

Műszaki akusztika és zajcsökkentés (önálló felkészülést segítő tananyag)

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

13. előadás

Tartalom:

- 13. Zajcsökkentési módszerek (előadásvázlat)
- 13.1. Zajcsökkentés módszertani áttekintése (előadás vázlat)
- 13.2. Zajárnyékoló fal (előadás vázlat)
- 13.3. Gyakorló feladatok

13. Zajcsökkentési módszerek

A zajvédelem alapvető feladatai a zajterhelés meghatározása, minősítése és indokolt esetben, lehetőség szerint megszüntetése vagy elfogadható szintre csökkentése. Zajcsökkentésre számos esetben kerülhet sor, például termékfejlesztéssel kapcsolatban, vagy egy üzemi berendezés telepítését követően kialakult zajkonfliktus megoldásánál. Ha egy berendezésnél rendszeresen zajproblémák merülnek fel, a termék fejlesztésének fontos része lesz annak csendesítése is. Városi környezetben telepített zajos berendezés esetében a megfelelő védőtávolság hiányában az elfogadható környezeti zajterhelés sokszor csak utólagos zajcsökkentéssel biztosítható. Ebben a fejezetben a különböző zajcsökkentési módszerek általános áttekintését és néhány, a gépészmérnöki gyakorlat szempontjából fontos zajvédelmi eszköz részletes leírását mutatjuk be.



A zajkonfliktus kialakulásának általános vázlata

13.1. Zajcsökkentés módszertani áttekintése: Zavaró zajterhelés (zajkonfliktus) kialakulásához minden esetben szükség van zajforrásra, zajtól védett személyekre és a kettő között kialakuló zajterjedésre (ld. ábra). Ez a felosztás (forrás, terjedés, védett tér) jól alkalmazható a különböző zajcsökkentési módszerek csoportosítására.

Zajcsökkentés a kibocsátott hangteljesítmény csökkentésével: Minden környezetszennyezési probléma megoldásának elsődleges módja a szennyezés forrásának megszüntetése vagy a kibocsátás elfogadható szintre mérséklése. Ez igaz a zajvédelemre is. Gondosan tervezett, nagy értékű kompakt berendezésben (pl.: gépjármű belsőégésű motor, kültéri folyadékhűtő aggregátor, ...) kialakuló folyamatok, a konstrukció átalakítására zajcsökkentés érdekében utólag általában nem nyílik lehetőség. Ilyenkor az a megfelelő sorrend, ha a zajforrás által kibocsátott hangteljesítményszint csökkentésére a termék fejlesztése során kerül sor. Más esetben a zajjal járó műszaki berendezés vagy folyamat, az eredeti feladat változatlan végrehajtása mellett, a zajcsökkentés érdekében megváltoztatható. A zajforrások által kibocsátott hangteljesítmény a következő módszerekkel csökkenthető:

A zajkeltő alapfolyamat módosítása: Berendezések, technológiai folyamatok esetében a zaj általában egy szükséges alaptervekenység káros mellékterméke. A zajt okozó alaptervekenység fizikai folyamatának átalakítása, volumenének, teljesítményének csökkentése sokszor a kibocsátott zajteljesítmény csökkenését is kiváltja. Például az életlen vágószerszámmal végzett munka során megnő a hatóerő, a deformáció és a keltett

zaj, a megoldás a szerszám rendszeres állapotfelmérése, szükség esetén megélezése. Légellátó rendszer szabályozására lehetőség szerint fojtás helyett fordulatszám változtatás alkalmazása. Fontos tehát, mielőtt a zajcsökkentési feladat „hagyományos” eszközeivel élnénk, mindig érdemes a berendezésekben lezajló folyamatokat áttekinteni és felmérni a lehetőséget azok átalakítására a zajcsökkentés érdekében. A következő részben a műszaki gyakorlat szempontjából a három legfontosabb zajkeltő fizikai móddal (mechanikai, áramlási és termikus) kapcsolatban foglalunk össze alapvető zajcsökkentési lehetőségeket.

Mechanikai zajok csökkentése:

- A rezgések, impulzusos erőhatások okának megszüntetése
- Ütések, ütközések elkerülése, egyenletes gördülő felületek biztosítása
- Forgó alkatrészek statikus és dinamikus kiegyensúlyozása
- A mechanikai gerjesztés és sugárzó felületek elszigetelése egymástól
- A mechanikus berendezés szerkesztésénél nagy tömegű, nagy merevségű konstrukció alkalmazása
- Nagyobb belső csillapítású szerkezeti anyag használata
- Lehetőség szerint megfelelő kenés, energiaelnyelők alkalmazása
- Nagy egybefüggő hangsugárzó felületek perforálása
- Mechanikai rezonancia megszüntetése

Áramlási zajok csökkentése:

- Az áramlási sebesség csökkentése
- Időben változó térfogatáram elkerülése
- Szilárd testek felülete mentén, időben állandó, egyenletes áramlás biztosítása
- Sebességi nyírórétegek, keveredési zónák kialakulásának megakadályozása
- Lehetőség szerint turbulens helyett lamináris áramlás létrehozása, nagy áramlási turbulencia elkerülése
- Áramló közegben kialakuló instabilitások, öngerjesztett rezgések elkerülése
- Áramlási leválások, kavitáció, lökéshullám megszüntetése
- Nagy sebességű szabadsugarak, fojtásos szabályozás elkerülése
- Periodikus áramlási jelenségek által keltett szerkezeti- és akusztikai rezonanciák elkerülése

Termikus zajok csökkentése:

- Egyenletes hőfelszabadulással járó feltételek biztosítása
- Egyenletes üzemanyag- és levegőellátás és megfelelő keveredés létrehozása
- Láng instabilitások elkerülése
- Robbanás, detonáció elkerülése
- Lehetőség szerint lamináris láng alkalmazása turbulens láng helyett
- Turbulens láng esetén alacsony turbulenciafok biztosítása az előkeveredési és az égési zónában
- Kopogásos égés elkerülése belsőégésű motorokban
- Termikus hatásokkal erősített közeg lengések megszüntetése

Zajcsökkentés a hangterjedés megakadályozásával: Ha a zajforrás által kibocsátott hangteljesítmény nem csökkenthető, a szükséges zajvédelem a zavaró hang terjedésének megakadályozásával is megoldható. A

zajforrás környezetétől függően a zajterjedés korlátozására számos lehetőség adódik (zajvédő fal, zajvédő tok, ...). Megkülönböztetünk szabad térben, hangvisszaverő falakkal határolt térben vagy csövekben, csatornában alkalmazható módszereket, de lesznek olyanok eszközök is, amelyek több esetben is hatásosak. A hangterjedés megakadályozásával megvalósított zajcsökkentés egy sajátos esete az aktív zajcsökkentés. Ennél a hangcsökkentési módnál a csendet mesterséges ellenhanggal létrehozott kioltási interferencia eredményezi. A helyszín jellegétől függően a zajterjedés korlátozására a következő módszerek alkalmazhatók:

Szabad térben:

- Hangforrástól mért védőtávolság növelése
- Kedvező (kis intenzitású) sugárzási irány kiválasztása (ha a hangforrás sugárzási iránykarakteristikája térben változik)
- Sugárzási felület szűkítési tényező (hangforrás mellett a hangvisszaverő határolófelületek) csökkentése
- Zajárnyékolás (mesterséges fallal vagy természetes objektummal)
- Zajvédő növényzóna telepítése (dús lombos, sűrű aljnövényzet)
- Zajvédő burkolat, tokozás, zajvédő gépház, üzempülék alkalmazása

Falakkal határolt térben belső zajforrás esetén:

- Közvetlen hangtér meghatározó jellege esetén: távolság növelés, kedvező sugárzási irány kiválasztása, sugárzási felület szűkítési tényező csökkentése, zajárnyékoló paraván építése
- Visszavert hangtér meghatározó jellege esetén: Teremállandó (R_T) belső felület és hangelnyelési tényező növelése, hangelnyelő falburkolat, zajárnyékoló és hangelnyelő paraván illetve kiegészítő hangelnyelő függesztékek felszerelése
- A közvetlen és a visszavert hangtér meghatározó jellegétől függetlenül: Zajvédő burkolat, tokozás, zajvédő belső gépház, üzemi helyiség alkalmazása, a zajforrást tartalmazó épületrész leválasztása elválasztó fallal

Falakkal határolt térben külső zajforrás esetén:

- A helyiséget határoló fal hanggátlásának növelése
- Teremállandó (belső felület és hangelnyelési tényező) növelése a vevő helyiségben

Csövekben, csatornában:

- A hangforrástól mért távolság növelése (hangelnyelő falú csövekben), kis áramlási sebesség és kis saját zajkeltés esetén
- Hanggátló csatornaelemek (pl.: iránytörés, szűrő, ...) beépítése kis áramlási sebesség és kis saját zajkeltés esetén
- Abszorberes hangtompító (lemezes, gyűrűs) beiktatása
- Reaktív hangtompító (expanziós dob, oldalági rezonátor, megkerülő-cső, ...) beiktatása
- A csatornafalban kialakuló testhang terjedés csökkentésére kis merevségű csatorna kompenzátor beépítése

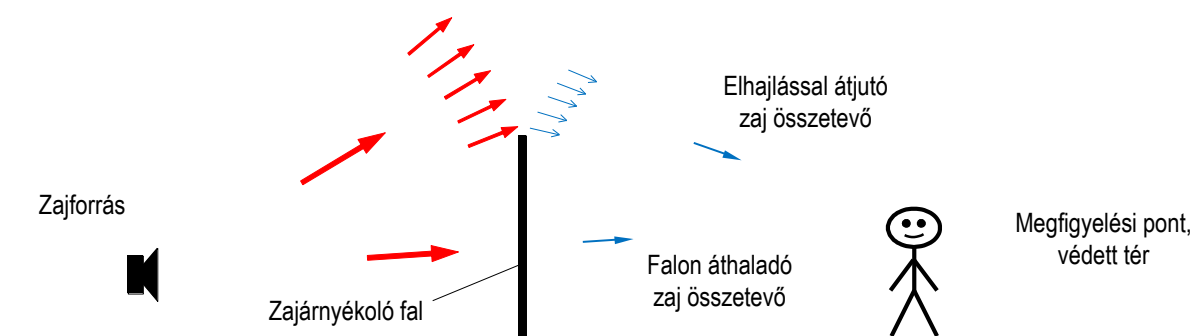
Aktív zajcsökkentés:

- Egydimenziós (aktív zajszűrős fejhallgató, aktív csatorna hangtompító)
- Háromdimenziós

Zajcsökkentés egyéni (személyes) zajvédelemmel: Zajcsökkentési feladatok megoldása során lesznek olyan esetek, amikor a zajforrás nem csendesíthető, és a forrásból kilépő hang terjedése nem akadályozható meg reális műszaki megoldással. Ekkor a zajvédelem személyes védelemmel vagy zajtól védett tartózkodási terek kialakításával biztosítható. Például egy erőművi turbinacsarnokban az időszakos ellenőrző bejáráson résztvevő személyzet hallásának védelmére a turbinákat nem alakítják át és nem építenek a berendezések köré zajvédő tokot (amely a szemrevételezésnél fontos vizuális megfigyelhetőséget akadályozza). Ilyenkor a zajvédelem érdekében a dolgozók részére hallásvédő felszerelést biztosítanak, vagy zajszigetelt vezérlőtermet alakítanak ki. Az utóbbi esetben a megfelelő üzemi állapot ellenőrzése a berendezésre érzékelők felszerelésével, távfelügyelet kialakításával, illetve a kritikus helyekre vizuális megfigyelést lehetővé tevő ipari kamerák telepítésével oldható meg. Egyéni (személyes) zajvédelem a következő eszközökkel, módszerekkel valósítható meg:

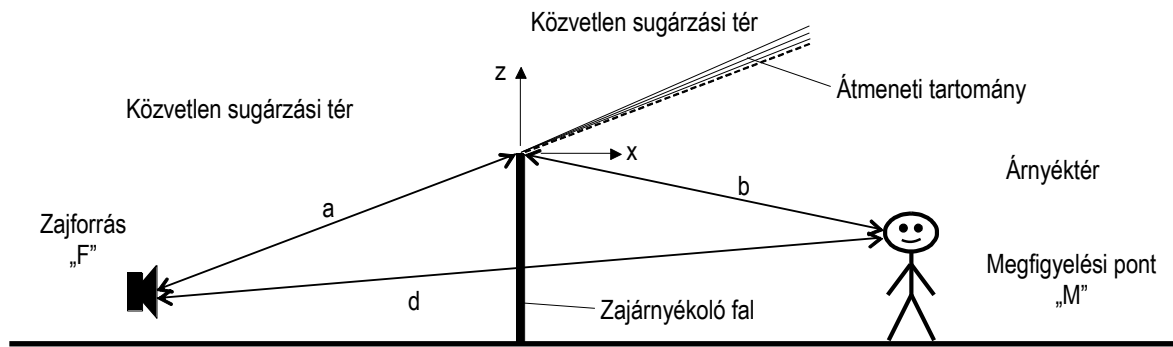
- Egyéni zajvédő felszerelés (füldugó, fülvédő tok) használata
- Munkaidő beosztás (zajos és csendes munka-, pihenőidő szakaszok), személyes zajexpozíció korlátozása
- Zajszigetelt kezelőfülke, vezérlőterem és pihenő helyiség építése

13.2. Zajárnyékoló fal: A zajforrás és a védett tér között elhelyezett, az optikai átláthatóságot megakadályozó falat zajárnyékoló falnak nevezzük. A zajárnyékoló fal rétegrendje mindig hanggátló (hangterjedést akadályozó) kialakítású. A zajárnyékoló fal a zajforrást a külső környezettől nem légtömören választja el. Zajárnyékoló fal építésére nagyméretű, vagy térben nagy területen elosztva elhelyezett zajforrások (ipari terület), bizonytalan helyzetű járművek (közúti járművek, vasúti szerelvény, ...), vagy biztonsági okból nem bezárható berendezések (petrolkémiai üzem szivattyú állomás, gázfogadó, ...) zajcsökkentése érdekében kerül sor. Zajárnyékolás nem csak külön erre a célra épített hanggátló fallal, hanem meglévő tereptárgy (épület, tömör vasbeton kerítés, töltés, ...) felhasználásával is létrehozható. A zajárnyékoló fal legfontosabb tulajdonsága a beiktatási veszteség (ΔL_f), a fal nélkül és fal jelenlétében ugyanabban a megfigyelési pontban meghatározott hangnyomásszintek különbsége. A zajárnyékoló fal hangterjedést akadályozó képességét két akusztikai jelenség, az elhajlás és a fali átterjedés határozzák meg (ld.: következő ábra). A szükséges beiktatási veszteség elérése érdekében a fal hosszát és magasságát a hangelhajlás, a fal vastagságát és rétegrendjét a falon keresztül kialakuló hangátvezetés alapján számolhatjuk.



Zajárnyékoló fal jelenlétében a védett részre elhajlással és fali átvezetéssel átjutó hangösszetevők

Először határozzuk meg a védett térbe elhajlással átjutó zaj összetevőre vonatkozó beiktatási veszteség (ΔL_h) nagyságát. A zajvédő fal zajforráshoz képest másik felén található a védett oldal. A védett oldalon a zajforrás és a fal legmagasabb pontját összekötő egyenes alatti rész az árnyéktér. Közvetlenül az egyenes feletti keskeny sáv az átmeneti tartomány, illetve az átmeneti tartomány feletti rész a közvetlen besugárzási tér (ld.: következő ábra). A beiktatási veszteség nagysága attól függ, hogy a megfigyelési pont a védett oldal melyik részén, az árnyéktérben, az átmeneti tartományban, vagy a közvetlen sugárzási térben helyezkedik el.



Zajárnyékoló fal mögött a védett oldalon kialakuló jellemző sugárzási terek

A beiktatási veszteség a Helmholtz-Kirchoff diffrakciós integrál megoldásával határozható meg. A számításhoz felhasznált egyszerűsítő feltételek, az elrendezés szabad térben helyezkedik el, a zajforrás pontszerű, a falréteg hanggátlása végtelen és a zajárnyékoló fal végtelen hosszú. A megfigyelési pont helyétől függően a zajárnyékoló fal beiktatási vesztesége (ΔL_h),

Árnyéktérben, ha $\frac{z_F}{x_F} \geq \frac{z_M}{x_M}$, ahol x_F és z_F a zajforrás koordinátái, illetve x_M és z_M a megfigyelési pont koordinátái a zajvédő fal felső részéhez illesztett x - z koordinátarendszerben (ld. előző ábra).

$$\Delta L_h = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi N}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi N}} + 5 \text{ [dB]}$$

Átmeneti tartományban, ha $\frac{z_F}{x_F} < \frac{z_M}{x_M}$ és $0 < N \leq 0,2$

$$\Delta L_h = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi N}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi N}} + 5 \text{ [dB]}$$

Közvetlen besugárzási tartományban, ha $\frac{z_F}{x_F} < \frac{z_M}{x_M}$ és $N > 0,2$ $\Delta L_h = 0$ [dB]

$$\text{ahol a Fresnel-szám: } N = \frac{2}{\lambda} (a + b - d)$$

Megjegyzések:

- Tökéletes zajszigetelő (végtelen hanggátlású) zajárnyékoló falréteg esetén a beiktatási veszteség a Fresnel-szám (N) függvénye. Növekvő Fresnel-számhoz növekvő beiktatási veszteség tartozik.

- A Fresnel-szám a megkerülőút és a közvetlen hangterjedési úthossz különbség ($a+b-d$) illetve a hullámhossz (λ) hányadosának a kétszerese. Nagy hangterjedési úthossz különbség akkor alakul ki, ha a fal jelenlétében a zajforrás és a megfigyelési pont között a falat legrövidebb úton, levegőben kikerülő hangterjedés távolság ($a+b$) és a zajforrás és a megfigyelési pont közötti közvetlen távolság különbsége nagy. Gyenge elhajlás és nagy beiktatási veszteség jön létre, ha nagy a hangterjedést akadályozó objektum jellemző méretéhez képest kicsi a terjedő hang hullámhossza (nagy a frekvencia). Ez a megállapítás más hullámjelenségekre is érvényes.

- A gyakorlatban a zajárnyékoló falak rétegrendjét úgy kell összeállítani, hogy a vizsgált frekvencián a fal hanggátlása (R_{fal}) ~ 10 dB-el legyen nagyobb, mint a hangelhajlással átjutó zaj összetevőre vonatkozó beiktatási veszteség (ΔL_h),

- A lágy felületű zajárnyékoló falat a zajforrás felőli oldalon hangelnyelő anyag, a kemény felületű zajárnyékoló falat hangvisszaverő anyag borítja. A kemény felületű zajárnyékoló falak környezetállósága és élettartama nagyobb, mint a lágy falaké. Olyan telepítési helyszínen, ahol a zajárnyékoló fal mindkét oldalán védett tér van, beiktatási veszteséget rontó, káros hangvisszaverődések elkerülése érdekében lágy falat kell alkalmazni.

- Nagy távolságban kialakuló hangterjedés esetén az atmoszférikus szél és az inverz hőmérsékleti rétegződés miatt kialakuló hangterjedési anomáliák a zajárnyékoló falak hatásosságát csökkenthetik.
- A szabad térben felállított zajvédő falat kültéri környezetálló kivitelűre kell készíteni. Zajvédő falak esetében az atmoszférikus szél miatt kialakuló terhelés hatását és az alapozásnál a talajmechanikai körülményeket kiemelt figyelemmel kell kezelni.

13.3. Gyakorló feladatok:

Gy.1. Ismertesse a zajcsökkentés három legfontosabb módszertani alapelvét, adjon az egyes módszerekre példákat! (ld.: óravázlat)

Gy.2. Ismertesse az egyéni zajvédelem eszközeit! (ld.: óravázlat)

Gy.2. Mi a különbség a lágy és kemény felületű zajárnyékoló falak között, adjon példát az alkalmazási területeikre!
