

Műszaki akusztika és zajcsökkentés (önálló felkészülést segítő tananyag)

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

14. előadás

Tartalom:

14. Zajcsökkentési módszerek (folytatás, előadásvázlat)

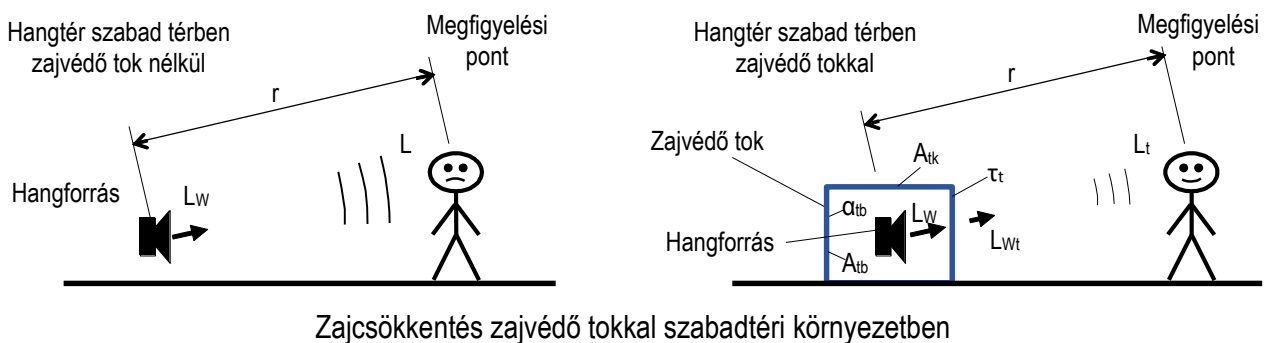
14.1. Zajvédő tok (előadás vázlat)

14.2. Csatorna hangtompítók (előadás vázlat)

14.3. Gyakorló feladatok

14. Zajcsökkentési módszerek

14.1. Zajvédő tok: A zajforrás köré épített, hanggátlófalú, a zajforrást a környező tértől teljesen elválasztó kialakítást zajvédő toknak nevezzük. A zajvédő tok szabad térben és hangvisszaverő falakkal határolt térben egyaránt alkalmazható, hatékony zajcsökkentési módszer. A zajvédő tok mérete a zajforrástól függően a párszor tíz centiméteres méretű doboztól, a több tíz méteres zajvédő gépházig terjedhet. A tok zajcsökkentő hatását a beiktatási veszteség fejezi ki. A tok beiktatási vesztesége a tok nélkül és tok jelenlétében ugyanabban a mérési pontban meghatározott hangnyomásszintek különbsége. A zajvédő tok beiktatási veszteség (ΔL_t) számítására szolgáló összefüggés levezetését szabad térben elhelyezett zajforrásra mutatjuk be (ld. ábra).



Hangtér számítása tok nélkül:

A szabad térben elhelyezett pontszerű minden irányban egyenletesen sugárzó hangforrás hangterének számítását korábban részletesen bemutattuk. Ennek megfelelően a pontforrás által kibocsátott hangteljesítmény (P), a hangforrás és a megfigyelési pont közötti távolság (r) és a sugárzási felület szűkítési tényező (D) függvényében (ld.: előző ábra bal oldala) a hangtér effektív hangnyomás négyzete,

$$p_{eff}^2 = P \frac{\rho_0 a D}{4\pi r^2}$$

Hangtér számítása a tok jelenlétében:

Építsünk a szabad térben elhelyezett pontszerű hangforrás köré hanggátló (hangterjedést akadályozó) anyagból a belső felületén hangelnyelő anyaggal (a hangterjedés során veszteséget okozó) bélelt zárt tokot. (Nagy hanggátlás nagy merevséggel, belső csillapítással és felületegységre jutó tömeggel érhető el. Az ilyen fal általában akusztikai kemény, hangvisszaverő tulajdonságú.) Ebben az esetben a zajforrásból kibocsátott hanghullám a belső hangelnyelő rétegen áthalad, majd az akusztikai kemény felületről visszaverődik, és ismét áthalad a hangelnyelő anyagon. Így a hanghullám minden egyes visszaverődés során kétszer halad át a hangelnyelő rétegen, miközben a mechanikai munkavégző képességének egy része disszipálódik,

visszafordíthatatlanul belsőenergia növekedéssé alakul (melegedik). Ha elég jó a külső fal hangvisszaverő képessége, sok visszaverődés alakul ki, a forrásból kibocsátott hangteljesítmény jelentős része hővé alakul, és csak kis része jut át a tok falán. A tok jelenlétében kialakuló kisebb kibocsátott hangteljesítmény miatt gyengébb a hangtér, és ugyanabban a megfigyelési pontban kisebb a hangintenzitás és az effektív hangnyomás négyzete.

A zajvédő tok falán átjutó hangteljesítményt a hangvisszaverő falakkal határolt hangtér számításához hasonló módon végezzük. A visszavert hangtér számítása során diffúz hangteret feltételeztünk. A tok belső felülete szokás szerint kicsi, a tokfal jó hangvisszaverő (a belső hangelnyelő borítás mögött hangvisszaverő külső fal van), ezért a tok belső terében a teremállandó kicsi és a tok falának térségében a közvetlen hangtérhez viszonyítva a visszavert hangtér a meghatározó. A zajforrás bekapcsolása és az állandósult állapot kialakulását követően a tok visszavert hangterébe belépő- és az onnan kilépő hangteljesítmények (P_{vtbe} és P_{vtki}) megegyeznek.

$$P_{vtbe} = P_{vtki}$$

A visszavert hangtérbe belépő teljesítmény az első visszaverődés utáni rész, a kibocsátott hangteljesítmény (P) és a felülettel súlyozott átlagos hangvisszaverődési tényező (\bar{r}_{tb}) szorzata. A visszavert hangtérből kilépő hangteljesítmény, a tok falra beeső hangintenzitás (I_{tb}), a tok belső felület (A_{tb}) és a tok belső felületén a felülettel súlyozott átlagos hangelnyelési tényező ($\bar{\alpha}_{tb}$) szorzata,

$$P\bar{r}_{tb} = I_{tb}A_{tb}\bar{\alpha}_{tb}$$

A változók számának csökkentése érdekében vegyük figyelembe, hogy ($\bar{r}_{tb} = 1 - \bar{\alpha}_{tb}$). Behelyettesítést követően,

$$P(1 - \bar{\alpha}_{tb}) = I_{tb}A_{tb}\bar{\alpha}_{tb}$$

A tok falán átjutó hangintenzitás (I_{tk}) a tok falára a belső térből beeső hangintenzitás és a tok falfelületével súlyozott átlagos hangátvezetési tényező ($\bar{\tau}$) szorzata,

$$I_{tk} = \bar{\tau} I_{tb} = \bar{\tau} \frac{P}{\frac{A_{tb}\bar{\alpha}_{tb}}{(1 - \bar{\alpha}_{tb})}} = \bar{\tau} \frac{P}{R_{Tt}}$$

Ahol, a tok belső felületére vonatkozó teremállandó,

$$R_{Tt} = \frac{A_{tb}\bar{\alpha}_{tb}}{(1 - \bar{\alpha}_{tb})}$$

A tok külső felületéről a külső szabad térbe kibocsátott hangteljesítmény (P_{tk}), tok falán átjutó hangintenzitás (I_{tk}) és a tok külső térrel határos felületének (A_{tk}) szorzata,

$$P_{tk} = I_{tk} A_{tk} = \bar{\tau} \frac{P A_{tk}}{R_{Tt}}$$

A tok külső felületéről a szabad térbe kibocsátott hangteljesítmény (P_{tk}), a hangforrás és a megfigyelési pont közötti távolság (r) és a sugárzási felületszűkítési tényező (D) függvényében (ld.: előző ábra jobb oldala) a hangtér effektív hangnyomás négyzete,

$$p_{efft}^2 = P_{tk} \frac{\rho_0 a D}{4\pi r^2} = \bar{\tau} \frac{P A_{tk} \rho_0 a D}{R_{Tt} 4\pi r^2}$$

A zajvédő tok beiktatási veszteség (ΔL_t) ugyanabban a megfigyelési pontban tok nélkül és tok jelenlétében meghatározott hangnyomásszintek különbsége,

$$\Delta L_t = L - L_t = 10 \lg \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} - 10 \lg \frac{p_{efft}^2}{p_0^2} = 10 \lg \frac{p_{eff}^2}{p_{efft}^2} = 10 \lg \frac{R_{Tt}}{\bar{\tau} A_{tk}} = 10 \lg \frac{1}{\bar{\tau}} + 10 \lg \frac{R_{Tt}}{A_{tk}}$$

$$\Delta L_t = R + 10 \lg \frac{R_{Tt}}{A_{tk}} [dB]$$

Megjegyzések:

- A zajvédő tok beiktatási veszteség (ΔL_t) a tok fal hanggátlás (R), a tok belső felületére vonatkozó teremállandó (R_{Tt}) és a tok külső felület (A_{tk}) függvénye. A fal hanggátlása és a belső felületre vonatkozó teremállandó (hangelnyelő képessége) a frekvencia függvényében változik, így a tok beiktatási vesztesége a frekvencia függvényében változó.

- A beiktatási veszteséget szabad térben elhelyezett zajforrás esetére vezettük le, de hangvisszaverő falakkal határolt térben gyakorlatilag ugyanezt a végeredményt kapjuk.

- Nagy a tok beiktatási vesztesége (ΔL_t), ha nagy a tok fal hanggátlás (R) (kicsi a hangátvezetési tényező ($\bar{\tau}$)), nagy a tok teremállandó (R_{Tt}) (nagy a tok belső felülete (A_{tb})) és nagy a tok belső felületén a felülettel súlyozott átlagos hangelnyelési tényező ($\bar{\alpha}_{tb}$)), illetve kicsi a tok szabad térrel határos külső felülete (A_{tk}).

- Ha az ($\bar{\alpha}_{tb}$) nagy (a tok fal jó hangelnyelő), és ($\bar{\tau}$) kicsi (a tok fal rossz hangátvezető), ez azt jelenti, hogy a falban nagy belső terjedési veszteség alakul ki. Ilyen tulajdonsággal általában egy anyagrétegből felépülő fal nem rendelkezik, ezért a jó tokfal összetett rétegrenddel készül. A rétegrend fontos részei a tok fal külső oldalán a hang terjedést visszaverődéssel megakadályozó, „akusztikailag kemény” réteg (pl.: acéllemez, vasbeton, ...) és a fal belső, hangforrás felőli oldalán a hang számára terjedési veszteséget okozó hangelnyelő réteg (pl.: üveg-, vagy kőzetgyapot, ...).

- A tok belső felülete ék alakú, vagy hullámos felület kialakítással növelhető. A szabad térrel határos külső felület az alapszintre, élbe vagy sarokba helyezéssel csökkenthető.

- Gyakorlati tanács, a tok falát, csatlakozását az alapszinthez hézagmentesen kell elkészíteni. A zajforrás és a tok fal között rezgés átvezetésére alkalmas mechanikai kapcsolat ne legyen.

- Ha a tokban olyan zajforrás van, amely működése során felmelegedik (pl.: villanymotor) a hűtőlevegő be- és elvezetését hangtompított csatornaszakaszon keresztül kell megvalósítani. A hangtompítók és a zajvédő tok beiktatási vesztesége egyenlő legyen. Ugyanez érvényes más technológiai nyílások létesítése esetén is.

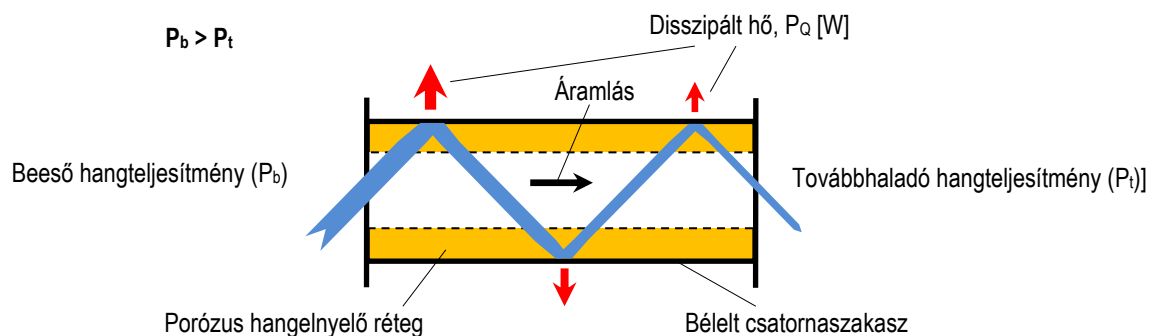
14.2. Csatorna hangtompítók: Csövekben, csatornáknak a zaj terjedését hangtompító beépítésével csökkentjük. A hangtompító egy csatornaszakasz, amelyet kis áramlási ellenállás és nagy akusztikai ellenállás (beiktatási veszteség) jellemez. A csatorna hangtompítót általában légnemű, ritkán cseppfolyós közegben terjedő zajok csökkentésére használjuk. Tipikus alkalmazási területek az áramlástechnikai gépek (pl.: ventilátor, fúvó vagy kompresszor) szívó- és nyomócsónkjába épített hangtompító, vagy energetikai gépek és berendezések esetében a belsőégésű motor füstgáz kipufogó, gázturbina légbeszívó és kipufogó vagy, kazán füstgáz kémény hangtompítók.



Reaktív (bal oldalon) és abszorberes (jobb oldalon) csatorna hangtompítók

Zajvédelmi szempontból a hangtompítók fontos jellemzője a beiktatási veszteség (csatornában ugyanabban a megfigyelési pontban hangtompító nélkül és hangtompítóval mért hangnyomásszintek különbsége). A csatorna hangtompítók két fő típusa, az abszorberes és a reaktív hangtompítók (ld. előző ábra), amelyek mellett számon tartunk még speciális, csövekben, csatornáknak alkalmazható zajscsökkentő eszközöket (pl.: aktív csatorna hangtompító, lefúvató hangtompító).

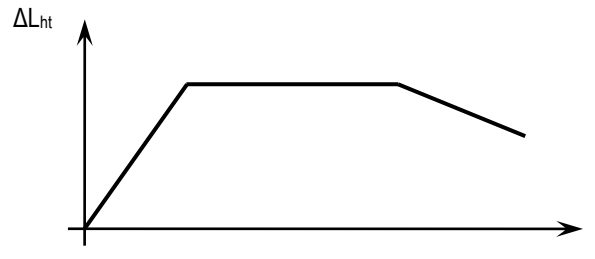
Hangelnyeléses hangtompítók: A hangelnyeléses vagy abszorberes hangtompítók belső felületét porózus (általában üveg- vagy kőzetgyapot, ritkábban nyitott cellás habszivacs, ...) hangelnyelő anyagréteg borítja. A hangtompító kialakítása miatt a belépő hanghullámok jelentős része előbb-utóbb rávetődik a porózus anyag felületére. A porózus anyagban a vékony szálak között, illetve az apró lyukakban a hang terjedése során disszipatív veszteség lép fel (a hang munkavégző képessége nem visszafordítható módon belsőenergia növekedéssé alakul), a folyamat elvi vázlatát a következő ábra mutatja.



Bélelt csatornában a hangterjedés során a porózus anyagban kialakuló veszteség

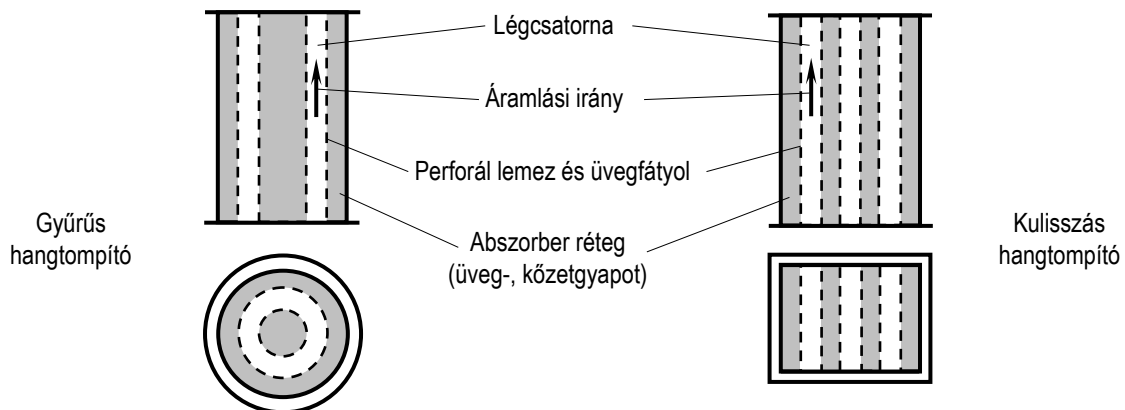
A porózus anyagrétegben a disszipatív veszteség kialakulása összetett jelenség, fontos szerepet játszik benne a viszkózus folyadéksúrlódás, a hővezetés és bizonyos esetekben még a Coulomb-féle száraz súrlódás is befolyásolhatja. A veszteséget a szilárd test és a levegő közötti létesülő határréteg jellemzői, illetve a nagy kölcsönhatási (súrlódási, hőátadási) felület okozza. A porózus anyagrétegben és így a hangtompítóknak kialakuló veszteségek leírására, a mérnöki tervező munkához használható, könnyen kezelhető matematikai modell jelenleg nem áll rendelkezésre. Az abszorberes hangtompítók méretezését empirikus módszerrel, modell mérésekkel meghatározott dimenziótlan hangelnyelés görbék, vagy konkrét gyártmányok típus mérései alapján végezzük. A következő ábra egy abszorberes hangtompító beiktatási veszteségének változását mutatja

frekvencia függvényében valóságos belépő hangterjedési irány megoszlás esetén. A hangterjedés során porózus közegben a folyadéksűrűlódás és a hővezetés miatt kialakuló (klasszikus) disszipatív veszteségek a frekvencia négyzetével arányosak, így kis frekvencián az abszorberes hangtompítók beiktatási vesztesége kicsi. Nagy frekvencián a hullámhossz jóval kisebb, mint a hangtompító csatornák jellemző mérete, így hangelhajlás kisebb mértékben alakul ki, a hanghullámok „sugarasan átlőnek” a szabad csatorna keresztmetszeteiken, amely a beiktatási veszteség csökkenését okozza. Kis és nagy frekvencia tartomány között, a gépész zajvédelem szempontjából fontos közepes frekvencia tartományban, az abszorberes hangtompítók hatásos, szélessávú zajcsökkentő eszközök.



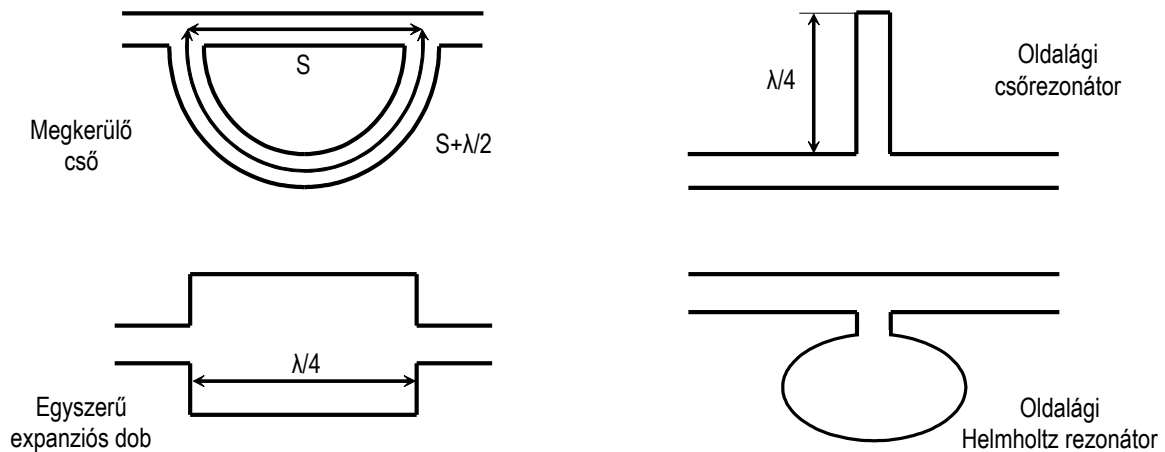
Elnyeléses hangtompító beiktatási veszteség változásának jellegzetes szakaszai a frekvencia függvényében sztochasztikus megoszlású hangbeesés esetén

Az abszorberes hangtompító alaptípusai a kulisszás és gyűrűs csöves hangtompítók, vázlatos rajzuk a következő ábrán látható. A beiktatási veszteség növelése érdekében nem csak a csatorna belső falára kerül elnyelő réteg, hanem négyzet keresztmetszetű csatorna esetén adott osztással kialakított belső táblalemezekben (kulisszákba), vagy kör keresztmetszetű csatorna esetén a szimmetria tengelyben elhelyezett magcsőbe.



Gyűrűs és kulisszás abszorberes hangtompítók vázlatos rajza

Reaktív hangtompítók: A reaktív hangtompítók visszaverődések, kioltási interferencia létesítésével, bizonyos esetekben a rezonáns viselkedés során megnövekedő disszipatív veszteséggel csökkentik a hang tovább terjedését. A reaktív hangtompítóknál kiemelt fontosságú a geometriai kialakítás és a hang hullámakusztikai viselkedése. Alaptípusok az expanziós dob, oldalági Helmholtz- és csőrezonátorok, illetve megkerülő (Quincke) cső, vázlatos rajzukat a következő ábra mutatja.



Egyszerű reaktív hangtompítók elvi vázlatrajza

A reaktív hangtompítók általában keskeny frekvenciatartományban (vagy tartományokban) hatékonyak. Méretezéstől függően kis frekvencián is nagy beiktatási veszteség érhető el velük. Ha a zajcsökkentési feladatot több diszkrét frekvencián, vagy frekvenciatartományon kell végrehajtani, úgy a szükséges beiktatási veszteség az alaptípusok megfelelő kapcsolásával hozható létre. Az alaptípusokból felépülő összetett hangtompítók eredő beiktatási vesztesége egyszerű hálózatszámítási módszerekkel nem határozható meg.

14.3. Gyakorló feladatok:

Gy.1. Egyszerű energetikai akusztikai modell segítségével vezesse le a zajvédő tok beiktatási veszteségének összefüggését! A megoldáshoz készítsen ábrát, ismertesse az egyszerűsítő feltételeket, illetve az összefüggés alkalmazási korlátait. A levezetett összefüggés alapján indokolja meg a hatásos zajvédő tok készítéséhez szükség tok fal rétegréndjét! (ld.: óravázlat)

Gy.2. Sorolja fel a legfontosabb csatorna hangtompító típusokat! (ld.: óravázlat)

Gy.3. Javasoljon csatorna hangtompító típust légttechnikai rendszerbe szélessávú zajkibocsátás esetén, illetve rögzített fordulatszámú belsőégésű motor kipufogási zaj csökkentésére.
