

4. Hangérzet, hangosság, zajosság

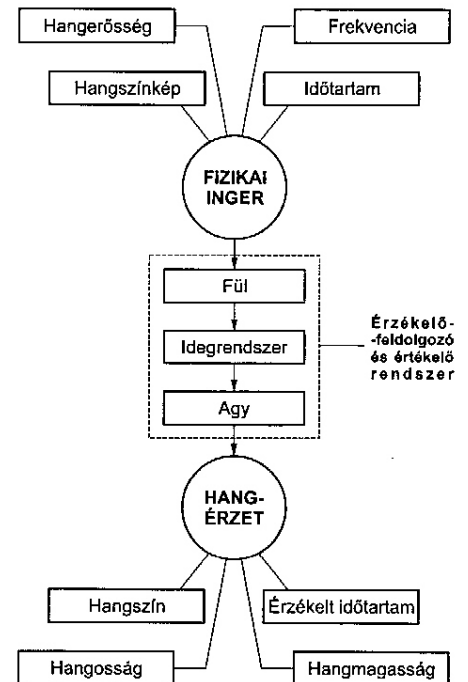
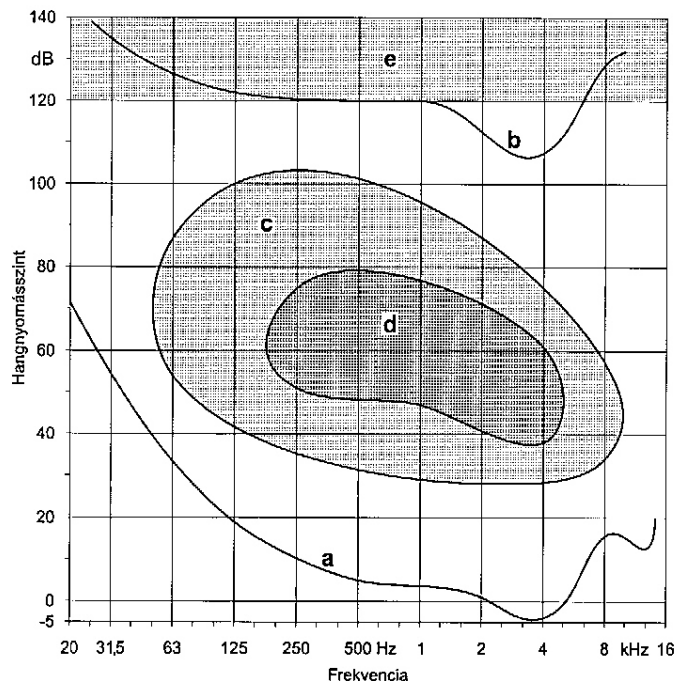
4.1. A hangérzet fő jellemzői

A hangérzet a hang – mint fizikai inger – által kiváltott bonyolult élettani jelenség, amelynek tanulmányozása és kutatása a fiziológiai akusztika részét képező hallástan tárgykörébe tartozik. *Tarnóczy Tamás: Hangnyomás, hangosság, zajosság* c. könyvének [49] III. fejezete részletesen ismerteti a hangérzet kialakulásának folyamatát, amelyben a fül, az idegrendszer és az agy vcsz részt, a 4.1. ábra szerint. A következőkben csak a gyakorlat szempontjából fontos tudnivalókat ismertetjük.

A 4.1. ábra felső részén feltüntettük a hang legfontosabb fizikai tulajdonságait. Az ábra alsó részén – az érzeti oldalon – ezek mindegyikéhez rendeltünk egy-egy élettani jellemzőt. A fizikai hangerősségnek a hangosság-, a frekvenciának a hangmagasság-, a hangszíneknek a hangszín-, az időtartamnak az érzékelt időtartam az érzeti megfelelője. Ezek az összetartozó fogalompárok azonban nem függetlenek a többiektől, így például a hangosságérzet nemcsak a fizikai hangerősségtől, hanem a frekvenciától is függ, amint azt a későbbiekben látni fogjuk.

4.2. Hallásterület

A hallásterület, vagy hallástartomány^{4.1)} a hangérzetet kiváltó hangok frekvencia – hangnyomásszint tartománya a 4.2. ábra szerint, amely a hangérzetet kiváltó, legkisebb hangnyomásszinteket ábrázoló *a* jelű hallás-



4.1. ábra
A hangérzet kialakulásának folyamatábrája
Tarnóczy könyvének [49] 1. ábrája alapján

4.1) Hörfläche, Hörbereich;
audible field/range

4.2. ábra

A hallás jellegzetes területei és határai

- Egészséges fiatalok hallásküszöb görbéje tisztahangokra (azonos a 4.5. ábra hallásküszöb-görbéjével)
- Hangként érzékelhető felső határ (azonos a 4.9. ábra 120 phon hangosságszintű görbéjével)
- A hangszeres zene területe
- A beszédhangok területe
- Elviselhetetlen érzetet, vagy fájdalmat okozó hangok területe, C. M. Harris szerint [50]

küszöb-görbe és az elviselhetetlen érzetet, vagy fájdalmat okozó hangok e jelű sávja között helyezkedik el. A hallásterület jellegzetes részeinek kijelölése tekintetében a szakirodalom nem egységes és folyton változik [4][34][45][49][50]. A 4.2. ábrán közölt adatok többségét *L. Cremer* és *M. Hubert* tankönyvéből [45] vettük át.

4.3. A hangosságot jellemző mennyiségek

4.3.1. Szubjektív phon-hangosság szint

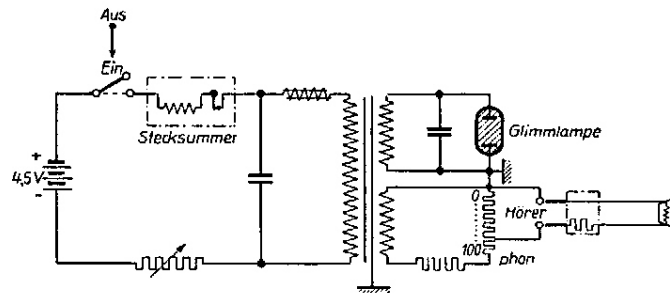
4.2) Az akusztikai mérés technikában *H. Barkhausen* óta végbement fejlődést is illusztrálja ez a kapcsolási rajz, ha összevetjük a napjainkban használt műszerek integrált áramköreinek rajzaival.

A *phon* kifejezést elsőként *H. Barkhausen* használta az ember által érzékelt – szubjektív – hangosság erősségének jellemzésére. A hangosság mérése céljából 1926-ban általa megalkotott mérőműszer [51] fényképe – amelyet *W. Reichardt* könyvéből [35] vettünk át – a 4.3. ábrán-, kapcsolási rajza pedig a 4.4. ábrán látható.^{4.2)}



4.3. ábra
Barkhausen szubjektív hangosság szintmérője, amelyből a Siemens cég csak néhány darabot gyártott

4.3) *W. Weber* (1804–1894) és *G. T. Fechner* (1801–1887) szerint a hangérzet erőssége a fizikai ingert jellemző intenzitás és az ingerküszöböt jellemző intenzitás hányadosának logaritmusával arányos.



4.4. ábra
Barkhausen hangmérőjének kapcsolási rajza

A zseniálisan egyszerű műszer egy 800 Hz alaphangfrekvenciájú zümmögőt (*Stecksummer*), egy teljesítményerősítőt és egy fülhallgatót tartalmazott. Az összehasonlító hangként szolgáló zümmögő hangerősségét potencióméter segítségével-, a hangérzetet keltő legkisebb szinttől kezdődően 100 decibelig tudták fokozni. Valamely hang (pl. az utcai közlekedés által keltett zaj) szubjektív hangosság szintjét úgy határozták meg, hogy a vizsgáló személy egyik füléhez szorította a fülhallgatót, a másik fülével pedig a vizsgált hangot érzékelt. A zümmögő hangerősségét addig változtatták, amíg a vizsgáló személy jelezte, hogy a két hangot ugyanolyan hangosságúnak észleli. Ekkor a műszer kijelzőjén leolvasták a zümmögő fizikai hangerősségét és az ehhez tartozó érzetet *phon*-hangosságnak nevezték, vagyis a műszer decibel-skáláját kiterjesztették az érzeti oldalra is, az ún. *Weber – Fechner-féle* általános pszichofizikai törvénynek megfelelően.^{4.3)} A mért adatok megbízhatóságának fokozása céljából ugyanazt a hangot több személy bevonásával vizsgálták. Ily módon ± 5 phonra becsülték az átlagolt mérési adatok hibáját, ha a vizsgált hang frekvenciaösszetétele hasonló volt (pl. közlekedési zaj).

4.3.2. Objektív phon-hangosság szint

Az első hangosság szint-görbék

Fletcher és *Munson* 1933-ban kísérletekkel igazolták [52], hogy a hangosság érzet erőssége bármilyen hangnyomásszintű hang esetén függ a frekvenciától is, a 4.5. ábra szerint. Megállapították, hogy a *Weber – Fechner-féle* törvény csak egy szűk frekvenciatartományra (1000 Hz és környezete)

érvényes, vagyis az 1000 Hz frekvenciájú tisztahang hangosságának mérőszáma, a phon-hangosság szint azonos lehet a hangnyomásszinttel. Más frekvenciájú és erősségű hangok phon-hangosság szintjét kísérleti úton határozták meg. A kísérleti személy váltakozva hallott egy 1000 Hz frekvenciájú, ismert hangnyomásszintű és egy eltérő frekvenciájú hangot. Ennek hangnyomásszintjét addig változtatták, amíg a kísérleti személy a két hangot ugyanolyan hangosságúnak ítélte. Így készült el a 4.5. ábrán látható görbesereg.

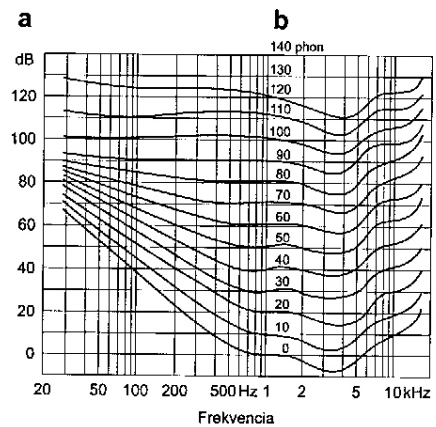
Nem véletlen, hogy a hangok nagyfrekvenciájú összetevőire vagyunk a legérzékenyebbek. Az emberi beszéd és a természeti környezetből érkező zörejek energiasűrűség-színképe ugyanis a frekvenciával csökken (lásd a 3.34. ábrát). A kisfrekvenciájú hangokkal szembeni csekély érzékenység is előnyös, mert így nem észleljük az izmaink, izületeink és belső szerveink mozgása-működése közben keletkező hangokat, amelyek elfednék a hasznos információt hordozó hangokat.^{4.4)}

DIN-phon

Fletcher és Munson felismerését követően a kutatók és a műszergyártók olyan mérőműszer kialakítására törekedtek, amely figyelembe veszi a hangosságérzet frekvenciafüggő tulajdonságait is és nem támaszkodik az emberek esetenként lényegesen eltérő szubjektív ítéleteire. A Német Akusztikai Társaság (Deutsche Akustische Ausschuß) először 1940-ben adta ki egy ilyen műszer kialakításnak irányelveit [53]. A DIN-hangosság szint-mérő működésének 4.6. ábra szerinti folyamatábrája két ponton tér el a hangnyomásszintmérő 3.27. ábra szerinti egységeitől.

- A 3 jelű sávszűrők helyén a hallás frekvenciafüggő tulajdonságait utánzó 3 db fülszűrő (Ohrsieb) van.
- A 6 jelű mérőegység DIN-phon egységekben jelzi az eredményt.

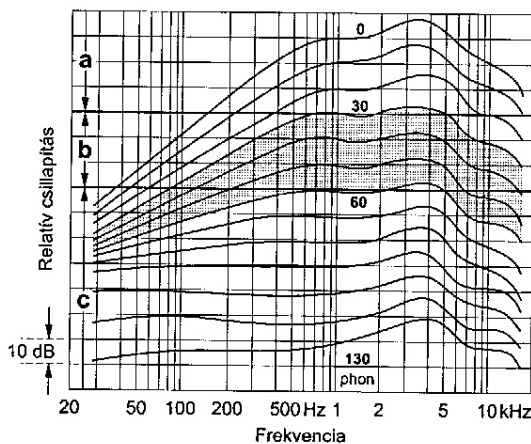
Könnyen belátható, hogy az emberi hallás tulajdonságait tökéletesen utánzó műszerhez 130 db szűrőre lenne szükség. A 4.5. ábra szerint 13 phon-görbe tulajdonságait utánzó 13 fülszűrővel is elégedettek lehetnének. E szűrők frekvenciafüggő csillapítási görbéi a phon-görbék 4.7. ábra szerinti tükörképei lennének.



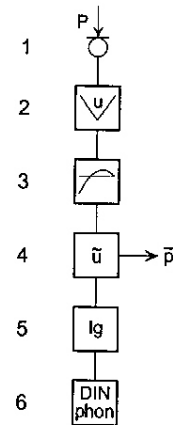
4.5. ábra
Fletcher és Munson
egyenlő hangosság szint-görbéi: phon görbék
(W. Reichardt könyvéből [35] átvett ábra)
a Fizikai erősség: hangnyomásszint
b Phon-hangosság szint

4.4) A hallószervnek a természeti és technikai környezetben fellépő nagy intenzitású hangok (pl. mennydörgés) elleni védelmét is szolgálja a kisfrekvenciákkal szembeni érzéketlenség, mert a nagy rezgéselmozdulási amplitúdók egyébként beszakítanák a dobhártyát. A (2.5) képlet alapján ugyanis:

$$\hat{\xi} = \frac{\hat{v}}{2\pi f} m .$$

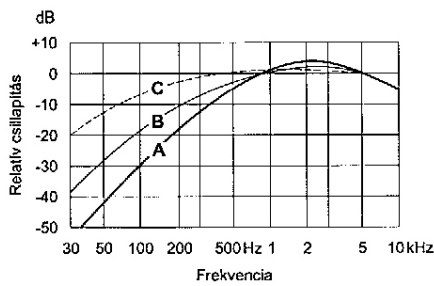


4.7. ábra
A 13 fülszűrő relatív csillapításának frekvenciafüggvényei



4.6. ábra
A DIN 5045–1940 irányelvek szerinti objektív hangosság szintmérő működésének folyamatábrája

A DIN 5045–1940 irányelv praktikus okok miatt háromra csökkentette a fülszűrők számát oly módon, hogy a hallásterületet három részre osztotta a 4.7. ábrának megfelelően és átlagolta e területek fülszűrőinek csillapítási



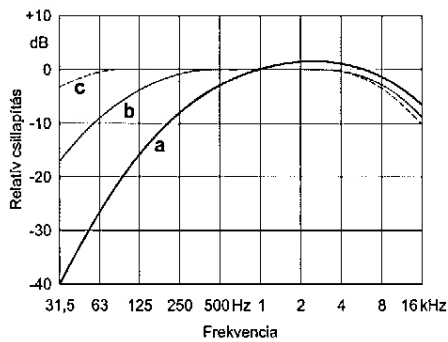
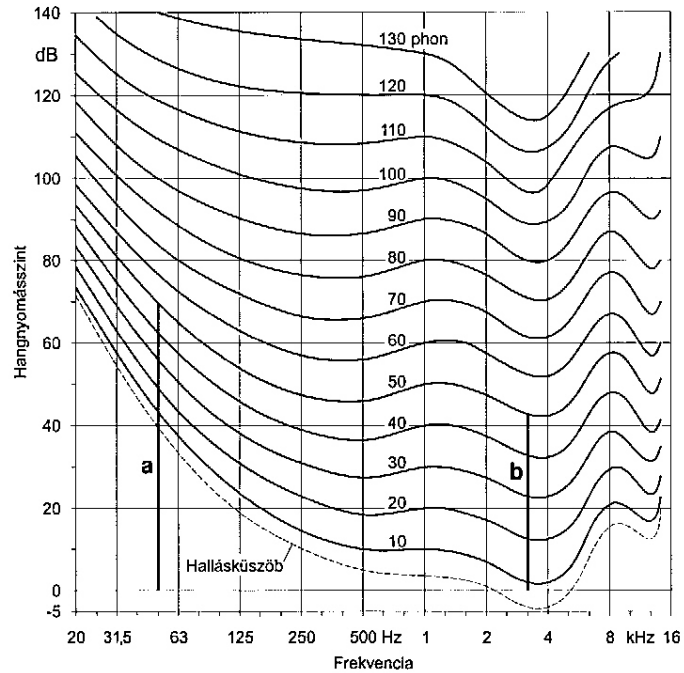
4.8. ábra

A DIN 5045-1940 szerinti objektív hangosság-szintmérő fülszűrőinek relatív csillapítási görbéi
 a 30 phon hangosság-szintig
 b 30-60 phon hangosság-szint között
 c 60 phont meghaladó hangosság-szint esetén

4.9. ábra

Az egyenlő hangosság-szintek görbéi tisztahangokra, szabad hangtérben, 20 éves egészséges személyek vizsgálata alapján (az ábrán bejelöltük az 50 phon hangosság-szinthez szükséges hangnyomásszinteket)

- a 50 Hz esetén: 70 dB
 b 3150 Hz esetén: 43 dB



4.10. ábra

Az objektív hangosság-szintmérő súlyozó szűrőinek relatív csillapítási görbéi az IEC 651-1979 szerint

4.5) A mért súlyozott hangnyomásszintek jó közelítéssel fejezik ki az érzékelt hangosság-szintet, ha az A-szűrővel kis hangosság-szinteket (≈ 40 phon), a B-szűrővel közepes- (≈ 80 phon), a C-szűrővel pedig nagy hangosság-szinteket (≈ 100 phon) mérünk.

görbéit a 4.8. ábra szerint. Ezekkel a szűrőkkel a mért adatok hibáját a korabeli szakirodalom ± 3 DIN-phonra becsülte.

4.3.3. A-hangnyomásszint

Szabványos hangosság-szint-görbék

Fletcher és Munson 4.5. ábra szerinti egyenlő hangosság-szint-görbéit Robinson és Dadson 1957-ben pontosította [54], az ISO pedig 1961-ben szabványosította [55] a 4.9. ábra szerint.

A 4.9. ábrán látható phon-görbék az 1000 Hz-nél kisebb frekvenciákon és 8000 Hz környezetében lényegesen eltérnek Fletcher és Munson görbéitől. Ezzel függ össze, hogy szükségessé vált a DIN 5045 szerinti hangosság-szintmérő 3 fülszűrőjére előírt, 4.8. ábra szerinti relatív csillapítási görbék módosítása. Az IEC 123-1961, majd a jelenleg is hatályos IEC 651-1979 [56] véglegesítette az A-, B-, C-jelű fülszűrők – a 60-as évek óta **súlyozó szűrők** (Bewertungskurven, weighting networks) – relatív csillapításának adatait. (A szűrők csillapításának numerikus adatait az FI függelékben közöljük.) Az MSZ EN 60651:1988 [57] változatlanul átvette az IEC ajánlás anyagát. A 4.10. ábra szerinti szűrők alkalmazásával mért **súlyozott hangnyomásszintek** jelei: L_A , L_B , L_C , megnevezései: A-, B- és C-hangnyomásszintek.^{4.5)}

Az A-hangnyomásszint mérése

A mérési folyamat lényegét a 4.11. ábra segítségével ismertetjük. Az IEC ajánlás [56] szerint működő A-hangnyomásszintmérő elvileg csak annyiban tér el a DIN-phon mérőtől, hogy a 3 db fülszűrő helyén a 4.10. ábra szerinti A-jelű súlyozó szűrő van, a 6 jelű mérőegység pedig decibelben jelzi az A-hangnyomásszintet, a hangnyomásszint fogalmát definiáló (3.23) egyenletnek megfelelően:

$$L_A = 10 \lg \left(\frac{\tilde{P}_A}{\tilde{P}_0} \right)^2 \text{ dB}, \quad (4.1)$$

ahol L_A A-hangnyomásszint dB,

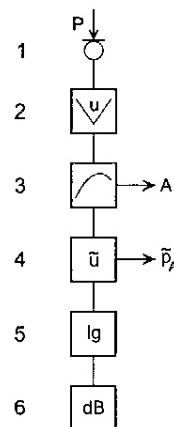
\tilde{p}_A az A-szűrővel súlyozott hangnyomás effektív értéke Pa
 (a 4.11. ábra 4 jelű egysége által képzett \tilde{u} feszültséggel
 analóg mennyiség),
 \tilde{p}_0 a hangnyomás vonatkoztatási értéke: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa.

Az A-hangnyomásszint számítása

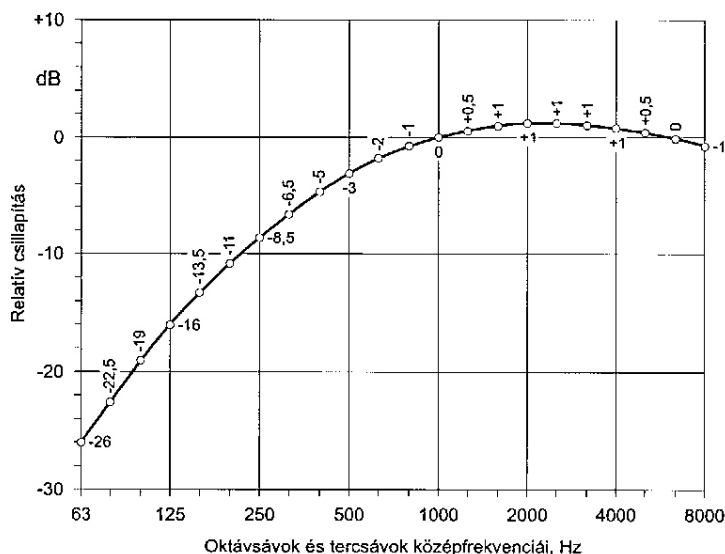
A hangszigetelés tervezése során gyakran előfordul, hogy a 4.11. ábra szerinti műveletsort matematikai úton kell közelítő pontossággal elvégezni, azaz oktávszűrőkkel, vagy tercpszűrőkkel mért sávszintekből A-hangnyomásszintet kell képezni. A számítást a (4.2) összefüggéssel végezzük:^{4.6)}

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i - \Delta A_i)} \text{ dB}, \quad (4.2)$$

ahol L_i oktávszűrővel, vagy tercpszűrővel mért sáv-hangnyomásszint az i -edik sávban dB,
 ΔA_i az A-jelű súlyozó szűrő csillapítása az i -edik sávban, a 4.12. ábra szerint dB.



4.11. ábra
 Az IEC 651-1979 [56] szerinti A-hangnyomásszintmérő működésének folyamatábrája



4.12. ábra

Az IEC 651-1979 [56] szerinti A-jelű súlyozó szűrő relatív csillapítása az oktávszűrő-, illetve a tercpszűrők középfrekvenciáinak függvényében

Példa az A-hangnyomásszint számítására

A 3.35. ábra b jelű görbéje egy ventilátor által keltett zaj oktávszűrőkkel mért hangszínképe. Számítsuk ki a ventilátor által keltett zaj A-hangnyomásszintjét a (4.2) formulával. Első lépésként meghatározzuk az $(L_i - \Delta A_i)$ mennyiségeket oktávcsávonként:

$i =$	1	2	3	4	5	6	7	8
$f_0 =$	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000 Hz
$L_i =$	73	85	62	57	52,5	47	44	42 dB
$\Delta A_i =$	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	-1 dB
$L_i - \Delta A_i =$	47	69	53	54	52,5	48	45	41 dB

Az A-hangnyomásszint az $(L_i - \Delta A_i)$ mennyiségek energetikai összege:

$$L_A = 10 \lg (10^{4,7} + 10^{6,9} + 10^{5,3} + 10^{5,4} + 10^{5,25} + 10^{4,8} + 10^{4,5} + 10^{4,1})$$

$$L_A = 69,4 \text{ dB.}$$

4.6) A (4.2) képlettel valójában az A-szűrő által csillapított sávszintek $(L_i - \Delta A_i)$ energetikai összegezését végezzük el, a (3.30) egyenletnek megfelelően.

4.4. A zajosságot jellemző mennyiségek

4.7) Szinonimái: zajimisszió, zajterhelés

4.8) W. Zeller 1950-ben kiadott „Technische Lärmabwehr” c. könyve [58] szerint a zavaró zaj megengedhető határértékei a tapasztalatok szerint:

	DIN-phon
Rádió és mozistúdió	10–15
Kórházak és szállodák különleges igényű helyiségei, nagy értékű munkaszobák	20–30
Irodák	30–40
Nagyterű irodák	40–50
Zajszegény műhelyek	40–60
Ipari üzemek	90
Repülőgépkabinok	95

4.9) Magyarországon 1984. január 1-jén lépett hatályba az egyenértékű A-hangnyomásszint vizsgálati módszereit rögzítő MSZ 18151/1–83 szabvány.

4.10) Lásd a 3.4) széljegyzetben és a 3.4.3. pontban.

4.11) Itt jegyezzük meg, hogy az MSZ 18150–1:1999 szabvány [60] a T -vel jelölt idők több változatát definiálja:

T_m – mérési idő: ilyenkor a (4.3) képlet szerint mért egyenértékű A-hangnyomásszint a T_m mérési időre vonatkozik.

T_M – megítélési idő: azon időtartam, amelyre a jogszabályban meghatározott követelmény vonatkozik (pl. nappal $T_M = 16$ óra).

T_Y – vonatkoztatási idő: adatgyűjtés céljából végzett mérések esetén használt megjelölés. T_Y időtartama hasonló T_M -hez, de általában nem több, mint 24 óra.

A zajosság^{4.7)} kifejezéssel arra utalunk, hogy most olyan fizikai mennyiségeket ismertetünk, amelyek nem a hangérzet erősségét jellemzik, hanem – a zaj fogalmi definíciójának megfelelően – a nem kívánt-, zavaró-, vagy kellemetlen hangokat, illetve az emberi tevékenységekre és az egészségre káros hatásokat. Ezek a mérőszámok fokozatosan alakultak ki a hangosságának a 4.3. pontban ismertetett mérőszámaiból.^{4.8)} A probléma bonyolult voltának jellemzője céljából két fontos megállapítást idézünk Tarnóczy Tamás: *Hangnyomás, hangosság, zajosság* c. könyvének [49] IV. Zajosság című fejezetéből.

- „A zaj kellemetlensége, zavaró, vagy terhelő hatása csak nagyon lazán függ össze a hangossággal, vagy a hangosságot mérő valamelyik fizikai adattal.” (176. o.)
- „Gyors becslések szerint 30-ra tehető a zajosság jellemzésére használható egységek és mérési módszerek száma, de közülük egyetlen sincs, amely mindenfajta zajforrásra és zajformára egyetemlegesen alkalmazható volna.” (177. o.) Tarnóczy részletesen ismerteti a legjelentősebb módszereket.

A nemzetközi tapasztalatok szerint a különféle zajhatások jellemzésére legalkalmasabb az egyenértékű A-hangnyomásszint.

4.4.1. Egyenértékű A-hangnyomásszint

Az egyenértékű A-hangnyomásszint az időben változó erősségű zajok egyszerű jellemzője, olyan mérőszám, amellyel – a tapasztalatok szerint – jól jellemezhetjük a zaj emberre gyakorolt különféle hatásait. Meghatározásának módja viszonylag egyszerű, ezért ezt a mérőszámot világszerte évtizedek óta általánosan használják a zajosság mérésére és a zaj megengedhető határértékeinek szabványosítására.^{4.9)} Az egyenértékű A-hangnyomásszint fogalmának értelmezését megelőzően emlékeztetnünk kell az Olvasót a hangnyomás effektív értékével és az energetikai átlaggal kapcsolatos megállapításokra.^{4.10)} Ezek lényege: az emberi reakció az energetikai átlaggal van kapcsolatban.

Az időben állandó zajok esetén az A-hangnyomásszint energetikai átlagot fejez ki, mert a (4.1) definíció szerint ez a mennyiség az A-hangnyomás effektív értékének négyzetéből (\bar{p}_A^2) képzett szint, az effektív érték pedig eleve az energetikai átlagot jellemzi.

Az időben változó zajok esetén egy meghatározott T időtartamra határozzuk meg az energetikai átlagot, amelyet az L_{AeqT} szimbólummal jelölünk, utalva arra a feltételezésre, hogy ezzel a mennyiséggel jellemzett és az időben változó zaj hatása **egyenértékű (equivalent)** a T ideig ható és L_{Aeq} számértékével azonos szintű állandó zaj hatásával.^{4.11)} Az egyenértékű A-hangnyomásszint meghatározásának különféle módszereit a vonatkozó előírások [59] [60] [61] tartalmazzák. Ezek közül csak a hangszigetelés tárgykörében használt eljárásokat ismertetjük.

Az időben folytonosan változó zajok esetén integráló hangnyomásszint-mérőt alkalmazunk, amely az előírásokban meghatározott megítélési időre vonatkozó effektív értéket méri a (4.3) egyenlet szerint:

$$L_{AeqT_M} = 10 \lg \frac{1}{T_M} \int_0^T \left(\frac{P_A(t)}{P_0} \right)^2 dt \quad \text{dB}, \quad (4.3)$$

ahol $p_A(t)$ az A -szűrővel súlyozott hangnyomás pillanatnyi értéke Pa,
 p_0 a hangnyomás vonatkoztatási értéke: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa,
 T_M megítélési idő óra, vagy másodperc.

A (4.3) egyenlet a T_M idő alatt változó zaj A -hangnyomásszintjének energetikai összegezését és T_M időtartamra történő átlagolását írja le, a 3.4.3. pontban leírt elveknek megfelelően.

Szakaszosan állandó szintű zaj esetén a T_M megítélési időtartamot olyan t_i szakaszokra bontjuk, amelyekben az A -hangnyomásszint gyakorlatilag állandó, majd ezek energetikai összegezését és átlagolását végezzük el a (3.34) formulával tartalmilag azonos (4.4) összefüggéssel:

$$L_{AeqT_M} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_M} \sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1L_{Ai}} \right] \text{ dB}, \quad (4.4)$$

ahol L_{AeqT_M} T_M megítélési időre vonatkozó egyenértékű A -hangnyomásszint dB,

t_i időtartamok, amelyben az A -hangnyomásszint gyakorlatilag állandó óra, vagy másodperc,

L_{Ai} A -hangnyomásszint az i -edik időszakban dB,

T_M megítélési idő ($T = \sum t_i$) óra, vagy másodperc.

A 4.12) széljegyzetben konkrét példát közlünk.

Szakaszosan változó szintű zaj esetén is alkalmazhatjuk a (4.4) összefüggést. Ilyenkor a t_i időtartamokban a (4.3) képlet szerint mért L_{Aeqt_i} értéket kell helyettesíteni.

Az egyenértékű A -hangnyomásszint széleskörű alkalmazásának indokai

Az egyenértékű A -hangnyomásszint – mint fizikai fogalom – alapvető elemei: az A -jelű súlyozó szűrő és az energetikai átlag.

- Kétségtelen, hogy az A -szűrővel mért hangnyomásszint hosszabb-rövidebb ideig ható hangosság szint^{4.13)} ám az energetikai átlag eltünteti a részhangosságok élményét és ezáltal az egyenértékű A -hangnyomásszint a zaj nem kívánt-, zavaró-, vagy kellemetlen hatásának jellemzésére alkalmas mennyiséggé válik^{4.14)}
- Az egyenértékű A -hangnyomásszintekkel – viszonylag kevés kompromisszum árán – a környezetben és a különböző rendeltetésű helyiségekben fellépő zajok sokasága jellemezhető és könnyen áttekinthető követelményrendszerrel lehet kialakítani.
- Az A -szűrő alkalmazása a hangszigetelés tárgykörében indokolt, mert az épületek helyiségeiben megengedhető zajok – kevés kivételtől eltekintve – az A -szűrő méréstartományába esnek^{4.15)}
- Nyilvánvaló, hogy a nagy hangerősségű zajok A -hangnyomásszintje kisebb, mint az érzékelt hangosság szint, annak következtében, hogy az A -szűrő a hallószervnél nagyobb mértékben csillapítja a zaj kisfrekvenciás összetevőit, mint a B -, vagy a C -jelű szűrő (lásd a 4.10. ábrát). Ám az is tény, hogy az ember tűrőképessége ebben a tartományban viszonylag nagy. Erre a tűrőképességre műszaki-gazdasági okok miatt szükség is van, mert a különféle műszaki megoldások^{4.16)} hatékonysága a kisfrekvenciák tartományában általában csekély.

4.4.2. Zajeseményszint

A zajeseményszint (L_{AE})^{4.17)} egyszeri, meghatározott időközben lejátszódó, változó szintű zajesemény^{4.18)} energetikai jellemzője, a (4.5) össze-

4.12) Példa L_{AeqT_M} számítására, $T_M = 8$ óra feltételezésével:

i	$=$	1	2	3
t_i	$=$	2	4	2 óra
L_{Ai}	$=$	50	40	30 dB

$$L_{AeqT_M} = 10 \lg \frac{1}{8} (2 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^3)$$

$$L_{AeqT_M} = 44,8 \text{ dB.}$$

4.13) A hangszigetelés tárgykörében előforduló gyakori zajhatások (rádió, TV-zaj, beszéd, közlekedési zaj, stb.) esetén: $t_i \ll T_M$.

4.14) Az egészségre ártalmas zajhatások esetére nem alkalmazható ez a leegyszerűsített hipotézis.

4.15) Lásd a 4.5) széljegyzetet.

4.16) Például zajárnyékoló falak, hangelnyelő burkolatok, hangszigetelő szerkezetek.

4.17) Az angol nyelvű szakirodalomban SEL (Sound Exposure Level), az ISO 3891-ben L_{AX} [62].

4.18) Például repülőgép, autóbusz elhaladásakor egy fix pontba sugárzott zaj.

4.19) Zajesemény szintmérő (SEL-mérő)

függéssel értelmezett *fiktív mennyiség*, amelyet integráló hangnyomás-szintmérővel^{4.19)} lehet meghatározni:

$$L_{AE} = 10 \lg \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad \text{dB}, \quad (4.5)$$

ahol L_{AE} zajesemény szint: 1 másodpercig ható, állandó A -hangnyomás-szint, amelynek az emberre gyakorolt hatása egyenértékű a változó A -hangnyomás szintű zaj hatásával dB,

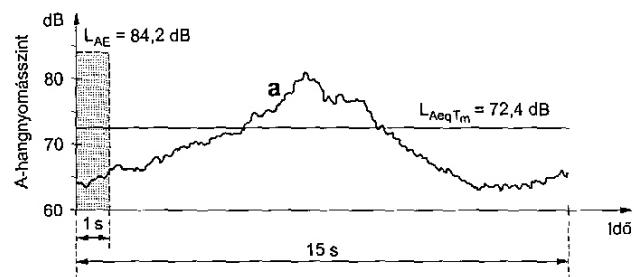
$p_A(t)$ az A -szűrővel súlyozott hangnyomás pillanatnyi értéke Pa,

p_0 a hangnyomás vonatkoztatási értéke: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa,

$t_2 - t_1$ adott időszak, amelyben a vizsgált zajesemény minden szignifikáns eleme megjelenik s,

$$t_0 = 1 \text{ s}.$$

A 4.13. ábra szerinti példa [63] elősegíti a (4.5) összefüggéssel értelmezett fogalom megértését.



4.13. ábra
Egy autóbusz elhaladási zajának időfüggvénye (a), zajesemény szintje (L_{AE}) és a mérési időre vonatkoztatott egyenértékű A -hangnyomás szintje (L_{AeqT_m})

Az autóbusz elhaladásakor az A -hangnyomás szint 63 és 81 dB között változik 15 s alatt. A (4.5) képlet szerinti zajesemény szint: $L_{AE} = 84,2$ dB, amely 1 s alatt ugyanolyan hatást fejt ki, mint az autóbusz által keltett, változó szintű zaj 15 s alatt. A zajesemény szint tehát $T_m = 1$ s mérési időre vonatkoztatott egyenértékű A -hangnyomás szint.^{4.20)}

4.20) Így is jelölhetnénk: $L_{AE} = L_{AeqT_m} = 1 \text{ s}$.

4.4.3. Egyenértékű A -hangnyomás szint számítása zajesemény szintekből

Az ISO 3891 [62] a repülési zaj által a települési környezetben kifejtett hatás jellemzése céljából szabványosította a zajesemény szint fogalmát. A következőkben olyan egyszerű összefüggéseket fogunk ismertetni, amelyekkel egy, vagy több zajesemény szintből, illetve zajesemény szintek sorozataiból kiszámíthatjuk a hatósági előírásokban megjelölt T_M megítélési időtartamokra vonatkozó egyenértékű A -hangnyomás szintet. Az összefüggések levezetése során a zajesemény szintet a 4.13. ábra alapján olyan állandó szintű zajnak fogjuk tekinteni, amely a zajesemény időszakában ($t_2 - t_1$) egyszer fordul elő, hatásideje: $t_i = t_0 = 1$ s, A -hangnyomás szintje pedig ebben a szakaszban: $L_{Ai} = L_{AE}$ dB.^{4.21)}

4.21) A t_i és L_{Ai} jelek értelmezését lásd a (4.4) összefüggésnél.

A zajesemény időtartamára vonatkozó egyenértékű A -hangnyomás szint

A (4.4) összefüggésben $T_M = t_1 - t_2$, $t_i = t_0$, $L_{Ai} = L_{AE}$ helyettesítésével a számításhoz szükséges (4.6) képlethez jutunk:

$$L_{AeqT_m} = 10 \lg \frac{1}{t_2 - t_1} t_0 10^{0,1 L_{AE}} \quad \text{dB}. \quad (4.6)$$

4.22)

$$10 \lg 10^{0,1 L_{AE}} = L_{AE}.$$

A műveletek elvégzése után^{4.22)} a (4.6) összefüggés a gyakorlat szempontjából egyszerűbb alakra hozható:

$$L_{AeqT_m} = L_{AE} + 10 \lg \frac{t_0}{t_2 - t_1} \quad \text{dB.} \quad (4.7)$$

A 4.23) széljegyzetben kiszámítottuk a 4.13. ábra szerinti zajesemény 15 másodpercrc vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintjét.

$$4.23) \quad \begin{aligned} t_0 &= 1 \text{ s,} \\ t_2 - t_1 &= 15 \text{ s,} \\ L_{AE} &= 84,2 \text{ dB.} \end{aligned}$$

$$L_{AeqT_m} = 84,2 - 10 \lg \frac{1}{15} = 72,4 \text{ dB,}$$

amelyet a 4.13. ábrán feltüntettünk.

Egyetlen zajesemény megítélési időre vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintje

A zajesemény időtartamánál hosszabb T_M megítélési időre (pl. 0,5 óra, 8 óra) vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintet a (4.7) összefüggéshez hasonló képlettel számíthatjuk:

$$L_{AeqT_M} = L_{AE} + 10 \lg \frac{t_0}{T_M} \quad \text{dB.} \quad (4.8)$$

A (4.8) összefüggés szerint L_{AeqT_M} a t_0/T_M hányados tízszeres logaritmusával kisebb, mint a zajesemény szint. Általánosíthatunk is: ha ismerjük egy adott T_1 időhöz tartozó L_{AeqT_1} szintet, ebből egyszerűen kiszámíthatjuk L_{AeqT_2} értékét a (4.9) összefüggéssel:

$$L_{AeqT_2} = L_{AeqT_1} + 10 \lg \frac{T_1}{T_2} \quad \text{dB.} \quad (4.9)$$

Példák a (4.8) és (4.9) összefüggések alkalmazására

1. Egy sugárhajtású repülőgép zajesemény szintje a 4.14. ábra szerint $L_{AE} = 105 \text{ dB}$. A $T_M = 0,5$ órára (1800 s) vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszint a (4.8) képlet szerint:

$$L_{AeqT_M} = 105 + 10 \lg \frac{1}{1800} = 105 - 32,6 = 72,4 \text{ dB.}$$

2. Ha a $T_{M1} = 0,5$ óra (1800 s) megítélési időt $T_{M2} = 8$ órára (28800 s) növeljük, nyilvánvalóan kisebb lesz az egyenértékű A-hangnyomásszint. A csökkenés ΔL_A mértékét a (4.9) összefüggés jobb oldalának második tagja fejezi ki:

$$\Delta L_A = 10 \lg \frac{T_{M1}}{T_{M2}} \quad \text{dB.} \quad (4.10)$$

amely most:

$$\Delta L_A = 10 \lg \frac{1800}{28800} = -12 \text{ dB.}$$

Egyetlen zajesemény többszörözése révén keletkező egyenértékű A-hangnyomásszint

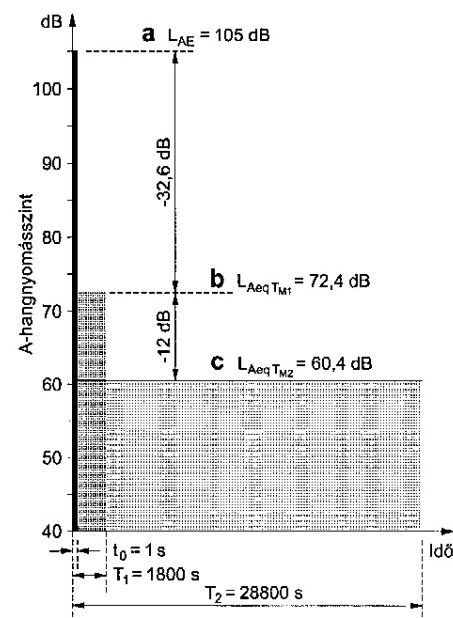
Ha például egy repülőtérről a nap folyamán ugyanolyan zajesemény szintű repülőgépek sokasága száll fel, a zajesemény szint energetikai többszörözése valósul meg a (3.25) egyenlet szerint, ezért az egyetlen zajesemény szinthez tartozó – a (4.8) képlet szerinti – egyenértékű A-hangnyomásszint növekménye:

$$\Delta L_{AeqT_M} = 10 \lg n \quad \text{dB.} \quad (4.11)$$

ahol n az ugyanolyan zajesemény szintű gépek száma.

A zajesemény többszörözéséhez tartozó egyenértékű A-hangnyomásszint a (4.8) és a (4.11) egyenletek jobb oldalainak összegével azonos:

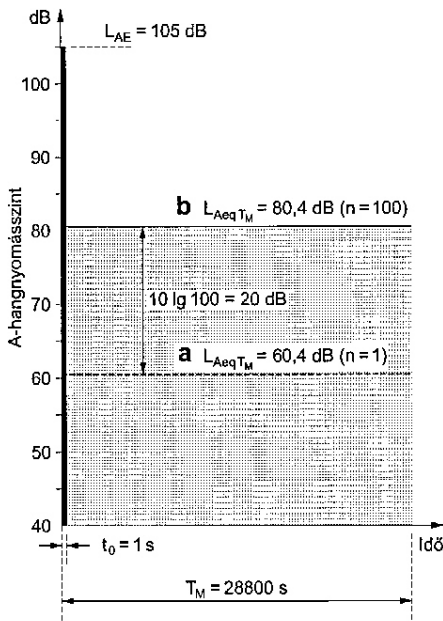
$$L_{AeqT_M} = L_{AE} + 10 \lg \frac{t_0}{T_M} + 10 \lg n \quad \text{dB,} \quad (4.12)$$



4.14. ábra

Egy sugárhajtású repülőgép egyetlen zajeseményének jellemzői

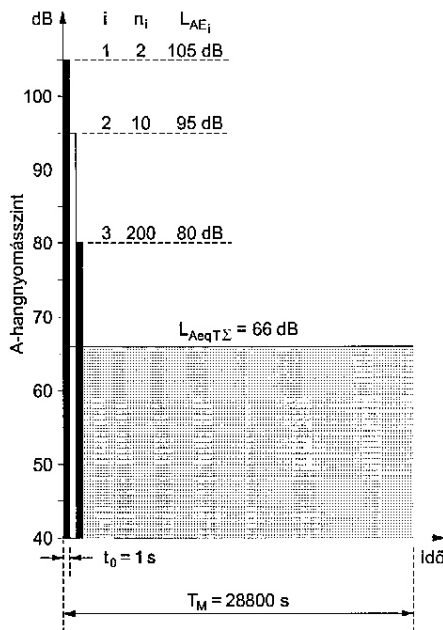
- a Zajesemény szint
- b $T_1 = 0,5$ órára vonatkozó L_{AeqT_1}
- c $T_2 = 8$ órára vonatkozó L_{AeqT_2}



4.15. ábra

Egy sugárhajtású repülőgép $T_M = 8$ órára vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintjei

- a 1 felszállás esetén, a 4.14. ábra szerint
- b 100 felszállás esetén



4.16. ábra

Három különböző zajesemény szint eltérő többszörözéséhez tartozó, $L_{AeqT\Sigma}$ jelű egyenértékű hangnyomásszint számításának adatai és eredménye

ahol L_{AE} egyszeri zajesemény szint dB,
 n a zajesemények száma,
 $t_0 = 1$ s,
 T_M megítélési idő s.

Példa a (4.12) egyenlet alkalmazására

$L_{AE} = 105$ dB zajesemény szintű repülőgépek 8 órán belül százszor szállnak fel. Számítsuk ki a mérési pontban napi 8 óra (28800 s) alatt keletkező egyenértékű A-hangnyomásszintet!

$$L_{AeqT_M} = 105 + 10 \lg 100 + 10 \lg \frac{1}{28800} = 80,4 \text{ dB},$$

amely $10 \lg 100 = 20$ decibellel nagyobb, mint az egyszeri felszálláshoz tartozó szint (lásd a 4.15. ábrát).

Különböző zajesemény szintek eltérő többszörözése révén keletkező egyenértékű A-hangnyomásszint

Ha a megítélési időn belül a zajesemény szintek egymástól eltérően ismétlődnek (pl. egy repülőtérről a nap folyamán különböző típusú és teljesítményű gépek szállnak fel), a számítás gondolatmenete a következő:

- Az eltérő L_{AE_i} zajesemény szinteket egyenként többszörözük a (4.13) összefüggés szerint:

$$L_{AE_n} = L_{AE_i} + 10 \lg n_i \text{ dB}, \quad (4.13)$$

- ezután a többszörözött zajesemény szinteket energetikailag összegezzük:

$$L_{AE\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n n_i 10^{0,1L_{AE_i}} \text{ dB}, \quad (4.14)$$

- végül a (4.8) összefüggés értelemszerű alkalmazásával kiszámítjuk az energetikailag összegezett $L_{AE\Sigma}$ zajesemény szinthez tartozó egyenértékű A-hangnyomásszintet:

$$L_{AeqT_M\Sigma} = L_{AE\Sigma} + 10 \lg \frac{t_0}{T} \text{ dB}. \quad (4.15)$$

A fenti műveleteket egyetlen képletbe foglalhatjuk:

$$L_{AeqT_M\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n n_i 10^{0,1L_{AE_i}} + 10 \lg \frac{t_0}{T} \text{ dB}, \quad (4.16)$$

ahol L_{AE_i} különböző zajesemény szintek dB,
 n_i a különböző zajesemények száma,
 $t_0 = 1$ s,
 T_M megítélési idő s.

Példa a (4.14) egyenlet alkalmazására

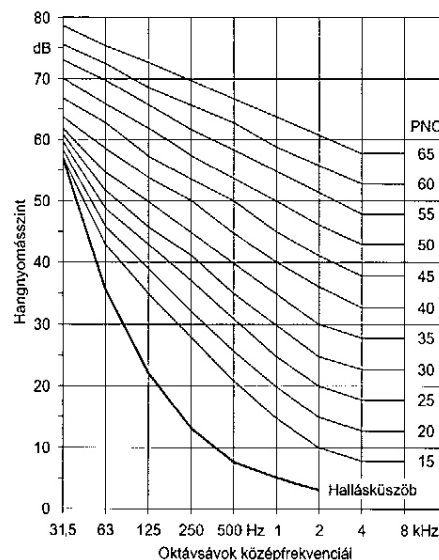
Három különböző zajesemény szint eltérő többszörözésének adatait tüntetjük fel a 4.16. ábrán. A 8 órás (28800 s) megítélési időhöz tartozó, eredő egyenértékű A-hangnyomásszint a (4.6) képlet szerint:

$$\begin{aligned} L_{AeqT\Sigma} &= 10 \lg (2 \cdot 10^{10,5} + 10 \cdot 10^{9,5} + 200 \cdot 10^8) + 10 \lg \frac{1}{28800} = \\ &= 110,6 - 44,6 = 66 \text{ dB}. \end{aligned}$$

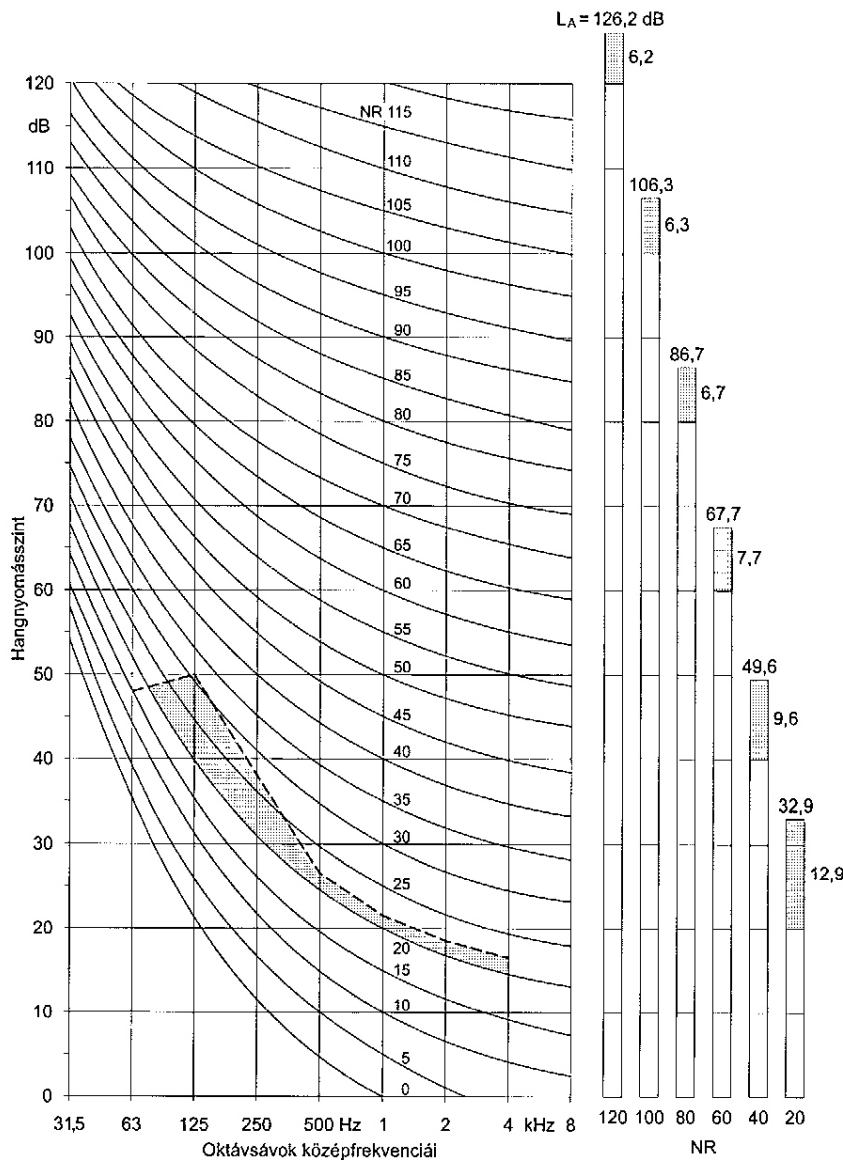
4.4.4. Határgörbékkel értékelt zajosság

L. L. Beranek az irodák szellőztető berendezései által keltett zajok beszédzavaró hatásának értékelésére 1957-ben viszonylag szigorú, NC (Noise

Criteria) jelű- és ezeknél enyhébb, bármilyen, az időben állandó erősségű zörejre alkalmazható NCA jelű görbesereget dolgozott ki. (Megtalálható Beranek: Zajcsökkentés c. könyvének 437–438. oldalain [64].) A görbék oktáv-hangnyomásszinteket ábrázoltak a régi amerikai szabvány szerinti oktáv-szűrők középfrekvenciáinak függvényében. 1971-ben az IEC 225 szerinti oktáv-sávokra átdolgozták és jelentősen módosították az eredeti NC-görbéket PNC (Preferred Noise Criteria) elnevezéssel, a 4.17. ábrán látható módon [65]. Európában Kosten és van Os javaslatára [66] 1962-óta a hallás tulajdonságait jobban követő NR-görbéket használták. Az ISO 1971-ben szabványosította az NR-görbéket [67] a 4.18. ábra szerint.^{4.24)}



4.17. ábra
PNC-görbék irodai zajok értékelésére
Beranek, Blazier és Figwer szerint
(Tamóczy könyvéből [49] átvett ábra)



4.24) A görbék numerikus adatait az F2 függvényében közöljük.

4.18. ábra
NR-görbék az ISO R 1996 ajánlás szerint
Különbség az NR-görbék szerinti oktáv-szintekből számított A-hangnyomásszintek és az NR értékek között
a Egy jó minőségű szellőztető berendezés által keltett zaj hangszíne
NR = 32 dB, $L_A \approx 36$ dB

Az NR zajossági szám meghatározása

A 4.18. ábra szerinti határgörbék különböző zajossági szinteket szimbolizálnak. Ezeket a szinteket a görbék NR-számaival fejezik ki, amelyek azonosak a görbék 1000 Hz-hez tartozó oktáv-hangnyomásszintjeivel. Valamely zaj NR-zajosságának megítélése céljából meg kell határozni a zaj oktáv-szűrőkkel mért hangnyomásszintjeit és az eredményt fel kell tüntetni az NR-görbéket tartalmazó adatlapon (példaként lásd az a jelű görbét a 4.18. ábrán). A zaj oktáv-hangnyomásszintjei különböző fekvésű NR

4.25) Ha a mért oktávszintek a 4.18. ábra görbéi közötti sávokba esnek, interpolációt kell alkalmazni. A 4.18. ábra a jelű görbéjével érintett NR-görbék:

f_m Hz	$L_{oktáv}$ dB	NR-görbe jele
31,5	55	0
63	48	15
125	50	32*
250	38	28
500	26,5	22
1000	21,5	22
2000	18,5	22
4000	16,5	22

*Zajossági szám: $NR \approx 32$.

4.26) Példa: A 4.18. ábra a jelű hangszinképével jellemzett szellőztető berendezés zajossági száma $NR \approx 32$, amely nem felel meg az NR 20 határgörbével illusztrált követelménynek. Az a jelű hangszinkép és az NR 20-as határgörbe összehasonlításából kitűnik, hogy a 125 Hz középfrekvenciájú oktáv-sávban kell a legnagyobb mérvű (10 dB) zajcsökkentést megvalósítani, ami nem csekély feladat.

4.27) F. Weisbach 1913-ban kiadott „Bauakustik” c. könyvében [1] a következőket írta: „A szellemi munkát végző és az érzékenyebb idegzetű embereket jobban zavarja a zaj, mint a lakosságot általában.

Csendes környezetben különösen érzékenyek vagyunk a zajra.

A magas hangok hatása fárasztóbb, mint a mély hangoké. Legérzékenyebbek vagyunk az 1000... 5000 Hz frekvenciájú hangokra.

A hirtelen fellépő zajok hatása rendkívül kellemetlen.

Míg a léghangok az idegrendszerre hatnak, a kisméretű rezgések a test belső szerveit károsítják.

A zaj hatásának számszerű alátámasztására és az ember által elviselhető zaj mértékének számszerű meghatározása céljából további kutatásokat kell végezni.”

4.28) Az általunk végzett munka zaja – eltekintve az egészségre káros, erős zajhatásokról – informatív jellegű (pl. falfúrás), a szomszédos lakás lakóit pedig zavarja.

4.29) Az átlagossal szemben mindig vannak túlérzékeny és kevésbé érzékeny emberek.

-görbéket érintenek.^{4.25)} A zajosság jellemzője a legnagyobb NR-szám. Az NR-határgörbéket főként stúdiók, színházak szellőztető berendezései által keltett zaj zavaró hatásának megítélésére használják. A módszer egyetlen előnye, hogy a zavaró hatás mértékének jellemzésén túlmenően a különböző frekvenciasávokban esetleg szükséges zajcsökkentés mértékéről is nyújt információt.^{4.26)}

4.4.5. Az NR zajossági szám és az A-hangnyomásszint összefüggése

Az 1971-ben kiadott VDI 2081 irányelv [68] a légtechnikai berendezések által keltett zaj megengedett határértékeit alternatív formában, NR-határgörbékkel és A-hangnyomásszintekkel rögzítette (lásd az F3 függelék). Az L_A hangnyomásszinteket a (4.17) formulával állapították meg:

$$L_A = NR + 5 \text{ dB}, \quad (4.17)$$

ahol NR a 4.18. ábra szerinti határgörbékhez tartozó zajossági szám.

Megítélésünk szerint a (4.17) formula szerinti alternatíva elvileg és számszerűen is hibás. Az elvi hiba az NR- és az A-súlyozású értékelés eltérő filozófiájával függ össze. A számszerű hibát konkrét példával bizonyítjuk. Tételezzük fel, hogy a 4.18. ábra a jelű görbéjével jellemzett szellőztető berendezés zaját sikerül oly mértékben csökkenteni, hogy az oktáv-hangnyomásszintek minden sávban pontosan fedik az NR 20-as görbét. Ennek a hangszinképnek a (4.2) egyenlettel végzett számítás szerint 32,9 dB A-hangnyomásszint felel meg, vagyis a (4.17) képlet most érvénytelen, mert:

$$L_A = NR + 12,9 \text{ dB!}$$

A 4.18. ábrán feltüntettük az NR 20, 40, 60, 80, 100, 120 görbék oktáv-szintjeiből számított A-hangnyomásszinteket, amelyek 12,9; 9,6; 7,7; 6,7; 6,3; 6,2 decibellel nagyobbak, mint az NR zajossági számok.

4.5. A zaj káros hatásai

A zajnak az ember egészségére-, különféle tevékenységeire- és nyugalma gyakorolt káros hatásai régóta foglalkoztatják a lakosságot és a tudomány – főként a fiziológiai és a pszichológiai akusztika – művelőit.^{4.27)} Ez a problémakör a zajhatást befolyásoló tényezők és körülmények sokasága miatt rendkívül összetett és nehezen áttekinthető. A legfontosabb fizikai tényezők a következők:

- hangerősség,
- időtartam,
- gyakoriság és napszak,
- frekvenciaösszetétel,
- háttérzaj (a vizsgált hatást előidéző zaj nélküli, a környezet jellegétől függő adottság).

A legfontosabb emberi tényezők:

- egészségi állapot,
- a tevékenység jellege a zajhatás közben (alvás, pihenés, szellemi-, vagy fizikai munka, szórakozás, stb.),
- személyes kapcsolat a zajjal,^{4.28)}
- egyéni adottságok.^{4.29)}

W. Klosterkötter 1972-ben publikált tanulmányában [69] az alábbiak szerint csoportosította a lényeges zajhatásokat:

1. Halláskárosodás
2. A beszédkommunikáció zavarása
3. A vegetatív idegrendszer aktiválása
4. Teljesítménycsökkenés és a feladatmegoldó képesség zavarása
5. Kellemetlenség

Hasonló csoportosításban foglalkozik a különféle zajhatásokkal a WHO, az ENSZ Egészségügyi Világszervezetének^{4.30)} – Dietrich H. Swela által 2000-ben publikált [70] – *Irányelvek a környezeti zajra* c. tanulmánya.^{4.31)}

A halláskárosodást előidéző zajok kiküszöbölése kiemelkedő fontosságú. Az MSZ 18151–2:1983., *Munkahelyeken megengedett egyenértékű és legnagyobb A-hangnyomásszintek* c. szabvány – összhangban a nyugat-európai országok gyakorlatával – a munkaidőre vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszint (L_{Aeq}) és az impulzus (I) időállandóval ($\tau = 35$ ms) mért legnagyobb A-hangnyomásszint ($L_{AI_{max}}$) határértékeit rögzítette a következők szerint:

$$L_{AeqT_M} \leq 85 \text{ dB},$$

$$L_{AI_{max}} \leq 125 \text{ dB}.$$

Magyarországon jelenleg (2003) nincs hatályban hasonló jogszabály.

A VDI 2058 irányelv [71] szerint foglalkozási betegségnek minősülő halláskárosodást okoz a munkahelyi zaj, ha a munkában megszakítás nélkül eltöltött idő:

$$L_{AeqT_M} \geq 85 \text{ dB esetén } 15 \text{ év},$$

$$L_{AeqT_M} \geq 90 \text{ dB esetén } 10 \text{ év},$$

$$L_{AeqT_M} \geq 100 \text{ dB esetén } 5 \text{ év.}^{4.32)}$$

A beszédkommunikációt zavaró zajok az élő beszéd-, a hangszórókkal közvetített szöveges információk- és a telefonbeszélgetés érthetőségét zavarják. Beszédcélú terek (pl. prózai színház, előadóterem, tárgyaló) esetén az élő beszéd érthetősége^{4.33)} elsődleges szempont. Ilyen terekben általában a légtechnikai berendezések fejtik ki a zavaró hatást.

Zajos munkahelyeken (pl. forgácsoló-, lakatos-, asztalos műhely, palackozó, turbinacsarnok) az élő beszéd megértési lehetőségei erősen korlátozottak és nehézkes, vagy lehetetlen a telefonbeszélgetés, illetve az elektroakusztikai berendezésekkel közvetített szöveges információk megértése. A beszédkommunikáció minősége C. M. Harris [50] szerint a tér zajosságától és a beszéd erősségétől^{4.34)} függ. Néhány példa:

$L_A < 50$ dB és normál hangosságú beszéd esetén:

- az élő beszéd 6 m távolságig jól érthető,
- a telefonbeszéd érthetősége kifogástalan,
- hangosítás nem szükséges.

$50 < L_A < 70$ dB és emelt hangosságú beszéd esetén:

- az élő beszéd 2 m távolságig jól érthető,
- a telefonbeszéd még érthető,
- a hangszóróval sugárzott beszéd jól érthető.

$70 < L_A < 90$ dB és nagyon hangos beszéd esetén:

- az élő beszéd 50 cm távolságig érthető,
- a telefonbeszéd nehezen érthető,
- a hangszóróval sugárzott beszéd érthetősége nem kielégítő.

4.30) World Health Organization

4.31) A WHO irányelvek a 3. csoporton belül megkülönböztet

- alvászavart,
- szív- és érrendszeri-,
- fiziológiai- és
- lélektani hatásokat.

4.32) Tájékoztató adatok. A halláskárosodás bekövetkezésének valószínűségét az ISO 1999–1990 [72] alapján lehet számítani, a zajhatás jellege, erőssége, időtartama és a zajhatást elszennvedő személy életkora alapján.

4.33) A beszéd érthetőségét nagyszámú hallgatóssággal vizsgálják. A beszélő – általában színész – olyan szöveget mond, amelyben a szavak többsége értelmetlen (pl. „A haterség lakamáz ad bagalvás”). A hallgatók lejegyzik a hallott szöveget úgy, ahogy értik. A felismert és az elhangzott szótagok százalékos aránya, a szótagérthetőség jellemzi a beszédérthetőséget. 85 %-os szótagérthetőség esetén az értelmes beszéd megértése kifogástalan, a szavak 97 %-át megértjük, ami elegendő a teljes szöveg megértéséhez.

A beszéd érthetőségét a beszélő beszédkulturája és a tér akusztikai tulajdonságai számottevően befolyásolják.

4.34) Férfi beszéd erősségi fokozatai csendes környezetben, a beszélővel szemben 1 m távolságban, C. M. Harris szerint [50]:

Subjektív megítélés	Hosszúidejű L_A dB
Suttogó	40
Halk	50
Normális	57
Emelt	66
Nagyon hangos	74
Kiabáló	82
Maximum	88

4.35) Például a pupilla kitágul, a mélységi látásban zavarok keletkeznek, csökken a nyál- és gyomormirigyek kiválasztódása, a kapillárisok összehúzódnak, a keringő vér mennyisége csökken. Ebben a vonatkozásban nem lehet hozzászokni a zajhoz.

4.36) Ezzel függ össze, hogy az alvás céljára szolgáló helyiségekben $L_{AeqT_M} \leq 30$ dB a megengedhető zajszint.

4.37) Az MSZ 18151-2:1983 szabvány a fizikai munkahelyekre vonatkozó határértékeket is tartalmazott. Jelenleg nincs hatályban ilyen jogszabály.

4.38) Például kórházban a gyógyulást hátráltatja-, lakásban a privátszféra nyugalalmát, intimitását és a jószomszédi viszonyt zavarja a zaj.

4.39) Ipari, közlekedési, települési adottságok, gazdasági lehetőségek.

$90 < L_A < 100$ dB és maximum hangosságú beszéd esetén:

- az élő beszéd 25 cm távolságig érhető,
- a telefonbeszéd nem érhető,
- a hangszóróval sugárzott beszéd nem érhető.

A vegetatív idegrendszer aktiválása címszó alatt összefoglalt zajhatások a vegetatív idegrendszer irányítása alatt álló funkciókban idéznek elő változásokat.^{4.35)} Az alváásra, mint vegetatív funkcióra gyakorolt hatás számszerűen is kifejezhető. Alvászavar lép fel, ha az állandó zaj A -hangnyomásszintje meghaladja a 35 decibelt.^{4.36)} A felébredési küszöb ennél sokkal nagyobb: $L_A = 70$ dB, viszont a mélyalvás megszűnésének küszöbszintje átlagosan $L_A = 55$ dB. (E két érték különbsége 15 dB, hasonlóan a nappal és éjszaka megengedhető zajszintek különbségéhez.)

A teljesítménycsökkenés és a feladatmegoldó képesség zavarása a koncentráció képesség csökkenésében nyilvánul meg. A tevékenység jellegétől függő, nem számszerűsíthető gyakoribb következmények:

- Csökken a fizikai és szellemi teljesítmény
- Növekszik a munkavégzés során elkövetett hibák száma és súlyossága
- Növekszik a baleseti veszély
- Csökken a tanulás eredményessége, növekszik a különböző feladatok megoldásában elkövetett hibák száma és súlyossága
- Csökken az irodai munka minősége

A 4.6. pontban ismertetett hazai előírások szerinti követelmények betartása esetén – a fizikai munkahelyektől eltekintve – nem kell számolni a zaj hatásával összefüggő kedvezőtlen következményekkel.^{4.37)}

A zaj által előidézett kellemetlenség lélektani kategória, amelyet nem lehet pontosan elhatárolni a vegetatív reakcióktól. A kellemetlenség fogalmát a zaj által kiváltott érzetekkel, érzelmekkel és tünetekkel definiálhatjuk. Ilyenek például: figyelemelvonás, idegesség, szorongás, kedvetlenség, bosszúság, elégedetlenség, harag a zaj okozójával szemben, kimerültség, depresszió. A kellemetlenség a hatást kiváltó zaj fizikai tulajdonságain túlmenően a körülményektől^{4.38)} és egy sor szubjektív tényezőtől függ. A hangszigetelés alapvető célja a kellemetlen zajhatások kiküszöbölése.

4.6. Irányelvek az épületek helyiségeiben és a környezetben megengedhető zajosság határértékeire

A környezetben és a különböző rendeltetésű helyiségekben megengedhető zajosság határértékeit a mindenkori hatósági előírások rögzítik. (Az Európai Unió irányelveinek megfelelő hazai előírások kidolgozása jelenleg folyamatban van.) A következőkben a WHO 2000. márciusában kiadott ajánlása [70] szerinti határértékeket ismertetjük a teljesség igénye nélkül. Az irányelvek a különféle emberi tevékenységek ideális akusztikai körülményeit, valamint a káros hatások bekövetkezésének valószínű alsó határértékeit rögzítik, a kutatási eredmények és a tapasztalatok alapján. A hatósági előírások azonban a realitásokat^{4.39)} is kénytelenek figyelembe venni, ezért még új létesítésű objektumok esetén is csak közelítően ideális akusztikai körülményeket céloznak meg és kénytelen tudomásul venni a – lakosság nagyobb hányadát érintő – kedvezőtlen zajhatásokat.

4.6.1. A WHO irányelvei a helyiségekben megengedhető zajterhelésre

A helyiség rendeltetése (A zaj hatása, illetve a megítélés szempontjai)	L_{AeqT} dB	Megítélési idő T óra, vagy időszak	L_{AFmax} dB ^{4.40)}
Kórházi intenzív szoba (Pihenés, gyógyulás)	4.41)	—	—
Kórterem éjjel	30	8	40
Kórterem nappal és este (Alvás zavarása)	30	16	—
Lakás hálószobája (Alvás zavarása)	30	8	45
Lakás nappali szobája (A beszédérthetőség, a szellemi munka, a zenehallgatás, stb. zavarása)	35	16	—
Óvodai hálószoba (Alvás zavarása)	30	Alvási idő	45
Óvoda, bölcsőde foglalkoztatója, tanterem (A beszédérthetőség és a szellemi munka zavarása)	35	Foglalkoztatási, ill. tanítási idő	—
Ipari, kereskedelmi, közlekedési területek (Halláskárosodás)	85	1	110

4.40) Az A -hangnyomásszint F időállandóval ($\tau = 125$ ms) mért legnagyobb értéke.

4.41) A lehető legkisebb legyen!

4.6.2. A WHO irányelvei a környezetben megengedhető zajterhelésre

A terület jellege (A zaj hatása, illetve a megítélés szempontjai)	L_{AeqT} dB	Megítélési idő T óra, vagy időszak	L_{AFmax} dB ^{4.40)}
Pihenőpark, természetvédelmi terület (A nyugalom zavarása)	4.42)	—	—
Lakóépület hálószobájának nyitott ablaka előtt (Alvás zavarása)	45 ^{4.43)}	8	60
Lakóépületek környezetében	50 ^{4.44)} 55 ^{4.45)}	16 16	— —
Óvoda, iskola játéktérülete (Kellemetlen érzés)	55	Játék közben	—

4.42) A meglévő csendes területeket meg kell óvni és korlátozni kell a természetes háttérzajból kiemelkedő zavaró zajt.

4.43) Feltételezés: az ablak becsukásával a hálószobában az A -hangnyomásszint 30 dB lesz.

4.44) Nappal és az esti órákban mérsékelt kellemetlen érték.

4.45) Nappal és az esti órákban kellemetlen érték.

4.7. Hatósági előírások a környezetben és az emberi tartózkodásra szolgáló helyiségekben megengedhető zajterhelés határértékeire

4.46) Zajmisszió, zajosság

4.47) Meglévő és új üzemi létesítményektől származó zajra egyaránt vonatkoznak, a rendeletben meghatározott engedmények és feltételek mellett.

4.48) A környezetvédelmi hatóság – a kivitelező kérelmére – különféle engedményeket tehet.

4.49) Lényegében csak új tervezésű, vagy megváltozott rendeltetésű területeken (pl. ipartelep helyén épített lakóépületek) és lényegesen megváltozott forgalmi viszonyok (pl. lakások helyén épült főforgalmi út) esetén kötelező előírások.

4.50) Például felvonók, kazánok, szivattyúk, szellőző- és klímaberendezések, vízellátási-, csatornázási-, fűtési- és világítási berendezések.

4.51) Árnycsökkenés, klimatizálás

4.52) Ezekkel a kérdésekkel a későbbiek során foglalkozunk.

4.53) A vízellátás-csatornázás különválasztva a többi technikai berendezéstől.

4.54) Nem egyenértékű A-hangnyomásszintet, hanem F időállandóval mért legnagyobb A-hangnyomásszintet írnak elő.

A környezetben és a különböző rendeltetésű helyiségekben megengedhető **zajterhelés**^{4.46)} határértékeit a környezetvédelmi miniszter és az egészségügyi miniszter 8/2002 (III.22.) KöM–EüM együttes rendelete [73] írja elő. Feltételezhető, hogy az Európai Unióhoz való csatlakozásunkkal összefüggő jogharmonizáció következményeként ezek az előírások módosulni fognak. Ezért függelékben ismertetjük az alábbi előírásokat.

F4 Üzemi létesítményektől származó zaj terhelési határértékei zajtól védendő területeken (a rendelet 1. sz. melléklete)^{4.47)}

F5 Építőipari kivitelezési tevékenységtől származó zaj terhelési határértékei zajtól védendő területeken (a rendelet 2. sz. melléklete)^{4.48)}

F6 A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei zajtól védendő területeken (a rendelet 3. sz. melléklete)^{4.49)}

F7 A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei épületek zajtól védendő helyiségeiben (a rendelet 4. sz. melléklete alapján)

F8 Az épület rendeltetészerű használatát biztosító technikai berendezésektől^{4.50)} és az épületen belül-, vagy azzal szomszédos épületben folytatott termelő-, vagy szolgáltató tevékenységtől együttesen származó zaj terhelési határértékei épületek zajtól védendő helyiségeiben (a rendelet 4. sz. melléklete alapján)

Észrevételek az F7 és F8 függelék szerinti követelményekhez:

Közlekedéstől származó zajok

Elsősorban az épületek homlokzata előtt megengedhető zajt kell korlátozni, illetve csökkenteni, a nyitott ablak melletti alvás feltételeinek megteremtése érdekében, összhangban a WHO irányelveivel.

Az F7 függelék szerinti határértékek – a **passzív zajvédelem** követelményei – nemcsak akusztikai követelmények, mert egyidejűleg meg kell oldani a csukott nyílászárók mögötti helyiségek nyári felmelegedése elleni védelmét,^{4.51)} szellőztetését és párasodás elleni védelmét^{4.52)} is.

Az épületek technikai berendezéseitől származó zajok

Az F8 függelék szerinti követelmények különféle szakterületek tervezési és kivitelezési hatáskörébe tartozó technikai berendezések által együttesen keltett zajra vonatkoznak, beleértve az épületen belül-, vagy azzal szomszédos épületben folytatott termelő-, illetve szolgáltató tevékenységtől származó zajt is. A lakosság védelme szempontjából a szabályozásnak ez a módja nem kifogásolható. Viszont a tervezést és az ellenőrzést egyaránt nehezíti az összevont határérték és egyfajta akusztikai generáltervezést tételez fel, amelynek során az összevont követelményből levezetik a részterületek feladatait. A németországi gyakorlatban szakági követelményeket írnak elő, az alábbi függelék szerinti.

F9 DIN 4109/A1–1998 [74] Épületek technikai berendezései és az üzemi tevékenység által keltett A-hangnyomásszintek megengedhető határértékei zaj ellen védendő helyiségekben^{4.53)}

F10 VDI 2566–1988 [76] Elektromos működtetésű kötélfelvonók által keltett zaj megengedhető határértékei^{4.54)}

F11 VDI 2081–1983 [75] A légtechnikai berendezések által keltett zaj megengedhető legnagyobb A-hangnyomásszintjei

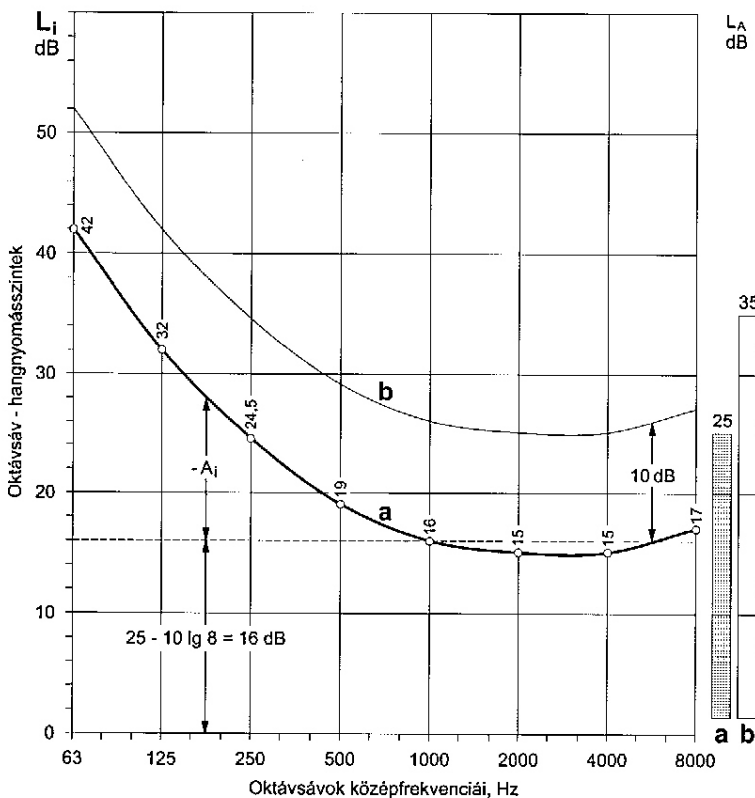
4.8. Az A-szintekkel kifejezett követelmények átalakítása A-karakterű frekvenciafüggvényekké

A különféle zajforrások közös tulajdonsága, hogy az általuk keltett hangnyomásszint a frekvencia függvényében változik.^{4.55)} A zaj csökkentését szolgáló műszaki megoldások tulajdonságai is változnak a frekvencia függvényében. Ezek a tények teszik szükségessé a fenti címben jelzett probléma megoldását.^{4.56)}

Nyilvánvaló, hogy az A-hangnyomásszinttel (vagy egyenértékű A-hangnyomásszinttel) kifejezett követelményt olyan frekvenciafüggvénnyel kell helyettesítenünk, amelynek A-hangnyomásszintje azonos az egyetlen számmal jellemzett követelménnyel. Mivel az ilyen függvények száma végtelen, a szerző szerint [77] kézenfekvő megoldás, ha az a függvény alakilag azonos a 4.12. ábra szerinti A-jelű súlyozó görbének a frekvencia-tengelyre képzett tükröképével. Ilyen A-karakterű függvény például a 4.19. ábra a jelű görbéje, amelynek – a (4.2) összefüggéssel számított – A-hangnyomásszintje 25 dB, a függvény egyenlete pedig:

$$L_i = L_A - 10 \lg k - A_i \text{ dB}, \tag{4.18}$$

- ahol L_A az A-hangnyomásszinthez megadott követelmény dB,
- L_i a keresett függvény sávszintje az i -edik sávban dB,
- k az oktáv-, vagy tercésávok száma
- A_i az A-jelű súlyozó szűrő csillapítása az i -edik sávban dB.



4.55) Példaként lásd a beszéd hangszíneit a 3.34. ábrán és egy ventilátor által keltett zaj hangszíneit a 3.35. ábrán.

4.56) Az NR-határgörbékkel kifejezett követelmények esetén ez a probléma eleve megoldott (lásd a 4.18. ábra a jelű hangszíneivel kapcsolatos 4.26) széljegyzetet).

4.19. ábra
 Segédlet az A-hangnyomásszinttel megadott követelmény olyan frekvenciafüggvénnyel történő helyettesítéséhez, amely a 63 ... 8000 Hz közép-frekvenciák tartományában 8 oktávcsávra terjed ki
 a $L_A = 25 \text{ dB}$
 b $L_A = 35 \text{ dB}$

A 4.19. ábrát segédletként is használhatjuk. Az a jelű görbe mellett feltüntettük az $L_A = 25 \text{ dB}$ -t adó függvényhez tartozó L_i sávszinteket. Tetszés szerinti L_A A-hangnyomásszinthez tartozó L_i sávszintek a (4.19) összefüggés szerint adódnak:^{4.57)}

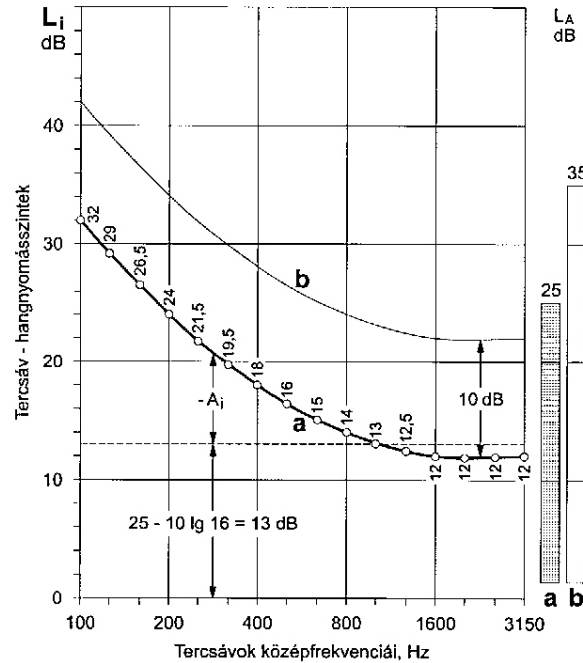
4.57) A sávszintek növekménye azonos az A-hangnyomásszint növekményével (lásd a 4.19. ábrán).

$$L_i = L_{i(25)} + (L_A - 25) \text{ dB.} \quad (4.19)$$

A 4.19. ábra *b* jelű görbéjével jellemzett hangnyomásszintekkel az $L_A = 35$ dB követelményt helyettesíthetjük.

Az *A*-karakterű helyettesítő függvények L_i sávszintjeinek nagyságát az alkalmazott szűrő típusa és a követelmény teljesítésére előírt-, vagy tervezett frekvenciatartománya is befolyásolja.^{4.58)} Példa- és segédletként közöljük a 4.20. ábrát 16 tercsáv feltételezésével.

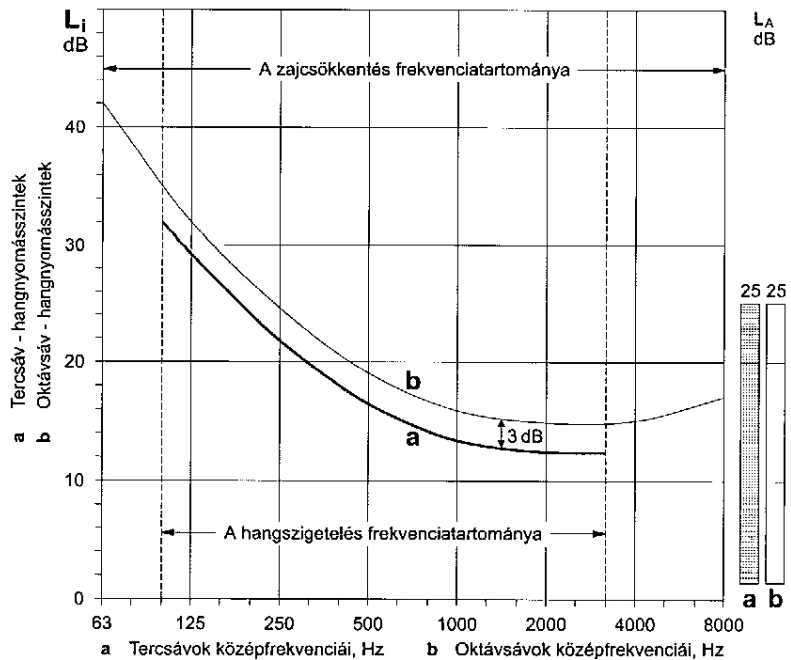
4.58) Erre utal a (4.18) képletben a $(-10 \lg k)$ kifejezés.



4.20. ábra

Segédlet az *A*-hangnyomásszinttel megadott követelmény olyan frekvenciafüggvénnyel történő helyettesítéséhez, amely a 100 ... 3150 Hz közép-frekvenciák tartományában 16 tercsávra terjed ki

- a $L_A = 25$ dB
- b $L_A = 35$ dB



4.21. ábra

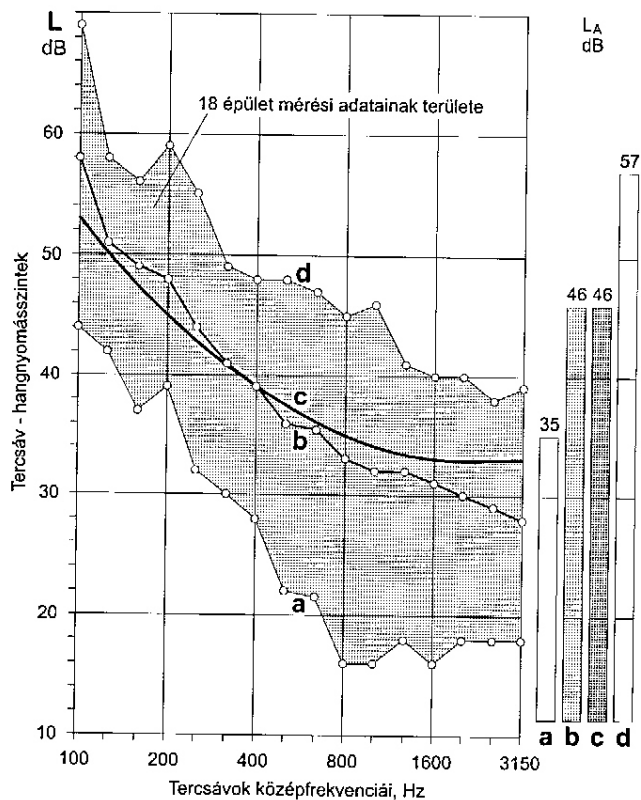
$L_A = 25$ dB követelményt helyettesítő hangnyomásszint függvények

- a 16 tercsáv a 100 ... 3150 Hz középfrekvenciák tartományában
- b 8 oktávsváv a 63 ... 8000 Hz középfrekvenciák tartományában

A frekvenciatartomány nagyságának és a sávszűrő típusának az *A*-karakterű helyettesítő függvény L_i hangnyomásszintjére gyakorolt hatását a 4.21. ábrával illusztráljuk. Az *a* jelű függvény a hangszigetelés szokványos frekvenciatartományában elhelyezkedő 16 tercsávra-, a *b* jelű függvény

pedig a zajcsökkentés szokványos frekvenciatartományában elhelyezkedő 8 oktávsvára terjed ki. Mindkét függvény $L_A = 25$ dB-t helyettesít.

A fentiekben ismertett módszer alkalmazásával olyan jellegű helyettesítő függvényeket állíthatunk elő, amelyek – azon túlmenően, hogy valóság-hűen fejezik ki az embernek a zaj kisfrekvenciás összetevőivel szemben tanúsított nagyobb tűrőképességét – többé-kevésbé hasonlóak a közúti közlekedés által lakószobákban, irodákban és iskolai tantermekben keltett zaj hangszinképeihez. Ezt a tényt – saját méréseink [78] alapján – a 4.22. ábrával illusztrált adathalmazzal támasztjuk alá.



4.22. ábra

A közúti közlekedés által csukott ablakok mögötti lakószobákban, irodákban és tantermekben keltett hangnyomásszintek terciszűrőkkel mérve, nappal (6–22 óra között)

- a A szórás terület legkisebb értékei ($L_A = 35$ dB)
- b A mérési adatok átlaga ($L_A = 46$ dB)
- c $L_A = 46$ dB-t helyettesítő, A-karakterű hangnyomásszint-függvény
- d A szórás terület legnagyobb értékei ($L_A = 57$ dB)

4.4. A zajosságot jellemző mennyiségek

4.7) Szinonimái: zajimmisszió, zajterhelés

4.8) W. Zeller 1950-ben kiadott „Technische Lärmabwehr” c. könyve [58] szerint a zavaró zaj megengedhető határértékei a tapasztalatok szerint:

	DIN-phon
Rádió és moziúdió	10–15
Kórházak és szállodák különleges igényű helyiségei, nagy értékű munkaszobák	20–30
Irodák	30–40
Nagyterü irodák	40–50
Zajszegény műhelyek	40–60
Ipari üzemek	90
Repülőgépkabinok	95

4.9) Magyarországon 1984. január 1-jén lépett hatályba az egyenértékű A-hangnyomásszint vizsgálati módszereit rögzítő MSZ 18151/1–83 szabvány.

4.10) Lásd a 3.4) széljegyzetben és a 3.4.3. pontban.

4.11) Itt jegyezzük meg, hogy az MSZ 18150–1:1999 szabvány [60] a T-vel jelölt idők több változatát definiálja:

T_m – mérési idő: ilyenkor a (4.3) képlet szerint mért egyenértékű A-hangnyomásszint a T_m mérési időre vonatkozik.

T_M – megítélési idő: azon időtartam, amelyre a jogszabályban meghatározott követelmény vonatkozik (pl. nappal $T_M = 16$ óra).

T_V – vonatkoztatási idő: adatgyűjtés céljából végzett mérések esetén használt megjelölés. T_V időtartama hasonló T_M -hez, de általában nem több, mint 24 óra.

A zajosság^{4.7)} kifejezéssel arra utalunk, hogy most olyan fizikai mennyiségeket ismertetünk, amelyek nem a hangérzet erősségét jellemzik, hanem – a zaj fogalmi definíciójának megfelelően – a nem kívánt-, zavaró-, vagy kellemetlen hangokat, illetve az emberi tevékenységekre és az egészségre káros hatásokat. Ezek a mérőszámok fokozatosan alakultak ki a hangosságának a 4.3. pontban ismertetett mérőszámaiból.^{4.8)} A probléma bonyolult voltának jellemzése céljából két fontos megállapítást idézünk Tarnóczy Tamás: Hangnyomás, hangosság, zajosság c. könyvének [49] IV. Zajosság című fejezetéből.

- „A zaj kellemetlenségi, zavaró, vagy terhelő hatása csak nagyon lazán függ össze a hangossággal, vagy a hangosságot mérő valamelyik fizikai adattal.” (176. o.)
- „Gyors becslések szerint 30-ra tehető a zajosság jellemzésére használható egységek és mérési módszerek száma, de közülük egyetlen sincs, amely mindenfajta zajforrásra és zajformára egyetemlegesen alkalmazható volna.” (177. o.) Tarnóczy részletesen ismerteti a legjelentősebb módszereket.

A nemzetközi tapasztalatok szerint a különféle zajhatások jellemzésére legalkalmasabb az egyenértékű A-hangnyomásszint.

4.4.1. Egyenértékű A-hangnyomásszint

Az egyenértékű A-hangnyomásszint az időben változó erősségű zajok egymás mellett jellemzője, olyan mérőszám, amellyel – a tapasztalatok szerint – jól jellemezhetjük a zaj emberre gyakorolt különféle hatásait. Meghatározásának módja viszonylag egyszerű, ezért ezt a mérőszámot világszerte évtizedek óta általánosan használják a zajosság mérésére és a zaj megengedhető határértékeinek szabványosítására.^{4.9)} Az egyenértékű A-hangnyomásszint fogalmának értelmezését megelőzően emlékeztetnünk kell az Olvasót a hangnyomás effektív értékével és az energetikai átlaggal kapcsolatos megállapításokra.^{4.10)} Ezek lényege: az emberi reakció az energetikai átlaggal van kapcsolatban.

Az időben állandó zajok esetén az A-hangnyomásszint energetikai átlagot fejez ki, mert a (4.1) definíció szerint ez a mennyiség az A-hangnyomás effektív értékének négyzetéből (\bar{p}_A^2) képzett szint, az effektív érték pedig eleve az energetikai átlagot jellemzi.

Az időben változó zajok esetén egy meghatározott T időtartamra határozzuk meg az energetikai átlagot, amelyet az L_{AeqT} szimbólummal jelölünk, utalva arra a feltételezésre, hogy ezzel a mennyiséggel jellemzett és az időben változó zaj hatása **egyenértékű** (equivalent) a T ideig ható és L_{Aeq} számértékével azonos szintű állandó zaj hatásával.^{4.11)} Az egyenértékű A-hangnyomásszint meghatározásának különféle módszereit a vonatkozó előírások [59] [60] [61] tartalmazzák. Ezek közül csak a hangszigetelés tárgykörében használt eljárásokat ismertetjük.

Az időben folytonosan változó zajok esetén integráló hangnyomásszint-mérőt alkalmazunk, amely az előírásokban meghatározott megítélési időre vonatkozó effektív értéket méri a (4.3) egyenlet szerint:

$$L_{AeqT_M} = 10 \lg \frac{1}{T_M} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad \text{dB}, \quad (4.3)$$

ahol $p_A(t)$ az A -szűrővel súlyozott hangnyomás pillanatnyi értéke Pa,
 p_0 a hangnyomás vonatkoztatási értéke: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa,
 T_M megítélési idő óra, vagy másodperc.

A (4.3) egyenlet a T_M idő alatt változó zaj A -hangnyomásszintjének energetikai összegezését és T_M időtartamra történő átlagolását írja le, a 3.4.3. pontban leírt elveknek megfelelően.

Szakaszosan állandó szintű zaj esetén a T_M megítélési időtartamot olyan t_i szakaszokra bontjuk, amelyekben az A -hangnyomásszint gyakorlatilag állandó, majd ezek energetikai összegezését és átlagolását végezzük el a (3.34) formulával tartalmilag azonos (4.4) összefüggéssel:

$$L_{AeqT_M} = 10 \lg \left[\frac{1}{T_M} \sum_{i=1}^n t_i 10^{0,1 L_{Ai}} \right] \text{ dB}, \quad (4.4)$$

ahol L_{AeqT_M} T_M megítélési időre vonatkozó egyenértékű A -hangnyomásszint dB,

t_i időtartamok, amelyben az A -hangnyomásszint gyakorlatilag állandó óra, vagy másodperc,

L_{Ai} A -hangnyomásszint az i -edik időszakban dB,

T_M megítélési idő ($T = \sum t_i$) óra, vagy másodperc.

4.12) Példa L_{AeqT_M} számítására, $T_M = 8$ óra feltételezésével:

i	1	2	3
t_i	2	4	2 óra
L_{Ai}	50	40	30 dB

$$L_{AeqT_M} = 10 \lg \frac{1}{8} (2 \cdot 10^5 + 4 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^3)$$

$$L_{AeqT_M} = 44,8 \text{ dB.}$$

A 4.12) széljegyzetben konkrét példát közlünk.

Szakaszosan változó szintű zaj esetén is alkalmazhatjuk a (4.4) összefüggést. Ilyenkor a t_i időtartamokban a (4.3) képlet szerint mért $L_{Aeq t_i}$ értéket kell helyettesíteni.

Az egyenértékű A -hangnyomásszint széleskörű alkalmazásának indokai

Az egyenértékű A -hangnyomásszint – mint fizikai fogalom – alapvető elemi: az A -jelű súlyozó szűrő és az energetikai átlag.

- Kétségtelen, hogy az A -szűrővel mért hangnyomásszint hosszabb-rövidebb ideig ható hangosság szint^{4.13)} ám az energetikai átlag eltünteti a részhangosságok élményét és ezáltal az egyenértékű A -hangnyomásszint a zaj nem kívánt-, zavaró-, vagy kellemetlen hatásának jellemzésére alkalmas mennyiséggé válik^{4.14)}
- Az egyenértékű A -hangnyomásszintekkel – viszonylag kevés kompromisszum árán – a környezetben és a különböző rendeltetésű helyiségekben fellépő zajok sokasága jellemezhető és könnyen áttekinthető követelményrendszert lehet kialakítani.
- Az A -szűrő alkalmazása a hangszigetelés tárgykörében indokolt, mert az épületek helyiségeiben megengedhető zajok – kevés kivételtől eltekintve – az A -szűrő méréstartományába esnek^{4.15)}
- Nyilvánvaló, hogy a nagy hangerősségű zajok A -hangnyomásszintje kisebb, mint az érzékelt hangosság szint, annak következtében, hogy az A -szűrő a hallószervnél nagyobb mértékben csillapítja a zaj kisfrekvenciás összetevőit, mint a B -, vagy a C -jelű szűrő (lásd a 4.10. ábrát). Ám az is tény, hogy az ember tűrőképessége ebben a tartományban viszonylag nagy. Erre a tűrőképességre műszaki-gazdasági okok miatt szükség is van, mert a különféle műszaki megoldások^{4.16)} hatékonysága a kisfrekvenciák tartományában általában csekély.

4.13) A hangszigetelés tárgykörében előforduló gyakori zajhatások (rádió, TV-zaj, beszéd, közlekedési zaj, stb.) esetén: $t_i \ll T_M$.

4.14) Az egészségre ártalmas zajhatások esetére nem alkalmazható ez a leegyszerűsített hipotézis.

4.15) Lásd a 4.5) széljegyzetet.

4.16) Például zajárnyékoló falak, hangelnyelő burkolatok, hangszigetelő szerkezetek.

4.17) Az angol nyelvű szakirodalomban SEL (Sound Exposure Level), az ISO 3891-ben L_{AX} [62].

4.18) Például repülőgép, autóbusz elhaladásakor egy fix pontba sugárzott zaj.

4.4.2. Zajeseményszint

A zajeseményszint (L_{AE})^{4.17)} egyszeri, meghatározott időközben lejátszódó, változó szintű zajesemény^{4.18)} energetikai jellemzője, a (4.5) össze-

4.19) Zajeseleményszintmérő (SEL-mérő)

függéssel értelmezett **fiktív mennyiség**, amelyet integráló hangnyomás-szintmérővel^{4.19)} lehet meghatározni:

$$L_{AE} = 10 \lg \frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad \text{dB}, \quad (4.5)$$

ahol L_{AE} zajeseleményszint: 1 másodpercig ható, állandó A -hangnyomás-szint, amelynek az emberre gyakorolt hatása egyenértékű a változó A -hangnyomás-szintű zaj hatásával dB,

$p_A(t)$ az A -szűrővel súlyozott hangnyomás pillanatnyi értéke Pa,

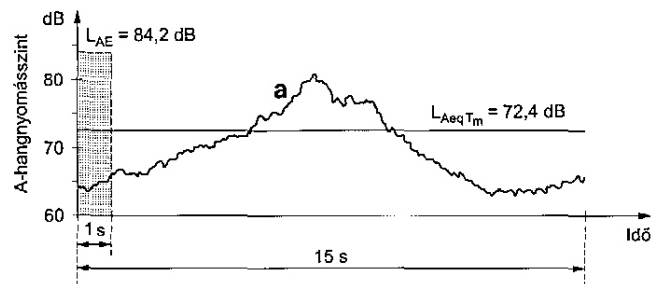
p_0 a hangnyomás vonatkoztatási értéke: $2 \cdot 10^{-5}$ Pa,

$t_2 - t_1$ adott időszak, amelyben a vizsgált zajeselemény minden szignifikáns eleme megjelenik s,

$t_0 = 1$ s.

A 4.13. ábra szerinti példa [63] elősegíti a (4.5) összefüggéssel értelmezett fogalom megértését.

4.13. ábra
Egy autóbusz elhaladási zajának időfüggvénye (a), zajeseleményszintje (L_{AE}) és a mérési időre vonatkoztatott egyenértékű A -hangnyomás-szintje (L_{AeqT_m})



Az autóbusz elhaladásakor az A -hangnyomás-szint 63 és 81 dB között változik 15 s alatt. A (4.5) képlet szerinti zajeseleményszint: $L_{AE} = 84,2$ dB, amely 1 s alatt ugyanolyan hatást fejt ki, mint az autóbusz által keltett, változó szintű zaj 15 s alatt. A zajeseleményszint tehát $T_m = 1$ s mérési időre vonatkoztatott egyenértékű A -hangnyomás-szint.^{4.20)}

4.20) Így is jelölhetnénk: $L_{AE} = L_{AeqT_m} = 1$ s.

4.4.3. Egyenértékű A -hangnyomás-szint számítása zajeseleményszintekből

Az ISO 3891 [62] a repülési zaj által a települési környezetben kifejtett hatás jellemzése céljából szabványosította a zajeseleményszint fogalmát. A következőkben olyan egyszerű összefüggéseket fogunk ismertetni, amelyekkel egy, vagy több zajeseleményszintből, illetve zajeseleményszintek sorozataiból kiszámíthatjuk a hatósági előírásokban megjelölt T_M megítélési időtartamokra vonatkozó egyenértékű A -hangnyomás-szintet. Az összefüggések levezetése során a zajeseleményszintet a 4.13. ábra alapján olyan állandó szintű zajnak fogjuk tekinteni, amely a zajeselemény időszakában ($t_2 - t_1$) egyszer fordul elő, hatásideje: $t_i = t_0 = 1$ s, A -hangnyomás-szintje pedig ebben a szakaszban: $L_{Ai} = L_{AE}$ dB.^{4.21)}

4.21) A t_i és L_{Ai} jelek értelmezését lásd a (4.4) összefüggésnél.

A zajeselemény időtartamára vonatkozó egyenértékű A -hangnyomás-szint

A (4.4) összefüggésben $T_M = t_1 - t_2$, $t_i = t_0$, $L_{Ai} = L_{AE}$ helyettesítéssel a számításhoz szükséges (4.6) képlethez jutunk:

$$L_{AeqT_m} = 10 \lg \frac{1}{t_2 - t_1} t_0 10^{0,1L_{AE}} \quad \text{dB}. \quad (4.6)$$

4.22)

$$10 \lg 10^{0,1L_{AE}} = L_{AE}.$$

A műveletek elvégzése után^{4.22)} a (4.6) összefüggés a gyakorlat szempontjából egyszerűbb alakra hozható:

$$L_{AeqT_m} = L_{AE} + 10 \lg \frac{t_0}{t_2 - t_1} \quad \text{dB.} \quad (4.7)$$

A 4.23) széljegyzetben kiszámítottuk a 4.13. ábra szerinti zajesemény 15 másodpercre vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintjét.

$$4.23) \quad \begin{aligned} t_0 &= 1 \text{ s,} \\ t_2 - t_1 &= 15 \text{ s,} \\ L_{AE} &= 84,2 \text{ dB.} \end{aligned}$$

$$L_{AeqT_m} = 84,2 - 10 \lg \frac{1}{15} = 72,4 \text{ dB,}$$

amelyet a 4.13. ábrán feltüntettünk.

Egyetlen zajesemény megítélési időre vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintje

A zajesemény időtartamánál hosszabb T_M megítélési időre (pl. 0,5 óra, 8 óra) vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintet a (4.7) összefüggéshez hasonló képlettel számíthatjuk:

$$L_{AeqT_M} = L_{AE} + 10 \lg \frac{t_0}{T_M} \quad \text{dB.} \quad (4.8)$$

A (4.8) összefüggés szerint L_{AeqT_M} a t_0/T_M hányados tízszeres logaritmusával kisebb, mint a zajesemény szint. Általánosíthatunk is: ha ismerjük egy adott T_1 időhöz tartozó L_{AeqT_1} szintet, ebből egyszerűen kiszámíthatjuk L_{AeqT_2} értékét a (4.9) összefüggéssel:

$$L_{AeqT_2} = L_{AeqT_1} + 10 \lg \frac{T_1}{T_2} \quad \text{dB.} \quad (4.9)$$

Példák a (4.8) és (4.9) összefüggések alkalmazására

1. Egy sugárhajtású repülőgép zajesemény szintje a 4.14. ábra szerint $L_{AE} = 105 \text{ dB}$. A $T_M = 0,5$ órára (1800 s) vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszint a (4.8) képlet szerint:

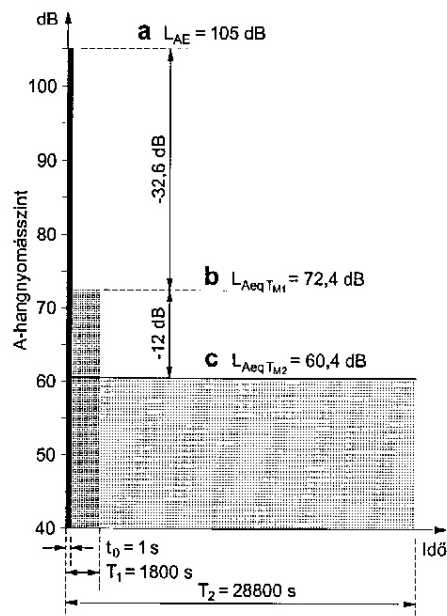
$$L_{AeqT_M} = 105 + 10 \lg \frac{1}{1800} = 105 - 32,6 = 72,4 \text{ dB.}$$

2. Ha a $T_{M1} = 0,5$ óra (1800 s) megítélési időt $T_{M2} = 8$ órára (28800 s) növeljük, nyilvánvalóan kisebb lesz az egyenértékű A-hangnyomásszint. A csökkenés ΔL_A mértékét a (4.9) összefüggés jobb oldalának második tagja fejezi ki:

$$\Delta L_A = 10 \lg \frac{T_{M1}}{T_{M2}} \quad \text{dB.} \quad (4.10)$$

amely most:

$$\Delta L_A = 10 \lg \frac{1800}{28800} = -12 \text{ dB.}$$



Egyetlen zajesemény többszörözése révén keletkező egyenértékű A-hangnyomásszint

Ha például egy repülőtérről a nap folyamán ugyanolyan zajesemény szintű repülőgépek sokasága száll fel, a zajesemény szint energetikai többszörözése valósul meg a (3.25) egyenlet szerint, ezért az egyetlen zajesemény szinthez tartozó – a (4.8) képlet szerinti – egyenértékű A-hangnyomásszint növekménye:

$$\Delta L_{AeqT_M} = 10 \lg n \quad \text{dB.} \quad (4.11)$$

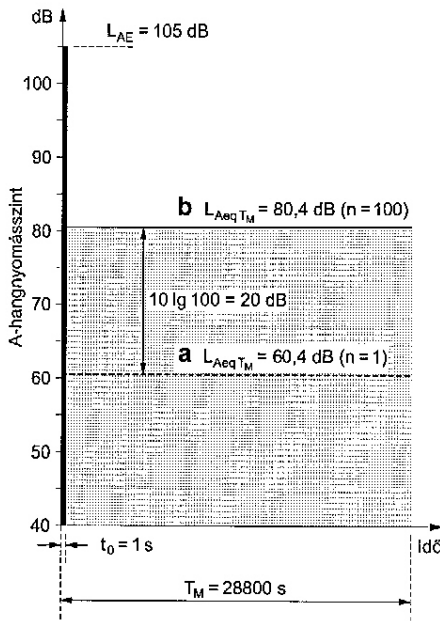
ahol n az ugyanolyan zajesemény szintű gépek száma.

A zajesemény többszörözéséhez tartozó egyenértékű A-hangnyomásszint a (4.8) és a (4.11) egyenletek jobb oldalainak összegével azonos:

$$L_{AeqT_M} = L_{AE} + 10 \lg \frac{t_0}{T_M} + 10 \lg n \quad \text{dB,} \quad (4.12)$$

4.14. ábra

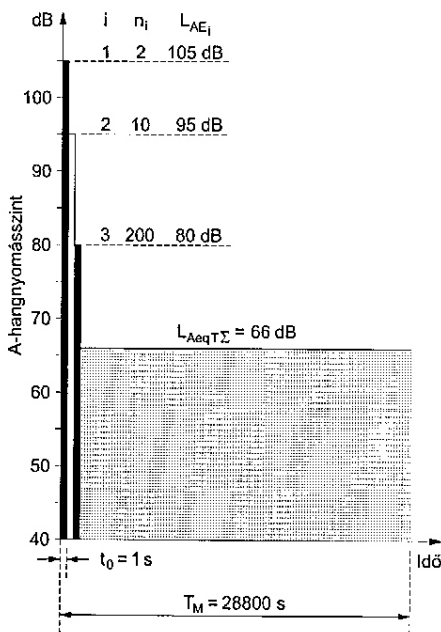
Egy sugárhajtású repülőgép egyetlen zajeseményének jellemzői
 a Zajesemény szint
 b $T_1 = 0,5$ órára vonatkozó L_{AeqT_1}
 c $T_2 = 8$ órára vonatkozó L_{AeqT_2}



4.15. ábra

Egy sugárhajtású repülőgép $T_M = 8$ órára vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszintjei

- a 1 felszállás esetén, a 4.14. ábra szerint
b 100 felszállás esetén



4.16. ábra

Három különböző zajesemény szint eltérő többszörözéséhez tartozó, L_{AeqT_M} jelű egyenértékű hangnyomásszint számításának adatai és eredménye

ahol L_{AE} egyszeri zajesemény szint dB,
 n a zajesemények száma,
 $t_0 = 1$ s,
 T_M megítélési idő s.

Példa a (4.12) egyenlet alkalmazására

$L_{AE} = 105$ dB zajesemény szintű repülőgépek 8 órán belül százszor szállnak fel. Számítsuk ki a mérési pontban napi 8 óra (28800 s) alatt keletkező egyenértékű A-hangnyomásszintet!

$$L_{AeqT_M} = 105 + 10 \lg 100 + 10 \lg \frac{1}{28800} = 80,4 \text{ dB},$$

amely $10 \lg 100 = 20$ decibellel nagyobb, mint az egyszeri felszálláshoz tartozó szint (lásd a 4.15. ábrát).

Különböző zajesemény szintek eltérő többszörözése révén keletkező egyenértékű A-hangnyomásszint

Ha a megítélési időn belül a zajesemény szintek egymástól eltérően ismétlődnek (pl. egy repülőtérről a nap folyamán különböző típusú és teljesítményű gépek szállnak fel), a számítás gondolatmenete a következő:

- Az eltérő L_{AE_i} zajesemény szinteket egyenként többszörözzük a (4.13) összefüggés szerint:

$$L_{AE_n} = L_{AE_i} + 10 \lg n_i \text{ dB}, \quad (4.13)$$

- ezután a többszörözött zajesemény szinteket energetikailag összegezzük:

$$L_{AE\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n n_i 10^{0,1 L_{AE_i}} \text{ dB}, \quad (4.14)$$

- végül a (4.8) összefüggés értelemszerű alkalmazásával kiszámítjuk az energetikailag összegezett $L_{AE\Sigma}$ zajesemény szinthez tartozó egyenértékű A-hangnyomásszintet:

$$L_{AeqT_M\Sigma} = L_{AE\Sigma} + 10 \lg \frac{t_0}{T} \text{ dB}. \quad (4.15)$$

A fenti műveleteket egyetlen képletbe foglalhatjuk:

$$L_{AeqT_M\Sigma} = 10 \lg \sum_{i=1}^n n_i 10^{0,1 L_{AE_i}} + 10 \lg \frac{t_0}{T} \text{ dB}, \quad (4.16)$$

ahol L_{AE_i} különböző zajesemény szintek dB,
 n_i a különböző zajesemények száma,
 $t_0 = 1$ s,
 T_M megítélési idő s.

Példa a (4.14) egyenlet alkalmazására

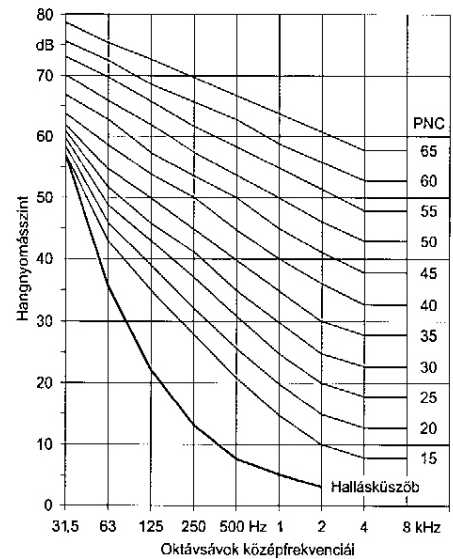
Három különböző zajesemény szint eltérő többszörözésének adatait tüntetjük fel a 4.16. ábrán. A 8 órás (28800 s) megítélési időhöz tartozó, eredő egyenértékű A-hangnyomásszint a (4.6) képlet szerint:

$$L_{AeqT_M\Sigma} = 10 \lg (2 \cdot 10^{10,5} + 10 \cdot 10^{9,5} + 200 \cdot 10^8) + 10 \lg \frac{1}{28800} = 110,6 - 44,6 = 66 \text{ dB}.$$

4.4.4. Határgörbékkel értékelt zajosság

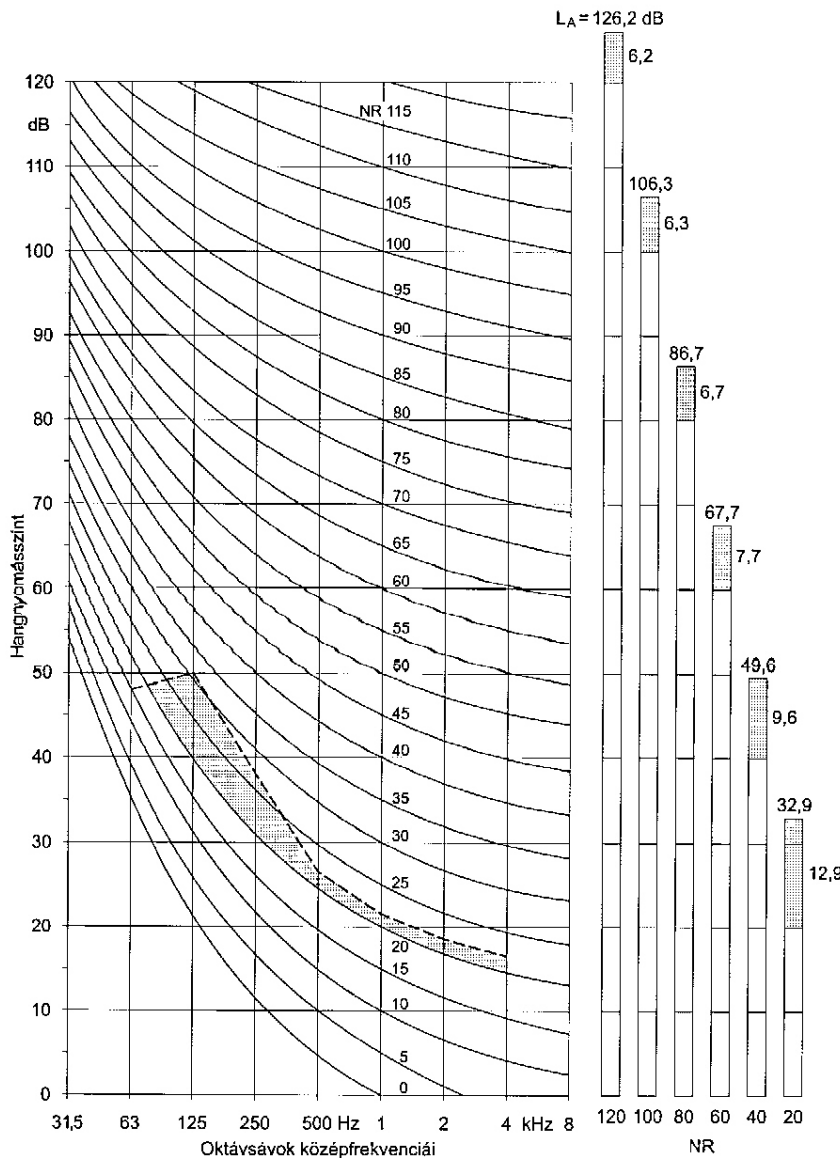
L. L. Beranek az irodák szellőztető berendezései által keltett zajok beszédzavaró hatásának értékelésére 1957-ben viszonylag szigorú, NC (Noise

Criteria) jelű- és ezeknél enyhébb, bármilyen, az időben állandó erősségű zörejre alkalmazható NCA jelű görbesereget dolgozott ki. (Megtalálható Beranek: Zajcsökkentés c. könyvének 437–438. oldalain [64].) A görbék oktáv-hangnyomásszinteket ábrázoltak a régi amerikai szabvány szerinti oktávszűrők középfrekvenciáinak függvényében. 1971-ben az IEC 225 szerinti oktáv-sávokra átdolgozták és jelentősen módosították az eredeti NC-görbéket PNC (Preferred Noise Criteria) elnevezéssel, a 4.17. ábrán látható módon [65]. Európában Kosten és van Os javaslatára [66] 1962-óta a hallás tulajdonságait jobban követő NR-görbéket használták. Az ISO 1971-ben szabványosította az NR-görbéket [67] a 4.18. ábra szerint. 4.24)



4.17. ábra
PNC-görbék irodai zajok értékelésére
Beranek, Blazier és Figwer szerint
(Tarnóczy könyvből [49] átvett ábra)

4.24) A görbék numerikus adatait az F2 függvényében közöljük.



4.18. ábra
NR-görbék az ISO R 1996 ajánlás szerint
Különbség az NR-görbék szerinti oktáv-szintekből számított A-hangnyomásszintek és az NR értékek között
a Egy jó minőségű szellőztető berendezés által keltett zaj hangszínepe
NR ≈ 32 dB, $L_A = 36$ dB

Az NR zajossági szám meghatározása

A 4.18. ábra szerinti határgörbék különböző zajossági szinteket szimbolizálnak. Ezeket a szinteket a görbék NR-számaival fejezik ki, amelyek azonosak a görbék 1000 Hz-hez tartozó oktáv-hangnyomásszintjeivel. Valamely zaj NR-zajosságának megítélése céljából meg kell határozni a zaj oktávszűrőkkel mért hangnyomásszintjeit és az eredményt fel kell tüntetni az NR-görbéket tartalmazó adatlapon (példaként lásd az a jelű görbét a 4.18. ábrán). A zaj oktáv-hangnyomásszintjei különböző fekvésű NR

4.25) *Hu a mért oktávsvintek a 4.18. ábra görbéi közötti sávokba esnek, interpolációt kell alkalmazni. A 4.18. ábra a jelű görbéjével érintett NR-görbék:*

f_m Hz	$L_{oktáv}$ dB	NR-görbe jele
31,5	55	0
63	48	15
125	50	32*
250	38	28
500	26,5	22
1000	21,5	22
2000	18,5	22
4000	16,5	22

*Zajossági szám: $NR \approx 32$.

4.26) *Példa: A 4.18. ábra a jelű hangszínekével jellemzett szellőztető berendezés zajossági száma $NR \approx 32$, amely nem felel meg az NR 20 határgörbével illusztrált követelménynek. Az a jelű hangszínek és az NR 20-as határgörbe összehasonlításából kitűnik, hogy a 125 Hz középfrekvenciájú oktávsvintben kell a legnagyobb mérvű (10 dB) zajcsökkentést megvalósítani, ami nem csekély feladat.*

4.27) *F. Weisbach 1913-ban kiadott „Bauakustik” c. könyvében [1] a következőket írta: „A szellemi munkát végző és az érzékenyebb idegzetű embereket jobban zavarja a zaj, mint a lakosságot általában.*

Csendes környezetben különösen érzékenyek vagyunk a zajra.

A magas hangok hatása fárasztóbb, mint a mély hangoké. Legérzékenyebbek vagyunk az 1000... 5000 Hz frekvenciájú hangokra.

A hirtelen fellépő zajok hatása rendkívül kellemetlen.

Míg a léghangok az idegrendszerre hatnak, a kisfrekvenciás rezgések a test belső szerveit károsítják.

A zaj hatásának számszerű alátámasztására és az ember által elviselhető zaj mértékének számszerű meghatározása céljából további kutatásokat kell végezni.”

4.28) *Az általunk végzett munka zaja – eltekintve az egészségre káros, erős zajhatásoktól – informatív jellegű (pl. falfűrés), a szomszédos lakás lakóit pedig zavarja.*

4.29) *Az átlagossal szemben mindig vannak túlérzékeny és kevésbé érzékeny emberek.*

-görbékkel érintenek.^{4.25)} A zajosság jellemzője a legnagyobb NR-szám. Az NR-határgörbékkel főként stúdiók, színházak szellőztető berendezései által keltett zaj zavaró hatásának megítélésére használják. A módszer egyetlen előnye, hogy a zavaró hatás mértékének jellemzésén túlmenően a különböző frekvenciasávokban esetleg szükséges zajcsökkentés mértékéről is nyújt információt.^{4.26)}

4.4.5. Az NR zajossági szám és az A-hangnyomásszint összefüggése

Az 1971-ben kiadott VDI 2081 irányelv [68] a légtechnikai berendezések által keltett zaj megengedett határértékeit alternatív formában, NR-határgörbékkel és A-hangnyomásszintekkel rögzítette (lásd az F3 függelék). Az L_A hangnyomásszinteket a (4.17) formulával állapították meg:

$$L_A = NR + 5 \text{ dB}, \quad (4.17)$$

ahol NR a 4.18. ábra szerinti határgörbékhez tartozó zajossági szám.

Megítélésünk szerint a (4.17) formula szerinti alternatíva elvileg és számszerűen is hibás. Az elvi hiba az NR- és az A-súlyozású értékelés eltérő filozófiájával függ össze. A számszerű hibát konkrét példával bizonyítjuk. Tételezzük fel, hogy a 4.18. ábra a jelű görbéjével jellemzett szellőztető berendezés zaját sikerül oly mértékben csökkenteni, hogy az oktáv-hangnyomásszintek minden sávban pontosan fedik az NR 20-as görbét. Ennek a hangszíneknek a (4.2) egyenlettel végzett számítás szerint 32,9 dB A-hangnyomásszint felel meg, vagyis a (4.17) képlet most érvénytelen, mert:

$$L_A = NR + 12,9 \text{ dB!}$$

A 4.18. ábrán feltüntetettük az NR 20, 40, 60, 80, 100, 120 görbék oktávsvintjeiből számított A-hangnyomásszinteket, amelyek 12,9; 9,6; 7,7; 6,7; 6,3; 6,2 decibellel nagyobbak, mint az NR zajossági számok.

4.5. A zaj káros hatásai

A zajnak az ember egészségére-, különféle tevékenységeire- és nyugalmára gyakorolt káros hatásai régóta foglalkoztatják a lakosságot és a tudomány – főként a fiziológiai és a pszichológiai akusztika – művelőit.^{4.27)} Ez a problémakör a zajhatást befolyásoló tényezők és körülmények sokasága miatt rendkívül összetett és nehezen áttekinthető. A legfontosabb fizikai tényezők a következők:

- hangerősség,
- időtartam,
- gyakoriság és napszak,
- frekvenciaösszetétel,
- háttérzaj (a vizsgált hatást előidéző zaj nélküli, a környezet jellegétől függő adottság).

A legfontosabb embri tényezők:

- egészségi állapot,
- a tevékenység jellege a zajhatás közben (alvás, pihenés, szellemi-, vagy fizikai munka, szórakozás, stb.),
- személyes kapcsolat a zajjal,^{4.28)}
- egyéni adottságok.^{4.29)}

W. Klosterkötter 1972-ben publikált tanulmányában [69] az alábbiak szerint csoportosította a lényeges zajhatásokat:

1. Halláskárosodás
2. A beszédkommunikáció zavarása
3. A vegetatív idegrendszer aktiválása
4. Teljesítménycsökkenés és a feladatmegoldó képesség zavarása
5. Kellemetlenség

Hasonló csoportosításban foglalkozik a különféle zajhatásokkal a WHO, az ENSZ Egészségügyi Világszervezetének^{4.30)} – Dietrich H. Swela által 2000-ben publikált [70] – *Irányelvek a környezeti zajra* c. tanulmánya.^{4.31)}

A halláskárosodást előidéző zajok kiküszöbölése kiemelkedő fontosságú. Az MSZ 18151–2:1983., *Munkahelyeken megengedett egyenértékű és legnagyobb A-hangnyomásszintek* c. szabvány – összhangban a nyugat-európai országok gyakorlatával – a munkaidőre vonatkozó egyenértékű A-hangnyomásszint (L_{Aeq}) és az impulzus (I) időállandóval ($\tau = 35$ ms) mért legnagyobb A-hangnyomásszint ($L_{AI_{max}}$) határértékeit rögzítette a következők szerint:

$$L_{AeqT_M} \leq 85 \text{ dB},$$

$$L_{AI_{max}} \leq 125 \text{ dB}.$$

Magyarországon jelenleg (2003) nincs hatályban hasonló jogszabály.

A VDI 2058 irányelv [71] szerint foglalkozási betegségnek minősülő halláskárosodást okoz a munkahelyi zaj, ha a munkában megszakítás nélkül eltöltött idő:

$$L_{AeqT_M} \geq 85 \text{ dB} \text{ esetén } 15 \text{ év},$$

$$L_{AeqT_M} \geq 90 \text{ dB} \text{ esetén } 10 \text{ év},$$

$$L_{AeqT_M} \geq 100 \text{ dB} \text{ esetén } 5 \text{ év.}^{4.32)}$$

A beszédkommunikációt zavaró zajok az élő beszéd-, a hangszórókkal közvetített szöveges információk- és a telefonbeszélgetés érthetőségét zavarják. Beszédcélú terek (pl. prózai színház, előadóterem, tárgyaló) esetén az élő beszéd érthetősége^{4.33)} elsődleges szempont. Ilyen terekben általában a légtechnikai berendezések fejtik ki a zavaró hatást.

Zajos munkahelyeken (pl. forgácsoló-, lakatos-, asztalos műhely, palackozó, turbinacsarnok) az élő beszéd megértési lehetőségei erősen korlátozottak és nehézkes, vagy lehetetlen a telefonbeszélgetés, illetve az elektroakusztikai berendezésekkel közvetített szöveges információk megértése. A beszédkommunikáció minősége C. M. Harris [50] szerint a tér zajosságától és a beszéd erősségétől^{4.34)} függ. Néhány példa:

$L_A < 50$ dB és normál hangosságú beszéd esetén:

- az élő beszéd 6 m távolsáig jól érthető,
- a telefonbeszéd érthetősége kifogástalan,
- hangosítás nem szükséges.

$50 < L_A < 70$ dB és emelt hangosságú beszéd esetén:

- az élő beszéd 2 m távolsáig jól érthető,
- a telefonbeszéd még érthető,
- a hangszóróval sugárzott beszéd jól érthető.

$70 < L_A < 90$ dB és nagyon hangos beszéd esetén:

- az élő beszéd 50 cm távolsáig érthető,
- a telefonbeszéd nehezen érthető,
- a hangszóróval sugárzott beszéd érthetősége nem kielégítő.

4.30) World Health Organization

4.31) A WHO irányelvek a 3. csoporton belül megkülönböztet

- alvászavart,
- szív- és érrendszeri-,
- fiziológiai- és
- lélektani hatásokat.

4.32) Tájékoztató adatok. A halláskárosodás bekövetkezésének valószínűségét az ISO 1999–1990 [72] alapján lehet számítani, a zajhatás jellege, erőssége, időtartama és a zajhatást elszennvedő személy életkora alapján.

4.33) A beszéd érthetőségét nagyszámú hallgatósággal vizsgálják. A beszélő – általában színész – olyan szöveget mond, amelyben a szavak többsége értelmetlen (pl. „A haterség lakamáz ad bagalvás”). A hallgatók lejegyzik a hallott szöveget úgy, ahogy értik. A felismert és az elhangzott szótagok százalékos aránya, a szótagérthetőség jellemzi a beszédérthetőséget. 85 %-os szótagérthetőség esetén az értelmes beszéd megértése kifogástalan, a szavak 97 %-át megértjük, ami elegendő a teljes szöveg megértéséhez.

A beszéd érthetőségét a beszélő beszédkulturája és a tér akusztikai tulajdonságai számottevően befolyásolják.

4.34) Férfi beszéd erősségi fokozatai csendes környezetben, a beszélővel szemben 1 m távolságban, C. M. Harris szerint [50]:

Szubjektív megítélés	Hosszúidejű L_A dB
Suttogó	40
Halk	50
Normális	57
Emelt	66
Nagyon hangos	74
Kiabáló	82
Maximum	88

4.35) Például a pupilla kitágul, a mélységi látásban zavarok keletkeznek, csökken a nyál- és gyomormirigyek kiválasztódása, a kapillárisok összehúzódnak, a keringő vér mennyisége csökken. Ebben a vonatkozásban nem lehet hozzászokni a zajhoz.

4.36) Ezzel függ össze, hogy az alvás céljára szolgáló helyiségekben $L_{AeqT_M} \leq 30$ dB a megengedhető zajszint.

4.37) Az MSZ 18151-2:1983 szabvány a fizikai munkahelyekre vonatkozó határértékeket is tartalmazott. Jelenleg nincs hatályban ilyen jogszabály.

4.38) Például kórházban a gyógyulást hátráltatja, lakásban a privátszfera nyugalalmát, intimitását és a jószomszédi viszonyt zavarja a zaj.

4.39) Ipari, közlekedési, települési adottságok, gazdasági lehetőségek.

$90 < L_A < 100$ dB és maximum hangosságú beszéd esetén:

- az élő beszéd 25 cm távolsáig érhető,
- a telefonbeszéd nem érhető,
- a hangszóróval sugárzott beszéd nem érhető.

A vegetatív idegrendszer aktiválása címszó alatt összefoglalt zajhatások a vegetatív idegrendszer irányítása alatt álló funkciókban idéznek elő változásokat.^{4.35)} Az alvásra, mint vegetatív funkcióra gyakorolt hatás számszerűen is kifejezhető. Alvászavar lép fel, ha az állandó zaj A -hangnyomásszintje meghaladja a 35 decibelt.^{4.36)} A felébredési küszöb ennél sokkal nagyobb: $L_A = 70$ dB, viszont a mélyalvás megszűnésének küszöbszintje átlagosan $L_A = 55$ dB. (E két érték különbsége 15 dB, hasonlóan a nappal és éjszaka megengedhető zajszintek különbségéhez.)

A teljesítménycsökkenés és a feladatmegoldó képesség zavarása a koncentráció képesség csökkenésében nyilvánul meg. A tevékenység jellegétől függő, nem számszerűsíthető gyakoribb következmények:

- Csökken a fizikai és szellemi teljesítmény
- Növekszik a munkavégzés során elkövetett hibák száma és súlyossága
- Növekszik a baleseti veszély
- Csökken a tanulás eredményessége, növekszik a különböző feladatok megoldásában elkövetett hibák száma és súlyossága
- Csökken az irodai munka minősége

A 4.6. pontban ismertetett hazai előírások szerinti követelmények betartása esetén – a fizikai munkahelyektől eltekintve – nem kell számolni a zaj hatásával összefüggő kedvezőtlen következményekkel.^{4.37)}

A zaj által előidézett kellemetlenség lélektani kategória, amelyet nem lehet pontosan elhatárolni a vegetatív reakcióktól. A kellemetlenség fogalmát a zaj által kiváltott érzetekkel, érzelmekkel és tünetekkel definiálhatjuk. Ilyenek például: figyelemelvonás, idegesség, szorongás, kedvetlenség, bosszúság, elégedetlenség, harag a zaj okozójával szemben, kimerültség, depresszió. A kellemetlenség a hatást kiváltó zaj fizikai tulajdonságain túlmenően a körülményektől^{4.38)} és egy sor szubjektív tényezőtől függ. A hangszigetelés alapvető célja a kellemetlen zajhatások kiküszöbölése.

4.6. Irányelvek az épületek helyiségeiben és a környezetben megengedhető zajosság határértékeire

A környezetben és a különböző rendeltetésű helyiségekben megengedhető zajosság határértékeit a mindenkori hatósági előírások rögzítik. (Az Európai Unió irányelveinek megfelelő hazai előírások kidolgozása jelenleg folyamatban van.) A következőkben a WHO 2000. márciusában kiadott ajánlása [70] szerinti határértékeket ismertetjük a teljesség igénye nélkül. Az irányelvek a különféle emberi tevékenységek ideális akusztikai körülményeit, valamint a káros hatások bekövetkezésének valószínű alsó határértékeit rögzítik, a kutatási eredmények és a tapasztalatok alapján. A hatósági előírások azonban a realitásokat^{4.39)} is kénytelenek figyelembe venni, ezért még új létesítésű objektumok esetén is csak közelítően ideális akusztikai körülményeket céloznak meg és kénytelen tudomásul venni a – lakosság nagyobb hányadát érintő – kedvezőtlen zajhatásokat.

4.6.1. A WHO irányelvei a helyiségekben megengedhető zajterhelésre

A helyiség rendeltetése (A zaj hatása, illetve a megítélés szempontjai)	L_{AeqT} dB	Megítélési idő T óra, vagy időszak	L_{AFmax} dB ^{4.40)}
Kórházi intenzív szoba (Pihenés, gyógyulás)	4.41)	—	—
Kórterem éjjel	30	8	40
Kórterem nappal és este (Alvás zavarása)	30	16	—
Lakás hálószobája (Alvás zavarása)	30	8	45
Lakás nappali szobája (A beszédérthetőség, a szellemi munka, a zenehallgatás, stb. zavarása)	35	16	—
Óvodai hálószoba (Alvás zavarása)	30	Alvási idő	45
Óvoda, bölcsőde foglalkoztatója, tanterem (A beszédérthetőség és a szellemi munka zavarása)	35	Foglalkoztatási, ill. tanítási idő	—
Ipari, kereskedelmi, közlekedési területek (Halláskárosodás)	85	1	110

4.40) Az A -hangnyomásszint F időállandóval ($\tau = 125$ ms) mért legnagyobb értéke.

4.41) A lehető legkisebb legyen!

4.6.2. A WHO irányelvei a környezetben megengedhető zajterhelésre

A terület jellege (A zaj hatása, illetve a megítélés szempontjai)	L_{AeqT} dB	Megítélési idő T óra, vagy időszak	L_{AFmax} dB ^{4.40)}
Pihenőpark, természetvédelmi terület (A nyugalom zavarása)	4.42)	—	—
Lakóépület hálószobájának nyitott ablaka előtt (Alvás zavarása)	45 ^{4.43)}	8	60
Lakóépületek környezetében	50 ^{4.44)} 55 ^{4.45)}	16 16	— —
Óvoda, iskola játékörülete (Kellemtelen érzés)	55	Játék közben	—

4.42) A meglévő csendes területeket meg kell óvni és korlátozni kell a természetes háttérzajból kiemelkedő zavaró zajt.

4.43) Feltételezés: az ablak becsukásával a hálószobában az A -hangnyomásszint 30 dB lesz.

4.44) Nappal és az esti órákban mérsékelt kellemtelen érték.

4.45) Nappal és az esti órákban kellemtelen érték.

4.7. Hatósági előírások a környezetben és az emberi tartózkodásra szolgáló helyiségekben megengedhető zajterhelés határértékeire

4.46) Zajimmisszió, zajosság

4.47) Meglévő és új üzemi létesítményektől származó zajra egyaránt vonatkoznak, a rendeletben meghatározott engedmények és feltételek mellett.

4.48) A környezetvédelmi hatóság – a kivitelező kérelmére – különféle engedményeket tehet.

4.49) Lényegében csak új tervezésű, vagy megváltozott rendeltetésű területeken (pl. ipartelep helyén épített lakóépületek) és lényegesen megváltozott forgalmi viszonyok (pl. lakások helyén épült főforgalmi út) esetén kötelező előírások.

4.50) Például felvonók, kazánok, szivattyúk, szellőző- és klímaberendezések, vizellátási-, csatornázási-, fűtési- és világítási berendezések.

4.51) Árnyékolás, klimatizálás

4.52) Ezekkel a kérdésekkel a későbbiek során foglalkozunk.

4.53) A vizellátás-csatornázás különválasztva a többi technikai berendezéstől.

4.54) Nem egyenértékű A-hangnyomásszintet, hanem F időállandóval mért legnagyobb A-hangnyomásszintet írnak elő.

A környezetben és a különböző rendeltetésű helyiségekben megengedhető **zajterhelés**^{4.46)} határértékeit a környezetvédelmi miniszter és az egészségügyi miniszter 8/2002 (III.22.) KöM–EüM együttes rendelete [73] írja elő. Feltételezhető, hogy az Európai Unióhoz való csatlakozásunkkal összefüggő jogharmonizáció következményeként ezek az előírások módosulni fognak. Ezért függelékben ismertetjük az alábbi előírásokat.

F4 Üzemi létesítményektől származó zaj terhelési határértékei zajtól védendő területeken (a rendelet 1. sz. melléklete)^{4.47)}

F5 Építőipari kivitelezési tevékenységtől származó zaj terhelési határértékei zajtól védendő területeken (a rendelet 2. sz. melléklete)^{4.48)}

F6 A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei zajtól védendő területeken (a rendelet 3. sz. melléklete)^{4.49)}

F7 A közlekedéstől származó zaj terhelési határértékei épületek zajtól védendő helyiségeiben (a rendelet 4. sz. melléklete alapján)

F8 Az épület rendeltetészerű használatát biztosító technikai berendezésektől^{4.50)} és az épületen belül-, vagy azzal szomszédos épületben folytatott termelő-, vagy szolgáltató tevékenységtől együttesen származó zaj terhelési határértékei épületek zajtól védendő helyiségeiben (a rendelet 4. sz. melléklete alapján)

Észrevételek az F7 és F8 függelék szerinti követelményekhez:

Közlekedéstől származó zajok

Elsősorban az épületek homlokzata előtt megengedhető zajt kell korlátozni, illetve csökkenteni, a nyitott ablak melletti alvás feltételeinek megtartása érdekében, összhangban a WHO irányelveivel.

Az F7 függelék szerinti határértékek – a **passzív zajvédelem** követelményei – nemcsak akusztikai követelmények, mert egyidejűleg meg kell oldani a csukott nyílászárók mögötti helyiségek nyári felmelegedése elleni védelmét,^{4.51)} szellőztetését és párasodás elleni védelmét^{4.52)} is.

Az épületek technikai berendezéseitől származó zajok

Az F8 függelék szerinti követelmények különféle szakterületek tervezési és kivitelezési hatáskörébe tartozó technikai berendezések által együttesen keltett zajra vonatkoznak, beleértve az épületen belül-, vagy azzal szomszédos épületben folytatott termelő-, illetve szolgáltató tevékenységtől származó zajt is. A lakosság védelme szempontjából a szabályozásnak ez a módja nem kifogásolható. Viszont a tervezést és az ellenőrzést egyaránt nehezíti az összevont határérték és egyfajta akusztikai generáltervezést tétel fel, amelynek során az összevont követelményből levezetik a részterületek feladatait. A németországi gyakorlatban szakági követelményeket írnak elő, az alábbi függelék szerint.

F9 DIN 4109/A1–1998 [74] Épületek technikai berendezései és az üzemi tevékenység által keltett A-hangnyomásszintek megengedhető határértékei zaj ellen védendő helyiségekben^{4.53)}

F10 VDI 2566–1988 [76] Elektromos működtetésű kötélfelvonók által keltett zaj megengedhető határértékei^{4.54)}

F11 VDI 2081–1983 [75] A légtechnikai berendezések által keltett zaj megengedhető legnagyobb A-hangnyomásszintjei

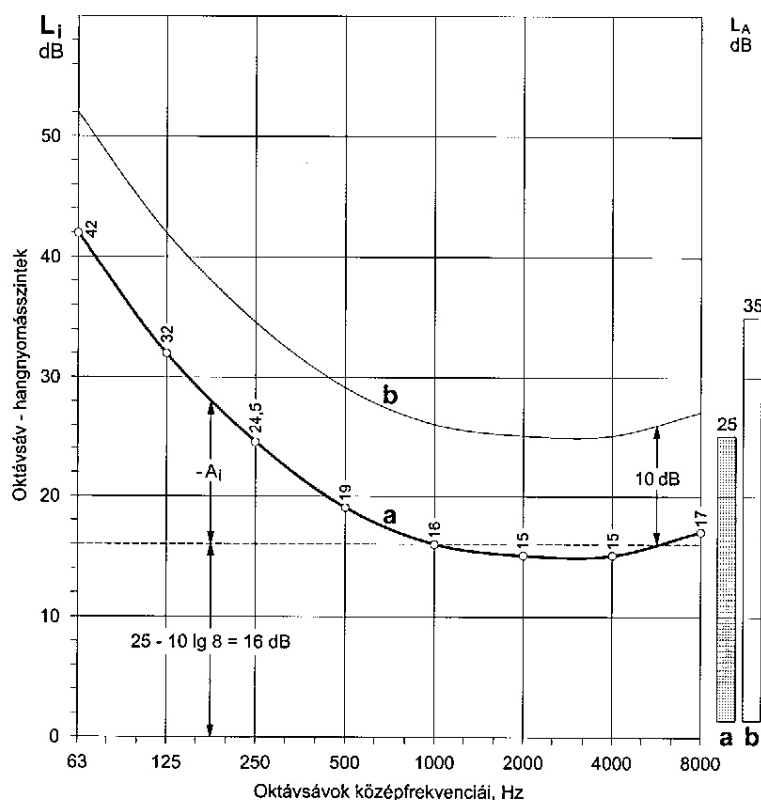
4.8. Az A-szintekkel kifejezett követelmények átalakítása A-karakterű frekvenciafüggvényekké

A különféle zajforrások közös tulajdonsága, hogy az általuk keltett hangnyomásszint a frekvencia függvényében változik.^{4.55)} A zaj csökkentését szolgáló műszaki megoldások tulajdonságai is változnak a frekvencia függvényében. Ezek a tények teszik szükségessé a fenti címben jelzett probléma megoldását.^{4.56)}

Nyilvánvaló, hogy az *A*-hangnyomásszinttel (vagy egyenértékű *A*-hangnyomásszinttel) kifejezett követelményt olyan frekvenciafüggvénnyel kell helyettesítenünk, amelynek *A*-hangnyomásszintje azonos az egyetlen számmal jellemzett követelménnyel. Mivel az ilyen függvények száma végtelen, a szerző szerint [77] kézenfekvő megoldás, ha ez a függvény alakilag azonos a 4.12. ábra szerinti *A*-jelű súlyozó görbének a frekvenci tengelyre képzett tükörképével. Ilyen *A*-karakterű függvény például a 4.19. ábra *a* jelű görbéje, amelynek – a (4.2) összefüggéssel számított – *A*-hangnyomásszintje 25 dB, a függvény egyenlete pedig:

$$L_i = L_A - 10 \lg k - A_i \quad \text{dB}, \quad (4.18)$$

ahol L_A az *A*-hangnyomásszinthez megadott követelmény dB,
 L_i a keresett függvény sávszintje az *i*-edik sávban dB,
 k az oktáv-, vagy tercésávok száma
 A_i az *A*-jelű súlyozó szűrő csillapítása az *i*-edik sávban dB.



4.19. ábra

Segédlet az *A*-hangnyomásszinttel megadott követelmény olyan frekvenciafüggvénnyel történő helyettesítéséhez, amely a 63 ... 8000 Hz közép-frekvenciák tartományában 8 oktávsvárra terjed ki

a $L_A = 25 \text{ dB}$
 b $L_A = 35 \text{ dB}$

A 4.19. ábrát segédletként is használhatjuk. Az *a* jelű görbe mellett fel-tüntetjük az $L_A = 25 \text{ dB}$ -t adó függvényhez tartozó L_i sávszinteket. Tetszés szerinti L_A *A*-hangnyomásszinthez tartozó L_i sávszintek a (4.19) össze-függés szerint adódnak:^{4.57)}

4.57) A sávszintek növekménye azonos az *A*-hangnyomásszint növekményével (lásd a 4.19. ábrán).

4.55) Példaként lásd a beszéd hangszinképeit a 3.34. ábrán és egy ventilátor által keltett zaj hangszinképeit a 3.35. ábrán.

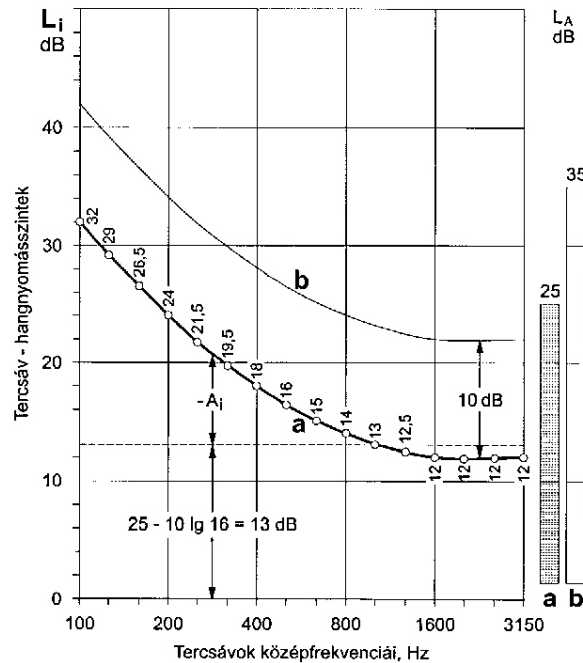
4.56) Az *NR*-határgörbékkel kifejezett követel-mények esetén ez a probléma eleve megoldott (lásd a 4.18. ábra a jelű hangszinképével kap-csolatos 4.26) széljegyzetet).

$$L_i = L_{i(25)} + (L_A - 25) \text{ dB.} \quad (4.19)$$

A 4.19. ábra *b* jelű görbéjével jellemzett hangnyomásszintekkel az $L_A = 35$ dB követelményt helyettesíthetjük.

Az *A*-karakterű helyettesítő függvények L_i sávszintjeinek nagyságát az alkalmazott szűrő típusa és a követelmény teljesítésére előírt-, vagy tervezett frekvenciatartománya is befolyásolja.^{4.58)} Példa- és segédletként közöljük a 4.20. ábrát 16 tercsáv feltételezésével.

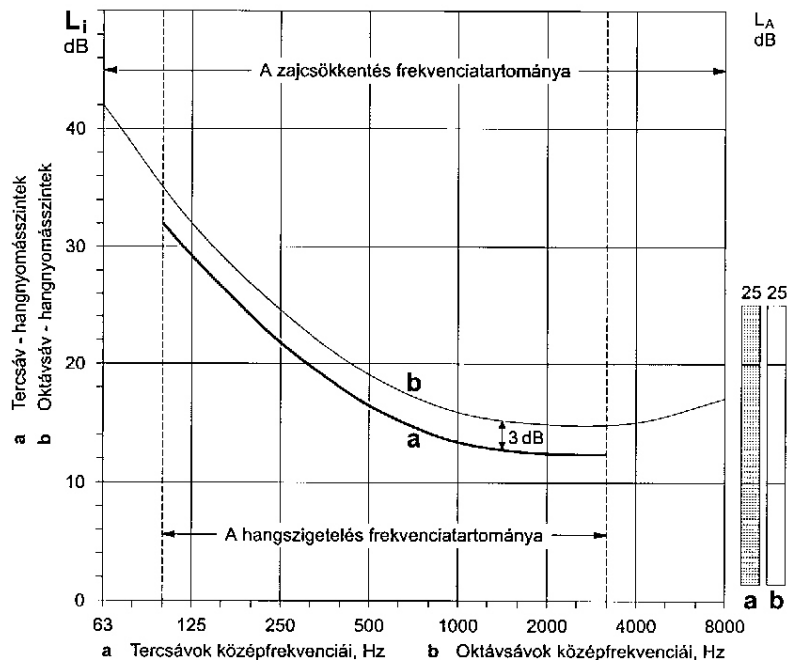
4.58) Erre utal a (4.18) képletben a $(-10 \lg k)$ kifejezés.



4.20. ábra

Segédlet az *A*-hangnyomásszinttel megadott követelmény olyan frekvenciafüggvénnyel történő helyettesítéséhez, amely a 100 ... 3150 Hz középfrekvenciák tartományában 16 tercsávra terjed ki

- a $L_A = 25$ dB
- b $L_A = 35$ dB



4.21. ábra

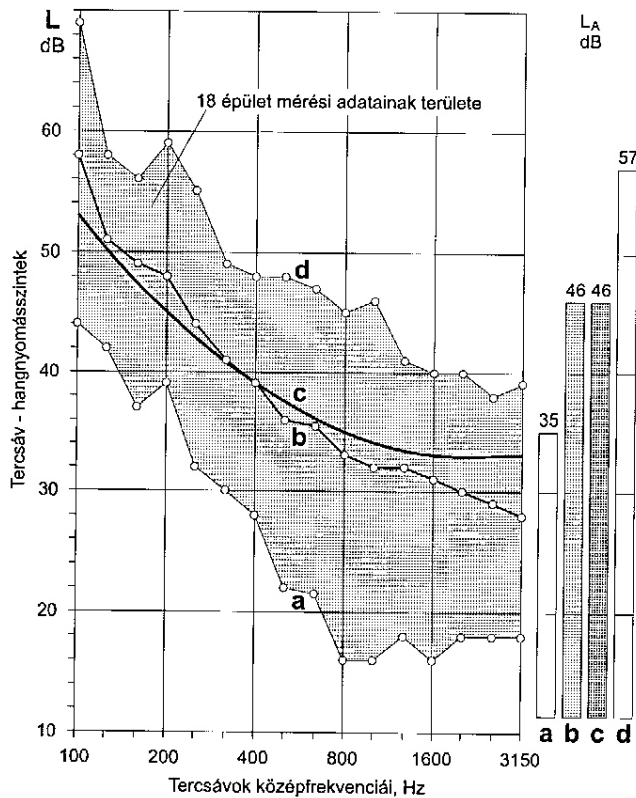
$L_A = 25$ dB követelményt helyettesítő hangnyomásszint függvények

- a 16 tercsáv a 100 ... 3150 Hz középfrekvenciák tartományában
- b 8 oktáv-sáv a 63 ... 8000 Hz középfrekvenciák tartományában

A frekvenciatartomány nagyságának és a sávszűrő típusának az *A*-karakterű helyettesítő függvény L_i hangnyomásszintjeire gyakorolt hatását a 4.21. ábrával illusztráljuk. Az *a* jelű függvény a hangszigetelés szokványos frekvenciatartományában elhelyezkedő 16 tercsávra-, a *b* jelű függvény

pedig a zajcsökkentés szokványos frekvenciatartományában elhelyezkedő 8 oktávsvárra terjed ki. Mindkét függvény $L_A = 25$ dB-t helyettesít.

A fentiekben ismertetett módszer alkalmazásával olyan jellegű helyettesítő függvényeket állíthatunk elő, amelyek – azon túlmenően, hogy valóság-hűen fejezik ki az embernek a zaj kisfrekvenciás összetevőivel szemben tanúsított nagyobb tűrőképességét – többé-kevésbé hasonlóak a közúti közlekedés által lakószobákban, irodákban és iskolai tantermekben keltett zaj hangszínekéhez. Ezt a tényt – saját méréseink [78] alapján – a 4.22. ábrával illusztrált adathalmazzal támasztjuk alá.



4.22. ábra

A közúti közlekedés által csukott ablakok mögötti lakószobákban, irodákban és tantermekben keltett hangnyomásszintek tercszűrőkkel mérve, nappal (6–22 óra között)

- a A szóróterület legkisebb értékei ($L_A = 35$ dB)
- b A mérési adatok átlaga ($L_A = 46$ dB)
- c $L_A = 46$ dB-t helyettesítő, A-karakterű hangnyomásszint-függvény
- d A szóróterület legnagyobb értékei ($L_A = 57$ dB)