

---

Dr inż. Radosław J.Kucharski

## PODSTAWY STOSOWANIA EKRAŃÓW AKUSTYCZNYCH W ŚRODOWISKU

### SYNTEZA UWZGLĘDNIAJĄCA OCENĘ WPŁYWU RÓŻNYCH CZYNNIKÓW NA ICH SKUTECZNOŚĆ I PRZYKŁADOWE ROZWIĄZANIA

---

#### 1. Wprowadzenie

Problematyce doboru i projektowania ekranów akustycznych poświęcono szereg istotnych publikacji krajowych i zagranicznych. Wyczerpujące omówienie zagadnienia przekracza wielokrotnie ramy tej syntezy. Stąd też zawarto w niej tylko podstawowe informacje i problemy, bez pożądanego nieraz pogłębienia. Jest to jednak materiał wstępny, który będzie sukcesywnie wzbogacany i rozbudowywany. Obecnie może on być traktowany jako tezy, które mogą stanowić na przykład osnowę szerszej, bezpośredniej prezentacji<sup>1</sup>.

#### 2. Pojęcie skuteczności ekranu

Najbardziej podstawowa zależność na skuteczność ekranu akustycznego może być zapisana w formie:

$$\Delta L_A = L_{A2} - L_{A1}, \text{ dB}$$

gdzie:

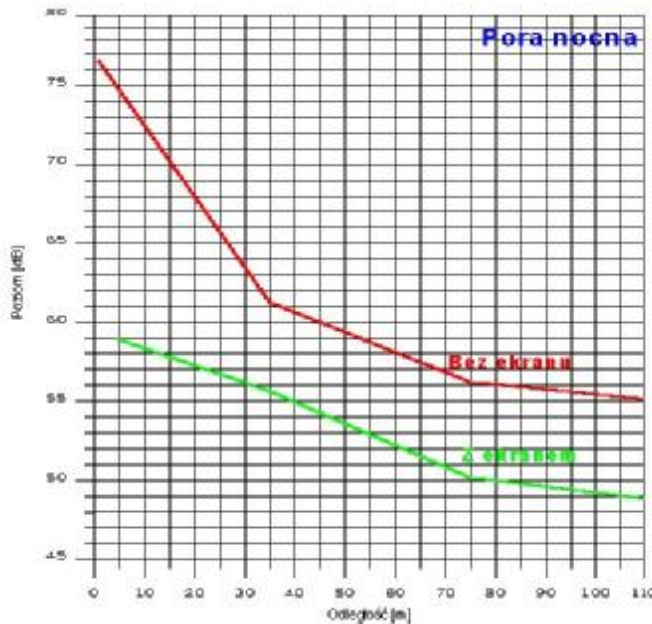
$L_{A1}$  – poziom dźwięku w danym punkcie, **przed** zainstalowaniem ekranu, dB

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

Zauważyć należy, iż wartość skuteczności ekranu zależy od **położenia punktu obserwacji** poprzez zależność wymienionych poziomów od ich położenia w przestrzeni (rys. 1). Oznacza to, iż właściwie nie istnieje wielkość taka jak *bezwzględna skuteczność ekranu*. Ekran akustyczny rozpatrywany być musi przede wszystkim jako pewien element zagospodarowanej przestrzeni, którego:

---

<sup>1</sup> W taki zresztą sposób wykorzystano ten materiał na Międzynarodowej Konferencji: „Walka z hałasem na etapie projektowania” 23 – 25 kwietnia 2003



rys. 1

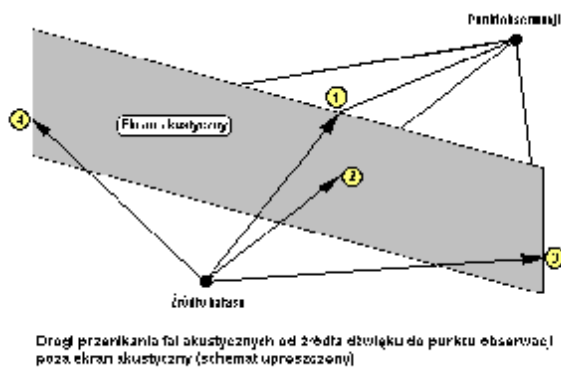
- własności zależą od własności tej przestrzeni (struktury jej zagospodarowania)<sup>2</sup>,
- własności ekranu kształtują też w pewien sposób własności przestrzeni<sup>3</sup>.

Wynika z tego, że nie istnieje takie pojęcie jak bezwzględnie „dobry”<sup>4</sup> ekran, lub – symetrycznie – bezwzględnie zły. Stąd też bardzo istotną fazą jest koncepcja i projekt ekranu. Błędy popełnione na tym etapie są później trudne do wyeliminowania.

### 3. Podstawowe wielkości, od których zależy teoretyczna skuteczność ekranu

Skuteczność ekranu zależy od tego, ile energii akustycznej emitowanej przez źródło przedostanie się poza ekran i dotrze do punktu odbioru (odbiorcy). Na rysunku 2 pokazano schematycznie drogi przenikania fal akustycznych od źródła do odbiorcy przy obecności ekranu akustycznego. Są to:

- przenikanie części fal akustycznych bezpośrednio przez konstrukcję ekranu (2),



- załamanie fal akustycznych na:
  - >> górnej krawędzi ekranu (1),
  - >> bocznych krawędziach ekranu (3,4).

Stopień przenikania dźwięku przez konstrukcję ekranu (**izolacyjność** akustyczna) zależy od jego masy. I konstrukcji elementów, z którego ekran zbudowano.

rys. 2

<sup>2</sup> właściwie należałoby powiedzieć, iż właściwości ekranu zależą od własności pola akustycznego, które jednak są funkcją generalnie rzecz biorąc struktury zagospodarowania tej przestrzeni

<sup>3</sup> a ściślej - własności pola akustycznego

<sup>4</sup> w sensie skuteczności

Generalnie izolacyjność akustyczna ekranu nie powinna być mniejsza:

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

Można przyjąć, iż warunkiem koniecznym do tego, by ekran stał się rzeczywistą ochroną przed hałasem jest znalezienie się odbiorcy w obszarze cienia akustycznego. (z drugiej strony należy zauważyć, iż warunek ten nie jest wystarczającym). Im głębiej w cieniu akustycznym zlokalizuje się odbiorcę hałasu, tym kąt załamania fal akustycznych na krawędzi ekranu będzie większy, a więc także większy stopień obniżenia poziomu hałasu.

Wartość skuteczności ekranu związana ze stopniem załamania się fali akustycznej na jego krawędzi zależna jest od tzw. liczby Fresnela. Wartość liczby Fresnela określa się z zależności:

$$N = \frac{2f d}{c}$$

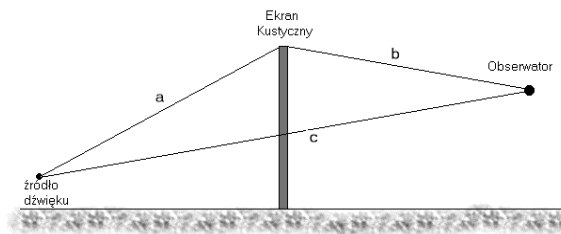
gdzie:

f – częstotliwość dźwięku, Hz

c – prędkość propagacji dźwięku, m/s

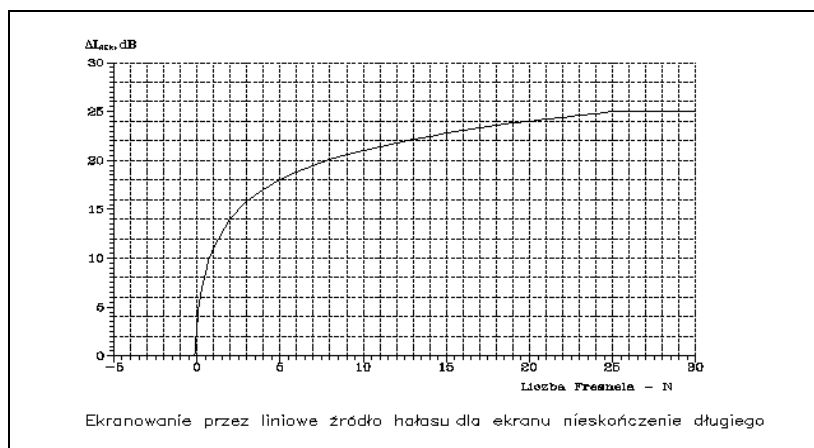
d – różnica dróg propagacji fali ugiętej na krawędziach ekranu oraz fali bezpośredniej

d= a+b-c (rys. 3).



rys. 3

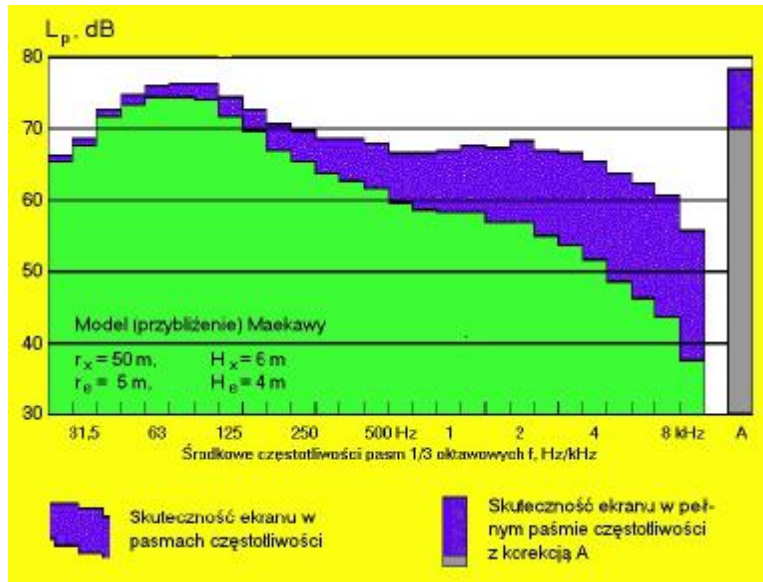
Wykorzystuje się różne zależności wiążące skuteczność ekranu z liczbą Fresnela. Są to na ogół przybliżenia klasycznej zależności Maekawy. Jedno z takich przybliżeń, opracowane dla wyznaczania skuteczności ekranu usytuowanego wzdłuż źródła liniowego pokazano na wykresie.



rys. 4

Zależność liczby Fresnela od „kształtu” trójkąta „a+b-c”, a więc od wysokości ekranu oraz położenia źródła i odbiorcy wskazuje, iż skuteczność ekranu jest zależna od także od tych wielkości, o czym już wstępnie wspomniano w rozdz.2.

Jak wynika z zamieszczonego wyżej wzoru na liczbę Fresnela, zależy na także od częstotliwości dźwięku. Tak więc stopień ekranowania też musi być zależny od



częstotliwości. Skuteczność ekranu w funkcji częstotliwości można ocenić korzystając z uśrednionych charakterystyk częstotliwościowych dla hałasu drogowego i/lub kolejowego<sup>5</sup>. Wyniki symulacji zmian skuteczności ekranu akustycznego (dla pewnych zadanych parametrów związanych z emisją hałasu drogowego w porównaniu ze skutecznością dla poziomu dźwięku A pokazano przykładowo na rys. 5.

rys. 5

Korzystając z wyników tego typu badań symulacyjnych stwierdzono, iż dla praktycznych zastosowań ekranów akustycznych w przypadku hałasu drogowego można stosować przybliżenie oceny liczby Fresnela:

$$N = 5.88 \text{ d}$$

#### 4. Ekran „teoretyczny”, a rozwiązania praktyczne

W poprzednim rozdziale przedstawiono teoretyczne elementy metody oceny skuteczności ekranu. Metoda ta bazuje na kilku podstawowych, upraszczających zagadnienie przesłankach. Najistotniejszym założeniem upraszczającym jest fakt, iż mowa była o ekranie „nieskończenie długim”, zlokalizowanym przy idealnym źródle (punktowym lub liniowym), w warunkach atmosferycznych mających pomijalny wpływ na propagację dźwięku.

Natomiast w warunkach rzeczywistych można mieć do czynienia ze zjawiskami, które R.Makarewicz nazwał:

#### DEGRADACJĄ SKUTECZNOŚCI EKRANU (DSE)

Ze zjawiskiem DSE mamy do czynienia głównie w przypadku:

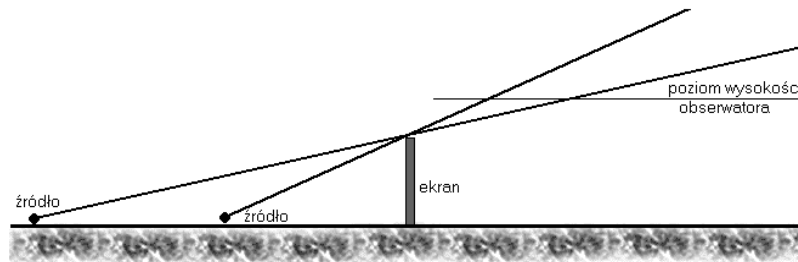
- Dużej szerokości źródła,
- Skończonej długości ekranu,
- Występowaniem pola fal odbitych,
- Niekorzystnych układów atmosferycznych.

<sup>5</sup> Metoda taka, z uwagi na znaczną komplikację obliczeń, stosowana jest zazwyczaj w programach komputerowych

i inne. Z braku miejsca – rozpatrzmy warunki powyższe, które można uważać za najistotniejsze.

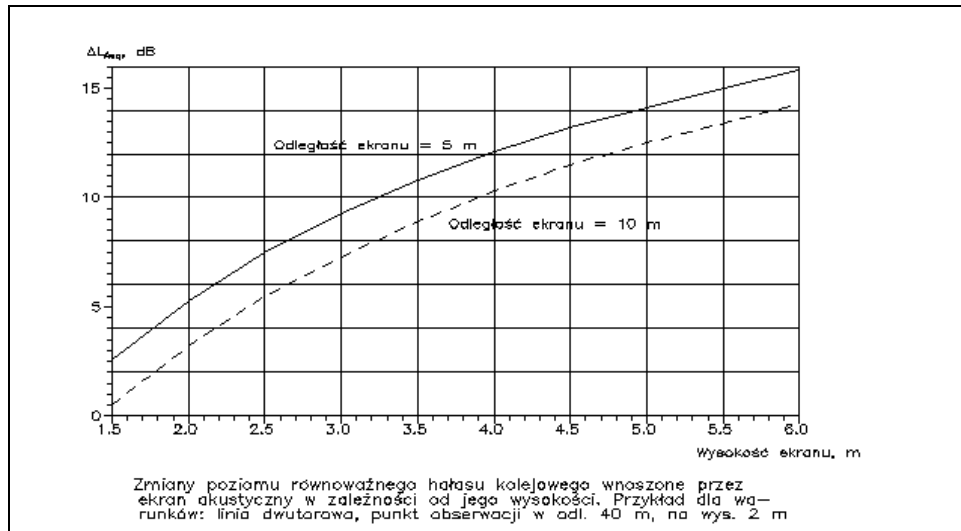
### Szerokość źródła:

Weźmy pod uwagę rysunek 6. Szerokie źródło (np. wielopasmowa ulica) zostało odwzorowane kilkoma źródłami zastępczymi (na rys. 6 oznaczono źródła skrajne). Z teorii ekranowania wynika, iż skuteczność ekranu jest tym większa, im większy jest kąt między kierunkiem fali łączącej źródło z krawędzią górną ekranu, a płaszczyzną podłoża. W rozpatrywanym przypadku z rysunku 6 skuteczność ekranu dla najdalszego źródła zastępczego będzie znacznie niższa niż skuteczność w stosunku do źródła najbliższego. W efekcie wypadkowa skuteczność ulega znacznemu obniżeniu.



rys. 6

Na wykresie nr 7 zamieszczono natomiast wyniki symulacji wiążącej skuteczność ekranu z szerokością źródła (tutaj dwu torowa linia kolejowa – 2 źródła zastępcze), wysokością ekranu i odległością usytuowania ekranu w stosunku do źródła.



rys. 7

### Skończona długość ekranu

Rozważania zasygnalizowane w rozdziale 2 odnosiły się do ekranu nieskończenie długiego. Jeżeli odniesiemy się do rys. 2, w przypadku takiego ekranu zaniedbano drogi propagacji dźwięku oznaczone jako  $f$  oraz  $n$ . Sytuacje takie w praktyce nie mają na ogół miejsca.

W poniższej tabeli pokazano wyniki symulacji skuteczności ekranu o skończonej długości (kolumna 9) w stosunku do potencjalnej skuteczności ekranu nieskończonej długości (kol.2).

Wysokość punktu obserwacji	Potencjalna skuteczność ekranu, dB	Odległość punktu obserwacji od ekranu, m	Odległość punktu obserwacji od drogi, m	Kąt widzenia ekranu (stopnie)	Kąt widzenia odcinka nieekranowanego (stopnie)	Wyjściowy poziom dźwięku bez ekranu, dB	Poziom dźwięku za ekranem, dB	Faktyczna skuteczność ekranu, dB
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.2 m	- 9	10	15	168,6	11,4	65,5	58,1	- 7,4
		20	25	157,4	22,6	62,4	56,1	- 6,3
		40	45	136,4	43,6	58,8	54,1	- 4,7
		80	85	102,7	77,3	55,0	52,0	- 3,0
6 m	- 7	10	15	168,6	11,4	69,6	63,6	- 6,0
		20	25	157,4	22,6	66,9	61,7	- 5,2
		40	45	136,4	43,6	62,6	58,5	- 4,1
		80	85	102,7	77,3	57,0	54,4	- 2,6

Wyniki z tabeli wskazują jednoznacznie na niezwykle dużą „czułość” skuteczności ekranu akustycznego na zmiany jego długości (w przypadku źródła liniowego, jakie stanowi droga lub linia kolejowa). Przykładowo można obliczyć, iż dla warunków:

- wymagana skuteczność ekranu 9 dB,
- odległość punktów obserwacji do 100 m

wymagana jest długość ekranu rzędu 600 m.

Analizując dane z tabeli zauważmy też, iż skuteczność ekranu, związana z jego długością jest równocześnie zależna od tzw. kąta widzenia ekranu z punktu obserwacji (kąta widzenia krawędzi końcowych ekranu). Jeżeli założymy teraz, iż ekran akustyczny ma przerwy (np. wyjazdy z posesji), to łatwo dojść do wniosku, że łączny kąt widzenia ekranu ulegnie znacznemu zmniejszeniu, a jego skuteczność drastycznie się obniży (praktycznie często – do zera).

### ***Występowanie fal odbitych***

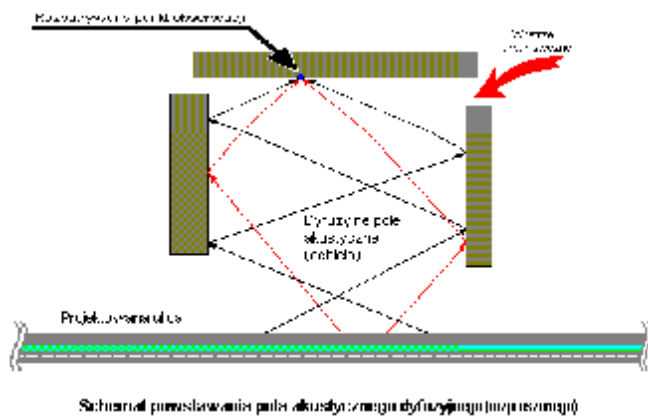
Pole akustyczne w przestrzeni (w środowisku) może mieć charakter:

1. Pola fali swobodnie biegnącej,
2. Pola dyfuzyjnego.

Podział ten ma charakter idealny, lecz w większości praktycznych przypadków, jeden z dwóch powyższych modeli może mieć zastosowanie.

W przypadku wyraźnie dominującego dźwięku, pochodzącego od określonego źródła i z określonego kierunku, przy stosunkowo niewielkim poziomie zakłóceń innymi sygnałami akustycznymi przyjmuje się, że pole akustyczne odpowiada warunkom fali swobodnie biegnącej. Ekran akustyczny lokalizowany jest przede wszystkim na drodze propagacji tego typu fali.

Pole dyfuzyjne natomiast powstaje wtedy, gdy mamy do czynienia z dużą liczbą fal odbitych dobiegających z różnych kierunków. Schemat powstawania pola dyfuzyjnego w przestrzeni zurbanizowanej pokazano na rys. 8.



Wprowadzenie w pole dyfuzyjne ekranu akustycznego odbijającego może dodatkowo pogorszyć sytuację (dodatkowa liczba odbić dochodzących do punktu obserwacji). Natomiast lokalizacja w takim obszarze ekranu z elementami pochłaniającymi może mieć skutek pozytywny. Choć wtedy oddziaływanie takiego ekranu jest bardziej "subtelne" i nie polega wyłącznie na zasłonięciu źródła. Degradacja skuteczności ekranu jest mała, gdy [R.Makarewicz][2]:

rys. 8

$$\frac{D}{H_b} > 20 \quad (D - \text{odległość między równoległymi powierzchniami odbijającymi,} \\ H_b - \text{wysokość efektywna ekranu)}$$

jeśli  $10 < \frac{D}{H_b} < 20$

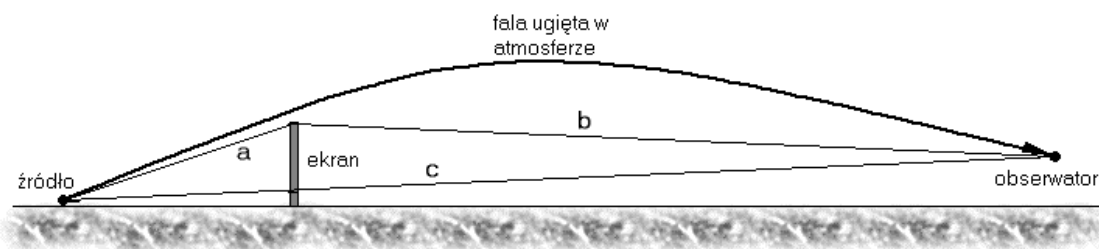
degradacje zmniejsza wychylenie ekranów o określony kąt.

dla  $\frac{D}{H_b} < 10$ .

ekrany powinny być silnie pochłaniające.

### Warunki atmosferyczne

Warunki atmosferyczne mogą wpływać w sposób niezwykle istotny na rozprzestrzenianie się dźwięku, w szczególności, gdy punkt obserwacji znajduje się stosunkowo daleko od źródła. Wśród parametrów pogodowych szczególne znaczenia mają gradienty temperatury oraz gradienty (w tym prędkość i kierunek) wiatru w najniższych warstwach atmosfery.



rys. 9



Jeżeli warunki atmosferyczne wpływają w sposób istotny na propagację dźwięku, to muszą one także rzutować na skuteczność ekranów akustycznych. I tak jest w rzeczywistości. Jednakże analiza tych wpływów zając może duży rozdział monografii naukowej. W tym miejscu przytoczyć można jeden z najbardziej spektakularnych efektów.

Przy wystąpieniu gradientu temperatury fale dźwiękowe są zginane w kierunku „ku ziemi”. W takiej sytuacji fala biegnąca od źródła ponad krawędzią ekranu (a więc nie ulegająca dyfrakcji) może na skutek zagięcia toru dotrzeć do obserwatora za ekranem. Odniesienie od wtedy wrażenie, iż skuteczność ekranu jest „żadna” tak, jakby go nie było. Schematycznie, sytuację taką przedstawia rys. 9.

\*

\*

\*

W warunkach rzeczywistych występuje znacznie więcej, niż możliwe było ich przytoczenie, warunków powodujących zjawisko degradacji skuteczności ekranu. Nie zawsze i nie wszystkie warunki powodujące DSE można przewidzieć i ująć w używanych metodach oceny i projektowania ekranów. Stąd też bardzo istotne jest wprowadzenie sprawdzonych i ujednoczonych metod sprawdzania w praktyce założeń projektowych. Celowi temu służyć powinny badania (pomiar) rzeczywistości uzyskanej skuteczności ekranu, zgodnie z normą PN-ISO 10847 (w dalszych partiach tekstu).

## 5. Podstawowe kryteria stosowania ekranów akustycznych

Nie zawsze i nie wszędzie ekrany akustyczne spełnią swą rolę. W takich sytuacjach zastosowanie ekranu powinno zostać zaniechane. Dokonajmy jednak próby określenia generalnych warunków, kiedy ekran można zastosować:

1. Ekran akustyczny powinien na ogół być stosowany w warunkach zbliżonych do pola fali swobodnie biegnącej.
2. Odbiorcy dźwięku (osoby, czy też obiekty ekspozowane na hałas) powinny znajdować się w tzw. cieniu akustycznym. Warunkiem znalezienia się danego budynku w cieniu akustycznym jest spełnienie zależności:

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

gdzie:

$h_{obs}$  – wysokość punktu obserwacji (np. wysokość części mieszkalnej budynku), 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

Spełnienie powyższego warunku oznacza, iż ochroną przed hałasem za pomocą ekranu akustycznego objęte być powinny raczej osiedla o zabudowie niskiej (maks. 2 – 4 kondygnacji).

3. Zastosowanie ekranu akustycznego w przypadku osiedli z budynkami wysokimi (wielokondygnacyjnymi) powoduje, że ochronie przed hałasem za pomocą ekranu podlega jedynie obszar tego osiedla oraz najniższe kondygnacje budynków wysokich. Kondygnacje wyższe pozostają bez ochrony. Dodatkowo w takich sytuacjach mogą



wystąpić oceny pogorszenia się sytuacji akustycznej na wyższych kondygnacjach. W celu zapobieżenia takim ocenom, na krawędzi górnej ekranu zastosować należy tzw. dyfraktory.

4. Stosowanie ekranów akustycznych na terenach silnie zurbanizowanych w typowej zabudowie miejskiej jest w większości przypadków bezcelowe.
5. Realizując ochronę przed hałasem pochodzącym od dużych tras komunikacyjnych na terenach zurbanizowanych rozpatrywać należy na ogół **zespoły ekranów akustycznych** łączone z równoległym zastosowaniem innych rozwiązań.
6. W przypadku braku możliwości zapewnienia wymaganych:  
lokalizacji ekranu w bezpośrednim sąsiedztwie źródła,  
wysokości ekranu,  
długości ekranu „ciągłego” (bez przerw), przekraczającej znacznie rozmiar liniowy obiektu chronionego,  
**Z ZASTOSOWANIA EKRANU NALEŻY BEZWZGLĘDNIEREZYGNOWAĆ**, przeznaczając niemałe przecież środki na inne cele.

Podsumowując listę podstawowych warunków dotyczących stosowania (lub nie) ekranów akustycznych należy odnieść się do efektów tego działania. Dokonajmy próby określenia pojęcia „efektu ekologicznego”:

1. Jest niewątpliwym efektem ekologicznym osiągnięcie stanu klimatu akustycznego środowiska zgodnego z normami (poziomami dopuszczalnymi). Taki efekt ekologiczny nazwać można **efektem bezwzględnym**. Przy czym jest niewątpliwie, iż osiągnięcie takiego efektu w warunkach dużego miasta jest przypadkiem rzadkim. Z reguły nie udaje się w pełni doprowadzić do braku występowania przekroczeń dopuszczalnych poziomów dźwięku.
2. Za pozytywny efekt ekologiczny uważać także należy znaczące obniżenie poziomu hałasu w środowisku. Znaczące obniżenie ma dwie konotacje:
  - Ograniczenie poziomu dźwięku o dużą wartość wyrażaną w decybelach,
  - Obniżenie poziomu dźwięku w zakresie, w którym oddziaływanie hałasu jest szczególnie szkodliwe lub uciążliwe.

Tego typu efekt ekologiczny nazwać można **efektem względnym**.

Bardzo charakterystycznym jest fakt, iż zmniejszenie hałasu spowodowane przez zastosowane środki techniczne ma niejednakową wartość nawet przy tym samym stopniu obniżenia poziomu. Zależy to bowiem w istotnym stopniu od zakresu poziomów dźwięku. I tak, przykładowo – efekt ekologiczny zmniejszenia poziomu o 5 dB od wartości 53 dB do 48 dB ma zdecydowanie mniejsze znaczenie niż zmiana poziomu z 72 dB do 68 dB.

**W specyficznych warunkach może się okazać, iż efekt ekologiczny względny może mieć większe znaczenie niż osiągnięcie efektu bezwzględnego.**

## **6. Syntetyczna charakterystyka metod badania skuteczności ekranu akustycznego „in situ”**

Ekran akustyczny należy do inwestycji kosztownych. Dobra praktyka powinna więc wymagać obiektywnego sprawdzenia zakładanych w projekcie warunków jego skuteczności.

Ostatnio przetransponowano do polskiego systemu normalizacyjnego normę międzynarodową dotyczącą kontroli skuteczności zastosowanych ekranów akustycznych. Dokument ten to PN – ISO 10847. Badania skuteczności ekranów akustycznych wszystkich typów w warunkach rzeczywistych. Poniżej scharakteryzowano podstawowe warunki prowadzenia badań w oparciu o tę normę.

Wyróżnia się dwie metody monitoringowych badań skuteczności ekranów akustycznych:

1. Wyznaczenie rzeczywistej różnicy między sytuacją sprzed budowy ekranu w stosunku do sytuacji po zainstalowaniu ekranu (metoda bezpośrednia),
2. Pośrednia, gdy ekran już istnieje; sytuację „bez ekranu” symuluje się w innym miejscu odpowiadającym warunkom, w których ekran jest zlokalizowany.

Pomiary powinny być przeprowadzone w punkcie lokalizacji obserwatora (rzeczywistej lub przewidywanej). Równocześnie należy monitorować parametry źródła hałasu w punkcie odniesienia.

**Zachowane być powinny warunki odpowiedniości (porównywalności) w badaniach przed i po realizacyjnych,** dotyczące:

- a) parametrów i charakterystyk źródła,
- b) ukształtowania terenu,
- c) odbić i interferencji fal akustycznych,
- d) tłumienia dźwięku przez powierzchnię ziemi,
- e) warunków meteorologicznych.

W badaniach skuteczności ekranów akustycznych wyróżnia się dwie kategorie punktów pomiarowych:

1. Punkt odniesienia (referencyjny) jest to punkt bieżącej kontroli parametrów źródła hałasu. Jego lokalizacja powinna zapewniać warunki, w których, w którym dźwięk ze źródła jest w minimalnym stopniu zakłócany przez już postawiony lub projektowany ekran.
2. Lokalizacja obserwatora – punkt (punkty), w którym określana jest skuteczność ekranu. Lokalizacja obserwatora nie podlega standaryzacji z uwagi brak możliwości przewidzenia wszystkich rzeczywistych sytuacji w różnorodnych układach urbanistycznych, niemniej jest wybierana w wyniku szczegółowych studiów.

Pozycję punktu odniesienia wybierać należy tak, aby otrzymać sygnał od źródła nie zniekształcony przez obecność ekranu.

Do pomiarów skuteczności ekranu w warunkach rzeczywistych używa się jednego z trzech rodzajów źródła:

1. Naturalne,
2. Naturalne o parametrach kontrolowanych,
3. Sztuczne o parametrach kontrolowanych.

***Wyznaczanie skuteczności ekranu***

Metoda bezpośrednia

Skuteczność ekranu przy zastosowaniu metody bezpośredniej wyznacza się z zależności:

$$\Delta L_E = (L_{odn,A} - L_{odn,B}) - (L_{ob.,A} - L_{ob.,B})$$

gdzie:

$L_{odn,B}$  – wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie odniesienia podczas badań przed realizacyjnymi,

$L_{ob.,B}$  - wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie obserwacji podczas badań przed realizacyjnymi,

$L_{odn,A}$  - wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie odniesienia podczas badań po realizacyjnych,

$L_{ob.,A}$  - wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie obserwacji podczas badań po realizacyjnych.

### Metoda pośrednia

Metoda ta daje przybliżone wyniki badań skuteczności ekranów i jest mniej dokładna niż metoda bezpośrednia. Jest jednak niezastąpiona w sytuacjach, gdy nie są możliwe do przeprowadzenia badania przed realizacyjnymi.

W metodzie pośredniej zasady lokalizacji punktów pomiarowych są analogiczne, jak w przypadku metody bezpośredniej. Zasadnicza różnica obu metod polega na symulacyjnych badaniach przed realizacyjnymi. Symulacyjny poligon badawczy musi być w pełni równoważny rzeczywistemu poligonowi. Warunki zachowania „równoważności” muszą być dokładnie skontrolowane.

Różnica poziomów dźwięku w polu swobodnej fali półkulistej między punktem referencyjnym (odniesienia) a punktem, w którym zlokalizowano obserwatora wynosi:

$$\Delta L_B = L_{odn,B} - (L_{ob.,B} - C_r)$$

$$\Delta L_A = L_{odn,A} - (L_{ob.,A} - C_r')$$

gdzie:

$L_{odn,B}$  – wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie odniesienia podczas symulowanych badań przed realizacyjnymi (zastępcza lokalizacja punktu odniesienia),

$L_{ob.,B}$  - wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie obserwacji podczas symulowanych badań przed realizacyjnymi (zastępcza lokalizacja punktu obserwacji),

$L_{odn,A}$  - wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie odniesienia podczas badań po realizacyjnych,

$L_{ob.,A}$  - wynik pomiaru poziomu dźwięku w punkcie obserwacji podczas badań po realizacyjnych.

Natomiast:

$C_r$  oraz  $C_r'$  – współczynniki korygujące w zależności od położenia punktu obserwacji:

Dla warunków półkulistej fali swobodnej  $C_r = 0$  dB,

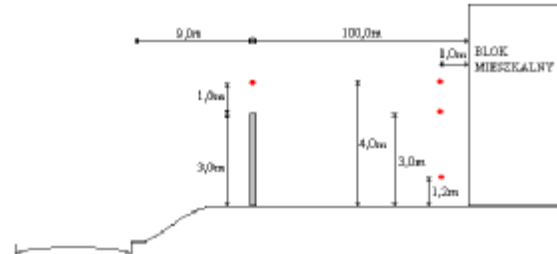
Dla położenia obserwatora na powierzchni odbijającej  $C_r' =$  dB.

Preferować należy taki wybór punktów obserwacji, dla których wartości obu powyższych współczynników są takie same.

Na podstawie obliczonych wartości różnic  $\Delta L_A$  oraz  $\Delta L_B$  skuteczność ekranu za pomocą metody pośredniej wyznacza się jak następuje:

$$\Delta L_E = \Delta L_A - \Delta L_B$$

Zakład Akustyki Środowiska IOS od kilku lat prowadzi badania skuteczności ekranów akustycznych w oparciu o wymagania w/w normy. Poniżej zaprezentowano dla przykładu wybraną sytuację oraz wyniki badania.



### Wyniki badania skuteczności

p.p.	Skuteczność ekranowania [dB]		
	$\Delta L_B$	$\Delta L_A$	$\Delta L_E$
4	13,4	21,3	<b>8,9</b>
5			
4	13,0	21,3	<b>8,3</b>
6			
4	13,2	21,3	<b>8,1</b>
7			

### 7. Wybrane wyniki badania skuteczności istniejących ekranów akustycznych

Dla orientacji możliwych do uzyskania rzeczywistych skuteczności ekranów akustycznych zaprezentowano tutaj trzy przykładowe wyniki badania (pomiarów).

#### ***Ekran z kubłów betonowych LUSAFLOOR***

Omawiany ekran zlokalizowano wzdłuż fragmentu Obwodowej Gdańska koło węzła „Wysoka”. Ekran ten zbudowano z wypełnionych ziemią specjalnego kształtu kubłów betonowych opatentowanych jako LUSAFLOOR. Wysokość tego ekranu wynosi od 3.8 m do 4 m. Biorąc pod uwagę spadek poziomego dźwięku bez ekranu, określony w tzw. „przekroju bez ekranu” można stwierdzić, iż skuteczność badanego ekranu w przekroju środkowym, w odległości 25 m od niego wynosi ok. 7 dB.

#### ***Ekran z dźwiękochłonnych paneli z blachy perforowanej***

Ekran drogowy w Świeciu, zlokalizowany jest wzdłuż drogi krajowej łączącej drogę nr 1 w okolicach Świecia z Tucholą. Zbudowano go z paneli z blachy powlekanej, perforowanej, wypełnionej materiałem dźwiękochłonnym. Ekran ma wysokości ok. 4 m, natomiast ok. 275 m długości.

Biorąc pod uwagę wyniki pomiarów oraz wspomagające badania symulacyjne można stwierdzić, iż:

- w przekroju przechodzącym przez środek ekranu skuteczność tego ekranu na wysokości 1.2 m wyniosła od ok. 12 dB (1 m za ekranem), przez 8 dB (16 m za ekranem) do ok. 3.5 dB (przy fasadzie budynku),
- skuteczność ekranu określana na wysokości 7 m przy fasadzie budynku nie przekroczyła 2 dB.
- skuteczność ekranu w przekroju „krawędziowym” (rzy końcowej krawędzi) w żadnym punkcie nie przekroczyła wartości 2 dB.

#### ***Ekran kombinowany: wał ziemny i panele z blachy perforowanej***

Ekran ten składa się z trzech segmentów o łącznej długości ca 600 m. Dwa skrajne segmenty zbudowano z paneli dźwiękochłonnych z blachy powlekanej („płyta obornicka”) a segment środkowy - w postaci wału ziemnego. Takie rozwiązanie konstrukcyjne wykorzystano w badaniach dla dokonania porównań skuteczności sztucznego ekranu akustycznego oraz elementu naturalnego - wału.

Podsumowanie wyników przeprowadzonych badań przedstawić można następująco:

- skuteczność ekranu akustycznego z płyty obornickiej, w odległości 3 - 10 m za nim, wynosi ok. 6 ÷ 8 dB,
- skuteczność ekranu akustycznego - wału, w odległości 3 - 10 m za nim, wynosi ok. 10 ÷ 11 dB,
- na wysokości VIII pietra budynku mieszkalnego nie obserwuje się żadnego wpływu ekranu akustycznego na wartość poziomu dźwięku.

## **8. Wybrana literatura**

Poniżej przedstawiono kilka ważniejszych pozycji bibliograficznych, w których oprócz szeregu innych problemów zaprezentowano też zagadnienia związane z zastosowaniem ekranów akustycznych

### **Monografie**

- [1] Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1993
- [2] Makarewicz R.: Hałas w środowisku. Ośrodek Wydawnictw Naukowych, Poznań 1996
- [3] Rudno-Rudzińska B.: Modele emisji i propagacji dźwięku do prognozowania klimatu akustycznego środowiska zurbanizowanego. Prace naukowe ITiA Pol.Wrocławskiej nr 75, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 1994
- [4] Sadowski J.: Podstawy akustyki urbanistycznej. Arkady, Warszawa 1983
- [5] Stawicka-Wałkowska M.: Czynniki akustyki w projektowaniu urbanistycznym. Seria „Rozprawy”, Wyd. ITB, Warszawa 1988.

### **Inne publikacje, instrukcje, prace nauk.-bad. niepublikowane**

- [6] Engel Z., Sadowski J., Stawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: Ekrany akustyczne. MOŚ,ZNiL, IMWA-AGH. Wyd. AGH, Kraków 1990

- [7] Stawicka-Wałkowska M.: Katalog przeciwhałasowych ekranów urbanistycznych. ITB, Warszawa 1990
- [8] INSTRUKCJA ITB nr 315. "Zunifikowane metody pomiarowe i obliczeniowe własności akustycznych elementów urbanistycznych". pod red. R.Makarewicza. Warszawa 1991.
- [9] Metody pomiarów hałasu zewnętrznego. Kucharski R.J. (red.). Załącznik nr 2 do Zarządzenia Głównego Inspektora Ochrony Środowiska nr 79 z dnia 22 grudnia 1992 w sprawie wdrożenia Systemu Kontrolowania i Ewidencji Obiektów Emitujących Hałas. Biblioteka Państwowego Monitoringu Środowiska - PIOŚ, wyd. IOŚ, Warszawa 1992  
wyd. I, IOŚ, Warszawa 1992  
wyd. II, ASKON, Warszawa 1996
- [10] Metody prognozowania hałasu komunikacyjnego. Kucharski R.J. Biblioteka Państwowego Monitoringu Środowiska - PIOŚ - IOŚ, wyd. ASKON, Warszawa 1996
- [11] Kucharski R.J. (kier.tematu): Badania skuteczności ekranów akustycznych w warunkach rzeczywistych. Praca wykonana na zlecenie GIOŚ, Warszawa 1997 (niepublikowana)
- [12] Kucharski R.J. i inni: Zasady prowadzenia przed- i poinwestycyjnego monitoringu hałasu dla tras szybkiego ruchu. Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa 1999

## 9. Przykłady zrealizowanych ekranów akustycznych



Połączenie ekranu akustycznego z kublów betonowych z wałem ziemnym



Ekran akustyczny na poboczu (przygotowane do obsadzenia zielenią) i pochłaniający ekran w pasie dzielącym znacznie zwiększający skuteczność zespołu.



Zespół trzech różnych ekranów akustycznych



Zespół ekranów akustycznych na skarpie





Ekrany przezroczyste



Lekkie ekrany przezroczyste na wiadukcie



Lekkie ekrany pochłaniające na wiadukcie



Różne typy ekranów do ochrony osiedla przed hałasem komunikacyjnym



Jezdnia z ekranem na poboczu i w pasie dzielącym



Ekran + zieleń. Dopiero początek