



1.1 Gyártmányaink akusztikai méretezése

A vonatkozó szabványok, előírások

A gépészeti berendezésekkel, illetve rendszerekkel kapcsolatos akusztikai méretezés célja az előírt zajhatárértékek betartása. Az adott telepítési helyen működtetett gépészeti rendszer akusztikai megítélése az alább felsorolt hatályos szabványokban, rendeletekben rögzített határérték alapján történhet:

- MSZ 18151/1-82. Lakó- és középületek helyiségeiben megengedett egyenértékű A-hangnyomásszintek,
- MSZ 18151/2-83. Munkahelyen megengedett egyenértékű és legnagyobb A-hangnyomásszintek,
- 4/1984. (I. 23.) EüM számú rendelet a zaj- és rezgésterhelési határértékek megállapításáról.

A felsorolt két szabvány a létesítmények belső tereire vonatkozó határértékeket írja elő. Egyik sem tartalmaz azonban pl. tornatermekre, uszodákra, színház- és mozitermekre érvényesíthető normákat, így a helyiségek akusztikai tervezésekor, vagy utólagos minősítésekor — egyéb megállapodás hiányában — az ISO vagy a DIN előírásait javasoljuk figyelembe venni. A stúdióhelyiségekben pedig a megfelelő OIRT határgörbék alatti hangnyomásszintek biztosítása a tervező feladata.

A létesítmények környezetében megengedett egyenértékű A-hangnyomásszintek a hivatkozott EüM rendelet szerint a területi funkció szerint változnak. Az éjszakára megengedett határérték minden területi funkció esetén 10 dBA értékkel alacsonyabb, mint a nappali időszakra vonatkozó. Ezért éjszakai üzemvitel esetén mindig körültekintőbb akusztikai méretezésre van szükség.

Sok esetben a szellőztetett helyiségek közötti hangszigetelési követelmények a légcsatornán keresztül létrejövő „áthallás” miatt nem teljesülnek. A gépész akusztikus tervezőnek ezért kötelessége még a szellőzőrendszer kialakításakor az

- MSZ-04.601/2-88. Lakások és önálló üdülőegységek hangszigetelési követelményei, és az
 - MSZ-04.601/3-88. Közösségi épületek hangszigetelési követelményei
- című szabvány előírásait is figyelembe venni.

A rendszer akusztikai modellje

A létesítmény zajtechnikai méretezéséhez a tervezőnek meg kell határoznia a rendszer gépészeti tervek-re épülő akusztikai modelljét. A modell elemei akusztikai viselkedésük alapján zajforrásokra és csillapító elemekre oszthatók. Egyes elemeknél azonban — a légcsatornán odajutó zajteljesítménytől függően — mindkét jellemzőt figyelembe kell venni. Ezért például egy akusztikailag igényesebb helyiséget (színház-, mozitermet, tárgyalót, stúdiót) ellátó légcsatorna elemeinek zajcsillapítása mellett minden esetben megállapítandó az általuk keltett áramlási zajteljesítmény is.

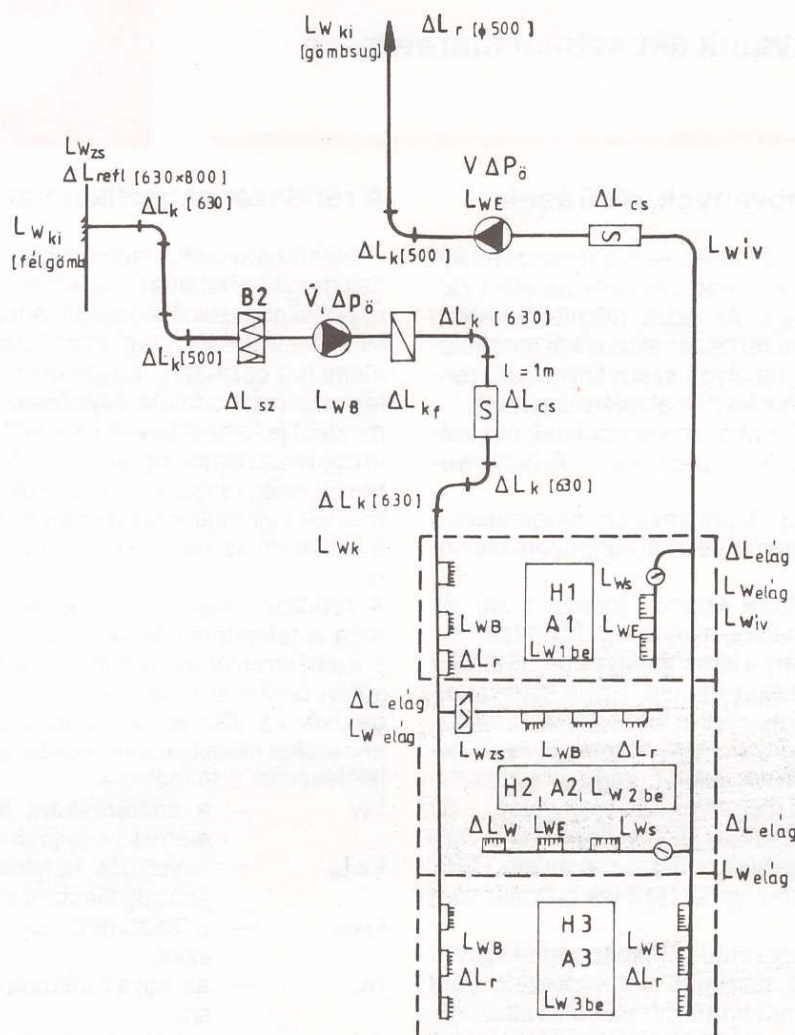
A rendszer akusztikai modelljének szerves része még a telepítési környezet is, a maga zajtechnikai paramétereivel (pl. a helyiség elnyelési száma, külsőtéri terjedési mód stb.) Példaként egy egyszerű, befűvő- és elszívóhálózatból álló szellőzőrendszer akusztikai modelljét mutatjuk be az 1. ábrán. Az ábra jelöléseinek értelmezése:

Lw	— a zajforrásként figyelembe veendő elemek zajteljesítmény-szintje,
Lwbe	— a vizsgált helyiségbe (H1, H2, H3) jutó zajteljesítmény-szint,
Lwki	— a szabadba kijutó zajteljesítmény-szint,
ΔL	— az egyes elemek jellemző csillapítása,
A	— a helyiségek egyenértékű elnyelési felülete.

Az elemek zajteljesítményének megállapításához ismerni kell az ottani áramlási sebességet befolyásoló összeépítési módokat is, mint például két vagy három könyök egymást követő beépítése, könyökidom után hangcsillapító vagy elágazóidom, esetleg szabályozószalu alkalmazása stb.

Megjegyezzük, hogy a légáramlási iránynak csak az elemeken keletkező áramlási zajteljesítmény meghatározásában van szerepe, a zaj terjedését a csatornában — a szokásos légsebességek mellett — egyáltalán nem befolyásolja.

A továbbiakban az egyes rendszerelemek akusztikai jellemzőinek meghatározásával foglalkozunk.



1. ábra
Példa egy szellőzőrendszer akusztikai modelljére

A rendszerelemek zajteljesítmény-szintjének meghatározása

Ventilátorok

A ventilátorok minden esetben a légtechnikai rendszer fő zajforrásai. Rendszertechnikai szempontból a ventilátort három akusztikai adattal jellemezhetjük:

- a nyomócsonton kibocsátott (L_{Wny}),
- a szívócsonton kibocsátott (L_{Vsz}) és
- a gép által a környezetébe juttatott ($L_{Wkörny}$)

zajteljesítmény-szinttel. A ventilátorok szívó- és nyomóoldali zajteljesítmény-szintjét főképpen a légteljesítmény adatok ($\dot{V}$ — szállított térfogatáram és Δp_0 össznyomás-növekedés) határozzák meg.

A segédlet légtechnikai gyártmányokkal foglalkozó I. kötetében, a ventilátorokat ismertető fejezetben, az egyes típusokra megtalálhatók a rendelkezésünkre álló zajteljesítmény-adatok. A ventilátor tervezett munkapontja ismeretében típusonként megállapítható az L_W összzajteljesítmény-szint, vagy az L_{WA} jelű A-zajteljesítmény-szint. A zajteljesítményszint spektrum a típusokra megadott oktávsváltoztatással számítható ki.

Amennyiben a kérdéses ventilátortípusról nem áll rendelkezésre kimért akusztikai adat, a légoldali ada-

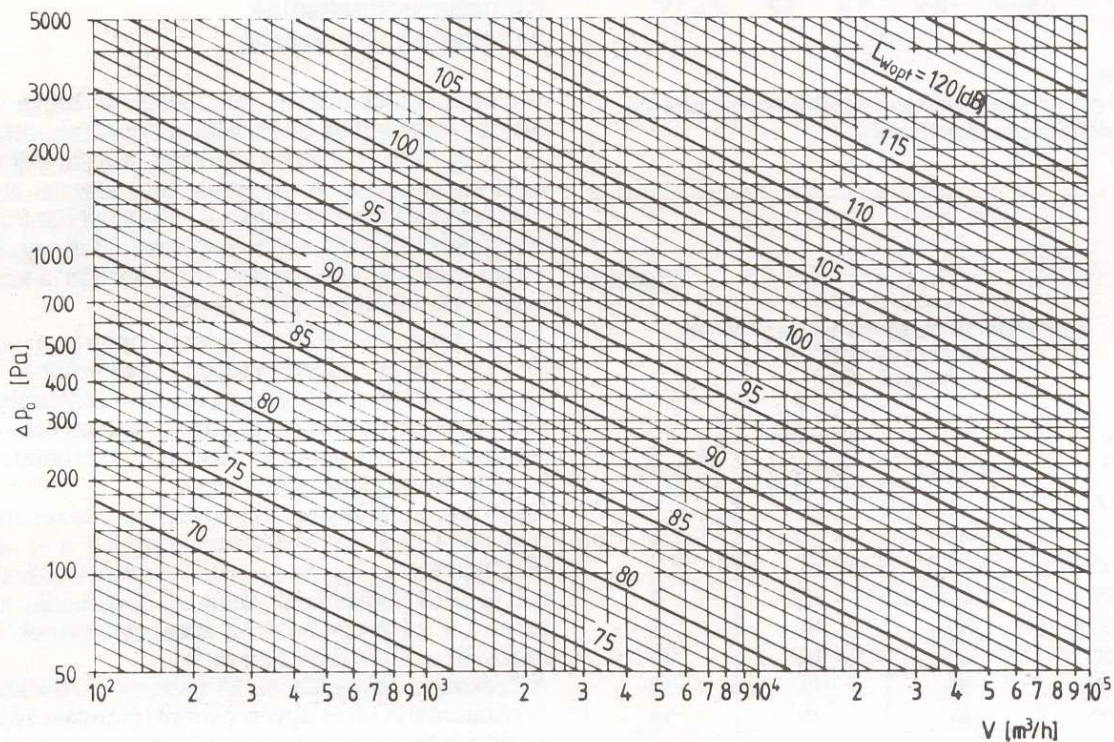
tok ismeretében a ventilátor összzajteljesítmény-szintje az

$$L_{Wopt} = 40^{+4} + 10 \lg \dot{V} \left(\frac{m^3}{s} \right) + 20 \lg \Delta p_0 (Pa) (dB) \quad (1)$$

vagy az

$$L_{Wopt} = 5^{+4} + 10 \lg \dot{V} \left(\frac{m^3}{h} \right) + 20 \lg \Delta p_0 (Pa) (dB) \quad (2)$$

összefüggéssel határozható meg a legjobb hatásfokú munkapont környezetében. Az összefüggésből kiolvasható, hogy az adott munkapontra kiválasztott, különféle nagyságú ventilátorok várhatóan azonos zajteljesítmény-szintet keltenek, függetlenül az egyes gépek fordulatszámától. Azonos nagyságú ventilátor magasabb járókerék-fordulatszámon nagyobb zajteljesítményt produkál, de ehhez természetesen megfelelően nagyobb légteljesítmény is tartozik. A várható zajteljesítmény könnyen meghatározható a 2. ábrán közölt diagram segítségével is. Az (1)–(2) összefüggés vagy a 2. diagram felhasználásával axiális és centrifugális ventilátorok várható összzajteljesítmény-szintje egyaránt megállapítható a maximális hatásfokú munkapont környezetére. Amennyiben a légtechnikai rendszer méretezése során kapott ventilátor-munkapont nem a jellegzőbe-



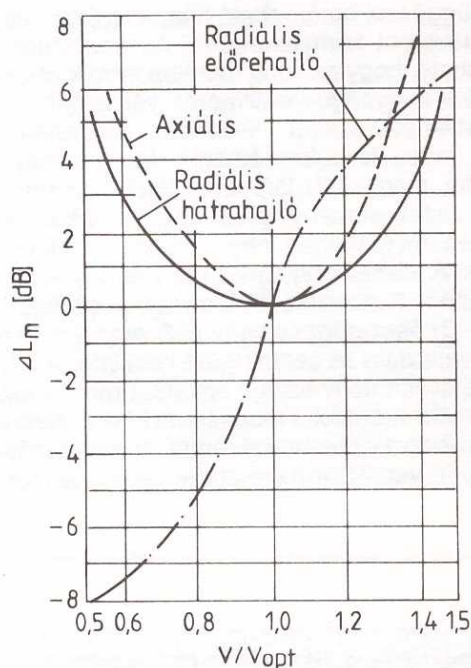
2. ábra

A ventilátorok összes zajteljesítmény-szintje a légteljesítmény ismeretében, a legjobb hatásfokú munkapont környezetében

legjobb hatásfokú tartományába esik, akkor a számított L_{Wopt} értéket egy ΔL_m korrekciós taggal módosítani kell, így a tervezett munkapontban várható L_{Wt} összajteljesítmény-szint:

$$L_{Wt} = L_{Wopt} + \Delta L_m \text{ (dB)}, \quad (3)$$

A ΔL_m értékeit a tervezett és a legjobb hatásfokú munkaponthoz tartozó relatív térfogatáram függvényében



3. ábra

A ventilátorok zajteljesítmény-szintjének változása a relatív térfogatáram függvényében

1. táblázat

A ventilátorok zajteljesítmény-szintjének oktáv-sáv-korrekciója (ΔL_{Wokt} , dB)

f_{okt} Hz	ΔL_{Wokt} (dB)		
	előrehajló	hátrahajló	axiális
63	2	7	9
125	6	7	8
250	10	6	7
500	14	7	7
1000	18	10	8
2000	22	15	10
4000	26	20	14
8000	30	25	18

nyében, a ventilátor jellegének ismeretében a 3. ábrából olvashatjuk le.

Az így kapott L_{Wt} összajteljesítmény oszlik meg szívó- és nyomóoldali zajteljesítményre. A biztonság felé térünk el, ha az L_{Wny} nyomócsonkba és az L_{Wsz} szívóoldalra jutó zajteljesítmény-szintet az L_{Wt} értékével azonosra vesszük fel.

A légtechnikai rendszer méretezéséhez meg kell határozni a ventilátor zajteljesítmény-spektrumát is. Az oktáv-sávonkénti értékek számítása az összajteljesítmény-szintből az 1. táblázatban látható, a ventilátor jellegétől függő ΔL_{Wokt} korrekciós taggal történhet az

$$L_{Wokt} = L_{Wt} - \Delta L_{Wokt} \text{ (dB)}$$

összefüggéssel. Az így módon megállapított szívó- és nyomóoldali zajteljesítményszint-spektrum tájékoztató pontossággal megközelíti a ventilátor által keltett, várható szinteket. Méréssel megállapított adat hiányában már kevésbé megbízható a gép által a környezetébe kibocsátott zajteljesítmény elméleti úton történő, előzetes számítása.

A légteljesítménytől függő zajteljesítményből a gép lemezfalán és a rezgéstompító vitorlavásznakon kiejtő teljesítményeken kívül ez esetben már figyelembe kell venni a villanymotor, a hajtás és a csapágycsák által keltett mechanikai eredetű zajteljesítményt is. Közelítésként feltételezhetjük, hogy a légteljesítményből származó L_{Wt} zajteljesítménnyel azonos a gép szerkezete által kibocsátott zajteljesítmény is.

Klíma-berendezéseink zajteljesítmény-szintje

A klíma-berendezéseink felépítésüknél fogva olyan önálló, többelemes akusztikai rendszerek, amelyeket a légcsatorna-hálózatba kötött, egyedi zajforrásként kezelhetünk. A klíma-berendezéseknél is — a ventilátorokéhoz hasonlóan — meg kell határozni a légcsatornába jutó szívó és nyomóoldali zajteljesítmény-szinteket és az egész készülék által a környezetébe kibocsátott zajteljesítményt.

A klíma-berendezésben is legfőbb zajforrás a ventilátor, de egyes összeépítésben előfordulhat még egyéb, hasonlóan zajos elem, mint pl. hűtőkompresszor. Az ilyen összetett zajforrású rendszerek zajteljesítmény-szintje azonban csak méréssel határozható meg, kellő megbízhatósággal.

Egy klíma-berendezés akusztikai méretezésénél figyelembe veendő, szokásos elemeket a 4. ábrán mutatjuk be. Az egyes szekciókat a KW típusválaszték szerinti jelölésekkel láttuk el, feltüntetve a zajtechnikai jellemzőket is. Az ábra jelöléseinek értelmezését a 2. táblázat adja meg.

A szokásos összeállítású klíma-berendezésekben a ventilátorokon kívül egyéb elemek áramlási zajteljesítménye általában elhanyagolható, ezért a csatlakozó csonkokon kijutó zajteljesítmény-szintek a 4. ábr



A szekciók zajtechnikai jellemzői

rán látható elemek csillapításával a következők szerint határozhatók meg:

$$LWE_{sz} = LWE - \Delta L_{Ecs} - \Delta L_{kk} \text{ (dB)},$$

$$LWE_{ny} = LWE - \Delta L_{elág} \text{ (dB)},$$

ahol:

— a keverőelem mint elágazóidom csilapítása a kidobóágba épített és a szabályozó zsalu üzem közbeni szabad keresztmetszeteinek figyelembevételével.

Hasonló módon határozható meg a szabályozó zsá-
lun átjutó zajteljesítmény-szint is:

$$LWE_{zs} = LWE - \Delta L_{elág} \text{ (dB)}.$$

A keverőelembé jutó, a befúvó ventilátortól származó zajteliessítmény-szint:

$$L'_{WEzs} = L_{WB} - \Delta L_{kf} - \Delta L_{kh} - \Delta L_{sz} \text{ (dB)},$$

A keverőelemben jutó zajteljesítmények összegéből a frisslevegő-ágba bocsátott zajteljesítmény-szint:

$$L_{WEZS} = 10 \lg (10^{0,1} L'_{WEZS} + 10^{0,1} L_{WEZS}) - \Delta L_{kk} \text{ (dB)},$$

A betüvőágba jutó zajteljesítmény-szint:

$$LWB_{ny} = LWB - \Delta L_{Bcs} - \Delta L_{kk} \text{ (dB)}.$$

Az ismertetett példától eltérő elemválaszték esetén is hasonló módszerrel kell a csatlakozó csomópontok kijutó zajteljesítményeket kiszámítani, az egyes elemek csillapításának értelemszerű felhasználásával. Megjegyezzük azonban, hogy a hármas keverőelem szabályozó zsaluján átjutó zajteljesítményeket célszerű a befúvó és elszívó ventilátorra egyaránt meghatározni, mivel sok esetben a kidobó- és frisslevegő-ágba jutó együttes teljesítményszint bizonyos frekvenciatartományban jelentősen meghaladja a kérdéses csomókhoz tartozó ventilátortól származó zajteljesítmény-szintet.

A méretezéshez szükséges csillapítási adatokat a következők szerint közöljük:

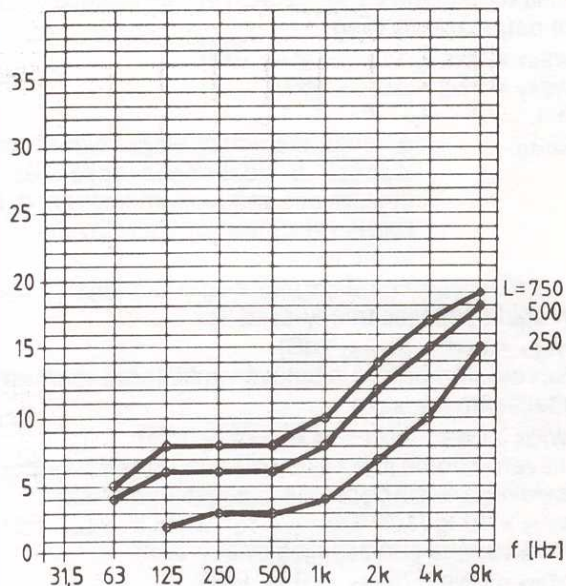
ΔL_{kk} — tájékoztató értékei a 3. táblázatban.

**A klímaberendezések
beszívó, keverő és kifúvó egységeinek csillapítása**
(ΔL_{kk} , dB)

3. táblázat

Keverő-szekrény		Oktáv-sáv középfrekvencia, Hz							
típusa	nagysága	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
KW	3.5	—	1	5	8	4	4	4	4
	8.13	1	3	7	7	4	4	4	4
	20	2	6	7	4	4	4	4	4
	32	3	7	7	4	4	4	4	4
	50	4	8	4	4	4	4	4	4
KL	3.4	—	1	4	7	5	4	4	4
	5.8	—	2	7	7	4	4	4	4
	13.20	2	4	7	5	4	4	4	4
	32	2	6	7	4	4	4	4	4
	50.65	4	8	4	4	4	4	4	4

ΔL [dB] csillapítás



5. ábra

Az SZT típusjelű táskás szűrőbetétek csillapítása

**A légtűtő illetve hűtő kaloriferek
csillapításának tájékoztató értékei**
($\Delta L_{k(f,h)}$, dB)

4. táblázat

RAK hőcserélő	Oktáv-sáv középfrekvencia, Hz							
$\Delta L_{k(f,h)}$ (dB)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
kétsoros	—	1	1	2	2	2	3	3
négyesoros	—	2	2	3	3	3	4	4
hatsoros	1	3	3	4	4	4	5	5
nyolcsoros	2	4	4	6	6	7	7	7
tíz soros	3	5	5	7	7	8	8	8

ΔL_{sz}

— SZT típusjelű táskás szűrők csillapítása az 5. ábrán,

$\Delta L_{k(f,h)}$

— a légtűtő illetve hűtőkaloriferekre vonatkozó tájékoztató értékek a 4. táblázatban.

A teljes körű akusztikai méretezéshez tartozik még a klímaszekrény által a környezetébe sugárzott zajteljesítmény meghatározása is. Abban az esetben, ha a ventilátorelemhez szívó- és nyomóoldalon egyaránt jelentős csillapítással rendelkező egyéb elemek csatlakoznak, a környezetbe jutó zajteljesítmény az $L_{w(E,B)} = L_w(E,B) - \Delta L_p$ (dB)

összefüggéssel adódik. Amennyiben a ventilátorszekció közvetlen kifúvócsonkkal rendelkezik, vagy csak egy beszívóelem közbeiktatásával csatlakozik a légcsatorna-hálózathoz, a panelszerkezet ΔL_p beiktatási veszteségét a rezgéstompító vitorlaváson nagymértékben lerontja. Az ily módon figyelembe vehető egyenértékű beiktatási veszteség és a panelszerkezetre jellemző ΔL_p értékek az 5. táblázatból olvashatók ki. A táblázatban feltüntetjük a dűbörgésgátló betétekkel ellátott, növelt hanggátlású KW típusjelű panelek beiktatási veszteségét is.

A légcsatornaelemek zajteljesítmény-szintje

A légcsatorna elemei által keltett zajteljesítmény elsősorban áramlási eredetű, a mechanikai jellegű, többnyire rezgésből származó zajteljesítmény csak rendellenes működéskor válhat mértékadóvá. Ezért a következőkben csak az áramlásakusztikai szempontból meghatározó rendszer elemekkel foglalkozunk.

Általános elvként megállapítható, hogy egy adott beállítási helyzetben levő csatornaelemen keletkező áramlási zajteljesítmény az áramlási sebesség ötödik-hatodik hatványával arányos (dipólus jellegű zajforrás). A sebesség növekedésével azonban nemcsak a zajteljesítmény emelkedik rohamosan, hanem a zaj spektruma is változik. Azoknál az idomoknál, amelyekben az áramlás leválási jelenséggel (örvényképződéssel) jár együtt, mint pl. könyökök, elágazások, T-idomok esetében, a zajteljesítmény-spektrum az

$$L_w = L_w^* + 10 \lg \Delta f + 30 \lg d_e + 50 \lg v \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

összefüggéssel írható le,

ahol:

L_w (dB) — specifikus zajteljesítményszint,

Δf (Hz) — az oktáv-középfrekvenciákhoz tartozó sáv szélesség értékei a 6. táblázatban,

d_e (m) — a szerkezet jellemző mérete,

v (m/s) — az áramlási sebesség.

Az L_w specifikus zajteljesítmény-szint értékeit mérésekkel határozzák meg és *Strouhal-szám*, mint áramlásakusztikai hasonlósági szám függvényében szokás ábrázolni. A *Strouhal-szám* az

$$Sh = \frac{f \cdot d_e}{v}$$

képlettel számítható az f (Hz) frekvencia ismeretével

A klímasekrények panelszerkezetének egyenértékű
beiktatási vesztesége
(ΔL_p , dB)

ΔL_p (dB)	Oktávskávf középfrekvencia, Hz							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
KW panelszerkezet	17	15	22	27	31	25	35	42
KW panel, vitorlaváson csatlakozás	—	4	6	8	9	11	13	13
KL szekrény	15	13	20	22	28	31	35	42
KL szekrény, vitorlaváson csatlakozás	—	3	6	7	8	11	13	13
KW növelt hanggátlású panel	23	20	25	30	33	33	35	42

6. táblázat

Az oktváskávf-középfrekvenciához tartozó sávszélességek
(Δf , Hz és a $10 \lg \Delta f$ -értékek)

f_{okt} (Hz)	Δf (Hz)	$10 \lg \Delta f$ (dB)
63	45	17
125	88	20
250	177	23
500	354	26
1000	707	29
2000	1415	32
4000	2830	35
8000	5660	38

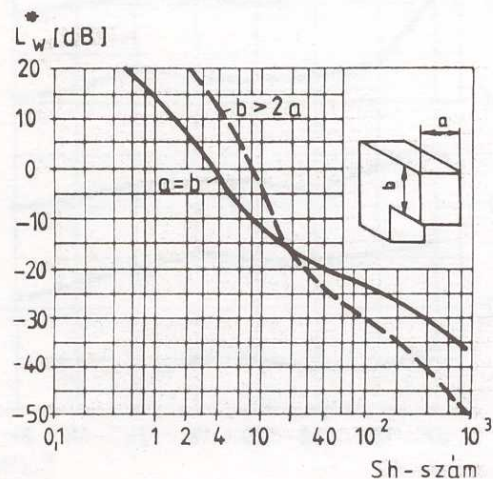
ben. A d_e jellemző méret négyzög keresztmetszetű idomoknál az azonos területű, S kör keresztmetszetű csatorna átmérője:

$$d_e = \frac{\sqrt{4S}}{\pi} \text{ (m)}.$$

Négyzög keresztmetszetű, éles könyökök specifikus zajteljesítmény-szintjét a *Strouhal-szám* függvényében a 6. ábrán látható diagramból határozhatjuk meg négyzet és téglalap keresztmetszetű idomokra. Az L_w ismeretében a (3) összefüggés felhasználásával kapjuk meg a könyökidomban keletkező áramlási zaj teljesítményspektrumát. A méretezés megkönnyítése érdekében a 7–9. ábrán különböző jellemző méretű, négyzet keresztmetszetű, terelőlemez nélküli éles könyökök (MK idomok) áramlási zajteljesítmény-spektrumát adjuk meg a légsebesség függvényében.

A megadottól eltérő jellemző méretre a zajteljesítmény-szintek, a teljes frekvenciatartományban jó közelítéssel a

$$\Delta L_w = 15 \lg \frac{d_{e1}}{d_{e2}} \quad (4)$$



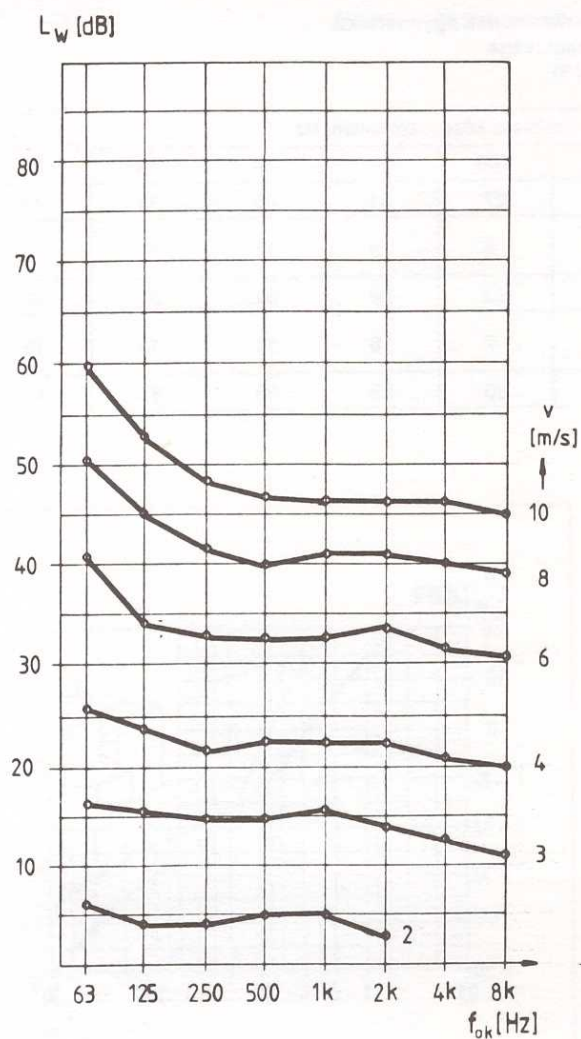
6. ábra

A könyökidomok specifikus zajteljesítmény-szintje: L_w , dB

korrekcióval számíthatók át. A diagramok segítségével így módon $d_e = 0,2\text{--}1,5$ m jellemző méretű, 1:2 oldalarányt meg nem haladó négyzög keresztmetszetű könyök áramlási zajteljesítménye könnyen meghatározható.

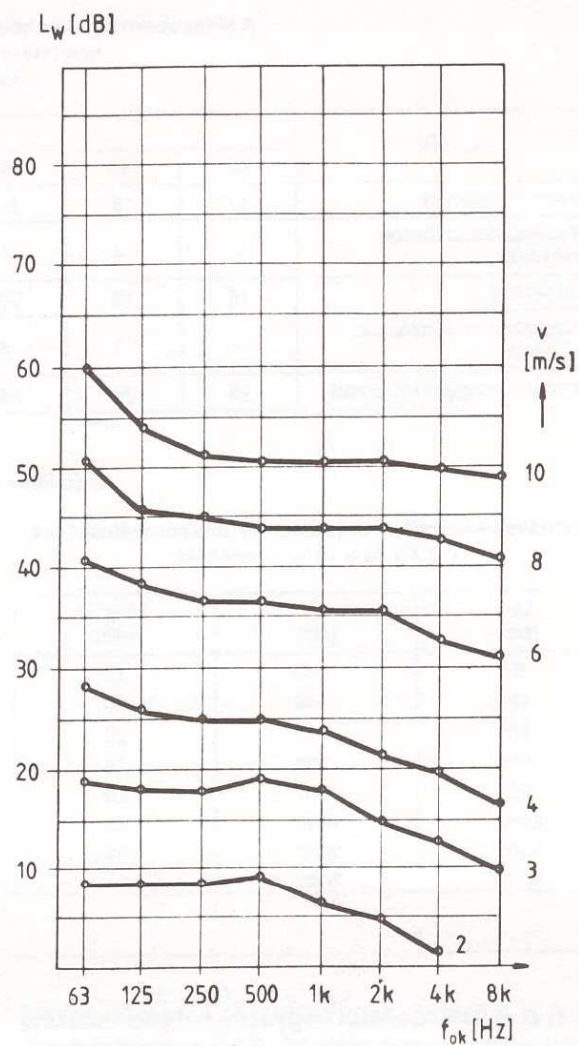
Amennyiben a könyök magassági mérete (b) a szélesség (a) kétszeresét meghaladja, akkor a különböző mérethez tartozó zajteljesítmény-szint a 10–12. ábrából állapítható meg. Látható, hogy a 0,3 és a 0,5 m jellemző méretű könyökök azonos légsebességhez tartozó zajteljesítménye csak kismértékben tér el egymástól, a 0,5 m-nél nagyobb jellemző méretekre viszont a (4) összefüggés szerinti korrekció alkalmazandó.

Az eddigiekben ismertetett eljárások feltételezik, hogy a könyökök zavarásmentes áramlást biztosító, l



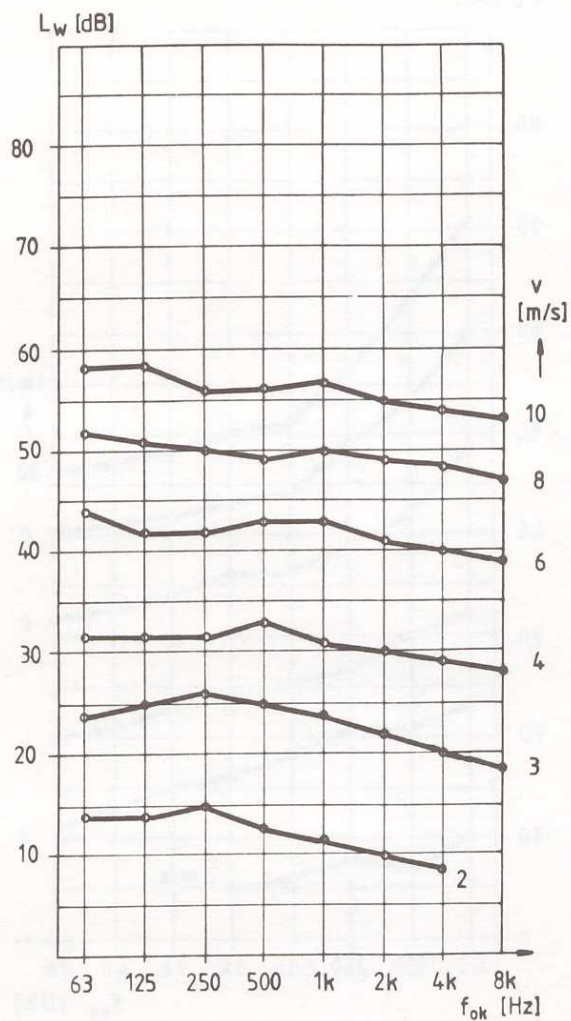
7. ábra

A négyzet keresztmetszetű könyökídom áramlási zajteljesítménye: $d_e = 0,3$ m; L_w dB

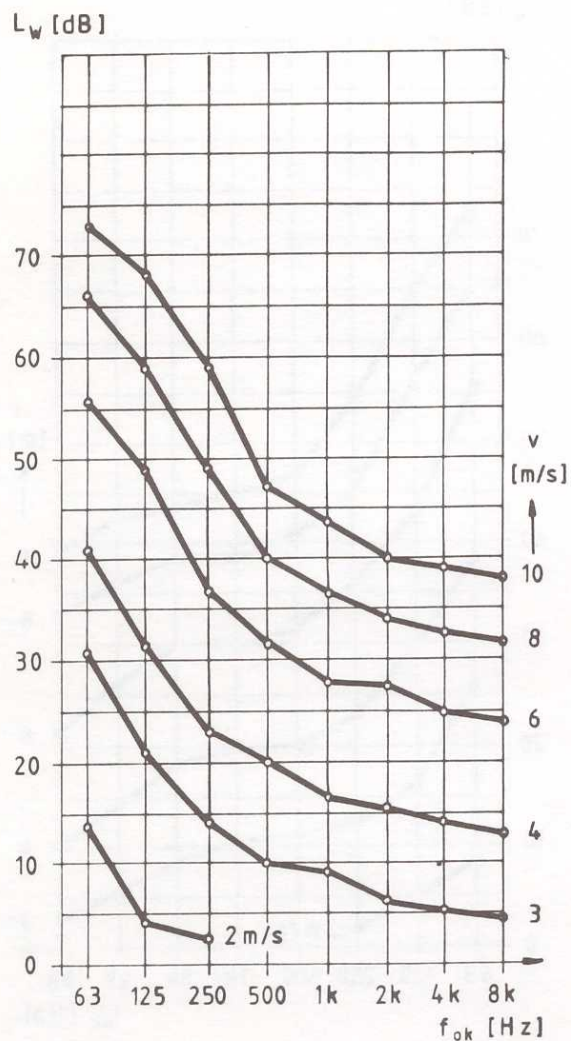


8. ábra

A négyzet keresztmetszetű könyökídom áramlási zajteljesítménye: $d_e = 0,5$ m; L_w dB

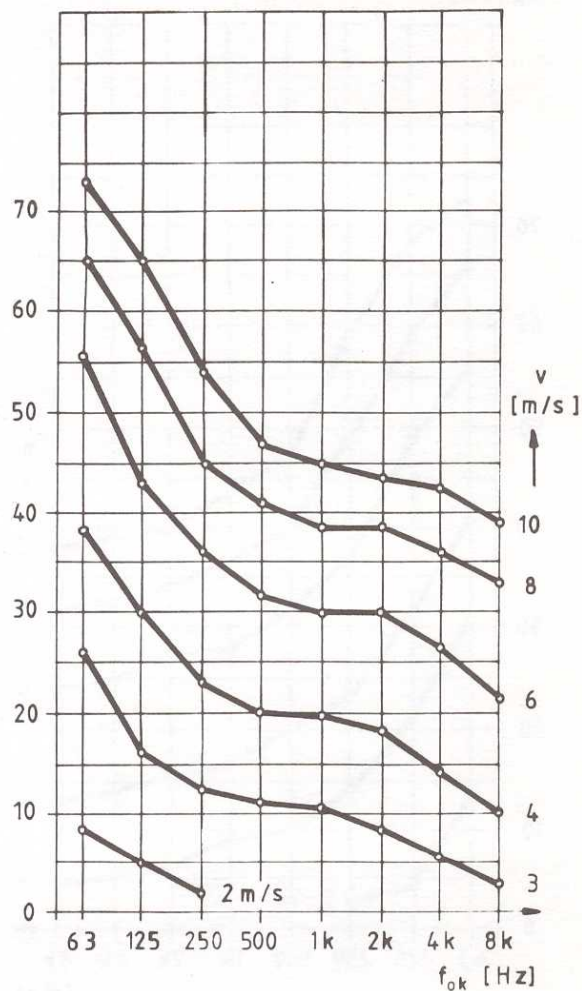


9. ábra
A négyzet keresztmetszetű könyökidom áramlási zajteljesítménye: $d_e = 1$ m; L_w , dB



10. ábra
A könyökidom áramlási zajteljesítménye, $\frac{b}{a} > 2$, $d_e = 0,3$ m

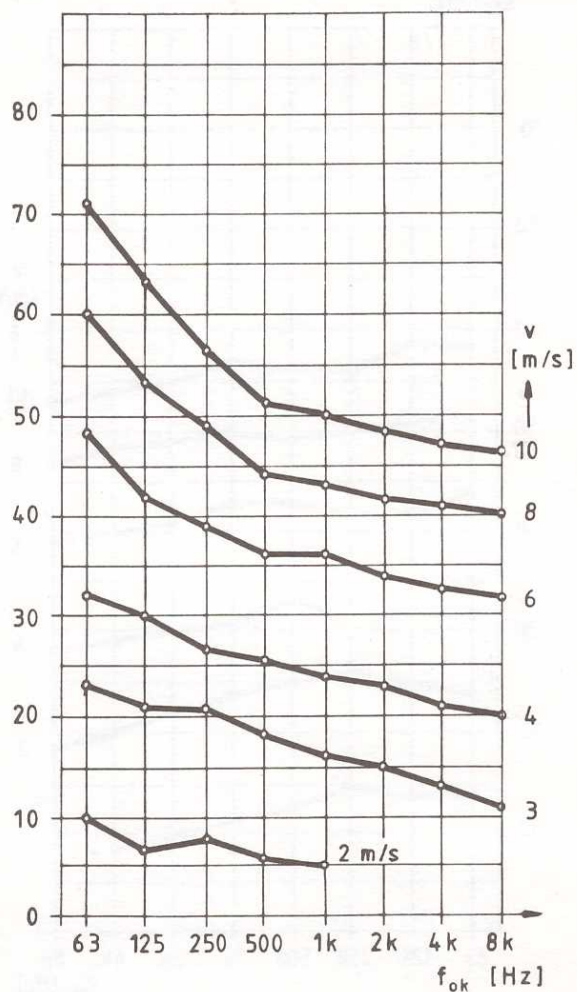
L_w [dB]



11. ábra

A könyökídom áramlási zajteljesítménye, $d_0 = 0,5$ m;
 $\frac{b}{a} > 2$

L_w [dB]



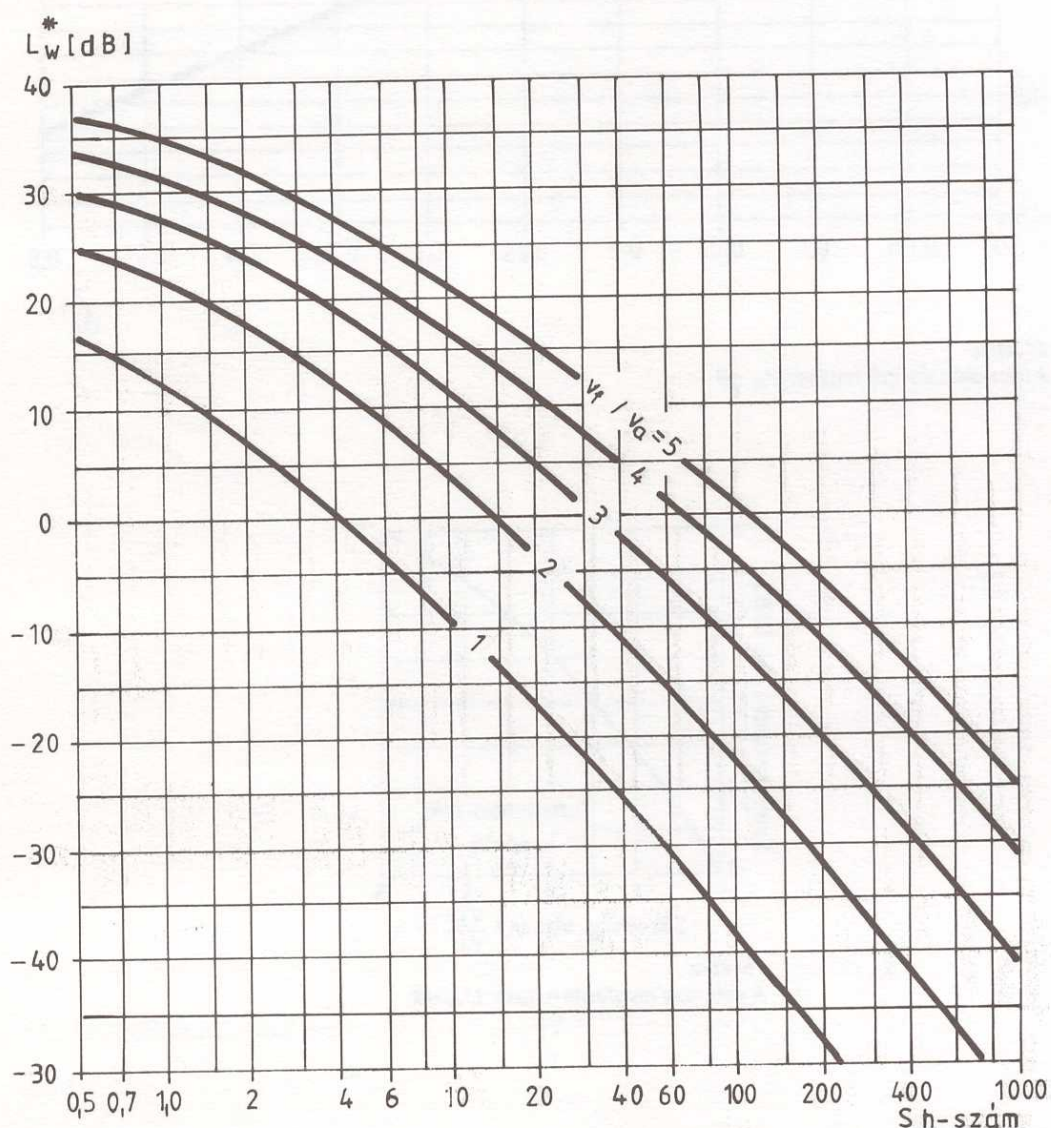
12. ábra

A könyökídom áramlási zajteljesítménye, $d_0 = 1$ m; $\frac{b}{a} > 2$

hosszúságú egyenes csatornaszakasz előzi meg, amely az $l > 8 d_e$ feltétellel általában teljesül. Ha a könyök előtt áramlást zavaró elem kerül beépítésre, mint pl. szabályozó zsalu, pillangószelep, elágazó-idom vagy egy másik könyök, a kérdéses könyök zajteljesítménye magasabb lesz az egyenlőtlen sebességeloszlásból származó, nagyobb helyi légsebességek hatására. A keresztmetszetre vonatkozó névleges sebesség helyett ez esetben a $v_e = 1,4 v$ (m/s) „egyenértékű” sebességhez tartozó zajteljesítményt kell meghatározni.

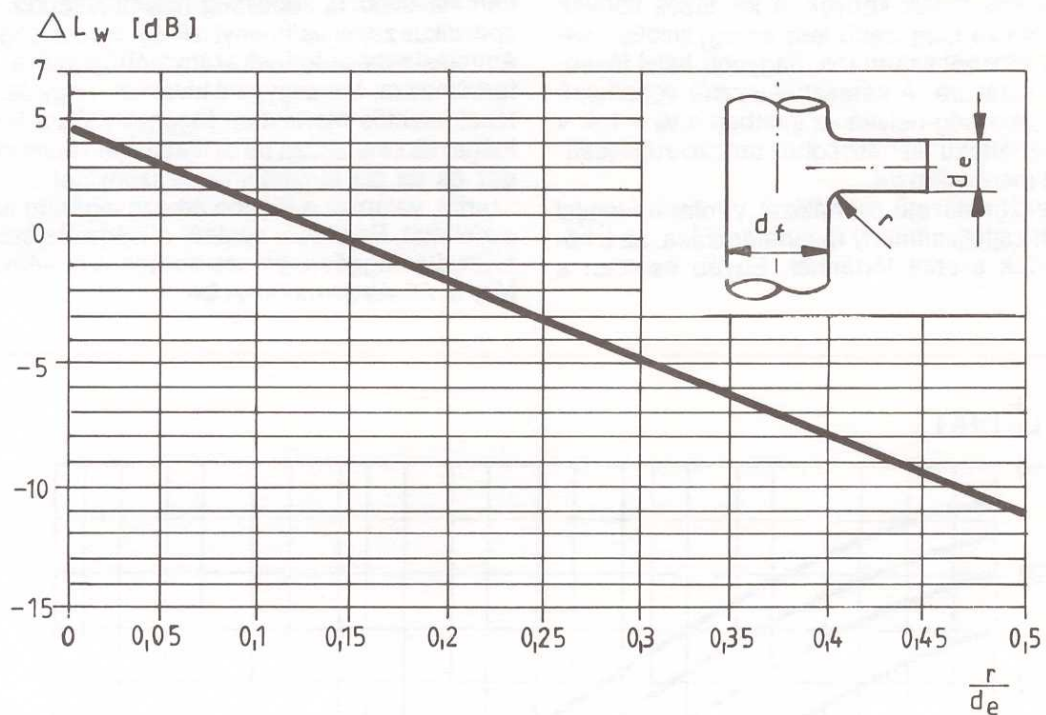
A kör keresztmetszetű csőhálózat Variform idomjai által keltett zajteljesítmény meghatározása az I. kötetben leírtak szerint történhet. Egyéb esetben a

négyszög, illetve kör keresztmetszetű elágazásokon, T- és keresztidomokon keletkező áramlási zaj ugyan-csak a (3) összefüggéssel számítható, amelybe a leágazás jellemző d_e mérete, valamint a leágazásban kialakuló v_a sebesség helyettesítendő. Az L_w specifikus zajteljesítményt a főág, v_f és a leágazás v_a áramlási sebességének arányától függően a 13. ábra tartalmazza. Megjegyezni kívánjuk, hogy az L_w értékei jelentős mértékben függenek még a főág és a leágazás csatlakozásánál kialakított lekerekítési sugár és az ág átmérőjének viszonyától a 14. ábra szerint, valamint a főágba érkező légáram turbulenciafokától. Ez utóbbi hatását a leágazás sebességarányától függően, erősen turbulens megívás esetére a 15. ábrán mutatjuk be.

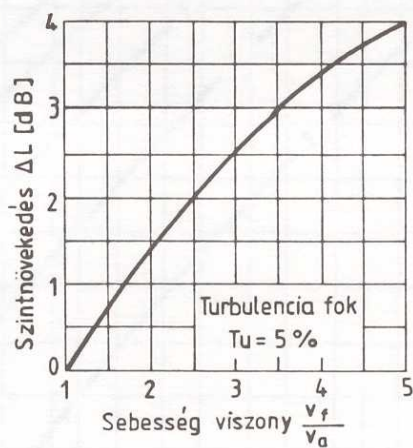


13. ábra

Az elágazás specifikus zajteljesítmény-szintje: L_w^* , dB



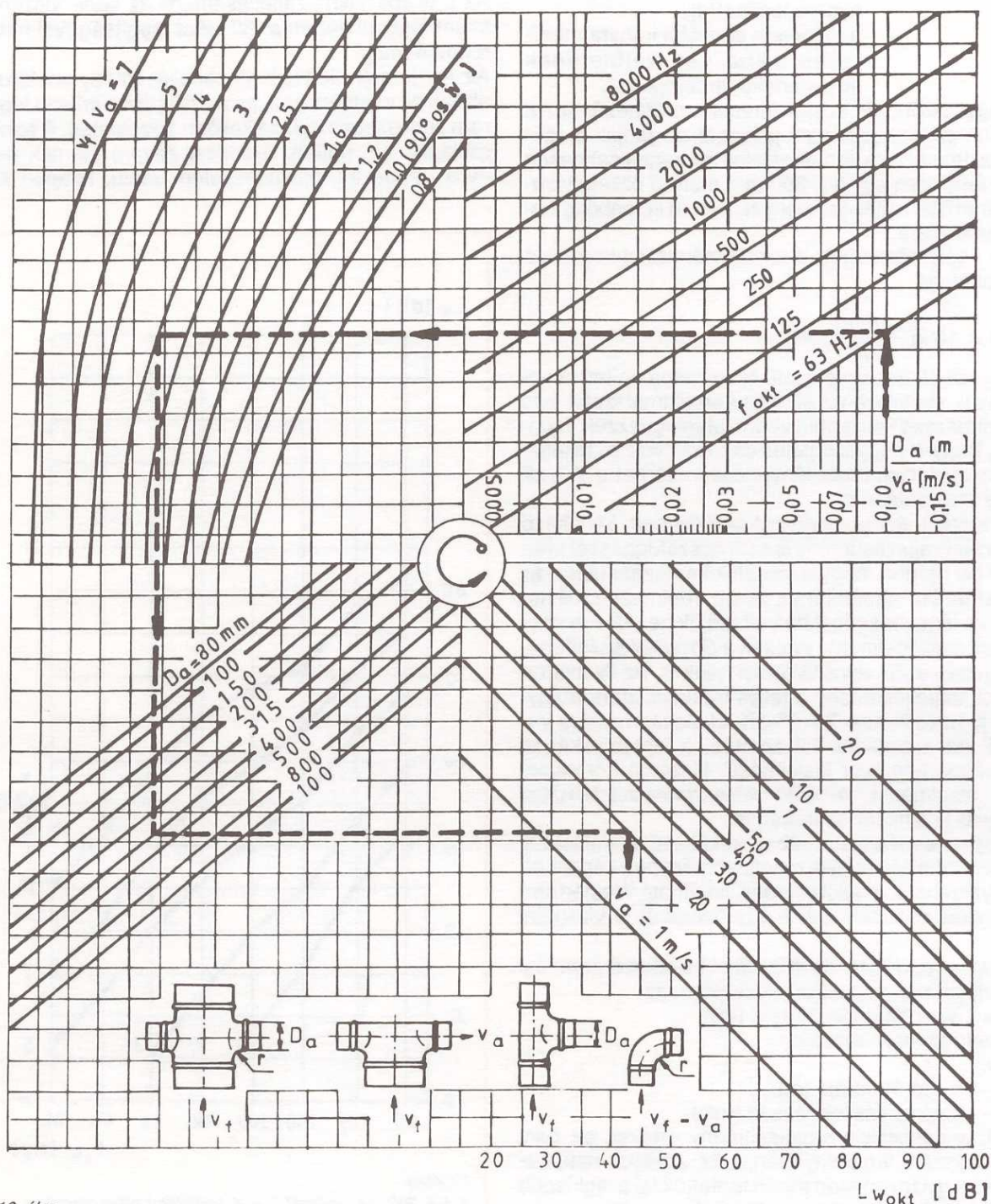
14. ábra
A lekerekítési sugár hatása: L^*_w , dB



15. ábra
A turbulens megfűvás hatása: L^*_w , dB

A méretezés megkönnyítésére, különböző leágazásokban és csőívekben keletkező áramlási zajteljesítmény meghatározása a 16. ábrán látható nomogra-

mok segítségével is történhet. Az így kapott oktáv-sáv-zajteljesítményszintek szükség esetén a 14-15. ábrából leolvasott értékkel korrigálandók.



16. ábra

A leágazásokban és a csőívekben keletkező áramlási zajteljesítmény-spektrum meghatározása: $L_{w_{okt}}$, dB

A csővezetékben elhelyezett *csappantyúk, pillangószelepek* által keltett áramlási zajteljesítmény az

$$L_w = L_w^* + 30 \lg \Delta p' + 20 \lg d_e \text{ (dB)}$$

összefüggéssel jellemezhető,

ahol:

- L_w^* — a specifikus oktáv-sáv-zajtéljesítmény (dB),
 $\Delta p'$ — a szabályzóelemele létrehozott nyomásesés (Pa),
 d_e — a fojtóelem áramlási irányra merőleges síkba eső vetületének egyenértékű átmérője (m).

Az egyszerűbb és szemléletesebb méretezéshez a 17–19. ábrán tájékoztató jelleggel megadjuk a cső keresztmetszetre vonatkoztatott névleges sebesség függvényében egy NA 200 mm méretű pillangószelep áramlási zajteljesítményét, három különböző beállítás esetére.

Ettől eltérő átmérőkre a teljesítményszint-korrektció közelítőleg:

$$\Delta L_w = 10 \lg \frac{D(\text{mm})}{200} \text{ (dB)}$$

Négyszög keresztmetszetű csatornába épített csappantyúk esetében az azonos keresztmetszetet adó kör átmérőjét kell alapul venni. Megjegyezzük azonban, hogy a négyszögletes csappantyúk zajteljesítmény-spektruma már lényegesen eltérhet a 17–19. ábra megadottaktól.

A *hirtelen keresztmetszet-szűkülésben* keletkező áramlási zajteljesítmény is a (3) összefüggéssel írható le oly módon, hogy a kisebbik keresztmetszet d_2 egyenértékű átmérőjét és az ott értelmezett, névleges v_2 légsebességet helyettesítjük be. Az L_w specifikus zajteljesítmény értékeit a *Strouhal-számfüggvényében* a 20. ábrából olvashatjuk le. Az ily módon kapott zajteljesítmény a teljes frekvenciatartományban jó közelítéssel 20–25 dB-lel alacsonyabbra vehető, ha a szűkület folyamatos, a légtechnikában szokásos konfúzor kialakítású. Hasonló korrekciót kell alkalmazni *hirtelen keresztmetszet-bővülés*, vagy akár diffúzor esetében is.

Az egyenes légcsatornában keletkező áramlási zaj az idomokon létrejövő zajteljesítményhez képest elhanyagolható, a belül is érdes, hajlítható Westerform csöveket azonban már e szempontból is vizsgálni kell.

Az *egyenes Westerform csőben* keletkező áramlási zajteljesítmény-spektrum közelítőleg az

$$L_w = L_w^* + 20 \lg d + 50 \lg v \text{ (dB)}$$

összefüggéssel írható le,

ahol:

- d — a cső átmérője (m),
 v — az áramlási sebesség (m/s).

Az L_w specifikus zajteljesítmény értékek az f_{ok}/v viszonyszám függvényében a 21. ábrából határozható meg. Ugyanezen ábrán tüntettük fel a legkisebb sugárban hajlított, 90°-os Westerform csőívre vonatkozó L_w értékeket is.

A csővezetékbe épített hangcsillapítók áramlási zaj-

teljesítménye — mért adat hiányában — jó közelítéssel számítható az:

$$L_w = L_w^* + 50 \lg v_s + 10 \lg A \text{ (dB)}$$

összefüggéssel,

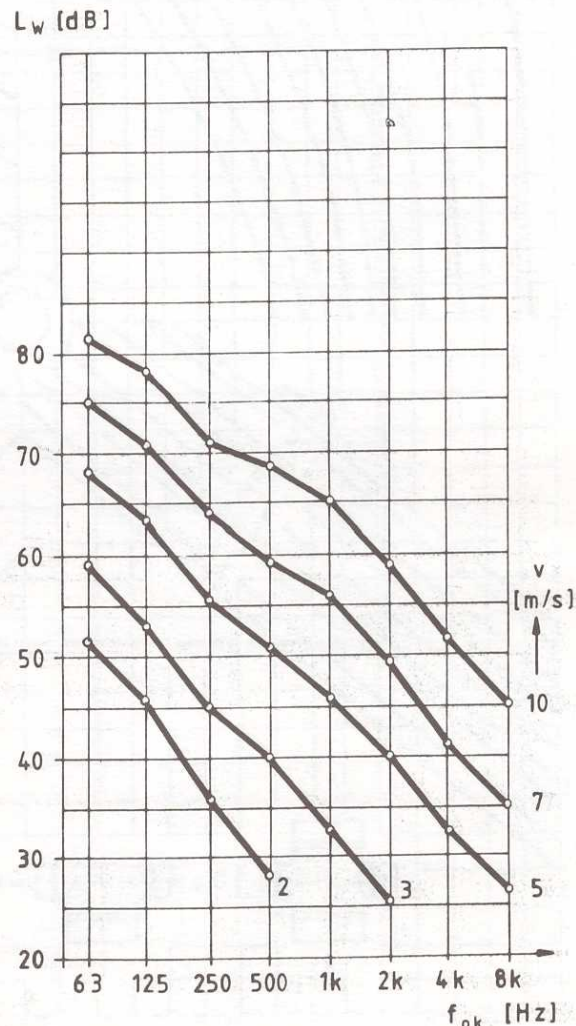
ahol:

- v_s — a hangcsillapító szabad keresztmetszetében levő áramlási sebesség (m/s),

A — csatlakozó légcsatorna keresztmetszet (m^2).

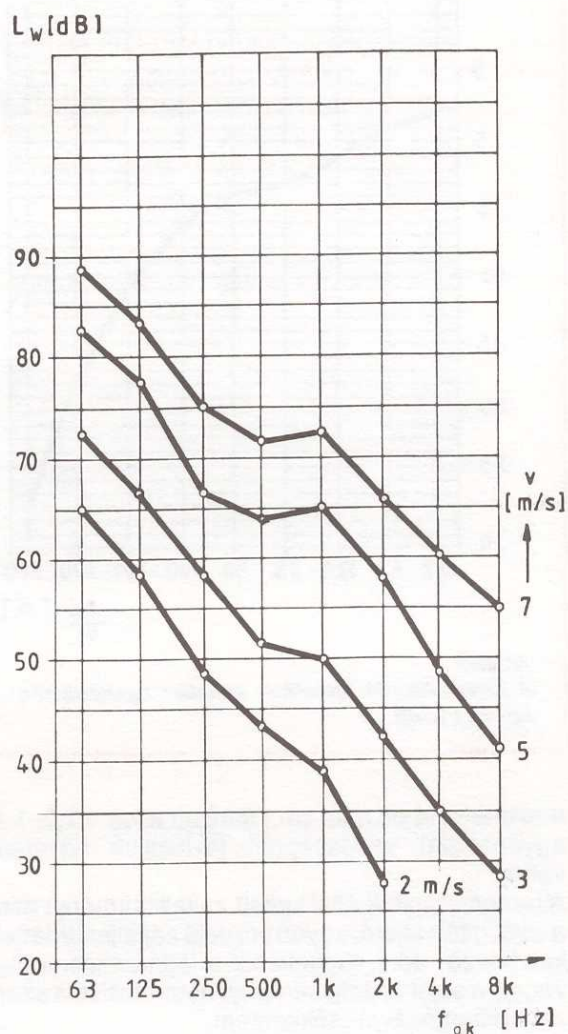
Az L_w specifikus zajteljesítmény az f_{ok}/v_s viszonyszám függvényében a 22. ábra segítségével határozható meg.

Az így kapott oktáv-sáv zajteljesítmény-spektrum abban az esetben igaz, ha a csillapítóra érkező légáram sebességeloszlása kellően egyenletes. A hangcsillapító elé épített, áramlást zavaró elemek (könyök, leágazás, pillangószelep, zsalu, hirtelen ke-



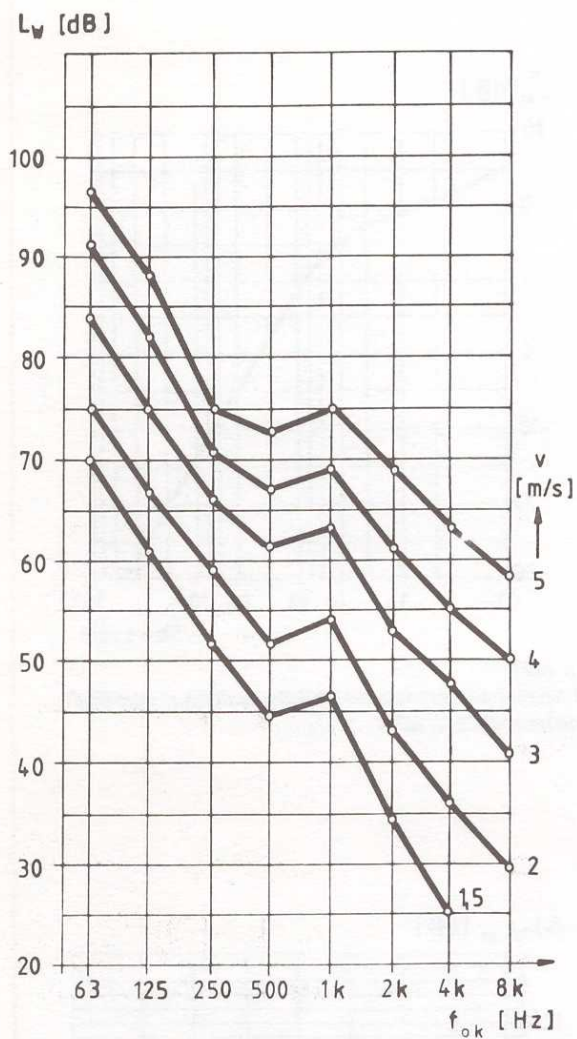
17. ábra

A NA 200 mm méretű $\zeta = 4$ beállítású pillangószelep áramlási zajteljesítménye: L_w , dB



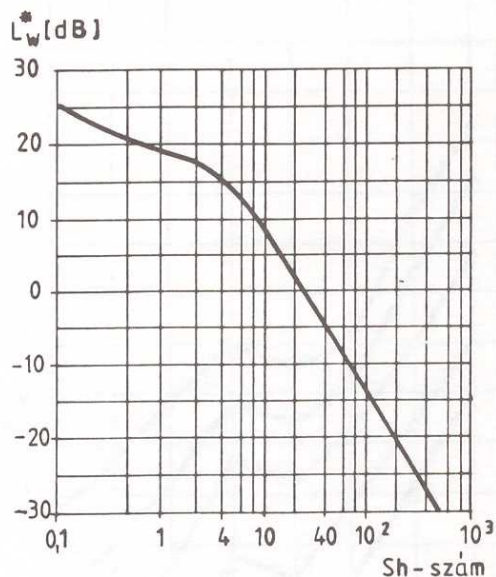
18. ábra

A NA 200 mm méretű, $\zeta = 30$ beállítású pillangószelep
áramlási zajteljesítménye: L_w , dB

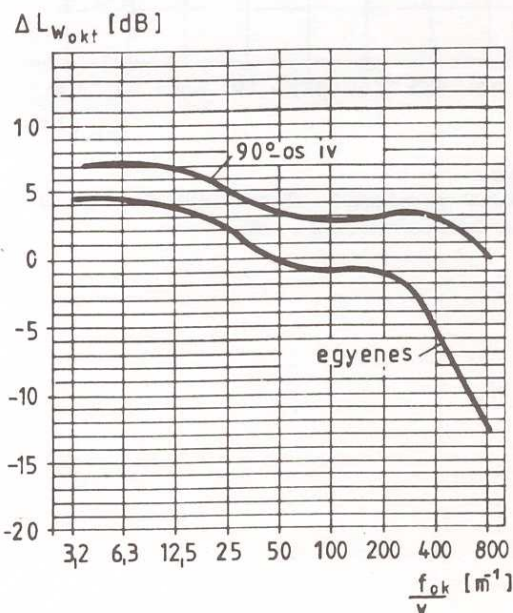


19. ábra

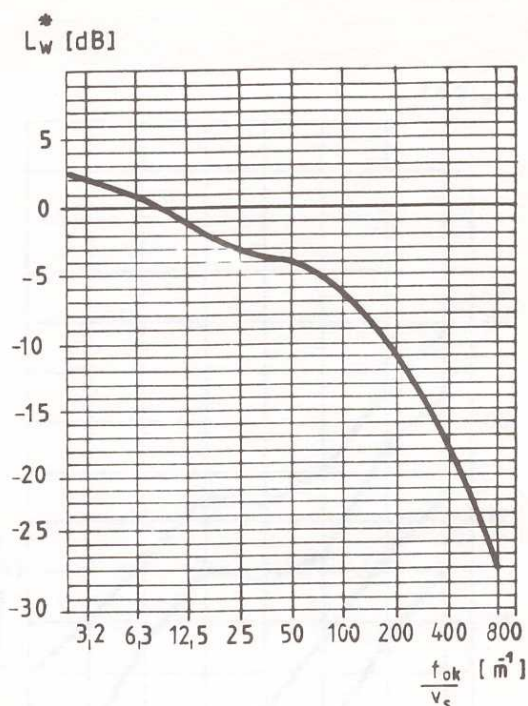
Az NA 200 mm méretű, $\zeta = 90$ beállítású pillangószelep
áramlási zajteljesítménye: L_w , dB



20. ábra
A hirtelen keresztmetszet-szűkület specifikus zajteljesítményszintje: L_w^* , dB



21. ábra
A Westerform cső specifikus áramlási zajteljesítményszintje: L_w^* , dB



22. ábra
A hangcsillapítók specifikus áramlási zajteljesítményszintje: L_w^* , dB

resztmetszet-bővület stb.) hatását a $v_{es} = 1,2-1,4 v_s$ egyenértékű sebességgel javasoljuk figyelembe venni.

A hangcsillapítók által keltett zajteljesítményt mindig a csillapítón átjutó, egyéb eredetű zajteljesítményhez kell hozzá adni, függetlenül a légáramlási iránytól, vagyis a saját zajteljesítményt nem szabad a szerkezet csillapításával csökkenteni.

A légcsatornába épített elemek közül a befúvó- és elszívószerkezetek azok, amelyek már közvetlenül a szellőztetett térben keltik az áramlási zajteljesítményt. Fontos emiatt a körütekintő kiválasztásuk légtechnikai, beszabályozási szempontok szerint is, mivel már a tervezés során csak így biztosítható az adott megoldással elérhető legkisebb zajteljesítmény.

Az egyes típusú befúvó-, illetve elszívószerkezetek által keltett, méréssel megállapított áramlási zajteljesítmény-adatok e segédlet *Légtechnika* című fejezetében találhatók. Amennyiben nem áll rendelkezésünkre mérési adat, a szellőzőrácsokon keletkező áramlási összteljesítmény közelítőleg az $L_w = 15 + 30 \lg \zeta + 60 \lg v_{eff} + 10 \lg A$ (dB) összefüggéssel számítható,

ahol:

- ζ — a rács áramlási ellenállás-tényezője,
- v_{eff} — a rács szabad keresztmetszetére vonatkoztatott áramlási sebesség (m/s)
- A — a rács beépítési keresztmetszete (m^2).

A rács zajteljesítmény-spektruma a beállítási helyzet-től és a légsebességtől függően jelentősen változhat, de tájékoztató jellegű számításához felhasználhatjuk a 7. táblázat oktávsváros korrekciós értékeit. Ennek ismeretében a légrács oktávsváros zajteljesítmény-szintjei:

$$L_{W_{okt}} = L_W - \Delta L_{W_{okt}} \text{ (dB)}.$$

A rendszerelemek beiktatási vesztesége (csillapítás)

A rendszerelemek beépítésével, a mögöttes csatornaszakaszban elért zajteljesítményszint-csökkenést hívjuk *beiktatási veszteségnek*. Az elem csillapításán pedig az elem előtt és után mért zajteljesítmény-szintek különbségét értjük, amely bizonyos esetekben néhány dB-lel meghaladhatja a beiktatási veszteség mértékét. A szabványos mérési módszerek a beiktatási veszteség mérését írják elő, így a méréssel megállapított, közzétett adatok mindig a beiktatási veszteség mérőszámait adják.

Ennek ellenére a szakmai gyakorlatban *csillapításról* beszélünk minden esetben, függetlenül a mérési módszerétől. Ezért a továbbiakban az egyes elemek beiktatási vesztesége helyett — az egyszerűség kedvéért — a csillapítás néven alkalmazzuk. A csatornaelem jellemző csillapítása többféle okból jöhet létre:

- a csatornából a falán keresztül kijutó zajenergia,
- a zajteljesítmény megoszlása az elágazásokban,
- hangvisszaverődés a zajforrás irányába (reflexió),
- a hangenergia csökkentése hangelnyelő felületek alkalmazásával.

Az egyenes légcsonalnak csillapítása

Az egyenes csatornaszakaszok csillapítása abból áll, hogy a csatornafalon keresztül a környezetükbe sugározzák a hangenergia egy részét. Ebből következik, hogy minél vékonyabb, alacsonyabb hanggátlású a csatorna fala (pl. vékony horganyzott acél, vagy alumínium lemez), annál nagyobb a csatornaszakasz jellemző csillapítása. A csillapítás előzetes számítása a szerkezeti megoldásoktól függő hanggátlás bizonytalansága miatt nehezen végezhető el, ráadásul általában csak 1 dB/m alatti fajlagos értékek várhatók. A 8. táblázatban a szokásos kialakítású négyszög és kör keresztmetszetű légcsonalnak csillapítása látható dB/m-ben, a frekvencia függvényében.

A légcsonal-idomok csillapítása

Elágazásokban a zajteljesítmény az ágakhoz kötött csatornaszakasz akusztikai impedanciájának arányában oszlik meg. Légtechnikailag helyesen méretezett rendszereknél a zajteljesítmény közelítőleg az

7. táblázat

A légrácsok zajteljesítményének oktávsváros korrekciós értékei ($\Delta L_{W_{okt}}$, dB)

f_{ok} (Hz)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
$\Delta L_{W_{okt}}$	3	6	8	12	14	18	23	28

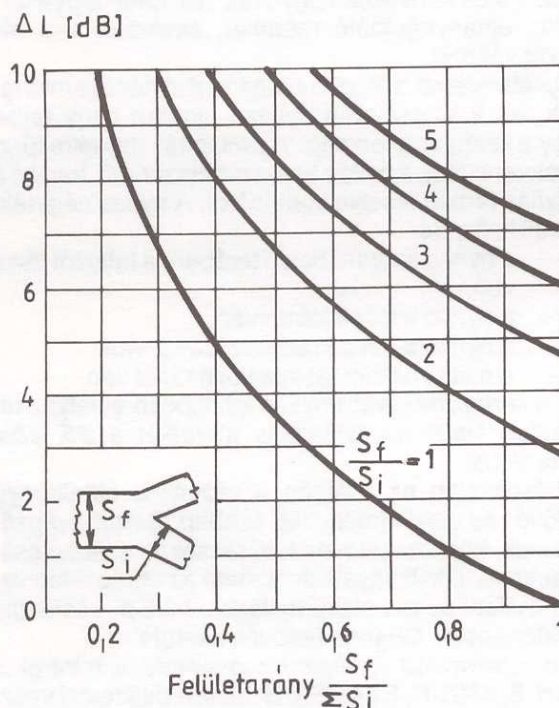
ágak keresztmetszet-arányában terjed tovább. Az ágakba jutó zajteljesítményre értelmezett csillapítás értékei a 23. ábrán olvashatók le az elágazás keresztmetszet-viszonyainak függvényében. A csillapítás gyakorlatilag a teljes frekvenciatartományban azonosnak vehető.

Hirtelen keresztmetszet-változás esetén a frekvenciától ugyancsak független csillapítás a

$$\Delta L_{kv} = 10 \lg \frac{(n+1)^2}{4n} \text{ (dB)}$$

összefüggéssel számítható, ahol:

$n = \frac{A_1}{A_2}$ keresztmetszetviszony a két csatlakozó keresztmetszet aránya.



23. ábra

Az elágazóidom csillapítása: $\Delta L_{elág}$, dB

Az egyenes légszatóna-szakaszok csillapítása
(ΔL_{csat} , dB/m)

A csatorna mérete (mm)	Oktávsváz középfrekvencia (Hz)					
	63	125	250	500	1000	1000
Négyszög keresztmetszet $d_e = \frac{2ab}{a+b}$ (mm)						
200	0,6	0,6	0,45	0,3	0,3	0,3
200–400	0,6	0,6	0,45	0,3	0,2	0,2
400–800	0,6	0,6	0,3	0,15	0,15	0,15
800–1600	0,45	0,3	0,15	0,1	0,06	0,06
Kör keresztmetszet d (mm)						
200	0,1	0,1	0,15	0,15	0,3	0,3
200–400	0,06	0,1	0,1	0,15	0,2	0,2
400–800	0,03	0,06	0,06	0,1	0,15	0,15
800–1600	0,03	0,03	0,03	0,06	0,06	0,06

A *könyökidomok* csillapítása a geometriai mérettől függően különböző frekvenciákon éri el a maximumot. A legnagyobb csillapítás a $b = \frac{\lambda}{2}$ feltételt teljesítő hullámhosszhoz tartozó frekvencia környezetében alakul ki. A b méret a könyök magassága (forduló mérete). A terelőlemez nélküli, illetve az MK típusjelű, különböző méretű éles könyökök jellemző csillapítása a 24. ábrából olvasható ki. A terelőlemez sorral ellátott éles könyökök vagy ívek csillapítása gyakorlatilag elhanyagolható mértékű, általában 1–3 dB között változik.

A *nyílásreflexió* csillapító hatásával akkor számolhatunk, ha a légszatóna nyílása hirtelen nagy térbe vagy a szabadba torkollik. A csillapítás mértéke függ a frekvenciától, a nyílás keresztmetszetétől, továbbá a nyílás térbeli elhelyezkedésétől. A nyílás négyféle térbeli helyzete:

- A — a nyílás a terem belső terében, a falaktól távol van,
- B — a nyílás a fal síkjában van,
- C — a nyílás a két fal találkozásánál van,
- D — a nyílás három fal találkozásánál van.

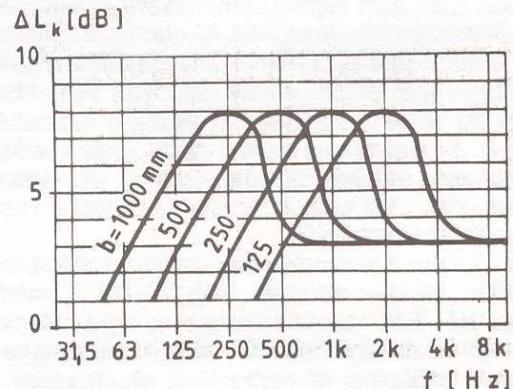
Az A keresztmetszetű nyílás különböző elhelyezkedésekor kialakuló csillapítás mértékét a 25. ábra mutatja be.

Nyílások alatt ez esetben a szokásos oldalirányú befúvó- és elszívórácsokat, szabad csatornavégződéseket, kör keresztmetszetű rácsokat, szabad csővégeket értjük. Nem alkalmazható az ábrából leolvasott csillapítás rés alakú nyílások, mint pl. résfúvók, légfüggönyök, Coanda befúvók esetére.

A légszatónába építhető hangcsillapítók, mint pl. a KNH-E, KNH-K, ST-N, ST-H típusok beiktatási veszteségéről az I. kötetben részletesen írunk. Amennyiben egy hangcsillapító nem biztosítja a kívánt mértékű zajcsökkentést, két vagy több csillapító berendezésnél a következőket kell figyelembe venni:

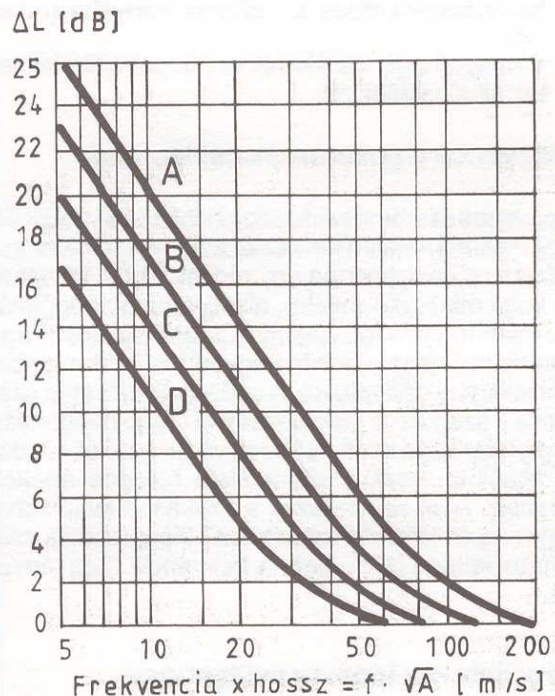
- a hangcsillapítók lehetőleg ne közvetlen egymás után kerüljenek beépítésre, hanem egy közbelső csatornaszakasz közbeiktatásával,
- a két hangcsillapító együttes csillapítása csak az $f_{1,1}$ határfrekvencia alatti tartományban számítható egyszerű összeadással, ennél magasabb frekvenciákon a második csillapító hatása jelentősen (akár 10–15 dB-t) is romlik.

Az $f_{1,1}$ határfrekvencia a csatlakozó csatorna a (m) és b (m) oldalméreteivel:



24. ábra

A terelőlemez nélküli, éles könyökidomok jellemző csillapítása: ΔL_k , dB



25. ábra

A nyílásreflexióból eredő csillapítás: ΔL_{refl} , dB

$$f_{1,1} = 171 \sqrt{\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2}} \text{ (Hz)}.$$

Anemosztátok

Az anemosztátok akusztikai méretezését a Tervezési segédlet I. kötetének C regiszterén belül a 4.22 fejezet tartalmazza.

A helyiségek akusztikai jellemzői

A helyiségben kialakuló hangnyomásszint függ egyrészt a bejutó zajteljesítménytől, másrészt a helyiség felületeinek hangelnyelő tulajdonságaitól.

Az átlagos elnyelési tényező számítása a felületelemekre jellemző hangelnyelés ismeretében történhet:

$$\bar{\alpha} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot \alpha_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{A_e}{A},$$

ahol:

A_i — az i -edik α_i elnyelési tényezőjű felületelem,

A_e — a teljes A határoló felület hangelnyelésével egyenértékű,

$\alpha = 1$ elnyelési tényezőjű felület (elnyelési szám) (m^2).

Mivel a felületelemek elnyelési tényezője frekvenciafüggő, az átlagos elnyelési tényezőt oktávsvonként kell meghatározni, a pontosabb számítás érdekében. A belső térben kialakuló hangnyomásszint (zajszint) az

$$L = L_w + 10 \lg \left(\frac{D}{4\pi r^2} + \frac{4}{R_t} \right) \text{ (dB)} \quad (5)$$

összefüggéssel adódik, ahol:

L_w — a bevitt zajteljesítményszint (dB),

D — a zajforrás elhelyezkedésére jellemző irányítási tényező,

r — a zajforrástól mért távolság (m),

$R_t = A \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}}$ — az ún. teremállandó (m^2)

A D irányítási tényező értékei:

$D = 1$ — ha a zajforrás a falaktól távol helyezkedik el,

$D = 2$ — ha a zajforrás sík fal közelében sugároz,

$D = 4$ — ha a zajforrás két fal találkozásánál van elhelyezve,

$D = 8$ — ha a zajforrás három falfelület sarokpontjában működik.

Az (5) összefüggés zárójelben levő első tagja az ún. közvetlen hangtéri hangnyomásszintet adja, amely a zajforrástól távolodva csökken, míg a második tag a zengőtéri hangnyomásszintre jellemző, amely a helytől függetlenül állandó. A két hangtér határán a két hangnyomásszint megegyezik. Ennek távolsága a zajforrástól:

$$r_e = \sqrt{\frac{D \cdot R_t}{16\pi}} \text{ (m)},$$

amelynél távolabbi térben elegendő az

$$L = L_w + 10 \lg \frac{4}{R_t} \text{ (dB)}$$

zengőtéri hangnyomásszint meghatározása.

A közelítő számításokhoz nyújt segítséget a 26. ábra, amely a helyiség térfogata és az átlagos elnyelési tényező ismeretében megadja a teremállandó értékét.

A diagram 1:1:1 és 1:2:5 közötti oldalirányú helyiségekre alkalmazható. A teljes frekvenciatartományra értelmezett átlagos elnyelési tényező tájékoztató értékei különböző helyiségekre:

$\bar{\alpha} = 0,4-0,5$ hangelnyelő burkolattal ellátott helyiség,

$\bar{\alpha} = 0,2-0,3$ gépekkel betelepített üzemcsarnok hangelnyelő mennyezettel, berendezett iroda,

$\bar{\alpha} = 0,1-0,2$ üres iroda, betelepített üzemcsarnok, étterem,

$\bar{\alpha} = 0,05-0,1$ üres ipari csarnok, tornaterem, uszoda, konyha

$\bar{\alpha} = 0,05$ erősen zengő terek beton vagy csempézett felületekkel, pl. műtőhelyiségek.

Hangterjedés a létesítmény környezetében

A környezetben keltett zaj számításánál fontos annak ismerete, hogy a hangenergia milyen módon terjedve jut el a zajforrástól a vizsgálandó megítélési pontig. A környezetbe sugárzó zajforrásként kell figyelembe venni például a szabadban telepített ventilátorokat, léghűtőes kondenzátorokat, hűtőtornyokat, levegő beszívó- és kifúvónyílásokat, kazánok kéményeit stb. E zajforrásokat a távolabbi környezetből megítélve pontszerű zajforrásként foghatjuk fel, amelyeknél az energia gömbszerűen terjed.

A szabadban történő, akadálytalan terjedéskor az L_w zajteljesítményű forrástól r távolságra kialakuló hangnyomásszint:

$$L = L_w + 10 \lg \frac{D}{4r^2\pi} \text{ (dB)},$$

ahol a D irányítási tényező értékei:

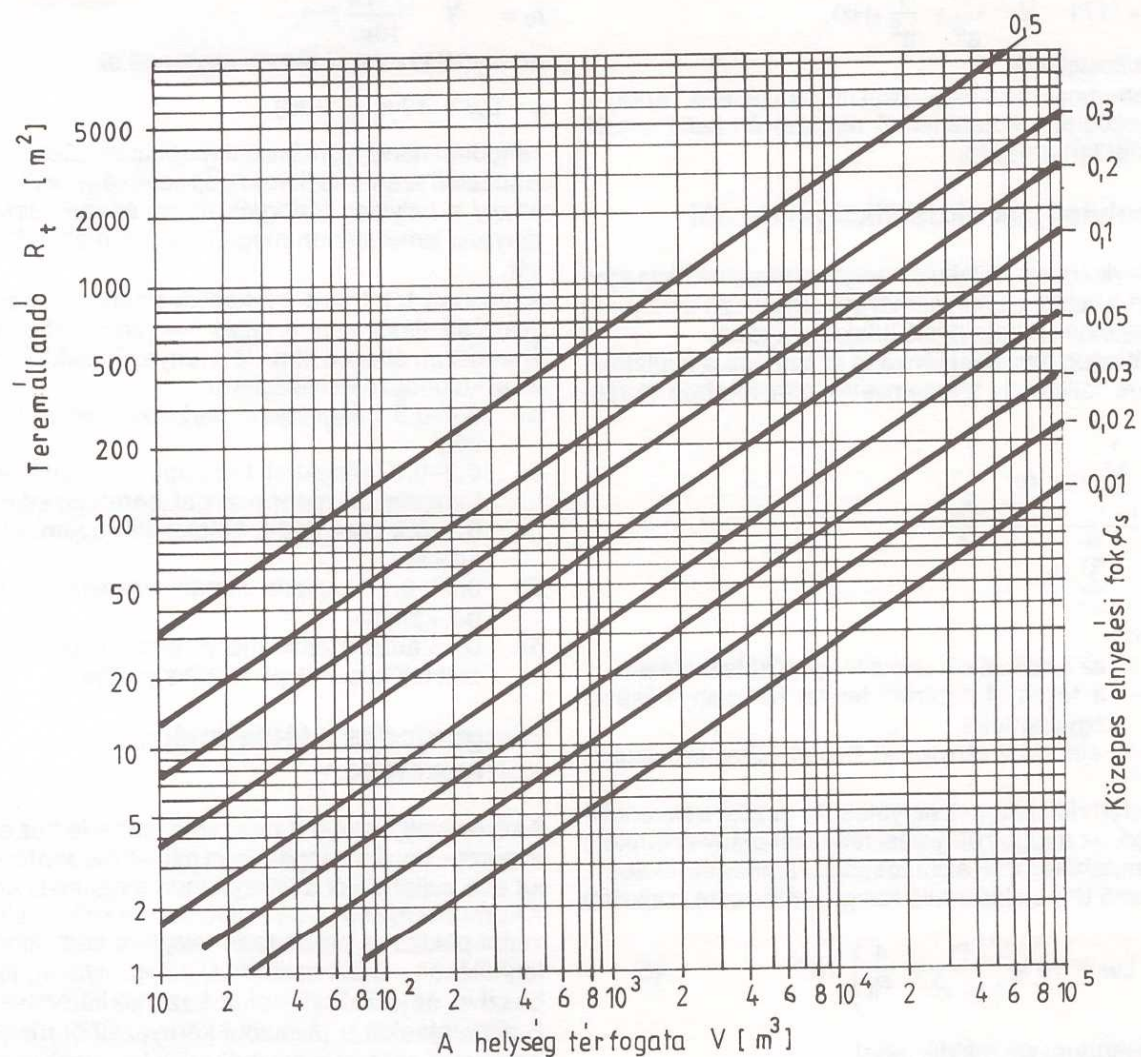
$D = 1$ — ha a forrás egész gömbfelületén sugároz (pl. kémény vége),

$D = 2$ — ha a forrás félgömbösugárzó (hangvisszaverő sík felületen működő zajforrás),

$D = 4$ — negyedgömbösugárzó (két hangvisszaverő sík találkozásánál levő zajforrás),

$D = 8$ — nyolcadgömbösugárzó (három sík találkozásánál működő zajforrás).

Az ilyen egyszerű, szabadtéri terjedésen kívül azonban gyakran kell még foglalkozni a további hangvisszaverő felületek hatására kialakuló járulékos hangnyomásszintekkel is. A reflexióból létrejövő helyi zajszintnövekedés kedvezőtlen geometriai viszonyok következtében a 3 dB-t is elérheti.



26. ábra
A teremállandó közelítő számítása

Zajcsökkentő hatása van viszont a hangvisszaverő felületnek, ha a zajforrás és a megfigyelő között helyezkedik el.

Az ilyen hangárnyékolás által elérhető csillapítás pontszerű zajforrás esetén a

$$L = 20 \lg \frac{\sqrt{2\pi \cdot N}}{\sqrt{2\pi \cdot N}} + 5 \text{ (dB)}$$

kifejezéssel számítható, ahol N a *Fresnel-szám*:

$$N = \frac{2s}{\lambda},$$

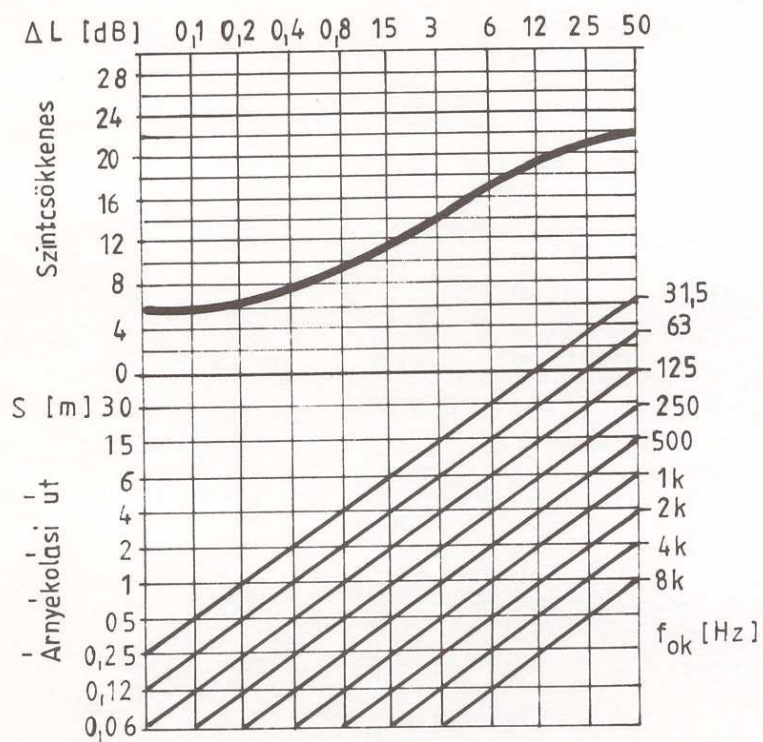
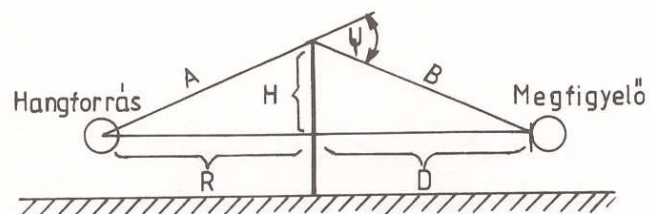
ahol:

s — az árnyékolási úthossz (m),

λ — a vizsgált frekvenciához tartozó hullámhossz (m).

Az árnyékolási úthossz a 27. ábra jelöléseivel: $s = (A-R) + (B-D)$ (m).

Az ábrából s ismeretében leolvasható az árnyékolással elérhető csillapítás értéke a frekvencia függvényében.



27. ábra
A hangárnyékolás következtében kialakuló zajcsillapítás: ΔL , dB

