

## Műszaki akusztika és zajcsökkentés (önálló felkészülést segítő tananyag)

Összeállította: Dr. Koscsó Gábor c. egyetemi docens (BME Áramlástan Tanszék)

9. előadás

### Tartalom:

- 9.1. Energetikai viszonyok egymérőszámú jellemzői (előadás vázlat)
- 9.2. Mennyiségek szintes írásmódja az akusztikában (előadás vázlat)
- 9.3. A hangterjedés egymérőszámú jellemzői (előadás vázlat)
- 9.4. Gyakorló feladatok

### 9.1. Energetikai viszonyok egymérőszámú jellemzői

Egy adott pontban a hangtér jellemzésére a pillanatnyi hangtéri jellemzők időfüggvényei minden információt tartalmaznak. Bizonyos egyszerűbb számításoknál ennyi adatra nincs szükség, a tervezéshez, minősítéshez bőven elegendő például az időben változó jellemző átlaga, ez az egymérőszámú jellemző. A következő részben a hangteret leíró változók egymérőszámú jellemzőinek meghatározását, illetve számítási módját mutatjuk be.

**Átlagos hangintenzitás:** Pillanatnyi hangintenzitásból ( $I'$ ) az idő szerinti átlagos hangintenzitást az idővel súlyozott átlaggal számoljuk ki,

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T I' dt$$

Az integrál kifejezésben a  $T$  átlagolási idő, periodikus hang esetén a periódusidő, nem periodikus esetben az átlagolási időt úgy kell megválasztani, hogy nagyságától az átlag gyakorlatilag független legyen.

**Harmonikus hanghullám átlagos intenzitása:** Tetszőleges akusztikai környezetben a hangnyomás és a részecskesebesség között fáziskülönbség alakulhat ki. A tér egy tetszőleges pontjában, például az  $x=0$ m helyen a hangteret leíró hangnyomás és részecskesebesség függvények,

$$p'(t) = \hat{p} \cos(\omega t - \varphi_1) \quad , \quad \text{illetve} \quad v'(t) = \hat{v} \cos(\omega t - \varphi_2)$$

Az átlagos hangintenzitás az előző meghatározás szerint,

$$\begin{aligned} \bar{I} &= \frac{1}{T} \int_0^T I' dt = \frac{1}{T} \int_0^T p' v' dt = \frac{1}{T} \int_0^T \hat{p} \cos(\omega t - \varphi_1) \hat{v} \cos(\omega t - \varphi_2) dt = \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{\hat{p} \hat{v}}{2} (\cos(2\omega t - \varphi_1 - \varphi_2) + \cos(\varphi_2 - \varphi_1)) dt = \end{aligned}$$

Az idő szerinti átlagos hangintenzitás a koszinusz függvények szorzatának felbontásával, illetve az időtől továbbra is periodikusan függő tag (második sor, integrál, első tag) kiejtésével,

$$\bar{I} = \frac{\hat{p} \hat{v}}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Az összefüggés arra a fontos tényre hívja fel a figyelmünket, hogy az átlagos intenzitás értéke a hangnyomás és részecskesebesség amplitúdók mellett a két mennyiség közötti fáziskülönbségtől is függ. Szabad térben terjedő sík hanghullámok esetén a fáziskülönbség nulla. Nem síkhullám esetén, vagy a hangterjedést akadályozó felület környezetében a fáziskülönbség nagysága 0 és  $\pi/2$  közötti érték, amely az átlagintenzitást érzékenyen befolyásolja.

**Átlagos intenzitás komplex exponenciális írásmódban:** Harmonikus hullámok komplex exponenciális leírása esetén az átlagos intenzitás számítása során a hangnyomás és a részecskesebesség közvetlen szorzata a fázistól függetlenül nulla. A helytelen eredmény oka az, hogy a komplex leírásnál a valós rész mellé egy képzetes részt vettünk, amelynek nincs fizikai jelentése, de jelen esetben az összeszorzáskor ellentett előjelű valós tagot képez. A hiba kijavítható, ha a szorzat egyik komplex tagját konjugáljuk és a szorzat felét vesszük,

$$\bar{I} = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(\mathbf{p}' \mathbf{v}'^*) = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(\hat{p} e^{-i\varphi_1} e^{i\omega t} \hat{v} e^{i\varphi_2} e^{-i\omega t}) = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(\hat{p} \hat{v} e^{i(\varphi_2 - \varphi_1)}) = \frac{\hat{p} \hat{v}}{2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1)$$

**Szabodon terjedő síkhullám átlagos intenzitása:** Szabodon terjedő síkhullám esetében a hangnyomás és a részecskesebesség fázisban vannak. Fejezzük ki a lineáris akusztikai mozgásegyenlet algebrai alakjából a részecskesebességet és helyettesítsük be a pillanatnyi hangintenzitás összefüggésbe. A szabadon terjedő sík hanghullám pillanatnyi hangintenzitása,

$$I' = p' v' = \frac{p'^2}{\rho_0 a}$$

Az idő szerint átlagos intenzitás szabadon terjedő síkhullám esetén,

$$\bar{I} = \frac{1}{T} \int_0^T I' dt = \frac{1}{T} \int_0^T p' v' dt = \frac{1}{T} \int_0^T \frac{p'^2}{\rho_0 a} dt = \frac{p_{eff}^2}{\rho_0 a}$$

Ahol a hang által szállított, munkavégző képességre jellemző lineáris változó a hangnyomás effektív vagy RMS (root mean square) érték,

$$p_{eff} = p_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p'^2 dt}$$

**Effektív érték harmonikus időfüggés esetén,**

$$p_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T p'^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (\hat{p} \cos \omega t)^2 dt} = \sqrt{\frac{\hat{p}^2}{T} \int_0^T \frac{1 + \cos 2\omega t}{2} dt} = \sqrt{\frac{\hat{p}^2}{2T} \left[ t + \frac{\sin 2\omega t}{2\omega} \right]_0^T} =$$

Az  $\omega=2\pi/T$  helyettesítést követően a hangnyomás effektív értéke harmonikus időfüggés esetén,

$$p_{eff} = \frac{\hat{p}}{\sqrt{2}}$$

**Pillanatnyi hangteljesítmény:** A pillanatnyi hangintenzitás megoszlás ismeretében a hangforrásra jellemző pillanatnyi hangteljesítmény,

$$P' = \int_A \underline{I}' d\underline{A}$$

A hangintenzitásvektor és a felületelemvektor között skalár szorzatra azért van szükség, mert a felületelemen csak az intenzitás vektor felületelem vektorral párhuzamos (felületelemre merőleges) összetevője halad keresztül. Az „A” felületre merőleges, hely szerint átlagos intenzitás ( $I'_{m\hat{a}}$ ) ismeretében a pillanatnyi hangteljesítmény,

$$P' = I'_{m\hat{a}} A$$

**Átlagos hangteljesítmény:** Az idő szerint átlagos hangintenzitás ismeretében a hangforrásra jellemző időben átlagos hangteljesítmény,

$$P = \int_A \bar{I} d\underline{A}$$

Az „A” felületre merőleges, hely- és idő szerint átlagos intenzitás ( $\bar{I}_{m\hat{a}}$ ) ismeretében az átlagos hangteljesítmény,

$$P = \bar{I}_{m\hat{a}} A$$

## 9.2. Mennyiségek szintes írásmódja az akusztikában

A fizikában minden teljesítmény, teljesítménnyel arányos, vagy hatványkitevős alakban teljesítménnyel arányossá tehető mennyiség kifejezhető szintben. Meghatározás szerint egy  $\xi$  teljesítményszerű mennyiség szintekben kifejezett alakja,

$$L_\xi = 10 \lg \frac{\xi}{\xi_0} \quad [\text{dB}]$$

Ahol  $\xi_0$  a szintben kifejezett fizikai mennyiség referenciaértéke, szerepe a tízes alapú logaritmus argumentumának dimenziótlantítása. Ha  $\xi_0$  a nemzetközileg elfogadott állandó, az  $L_\xi$  mennyiség abszolút szint. Ha  $\xi_0$  tetszőlegesen megválasztott érték, az  $L_\xi$  mennyiség relatív szint. A szint mértékegysége a tized bel, decibel, rövidítve dB (Alexander Graham Bell skót születésű, amerikai tudós, feltaláló, mérnök tiszteletére). A szint nem igazi fizikai mennyiség, hanem egy írásmód, ezért használata esetén minden esetben nagyon fontos feltüntetni, hogy milyen fizikai mennyiségre vonatkozik és mekkora a referencia érték nagysága.

Léghang akusztikában a hangforrás, a hangterjedés és a hangtér jellemzésére rendre a hangteljesítményszint, hangintenzitásszint és hangnyomásszint változók használata szokásos,

Hangteljesítményszint:  $L_W = 10 \lg \frac{P}{P_0} \quad [\text{dB}]$  , ahol  $P_0 = 10^{-12} \text{ [W]}$

Hangintenzitásszint:  $L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}]$  , ahol  $I_0 = 10^{-12} \text{ [W/m}^2\text{]}$

Hangnyomásszint:  $L = 10 \lg \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} \quad [\text{dB}]$  , ahol  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ [Pa]}$

A szintes írásmód alaposan megváltoztatja a léghangokkal kapcsolatos hangforrás és hangtér jellemzők numerikus értékét. A „számérzet” javítása érdekében a következő táblázat (bal oldal) jellegzetes hangforrások hangteljesítmény és hangteljesítményszint, illetve a következő táblázat (jobb oldal) jellegzetes hangterek effektív hangnyomás és hangnyomásszint adatait tartalmazza.

Hangforrás	P [W]	L <sub>w</sub> [dB]
Halk suttogás	10 <sup>-10</sup>	20
Szokásos beszélgetés	10 <sup>-7</sup>	50
Erős kiáltás	10 <sup>-3</sup>	90
Zongora (fortissimo)	0,1	110
Akusztikus orgona (romantikus)	10	130
Légoltalmi sziréna	100	140
Űrrakéta indításkor	10 <sup>7</sup>	190

Jellegzetes hangforrások hangteljesítmény és hangteljesítményszint adatai

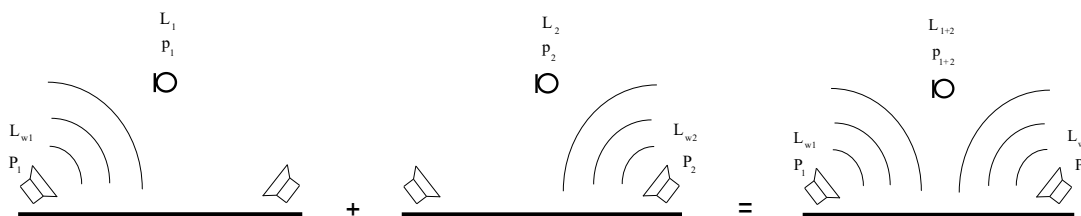
Hangtér	p <sub>eff</sub> [Pa]	L [dB]
Hallásküszöb (1 kHz-en)	2 · 10 <sup>-5</sup>	0
Hangstúdió háttérzaj	2 · 10 <sup>-4</sup>	20
Csendes lakónegyed éjjel:	2 · 10 <sup>-3</sup>	40
Emberi beszéd 5m távolságban	2 · 10 <sup>-2</sup>	60
Forgalmas út közelről	0,2	80
Benzinmotoros fűrés 1m távol	6,3	110
Repülőgép sugárhajtómű 10m távol	63	130

Jellegzetes hangterek effektív hangnyomás és hangnyomásszint adatai

**Műveletek szintekkel:**

Az eredeti fizikai változók között végzett matematikai műveletek a szintes átírás miatt formálisan megváltoznak. Általános tanács, hogy a szintekben kifejezett mennyiségek közötti műveletek elvégzésének módját az eredeti fizikai mennyiségek közötti művelet és a logaritmus átalakítási szabályok együtt határozzák meg. A szintekkel végzett leggyakoribb műveletek az összeadás, kivonás, szorzás és osztás. A következő részben ezeket mutatjuk be.

**Szintek összege:** A zajvédelmi gyakorlatban az egyik leggyakrabban végzett művelet a szintek összegzése. Például két hangtér összetétele esetén a külön-külön érvényes hangnyomásszintek ismeretében az eredő hangnyomásszint meghatározása (ld.: következő ábra). A közvetlen algebrai összeg helytelenségét a becslő számítás is kimutatja, például két személy együttes normál hangerősségű beszéde nyilván nem hozhat létre nagyobb hangnyomásszintet, mint egy benzinmotoros láncfűrész hangja kezelői pozícióban (ld.: előző táblázat). Két szint közvetlen algebrai összegzésével a logaritmus argumentumában álló mennyiségeket összeszorozzuk, amely hangterek összetétele esetén fizikailag nem értelmezhető. Az eredő hangnyomásszint meghatározásához első lépésben az eredő hangteret kell meghatározni.



Két hangforrás által létrehozott eredő hangtér számításánál alkalmazott jelölések

Az 1-es jelű hangforrás által az x= 0 m helyen felvett megfigyelési pontban létesített hangnyomás időfüggvény, hangnyomás effektív érték és hangnyomásszint,

$$p'_1(t) = \hat{p}_1 \cos(\omega_1 t) , \quad p_{eff1} = \frac{\hat{p}_1}{\sqrt{2}} , \quad L_1 = 10 \lg \frac{p_{eff1}^2}{p_0^2}$$

A 2-es jelű hangforrás által az x= 0 m helyen felvett megfigyelési pontban létesített hangnyomás időfüggvény, hangnyomás effektív érték és hangnyomásszint,

$$p'_2(t) = \hat{p}_2 \cos(\omega_2 t + \Delta\varphi) , \quad p_{eff2} = \frac{\hat{p}_2}{\sqrt{2}} , \quad L_2 = 10 \lg \frac{p_{eff2}^2}{p_0^2}$$

A számítás általánossága érdekében a két hangtérben legyenek az amplitúdók és szögfrekvenciák eltérőek, illetve a kezdőfázisok közötti különbség Δφ. Az eredő hangnyomásszint (L<sub>1+2</sub>) értékét az eredő hangtér x= 0 m helyen meghatározott eredő hangnyomás effektív értékéből, az eredő effektív értéket (p<sub>eff1+2</sub>) az eredő

hangnyomásból számíthatjuk. Az eredő hangnyomás ( $p'_{1+2}$ ) a lineáris szuperpozíció elve alapján az összetevő hangnyomások egyszerű algebrai összege,

$$p_{eff\ 1+2}^2 = \overline{(p'_{1+2})^2} = \overline{(p'_1 + p'_2)^2} = \overline{(\hat{p}_1 \cos(\omega_1 t) + \hat{p}_2 \cos(\omega_2 t + \Delta\varphi))^2} =$$

$$= \overline{(\hat{p}_1^2 \cos^2(\omega_1 t) + 2\hat{p}_1\hat{p}_2 \cos(\omega_1 t)\cos(\omega_2 t + \Delta\varphi) + \hat{p}_2^2 \cos^2(\omega_2 t + \Delta\varphi))} =$$

Az átlagolás megkönnyítése érdekében a négyzetes és keresztszorzat koszinusz tagokat alakítsuk lineáris kifejezésekké,

$$= \overline{\left( \hat{p}_1^2 \frac{1 + \cos(2\omega_1 t)}{2} + 2\hat{p}_1\hat{p}_2 \frac{1}{2} (\cos(\omega_1 t + \omega_2 t + \Delta\varphi) + \cos(\omega_1 t - \omega_2 t - \Delta\varphi)) + \right.}$$

$$\left. + \hat{p}_2^2 \frac{1 + \cos 2(\omega_2 t + \Delta\varphi)}{2} \right) =$$

Tételezzük fel, hogy az összegzett hanghullámok szögfrekvenciái egymástól eltérőek,  $\omega_1 \neq \omega_2$ , így az átlagolás során az összes koszinuszos (periodikus) tag kiesik, végül a maradék,

$$p_{eff\ 1+2}^2 = \frac{\hat{p}_1^2}{2} + \frac{\hat{p}_2^2}{2} = p_{eff\ 1}^2 + p_{eff\ 2}^2$$

Az eredő effektív hangnyomás négyzet kifejezése alapján, az eredő hangnyomásszint,

$$L_{1+2} = 10 \lg \frac{p_{eff\ 1+2}^2}{p_0^2} = 10 \lg \left( \frac{p_{eff\ 1}^2}{p_0^2} + \frac{p_{eff\ 2}^2}{p_0^2} \right) = 10 \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2})$$

### Megjegyzések:

- Különböző frekvenciájú hangok esetén két hangtér összetétele során kialakuló eredő hangtér effektív hangnyomás négyzete az összetevő hangterek effektív hangnyomás négyzeteinek algebrai összege. A lineáris szuperpozíció elve a hangenergiára is teljesül.

- Ha kétnél több hangtér összetételét kell elvégezni, párosával összegezve (a második összegzésnél az eredőt egy új taggal bővítve) az összeg tetszőlegesen bővíthető,

$$p_{eff\ 1+2+\dots n}^2 = p_{eff\ 1}^2 + p_{eff\ 2}^2 + \dots + p_{eff\ n}^2$$

$$L_{1+2+\dots n} = 10 \lg(10^{0,1L_1} + 10^{0,1L_2} + \dots + 10^{0,1L_n})$$

- Két egyforma hangnyomásszint ( $L_1 = L_2$ ) összegzésénél az eredő az egyik összetevőhöz képest 3 dB-el növekszik (három tizedesre kerekítve  $\lg(2) \approx 0,301$ ),

$$L_{1+2} = 10 \lg(10^{0,1L} + 10^{0,1L}) = 10 \lg(2 \cdot 10^{0,1L}) = 10 \lg(2) + 10 \lg(10^{0,1L}) = 3 + L$$

- Ha az összegzésnél a hangnyomásszintek különbsége 10 dB, akkor az eredő hangnyomásszint értéke tizedesre kerekítve 0,4 dB-el növekszik a nagyobb összetevőhöz képest. Ez az érték a műszaki gyakorlatban általában a mérési, számítási pontosság határán belül van. A szintek növekvő különbsége esetén az eredő növekmény tovább csökken, ezért ilyen esetben az eredő érték közelítőleg a nagyobb hangnyomásszint összegével egyenlő,

$$L_2 - L_1 \geq 10 \text{ dB} \quad \text{esetén,} \quad L_{1+2} \approx L_2$$

- Átlagos pontosságú, gyakorlati műszaki akusztika feladatok megoldásánál a mérési és számítási eredményeket általában tized dB pontossággal adjuk meg.
- Ha az összegzett hangok frekvenciája megegyezik ( $\omega_1 = \omega_2$ ), akkor az eredő hangtér effektív hangnyomás négyzetét az összetevők effektív értéke mellett a fáziskülönbség ( $\Delta\varphi$ ) is meghatározza,

$$p_{eff\ 1+2}^2 = p_{eff\ 1}^2 + p_{eff\ 2}^2 + 2p_{eff\ 1}p_{eff\ 2}\cos\Delta\varphi$$

- A szintek összegzését hangnyomásszintekre mutattuk be részletesen. Belátható, az előző összefüggés tetszőleges szint (pl.: hangteljesítményszint, ...) esetén alkalmazható.

**Szintek különbsége:** Zajforrások helyszíni zajkibocsátás mérését gyakran nem megszüntethető háttérzaj jelenlétében kell elvégezni. Így a helyszíni mérés során csak a zajforrás és a háttérzaj együttes zajterhelése határozható meg. Ha a zajforrás kikapcsolható, a háttérzaj terhelés mérését követően, a zajforrás és a háttérzaj együttes hangnyomásszint ( $L_{z+h}$ ), illetve a háttérzaj hangnyomásszint ( $L_h$ ), különbségéből a vizsgált zajforrás által kibocsátott hangnyomásszintet ( $L_z$ ) kapjuk. A hangenergiára vonatkozó lineáris szuperpozíció elv alapján a különbséget az effektív négyzetek kivonásával kapjuk,

$$p_{eff\ z}^2 = p_{eff\ z+h}^2 - p_{eff\ h}^2$$

$$L_z = 10 \lg(10^{0,1L_{z+h}} - 10^{0,1L_h})$$

### Szintek szorzása, osztása (erősítés, csillapítás):

Csatornában terjedő zaj csökkentésére hangtompítót alkalmazunk. A hangtompító a beeső hang egy részét elnyeli és, vagy visszaveri, csak a maradék halad tovább. A hangtompító fontos jellemzője a csillapítási tényező ( $\zeta_{ht}$ ), amely azt fejezi ki, hogy a hangtompító a beeső hangenergia hanyad részét engedi tovább,

$$p_{eff\ t}^2 = \zeta_{ht} p_{eff\ b}^2$$

Az összefüggést szintekre átírva,

$$10 \lg \frac{p_{eff\ t}^2}{p_0^2} = 10 \lg \left( \zeta_{ht} \frac{p_{eff\ b}^2}{p_0^2} \right) = 10 \lg \zeta_{ht} + 10 \lg \left( \frac{p_{eff\ b}^2}{p_0^2} \right)$$

$$L_t = L_b + \Delta L_{\zeta_{ht}}$$

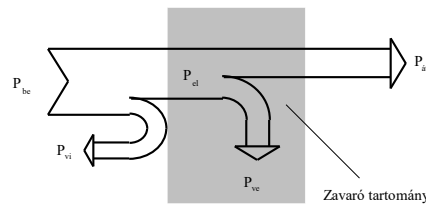
Ahol a csatornában a hangtompító előtt mért hangnyomás ( $L_b$ ), a hangtompító után mért hangnyomás ( $L_t$ ), a kettő különbsége, a hangtompító zajcsökkentése ( $\Delta L_{\zeta}$ ). Hangtompító helyett tetszőleges akusztikai rendszer elemet figyelembe véve  $\zeta$  fogalma általánosítható,

$$L_t = L_b + \Delta L_{\zeta} \quad , \text{ ahol } \Delta L_{\zeta} = 10 \lg \zeta$$

A  $\zeta$  változó jelentése  $0 \leq \zeta < 1$  esetén csillapítás, illetve  $1 < \zeta$  esetén erősítés. Ezek alapján belátható, hogy szintek között végezhető algebrai összeadás vagy kivonás, ebben az esetben, az argumentumban helyet foglaló mennyiségek közötti szorzás vagy osztás művelet, amely fizikai jelentése erősítés, csillapítás.

### 9.3. A hangterjedés egymérőszám jellemzői:

A hang az útjában elhelyezett terjedést akadályozó elem hatására szóródik és, vagy elnyelődik. A szóródás a visszaverődés, elhajlás és törés fogalmakat foglalja magában. Terjedést akadályozó elem lehet például helyiségeket elválasztó fal, csatorna hangtompító, dús lombú erdősáv vagy akár egy erősen turbulens áramlású levegőréteg. A zavaró elemre beeső hang visszaverődő, elnyelt, veszteségi és tovább haladó részekre bontható. Az egyes összetevők által szállított hangteljesítmények jelölését a következő ábrán szalagdiagram mutatja.



A zavaró tartományon keresztülhaladó hang jellegzetes összetevői

A hangterjedési folyamat energetikai jellemzésére dimenziótlan hányadosokat vezetünk be, amelyekben a viszonyítás alapja a beeső hang teljesítménye,

Hangelnyelési (abszorpciós) tényező:  $\alpha = \frac{P_{el}}{P_{be}}$

Hangvisszaverődési (reflexiós) tényező:  $r = \frac{P_{vi}}{P_{be}}$

Veszteségi tényező:  $\delta = \frac{P_{ve}}{P_{be}}$

Hangátvezetési (transzmissziós) tényező:  $\tau = \frac{P_{át}}{P_{be}}$

A hangátvezetési tényező a zajvédelemben gyakran használt, kiemelt fontosságú mennyiség, a gyakorlati szempontokhoz igazodva szintekben is kifejezzük, megnevezése a hanggátlás (R),

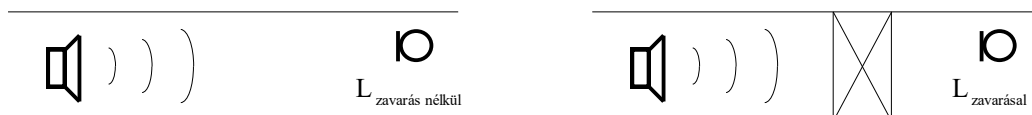
$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \text{ [dB]}$$

A hangterjedés jellemzésére bevezetett teljesítmény hányadosok, illetve hanggátlás (eltekintve a szóhasználat következetlenségétől) fizikai értelemben egyértelmű meghatározások. A gyakorlatban azonban mérésük nehézségbe ütközik. Ennek egyik oka, hogy a hányadosokban szereplő hangteljesítmények közvetlenül nem mérhetők. További probléma, hogy számos esetben a hangterjedés zavarása során egyszerre több hangterjedési mód is kialakulhat, amelyek közül a teljesítmény hányadosok csak egyet írnak le, noha nekünk az eredőre van szükségünk. Például közúti zaj ellen a szomszédos lakóépületeket zajárnyékoló fállal védjük. Ekkor a hangforrás és a védett tér között két meghatározó hangterjedési út (zajárnyékoló falon keresztül átvezetéssel és a zajárnyékoló fal felett elhajlással) alakul ki. Ezért a megfelelő zajvédelem érdekében nem elegendő megfelelő hanggátlású fal réteget alkalmazni, hanem a fal magasságát is elegendően nagyra kell választani. A probléma kezelésére a gyakorlati zajvédelem a beiktatási veszteség és zajcsökkentés mennyiségeket vezette be.

**Beiktatási veszteség:** A beiktatási veszteség ( $\Delta L_b$ ) a hangforrás és a megfigyelési pont közé helyezett, a hangterjedést zavaró elem nélkül és annak jelenlétében ugyanabban a pontban mért hangnyomásszintek ( $L_{zn}$  és  $L_{zj}$ ) különbsége,

$$\Delta L_b = L_{zn} - L_{zj}$$

A következő ábra egy csatorna hangtompító beiktatási veszteségének mérésére alkalmas elrendezés elvi vázlatát mutatja.



Elvi elrendezés a beiktatási veszteség meghatározására

**Zajcsökkentés:** A zajcsökkentés a hangterjedés iránya mentén a hangterjedést zavaró elem előtt és után mért hangnyomásszintek ( $L_{ze}$  és  $L_{zu}$ ) különbsége,

$$\Delta L_z = L_{ze} - L_{zu}$$

A következő ábra csatorna hangtompító zajcsökkentésének mérésére alkalmas elrendezés elvi vázlatát mutatja.



Elvi elrendezés zajcsökkentés meghatározására

A beiktatási veszteség és a zajcsökkentés meghatározásához két hangnyomásszint mérését kell elvégezni, ami általában egyszerű feladat. Mindkét mérőszám a különböző hangterjedési utakon terjedő zavarások eredőjét adja. Az előző ábrákon bemutatott hangtompító esetében az eredő hangtér közvetlenül a csatorna légterében, illetve a csatorna légteréből a lemezfalba majd onnan ismét a csatorna légterébe visszasugárzott (megkerülő úton terjedő) hanghullámok összege. A beiktatási veszteség és a zajcsökkentés egy konkrét akusztikai elrendezéshez kötődnek.

#### 9.4. Gyakorló feladatok

Gy.1. Határozza meg a pillanatnyi és átlagos akusztikai intenzitások fogalmát, illetve számítási módját általános esetben, és adott  $\omega$  szögfrekvenciájú harmonikus hullám esetén!

Gy.2. Sorolja fel az akusztikában használatos szinteket, és adja meg a szintekkel végzett műveletek szabályait!

Gy.3. Egy 100kHz frekvenciájú, 20 W hangteljesítményű szonár (víz alatti hang-lokátor) pásztázó sugarának átmérője 0,1m. Határozza meg a vízben terjedő mérőhang részecskesebesség, hangnyomás és részecskekitérés amplitúdóját! A víz sűrűség ( $\rho$ ) 1000kg/m<sup>3</sup>, hangsebesség ( $a$ ) 1500m/s.

$$I = P/A = 4P/\pi d^2 = 4 \cdot 20/\pi 0,1^2 \approx 2546,5 \text{ W/m}^2$$

$$I = p_{eff}^2/\rho_0 a, \text{ melyből } p_{eff} = \sqrt{I\rho_0 a} \approx \sqrt{2546,5 \cdot 1000 \cdot 1500} \approx 61804 \text{ Pa}$$

$$\hat{p} = \sqrt{2} p_{eff} \approx \sqrt{2} \cdot 61804 \approx 87404 \text{ Pa}$$

$$\hat{p} = \rho_0 a \hat{v}, \text{ amelyből } \hat{v} = \hat{p}/\rho_0 a \approx 87404/1000 \cdot 1500 \approx 0,0583 \text{ m/s}$$

A részecskekitérés a részecskesebesség idő szerinti integrálja, az amplitúdó a szinusz együtthatója,

$$\hat{x} = \hat{v}/\omega = \hat{v}/2\pi f \approx 0,0583/2\pi 10^5 \approx 9,3 \cdot 10^{-8} \text{ m}$$

Megjegyzés: A kiszámolt részecske kitérés nagyon kicsi méret, összehasonlításként, technikai normál állapotú ( $p_0= 1\text{bar}$ ,  $t_0= 20^\circ\text{C}$ ) levegőben a közepes szabad úthossz közelítőleg  $6 \cdot 10^{-8}\text{m}$ !

Gy.4. Egy folyadékhűtő üzemi zajkibocsátását helyszíni méréssel határozzuk meg. A mérés helyszínén jelentős, a vizsgált forrástól független háttérzaj figyelhető meg, amelyet nem lehet megszüntetni. A mérési pontban a folyadékhűtő és a háttérzaj együttes hangnyomásszintje 75dB, a folyadékhűtő kikapcsolását követően mért háttérzaj nagysága 71dB. Határozza meg a mérési pontban a folyadékhűtő üzemi hangnyomásszintjét!

$$L_{üf} = 10 \lg(10^{0,1L_{üf+h}} - 10^{0,1L_h}) = 10 \lg(10^{7,5} - 10^{7,1}) \approx 72,8 \text{ dB}$$

-----