

# Ochrona przeciwdźwiękowa

Modelowanie propagacji dźwięku  
w przestrzeni otwartej

Józef Kotus

(wykład 13 – 12.06.2008)

## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wprowadzenie

$$I = \frac{p^2(r)}{\rho c} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad \text{Equation 1}$$

where:  $I$  = acoustic intensity (watts/m<sup>2</sup>)  
 $p(r)$  = sound pressure at radial distance  $r$  (N/m<sup>2</sup>)  
 $r$  = distance from the source in meters  
 $W$  = sound power (watts)  
 $\rho c$  = acoustic impedance (rayls)

In terms of sound levels, this translates to:

$$L_p = L_W - 20 \log r - 10 \log \left[ \frac{W_{ref} \rho c}{P_{ref}^2 4\pi} \right] \quad \text{Equation 2}$$

where:  $L_W$  = sound power level (dB re 10<sup>-12</sup> watts)  
 $L_P$  = sound pressure level (dB re 2x10<sup>-5</sup> N/m<sup>2</sup>)

for  $\rho c = 400$  mks rayls, the last term on the right becomes 11 dB.  
(10.83 dB for  $\rho c = 415$  rayls)

$$L_p = L_W - 20 \log r - 11 \quad (\text{dB}) \quad \text{Equation 3}$$

## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wprowadzenie

$$DI = \text{Directivity Index (dB)} = 10 \log_{10} Q$$

$$Q = \text{Directivity Factor} = \frac{I_{\theta}}{I_{mean}} = \frac{P_{\theta}^2}{P_s^2}$$

Another useful form of this equation, comparing sound pressure levels at two different ranges, is:

$$Lp_1 - Lp_2 = 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{dB}) \quad \text{Equation 4}$$

Our general purpose propagation equation without reflection is then:

$$Lp = Lw - 20 \log r - 11 + DI \quad (\text{dB}) \quad \text{Equation 5}$$

## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wprowadzenie

*Excess Attenuation,  $A_E$  - the total attenuation in addition to that due to spherical divergence and atmospheric absorption*

$$L_p = L_w - 20 \log r - 11 - DI - A_{abs} - A_E \quad (\text{dB}) \quad \text{Equation 6}$$

where:  $A_{abs}$  = atmospheric absorption, see section 2.2.1 (dB)

$r$  = distance from source to receiver (meters)

$A_E$  = excess attenuation (dB)

The total excess attenuation  $A_E$  (dB) is a combination of all effects:

$$A_E = A_{weather} + A_{ground} + A_{turbulence} + A_{barrier} + A_{vegetation} + \text{any other effects...} \quad \text{Equation 7}$$

# Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – pochłanianie dźwięku przez atmosferę

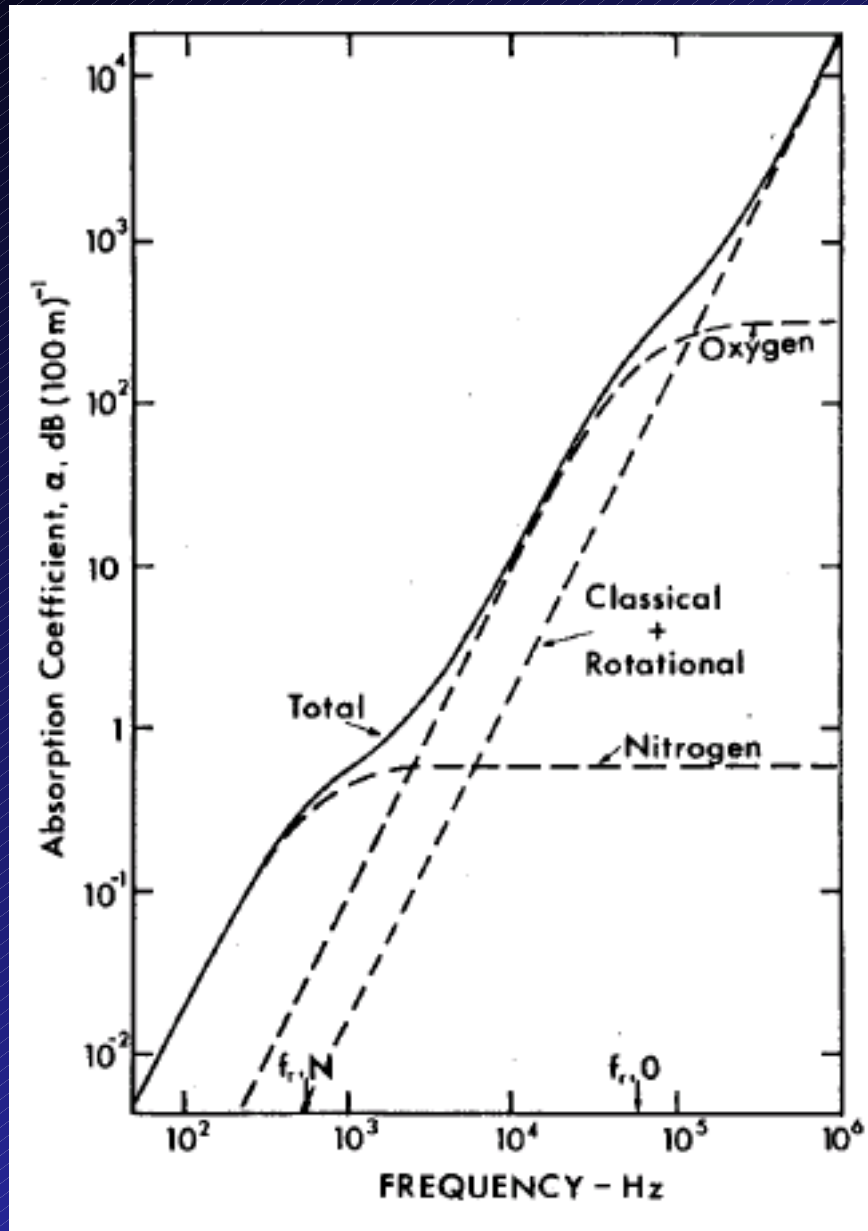


Figure 1. Predicted atmospheric absorption in dB/100m for a pressure of 1 atm, temperature of 20C and relative humidity of 70%

# Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ pogody (wiatru)

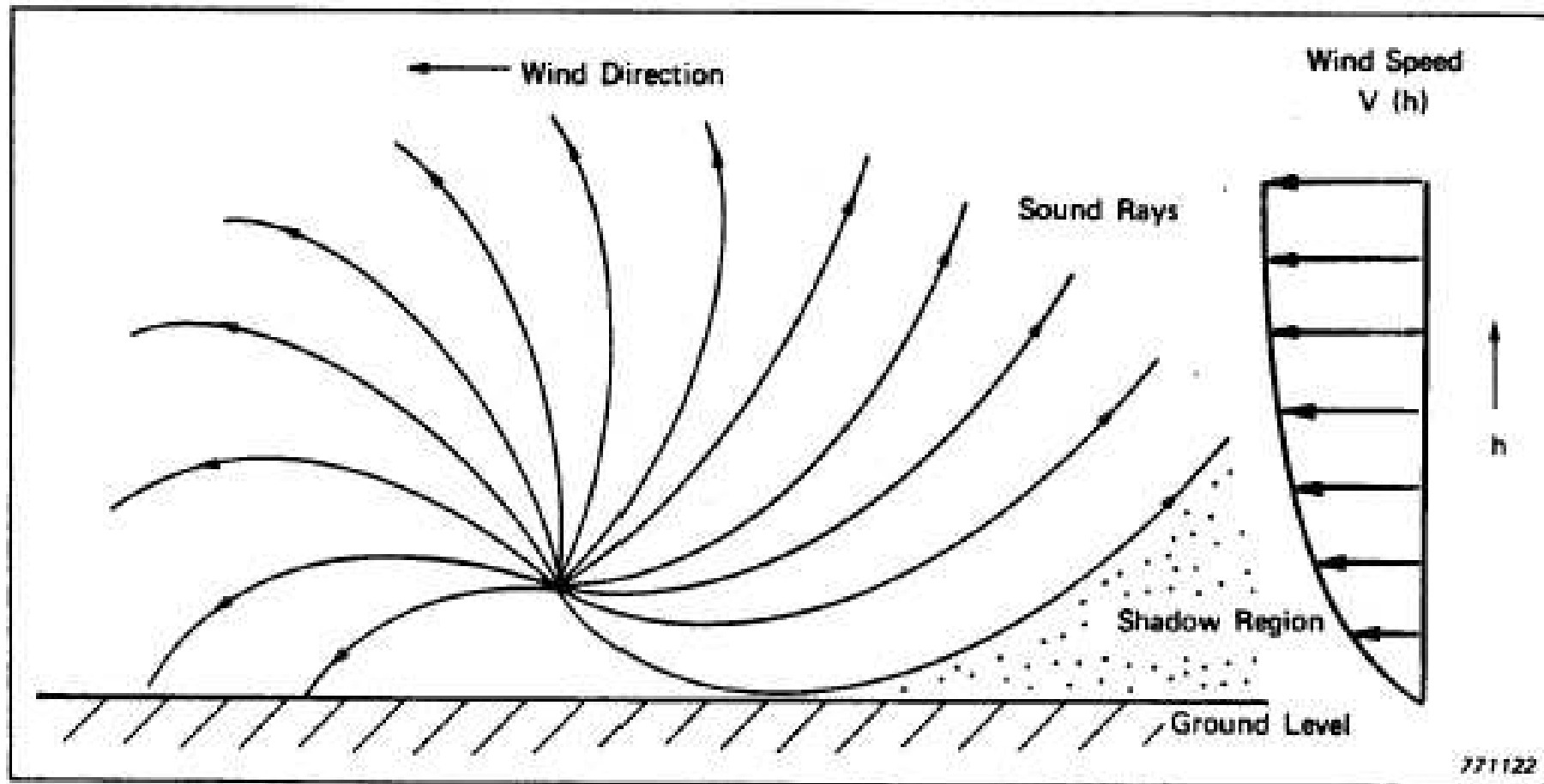


Figure 3. Refractive effects caused by wind

## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ pogody (temperature)

$$c = \sqrt{\gamma RT} = 20.05\sqrt{T} (^{\circ}K) \quad (\text{meters/second}) \quad ^{\circ}K = ^{\circ}C + 273.15$$
$$= 49.03\sqrt{T} (^{\circ}R) \quad (\text{feet/second}) \quad ^{\circ}R = ^{\circ}F + 459.7$$

example: @ 20°C c = 343 m / sec or 1126 ft / sec

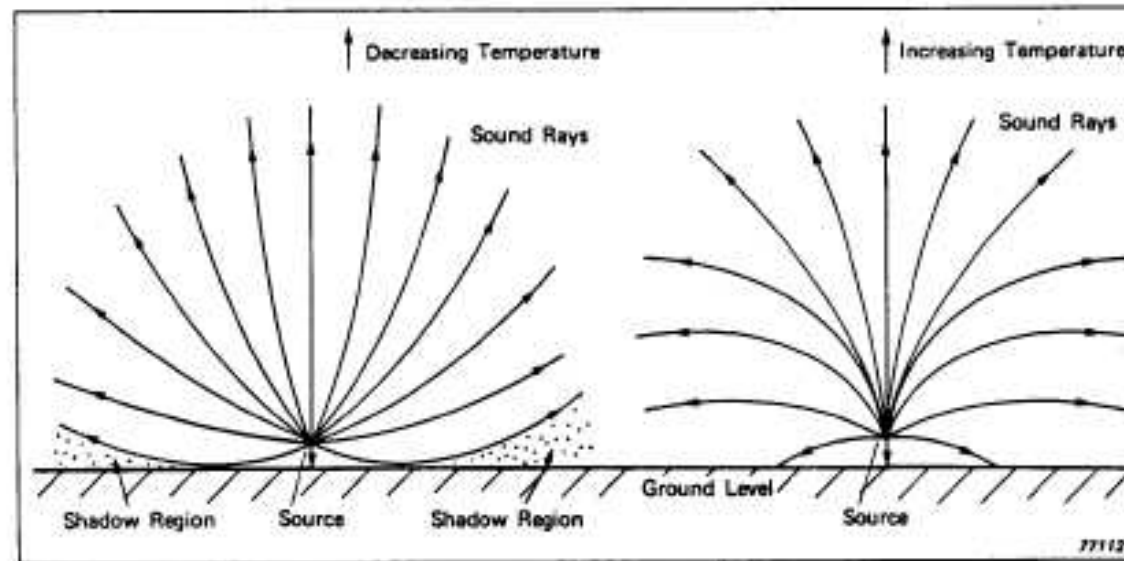


Figure 4. Refraction of sound with temperature gradients a) on left, normal lapse rate (decreasing temperature with altitude) b) on right, inverted lapse rate (temperature increases with altitude)



# Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ gruntu

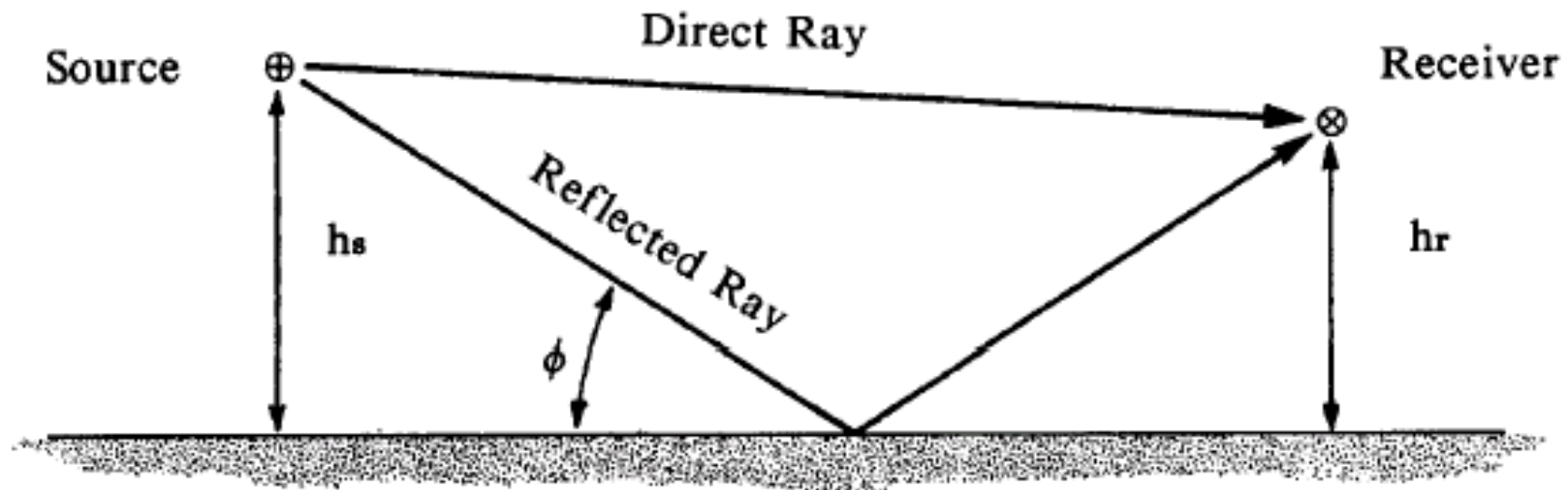


Figure 5 Geometry for reflection of sound from level ground with finite impedance



## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ zieleni

Table 3. Attenuation of an octave band noise due to propagating a distance  $d_f$  through dense foliage [ref ISO 9613-2:1996]

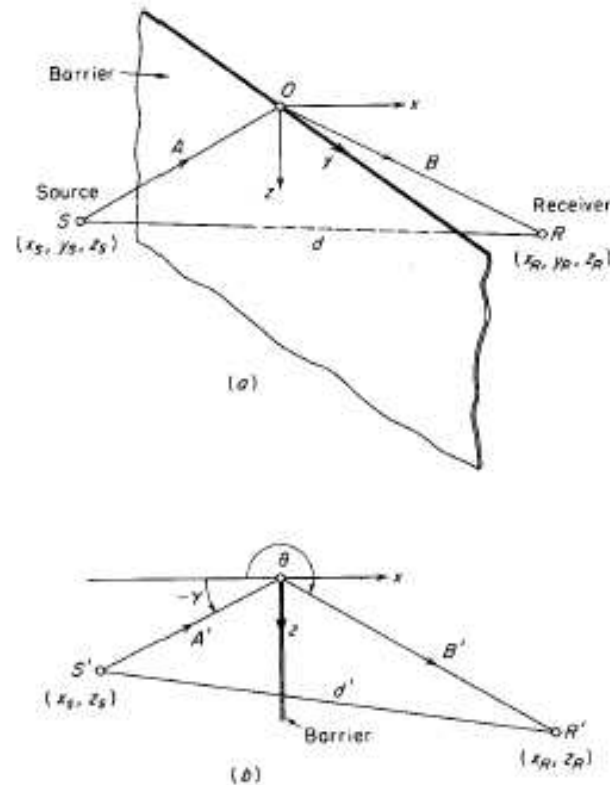
Propagation distance - $d_f$ (meters)	Octave Center Frequency - Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \leq d_f < 20$	Attenuation, dB 0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \leq d_f < 200$	Attenuation, dB/m 0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.12
$d_f \geq 200$	Attenuation, dB 4	6	8	10	12	16	18	24

Alternate approximations for excess attenuation due to vegetation [ref 1] are:

For shrubbery or tall thick grass:  $A_{shrubbery} = (0.18 \log f - 0.31)r$

For forests:  $A_{forest} = 0.01 f^{1/3} r$

## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ ekranów

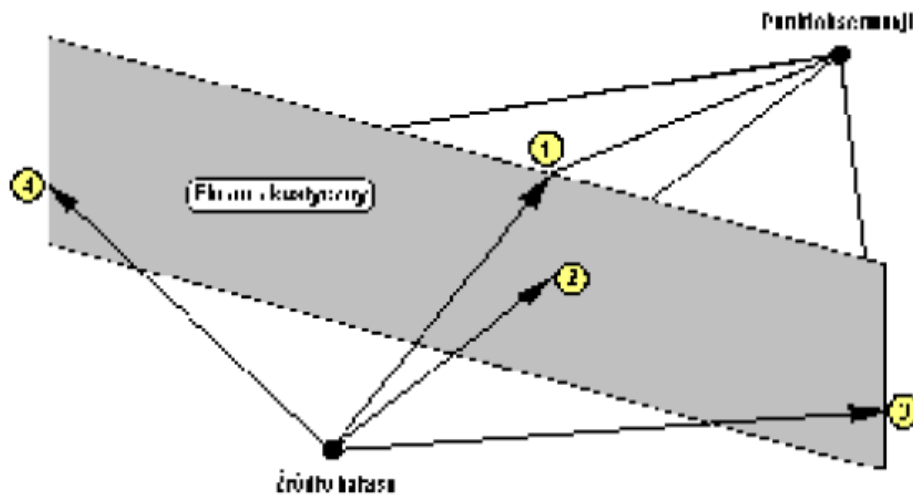


**Fig. 7.7** Geometry of sound-propagation path over a barrier wall: (a) perspective view and (b) projection plane perpendicular to the barrier. The source and receiver are  $S$  and  $R$ , respectively. The coordinate system is shown in (a) and the source coordinates are  $x_s, y_s, z_s$  and the receiver coordinates are  $x_R, y_R, z_R$ . The shortest path that the sound can travel over the barrier between source and receiver is distance  $A + B$ . The angle  $(\gamma + \theta)$  gives, on the projection plane, the direction of the refracted wave relative to that of the incident wave. Ground reflections are neglected, which is permissible if the source and receiver are very near to a completely reflective ground. For other heights of source and receiver over partially absorptive ground, sound can travel to the receiver along three additional paths, with one or two reflections where phase shifts may occur, causing interference effects.

Figure 9. Geometry of sound propagation over a barrier [ref 3]

## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ ekranów

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



Drugi przenikania fal akustycznych od źródła dźwięku do punktu obserwacji poza ekran akustyczny (schemat uproszczony)

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

gdzie:

$f$  – częstotliwość dźwięku, Hz

$c$  – prędkość propagacji dźwięku, m/s

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

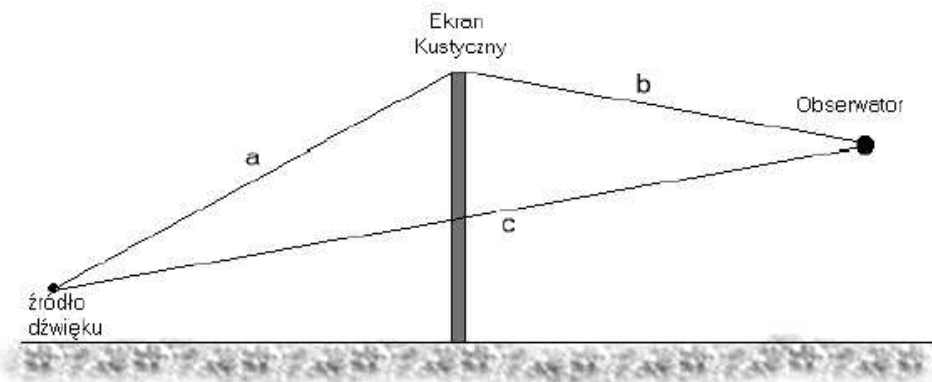
$d = a + b - c$  (rys. 3).

- 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.



## Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – wpływ ekranów

An observer in the vicinity of a rigid, infinitely long barrier (Figure 9), for sound from a point source, will experience an excess attenuation [ref 3] of:

$$A_{\text{barrier}} = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi N}}{\tanh \sqrt{2\pi N}} + 5 \quad (\text{dB}) \quad \text{for } N \geq -0.2 \quad \text{Equation 14}$$
$$= 0 \quad \text{otherwise}$$

$$N = \pm \frac{2}{\lambda} (A + B - d) \quad \text{Equation 15}$$

**Homework:** Show that the excess attenuation for a three-sided barrier is:

$$A_{\text{barrier, total}} = -10 \log \left[ \sum_{i=1}^3 10^{A_i/10} \right]$$

where  $A_i$  = excess attenuation for each sound path  
(around each side of barrier) by equation 14

# Propagacja dźwięku w przestrzeni otwartej – pochłanianie dźwięku przez atmosferę

Tablica E.1 – Obliczanie tłumienia

$f$ Hz	$L_{p,15}$ dB	$\Delta$ dB	$\alpha_t$ dB/km	$\alpha_{t,s}$ dB	$L_{p,500}$ dB	Korekcja częstotliwościowa A dB	$L_{pA,500}$ dB
31,5	75	30,5	$\approx 0$	$\approx 0$	44,5	- 39,4	5,1
63	80	30,5	$\approx 0,1$	$\approx 0$	49,5	- 26,2	23,3
125	83	30,5	$\approx 0,5$	0,2	52,3	- 16,1	36,2
250	84	30,5	$\approx 1,3$	0,6	52,9	- 8,6	44,3
500	83	30,5	$\approx 2,2$	1,1	51,4	- 3,2	48,2
1 000	79	30,5	$\approx 4,2$	2,0	46,5	0	46,5
2 000	74	30,5	10,1	4,9	38,6	+ 1,2	39,8
4 000	70	30,5	36,2	17,6	–	+ 1,0	–
8 000	62	30,5	129,0	62,6	–	- 1,1	–

UWAGA – Wartości współczynnika tłumienia są przybliżone, a wartości korekcji częstotliwościowej A przyjęto według normy IEC 651<sup>N6)</sup>.

<sup>N6)</sup> Odsyłacz krajowy: Norma powołana w celu informacyjnym. Brak odpowiednika krajowego. Oryginał normy jest dostępny w Ośrodku Informacji i Dokumentacji Biura PKN. Równoważną normą krajową jest obecnie PN-79/T-06460 Mierniki poziomu dźwięku. – Ogólne wymagania i badania.



Harmonoise P2P [J:\Jozef\JozefZDomu\Zawodowe\Ydaktyka\OchronaPrzeciwdzwiekowa\Wyklad13\PointToPoint Distributi...]

File Edit Run Meteo View Help

Geometry

D source: 10.00

H source: 1.00

D slope: 10.00

H slope: 3.00

D receiver: 50.00

H receiver: 5.00

H screen: 0.00

D screen: 0.00

Barrier

Sigma (in kRayls)

Source: 20000

Screen1: 200000

Screen2: 200000

Soft top:

Slope: 200

Receiver: 80

Meteo

A (1/s): 0.00000

B (m/s): 0.00000

C (x10-6): 1.0

D (m): 0.0

Options

Enable Incoherence:

Use Hadden-Pierce:

Enable Air Absorption:

Enable Scattering:

D = 80.00m

A = 0.000 B = 0.000 EQ.LIN = 0.000

Frequency (Hz)	Sound Level (dB(A))
32	5
63	4
125	0
250	-5
500	-15
1000	-7
2000	-15
4000	-18
8000	-22

RUN !

Harmonoise Demo Software, Copyright dvm@cstb.fr

ATT = -8.4 / REF = -0.8 dB(A)