

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

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

13. és 14. előadások (2020.12.02. és 2020.12.09.)

### **Tartalom:**

13.1. Zajvédelemi bevezető, zajvédelmi mérőszámok (előadás vázlat)

13.2. Gyakorló feladatok

14.1. Zajcsökkentési módszerek áttekintése (előadás vázlat)

14.2. Gyakorló feladatok

### **13.1. Zajvédelemi bevezető, zajvédelmi mérőszámok (előadás vázlat)**

Korunk egyik széles körben elterjedt zavaró, egészségkárosító hatása a környezeti zajterhelés. Zavaró zajhatás kialakulhat lakó- és a munkahelyi környezetben, de a hallásunk számára a szabadidőben, kikapcsolódás során nagy hangerővel megszólaló zene is lehet káros hatású. A zaj zavarhatja a munkavégzést vagy a pihenést. A fokozott zajterhelés a hallószerv túlzott igénybevételét, általános fáradtságot, kritikus esetben maradandó halláskárosodást és más betegségeket okozhat. A zajterhelés személyes, fizikai és jogi körülményeit tekintve egyedi kategóriát képez, ezért az erre vonatkozó előírásokat külön zaj rendeletek foglalják össze.

**Zaj jellemzői:** A zaj szónak számos különböző jelentése van. Környezetvédelmi szempontból az élő környezetet, kifejezetten az embert zavaró, a hallószervet fárasztó hangot nevezzük zajnak. Ebben az értelemben a zaj legfontosabb jellemzői a környezetszennyezési forma, lokális és közvetlen jelleg, civilizációs probléma, illetve az élettelen környezetben általában nem hagy nyomot.

Más környezetkárosító hatásokkal összevetve a zajkibocsátás is a környezetszennyezés egy módja. Hasonlóan, mint a levegő porral, a víz olajjal vagy a talaj vegyi anyaggal történő szennyezése. A zaj túlzott jelenléte zavaró és káros az ember számára, hatásának elfogadható szintre csökkentése a zajvédelem feladata, amely a környezetvédelem fontos része.

Hatósugarát tekintve a zaj többnyire lokális probléma. Épületen belül egy zajforrás hatása többnyire néhány szomszédos helyiségre, legfeljebb az érintett épülettömbre korlátozódik. Ugyanez szabad térben néhány száz méter, de igen nagy teljesítményű hangforrás esetén is csak néhány kilométer távolságra terjed a zavaró hang hatása. Evvel szemben például légszennyezés esetében a forrástól akár több száz km-es távolságban is kialakulhat környezetkárosítás.

A zaj zavaró hatása csak közvetlenül a besugárzás időtartama alatt tapasztalható. A zavaró hang nem marad meg sem az élő szervezetben, sem az élettelen környezetben. (Evvel szemben például egy tengeri olaj szennyezés esetén az olaj mindaddig a vízben marad és szennyez, ameddig el nem távolítják, vagy hosszú idő után el nem bomlik, illetve enyészik.)

A zaj jellegzetes civilizációs probléma, amely az élettér összeszűkülésével, a nagy számban alkalmazott zajos, műszaki, technológiai berendezésekkel és a zaj iránti fokozott érzékenység kialakulásával hozható kapcsolatba. Városi környezetben az élettér összeszűkülése, tehát az egyes emberek, lakások közötti jellemzően kis távolság miatt, a zaj elleni védekezés egyik legfontosabb eszköze, a megfelelő védőtávolság megtartása nem teljesül.

A különböző zajos műszaki berendezések és technológiák megkönnyítik életünket (pl.: földművelés állati erővel vagy traktorral, fém megmunkálás kézi reszelővel vagy elektromos sarokcsiszolóval), de a számunkra hasznos alaptevékenység mellett használatuk, alkalmazásuk során káros környezeti hatások, például zaj keletkezik.

Hangbesugárzást követően ritkán alakul ki maradandó, utólag is kimutatható nyom, elváltozás az élettelen környezetben. Zaj esemény utólagos bizonyítása ilyen alapon nem, vagy csak egyedi esetekben végezhető el. Evvel szemben a zaj az élő szervezetben időszakos (kipihenhető, meggyógyuló) és maradandó (nem kipihenhető, nem meggyógyuló) szubjektív (érzékszervi) és objektív (műszeres) módon egyaránt kimutatható elváltozásokat (pl.: hallásküszöb emelkedés) okozhat.

**Hang hatása az emberre:** A hang az emberi élet elválaszthatatlan része. Idesorolható a beszéd és hallás kommunikáció, a zenei élmény és a zavaró zaj, amelyek elsősorban a hallószerven keresztül fejtik ki hatásukat szervezetünkre.

A beszéd és hallás alapvető fontosságú az emberi kommunikációban. Hiányában a tanulás, a munka, a játék, általában társadalmi létünk csak nehézségek árán oldható meg. A zenélés és a zene hallgatása különleges lelki, szellemi tevékenység. A zenei élmény sok öröm forrása, és a zene szeretete, sokrétűségének köszönhetően mindenkinek utat talál. Tudomásul kell azonban venni, hogy nem minden hangjelenség hasznos vagy kellemes számunkra, lesznek zavaró hangok is. Fontos leszögezni, hogy függetlenül a bennünket érő hang hasznos, kellemes, vagy zavaró jellegétől, a hallószervet, illetve általában az idegrendszert minden hangbesugárzás igénybe veszi és fárasztja. Természetesen a hasznos vagy kellemes hangoknak kedvezőbb a szubjektív megítélése, mint a zavaró hangoké. A fárasztó hatás mértékét számos objektív (hangjelenségtől függő) és szubjektív (megfigyelő személytől függő) tényező befolyásolja. Az objektív tényezők közül a legfontosabb a besugárzás hangnyomásszintje és időtartama. A szubjektív tényezők közül az éppen végzett tevékenység, élethelyzet, egészségi állapot szempontok emelhetők ki.

Az emberi szervezetet nem hallószerven keresztül érő hanghatások a frekvenciától, energiataralomtól függően különböző hatásmechanizmusokon keresztül fejtik ki hatásukat. Ilyenek lehetnek például a kis frekvenciájú (infrahang) besugárzás miatt a testszövetekben, szervekben kialakuló mechanikai fáradás hatására megjelenő funkció zavar, károsodás, vagy a nagy energiájú és frekvenciájú (ultrahang) besugárzás miatti termikus és kavitációs sejtszövet roncsolódás.

**Zajvédelmi mérőszámok:** A zajvédelem alapvető feladata a zajterhelés nagyságának meghatározása, összehasonlítása a vonatkozó határértékkel és indokolt esetben megszüntetése, de legalább elfogadható szintre csökkentése. Ehhez a feladathoz elengedhetetlen olyan mérőszámok és értékelési módszerek bevezetése, amellyel megfelelő biztonsággal minősíthető a zajterhelés. A zajterhelés megítélését objektív, a külső környezettől függő, mérhető fizikai mennyiségek és a zajterhelést elszenvedő személy szubjektív körülményei együtt határozzák meg. Az objektív, külső környezettől függő tényezőket (pl.: hangnyomás, frekvencia, ...) a zajvédelmi mérőszám tartalmazza. A szubjektív tényezők a határértékek skálázásával vehetők figyelembe, úgy hogy a különböző tevékenységekhez, élethelyzetekhez más-más nagyságú rendeleti határérték tartozik.

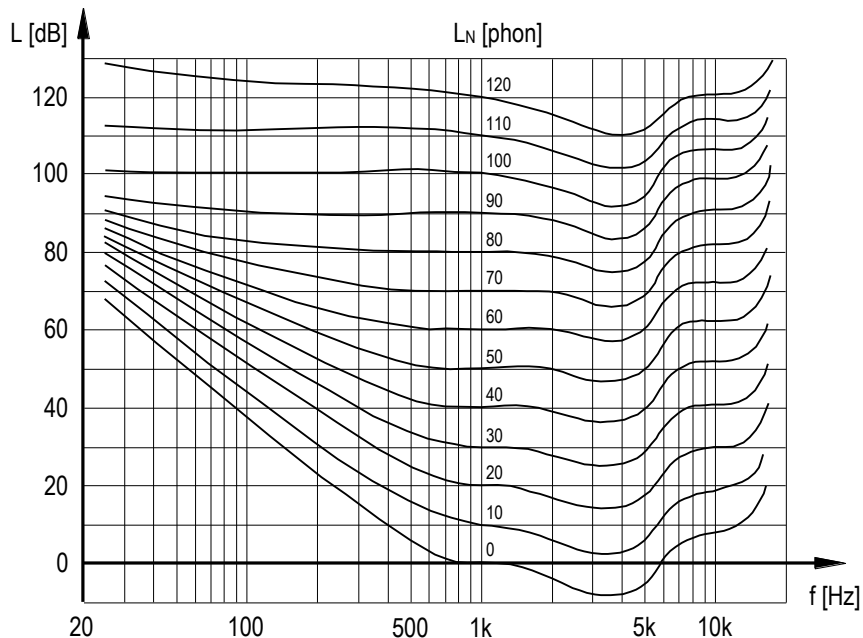
**A zajterhelés megítélését befolyásoló objektív tényezők:** Gyakorlati megfigyelés szerint a kis hangnyomásszintű rövid ideig tartó zajokkal kapcsolatban általában elfogadóbb, evvel szemben a nagy hangnyomásszintű hosszú ideig tartó zajokról inkább elmarasztaló a véleményünk. Az objektív megítélést befolyásoló két legfontosabb fizikai mennyiség a besugárzás hangnyomásszintje és a besugárzási idő, amelyek együtt a zajexpozíciót határozzák meg. Az említett két mennyiség mellett a zajterhelés megítélését befolyásoló további fizikai jellemzők a frekvencia, hangszínkép, időbeli lefutás és a háttérből való kiemelkedés mértéke.

**Zajexpozíció:** A zajexpozíció ( $\Delta W$ , más néven zajdózis) a hang által a hallószervre kifejtett fárasztó munka, a külső hallójáratba bejutó hangteljesítmény ( $P_h$ ) és besugárzási idő ( $\Delta t$ ) szorzata,

$$\Delta W = P_h \Delta t = I_a A_h \Delta t = \frac{p_{\text{eff}}^2}{\rho_0 a} A_h \Delta t = \frac{A_h}{\rho_0 a} p_{\text{eff}}^2 \Delta t \sim p_{\text{eff}}^2 \Delta t$$

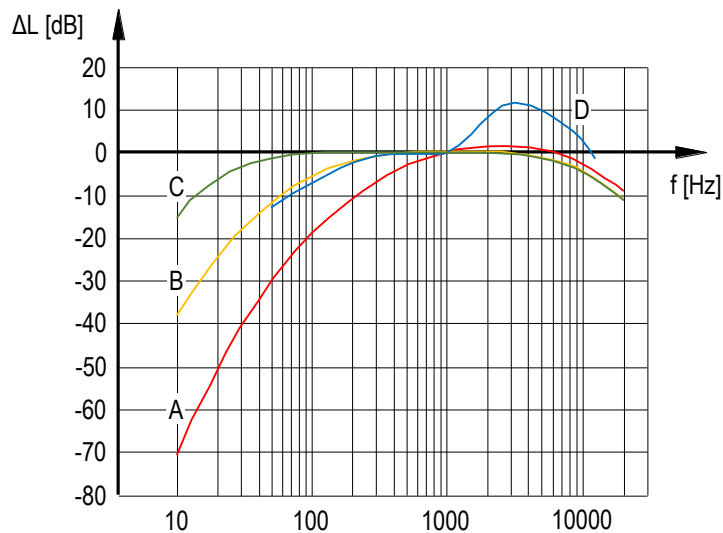
A zajexpozíció jelentése analóg a fényképezésnél használt megvilágítottság, vagy fényexpozíció fogalmával. A külső hallójáratba bejutó hangteljesítmény a besugárzó hang intenzitás ( $I_a$ ) és a külső hallójárat keresztmetszet ( $A_h$ ) szorzata. Feltételezve, hogy a hallószervhez elérő hang egy szabadon terjedő síkhullám, az intenzitás az effektív hangnyomás ( $p_{\text{eff}}$ ) négyzet, illetve az egyensúlyi sűrűség ( $\rho_0$ ) és a hangsebesség ( $a$ ) szorzatának hányadosa. A hangot közvetítő közeg általában (technikai) normál állapotú ( $p_0=1\text{bar}$ ,  $t_0=20^\circ\text{C}$ ) levegő, továbbá az egyes emberek külső hallójáratának keresztmetszete nagyjából egyforma, ezért az  $(A_h/\rho_0 a)$  hányados értéke jó közelítéssel állandó. Praktikus megfontolásból az effektív hangnyomást (illetve annak négyzetét) szintben fejezzük ki. Így a zajvédelmi gyakorlatban a zajexpozíciót meghatározó két mennyiség a hangnyomásszint pontosabban az adott időtartamra vonatkozó idővel súlyozott átlagos hangnyomásszint az egyenértékű hangnyomásszint (ld.: később) és a besugárzási idő.

**Frekvencia függés:** Az átlagos, egészséges, emberi hallás érzékelési tartománya közelítőleg 20...20000Hz. Ezen a sávon belül a hallás érzékenysége frekvencia függvényében változik. Az érzékenység változása azt jelenti, hogy ugyanolyan hangerő érzet kialakításához változó hangnyomásszint szükséges. Az emberi hallás érzékenységének frekvencia függését jól jellemzik a Harvey Fletcher és Wilden A. Munson amerikai mérnök-fizikusok által 1933-ban publikált „Fletcher-Munson” azonos hangosság szint görbék. **Hangosság szint:** Egy adott hang hangosság szintje a vele megegyező 1kHz frekvenciájú tiszta hang hangnyomásszintjével egyenlő. A hangosság szint szubjektív akusztikai mérőszám, jele  $L_N$ , mértékegysége a phon.



Azonos hangosság szint görbék

Az előző ábrán bemutatott görbesereg az állandó hangosság szint (állandó hangerősség érzet) létrehozásához szükséges hangnyomásszinteket mutatja a frekvencia függvényében. Így például az 1kHz frekvencián 40dB hangnyomásszintű, azaz 40phon hangosság szintű tisztahanggal megegyező hangosság eléréséhez 80Hz frekvencián közelítőleg 65dB hangnyomásszint szükséges. Az azonos hangosság szint görbék meghatározását tisztahangokkal, szabadtéri környezetben, kétfülű érzékeléssel, időben kitartott (állandó) hangokkal végezték el. Összegzésük nehézkes, nem követi sem az algebrai, sem a szint összegzés szabályait. Az 1933-ban publikált azonos hangosság szint görbék meghatározását azóta pontosabb mérési módszerekkel megismételték. A vizsgálatok eredményét „ISO 226:2003 Acoustics - Normal equal-loudness-level contours” nemzetközi szabvány tartalmazza. Az azonos hangosság szint görbék megmutatják, hogy az emberi hallás legérzékenyebb tartománya hozzávetőleg 500...5000Hz közé esik. Ennél kisebb és nagyobb frekvenciákon a hallásunk érzékenysége folyamatosan csökken az érzékelési határokig. A hangosság szint növekedésével az érzékenység frekvencia függése egyenletesebb lesz. A sok alkalmazási feltétel és a matematikai műveletekkel kapcsolatos nehézségek miatt a hangosság szint használata a gyakorlatban zajterhelések minősítéséhez nem terjedt el. Fontos kiemelni, ahol kevésbé érzékeny a hallásunk, ott ugyanolyan hangnyomásszint kisebb hangosság érzetet, és így kisebb fárasztó hatást hoz létre. Ezért a hallás frekvencia függő érzékenységét a zaj szubjektív megítélésénél figyelembe kell venni. Ehhez a hangosság szint megszorításait nem tartalmazó, a szintekkel végzett műveletek szabályaihoz alkalmazkodó, A, B, C és D súlyozott hangnyomásszinteket használjuk. A súlyozott hangnyomásszint meghatározásához a zajt a frekvencia mentén oktáv- vagy tercésávokra bontjuk. A hallás érzékenységével összhangban, kis és nagy frekvencia tartományban a sávszinteket negatív súlyozó érték hozzáadásával csökkentjük, a két tartomány között a súlyozó érték 0dB, vagy kis pozitív súlyozó értékekkel enyhén kiemeljük a sávszinteket. A súlyozott sávszintek összegzését követően kapott eredő súlyozott hangnyomásszint a vizsgált zajra és annak hallószervünkre kifejtett fárasztó hatására egyaránt jellemző egymérőszámú mennyiség. Kis hangosság szint tartományban A-súlyozást, növekvő hangosság esetén rendre B, C és D szűrőket használunk. Az A, B, C és D súlyozó szűrők frekvencia menetét a következő ábra mutatja.



Az A, B, C és D súlyozó szűrők karakterisztikája a frekvencia függvényében

Az A, B, C és D súlyozással meghatározott hangnyomásszintek az A-, B-, C- és D-hangnyomásszintek ( $L_A$ ,  $L_B$ ,  $L_C$  és  $L_D$ ), mértékegységük rendre dB(A), dB(B), dB(C) és dB(D). A magyar és a nemzetközi szabályozást áttekintve, a különböző súlyozott hangnyomásszintek közül a környezeti zajrendeletben az A-hangnyomásszint, illetve a munkahelyi zajrendeletben az A- és C-hangnyomásszintek szerepelnek.

**A-hangnyomásszint:** Az A-hangnyomásszint ( $L_A$ ) oktávsváros felbontásban a következő összefüggés alapján számolható.

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_{\text{okt}i} + \Delta L_{A\text{okt}i})} \quad [\text{dB(A)}]$$

A különböző oktávsvár-középfrekvenciákhoz tartozó A-súlyozó értékeket ( $\Delta L_{A\text{okt}}$ ) a következő táblázat tartalmazza. Az A-hangnyomásszint tercsváros felbontásban, illetve a B-, C- és D hangnyomásszintek oktáv- és tercsváros felbontásban ehhez hasonlóan számíthatók, az A, B, C és D súlyozó értékeket akusztikai szabványok, illetve szakkönyvek tartalmazzák. Az A- és C-hangnyomásszintek mérését általában már az alapszintű hangmérőknél is hozzáférhető A- és C-súlyozó szűrő bekapcsolásával közvetlenül elvégezhetjük.

$f_{\text{okt}}$ [Hz]	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
$\Delta L_{A\text{okt}}$ [dB]	-39,2	-26,1	-16	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,5

A-súlyozás relatív szintek az oktávsvár-középfrekvencia függvényében ( $\Delta L_{A\text{okt}}$ )

**Egyenértékű hangnyomásszint:** A gyakorlatban a zajok többsége időben változó jellegű. Az időben változó (instacioner) zajok egymérőszámos jellemzője az egyenértékű hangnyomásszint ( $L_{\text{eq}}$ ), vagy az A-hangnyomásszint esetében az egyenértékű A-hangnyomásszint ( $L_{A\text{eq}}$ ). Meghatározás szerint egy időben változó zaj hallásra kifejtett fárasztó hatása megegyezik az időben kitartott egyenértékű hangnyomásszintje által, ugyanakkora időtartamon okozott fárasztó hatással. Egy időben változó zaj egyenértékű hangnyomásszintjét a hangnyomásszint idő függvény idővel súlyozott energia átlagával határozzuk meg. Az A-hangnyomásszint időfüggvény ( $L_A(t)$ ) ismeretében a  $t_m$  mérési időre vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszint ( $L_{A\text{eq}}$ ) a következő összefüggéssel számítható,

$$L_{A\text{eq}} = 10 \lg \left( \frac{1}{t_m} \int_0^{t_m} 10^{0,1L_A} dt \right) \quad [\text{dB(A)}]$$

Az egyenértékű hangnyomásszint a belépő szintű műszereknél a megfelelő funkció bekapcsolását követően közvetlenül mérhető. Sok esetben a hosszú ideig tartó zajok időben lépcsőzetesen változnak, és így az egyes

szakaszokon belül a zajterhelés közelítőleg állandó. Például egy munkahelyi zajterhelés vizsgálatnál, amelynél a mérési idő, a munkaidő hosszával megegyező 8óra, jellemző tevékenyégekre (eligazítás az irodába, munka a beosztási helyen, pihenőidő, ...) és így közel állandó zajterhelésű szakaszokra bontható. Ilyenkor felesleges a teljes időtartamon folyamatos mérést végezni, az egyenértékű A-hangnyomásszint az egyes zajterhelési szakaszokra jellemző A-hangnyomásszint ( $L_{Ai}$ ), és a zajterhelés rész-időtartam ( $\Delta t_i$ ) ismeretében, a következő összefüggés szerinti idővel súlyozott átlaggal is meghatározható.

$$L_{Aeq} = 10 \lg \left( \frac{1}{t_m} \sum_{i=1}^n \Delta t_i 10^{0,1 L_{Ai}} \right) \quad [\text{dB(A)}]$$

Az összefüggésben ( $n$ ) a teljes megítélési időtartam során a különböző zajterhelésű rész-időszakok száma. Egy adott időben változó zajra vonatkozó egyenértékű hangnyomásszint és a besugárzási idő együtt a zajexpozíció értékét fejezi ki. Az egyenértékű A-hangnyomásszint és a besugárzási idő együtt az adott zaj hallószervre kifejtett fárasztó hatásának zajexpozíciója a hallás frekvencia érzékenységének figyelembe vételével.

**Időbeli lefutás:** A zajexpozíció és a frekvencia mellett a szubjektív megítélést nagymértékben befolyásolja a zaj időbeli lefutása. Általános megfigyelés, hogy ugyanolyan zajexpozíció mellett az időben hirtelen felnövekedő, majd lecsökkenő, impulzusszerű (dörrenés, csattanás), illetve periodikusan ingadozó (megkülönböztetett jelzést használó jármű hangja, hangtani lebegés) zajok megítélése kedvezőtlen. Evvel szemben a lassan változó és a kitartott zajokkal kapcsolatban elfogadóbb ítéletet alkotunk. Az impulzusos zajok által okozott többlet fárasztó hatást környezeti zajok minősítésénél impulzuskorrekcióval, a munkahelyi zajok esetében a csúcs időállandóval mért legnagyobb C-hangnyomásszint határértékkel vesszük figyelembe. A periodikusan modulált zajok fokozott zavaró hatásának minősítésére a jelenleg érvényes zajrendelet egyiké sem ad értékelési módszert.

**Spektrum:** Zajok szubjektív megítélését befolyásoló további tényező a zajspektrum vagy hangszínek alakja. Egy zavaró zaj spektrumával kapcsolatban megállapítható, hogy ugyanolyan zajexpozíció esetén a tiszta hangú (tonális), azaz kiemelkedő frekvencia összetevőt tartalmazó (búgó, füttyülő jellegű) zaj szubjektív megítélése kedvezőtlenebb, mint a szélessávú, tisztahangú összetevőt nem tartalmazó (vízcsofogás, szélfúvás) zajé. A tonális összetevő miatt kialakuló többlet zavaró hatást a környezeti zajok esetében keskenysávú korrekció alkalmazásával vehetjük figyelembe, a jelenleg érvényes munkahelyi zajrendelet ilyen korrekciót nem tartalmaz.

**Kiemelkedés a háttérből:** A zajok szubjektív megítélését befolyásoló tényezők között említést kell tenni még a háttérzajból való kiemelkedés mértékére. Mindenki számára ismerős, hogy a konyhai vízcsap csepegésének zaja nappal általában nem feltűnő, hangja fedésben van a megemelkedett környezeti háttérzajban. Éjszaka, a háttérzaj csökkenését követően a csepegés hangja jól észlelhetővé válik, és zaj iránti némi érzékenység esetén akár zavaró is lehet.

**Megítélési hangnyomásszint:** Környezeti zajok minősítését a megítélési hangnyomásszint ( $L_{AM}$ ) nagysága alapján végezzük el. A megítélési hangnyomásszint az egyenértékű A-hangnyomásszint és négy korrekciós tényező összege. Az egyenértékű A-hangnyomásszinthez tartozó megítélési idő üzemi zajforrások esetén nappal a legnagyobb megítélési szintet adó folyamatos 8óra, éjszaka a legnagyobb megítélési szintet adó folyamatos 30perc, illetve közlekedési zajforrások esetén a teljes nappali 16óra és éjszakai 8óra időtartam (zajexpozíció!). A korrekciós értékek rendre: alapzaj korrekció ( $K_a$ ), berendezetlen helyiség miatti korrekció ( $K_b$ ), tonális (keskenysávú) korrekció ( $K_t$ ) és impulzus korrekció ( $K_i$ ).

$$L_{AM} = L_{Aeq} + K_a + K_b + K_t + K_i \quad [\text{dB(A)}]$$

**Alapzaj korrekció:** A helyszíni mérések során a vizsgált üzemi berendezés zaját általában a környező részekről származó alap (háttér) zaj jelenlétében lehet elvégezni, így közvetlenül az üzemi zaj helyett az alapzaj és az üzemi zaj együttes hangnyomásszintje mérhető. Ha lehetőség nyílik a vizsgált üzemi berendezés kikapcsolására az alapzaj hangnyomásszint önmagában megmérhető. Az üzemi zaj hangnyomásszint az alapzaj és üzemi zaj együttes érték illetve az alapzaj szintkülönbsége alapján számolható.

**Berendezetlen helyiség miatti korrekció:** Épületek használatba vétele előtt, az engedélyezési eljárás általában zajvizsgálatot is tartalmaz. Ebben az állapotban a helyiségek még nincsenek berendezve. A berendezési tárgyak zömében hangelnyelők, így a mérések során a megemelkedett visszavert hangtér miatt a mért zajszintek általában magasabbak a későbbi, berendezett állapothoz képest. Az eltérés a berendezetlen helyiség miatti korrekcióval javítható. A korrekció értéke a berendezetlen helyiségben mérhető utözengési időből számolt hangelnyelés és a vonatkozó szabvány által megadott referencia hangelnyelés értékek alapján határozható meg.

**Tonális korrekció:** A vizsgált zajban jelenlévő tisztahangú összetevő miatt kialakuló többlet zavaró hatást tonális korrekcióval vesszük figyelembe. A tonális korrekció a zaj tercsávós spektrumában kimutatott tisztahangú összetevővel szomszédos sávszintekhez képes mérhető kiemelkedés mértéke alapján a szabvány által megadott értékelési módszerrel számolható.

**Impulzus korrekció:** A időben hirtelen felnövekvő majd lecsökkenő hangesemény miatt kialakuló többlet zavaró hatást impulzus korrekcióval vesszük figyelembe. Az impulzus korrekció az impulzus- és lassú időállandóval mért legnagyobb A-hangnyomásszintek különbsége alapján a szabvány által megadott értékelési módszerrel számolható.

### 13.2. Gyakorló feladatok:

Gy.1. Mi a zaj, és foglalja össze a legfontosabb sajátosságait és az élettani hatásait! (ld.: jegyzet)

Gy.2. Helyszíni mérés során egy zaj oktávsváros spektrumát határoztuk meg. Számolja ki a zaj A-hangnyomásszintjét! A sávhangnyomásszintek ( $L_{okt}$ ) és az A-súlyozás relatív szintek ( $\Delta L_{Aokt}$ ) az oktávsváv középfrekvenciák ( $f_{okt}$ ) függvényében a következő táblázatban található.

$f_{okt}$ [Hz]	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
$L_{okt}$ [dB]	80	90	90	80	70	60	60	50	50	40
$\Delta L_{Aokt}$ [dB]	-39,2	-26,1	-16	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1	-6,5

Megoldás:

$f_{okt}$ [Hz]	31,5	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	16k
$L_{okt} + \Delta L_{Aokt}$ [dB]	40,8	63,9	74	71,4	66,8	60	61,2	51	48,9	33,5

$$L_A = 10 \lg(10^{4,08} + 10^{6,39} + 10^{7,4} + 10^{7,14} + 10^{6,68} + 10^6 + 10^{6,12} + 10^{5,1} + 10^{4,89} + 10^{3,35}) \approx 76,9 \text{ [dB(A)]}$$

Gy.3. Írja le a környezeti zajterhelés minősítésére szolgáló megítélési hangnyomásszint összefüggését, nevezze meg a benne szereplő változókat! (ld.: jegyzet)

Gy.4. Egy dolgozót munkahelyi feladatainak teljesítése során ért zaj besugárzás 3 óra 65dB(A), 1 óra 70dB(A) és 4 óra 55dB(A) időtartam és egyenértékű A-hangnyomásszint zajterhelés szakaszokra bontható. Határozza meg a dolgozót érő 8 óra megítélési időre vonatkozó zajexpozíció ( $L_{EX,8h}$ ) értékét!

Megoldás:

$$L_{EX,8h} = 10 \lg \left( (1/8) \sum_{i=1}^n \Delta t_i 10^{0,1 L_{Aeqi}} \right) = 10 \lg \left( (1/8) (3 \cdot 10^{6,5} + 10^7 + 4 \cdot 10^{5,5}) \right) = 64,1 \text{ dB(A)}$$

### 14.1. Zajcsökkentési módszerek áttekintése (előadás vázlat)

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 berendezéssel kapcsolatban rendszeresen zaj problémák 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.



A zajkonfliktus kialakulásának általános vázlata

**Zajcsökkentés módszertani áttekintése:** Zavaró zajterhelés (zajkonfliktus) kialakulásához minden esetben szükség van zajforrásra, zajtól védett személyekre és a kettő között kialakuló zajterjedésre. 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:

**- Az zajkeltő alapfolyamat módosítása:** Berendezések, technológiai folyamatok esetében a zaj általában egy szükséges alaptevékenység káros mellékterméke. A zajt okozó alaptevékenység 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 felmérése, szükség esetén megélezése. Kis áru mennyiséggel nagy teherautó ne induljon útra. Légellátó rendszer szabályozására lehetőség szerint fojtás helyett fordulatszám változtatás alkalmazása. Életlen betonfúróval tovább tart a furat elkészítése és a zajhatás, a zajcsökkentés a fúró köszörülésével, szükség esetén cseréjével oldható meg. Fontos tehát, mielőtt a zajcsökkentési feladatot „hagyományos” eszközeivel élnénk, mindig érdemes a berendezésekben lezajló folyamatokat áttekinteni és felmérni a lehetőséget azok átalakítására a zajcsökkentés érdekében. A zajcsökkentés módjának meghatározása az üzemi berendezések, a technológia folyamatok átalakításával a hozzáértő gépész szakember leleményességének jó kibontakozási tere. A következő részben a műszaki gyakorlat szempontjából három legfontosabb zajkeltő fizikai folyamat típussal (mechanikai, áramlási és termikus) kapcsolatban foglaljuk össze a legfontosabb 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, energia elnyelők 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
- Nagy sebességű szabadsugarak, fojtásos szabályozás, nagy áramlási turbulencia elkerülése
- Áramlási leválások, kavitáció, lökéshullám megszüntetése
- Áramló közegben kialakuló öngerjesztett rezgések 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
- Robbanások elkerülése
- Lehetőség szerint lamináris láng alkalmazása turbulens láng helyett
- Turbulens láng esetén alacsony turbulenciafok biztosítása az előkeveredési és az égési zónában
- Kopogás elkerülése belsőégésű motorokban
- Termikus gerjesztésű rezonanciák megszüntetése

**Zajcsökkentés a hangterjedés megakadályozásával:** Ha a zajforrás által kibocsátott hangteljesítmény nem csökkenthető, a szükséges zajvédelem a zaj 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 sugárzási irány kiválasztása (térben változó sugárzási iránykarakterisztika esetén)
- Sugárzási felület szűkítési tényező csökkentése
- Zajárnyékolás (mesterséges fallal vagy természetes objektummal)
- Zajvédő növényzóna telepítése
- Zajvédő burkolat, tokozás, zajvédő gépház alkalmazása

**Falakkal határolt térben belső zajforrás esetén:**

- Közvetlen hangtér meghatározó jellege esetén: távolság növelés, kedvező sugárzási irány kiválasztása, sugárzási felület szűkítési tényező csökkentése, zajvédő paraván építése
- Visszavert hangtér meghatározó jellege esetén: Teremállandó (belső felület és hangelnyelési tényező) növelése, zajvédő paraván és kiegészítő hangelnyelő falburkolat felszerelése
- A közvetlen és a visszavert hangtér meghatározó jellegétől függetlenül: Zajvédő burkolat, tokozás, zajvédő belső gépház alkalmazása, vagy 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 esetén
- Hanggátló csatornaelemek (pl.: iránytörés, szűrő, ...) beépítése kis áramlási sebesség esetén
- Abszorberes hangtompító (lemezes, gyűrűs) beiktatása
- Reaktív hangtompítóval (expanziós dob, oldalágirezonátor, megkerülő-cső, ...) beiktatása
- A csatornafalban kialakuló testhang terjedés csökkentésére csatorna kompenzátor beépítése

**Aktív zajcsökkentés:**

- Egy-dimenziós (aktív zajszűrős fejhallgató, aktív csatorna hangtompító)
- Három-dimenziós



**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 bejárásokon résztvevő személyzet hallásának védelmére a turbinákat nem fogják átalakítani, 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, és a kritikus helyek megfigyelésére ipari kamerákat telepítenek. 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

#### **14.2. Gyakorló feladatok:**

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

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

-----