

Hangterjedés szabad térben

Bevezetés

Hangszint általában csökken a terjedés során. Okai: geometriai, elnyelődés, földfelület hatása, növényzet és épületek. Ha a hangterjedés több mint 100 méteren történik, a hőmérsékletnek és a szélnek is jelentős a szerepe. Rövid távolságokon a divergencia okozta gyengülés dominál.

Teljes gyengülés:

$$A_{\text{teljes}} = A_{\text{div}} + A_{\text{levegő}} + A_{\text{föld}} + A_{\text{egyéb}}$$

Az első három általános, és mindig figyelembe kell venni. Az utolsó:

$$A_{\text{egyéb}} = A_{\text{refl/épületek}} + A_{\text{növényzet}} + A_{\text{épületek}}$$

Ezek a tagok egymástól általában függetlenek tárgyalhatók.

A diffrakciót egy akadály körül kihagyjuk, mert együtt kell tárgyalni a földfelület által okozott elnyelődéssel.

Általában oktáv sávok szerint kell számolni, mert a gyengülések frekvencia függőek.

A geometriai divergencia okozta gyengülés

Pontforrásra:

$$A_{\text{div}} = 20 \log_{10} r + 10.9$$

Frekvencia független

A távolság megduplázódásával a nyomásszint kb. 6 dB-t csökken

Gyengülés a levegőben történő elnyelődés hatására

Az akusztikus hullám haladása során az akusztikus energia fokozatosan hővé alakul molekuláris folyamatokon keresztül.

$$A_{\text{levegő}} = \alpha d / 1000 \quad \text{dB}$$

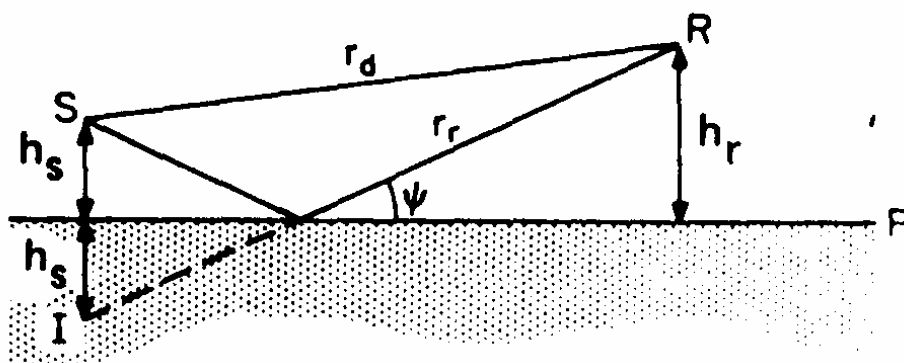
Elnyelődési együttható α (dB/km). Erősen függ a frekvenciától és a relatív páratartalomtól, és kevésbé a hőmérséklettől. Gyengén függ a nyomástól, azaz a magasságtól.

Rövid távolságokra elhanyagolható (kivéve 5000 Hz fölött).

Hőmérséklet	Relatív páratartalom	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
30 °C	10	0.96	1.8	3.4	8.7	29	96
	20	0.73	1.9	3.4	6.0	15	47
	30	0.54	1.7	3.7	6.2	12	33
	50	0.35	1.3	3.6	7.0	12	25
	70	0.26	0.96	3.1	7.1	13	23
	90	0.20	0.78	2.7	7.3	14	24
20 °C	10	0.78	1.6	4.3	14	45	109
	20	0.71	1.4	2.6	6.5	22	74
	30	0.62	1.4	2.5	5.0	14	49
	50	0.45	1.3	2.7	4.7	9.9	29
	70	0.34	1.1	2.8	5.0	9.0	23
	90	0.27	0.97	2.7	5.3	9.1	20
10 °C	10	0.79	2.3	7.5	22	42	57
	20	0.58	1.2	3.3	11	36	92
	30	0.55	1.1	2.3	6.8	24	77
	50	1.49	1.1	1.9	4.3	13	47
	70	0.41	1.0	1.9	3.7	9.7	33
	90	0.35	1.0	2.0	3.5	8.1	26
0 °C	10	1.3	4.0	9.3	14	17	19
	20	0.61	1.9	6.2	18	35	47
	30	0.47	1.2	3.7	13	36	60
	50	0.41	0.82	2.1	6.8	24	71
	70	0.39	0.76	1.6	4.6	16	56
	90	0.38	0.76	1.5	3.7	12	43

A föld által okozott gyengülés

Két terjedési útvonal, direkt vagy reflektált. Általában az eredő akusztikus szint erősen függ az útkülönbségektől, a beesési szögtől és a frekvenciától.



A földtípusok osztályozása

- 1., Kemény felület: alacsony porozitás. Aszfalt, vagy beton, víz. Gyárak körül a döngölt föld.
- 2., Lágú: fűvel, fákkal és egyéb növényzettel borított porózus felület, amely alkalmas mezőgazdaságra.
- 3., Nagyon lágú felület: nagyon porózus, hó (legalább 10 cm vastag) vagy tülevél
- 4., Kever

A föld okozta gyengülés kiszámítása egy speciális esetre

a., Lágú felület

b., a zaj spektrum speciálisan széles és sima. (gyakori, mint pl. ipari üzemeknél vagy közlekedési zaj).

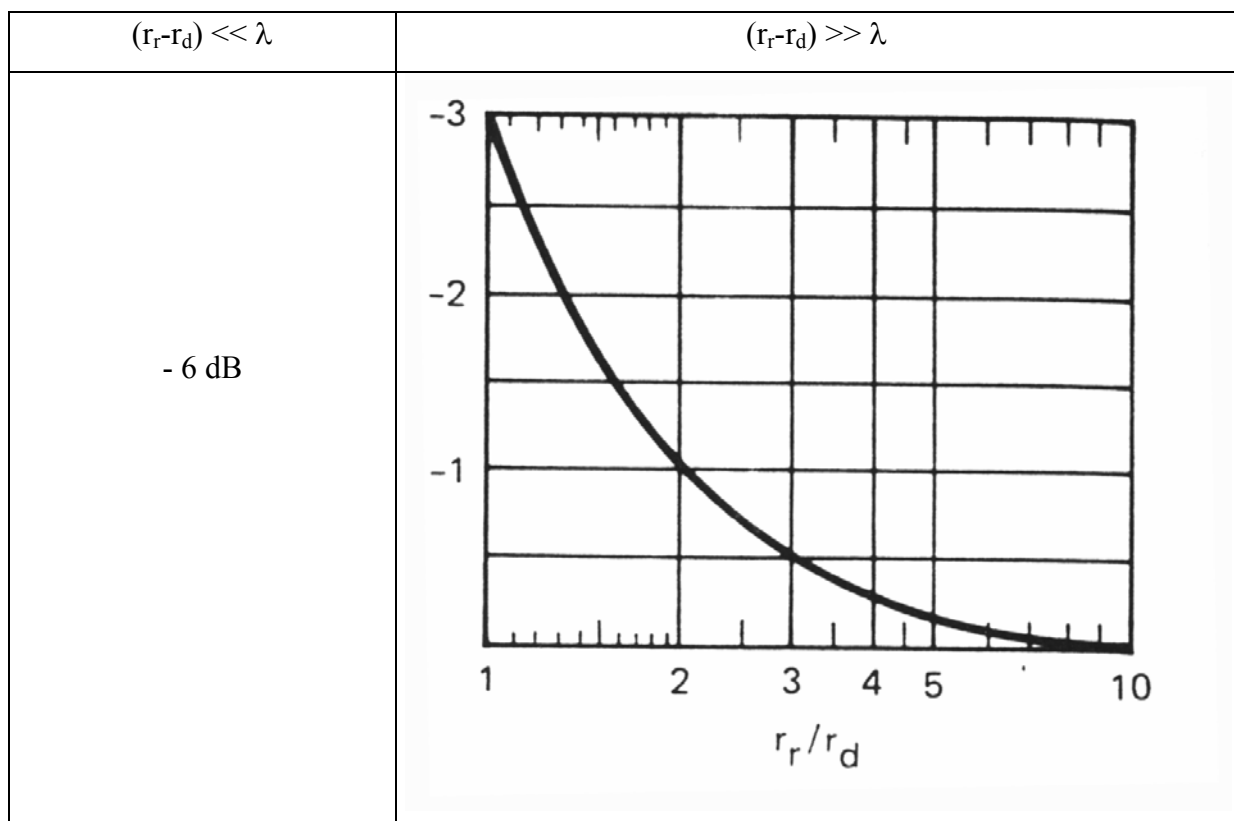
c., csak az A súlyozott spektrumra vagyunk kíváncsiak.

$$A_{\text{föld}} = 4.8 - (2h_m / r)(17 + 300 / r) \text{ dB}$$

r a távolság a hangforrás és a hallgató között, és h_m az átlagos földfölötti magasság. A negatív értékeke nullának értendő.

A föld okozta gyengülés kiszámítása rövid távolságokra:

Kemény felületre



Nagy beesési szögeknél a lágú és nagyon lágú felületek is jó visszaverőkké válnak

Lágy felület : $h_r=1.8$ m

Forrás magassága	Távolság (m)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
0.01 m	10	-5,7	-5,0	-3,6	-1,4	1,1	4,1
	20	-5,6	-4,6	-1,8	1,9	5,1	8,5
	40	-5,5	-3,9	-1,4	6,7	10,1	13,7
	60	-5,4	-3,3	4,2	9,8	13,2	16,9
	80	-5,4	-2,7	6,8	12,2	15,5	19,3
	100	-5,3	-2,2	9,2	14,0	17,4	21,1
0.3 m	10	-5,4	-4,3	-0,9	5,9	-2,5	-1,9
	20	-5,4	-4,0	-0,1	6,3	-0,1	-3,0
	40	-5,4	-3,4	2,9	10,2	4,1	-2,9
	60	-5,3	-2,8	5,8	13,1	7,1	-0,4
	80	-5,2	-2,2	8,4	15,3	9,3	1,7
	100	-5,2	-1,7	10,8	17,1	11,1	3,4
1.2 m	10	-4,0	2,0	0,1	-3,0	-3,0	-3,0
	20	-4,8	-1,9	7,5	-2,7	-3,0	-3,0
	40	-4,9	-2,1	6,9	0,5	-3,0	-3,0
	60	-4,9	-1,6	9,1	2,9	-3,0	-3,0
	80	-4,8	-1,0	11,6	4,8	-2,8	-3,0
	100	44,8	-0,5	13,8	6,4	-1,5	-3,0

Nagyon lágy felület (hó, fenyőerdő), $h_r=1.8$ m

Forrás magasság, m	távolság, m	Frekvencia, Hz					
		125	250	500	1000	2000	4000
0.01	10	-3.1	0.8	3.9	6.0	7.3	7.0
	20	-1.5	5.2	8.6	10.9	12.3	11.9
	40	1.4	11.1	14.0	16.3	17.7	17.3
	60	3.9	14.8	17.3	19.6	21.0	20.7
	80	6.2	17.3	19.7	22.0	23.4	23.1
	100	8.4	19.3	21.6	23.8	25.3	24.9
0.3	10	-2.3	2.8	5.0	-0.8	-3.0	-3.0
	20	-0.8	7.0	9.1	2.9	-2.9	-3.0
	40	2.0	12.8	14.2	7.9	1.4	-3.0
	60	4.6	16.5	17.5	11.2	4.5	-1.3
	80	6.9	19.0	18.2	13.5	6.8	0.8
	100	9.1	21.0	21.7	15.4	8.6	2.6
1.2	10	0.1	4.5	-2.5	-2.5	-2.5	-2.5
	20	0.9	7.0	-0.7	-3.0	-3.0	-3.0
	40	3.6	11.6	3.3	-3.0	-3.0	-3.0
	60	6.3	14.8	6.3	-0.6	-3.0	-3.0
	80	8.7	17.1	8.5	-1.5	-3.0	-3.0
	100	10.9	18.9	10.3	3.2	-2.6	-3.0

A föld okozta gyengülés kiszámítása nagy távolságra

Zónákra osztjuk a teret.



Külön-külön számolunk, majd összegzünk.

oktáv-sáv frekvencia		A _s vagy A _r , dB		A _m , dB		
63		-1.5		-3e		
125		(a G)-1.5		-3e(1-G)		
250		(b G)-1.5		-3e(1-G)		
500		(c G)-1.5		-3e(1-G)		
1000		(d G)-1.5		-3e(1-G)		
2000		(1-G)-1.5		-3e(1-G)		
4000		(1-G)-1.5		-3e(1-G)		
8000		(1-G)-1.5		-3e(1-G)		
Forrás vagy detektor magasság (m)						
		0.5	1.5	3.0	6.0	>10.0
Távolság, m		Faktor a				
50		1.7	2.0	2.7	3.2	1.6
100		1.9	2.2	3.2	3.8	1.6
200		2.3	2.7	3.6	4.1	1.6
500		4.6	4.5	4.6	4.3	1.6
>1000		7.0	6.6	5.7	4.4	1.7
Faktor b						
50		6.8	5.9	3.9	1.7	1.5
100		8.8	7.6	4.8	1.8	1.5
>200		9.8	8.4	5.3	1.8	1.5
Faktor c						
50		9.4	4.6	1.6	1.5	1.5
100		12.3	5.8	1.7	1.5	1.5
>200		13.8	6.5	1.7	1.5	1.5
Faktor d						
50		4.0	1.9	1.5	1.5	1.5
>100		5.0	2.1	1.5	1.5	1.5

Kemény felületek: G=0, lágy felületek: G=1, Kevert: a felületek aránya: $e = 1 - 30 \frac{h_s + h_r}{r}$

Egyéb gyengülések

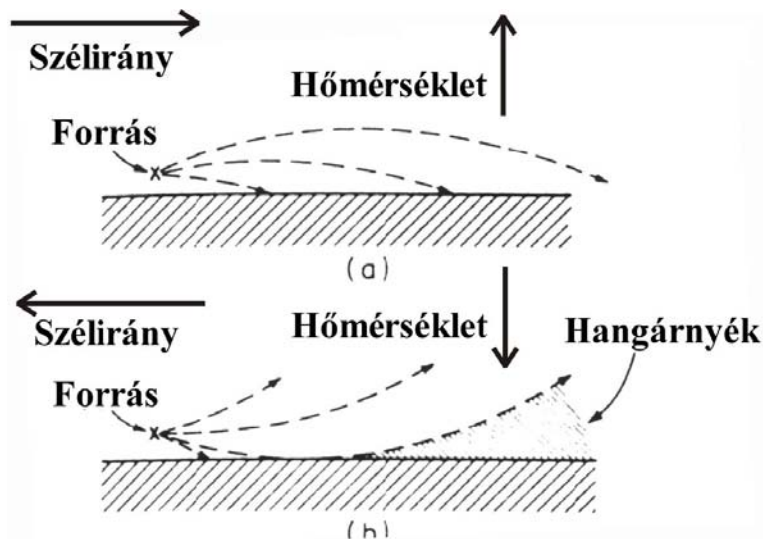
Reflexió falakon úgy kell számolni, mint a kemény felület hatását

Növényzet: gyenge hatás (maximum 0.1 dB/km)

Épületek által okozott gyengülés csak nagyon közelítő jellegű összefüggések léteznek

A szél és hőmérséklet-eloszlás hatása.

A terjedés iránya, illetve a hangszint megváltozik a szél sebességének, illetve a hőmérséklet gradiensek hatására.



Nappal a hőmérséklet a magassággal csökken.

Éjjel nő (hőmérséklet inverzió) Kedvez a hangterjedésnek.

Az akusztikus méréseket optimális légköri állapotokra adják meg.

Időátlagolás hatása. Jellemzően 1 órás méréseket végeznek, de sokszor hosszabb időre kell az átlagos szintet megmondani (pl. 1 év). Rövid távolságokon nem problémás, mivel a meteorológia hatások nem jelentkeznek. Nagyobb távolságokon a terjedést leginkább elősegítő körülmények között kell mérni, a hosszú idejű átlag az egy órás szintnél tipikusan 5 dB-lel alacsonyabb.

Szintek számolása

Külön az oktáv sávokban kiszámoljuk a veszteségeket, ezeket összegezzük. Végül:

$$L_p = L_w - A_{\text{összes}}$$

Ahol L_w az adott oktáv sávban a forrás teljesítmény

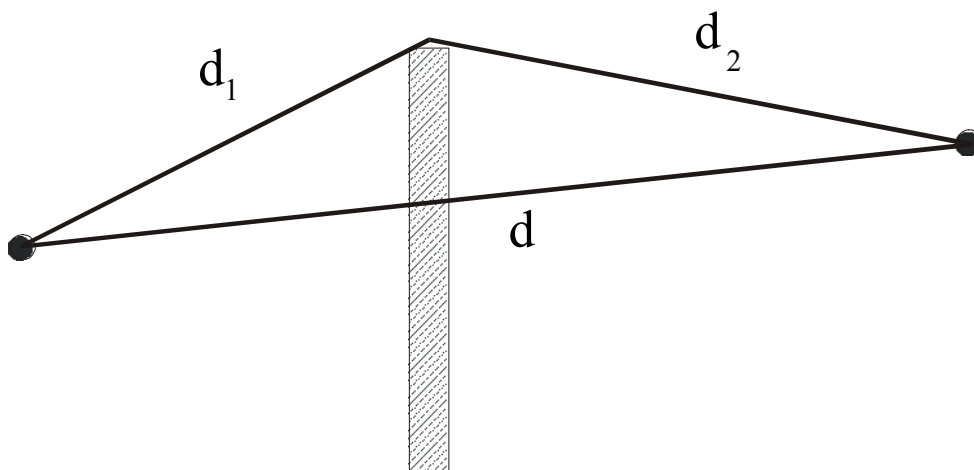
Hangforrások jellemzése Többféle lehetőség. Gyártó megadja, vagy meg kell mérni. Megbízható mérés szabad térben, de ez általában nem lehetséges (süket szoba). Mérés jól meghatározott körülmények között (fél-süketszoba).

Pontforrásként jellemezhető, ha a távolság nagyobb, mint a legnagyobb kiterjedés kb. kétszerese.

Hang-gátló fal

Hatékonysága: (IL) a hangnyomás szint különbség az alkalmazása előtt és után.

Vékony hang-gátló fal



Fresnel szám:

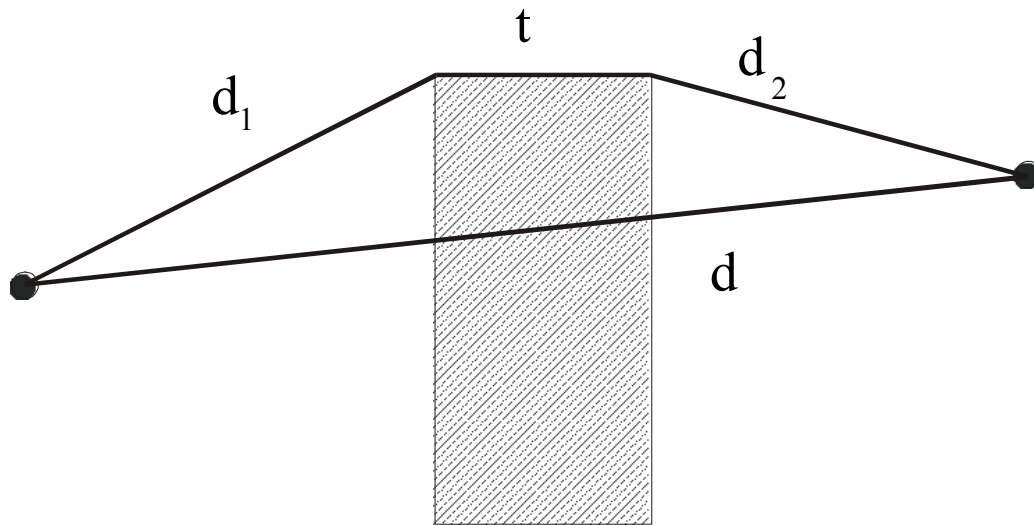
$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + d_2 - d)$$

ha negatív, akkor $N=0$.

$$IL = 10 \log(3 + 10N) - A_{\text{föld}}$$

Rövid távolságokra.

Vastag hang-gátló fal (Ha legalább 3 méter széles, akkor minden frekvenciára)



$$N = \frac{2}{\lambda} (d_1 + t + d_2 - d)$$

$$IL = 10 \log(3 + 30N) - A_{\text{föld}}$$

Domborzati egyenetlenségek hatása is számolható a Fresnel szám segítségével

Véges szélességű fal: több lehetséges terjedési útvonal

Szintek számolása hang-gátló fal esetén

$$L_p(\text{fallal}) = L_w - A_{\text{összes}}(\text{fal nélkül}) - IL$$