

## Alkalmazott áramlástan és akusztika

(önálló felkészülést segítő tananyag az akusztika részhez)

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

5. előadás

### Tartalom:

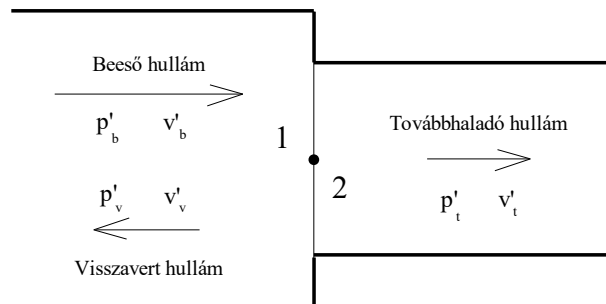
5.1. Hangterjedés hirtelen csatorna keresztmetszet változáson keresztül (előadásvázlat)

5.2. Gyakorló feladatok

Állandó keresztmetszetű csatornában kialakuló hangterjedést az előző előadás alkalmával részletesen megvizsgáltuk. A mérnöki gyakorlatban azonban a csatornák keresztmetszete megváltozhat, és tapasztalat szerint ez a hangterjedést nagymértékben befolyásolhatja. A gépészmérnöki zajvédelem szempontjából fontos ismeret, hogy a hangterjedést a csatornakeresztmetszet változás miként befolyásolja. A következő előadásokat ennek a témának szenteljük. Kezdjük a sorozatot az egyik legegyszerűbb esettel, a hirtelen csatorna keresztmetszet ugrással. A keresztmetszet ugrás lehet bővülés (Borda-Carnot átmenet) vagy szűkülés. A jelenség megismerése érdekében matematikai modellt készítünk. A levezetett eredmény a mérnöki tervező munkát segíti, továbbá az eredményként kapott összefüggés vizsgálatával akusztikai ismereteinket bővítjük.

### 5.1. Hangterjedés hirtelen csatorna keresztmetszet változáson keresztül

Egy hosszú csatornaszakasz középső részén a belső keresztmetszet ugrásszerűen megváltozik (megrő vagy lecsökken). Célunk a keresztmetszet változás hangterjedést befolyásoló hatásának, a hangátvezetési és visszaverődési tényezők meghatározása.



Hangterjedés hirtelen keresztmetszet változáson keresztül

A matematikai modell levezetésénél az áramlástan alapegyenletei és a lineáris akusztikában alkalmazott egyszerűsítő feltételek érvényesek. Továbbá tételezzük fel, hogy a keresztmetszetek nem térnek el egymástól lényegesen, és a csatornában kizárólag síkhullám hangterjedés alakul ki. Hangtanban általános elv, ha a hangterjedés útját zavaró hatás akadályozza, szóródás (a terjedés módosulása) alakul ki. Egydimenziós terjedés esetén a szóródásra az egyetlen lehetőség a visszaverődés, így a keresztmetszet ugrásra beeső hanghullám visszavert és tovább haladó hullámösszetevőkre válik szét.

A kontinuitás egyenlet alapján a keresztmetszetváltozás síkjában az 1-es és a 2-es keresztmetszetekben haladó tömegáramok egymással megegyeznek:

$$q_{m1} = q_{m2}$$

$$\rho_0 A_1 v'_1 = \rho_0 A_2 v'_2$$

Az egyensúlyi sűrűséggel egyszerűsítve az 1-es és 2-es oldalakon a pillanatnyi térfogatáramok egyenlősége,

$$A_1 v'_1 = A_2 v'_2$$

Az 1-es keresztmetszetben belépő és visszavert hullámösszetevők, illetve a 2-es keresztmetszetben tovább haladó hullámösszetevő feltételezésével,

$$A_1 v'_b - A_1 v'_v = A_2 v'_t$$

Az energia egyenlet alapján a keresztmetszetváltozás síkjában az 1-es és a 2-es keresztmetszetekben haladó hangteljesítmények egymással megegyeznek:

$$P'_1 = P'_2$$

$$I'_1 A_1 = I'_2 A_2$$

$$p'_1 A_1 v'_1 = p'_2 A_2 v'_2$$

Az egyenlet bal és jobb oldalán egyaránt az utolsó két tag szorzata a pillanatnyi térfogatáram, értékük a kontinuitás egyenlet alapján egyenlő. A térfogatárammal egyszerűsítve, az akusztikai hangnyomás folytonosság,

$$p'_1 = p'_2$$

Az 1-es keresztmetszetben belépő és visszavert hullámösszetevők, illetve a 2-es keresztmetszetben egy tovább haladó hullámösszetevő feltételezésével,

$$p'_b + p'_v = p'_t$$

Szorozzuk meg az egyenletet egyenlet mindkét oldalát  $A_1$ -el

$$A_1 p'_b + A_1 p'_v = A_1 p'_t$$

A lineáris akusztikai mozgásegyenlet algebrai alakja az egyes hullám összetevőkre,

$$p'_b = \rho_0 a v'_b \quad p'_v = \rho_0 a v'_v \quad p'_t = \rho_0 a v'_t$$

Fejezzük ki a részecskesebességeket és helyettesítsük be a kontinuitás egyenletbe,

$$A_1 \frac{p'_b}{\rho_0 a} - A_1 \frac{p'_v}{\rho_0 a} = A_2 \frac{p'_t}{\rho_0 a}$$

Szorozzuk meg az egyenletet egyenlet mindkét oldalát  $\rho_0 a$ -val,

$$A_1 p'_b - A_1 p'_v = A_1 p'_t$$

és a kapott egyenletet adjuk össze az energia egyenlettel,

$$2A_1 p'_b = (A_1 + A_1) p'_t$$

Amelyből a tovább haladó és a beeső hangnyomások hányadosa,

$$\frac{p'_t}{p'_b} = \frac{2A_1}{A_1 + A_1}$$

A hangátvezetési tényező a tovább haladó és a beeső hangteljesítmények hányadosa,

$$\tau = \frac{P_t}{P_b} = \frac{I_t A_2}{I_b A_1} = \frac{\frac{p_{eff t}^2}{\rho_0 a} A_2}{\frac{p_{eff b}^2}{\rho_0 a} A_1} = \frac{4A_1 A_2}{(A_1 + A_1)^2}$$

A tovább haladó és a beeső pillanatnyi hangnyomások hányadosa az időtől független, így az érvényes az idővel súlyozott átlagra is, illetve legyen a keresztmetszetviszony  $m=A_1/A_2$ ,

$$\tau = \frac{4m}{(1+m)^2}$$

Az energia egyenlet eredeti alakja a teljesítményekkel,

$$P_b = P_v + P_t$$

Osszuk el mindkét oldalt a beeső hangteljesítménnyel,

$$\frac{P_b}{P_b} = \frac{P_v}{P_b} + \frac{P_t}{P_b}$$

$$1 = r + \tau \quad \text{amelyből,} \quad r = 1 - \tau$$

$$r = 1 - \tau = 1 - \frac{4m}{(1+m)^2} = \frac{(1+m)^2 - 4m}{(1+m)^2} = \frac{(1-m)^2}{(1+m)^2}$$

### Megjegyzések:

- A hangátvezetési tényező ( $\tau$ ) és a hangvisszaverődési tényező ( $r$ ) nem függenek a hangintenzitásától és a frekvenciájától, nagyságukat kizárólag a keresztmetszetviszony határozza meg.

- A  $\tau$  és  $r$  kifejezéseibe  $m$  helyett  $m$  reciprokát helyettesítve a kifejezések értéke nem változik, vagyis a hangátvezetési és a hangvisszaverődési tényezők nagysága független a hangterjedés irányától.

$$\tau = \frac{4 \frac{1}{m}}{\left(1 + \frac{1}{m}\right)^2} \frac{m^2}{m^2} = \frac{4m}{(m+1)^2}$$

(A hangterjedés szempontjából mindegy, hogy a hang a kisebb keresztmetszet irányából a nagyobb felé, vagy fordítva halad).

- Fontos megjegyzés, ha a hangterjedés irányában a keresztmetszet növekedés túl nagy ( $m < 0,05$ ) a tovább haladó hullám esetében a síkhullám közelítés már nem teljesül, a modell pontossága csökken.

- A hirtelen keresztmetszet változás gyakorlati alkalmazására például légtechnikai csőhálózatokkal (légtechnikai elosztó és gyűjtő vezetékek elágazásai), vagy fúvókával kapcsolatos zajvédelmi számításoknál kerül sor.

## 5.2. Gyakorló feladatok

Gy.1. Vezesse le a hirtelen csőkeresztmetszet változás hangátvezetési tényező összefüggését, sík beeső, visszavert és tovább haladó hanghullámok feltételezése esetén!

Gy.2. Milyen gyakorlati alkalmazást ismer a hirtelen csatorna keresztmetszet változásnál kialakuló hangátvezetési tényező összefüggésre, melyek az összefüggés alkalmazási korlátai?

Gy.3. Határozza meg a hirtelen csatornakeresztmetszet változás hanggátlását 0,5 , 0,1 és 0,01 keresztmetszetviszony esetén:

a.  $m=0,5$

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{(1+m)^2}{4m} = 10 \lg \frac{(1+0,5)^2}{4 \cdot 0,5} \approx 0,5 \text{ dB}$$

b.  $m=0,1$

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{(1+m)^2}{4m} = 10 \lg \frac{(1+0,1)^2}{4 \cdot 0,1} \approx 4,8 \text{ dB}$$

c.  $m=0,01$  (Ekkora keresztmetszet változás esetén a modell eredménye már csak becslének tekinthető!)

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} = 10 \lg \frac{(1+m)^2}{4m} = 10 \lg \frac{(1+0,01)^2}{4 \cdot 0,01} \approx 14,1 \text{ dB}$$

**Megjegyzés:** A hangosságkülönbségi hallásküszöb az a legkisebb hangnyomásszint változás, amellyel megnövelve vagy lecsökkentve az eredeti hang hangnyomásszintjét, az eredeti hangot éppen eltérő hangosságúnak érzékeljük. A hangosságkülönbségi hallásküszöb a hangosság és a frekvencia függvénye, nagysága az emberi hallás esetében a gépészeti zajvédelem szempontjából érdekes tartományon belül hozzávetőleg 0,5-2dB. Az (a.) feladatrészen meghatározott 0,5dB hanggátlás miatti hangnyomásszint csökkenés az emberi érzékelés határára esik (éppen meghalljuk).

-----