zajętość terenu w odniesieniu do wałów ekrano-ziemnych,
- estetyka i możliwość porostu powierzchni ekranu roślinnością,
- utworzenie korytarzy dla rozwoju i życia drobnych organizmów i owadów.

**Wady [19], [2]:**

- problemy ze wzrostem roślinności na powierzchni ekranu w polskich warunkach atmosferycznych,
- potrzeba stosowania systemów nawadniających oraz stałego utrzymania.

**Przykład zastosowania:**

Przykład gruntowej bio-bariery akustycznej EMTE GREEN przedstawiono na rysunku 25.



Rys. 25. Pionowa bariera biologiczna - system EMTE GREEN [16]

## **Ekran zielona ściana**

### ***Technologia wykonania:***

Ekran akustyczny typu zielona ściana mogą posiadać konstrukcję stalową lub drewnianą. Bardziej popularna konstrukcja stalowa składa się z ramy wykonanej z zimnogiętego stalowego kątownika oraz zabezpieczającej wewnątrz ekranu siatki konstrukcyjnej z prętów o średnicy 8 mm. Oczka siatki konstrukcyjnej mogą posiadać różny wymiar w zależności od stosowanego systemu np. 20x20 cm. Słupy konstrukcyjne instalowane są w fundamencie betonowym w rozstawie do 5.0 m. W ramie stalowej umieszcza się materiał o dobrych parametrach akustycznych, zazwyczaj stosuje się w tym celu dwie warstwy płyty z wełny mineralnej o grubościach zależnych od zakładanych parametrów akustycznych. Przykładowo w ramach systemu WELDON jako materiał izolacyjny, w zależności od wybranego systemu stosuje się [29]:

- system WELDON 129/1 – dwie płyty wełny mineralnej o grubościach 65 i 25 mm, które rozdzielone są wkładką o grubości 8 mm w postaci płyty drzazgowo-cementowej,
- system WELDON 129/2 – dwie płyty wełny mineralnej o grubościach 65 i 25 mm, które rozdzielone są wkładką o grubości 4,2 mm z papy asfaltowej,
- system WELDON 145/1 - dwie płyty wełny mineralnej o grubościach 80 i 25 mm, które rozdzielone są wkładką o grubości 8 mm w postaci płyty drzazgowo-cementowej,
- system WELDON 145/2 - dwie płyty wełny mineralnej o grubościach 80 i 25 mm, które rozdzielone są wkładką o grubości 4,2 mm z papy asfaltowej,

Wypełnienie akustyczne ramy zabezpiecza się warstwą z zielonej siatki wykonanej z tworzywa sztucznego, która dodatkowo nadaje rozwiązaniu estetyczny wygląd. Montaż paneli powinien być prowadzony przez wyspecjalizowaną i przeszkoloną kadrę pracowników dysponującą specjalistycznym sprzętem [29].

### ***Parametry:***

Parametry rozwiązania przedstawiono na przykładzie systemu WELDON, w ramach którego stosuje się trzy rozstawy słupów konstrukcyjnych 3.0 m, 4.0 m i 5.0 m. Jako słupy konstrukcyjne stosuje się kształtowniki szerokostopowe HEB 160 lub HEB 180. W zależności od zastosowanego wypełnienia akustycznego szerokość ekranu wynosi 129 mm lub 145 mm. Wysokość paneli wynosi od 0.5 do 2.5 m z modułem co 0.5 m. Długość paneli uzależniona jest od rozstawu słupów konstrukcyjnych i może wynosić 2,96 m, 3,96 m lub 4,96 m. Waga ekranu wynosi około 45 kg/m<sup>2</sup>. Pod względem redukcji hałasu panele WELDON posiadają następujące parametry [29]:

- jednolicebowy wskaźnik ważony izolacyjności i widmowe wskaźniki adaptacyjne  $R_w(C, C_{tr})$ :
  - 33(-1;-5) dla paneli WELDON 129/1 i 145/1,
  - 31(-1;-6) dla paneli WELDON 129/2 i 145/2.
- jednolicebowy wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych  $DL_R$ :

- 28 dB dla paneli WELDON 129/1 i 145/1 – wskaźnik B3 wg EN 1793 [23],
- 25 dB dla paneli WELDON 129/2 i 145/2 – wskaźnik B3 wg EN 1793 [23],
- jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_{\alpha}$ :
  - 18 dB dla paneli WELDON 129/1 i 145/1 – wskaźnik A4 wg EN 1793 [23],
  - 12 dB dla paneli WELDON 129/2 i 145/2 – wskaźnik A4 wg EN 1793 [23],

**Uwarunkowania stosowania:**

Bariery zielona ściana stosowane są przede wszystkim w celu ograniczania hałasu drogowego. Wykorzystywane są zarówno przy nowych drogach i autostradach, jak i przy szlakach istniejących. Wysokie parametry akustyczne sprawiają, że rozwiązanie znajduje także zastosowanie jako ogrodzenie fabryk oraz obiektów przemysłowych, które cechuje emisja hałasu przekraczającego dopuszczalne normy [29].

**Zalety [29]:**

- Bardzo dobre parametry akustyczne (izolacja i pochłanianie),
- modułowość i łatwość konstruowania bariery o różnych długościach i różnych wysokościach,
- odporność na korozję i wieloletnia trwałość,
- estetyka,
- możliwość porostu powierzchni ekranu roślinnością.

**Wady [19]:**

- problemy ze wzrostem roślinności na powierzchni ekranu w polskich warunkach atmosferycznych,
- wysokie koszty ekranu o konstrukcji drewnianej i potrzeba prowadzenia cyklicznych prac utrzymaniowych (zabezpieczenie przed korozją drewna).

**Przykład zastosowania:**

Przykład bariery akustycznej typu zielona ściana w systemie Welon przedstawiono na rysunku 26.



Rys. 26. Ekran akustyczny zielona ściana – system WELDON [29]

**Ekran akustyczne kombinowane z barierami bezpieczeństwa**

**Technologia wykonania:**

Zintegrowane bariery akustyczne i bezpieczeństwa to ekrany akustyczne wyposażone w elementy bezpieczeństwa ruchu w postaci ochronnych barier metalowych lub betonowych. W zależności od stosowanego systemu można wyróżnić bariery wolnostojące (nie wymagające stosowania fundamentów lub kotwień) oraz bariery posadowione w gruncie za pomocą fundamentów lub kotwień. W celu scharakteryzowania rozwiązania wybrano dwa modelowe systemy barier zintegrowanych, które poddano szczegółowej charakterystyce:

- ekrany akustyczne z ochronną barierą metalową: włoski zintegrowany system Marcegaglia Buildtech z zastosowaniem ochronnej stalowej belki trójfalistej. Panel zintegrowany

konstruowany jest z pionowych belek montażowych z kształtownika IPE360 ze stali S 355 JR, aluminiowych paneli akustycznych pokrytych proszkowo podwójną powłoką poliesterową oraz trójfalistej bariery ochronnej ze stali S 235 JR. Instalację bariery rozpoczyna się od zatapiaania w gruncie belek montażowych o wysokości 10.0 m. Belki wwibrowywane są w grunt na głębokość 4.9 m. Do belek pionowych w dolnej części, bezpośrednio nad terenem instalowana jest stalowa bariera ochronna w postaci belki trójfalistej oraz stalowa poręcz. Stalowe elementy ochronne sięgają do wysokości 2.1 m nad poziom terenu. Panele akustyczne z aluminium instalowane są do belek pionowych od wysokości 1.0m nad poziomem terenu [33].

- ekrany akustyczne z ochronną barierą betonową: austriacki zintegrowany system ReBloc NB100/300\_8 z zastosowaniem ochronnej betonowej bariery New Jersey. System jest wolnostojący, nie wymaga wykonania fundamentów lub kotew gruntowych. Elementy składowe to podstawa w postaci betonowej bariery New Jersey z betonu C30/37 oraz paneli akustycznych, które wykonywane są z różnych materiałów i o różnej kolorystyce. Pojedynczy panel akustyczny montuje się na dwóch elementach podstawy, tak aby oś panelu akustycznego znajdowała się na styku dwóch podstawach, a krawędzie panelu akustycznego znajdowały się w osiach obu podstaw (połączenia „na cegłę”). Elementy akustyczny i bazowy łączy się ze sobą za pomocą opatentowanego złącza Rebloc w liniową konstrukcję, która nie jest bezpośrednio powiązana z podłożem [34].

Przykłady obu rozwiązań przedstawiono na rysunku 27.



Rys. 27. Bariery akustyczne zintegrowane z barierami ochronnymi: systemy Marcegaglia Buildtech oraz ReBloc [33], [34]

#### **Parametry:**

System Marcegaglia Buildtech z ochronną barierą stalową kotwiony jest w gruncie na głębokość 4.90 m i po instalacji posiada wysokość 5.10 m od poziomu terenu. Panele akustyczne instalowane są na wysokości 1.00 m nad terenem, posiadają wysokość 5.00 m i szerokości 2.20 lub 4.45 m. Bariera łączy funkcję ochrony przed hałasem i ochrony przed skutkami wypadków przy łącznej szerokości elementu 0.74 m. Pod względem skuteczności akustycznej, zgodnie z normą PN-EN 1793 [23] bariera posiada:

- wskaźnik A4 > 11 dB pod względem właściwości pochłaniających,
- wskaźnik B3 > 24 dB pod względem izolacyjności od dźwięków powietrznych.

Pod względem bezpieczeństwa ruchu, zgodnie z normą PN-EN 1317 [22], posiada:

- wskaźnik H2 (poziom podwyższony) pod względem zdolności bariery do powstrzymywania uderzającego w nią pojazdu,
- wskaźnik W2 ≤ 0.80 m pod względem szerokości pracującej bariery (odkształcenie bariery).

system ReBloc NB100/300\_8 z ochronną barierą betonową jest wolnostojący i po instalacji posiada wysokość 3.00 m od poziomu terenu. Szerokość pojedynczego elementu betonowej podstawy ochronnej wynosi 8.00 m, szerokość 0.95 m, a wysokość 1.00 m. Pojedynczy segment

---

panelu akustycznego instalowany na betonowej podstawie New Jersey posiada wysokość 2.00 m i szerokość 8.00 m. Pod względem skuteczności akustycznej, zgodnie z normą PN-EN 1793 [23] bariera posiada:

- wskaźnik A2 (od 4 do 8 dB), A3 (od 8 do 11 dB) lub A4 (powyżej 11 dB) pod względem właściwości pochłaniających, w zależności od zastosowanego rodzaju panelu akustycznego,
- wskaźnik B3 > 24 dB pod względem izolacyjności od dźwięków powietrznych.

Pod względem bezpieczeństwa ruchu, zgodnie z normą PN-EN 1317 [22], posiada:

- wskaźnik H2 (poziom podwyższony) pod względem zdolności bariery do powstrzymywania uderzającego w nią pojazdu,
- wskaźnik W4  $\leq 1.30$  m pod względem szerokości pracującej bariery (odkształcenie bariery).

#### **Uwarunkowania stosowania:**

Ze względu na małą zajętość terenu i możliwość instalacji bariery blisko źródła hałasu (na krawędzi jezdni) rozwiązanie zalecane jest do stosowania w obszarach zurbanizowanych cechujących się gęstą zabudową i ograniczoną dostępną powierzchnią terenu [5].

#### **Zalety [5]:**

- możliwość instalacji bariery bliżej źródła hałasu,
- mała zajętość terenu,
- łatwa instalacja, zwłaszcza w przypadku systemów wolnostojących,
- połączenie funkcji ochrony przed hałasem i podniesienia poziomu bezpieczeństwa ruchu.

#### **Wady [5]:**

- koszty wyższe w odniesieniu do konwencjonalnych barier akustycznych.

#### **Przykład zastosowania:**

- Przykład bariery przedstawiono na rysunku 27.

## **Ekran akustyczny z panelami fotowoltaicznymi**

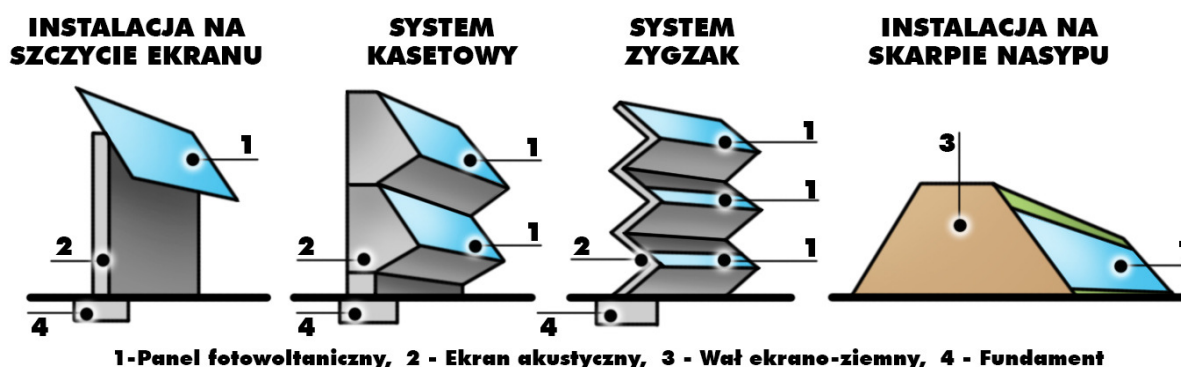
### **Technologia wykonania:**

Panele fotowoltaiczne mogą być bezpośrednią powłoką bariery akustycznej lub mogą stanowić elementy montowane na powierzchni takiej bariery. Lokalizacja modułów fotowoltaicznych w obrębie bariery uzależniona jest od orientacji i geometrii bariery [5]. W obu przypadkach zasadniczą konstrukcją bariery akustycznej stanowi element bazowy (podbudowę) dla instalacji modułów fotowoltaicznych. Wybrane stosowane konfiguracje instalacji paneli fotowoltaicznych na ekranach akustycznych przedstawiono na rysunku 28. Najczęściej jednak stosuje się pionową ścianę akustyczną z dodatkową pochyloną powierzchnią modułów solarnych wykonaną w górnej części bariery dźwiękowej [8].

Najistotniejszy element w instalacji fotowoltaicznej stanowią panele fotowoltaiczne. Do posadowienia paneli wykorzystywane są różnego rodzaju konstrukcje wsporcze (najczęściej stalowe ramy). Do prawidłowego funkcjonowania instalacji niezbędne jest także okablowanie, elementy łączące oraz układ zabezpieczeń. Na rynku dostępnych jest wiele systemów montażu paneli fotowoltaicznych zarówno wolnostojących, jak i instalowanych na powierzchniach pionowych, poziomych i ukośnych.

Kolektory na powierzchni skarpy wałów ekrano-ziemnych instaluje się za pomocą wolnostojących stalowych systemów do montażu paneli fotowoltaicznych. Przykładem takiego systemu są konstrukcje systemowe BAKS. W ramach systemu konstrukcję wsporczą dla paneli fotowoltaicznych można montować na słupach podporowych kotwionych do fundamentu betonowego, zalewanych betonem minimum C16/20 w wykonanym wcześniej otworze w gruncie lub

wkręcanych w grunt [31]. W przypadku akustycznych ekranów pionowych panele mogą być instalowane na barierze pionowo, poziomo lub pod kątem. W przypadku instalacji pionowej panele mogą być przymocowane do ściany ekranu akustycznego za pomocą odpowiedniego systemu montażowego lub mogą stanowić część ściany ekranu, jak ma to miejsce w przypadku ekranów akustycznych w systemie Kohlhauer Volta. W ramach tego systemu stalowe słupy montażowe IPE osadzone są w gruncie w betonowych fundamentach. Następnie między kształtownikami w dolnej części umieszczane są modułowe ekrany akustyczne zielone lub przezroczyste, natomiast w górnej części umieszcza się panele fotowoltaiczne [35].



Rys. 28. Przykładowe konfiguracje paneli fotowoltaicznych zintegrowanych z barierami akustycznymi (Opracowanie własne na podstawie [8])

#### **Parametry:**

Pod względem redukcji hałasu panele fotowoltaiczne instalowane pionowo są mniej efektywne od paneli instalowanych pod kątem. Najkorzystniej akustycznie funkcjonują panele instalowane poziomo oraz panele instalowane pod kątem  $30^{\circ}$  w stosunku do poziomemu, przy czym drugie rozwiązanie staje się bardziej efektywne przy barierach o wysokości minimum 4.0 m [9]. Skuteczność akustyczna bariery zintegrowanej z panelami fotowoltaicznymi jest porównywalna do skuteczności konwencjonalnej pionowej bariery dźwiękowej o tej samej wysokości. W przypadku stosowania paneli fotowoltaicznych występuje jednak zjawisko odbicia dźwięku, które w minimalnym stopniu o około 0.3 dBA zwiększa poziom hałasu po przeciwnej stronie drogi [8].

Na wielkość wyprodukowanej energii elektrycznej bezpośredni wpływ ma orientacja oraz nachylenie paneli fotowoltaicznych. Dla warunków polskich optymalną orientacją panelu jest kierunek południowy, a zalecanym kątem nachylenia jest przedział od  $30^{\circ}$  do  $35^{\circ}$  w stosunku do poziomemu [13]. Wielkość produkcji energii elektrycznej może osiągać wielkości w szerokim zakresie, w zależności od lokalnych uwarunkowań, wśród których wymienić można między innymi nasłonecznienie, orientację panelu, kąt montażu panelu, zacienienie. Przykładowo ekran akustyczny zintegrowany z panelami fotowoltaicznymi w systemie Kohlhauer Volta (panele instalowane pionowo) posiadający długość 240 m i wysokość 4.50 m, przebiegający na kierunku wschód-zachód, przy całkowitej mocy instalacji 18 kWp wytworzy szacunkowo 15448.52 kWh energii w ciągu roku, co pozwoli na ograniczenie emisji CO<sub>2</sub> o około 13341 kg/a. Zwrot dodatkowych kosztów inwestycyjnych związanych z instalacją paneli fotowoltaicznych zwróci się w wyprodukowanej energii elektrycznej po 15 latach użytkowania instalacji [35].

#### **Uwarunkowania stosowania:**

Barierzy mogą być stosowane zarówno w obszarach zurbanizowanych, jak i poza nimi. Ze względu na zastosowanie paneli fotowoltaicznych, w celu uzyskania wysokiej efektywności produkcji



energii elektrycznej rozwiązanie powinno być stosowane w miejscach, w których występują korzystne uwarunkowania dla produkcji energii słonecznej [5]. Dla warunków polskich optymalną orientacją panelu jest kierunek południowy [13]. Ze względu na dużą zajętość terenu przez wało-ekrany ziemne wyposażone w panele fotowoltaiczne, rozwiązanie tego typu stosowane jest w obszarach zamiejskich. W obszarach zurbanizowanych o ograniczonej powierzchni terenu znajdują zastosowanie pozostałe formy pionowe.

#### **Zalety [5]:**

- połączenie funkcji ochrony przed hałasem i produkcji energii odnawialnej,
- ekologiczność rozwiązania i ograniczenie emisji CO<sub>2</sub>,
- zwrot dodatkowych kosztów inwestycyjnych w czasie użytkowania instalacji w wyniku produkcji i sprzedaży energii elektrycznej.

#### **Wady [5]:**

- koszty wyższe w odniesieniu do konwencjonalnych barier akustycznych,
- zagrożenie wandalizmem (graffiti, dewastacja) oraz kradzieżą,
- konieczność stosowania zabezpieczeń przed wandalizmem,
- potrzeba prowadzenia prac utrzymaniowych, konserwacyjnych i napraw.

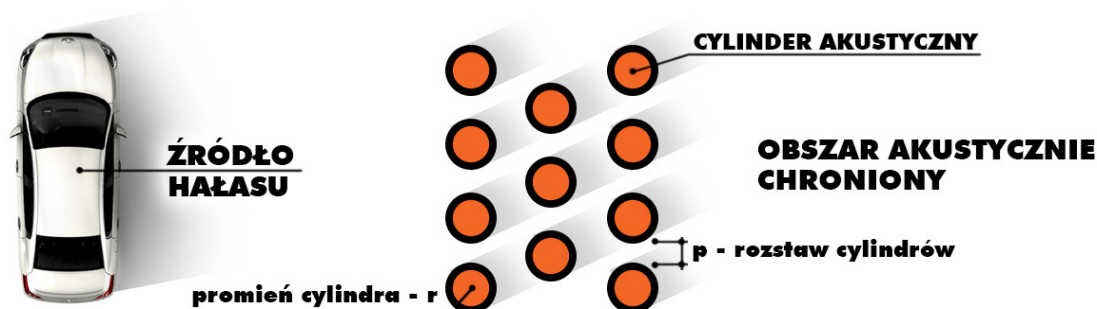
#### **Przykłady zastosowania:**

Przykład przedstawiono na rysunku 28.

## **Ekranu soniczne**

### **Technologia wykonania:**

Technologia akustycznych ekranów sonicznych oparta jest o kryształy soniczne. Specyficzna budowa tego typu ekranów polega na regularnym rozmieszczaniu rezonatorów, które można adaptować w lekkie nośne struktury. Ekranu soniczne można zdefiniować jako regularne struktury wykonane z cylindrycznych rozpraszaczy akustycznych o promieniu  $r$ , które rozmieszcza się na powietrzu w rozstawie o wartości  $p$ , zgodnie ze schematem, jaki pokazano na rysunku 29.



Rys. 29. Schemat wykonania akustycznej bariery sonicznej (Opracowanie własne na podstawie [7])

### **Parametry:**

Rozwiązanie cechuje wyższa optyczna przejrzystość i przepuszczalność wiatru w odniesieniu do ekranów tradycyjnych. Montaż ekranów sonicznych po obu stronach drogi zapewnia mniejsze odbicie dźwięku, niż ma to miejsce w przypadku ekranów o zwartej strukturze [3].

Akustyczna skuteczność bariery sonicznej uzależniona jest między innymi od materiałów wykorzystanych do skonstruowania ekranu oraz od rozmieszczenia cylindrów i odstępów zastosowanych między nimi. Struktury krystaliczne wykonane w formie sztywnych elementów rezonansowych mogą ograniczyć hałas o 9.5 dB(A) w przypadku ruchu samochodowego i 9.0 dB(A) w

---

tramwaju. Pokrycie elementów rezonansowych materiałem absorpcyjnym pozwala na podniesienie parametrów akustycznych i redukcję hałasu o 11,9 – 13,9 dB(A) [3]. Wyniki badań akustycznych opartych o normy europejskie, przedstawiają następujące charakterystyki akustyczne [7]:

- jednoliczbowy wskaźnik oceny izolacyjności od dźwięków powietrznych  $DL_R=22$  dB, co oznacza kategorię akustyczną B2 według normy EN 1793 [23],
- jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_\alpha=8$  dB, co oznacza kategorię A3 według normy EN 1793 [23],

**Uwarunkowania stosowania:**

Ekranu soniczne skutecznie sprawdzają się zarówno w środowisku miejskim, jak i poza miastem, mogą być stosowane na drogach wszystkich klas o dowolnym stanie technicznym [3]

**Zalety [3], [7]:**

- możliwość wpływania na osiąganie szczytowych zakresów tłumienia dla wybranych częstotliwości dźwięku w wyniku stosowanie różnej odległości między cylindrami,
- możliwość dostrojenia parametrów akustycznych ekranu, do lokalnych uwarunkowań akustycznych,
- przerwy między cylindrami zapewniają możliwość przedostawania się wiatru na przeciwną stronę bariery, dzięki czemu urządzenie nie wymaga wykonywania głębokich fundamentów lub kotwienia,
- wysoka estetyka, zapewnienie wizualnej ciągłości krajobrazu miejskiego i ograniczenie fizycznej izolacji obszarów chronionych,
- mały ciężar.

**Wady [3]:**

- koszty wyższe w odniesieniu do konwencjonalnych barier akustycznych.

**Przykład zastosowania:**

Przykład przedstawiono na rysunku 29.

## **Ekran z powłoką TiO<sub>2</sub>**

**Technologia wykonania:**

Prace związane z wykonaniem bariery akustycznej z powłoką TiO<sub>2</sub> nie sprawia dodatkowych trudności w porównaniu z montażem konwencjonalnej pionowej bariery akustycznej z betonu. Technologia aplikacji obu rozwiązań jest analogiczna [32]. Ekranu betonowe wykonuje się zazwyczaj w postaci nośnej płyty żelbetowej, do której montuje się płyty o wysokiej izolacyjności akustycznej, wykonane z trocinobetonu lub z kermazytobetonu [21]. W przypadku barier z powłoką z TiO<sub>2</sub> różnica w technologii wykonania bariery, w odniesieniu do typowej bariery betonowej, polega na wymieszaniu fotokatalitycznego związku TiO<sub>2</sub> z materiałem użytym do skonstruowania zewnętrznej powłoki betonowej bariery. Następnie z takiej mieszanki wykonuje się zewnętrzną powłokę bariery o grubości od 2 do 4 cm. Dzięki tego typu materiałowi okładzinowemu, pod wpływem promieniowania słonecznego, na powierzchni bariery zachodzi reakcja chemiczna, która umożliwia eliminację tlenków azotu NO<sub>x</sub> [32].

**Parametry:**

Rozwiązanie cechują następujące parametry [32]:

- redukcja hałasu komunikacyjnego o wartość od 8 do 11 dB(A), co oznacza kategorię A3 według normy EN 1793 [23],
- eliminacja od 15% do 25% ogólnej objętości zanieczyszczeń powietrza generowanych przez ruch samochodowy,
- do 75% redukcja tlenków azotu NO<sub>x</sub> z otoczenia bariery

### **Uwarunkowania stosowania:**

Ekran z powłoką  $TiO_2$  można stosować zarówno w środowisku miejskim, jak i poza miastem, mogą być stosowane na drogach wszystkich klas, o dowolnym stanie technicznym. Dodatkowa funkcja rozwiązania w postaci eliminacji zanieczyszczeń pochodzących od ruchu samochodowego sprawia, że stosowanie barier tego typu w środowisku miejskim korzystnie wpływa na jakość życia i zdrowia mieszkańców danego ośrodka zurbanizowanego. Stosowanie akustycznych barier fotokatalitycznych poza miastem, zwłaszcza przy drogach o dużym ruchu samochodowym, przyczynia się do redukcji negatywnego wpływu ruchu na otaczającą drogę środowisko naturalne.

### **Zalety [4],[21], [32]:**

- połączenie funkcji ochrony przed hałasem komunikacyjnym z ograniczaniem innych zanieczyszczeń środowiska emitowanych przez pojazdy- głównie tlenków azotu  $NO_x$ ,
- możliwość eliminacji do 75% zanieczyszczeń gazowych, które wchodzi w kontakt z powłoką z  $TiO_2$  w słoneczny dzień,
- możliwość redukcji całkowitego emitowanego na drogach zanieczyszczenia powietrza o wielkość od 15 do 25 %,
- ekologiczność rozwiązania,
- wysoka trwałość i odporność na działanie czynników atmosferycznych,
- brak szczególnych trudności w wykonaniu i montażu bariery, technologia aplikacji rozwiązania jest zbliżona do technologii pionowych barier konwencjonalnych.

### **Wady [4]:**

- proces produkcji powłok z  $TiO_2$  związany jest ze stosowaniem substancji chemicznych oraz procedur generujących zanieczyszczenia przyczyniające się do powstawania smogu i pogłębiania się efektu globalnego ocieplenia,
- koszty znacznie wyższe w odniesieniu do konwencjonalnych barier akustycznych.

### **Przykład zastosowania:**

- Przykład przedstawiono na rysunku 30.



Rys. 30. Niekonwencjonalne ekrany akustyczne – Ekran z powłoką  $TiO_2$  [9]

## Porównanie środków ochrony przed hałasem drogowym

Tablica 1 Porównanie środków ochrony przed hałasem drogowym

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
<b>Pas zieleni</b>	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
<b>Żywopłot, tuje</b>	Od 1,5 do 3,5	-Walory estetyczne - Dodatkowo oddziaływanie psychologiczne i środowiskowe (redukcja zanieczyszczeń powietrza) -Możliwość łączenia z innymi formami ochrony	-Ograniczenie widoczności -Konieczność pielęgnacji - Długi czas wzrostu - W przypadku żywopłotów sezonowość	-Możliwość wegetacji
<b>Ogrodzenia betonowe prefabrykowane pełne (ażurowe)</b>	do 10 (3-6)dB	-Niewielkie zajęcie terenu -Łatwość montażu -Walory estetyczne niektórych rozwiązań - Łączona funkcja	-Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła	- W zależności od stopnia wypełnienia spadek redukcji hałasu dla „mocno” ażurowych -Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
				przeciwnej stronie drogi
<b>Ogrodzenia gabionowe</b>	6 (4-5) dB	- Łączona funkcja -Walory estetyczne niektórych rozwiązań łatwość wykonania	-Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła - Szerokość rzędu 0,3-0,8m	-Skuteczność zależna głównie od wypełnienia gabionów -
<b>Ogrodzenia murowane</b>	do 10 dB	- Łączona funkcja -Walory estetyczne niektórych rozwiązań	-Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła - Szerokość rzędu 0,3-0,5m	-Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi
<b>Ogrodzenia łączone (podmurówka + wypełnienie najczęściej sztachetami)</b>	2 - 9 dB	- Łączona funkcja -Walory estetyczne niektórych rozwiązań	-Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła - Spadek skuteczności wraz z powiększaniem części wypełnienia	-Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
<b>Ogrodzenia łączone (zieleń + płot ze sztachetami, siatka z pleksi, betonowe prefabrykowane)</b>	Zależy od zestawienia elementów, 2 - 8 dB	- Łączona funkcja -Walory estetyczne niektórych rozwiązań	-Ograniczenie widoczności -Lokalizacja w większej odległości od źródła	-Możliwość pogorszenia klimatu akustycznego dla zabudowy po przeciwnej stronie drogi
<b>Wał ziemny</b>	do 15-25 dB [1,25]	-Łatwość w pozyskaniu materiału do budowy -Brak występowania efektu odbicia fali dźwiękowej -Możliwość łączenia z innymi środkami ochrony -Dobre wkomponowanie w otaczający krajobraz	-Stosunkowo duże zajęcie terenu -Ograniczenie widoczności	-Brak dostępnego terenu do wzniesienia
<b>Ekran ziemny (pionowa bariera biologiczna)</b>	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

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
<b>Cicha nawierzchnia</b>	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
<b>Ekran akustyczny</b>	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 przeciwnej stronie drogi przy zastosowaniu ekranu odbijającego
<b>Droga w wykopie</b>	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
<b>Zabudowa niewrażliwa</b>	13 dB - budynek dwukondygnacyjny[1]	-Funkcjonalność rozwiązania	-Ograniczenie dopływu promieni słonecznych	-Brak dostępnego terenu do wzniesienia

Forma ochrony	Skuteczność redukcji	Zalety	Wady	Ograniczenie zastosowania
<b>Ekran na elewacji budynku</b>	Ponad 20dB [37]	-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

#### 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 Jaśle, 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” 70<sup>th</sup> 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\\_attachme nt.file/Zeszyt\\_fachowy-Fotowoltaika\\_06\\_2013.pdf](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_attachme nt.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. *„Ekran akustyczny rozwiązaniem głośnego problemu”* – czasopismo „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 3-4/2015
20. Wroceński M. *„Ekran akustyczny – przedstawienie problemu okiem młodego inżyniera”* – czasopismo „Polskie drogi” 4/2014
21. Zawieska J. *„Ekran akustyczny – regulacje prawne i stosowane rozwiązania – z. II”* – Inżynier Budownictwa 2012 - [http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy\\_i\\_technologie,artykul,ekran\\_akustyczne\\_\\_\\_regulacje\\_prawne\\_i\\_stosowane\\_rozwiazania\\_\\_\\_cz\\_ii,5926](http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materialy_i_technologie,artykul,ekran_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/ekran-akustyczny/zielona-sciana/> (dostęp 02.01.2018)
30. <http://www.tulla-bud.pl/ekran-akustyczny-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](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 TiO<sub>2</sub> - [https://www.eurovia.com/media/128307/noxermur\\_a4\\_gb\\_bd.pdf](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](http://www.gddkia.gov.pl/pl/3391/Ogolne-specyfikacje-techniczne) (dostęp 21.11.2017)
  
  37. 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.