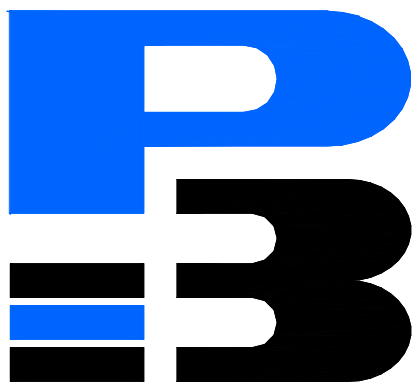




preinsulated panels system

P3ductal – Műszaki kézikönyv Előszigetelt légcsatorna rendszer



Gyártja: P3 Srl Olaszország

Forgalmazza: Columbus Klímaproject Kft.

2142 Nagytarcsa, Pesti út 15.

Tel: 36-28-588-555 ; +36-20-999-5745

es@cklima.hu

Építőipari Műszaki Engedély (ÉMI):

A-83/2017

Tartalomjegyzék

1 Bevezetés.....	2
2 Légelosztó csatornák általános követelményei	2
2.1 A légcsatorna célja	2
2.2 „Ideális” légcsatornák tulajdonságai	3
2.3 Különböző légcsatornák tulajdonságai	3
2.4 P3ductal légcsatornák jellemzői	3
3. P3ductal műszaki jellemzői	4
3.1 Hőszigetelés	4
3.1.1 Hővezető-képesség	4
3.1.2 Hővezető képességet befolyásoló tényezők.....	4
3.1.3 Szigetelési tulajdonságok összehasonlítása.....	5
3.2 Vízgőz kondenzáció a légcsatornában	5
3.2.1 Kondenzáció kiszámítási példa.....	5
3.3 Légtömörség	6
3.3.1 Szabványos előírások.....	6
3.3.2 Beszivárgás a visszatérő légcsatornában.....	6
3.4 Sűrűlátsási veszteség	6
3.4.1 Lineáris vagy eloszlott sűrűlátsási veszteségek	7
3.4.2 Helyi vagy alkalmi sűrűlátsási veszteségek.....	7
3.5 Zaj a légcsatornában	8
3.5.1 A hang terjedése a szellőztetőrendszerben.....	8
3.5.2 Hangcsillapítás egyenes légcsatorna idomban.....	9
3.5.3 A hangcsapda telepítési helye	10
3.5.4 Zajszivárgási ellenállás (behatolás, kitörés)	11
3.5.5 Öngerjesztett zaj	12
3.6 A szigetelőanyag tűzreakciója	13
3.6.1 A tűz kifejlődése és tovaterjedése	13
3.6.2 P3ductal légcsatornák tűzkockázat biztonsága	13
3.6.3 Anyagok tűzreakciója.....	13
3.6.4 Szerkezetek tűzállósága	14
3.6.5 Tűzterhelés	15
3.6.6 Füst toxicitása és opacitása.....	15
3.7 Légminőség és higiénia	16
3.7.1 Légcsatorna anyagainak szennyezés kibocsátása..	16
3.7.2 Légcsatornák tisztasági fokozatai	16
3.7.3 P3ductal légcsatornák tisztítása	16
3.8 P3ductal légcsatornák terhelhetősége	16
3.8.1 Korrozioállóság	16
3.8.2 Erőzioállóság	16
3.8.3 Deformáció ellenállás.....	17
4. Gazdasági tényezők.....	17
4.1 Energia megtakarítás szigeteléssel	17
4.2 Oldalarányok	18
5. P3ductal légcsatornák telepítési lehetőségei	18
5.1 Megfelelő alkalmazás	18
5.2 Kültéri telepítés	18
5.3 Földalatti telepítés	19
6. Irányelvek a tervezési előírásokhoz	19
Szakirodalom	21
Átszámítási tényezők	21

1 Bevezetés

Légcsatornák céljára sok különböző anyagot és rendszert fejlesztettek már ki a hagyományosan használt acéllemezek helyett. Az előszigetelt alumínium légcsatornák már bebizonyították, hogy számos műszaki és gyakorlati előnyük folytán a legelőnyösebbek.

A szendvics paneleket alkalmazó légcsatornák építése mintegy 25 éve kezdődött Olaszországban. Az első felhasználók kisberuházók voltak; ezeknek ugyanis sokszor gondot okoz, hogy a telepítéshez szükséges légcsatorna szerkezeti anyagokhoz és elemekhez megfelelő mennyiségben és időben hozzájussanak.

A panelek megmunkálásához szükséges szerszámok, eszközök és berendezések egyszerűsége, valamint a légcsatornák méretre vágási lehetősége a munka helyszínén, még mindig két vezető előny a többi rendszerrel szemben.

A rendszert mára teljesen kifejlesztették, és elterjedt az egész világon, és ugyanígy az alkalmazása is fokozatosan kiterjedt a légelosztó rendszerek minden egyes fajtájára, az ipari, a polgári és a kereskedelmi területen egyaránt.

A népszerűség növekedésének eredményeként a gyártók száma megsokszorozódott, és ma különböző poliuretán hab panelek kaphatók a nemzetközi piacon. Mindegyik más tulajdonságokat és lehetőségeket ajánl, mind mechanikai, mind fizikai szempontból.

A panelek közötti nagy különbség lehetetlenné teszi szabványosított adatok készítését, és a rendszertervezők gyakran nem találják a hivatkozási kritériumokat. Ez keltette azt a dokumentálási igényt, hogy legalább minimális eligazítást nyújtsunk az előszigetelt alumínium légcsatornák szerkezetéhez, valamint megkívánt műszaki adatokat a különböző rendszerek minősítéséhez.

2 Légelosztó csatornák általános követelményei

2.1 A légcsatorna célja

A légkezelő rendszerben a levegő megkövetelt jellemzőinek (hőmérséklet, páratartalom, légáram, tisztaság) beállítása után problémák vetődhetnek föl a megcélzott környezetbe juttatás szakaszában, ha a légcsatorna hálózat képtelennek bizonyul a beállított értéket a kívánt hatékonysággal a célhoz eljuttatni.



2.1 ábra. Léghőköndicionáló rendszer kialakítása

A légelosztó rendszer fő funkciói a következők:

- A kezelt levegő elosztása a légkezelő egységtől a kiválasztott környezetig, a beállított paraméterek megváltozása nélkül.

- Az építés közbeni silány munkavégzés miatt, illetve az üzemi nyomásváltozások folytán esetleg bekövetkező ellenőrizhetetlen be, vagy kiszivárgások kizárása.
- A zajkeltés és továbbítás korlátozása.
- A megkívánt jellemzők fenntartása az idők folyamán. A légelesztő rendszer a telepítési és üzemelési költségek jelentős részének számít, és ez a rendszer méretének arányában növekszik (lásd az 2.1 ábrát).

2.2 „Ideális” légcsatornák tulajdonságai

Az „ideális” légcsatornától elvárt legfontosabb tulajdonságok a következők:

a) Műszaki tulajdonságok

Hőszigetelés
Légtömörség
Sűrűlási veszteség
Akusztika
Biztonság és megfelelés a jogszabályok szerint
Légminőség és higiénia
Élettartam

b) Kivitelezési tulajdonságok

Szállítás: könnyű szállítás, csekély logisztikai problémák
Konstrukció: gyors lebonyolíthatóság
Telepítés: könnyű mozgatás, helyszíni módosítási lehet
Hozzáférhetőség: anyagok könnyű beszerezhetősége

c) Gazdasági tulajdonságok

Könnyen felbecsülhető kialakítás
Csökkentett költségek Energia megtakarítás

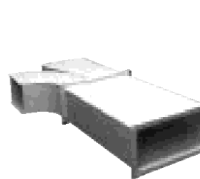
E feltételek mindegyikét úgy értékelve, hogy 1 jelöli a leggyengébbet és 5 a kiválót, a különböző légcsatornák által kínált teljesítménye grafikusán ábrázolható.

2.3 Különböző légcsatornák tulajdonságai

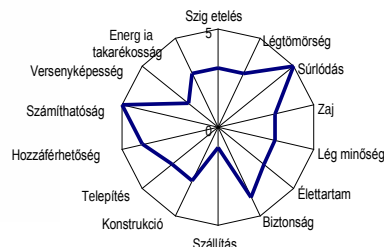
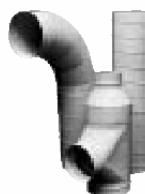
Ábra:	2.1	2.2	2.3	2.4
Szigetelés	2	3	3	5
Légtömörség	2	3	1	5
Sűrűlási veszteség	4	5	1	4
Akusztika	3	3	3	3
Légminőség higiénia	2	3	1	5
Élettartam	3	3	2	5
Biztonság megfelelés	4	4	3	4
Szállítás	3	1	5	5
Konstrukció	3	3	1	4
Telepítés	2	3	4	5
Hozzáférhetőség	5	4	5	5
Könnyű becsülhetőség	3	5	5	5
Versenyképesség	4	2	5	4
Energia megtakarítás	3	3	2	5

2.1 táblázat. Alkalmazási szempontok értékelése

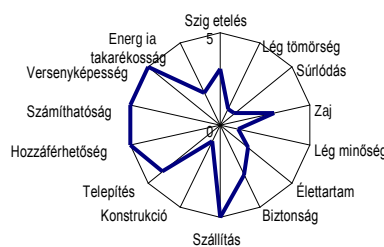
A 2.1 táblázat és a 2.2, 2.3, 2.4 és 2.5 ábra mutatja a piacon kapható legáltalánosabb légcsatornák alkalmazási feltételeit



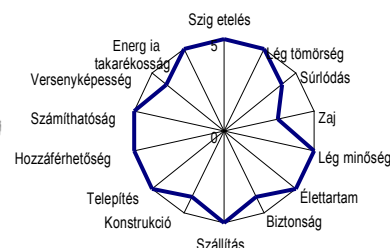
2.2 ábra. Szögletes horganyzott félemez légcsatorna



2.3 ábra. Spirál horganyzott félemez légcsatorna



2.4 ábra. Rugalmas fém légcsatorna



2.5 ábra. P3ductal előszigetelt alumínium légcsatorna

2.4 P3ductal légcsatornák jellemzői

A P3 rendszer szellőztető és légkondicionáló rendszerek légszállítására alkalmas, előszigetelt alumínium légcsatornák szerkesztésére és telepítésére gondosan kiválasztott és megvizsgált eljárások, anyagok, szerszámok, eszközök és berendezések kombinációja.

A P3 légcsatornák alumíniumfólia borítású zártcellás kemény poliuretán habszivacs szendvics panelekből készülnek.

Összhangban az ózonréteg védelméről szóló nemzeti és nemzetközi irányelvekkel, amelyek már megtiltották a CFC gázok alkalmazását, a P3 számít arra az időre, amikor a HCFC gázokat is be fogják tiltani, és bevezette a szabadalmazott PIRAL HD HYDROTECH panelek családját.

A P3 kizárólagos tulajdonát képező, szabadalmazott technológia eljárás szerint a poliuretán szigetelőanyagot a

panelek belsejében az izocianát és víz közötti különleges vegyi reakciójú közeggel habosítják.



E technológiának köszönhetően a **PIRAL HD HIDROTECH** lemezek veszélytelenek az ózonrétegre.

- Ózonkimerítő potenciál (Ozone Depletion Potential):
ODP = 0
- Globális üvegházhatás (Global Warming Potential):
GWP = 0,0001

A legkorszerűbb szabványok szerinti biztonsági és megfelelőségi előírásokat garantálják, valamint az alábbi számos további előnyt:

- Különlegesen jó és egyenletes hőszigetelés a légcsatorna minden pontján
- A szigetelőanyag alumínium fóliás borítása folytán leváló üvegszálak vagy más szennyezők nem keletkeznek, ez a légáram által okozható erózió minden kockázatát kiküszöböli.
- A helyszíni szereléshez előre kivágott légcsatorna oldallapok szállítása jelentős költséget takarít meg.
- A légszivárgás csökkentése a szabadalmazott P3 láthatatlan peremzési rendszer rendkívüli légtömörségének köszönhetően
- Különösen könnyű súly a támasztószervezet, tartókonozlok és függesztőpontok terhelésének ebből következő csökkenésével
- Kültéri légcsatorna telepítési lehetőség
- Az alumíniumfólia által nyújtott attraktív, esztétikus külső, ami különböző színre festhető, vagy külön bevonatú réteget vagy más bevonó kezelést kaphat.

3. P3ductal műszaki jellemzői

3.1 Hőszigetelés

Az anyagok hőszigetelő képessége az a tulajdonság, amely csökkenti a hőátbocsátást két különböző hőmérsékletű környezet között.

A Piral panelek gyártásánál használt expandált poliuretán jelenleg a piacon kapható egyik legjobb hőszigetelő anyag.

3.1.1 Hővezető-képesség

Egy homogén anyag sima rétegének két párhuzamos homlokfelülete közt átvitt Q hőmennyiség stacionár állapotban a következő egyenlettel fejezhető ki:

$$Q = \lambda \cdot A \cdot \Delta t / d \quad W \quad (1)$$

ahol: Q = a hőteljesítmény, W

λ = a hővezetési tényező, $W/(m \cdot K)$ vagy $W/(m \cdot ^\circ C)$

A = a hőáram által érintett homlokfelület, m^2

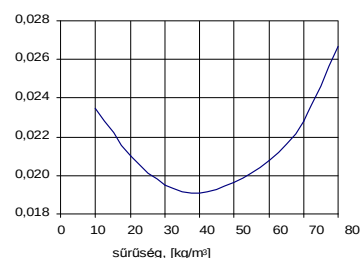
Δt = a hőmérsékletkülönbség, K vagy $^\circ C$

d = az anyag vastagsága, m

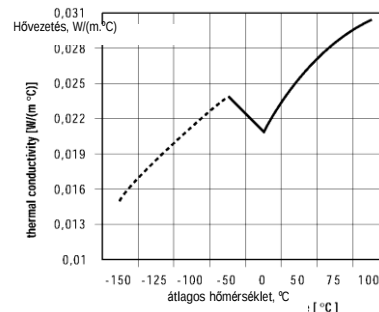
A λ hővezetési tényező tehát az egységnyi homlokfelületek között és egységnyi vastagságú rétegben egységnyi hőmérsékletkülönbség hatására átvitt hőteljesítményt jelenti.

3.1.2 Hővezető képességet befolyásoló tényezők

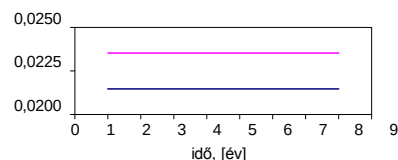
Üreges szerkezetű anyagok hővezetését az üregek szilárd falának hővezetése, az üregeken keresztüli sugárzás és az üregek belsejének hőáramlása okozza. A poliuretán esetén a gyártási és környezeti jellemzők és tényezők is jelentős hatást gyakorolnak a hőátbocsátásra. Ilyenek a következők: Sűrűség. A Piral paneleket $40\text{--}65 \text{ kg/m}^3$ sűrűséggel gyártják. Ebbe a tartományba esik a legkisebb hővezetés. Ennél kisebb sűrűségben nehéz egyenletes és zárt üregeket képezni, nagyobb sűrűségnél pedig a szilárd részek hővezetése válik jelentőssé (lásd a 3.1 ábrát).



3.1 ábra. Hővezetés, a sűrűség függvényében. Üreges szerkezet. Az egyenletesség és az üregek átmérője, irányultsága fontos összetevője a hővezetésnek. A jelenlegi gyártási eljárás különlegesen egyenletes hab előállítását teszi lehetővé, és az üregek $<1 \text{ mm}$ átmérője biztosítja az optimális hővezetés elérését.



3.2 ábra. Hővezetés, a sűrűség függvényében. Átlagos vizsgálati hőmérséklet. Általában a normál Piral panelek üzemi körülményei között a hővezetés a hőmérséklet emelkedésével arányosan növekszik. A λ tényező pontos kifejezésnél mindig jelezni kell a vonatkozó átlagos hőmérsékletet is. A leginkább alkalmazott szabványos, átlagos vizsgálati hőmérséklet $10, 20, 24$ vagy $40^\circ C$ (lásd a 3.2 ábrát).



3.3. ábra. Hővezetés az idő függvényében

Öregedés. A kemény poliuretánhab termékeknél a szigetelőképességet idővel befolyásoló egyetlen hatás a külső üregekbe diffundáló némely szennyező anyag és a vele egyidejűleg diffundáló levegő. A habosítóközeg felelős azért,

hogy a hab csekély hővezetése a késztermék átlagos élettartamán túl megmaradjon. Világos, hogy a hab üregei és a kültér közti nem következik be anyagcsere, ha egy vízálló bevonat (az alumíniumfólia) védi, ezzel megelőzve a diffúziót (lásd a 3.3 ábrát).

3.1.3 Szigetelési tulajdonságok összehasonlítása

típus	hővezetési tényező (10°C-nál) λ , W/(m.K)
keresztkötésű, extrudált poliuretán hab	0,033–0,035
üveggyapot	0,038–0,040
P3ductal panel (Piral sorozat)	0,024–0,026

3.1 táblázat. Anyagok hővezetési tényezője

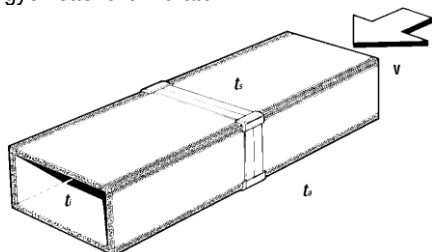
3.2 Vízgőz kondenzáció a légszatórnában

A légszatórnában lecsapódó vízgőz problémája szorosan kapcsolódik a légszatórna külső felületének hőmérsékletéhez, és ezért függ a hőszigetelés mértékétől és a tér relatív légnedvességétől.

Ahhoz, hogy a légszatórna külső felületén a pára lecsapódjon, az szükséges, hogy a külső felület t_f hőmérséklete kisebb legyen a t_h harmatponti hőmérsékletnél. A további hűtés kondenzációhoz vezet, és ezért a harmatpontnál kisebb hőmérsékletű felületek nedvesek lesznek. Általában a kondenzáció még nem vezet csepegéshez, ha a légszatórna külső felületének hőmérséklete legfeljebb 2°C-kal kisebb a harmatpontnál.

Ha a relatív légnedvesség ismert, a harmatpont a pszichrometrikus diagramból kapható meg (lásd az alábbi példát a 3.5 ábrán).

A légszatórna sima falának külső felületi hőmérséklete a következő egyenlettel számítható ki:



$$\alpha_k(t_k - t_f) = k(t_k - t_b) \quad (2)$$

ahol: t_f = légszatórna külső felületének hőmérséklete, °C

t_k = külső légtér hőmérséklete, °C

t_b = légszatórna belső terének hőmérséklete, °C

α_k = légszatórna külső felületének hőátadási tényezője, W/(m².K) vagy W/(m².°C)

és k = légszatórna hőátbocsátási tényezője:

$$1/k = 1/\alpha_b + \sum(d_i/\lambda_i) + 1/\alpha_k \quad (3)$$

itt: α_b = légszatórna belső felületének hőátadási tényezője, W/(m².K) vagy W/(m².°C)

α = légszatórna külső felületének hőátadási tényezője, W/(m².K) vagy W/(m².°C)

d_i = légszatórna fal i-ik rétegének vastagsága, m

λ_i = légszatórna fal i-ik rétegének hővezetési tényezője, W/(m.K) vagy W/(m.°C)

A P3ductal panelek alumíniumfólia borítása a vízgőz áthatolással szemben gyakorlatilag végtelen ellenállást mutat. E páragátló képességének köszönhetően a P3ductal panel belsejében kondenzáció soha nem jön létre.

3.2.1 Kondenzáció kiszámítási példa

Ha egy légszatórnát nem légkondicionált térben kell telepítenünk, meg kell fontolnunk a páralecsapódás kockázatát a légszatórna külső falain, illetve csatlakozóperemein, és módot kell találnunk a jelenség elkerülésére.

Legyenek a következő tervezési körülmények:

$$t_k = 40^\circ\text{C}$$

$$\text{RH} = 50\%$$

$$t_b = 14^\circ\text{C}$$

$$v = 8 \text{ m/s (belső légsebesség)}$$

Állandó légállapotnál, a következő külső hőátadási tényezőz tételezhető fel:

$$\alpha_k = 8,14 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

Ha a légszatórna belsejében a légsebesség $v \geq 4 \text{ m/s}$, a belső hőátadási tényező:

$$\alpha_k = 2,33 + 10 \cdot \sqrt{v} \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

Ebből, a megadott $v = 8 \text{ m/s}$ légsebességet feltételezve, a hőátadási tényező:

$$\alpha_k = 31,94 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$$

A légszatórna külső felület hőmérsékletének és a hőátbocsátásnak a számítására alkalmas (2) és (3) egyenletet használva kapjuk a 3.2 táblázat adatait.

Megnevezés	d m	λ W/(m.K)	k W/(m².K)	t_f °C
PIRAL panel	0,02	0,024	1,01	36,8
PVC perem	0,02	0,160	3,58	28,6
Alumínium perem	0,02	221,23	6,49	19,3

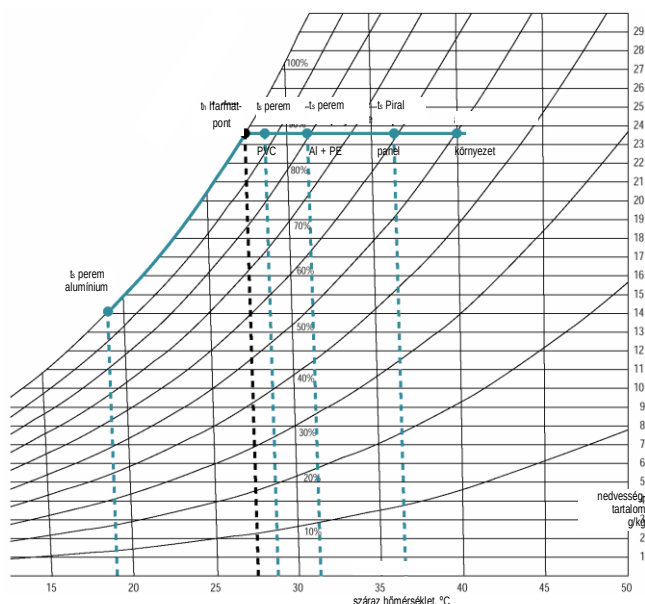
3.2 táblázat. Panel és peremek hőtani adatai A 3.2 táblázat különböző anyagokra vonatkozó t_f felületi hőmérséklet adatait elemezve megfigyelhetjük, hogy csak az alumínium perem 19,3°C hőmérséklete kisebb a $t_f = 27,5^\circ\text{C}$ harmatponti hőmérsékletnél. Ezen a peremen kondenzáció fog föllépni. Ebben az esetben vagy PVC perem vagy megfelelő polietilén szalaggal szigetelt alumínium perem alkalmazása ajánlatos, a következő specifikációval:

$$d = 8 \text{ mm} \quad \text{és} \quad \lambda = 0,038 \text{ W/(m.K)}$$

Ezzel a 3.3 táblázat értékei érhetőek el.

Megnevezés	d m	k W/(m².K)	t_f °C
Alumínium + polietilén perem	0,028	2,74	31,2

3.3 táblázat. Szigetelt perem hőtani adatai A 3.5 ábrán látható pszichrometrikus diagramot használva, a $t_k = 40^\circ\text{C}$ külső légtér hőmérséklet és az $\text{RH} = 50\%$ relatív légnedvesség alapján $t_h = 27,5^\circ\text{C}$ harmatponti hőmérsékletet kapunk.



3.5 ábra. Pszichrometrikus diagram

3.3 Légtömörség

Főleges energiavesztés keletkezik a légelosztó rendszerek légcsonnáinak szivárgásain, és ez súlyosabb esetben a rendszer hibás túlmelegedéséhez vezet.

A légelosztó rendszer szivárgása a ventilátor által keltett és a térbe ténylegesen belépő légáram különbségével mérhető. Gondos, tudományos módszerekkel végzett kísérletek sorozata igazolja, hogy a szivárgások mértéke elérheti a teljes légmennyiség 10–30%-át a betápláló légcsonnában, és 20–40%-át a visszatérő légcsonnában [9]. A hagyományos légcsonna rendszerekben a légszivárgások elsődlegesen a hosszanti varratok mentén és a keresztcsatlakozásoknál vagy légcsonnák csatlakozásainál találhatók.

A léghővezetési terekben – a térbe belépő vagy onnan kilépő – szivárgások a következőket okozhatják:

A belépő szivárgás a betáplált levegő mennyiségének egyensúlyát megbontja, ez megváltoztathatja a kívánt hőmérsékletet és légnedvességet is, de nem befolyásolja a rendszer teljesítményét és az üzemi költséget.

A kilépő szivárgás a rendszer hatékonyságának komoly romlását okozza, nagyobb teljesítmény felhasználását igényli, és ez természetesen mind a rendszer kezdeti beruházását, mind a működési költségeket megnöveli.

A kilépő szivárgás a rendszer hatékonyságának komoly romlását okozza, nagyobb teljesítmény felhasználását igényli, és ez természetesen mind a rendszer kezdeti beruházását, mind a működési költségeket megnöveli.

3.3.1 Szabványos előírások Európai szinten a CEN prEN 1507 szabványtervezete légtömörség osztály meghatározásokat ad a légelosztó rendszerek szivárgásaira. (lásd még HVAC DW/142 előírását is). E szabvány 1. táblázata három tömörégi osztályt és hozzá tartozó korlátot határoz meg a szivárgásra (lásd a 3.4 táblázatot). Ez azon az előfeltevésen alapul, hogy a szivárgás arányos a légcsonna felületével és a légcsonna átlagos teljes nyomásával 0,65 hatványával. A p_t teljes nyomás a következő:

$$p_t = p_s + p_d = p_s + \rho \cdot v^2 / 2 \quad \text{Pa} \quad (4)$$

ahol: p_t = teljes nyomás, Pa

p_s = statikus nyomás, Pa

$p_d = \rho \cdot v^2 / 2$ dinamikus nyomás, Pa

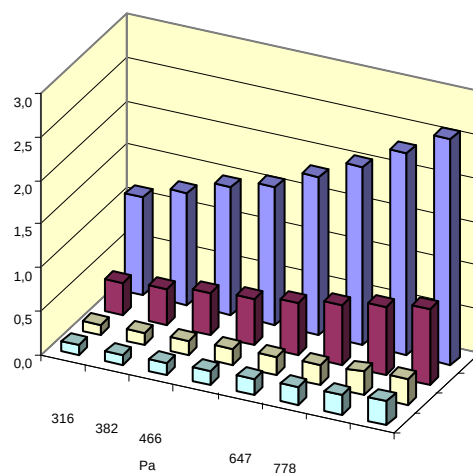
ρ = levegő sűrűsége, kg/m³

(standard állapotban: $\rho = 1,24 \text{ kg/m}^3$)

v = levegő sebessége, m/s

Légtömörégi osztály	megengedett légszivárgás	
		liter/(s.m ²)
kisnyomás:	A osztály	$0,027 \cdot p^{0,65}$
közepes nyomás:	B osztály	$0,009 \cdot p^{0,65}$
nagynyomás:	C osztály	$0,003 \cdot p^{0,65}$

3.4 táblázat. Légtömörégi osztályok A P3ductal légcsonnák a hosszanti szivárgásokat a ragasztós illesztésekkel kiküszöböli. A keresztirányú csatlakozások szivárgását különleges, szabadalmazott csatlakozóperem rendszerek csökkentik. Ezek figyelemreméltó légtömörséget garantálnak, kielégítve a szabványtervezet legjobb, C osztály követelményét is, amint a 3.6 ábra mutatja.



3.6 ábra. Légszivárgás összehasonlítás

3.3.2 Beszivárgás a visszatérő légcsonnában

A visszatérő ágban a beszivárgás százalékosan nagyobb a betáplált oldali szivárgásnál. Ha a visszatérő légcsonna a léghővezetési téren kívül helyezkedik el, a rendszertervezők a légmennyiségnek csak mintegy 60–80%-át tervezik a léghővezetési berendezésbe visszavezetni. A levegő további része nem kondicionált és ezért a kondicionált tér levegőjétől különböző – télen hidegebb, nyáron melegebb – légállapotú levegőből keletkezik. Ezzel nő a hőterhelés, és ez a rendszer nagyobb teljesítményét igényli. Ez a tény különösen tűnhet, hiszen a visszatérő légcsonnák általában rövidebbek, kevesebb csatlakozással és gyakran csökkentett felülettel. Ezért kevesebb gondot fordítanak a tervezés és telepítés során erre, mert tévesen kevésbé fontosnak gondolják, mivel nem kondicionált levegő szállítására szánták.

3.4 Súrlódási veszteség

A légelosztó rendszerben irreverzibilisen elvesztett energia kiszámítása érdekében a közegáramlással működő rendszerek vagy berendezések tervezői számára a súrlódási veszteségek részletes ismerete lényeges. A súrlódási veszteségeknek két fajtája van: a lineáris vagy egyenletesen elosztott súrlódási veszteség, illetve a helyi vagy alkalmi súrlódási veszteség.

3.4.1 Lineáris vagy eloszlott súrlódási veszteségek

A légcsatornában áramló közeg súrlódási veszteségeit egyrészt a közeg viszkozitása – lamináris áramlás – másrészt a részecskék turbulens áramlása okozza. A lineáris súrlódási veszteség a Darcy egyenlet szerint:

$$\Delta p_s = f \cdot (L/D_h) \cdot p_d \quad \text{Pa} \quad (5)$$

ahol: Δp_s = a súrlódási veszteség, Pa
 f = dimenziómentes súrlódási tényező
 L = légcsatorna hossza, m
 D_h = hidraulikus átmérő, m
 p_d = dinamikus nyomás, Pa

A nem kör keresztmetszetű légcsatornák hidraulikus átmérője a következő egyenlettel számítható ki:

$$D_h = 4A/K \quad \text{m} \quad (6)$$

ahol: A = a légáramlásra merőleges keresztmetszet, m²
 K = a merőleges keresztmetszet kerülete (nedvesített terület), m
 Az f súrlódási tényező a Colebrook–White egyenlet szerint a Reynolds számtól és a felületi érdességtől függ. Ehelyett egy egyszerűsített egyenletet is ajánlhat az f súrlódási tényező

kiszámítására:

$$\begin{aligned} f &= f_1 & \text{ha } f_1 > 0,018 \\ f &= 0,85f_1 + 0,0028 & \text{ha } f_1 < 0,018 \\ f_1 &= 0,11 \cdot (\epsilon/D_h + 68/Re)^{0,25} \end{aligned} \quad (7)$$

ahol: ϵ = az anyag abszolút érdessége, m
 (lásd a 3.5 táblázatot)

$Re = D_h \cdot v / \nu$ dimenziómentes Reynolds szám

itt: D_h = hidraulikus átmérő, m

v = sebesség, m/s

ν = kinematikus viszkozitás, m²/s

A Reynolds szám standard állapotú levegőre a következő:

$$Re = 66400 \cdot D_h \cdot v \quad (8)$$

3.4.2 Helyi vagy alkalmi súrlódási veszteségek

Ha a légcsatornában az áramlás irányt vált, vagy az áramlási keresztmetszet megváltozik, az áramvonalak összenyomódnak, vagy széttartanak stb., alkalmi súrlódási veszteség keletkezik, és ezt hozzá kell adni a már kiszámított egyenletesen szétosztott súrlódási veszteségekhez. A

légcsatorna ágak alakja alapvető fontosságú, miközben a Reynolds szám sokkal kevésbé jelentős, mert a dinamikus veszteségekben a mozgás mindig erősen turbulens, és a korrekciós tényezőt csak $Re < 150.000$ alatt kell felvenni. Megfigyelve a közegek viselkedését egy könyökben, a részecskék sebességének profilja az irányváltoztatás során a

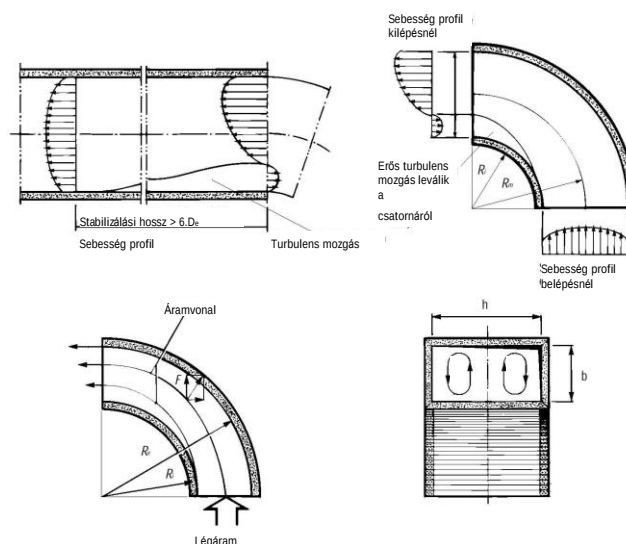
3.7 ábra szerint változik. Az észlelt hatás a szelvény csökkenésével jellemezhető, és

ezért a súrlódási veszteség Δp_1 mennyiséggel nagyobb lesz, mint a könyök tengelyvonalával azonos L hosszúságú egyenes szelvény súrlódási vesztesége.

Közvetlenül a könyök után a légáram igyekszik az egyenes légcsatornára jellemző légeeloszlást kialakítani. Ezért a gyorsabban mozgó tömegeket a lassabban mozgó tömegek összenyomják, és újabb Δp_2 súrlódási veszteség lép föl.

Anyagok	érdesség ϵ , mm
Nem platírozott, tiszta szénacél	
PVC cső	0,03
Alumínium	
Horganybevonatú acél, hosszanti varrattal, 1200 mm-enkénti szerelőperemmel	0,09
Horganybevonatú spirál varratos acél 1, 2 és 3 bordával, 3600 mm-enkénti szerelőperemmel	
Előszigetelt alumínium P3ductal légcsatorna	0,12
Horganybevonatú acél, hosszanti varrattal, 750 mm-enkénti szerelőperemmel	0,15
Merev üvegszálás légcsatorna	0,90
Légcsatorna belső üvegszálás béléssel	
Flexibilis fém légcsatorna (teljesen nyújtva)	3,0
Flexibilis légcsatorna (minden fajta)	
Beton	

3.5 táblázat. Anyagok abszolút érdessége



3.7 ábra. Helyi súrlódási vesztesége jelensége

Haránt irányú örvények alakulhatnak ki a centrifugális erő folytán, és ez a folyadék részecskéit a tengelyvonalától az oldalfelületek felé térítik. Emiatt további Δp_3 súrlódási veszteség jelentkezik (lásd a 3.7 ábrát).

Végül is, egy könyök két vége között megfigyelhető súrlódási veszteség az alábbi egyenlettel fejezhető ki:

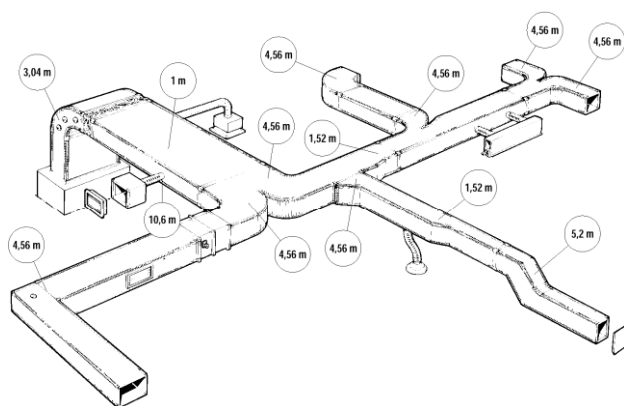
$$\Delta p_t = \Delta p_s + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 \quad \text{Pa} \quad (9)$$

Az alkalmi, helyi vagy koncentrált súrlódási veszteség általában nem számítható ki elméletileg az alapvető áramlástani egyenletek megoldásaként, csak tapasztalati számítások végezhetőek.

Ha két különleges idomot egymáshoz nagyon közel – a hidraulikus átmérő hatszorosánál közelebb – helyeznek el, az első idomra alkalmazott hivatkozási áramlási karakterisztika nem érvényes a második idomra, és ilyen esetekre nincs is megbízható számítási mód.

A légkondicionáló és fűtőrendszerek helyi súrlódási veszteségeinek gyors kiszámítására az egyenértékű hossz módszere alkalmas. Amint a neve is utal rá, a méterben kifejezett egyenértékű hosszat minden könyökre, elágazásra és a légáram irányát, illetve sebességét megváltoztató, minden

egyéb idomra megállapítják. Az egyenértékű hosszát a légcsatorna saját hosszának méterenkénti nyomásesésével megszorozva, a vizsgált idom észlelhető helyi súrlódási veszteségét kapjuk meg.



3.8 ábra. Egyenértékű hosszak, légelosztó rendszerben jelentkező dinamikus veszteségekhez

A 3.8 ábra a helyi súrlódási veszteségek meghatározására alkalmas egyenértékű hosszakat ad meg (méterben) egy légelosztó rendszer légcsatorna idomaira.

3.5 Zaj a légcsatornában

Az irodák komfortjának majdnem minden fölmérése a légkondicionáló rendszerek környezeti hatásaival érintett személyek részéről elhangzó panaszoknak vezető okaként – a hőmérséklettel kapcsolatos okok után – a túlzott zaj szintjét jelzi. A túlzott zajt okozhatja a kezdeti helytelen rendszertervezés, ezt követően a rendszer hibáinak javítása

során a költségcsökkentés érdekében az üzemi zaj figyelmen kívül hagyása, továbbá nem megfelelő telepítés. A rendszertervek zaj és rezgés problémáinak előfordulási eshetőségeit csökkentendő, a tervezőknek a rendszertervezés minden szakaszában figyelmet kell fordítaniuk a zaj tényezőire, a kezdeti vázlatoktól a részletes specifikációkon át az ezt követő telepítésig.

Majdnem minden akusztikai terv alulméretezett a légcsatornák kiegészítő hangcsillapítói, akusztikus szigetelés és a rezgéscsillapító támaszok alkalmazása szempontjából, mindezek az intézkedések pótlólag jelentkeznek, amikor a rendszertervező már gyakorlatilag elkészítette a munkát.

A mintegy utolsó pillanatban hozott akusztikus intézkedések csökkenthetik a zaj és rezgés szintjét, de ha nem hibátlanul illeszkednek a rendszer egészébe, annak teljesítményét is csökkenthetik, valamint további zaj és rezgés problémák is keletkezhetnek, ha helytelenül alkalmazzák azokat. Következésképpen a zaj szabályozására foganatosítandó intézkedéseket teljesíteni kell mind a rendszer tervezés kezdeti elrendezése, mind a részletes specifikáció során, és hasonló gondossággal az összes tervezési szakaszban.

Minél több figyelmet fordítunk a zaj és rezgés szabályozására a tervezési eljárás kezdetén, annál kevesebb beavatkozásra lesz szükség ezután.

A legfontosabb mozzanat a tervezési szakaszban a szerkezeti terv kialakítása. A zajszintek megfontolásának elmulasztása a már majdnem befejezett szerkezeti szakasz

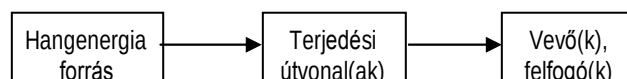
után már nem hagy elegendő teret a tervezőnek a legmegfelelőbb és leghatékonyabb hangcsillapító rendszerek és anyagok meghatározására és elhelyezésére. Valahányszor utólag próbálják megoldani egy légkondicionáló rendszerben a zajjal kapcsolatos problémákat, a szerkezeti hangcsapdák és azok hangfalai, tömbjei, oszlopai vagy szélrácsok az ideális megoldást vagy rendkívül költségessé vagy akár lehetetlenné is teszik.

Ha a rendszer hangabszorpciós képességével kapcsolatos elhatározásokat a szerkezeti tervezőkkel együtt hozzák meg, az ilyen jellegű problémák a kezdeteknél elkerülhetők, és az akusztikus szigetelésre szánt anyagok minimalizálhatók. A pontos akusztikus tervezés az építész-, szerkezeti tervező, gépész- és villamosmérnökök, valamint akusztikus szakemberek szoros együttműködését kívánja meg. Megfelelő eredmény elérése érdekében a tervezőcsoportnak kezdettől fogva együtt kell dolgoznia, már a következő korai szakaszokban is:

- rendszerfajta kiválasztása;
- gépek előzetes kiválasztása;
- műszaki terek méretezése;
- műszaki terek kialakítása. A hangcsillapítás minden problémája a 3.9 ábra

egyszerűsített folyamatával mutatható be. Ez a következő két lehetőséget mutatja:

- hangkibocsátás csökkentése a forrásnál;
- hang áramlásának akadályozása a terjedési útvonalon.



Hangcsillapítás

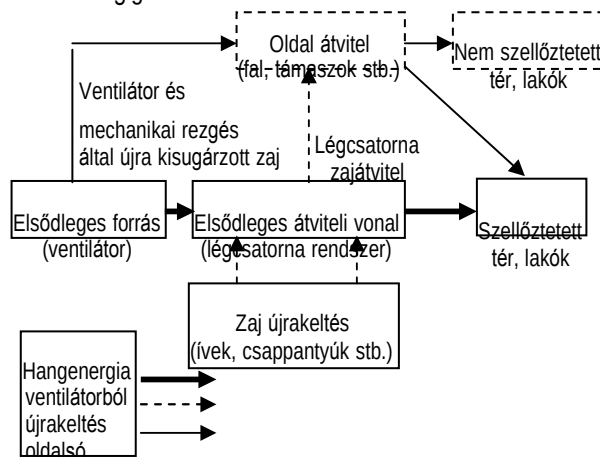
Kibocsátás csökkenése Energiacsökkentés az útvonalon

3.9 ábra. Hangenergia folyamatábrája

3.5.1 A hang terjedése a szellőztetőrendszerben

A 3.10 ábra a szellőztetőrendszer akusztikus energiájának alakulását mutatja be.

Mivel egy légelosztó rendszerben a zaj elsődleges forrásai a ventilátorok, a légcsatornarendszereket a túlzott zaj megelőzése érdekében a keletkezési helyétől a terjedési útvonalán végig akusztikus értelemben tervezni kell.



3.10 ábra. Szellőztető rendszer hangátvitel

A légcsatorna-rendszer akusztikus tulajdonságait a következő paraméterek határozzák meg:

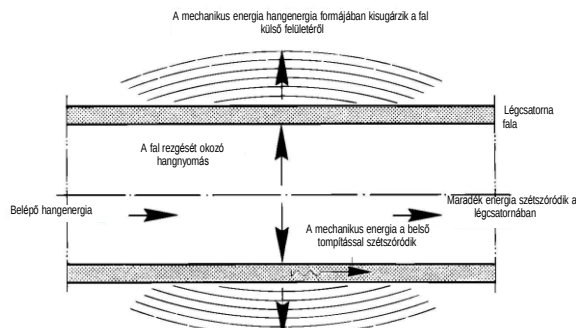
- hangcsillapítás a terjedési útvonalon végig;
- zajszivárgási ellenállás a belépésnél és kilépésnél;
- zaj önkeltés.

0,30–0,60	0	0	4	6	6	4	3	3
0,60–1,20	1	3	7	6	4	3	3	3

3.6 táblázat. Szögletes könyvek

3.5.2 Hangcsillapítás egyenes légcsatorna idomban

a) Csillapítás egyenes légcsatorna idomban



3.11 ábra. Hangcsillapító folyamat egy állandó keresztmetszetű légcsatornában

Meglepő lehet, de az állandó keresztmetszetű egyenes légcsatornán áthaladó hang csillapítható. Ennek oka az, hogy a légcsatorna fala tökéletlen merevsége bizonyos csillapítást okoz, mivel a hullámzó hangnyomás a légcsatorna falait rezgésbe hozza (lásd a 3.11 ábrát).

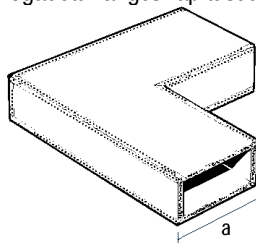
Emiatt a merev légcsatornák, mint amilyenek a kerek fémcsatornák nagyon csekély hangcsillapítási tényezővel rendelkeznek.

Az energia egy része újra kisugárzik a légcsatornán kívüli légtérbe, és ez problémát okoz a légcsatorna által átszelt térben, ahogy a Zajszivárgás szakaszban látható. A

feltételezhető csillapítást előszigetelt alumínium légcsatornában, négyzetes egyenes idomokra, oktávsvonkenti dB/m értékben, a P3 műszaki adatlapjai tartalmazzák.

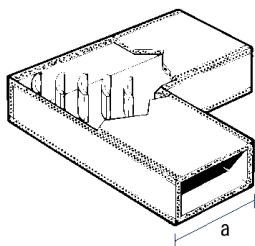
b) Csillapítás légcsatorna könyökidomban Az adszorpció révén csillapítást okozó egyenes idommal ellentétben, a légcsatorna könyökidomban a hangcsökkenés a forrás irányára való visszatükröződés következménye.

Általános szabály, hogy minél kisebb a könyök aerodinamikai ellenállása, annál kisebb az általa biztosítható akusztikus energia csillapítása. A következő 3.12, 3.13 és 3.14 ábrához tartozó 3.6, 3.7 és 3.8 táblázat a különböző lehetséges könyökök dB-ben megadott hangcsillapítását foglalják össze.



3.12 ábra. Szögletes könyök

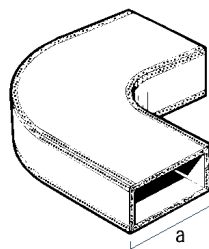
	frekvencia, Hz							
a (m)	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0,15–0,30	0	0	1	4	5	5	4	3



3.13 ábra. Szögletes könyök, osztókkal

a (m)	frekvencia, Hz							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0,15–0,30	0	0	0	2	3	4	3	3
0,30–0,60	0	0	2	3	4	3	3	3
0,60–1,20	0	1	4	4	3	3	3	3

3.7 táblázat. Szögletes könyök, osztókkal



3.14 ábra. Íves könyök

a (m)	frekvencia, Hz							
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
0,15–0,30	0	0	0	0	1	2	3	3
0,30–0,60	0	0	0	1	2	3	3	3
0,60–1,20	0	0	1	2	3	3	3	3

3.8 táblázat. Íves könyök c) Belépés, kilépés és elágazás a

légcsatornában A légcsatorna ágak saját akusztikus

energiacsillapítást nem

okoznak, hanem a főcsatornából érkező energia az egyes ágcsatornák között a légáramok arányában oszlik meg. A

hangszint vonatkozásában az ágcsatornák által

jelentkező ΔL_w csillapítás a következő egyenlettel számítható ki:

$$\Delta L_w = 10 \cdot \lg(Q_1/Q_2) \text{ dB} \quad (10)$$

ahol: Q_1 = légáram a főcsatornában, m³/s

Q_2 = légáram az ágcsatornában, m³/s

A 3.9 táblázat mutatja a hangcsillapítást a megfelelő vonatkozó ágcsatornában.

Q_1/Q_2	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8
ΔL_w (dB)	20	17	14	12	11	10	7	4	3	2	1

3.9 táblázat. Hangcsillapítás ágcsatornában d)

Hangcsillapító szűrők Ha a befúvó és visszatérő ágban a

szükséges hangszint

csillapítása természetes módon nem elegendő, a területen megkövetelt hangszint biztosításához hangcsillapító szűrőket vagy csapdákat lehet használni.

A hangcsapdák rendszerint egy légcsatorna egyenes vagy esetleg derékszögű könyök idomban foglalnak helyet. Ebben helyezkednek el a hangcsillapítást növelő, megfelelő tompítók, rendszerint hangfal alakban.

A hangcsapdák által elérhető csillapítás elsősorban a következő tényezőktől függ:

- alkalmazott hangfal minősége: különösen jó hangtompító anyag a nagy hangabszorpciós üvegszálakkal bélelt ásványgyapot, különösen 500 Hz fölött; ugyanígy rezonátor hangcsapdák is szerkeszthetők szabványos hangfalként, de a felületek felét alumíniumréteggel borítva a kisfrekvenciás tartományban is különösen hatékony;
- szerkezet: a hangfalak vastagsága és a légjáratok szűkülete meghatározó szerepet játszanak az elérhető csillapítás mértékében;
- hossz: minél hosszabb a hangcsapda, annál nagyobb az elérhető hangcsillapítás.

Összegezve:

Csillapítás növelése:

- légjáratok keresztmetszetének csökkentése;
- hangcsapda hosszának növelése.

Sűrűdési veszteség csökkentése:

- magasság növelése;
- szélesség növelése

(a modulok számának növelésével). Megjegyzés: a hangcsapdák vonatkozásában a „modul” kifejezést egy légjárat és a saját belső vastagságának együttes

megjelölésére használják. A sűrűdési veszteségek minimalizálása érdekében a

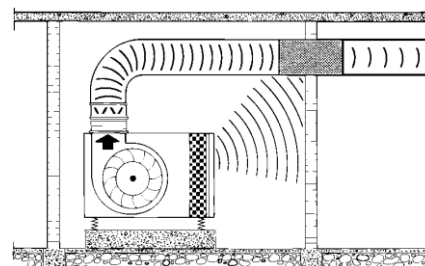
hangfalas hangcsapdák nagyobb méretűek a szükséges légcsatormánál, és ezért megfelelő aerodinamikai csatlakozást kell beiktatni.

A hangcsapdák különböző moduljai méreteikben – és ezért a sűrűdési veszteségtől függő légáramban és légsebességben is – különböznek egymástól. Tehát, ha ismert a legnagyobb légáram és légsebesség vagy sűrűdési veszteség, akkor a gyártó által adott diagramok segítségével a hangcsapdától megkövetelt légáram kiszámítható.

Végül, a légáram adattábla használandó, hogy kiválasszuk a hangcsapdák közül a megkívánt hangcsillapításnak megfelelő, vagyis azt a modellt, amelynek a légáram tényezője egyenlő vagy kissé nagyobb a megkívánt értéknél. A különböző használható modellek közül a legkedvezőbb méretű hangcsapda választandó.

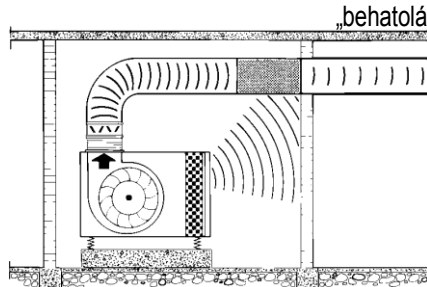
3.5.3 A hangcsapda telepítési helye

Falba

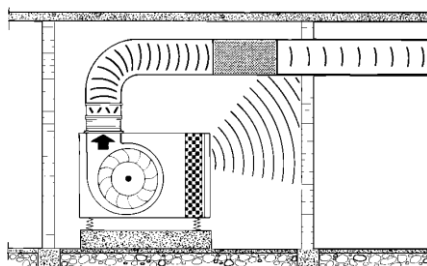


Legjobb megoldás – Csillapítja a légcsatornában ébredő zajt és a gépteremből a légcsatornába behatoló zajt

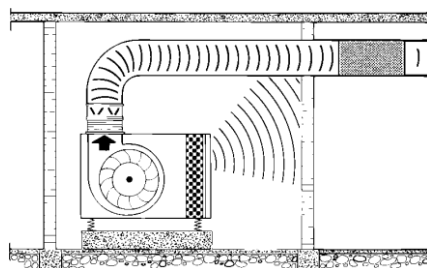
Falhoz



Nagyon jó – Célszerű változat, ahol tűzcsappantyú is szükséges a falnál
Gépteremben



Elfogadható – Gépterem zaja behatol a légcsatornába a hangcsillapító csökkentő hatása nélkül
Géptermén kívül



Gyenge – Gépterem minden zaja betör a térbe a hangcsillapító csökkentése nélkül

3.16 ábra. A hangcsapda elhelyezése a gépterem falához képest

A hangcsapdák pontos elhelyezése a szóban forgó gépezet fajtájától és azoknak a kritikus területhez való közelségétől függ. Ha a

légkezelő hangszintje nagy, a hangcsapdákat a légcsatornába közvetlenül a helyiségből kilépés előtti helyen javasoljuk beilleszteni. Így a hangcsapda a légkezelő által keltett és a légcsatornába – akár még a falakon keresztül is – belépő minden zajt csillapít, mielőtt az elérhetné a rendszer kilépési pontját a térből, ahogy azt a 3.16 ábra mutatja. A ventilátorhoz vagy más alkatrészhez túl közel helyezett hangcsapda viszont túlzott turbulenciát, ezzel járó túlzott súrlódási veszteséget és öngerjesztett zajt okozhat.

3.5.4 Zajszívargási ellenállás (behatolás, kitörés)

A légelesztő csatornák zajkibocsátó forrásokká válhatnak. A légcsatornát alkotó anyagok hangtompító tulajdonságaitól függően a légcsatornába sugárzott hang egy része a légcsatorna saját falán keresztül kisugárzódik. A légcsatorna belsejében keletkezett és onnan a falain keresztül kisugárzott zajt „kitörési” zajnak nevezik. Ha a légcsatorna zajos gépek közelében fekszik, az ezek által keltett zaj egy része behatol a

légcsatornába, ahol ezt követően tovaterjed. Ezt a jelenséget „behatolási” zajnak nevezik (lásd a 3.17 ábrát). Négyzetleges légcsatorna falain áthatoló és a megfigyelt térbe kibocsátott teljes L_{WD} hangszint közelítőleg a következő egyenlettel számítható ki:

$$L_{WB} = L_{WD} - R - 10 \cdot \lg(A_F/A_0) \text{ dB} \quad (11)$$

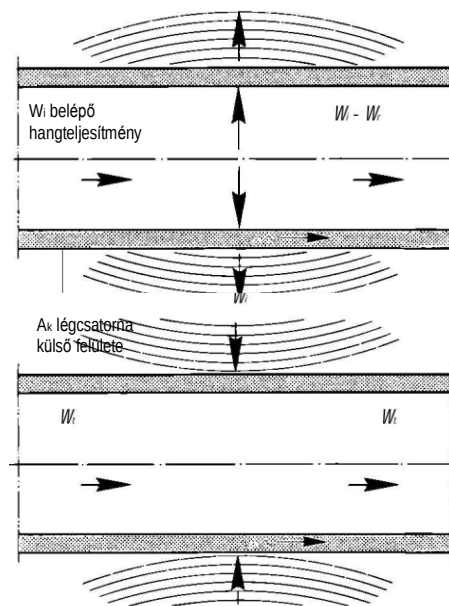
ahol: L_{WB} = térbe kibocsátott hangszint, dB

L_{WD} = átlagos hangszint a megfigyelt terület légcsatorna idomának belsejének, dB

R = a falak és a légcsatorna hangabszorpció teljesítménye, dB

A_F = a megfigyelt térbe hangot kibocsátó légcsatorna falainak teljes felülete, m^2

A_0 = a légcsatorna idom keresztmetszete, m^2



3.17 ábra. Légcsatornába behatoló és kilépő zaj

A kiszámított L_{WB} hangszint bármely megfigyelt terület L_P hangszintjének megadására használható a következő egyenlet szerint:

$$L_P = L_{WB} + 10 \cdot \lg[D/(4r^2\pi) + 4/R_c] \text{ dB} \quad (12)$$

ahol r = a tér vagy terület állandója, m^2

D = a hangforrástól mért távolság, m

R_c = dimenzió nélküli irányítási tényező

$$R_c = \alpha \cdot A_T / (1 - \alpha) \quad (13)$$

itt: α = a tér adszorpciós tényezője

A_T = a tér teljes felülete

Megjegyzendő, hogy az A_T felület magába foglalja a tér vagy terület minden besugárzott felületét, akár közel, akár távol vannak a vonatkozó falak a légcsatornától. A visszhanghatást szintén figyelembe kell venni az irányítási tényezőben egy megfelelő érték megadásával a következő módon:

$K = 2$, a légcsatorna a mennyezet közepére van telepítve;

$K = 4$, a légcsatorna a mennyezet és a fal találkozásához közel van telepítve.

A vizsgált tér átszelése helyett a légcsatornát gyakran a mennyezet fölé telepítik. Ilyen esetben a térbe kibocsátott

hatékony zajszint meghatározása érdekében a mennyezet fölét telepítéssel elért, úgy nevezett beiktatási csillapítást ki kell vonni a hangból.

3.5.5 Öngerjesztett zaj

A zaj öngerjesztéséhez vezető tényezők a légmozgásnak kitett szilárd testek. Ezek képesek kisebb nagyobb turbulenciát kelteni. A szilárd felületek fölötti turbulens áramlás hatására gyors ingadozás keletkezik a közvetlen környezet nyomásában. Ha ezek a nyomásingadozások elég erősek, nem jelentéktelen hangszintet gerjeszthetnek. Ez leginkább a nagysebességű szellőztető rendszerekben fordul elő.

A különböző zajkeltőket két csoportba lehet osztani:

A) Öngerjesztett akusztikus energiát termelő légszatór elemek:

- légszatór idomok
- könyökök
- elágazások
- szűkítők
- csappantyúk
- tartozékok (fűtőtelepek, keverőkamrák stb.)

B) A térbe vagy területre másodlagos akusztikus energiát kisugárzó kilépőpontok:

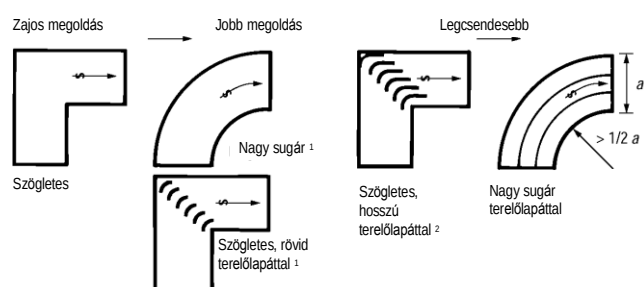
- rácsok (beépített zsalukkal vagy anélkül)
- diffúzorok
- vég egységek
- más kilépőpontok

Egy légszatór elem által keltett zaj legfontosabb paramétere a belső légáram sebessége, és az első kérdés az, nem lehet-e a sebességet csökkenteni.

A kapcsolódó hangnyomás mértéke a sebesség hatodik hatványától függ. Ez azt jelenti, hogy csupán 12% sebességcsökkentés már 4 dB zajcsillapítást biztosít.

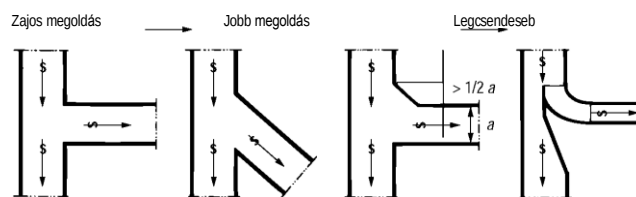
Minden esetben mindig van egy alsó határ, ami alá a sebesség nem csökkenthető. Ha a másodlagos zaj még mindig túl nagy, további hangcsillapító módokat kell keresni. A legnyilvánvalóbb megoldás a már említett hangtompítók alkalmazása.

A 3.18 a)–d) ábra megoldási ajánlásokat ad az

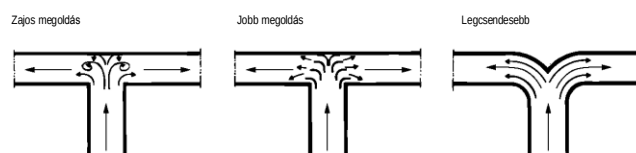


öngerjesztett zaj korlátozására.

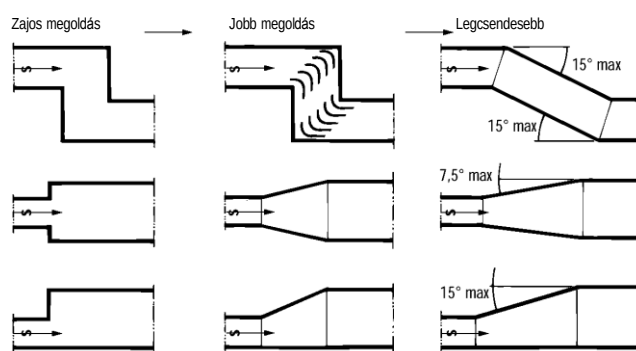
3.18 a) ábra. Könyökök öngerjesztett zajának minimalizálása



3.18 b) ábra. Szétágazások öngerjesztett zajának minimalizálása



3.18 c) ábra. T elágazások öngerjesztett zajának minimalizálására



3.18 d) ábra. Átmenetek és elhúzások öngerjesztett zajának minimalizálására

Általános gyakorlat, hogy a főcsillapítót a gépterembe telepítik, és az úgynevezett másodlagos csillapítókat szükség szerint a légszatór egy vagy több kilépőpontjához, különösen nagysebességű rendszerekre.

Annak érdekében, hogy ez az elrendezés hatékony legyen, minden másodlagos zajforrást elegendően távol kell helyezni a kilépőpontoktól, hogy lehetővé tegye a csillapítók telepítését. Ez különösen igaz a rácsokon vagy diffúzorokon áthajtandó légmennyiséget adagoló csappantyúkra.

Ezen kilépőpontok által keltett zaj gyakorlatilag szabályozhatatlan, mivel azok magukba foglalják a forrást, amely azt kibocsátja az elfoglalt térbe. Ugyanez mondható a vég egységekről is. Az egyetlen választása a rendszertervezőnek ez esetben a lehető legcsendesebb légszatór elemek alkalmazása.

- A légsebesség, a belépési pont közelsége, a kilépési pont illesztése és a ventilátorok határozzák meg, hogy melyik megoldás kedvezőbb.
- A peremtávolság legalább háromszorosa a szatór szélességnek.

Ezért nagyon fontos, hogy megbizonyosodjunk arról, hogy a gyártó adatai meghatározott terhelési körülmények közt nyert valódi kísérletek adatai-e. Szélsőséges esetben a kilépőpontot túl kell méretezni.

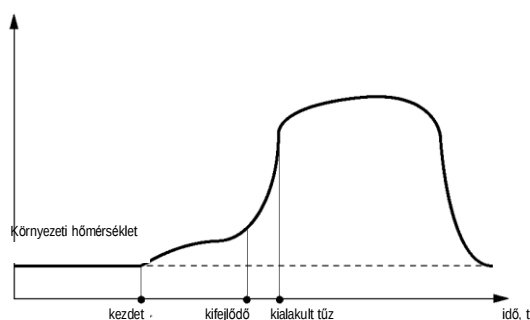
3.6 A szigetelőanyag tűzreakciója

A tűzreakciót az épületben felhasznált anyagoknak és szerkezeteknek a tűz hatására végbemenő különböző fizikai és kémiai átalakulások kombinációjaként kell elgondolnunk. Az épület tűz következményektől való védelmének a szükségessége megköveteli, hogy a tűzreakciók a vonatkozó szabványok követelményeinek mindenben megfeleljenek. A tűzreakció a különböző megelőzésre és tüzesetre vonatkozó törvények és jogszabályok szerint is megfontolandó.

3.6.1 A tűz kifejlődése és tovaterjedése

A 3.19 ábra ábrázolja a tűz kifejlődésének és tovaterjedésének módját. A tűz egy begyulladás szakasszal kezdődik. Ezt az éghető anyag által egy környező forrásból (rendszerint fűtő- vagy főzőberendezésből, villamos rövidzárlatból, cigarettától vagy gyújtogatásból) felvett hő közlése hozza létre.

Hővezetés, hőáramlás vagy hőszugárzás, illetve ezek kombinációja hatására az éghető anyag lánggal égő gázokat fejleszt. Ez további hő keletkezéséhez és a hőmérséklet növekedéséhez vezet.



3.19 ábra. A tűz kifejlődése

Így jön létre a kifejlődési szakasz, és a tűz mind a hőmérséklet, mind a tűzterjedési sebesség egyre gyorsabb növekedésével jellemezhető. Ez a szakasz a tűzterjedés különösen gyors növekedése miatt a teljes éghető felület általános fellobbanásához vezet.

Ettől a pillanattól általános tűz kezdődik, és a teljes tér a lehető legnagyobb hőmérsékleten fog égni, ha intézkedést nem teszünk ellene. A tűz végül egy lecsendesüléssel jellemezhető szakaszhoz ér, többé-kevésbé csökken a hőmérséklet és a hőtermelés, miután a megmaradt éghető anyagok fokozatosan elfognak. Nyilvánvaló, hogy az épületben a tűz megelőzése a kezdetektől vagy legalább a tovaterjedésének korlátozása érdekében a felhasznált anyagok és alkatrészek hatékony ellenálló képessége mind a tűz begyulladás, mind a tovaterjedési szakaszában alapvető fontosságú.

3.6.2 P3ductal légcsatornák tűzkockázat biztonsága A tűzvédelmi intézkedéseket a föld minden nemzeténél azért hozzák, hogy különböző aktív védelmi intézkedések árán megelőzzék a tűzvész előfordulását, miközben különböző passzív védelmi intézkedésekkel megkísérik korlátozni a következményeit. Mind az aktív, mind a passzív intézkedések elsődleges célja, hogy biztosítsák minden ember gyors és teljes eltávozását az épületből, a tűzoltók további kockázatának keltése nélkül. Sok módszer és rendszer járul

hozzá ennek a célnak a garantálásához; ezek közül a következő, legfontosabbak említhetők:

- Az anyagok tűzreakciója általánosan ismert, és ez a tűz kockázata elleni aktív védelem alapjául szolgáló legfontosabb ismeret.
- A szerkezetek tűzreakciója vagy éghetlensége általánosan ismert, és ez a tűz kockázata elleni passzív védelem alapjául szolgáló legfontosabb ismeret.
- Az anyagok égése által keltett füst opacitásának és toxicitásának korlátozása a legmodernebb ismeret, és sok biztonsági intézkedés alapját képezi. A műszaki fejlesztések végső célja a biztonságos és gyors menekülés garantálása az épületből a tűz során.
- A tűz vagy füst megjelenésének jelzésére, a tűz kioltására, füstgázok kiküszöbölésére stb. alkalmazott eszközök és más technológiai intézkedések, amelyek hozzájárulnak a megfelelő tűzmelegítési biztonság megteremtéséhez, de minden esetben egy további járulékos és költséges megoldását képezi a problémának, miközben az előbb említett három rendszer a tűzben szereplő anyagok belső megoldását jelenti.

3.6.3 Anyagok tűzreakciója

Vegyünk szemügyre példaként egy számos szobából, raktárhelyiségből és folyosóból álló épületet. A tűz számos ok miatt elkezdődhet és elterjed mindezekben a területeken.

Az anyagok tűzreakciójának tanulmányozása olyan jellemzőkkel foglalkozik, mint az épületben lévő különböző anyagok lobbanékonysága (meggyulladás hajlama) és egy már létező tűz újabb területekre terjedésének fenntartási hajlama. Például, ha egy papírkosár lángra kap, a közelében lévő kárpitozás, a függönyök és székek még nem kapnak könnyen lángra. Ha végül mégis lángot fognak, olyan anyagból kell készülniük, amelyek fékezik a tűz terjedését – más szóval önkiválóknak kell lenniük – még ha közvetlen a tűz közelében is helyezkednek el.

Az anyagok tűzreakciójának jellemzőit jelenleg szerte a világon sok nemzetnél a természetes számokkal osztályozzák. Így 0 (nulla) és 1 (egy) jelzi a legnehezebben meggyulladó és tűz terjedését a legkönnyebben megelőző anyagokat, és a nagyobb számok, mint 3 és 4 jelzi a legkönnyebben meggyulladó és égő részecskék csepegésével, izzással tűzben önmaguk is részt vevő és ezért a tűz terjedését megakadályozni képtelen anyagokat.

A nemzeti szabályozásoktól függően, ezeket a számokat közönséges betűk előzik vagy követik, vagy némely esetben a betűk magukban állnak (lásd a 3.10 táblázatot).

Franciaország	M0, M1, M2, M3, ...	
Németország	A1, A2, A3, ... B1, B2, B3, ...	A = éghetetlen B = gyúlékony
Nagy Britannia	0, 1, 2, 3, ...	
Egyesült Államok	V0, V1, V2, ... H0, H1, H2, ...	V = függőleges H = vízszintes
Olaszország	0, 1, 2, 3 ... 1 IM, 2 IM, 3 IM, ...	nem fülledő anyagok IM = fülledő anyagok

3.10 táblázat. Nemzeti osztályozások

Mivel az osztályozások különböző vizsgálati módszerek alapján készültek, a különböző nemzetek elfogadott osztályozási rendszerei nem mérhetők szigorúan egymáshoz.

A jövőbeni szabványosított európai tűzreakció rendszer a különböző euro-osztályok jelölését különböző betűkkel tervezi. Ebben A és B a legjobb, C a közepes, D és E a legrosszabb, végül F a nem osztályozható anyagok jele.

Sajnos egy sor műszaki, gazdasági és törvényes ok miatt a CEN¹ még mindig nem ért el végleges megállapodást a pontos tűzreakció vizsgálati módszerekre és a megfelelő elfogadott osztályozásokra, ezért az összes európai nemzetre érvényes egyszerű osztályozási rendszert még nem alkották meg.

Időközben a P3 már tanúsította és homologizálta a saját termékeit. Ezeket a legjobb tűzreakciójú osztályokba sorolták. Olaszországban 1, 0–1, 0–2 osztály, Franciaországban M1 és M2 osztály, Németországban B1 és B2 osztály stb. Így a felhasználók és üzemeltetők biztosítva vannak arról, hogy a termékek nemcsak biztonságosak, hanem ezt illetékes ellenőrző szervezet hivatalosan tanúsítja is.

A termékek jóváhagyására tett erőfeszítések mutatják a végfelhasználó iránti aggályos figyelmet és felelősséget. Ezt a szabályozott minőségügyi rendszerben működő minden cégnek megadott, tekintélyes ISO 9000 tanúsítás terén elért sikerek is garantálják.

3.6.4 Szerkezetek tűzállósága

A tűzreakció tanulmányok megkísérlik minősíteni és osztályozni a szerkezetek és a vonatkozó lehatároló konstrukciók időtartamát egy feltételezett szabványos tűzben. Más szóval: feltételezve, hogy egy tűz bizonyos fokig már kialakult egy adott területen, a fontos az, hogy a területet alakító szerkezetek – falak, padlók, gerendák, oszlopok, tűzkapuk és tűzgátlók stb. – ellenálljanak mind a statikus terheléseknek, mind a hőtágulásnak.

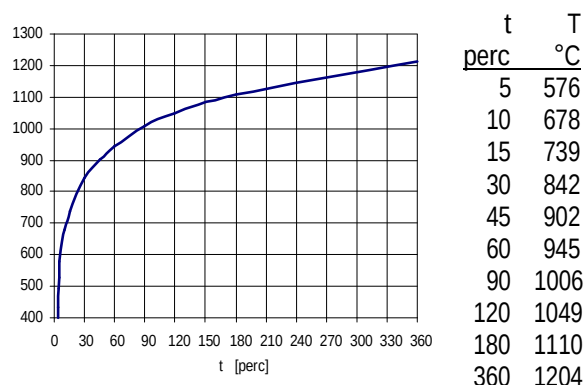
Meg kell előzni, hogy ezek a szerkezetek lángoljanak, vagy nagyhőmérsékletű gázokat bocsássanak ki a területre, továbbá nem szabad a hőt a tűz kifejlődésének területéről annak külső oldalára kivezetniük. Fából készült vagy szövettel, papírral bevont falak a tűz kifejlődése melletti helyiségben lángra kaphatnak a túlhevült falakon és a repedéseken átszivárgó vagy a falak összeomlása során a helyiségbe behatoló izzó gázok hatására vagy egy közlekedő ajtó miatt.

A 3.20 ábra a $T-T_0$ hőmérsékletnövekedést ($^{\circ}\text{C}$) mutatja a t idő (perc!) függvényében, ahol T az ISO 834 szabványban meghatározott átlagos kemencehőmérséklet a következő egyenlettel számítható ki:

$$T = 345 \cdot \lg(8t + 1) + T_0 \quad ^{\circ}\text{C} \quad (14)$$

ahol $T_0 = 20^{\circ}\text{C}$ A 3.20 ábra tisztán a példa kapcsán mutatja ugyanezen szabvány szerinti vizsgálókemence átlagos hőmérsékletét.

Mint ismeretes, a szellőztető és fűtő légszűrők nem minősülnek szerkezeti elemeknek, vagyis nem alakítják ki vagy határolják le a tereket vagy területeket, és ezért csak akkor tárgyai a tűzreakció jellemzők korlátozásának, ha lehatároló szerkezeteken – tűzfalak stb. – haladnak át. Ilyen esetekben biztosítani kell a lángálló lehatárolást és tűzfalakat.



3.20 ábra. ISO 834 vizsgáló kemence hőmérséklete

Egészen a közelmúltig a félreérthető „lángálló” kifejezést használták, nem csekély zavart keltve, és a tűzreakció fogalmak szabványosításának késleltetését okozva. Ez a kétértelműség már tisztázódott, és a „lángálló” fogalmat csak a tartó, illetve megosztó szerkezeti elemekre vonatkoztatva szabad használni.

Az is széleskörűen ismert, hogy ha bárhol bármilyen légszűrő áthalad egy „lépcsőház vagy felvonóakna” vagy „tűz és robbanásveszélyes helyiség” vagy „menekülő út” területén, akkor az ilyen területen áthaladó légszűrőt a terület tűzreakció osztályával legalább azonos vagy jobb, más szerkezettel le kell határolni.

Ha más nincs előírva, egy árucikk lángállóságát az „ellenállás és stabilitás”, a „tűz és gáztömörség”, továbbá a „hőszigetelés” a következő jelenségek által meghatározott legalacsonyabb értéke jelzi:

- A tűz és füstáthaladás, amely meghatározza a „tűz és gáztömörség” időértékét;
- Átlagos 150°C vagy helyi 180°C csúcshőmérséklet a tűztér falának másik oldalán, amely meghatározza a „hőszigetelés” időértékét;
- A stabilitás elvesztése, illetve megrogyás, amely meghatározza az „ellenállás és stabilitás” időértékét. Ezek az értékek a vizsgálati jegyzőkönyvben egyenként elő vannak írva. A szerkezetek tűzállóságának meghatározására használt vizsgálati módszerek mindenütt a világon hasonlóak, és csak a percekben mért ellenállási időt meghatározó betűkben és a hozzájuk csatlakozó számokban különböznek. Például Olaszországban a REI 30 azt jelenti, hogy egy árucikk „R ellenállása és stabilitása” és „E tűz és gáztömörsége” és „I hőszigetelése” 30 percig garantált. Ha az olvasható, hogy R 90, E 60, I 30, az árucikk osztályozásánál mindig a leggyengébb ellenállását kell figyelembe venni, a legnagyobb biztonság érdekében.

A 15 percnél rövidebb ellenállású árucikkek NEM minősülnek ellenállóknak.

¹ CEN (Comité Européen de Normalisation) Európai Szabványosítási Bizottság. Az Európai Unió (EU) tagnemzeteit képviseli, és kiemelten foglalkozik az Unió kívüli megfigyelők részvételével. Az ISO (International Standard Organisation) Nemzetközi Szabványosítási Szervezet tagja.

A fenti megfontolások azt jelzik, hogy a sima acéllemezből épített szellőztető és fűtő légcsatornák egyáltalán nem tűzállók; ellenkezőleg, nagy hővezetése folytán az acéllemez tűzállósága nem éri el a 3 percet, még akkor sem, ha ezek a hagyományos acéllemezek szivaccsal vagy 1 osztályú szálal anyaggal szigetelve is vannak, és még úgy sem, ha a nem éghető szálal anyag 10 perces tűzállóságot biztosít.

Ezen túlmenően, ezek a hagyományos, nehéz, fém légcsatornák komoly veszélyt jelentenek az épületből menekülő embereknek és a mentőcsapatnak, ha a tűz következtében összeomlanak.

3.6.5 Tűzterhelés

A tűzellenállás elsődleges elveinek egyike a lehatárolt tér belsejének a tűzterhelésére vonatkozik. Más szavakkal a térben jelenlévő éghető anyagok kombinációjából keletkező hőmennyiség. Ezt az értéket rendszerint felületegységre vagy térfogategységre szokták megadni. Ez a jelenlévő anyagok mennyiségétől függ.

Például egy csak kerámiaacsempéket és üvegtéglákat tartalmazó raktár nem kíván különleges tűzellenállást, mert raktározott éghető anyag nem létezik. Másrészt, ha ugyanazt a teret textilanyagok raktározására használják, akkor különleges tűzellenállást igényel, továbbá a textil által nagy mennyiségben kibocsátott fehér és fekete füstöt hatékonyan kiküszöbölő rendszerre van szükség.

A P3ductal fűtő és szellőztető légcsatornák – mivel ezek vékony és könnyű poliuretán magvú szigetelőanyagból állnak, továbbá ezek szikrakeltésre vagy tűzterjesztésre alkalmatlanok – egyáltalán nem járulnak hozzá a tér tűzterheléséhez. Vegyünk szemügyre egy számszerű példában egy $10 \times 10 \text{ m} = 100 \text{ m}^2$ nagyságú ruharaktárt, amelyet egy $50 \times 50 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}^2$ nettó keresztmetszetű légcsatorna keresztel. Ez több mint bőséges a tér légelosztó rendszeréhez.

A légcsatorna minden folyóméterére mintegy $2,08 \text{ m}^2$ felületű, 20 mm vastag poliuretán jut. Ez az előbbi 10 m hosszban kb. $0,416 \text{ m}^3$ poliuretán térfogatot jelent.

Adott a kb. 49 kg/m^3 sűrűség, és egy kisebb, mint $25 \text{ MJ/kg} = 6000 \text{ kcal/kg}$ (pontosabban $23,5 \text{ MJ/kg} = 5600 \text{ kcal/kg}$) hőfejlődés. Könnyen belátható, hogy a járulékos tűzterhelés $5,12 \text{ MJ/m}^2 = 1224 \text{ kcal/m}^2$. Ugyanakkor egy ilyen tér tipikus tűzterhelése általában $1000\text{--}1500 \text{ MJ/m}^2 = 240.000\text{--}360.000 \text{ kcal/m}^2$ körüli. A P3ductal légcsatorna szigetelőanyaga ehhez láthatóan $0,5\%$ -nál kevesebbet tesz hozzá.

Ez a százalékos érték még a fenti értéknél is kisebb, az éghető anyagok mennyiségének számításnál használt hibakorlátok miatt, és még kevésbé jelentős érték a lehatárolt tér tűzellenállásának leírásában.

Vegyünk most szemügyre egy $4,5 \times 3,5 \text{ m} = 15,75 \text{ m}^2$ alapterületű, kis szállodai szobát, amelynek tipikus tűzterhelése nagyjából $420 \text{ MJ/m}^2 = 100.000 \text{ kcal/m}^2$, és ebben a P3 légcsatorna keresztmetszete $25 \times 25 \text{ cm} = 0,0625 \text{ m}^2$.

A számításban a légcsatorna négy oldala $0,25+0,02 \text{ m}$, megszorozva $4,5 \text{ m}$ hosszal, $0,02 \text{ m}$ vastagsággal, 49 kg/m^3 sűrűséggel, 25 MJ/kg hőfejlődéssel, és elosztva $15,75 \text{ m}^2$

alapterülettel, mintegy $7,5 \text{ MJ/m}^2 = 1815 \text{ kcal/m}^2$ adódik. Ez a szoba teljes fenti tűzterhelésnek kevesebb, mint 2% -a.

Ebből a szempontból a P3ductal légcsatorna hozzájárul az épület általános biztonságához.

3.6.6 Füst toxicitása és opacitása

Már régebb óta ismert, hogy a tűz által okozott legtöbb haláleset és sérülés a mérgező gázok belélegzéséből, valamint a teret még tűz jelenléte nélkül is gyorsan elfoglaló fekete füst miatt terjedő pánikból, és nem az égésből vagy az épület tartószerkezetének összeomlásából származik.

Emiatt az utóbbi években nagy figyelmet szentelnek a felhasznált anyagok és ezeknek toxikus gőzöket és fekete füstöt keltő hajlamának meghatározására, különösen olyan járműveken, mint repülőgépek, vonatok, nagysebességű vízi járművek, ahol nem biztosítható a gyors segítség, a terek térfogata kicsi, és az utasok nagy kockázat nélkül nem egykönnyen hagyhatják el a járművet.

Ilyen esetekben viszont sok különböző vizsgálati és osztályozási módszer létezik, és ezek nemcsak országról országra, de egyik szöveg a másiktól is különbözik. A legáltalánosabban alkalmazott szabványok jelenleg a vasutaknál a francia AFNOR szabványok, a légi közlekedésnél pedig az amerikai FAR és az európai AIRBUS szabványok. Ezek és más szabványok használatosak a tengeri utazásoknál. Bármely esetben, füstgázoknak kitett különösen kockázatos

helyen mindezek a vizsgálati módszerek elsődlegesen a tűz kifejlődésének legelső perceit (rendszerint a tűz első négy percét) mérlegetik, mivel általános vélemény szerint egy ilyen időtartam után bármely éghető anyag által keltett gázok mennyisége és minősége már olyan erős, hogy ájulást és komoly halálvesztélyt okoznak mindazoknak, akik még nem menekültek el vagy nincsenek valamilyen védelemmel biztosítva.

Az anyagok füstgáz toxicitása és opacitása vonatkozásában a fejlesztések eddigi számottevő erőfeszítése, a sokéves kutatási munka – nem mindig megbízható – alapelve volt: „ami nem ég, az nem kelt füstöt”, de évek óta ezt a jellemzőt – a tűzellenállás jellemzőjének javára – mind a specifikációk készítői, mind a törvényhozói mellőzik. Manapság, egy új technológiai mérés és tudat hajnalán, a P3 az élvonalba lépett ezen a nagyon kényes szakterületen, miközben az anyagait a füstgázok toxicitását és opacitását szabályozó különböző szabványok szerint tanúsíttatta.

A komplex kémiai anyagok által keltett veszélyes füstgáz jellemzőik műszaki leírásának ismételtetése közben a helyzet leegyszerűsíthető, és nem mással, mint az előbb bemutatott textilraktár és szállodai szoba példájával. A P3ductal légcsatornák a jelenlegi anyagoknál és lakberendezéseknél kevesebb toxikus és opak füstgázokat keltenek.

A példák még drámaibbak lehetnek, ha ugyanazt a raktárteret egyszer festékeket és ragasztókat tartalmazó szabadidő áruk máskor általában PVC-ből készített játékok vagy leginkább nejlón és műgumi vegyületekből álló sporteszközök stb. raktározására használják.

A P3ductal légcsatornák használatának előnye még sokkal nyilvánvalóbb lehet egy fényűzően dekorált szállodai szobánál

vagy még inkább egy moziban vagy színházban, tömött széksorokkal, függönyökkel és hangelnyelő kárpitozással. A

P3ductal légcsatornák nem keltenek azonnal bénító anyagokat tartalmazó füstgázokat, nehéz fémeket, vinil származékokat, dioxint vagy más karcinogén anyagokat.

3.7 Légminőség és higiénia

A beltéri légminőség az elmúlt néhány évben életfontosságú kérdéssé vált. Az „Elfogadható beltéri légminőség” fogalmat általában mindenki az ASHRAE 62:1989 szabályozás szerint érti. Eszerint olyan „levegő, amelyben a felismert szennyezők nincsenek jelen az illetékes hatóság által előírt veszélyes töménységben, és az ilyen levegőt belélegző emberek többsége (legalább 80%-a) számára kielégítőnek tartható”.

A légelesztő rendszerek fontos szerepet játszanak a szállított levegő szennyeződésének korlátozásában.

Két fontos tényező vezet a légcsatorna szennyeződés megjelenéséhez:

- a légcsatorna konstrukcióhoz felhasznált anyagok által kibocsátott szennyeződések;
- a légcsatornák tisztasági foka.

3.7.1 Légcsatorna anyagainak szennyezés kibocsátása

A szigetelésről az öregedés során folyamatosan válnak le szemcsék, és azokat a levegő végigszállítja a kondicionált terekbe. A szendvicspanelekből épített P3ductal légcsatornák azonban mindkét felületükön alumíniumfóliával borítottak. Az alumínium használata a légcsatorna belsejében jó higiéniát és könnyű tisztíthatóságot biztosít, miközben megelőzi a más légcsatornában fellépő szigetelőanyag szál kibocsátását is. A P3ductal légcsatornák különböző körülmények között külön higiéniai vizsgálatoknak voltak kitéve annak érdekében, hogy a globális migrációs jelenség nagyságát meghatározzák ott, ahol élelmiszerrel érintkezhet. Ezeknek a vizsgálati eredményeknek az alapján a minták bőven alkalmasnak bizonyult ilyen célokra.

3.7.2 Légcsatornák tisztasági fokozatai

A múltban a légcsatorna karbantartás kizárólag az energia szempontú szellőztetési hatékonyság helyreállítását célozták.

Manapság nagy fontosságot tulajdonítanak a rendszer tisztaságának és az emberi egészségre gyakorolt hatásának.

A piszkon túlmenően a mikro-organizmusok nagy változatossága szaporodhat a szellőztető rendszerek belsejében, és ezek aztán a szállított levegővel eléri a kondicionált tereket.

Pontos és rendszeres légcsatorna tisztítás garantálja a légelesztő rendszerekkel kiszolgált helyiségek egészséges kondicionálását. A tisztaság megfelelő szintjének fenntartása érdekében beavatkozási lehetőséget kell biztosítani a rendszer elemein. Másrészről a légcsatornák tisztítása önmagában még nem képes biztosítani a kívánt eredményt. Gyakran a légelesztő rendszer elemein kívüli alkatrészek hibáiból származó és ott még figyelembe nem vett fogyatékoságokat is a légcsatornának tulajdonítanak.

Mivel a P3ductal légcsatornák belső felülete alumínium borítású, ez elriasztja a mikro-organizmusokat a porban való megtelepedéstől. E célra speciálisan tanúsított cégek által végzett helyes tisztítás a tisztaság 96–97%-át is elérheti, szemben a szigetelőanyag belső felületű légcsatornák 46–47%-ával. Az előszigetelt alumínium légcsatornákat az üzemeltetési

kényelem is megkülönbözteti. Ez számos ellenőrzési ajtó beiktatását teszi lehetővé, kényelmes és hatékony hozzáféréssel, még évekkel a légcsatornák telepítése után is.

3.7.3 P3ductal légcsatornák tisztítása

Előzetes kezdeti ellenőrzés és a légcsatornák belsejének kritikus területeiről kiszedett por elemzése után a légcsatornák tisztíthatók, de csak aztán, hogy először a rendszert negatív nyomás alá helyezték. A legáltalánosabb tisztítási technika a következők szerint zajlik le:

Forgókefés tisztítás. Ez a leghagyományosabb technológia és rendszerint önmagában használják, ha a por csekély mennyiségű. Fontos, hogy csak megfelelő keménységű és átmérőjű keféket használjanak, az alumíniumfalak sérülésének elkerülése érdekében.

Sűrített levegősugaras tisztítás. Ez elengedhetetlen, ha légcsatorna hozzáférhetősége nehézkes akár a túl kis méretek, akár a beépített gátak és akadályok miatt. A légsugár nyomását és légáramát a légcsatorna méretéhez kell igazítani. Az erőt úgy kell szabályozni, hogy minden port és lerakódást eltávolítson a légcsatorna sérülése nélkül.

3.8 P3ductal légcsatornák terhelhetősége

Bármely alkatrész műszaki értelemben vett élettartama attól függ, hogy milyen rendeltetésre tervezték.

A P3ductal légcsatornákat csakis olyan légelesztő rendszerek tervezésére szánták, amelyeknek a következő alapvető kellékekkel rendelkeznek.

3.8.1 Korrozioállóság

A korrozio egy fémnek vagy ötvözetnek a levegőben jelen levő hatóanyagok által kiváltott kémiai vagy elektrokémiai reakciók folytán bekövetkező károsodása. A P3ductal légcsatornák a tervezett alkalmazási területükön (lásd előbb), az alumíniumfólia borításuknak köszönhetően jó korrozioállóságot mutatnak. A korrozio elleni további garancia a P3ductal légcsatornák speciális poliészter alapú, anti-oxidáns lakkbevonata. Ez éveken keresztül fényesen tartja a légcsatornák felületét. A P3 kifejlesztett még egy speciális panelt is, 13 µm vastag poliészter filmréteggel, és ezekhez a légcsatornához PVC illesztő profilrudakat, különösen agresszív atmoszférákhoz (sajtérlelők, vegyi üzemek, tengeri környezet).

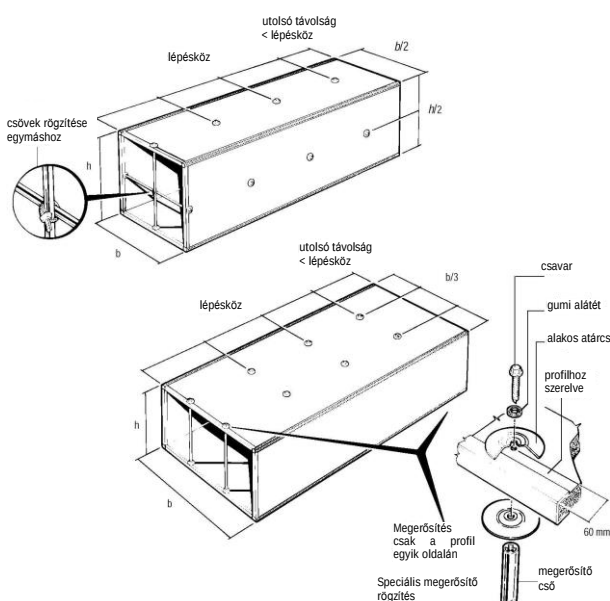
3.8.2 Erózióállóság

Mivel az előszigetelt alumínium P3ductal légcsatornákat kizárólag légkondicionáló és fűtőrendszerek légelesztésére fejlesztették ki, és a maximálisan ajánlott légáram 15 m/s, ez jó erózióállóságot garantál, az alumíniumlemez gyakorlatilag semmilyen vékonyodást nem mutat akármennyi idő után sem.

3.8.3 Deformáció ellenállás

A P3 Srl. cég – számos jelentős kutatóintézetrel együttműködve – széleskörű kutatást végzett az előszigetelt alumínium légcsatornák alkalmazási korlátjainak megállapítása céljából. A légcsatornát alkotó elemek szerkezeti teljesítményével kapcsolatos kutatás az ismeretek összegyűjtését célozta, nevezetesen: az elemek ellenállásával kompatibilis feszültségeket és a megállapított határokon belül megtűrt maximális deformációkat határozta meg.

A legújabb európai szabványtervezet előírása szerint a négyzetes légcsatornák oldalának maximális deformációja keresztirányban nem haladhatja meg a 3%-ot, és nem lehet több 30 mm-nél. A kutatások eredménye lehetővé tette a légcsatornák teljesítményének meghatározását célzó rendszer kifejlesztését különféle üzemi körülmények – különböző nyomások, oldalméretek és hőmérsékletek – között.



22. ábra. P3ductal légcsatorna megerősítő rendszer A grafikus formában összegyűjtött adatok mutatják a légcsatornába beillesztendő megfelelő merevítők szükségletét. A légcsatornák belsejébe illesztett speciális alumíniumból készült merevítő rudaknak köszönhetően a légcsatornák képesek 1500 Pa pozitív vagy negatív nyomású levegőt szállítani (lásd 22. ábrát).

4. Gazdasági tényezők

4.1 Energia megtakarítás szigeteléssel

Egy légeosztó rendszer tervezése során a kezdeti beruházáson túlmenően fontos az üzemeltetési költségek megfontolása is. A rendszer összes többi alkatrészéhez hasonlóan a légcsatorna rendszer is nagy szerepet játszik a gazdasági megtakarítások alakulásában. Gondos energia megőrzés a következőkkel érhető el:

- jó szigetelés;
- csekély szivárgás. Ezt megsokszorozva a vonatkozó felülettel, a rendszer napi

üzemórájával és éves munkanapjaival valóban jelentős megtakarítás érhető el. A következő példa jól megvilágítja ezt az ötletet.

Vegyünk egy légcsatorna hálózatot, kb. 500 m² felülettel, ez egy kb. 600–650 m² területű irodát ellátó 9000–9500 m³/h légszállító rendszerben 4000–5000 kg fémlamezzel egyenértékű. A légcsatorna építésnél legáltalánosabban alkalmazott anyagok a következők:

- 1) típus: Horganybevonatú fémlamez légcsatorna, 8 mm vastag neoprén hőszigetelő réteggel, $\lambda = 0,033 \text{ W/(m.K)}$
- 2) típus: Horganybevonatú fémlamez légcsatorna, 15 mm vastag üveggyapot hőszigetelő réteggel és alumíniumfóliával borítva, $\lambda = 0,038 \text{ W/(m.K)}$
- 3) típus: P3ductal légcsatorna, 20 mm vastag, $\lambda = 0,024 \text{ W/(m.K)}$

A felvett vagy kibocsátott Q hőmennyiség – attól függően, hogy melegebb vagy hidegebb levegőt szállít a kültéri levegőnél – egyenesen arányos az k hőátbocsátással, a szóban forgó A felülettel és a Δt hőmérsékletkülönbséggel:

$$Q = k \cdot A \cdot \Delta t \quad \text{W/(m}^2\text{.K)} \quad (15)$$

paraméter	ME.	1)	2)	3)
		típus		
Vastagság, s	m	0,008	0,025	0,020
Hővezetés, λ	W/(m.K)	0,033	0,038	0,024
Szigetelés ellenállása	m ² .K/W	0,242	0,658	0,830
Belső felület ellenállása	m ² .K/W	0,043	0,043	0,043
Külső felület ellenállása	m ² .K/W	0,122	0,122	0,122
Teljes ellenállás	m ² .K/W	0,407	0,82	0,99
I Hőátbocsátás, k	W/(m ² .K)	2,46	1,22	1,00
Felület, A	m ²	500	500	500
Hőmérséklet, Δt	°C	15	15	15
II Órákenti hőfelvétel	kW	18,45	9,15	7,50
III Hőfelvétel, 670 óra alatt	MWh	12,36	6,13	5,03
IV Hőfelvétel	%	100	50	41
V Megtakarítás	%	0	50	59

4.1 táblázat. Légcsatornák energia megtakarítása

A 4.1 táblázat az időegység alatt, egységnyi légcsatorna felületen, egységnyi hőmérsékletkülönbségnél a k hőátbocsátást a I jelű sorában mutatja. Ez az érték figyelembe veszi, hogy a légcsatorna belsejében a levegő mozog, és ez elősegíti a hőátadást, viszont a horganybevonatú fémlamez szigetelőhatását nem veszi figyelembe, mivel ez jelentéktelen. Ha az alkalmazott rendszert a melegebb hónapokban használják, a nem kondicionált helyiségeken is keresztülfutó légcsatornát a mennyezet alá telepítettnek tekinthetjük – ahogy ez rendszerint lenni is szokott – és a hőmérsékletkülönbség a belső 17°C és a kültér 32°C esetén mintegy 15°C.

A 4.1 táblázat a különböző légcsatornák által óránként átbocsátott hőt a II jelű sorában mutatja.

Legyen a rendszer üzemmenete: 8 óra/nap, 5 nap/hét és 4 hónap/év, ezt a mintegy 650 órás teljes hőátbocsátást a 4.1 táblázat III jelű sora kWh mértékegységben, a IV jelű sora pedig százalékosan mutatja. Látható, hogy az alkalmazott előszigetelt alumínium légcsatorna jelentősen kevesebb energiát bocsát át. Az V jelű sor pedig a IV jelű sorból következő megtakarítást tartalmazza.

4.2 Oldalarányok

Egy légelosztó hálózat költségei gyakran jelentősen csökkenthetők a következő egyszerű intézkedések segítségével:

- a speciális darabok számának lehető legkisebbre csökkentése;
- az oldalarányok fontosságának figyelembevétele. A speciális darabok – egyesítés, szűkítés, szétágazás – száma gondos tanulmányozással csökkenthető, a légelosztó légszatóna útjának legegyszerűbb vezetésével. Fontos a rajzokról nem nyilvánvaló akadályok – létező technológiai rendszerek, magasságkülönbségek, vízközpök stb.
- azonosítása érdekében végzett helyszíni megtekintés. Ez segít elkerülni a helyszíni módosításokat és az ebből eredő anyag-, idő- és költségvesztéseket.

Különös figyelmet kell szentelni az oldalarányoknak, másképp szólva a légszatóna metszet legnagyobb és legkisebb méretarányának.



4.2 ábra. Oldalarányok felületnövelő hatása

a méret	b méret	kereszt-metszet	De átmérő	oldal-arány	A felület	eltérés
mm	mm	m²	mm		m²	%
500	500	0,25	545	1:1	2,16	0
700	350	0,25	539	2:1	2,26	5
900	300	0,27	550	3:1	2,56	19
1150	250	0,29	546	4,6:1	2,96	37

4.2 táblázat. Oldalarányok hatása a felületre Mint a 4.1 ábra és a 4.2 táblázat mutatja, a légszatóna költsége ezzel az oldalaránnyal együtt növekszik, mert azonos hosszúságú és hidraulikus átmérőjű légszatóna esetén is több anyagot kell felhasználni. Általában aerodinamikai szempontból sem ajánlható a 3:1 oldalarány túllépése.

5. P3ductal légszatóna telepítési lehetőségei

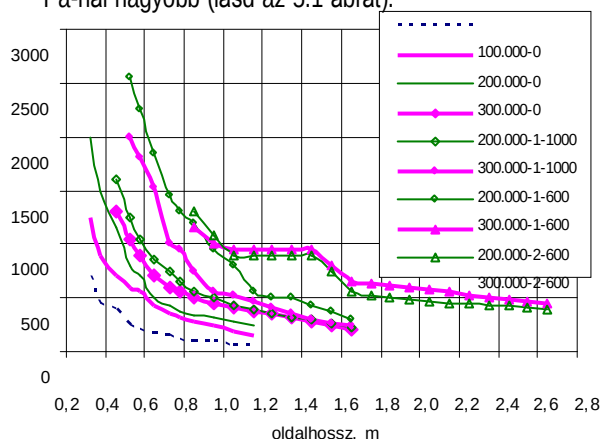
5.1 Megfelelő alkalmazás Minden fűtő, szellőztető és légkondicionáló (HVAC) rendszernek speciális tervezési kritériumokra, megfelelő konstrukciós részletezésre és az alábbiakban felsorolt

ajánlásokra van szüksége. Ezek az ajánlások kiterjedt laboratóriumi vizsgálatokon és telepített szendvicspanel rendszerek több mint 20 éves üzemeltetési tapasztalatán alapulnak.

A panelek kapható széles választékának köszönhetően, a légelosztó légszatóna bármely rendszerben bármely körülmények között, a P3 eljárásokat követve könnyen megépíthetők.

A P3ductal panelek NEM használhatók a következő körülmények között:

- különösen korrozív gázok vagy porok szállítása (vegyi alkalmazás) nagy töménységű gázok;
- konyhai gőzök, füstök;
- ha közvetlenül érintkezik villamos teleppel vagy hálózattal, továbbá +65°C-nál melegebb hőforrással, illetve ha ezektől a távolsága kisebb 200 mm-nél;
- ha az előre látható légsebesség a légszatónában 15 m/s-nál nagyobb;
- ha a levegő hőmérséklete szakaszos üzemben -30°C-nál kisebb vagy +65°C-nál nagyobb;
- ha a rendszer pozitív vagy negatív üzemi nyomása 1500 Pa-nál nagyobb (lásd az 5.1 ábrát).



5.1 ábra. Maximális nyomás a P3ductal légszatónában

Megjegyzés: a légszatóna maximális üzemi nyomását az alkalmazott panel fajtája (merevségi osztálya), a beépített megerősítések száma és távolsága határozza meg.

5.2 Kültéri telepítés

Kültéri légszatóna telepítéséhez a P3 különleges mechanikai és szigetelési jellemzőkkel rendelkező – kültéri – panelet fejlesztett ki.

A barátságtalan időjárásnak és napfénynek kitett minden légszatónát csak a P3 választékból megfelelően kiválasztott – kültéri sorozatú – panelekből, biztonságos mechanikai csatlakozásokkal és tömítési eljárással szabad építeni.

A légszatóna külső tömítési kezelésére egy további különleges gumibevonat szolgál, ez biztosítja a lég- és víztömörséget, valamint -35°C és +85°C közti működést tesz lehetővé, garantálva a hőátadás-állóságot.

Ha a légszatónát közvetlen napfény is éri, az ultraviola sugárzásnak és az ózonnak is ellen kell állnia. Bitumen alapú vegyületeket azonban soha ne használjunk tömítéshez.

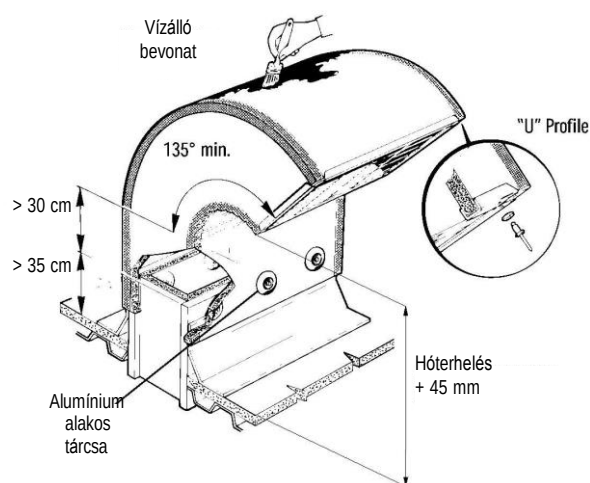
A légcsatornát megfelelő támaszokkal alátámasztva a talajtól legalább 2 m magasra kell helyezni, és megfelelően biztosítani kell a szél emelőereje ellen. Ha a légcsatorna vízszintes helyzetű, a vízlevezetéshez elegendő lejtéssel kell rendelkeznie.

Ha a közelben működő gépek rezgése miatt rezgésszigetelő csatlakozásokat alkalmaznak, ezeknek is időjárásállóknak kell lenniük.

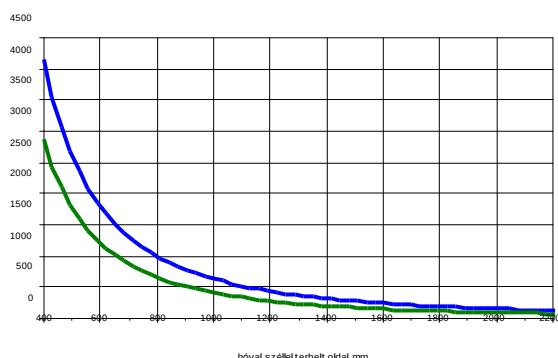
Ha a kültéri belépés vagy kilépés áttöri a tetőt, a víz és hó behatolása elleni védelem érdekében a légcsatorna végét meg kell hajlítani. A rendszertervezőknek speciális konstrukciós követelményeket kell megfontolniuk, hogy a légcsatorna rendszert a telepítés helyén a hóesés, oldalszél ereje és iránya ne rongálhassa, és még az esztétikus szempontok is számíthatnak.

A légcsatorna nyílásokat madarak, rovarok behatolása ellen

Megjegyzés: az ábra görbéi kikapcsolt rendszerre és ezért védőráccsal kell ellátni (lásd az 5.2 ábrát).



5.2 ábra. P3ductal légcsatorna kültéri telepítése Az alkalmazott támaszrendszerrel a légcsatorna belső légnyomását és bármely hó-, illetve szélterhelést is figyelembe kell venni. A kültéri telepítésnél a hó, illetve szél által a légcsatorna oldalán keltett feszültségek csökkentése érdekében ajánlatos négyzet keresztmetszetű légcsatornát alkalmazni.



5.3 ábra. Hó, illetve szélterhelés a Piral HD Hydrotec kültéri paneleknél, R=900.000

Az 5.3 ábra a kültéri panelek terhelési határát mutatja, negatív vagy pozitív belső nyomásnak kitett légcsatorna oldalakra.

belső nyomás nélküli esetre vonatkoznak.

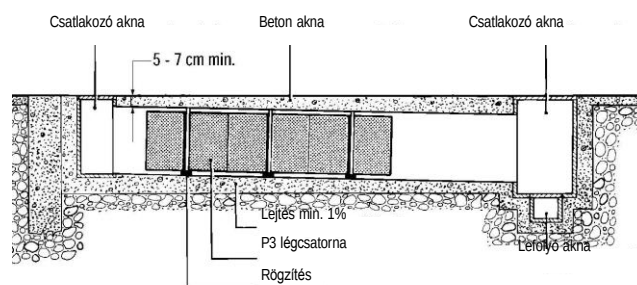
Megjegyzés: Aszimmetrikus szerkezetet esetén, a légcsatornákat R=900.000 merevségi osztályú kültéri panelekből kell építeni, az 5.1 ábra R=300.000 merevségi osztályú görbéje szerint.

5.3 Földalatti telepítés

A P3ductal légcsatornák föld alá is telepíthetők, az 5.4 ábrán látható módon. Biztosítani kell, hogy az alkalmazott

kitöltő anyag – föld vagy homok – ne gyakoroljon nyomást a légcsatorna falára, és a légcsatornát befogadó alagút a kívülről beszivárgó vizet levezesse.

Földalatti rendszerhez a telepítés közbeni esetleges behatások kivédésére a nagyobb mechanikai szilárdságú alumíniumborítással rendelkező kültéri panelek ajánlhatók.



5.4 ábra. P3ductal légcsatorna földalatti telepítése

6. Irányelvek a tervezési előírásokhoz

A légcsatornarendszerek tervezéséhez a következő két példaszzerű irányelv adható. A csúcsos zárójelek közötti kövérbetűs címszavak csak példák, és minden egyes speciális projekt tervéhez a vonatkozó adatokkal megfelelően helyettesítendő.

I. <Kórházba vagy orvosi várókba> telepített előszigetelt fűtő, szellőztető és légkondicionáló légcsatornák <PIRAL HD HYDROTEC> szendvicspanelek alkalmazásával és a következő jellemzőkkel:

- külső alumínium: vastagság <0,08 mm>, mintázott, poliészter lakkal védve;
- belső alumínium: vastagság <0,08 mm>, mintázott, poliészter lakkal védve;
- szigetelőanyag: <poliuretán>;
- sűrűség: <50–54 kg/m³>;
- vastagság: <20 mm>;
- hővezetés: <0,024 W/(m.K), 10°C-nál>;
- tűzreakció osztály: <„0” – „1”>;
- merevségi osztály: <R 200.000>;
- egyéb jellemzők: <előírandók>. Az előszigetelt légcsatornák egésze a <„0”> tűzreakció

osztályba (éghetetlen) vannak besorolva. Csak a szigetelőanyagoknak kell <„1”> osztályúnak lennie.

A légcsatornák a P3ductal szabványok szerint építendőek. Ha szükséges, a légcsatornákat megfelelő megerősítésekkel kell ellátni az <500 Pa> maximális üzemi belső nyomással szembeni elégséges mechanikus szilárdság és tömörség garántálása érdekében. A légcsatorna maximális deformációja sehol ne haladja meg a szélessége 3%-át vagy a 30 mm-t.

A légcsatorna egyes elemeinek csatlakozása <„rejtett”> szerelőperemmel legyen biztosítva, bajonett csatlakozó profilrudakkal, a megfelelő pneumatikus és mechanikus tömörség biztosítása érdekében.

Az egyenes légcsatorna idomok nem lehetnek 4 m-nél hosszabbak.

A könyökök és egyéb speciális idomok a jelzett helyeken terelőlapáttal legyenek ellátva.

A légcsatornák megfelelő támaszokkal legyenek ellátva, ha a légcsatorna oldala 1 m-nél kisebb, akkor legalább 4 m-enként, és ha 1 m-nél nagyobb, akkor legalább 2 m-enként.

Tartozékok – légáram szabályozók, tűzgátlók, csőkégyók stb. – független támasszal legyenek ellátva oly módon, hogy súlyuk ne terhelje a légcsatornákat.

Ahol jelezve van, a légcsatornák legyenek ellátva a sebességérzékelőkhöz megfelelő vizsgálati pontokkal és a teljes hossz ellenőrzésére szolgáló ellenőrzőajtókkal.

Az ellenőrzőajtók a légcsatornához használt szendvicspanelből építhetők, megfelelő profilrudak kombinálásával, és legyenek betéttel ellátva az elegendő pneumatikus tömítés érdekében.

A légkezelő egységek és a légcsatornák csatlakozásai a szükséges és megfelelő rezgéscsillapítók alkalmazásával készüljön. A csatlakozó légcsatorna idomok független támaszokkal legyenek ellátva, hogy a légcsatornák súlya ne terhelje a flexibilis csatlakozásokat. A légkezelő csatlakozása könnyen megbontható legyen, a szokásos rendszerkarbantartás érdekében. Ha a rezgéscsillapító kültéren kerül elhelyezésre, legyen időjárásállóvá téve.

II. Kültérbe telepített légcsatorna és annak minden része legyen <PIRAL HD HYDROTEC OUTSIDER> panelből építve a következő jellemzőkkel:

- külső alumínium: vastagság <0,20 mm>, mintázott, poliészter lakkal védve;
- belső alumínium: vastagság <0,08 mm>, mintázott, poliészter lakkal védve;
- szigetelőanyag: <poliuretán>;
- sűrűség: <46–50 kg/m³>;
- vastagság: <30 mm>;
- hővezetés: <0,024 W/(m.K), 10°C-nál>;
- tűzreakció osztály: <„0” – „1”>;
- merevségi osztály: <R 900.000>;
- egyéb jellemzők: <előírandók>

– továbbá legyen védve gumibevonatú vízálló gyantával; bitumenalapú vegyületeket nem szabad használni. A kültéri légcsatornák 2 m-enként legyenek alátámasztva, megfelelő támaszokkal a talaj fölé emelve. Ahol vízszintes helyzetűek, elegendő lejtést kell biztosítani a vízelvezetésnek. Ha a légcsatorna áthatol egy épület tetején, a külső végén hattyúnyakú könyökkel legyen ellátva, a hó- és vízbehatolás elkerülése érdekében. A légcsatorna minden kültéri nyílása

– kültéri belépés, beltéri kilépés stb. – megfelelő védőráccsal legyen ellátva a madarak, rovarok behatolásának megelőzésére.

A légcsatornák a P3ductal szabványok szerint építendőek. Ha szükséges, a légcsatornákat megfelelő megerősítésekkel kell ellátni az <500 Pa> maximális üzemi belső nyomással

szembeni elégséges mechanikus szilárdság és tömörség garantálása érdekében. A légcsatorna legyen megtámasztva hó, illetve szél <400 N/m²> terhelése ellen is.

Szakirodalom

- [1] ASHRAE Handbook „1997 Fundamentals”, Ed. American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (Fűtés, hűtés, légkondicionálás mérnökeinek amerikai társasága), Atlanta, USA.
 - [2] C. Pizetti: “Condizionamento dell'aria e refrigerazione”, Ed. Tamburini Milano, 1970.
 - [3] Smanca “HVAC Systems Duct Design”, Ed. Sheet Metal and Air-conditioning Contractor's National Association (Fémlemez és Légkondicionálás Vállalkozók Nemzeti Szövetsége), Virginia, USA.
 - [4] M.E. Schaffer: “Guida pratica al controllo del rumore e della vibrazioni”, Ed. PEG, Milano, 1993.
 - [5] Ian Sharland: “L'attenuazione del rumore”, Ed. Woods Italiana, 1994.
 - [6] System design Manual Carrier “Distribuzione dell'aria”, Ed. Tecniche Nuove, Milano.
 - [7] Air-conditioning and Refrigeration Institute “Refrigeracion y aire acondicionado”, PHH Prentice Hall.
 - [8] U. Alberti di Catenajo: “La manutenzione degli impianti di ventilazione e condizionamento”, CDA No 11, Nov. 1996.
 - [9] Bernardo Galosi: “Importanza delle fughe d'aria dai canali degli impianti di climatizzazione”, RC No 11/89.
 - [10] ANPE “Comportamento igrometrico delle pareti – Quando e dove si forma la condensa – Verifica delle pareti con il diagramma di Glaser”, Associazione Nazionale Poliuretano Espanso rigido, ANPE No 1/96.
 - [11] Marco Masoero: “Come respirare aria pulita”, L'installatore Europeo, No 4/1997.
 - [12] CEN/TC 156/WG3/SWG * “Ductwork made of insulation ductboards” Ductwork standard (Szigetelt légcsatorna lemezekből készített légcsatornák. Légcsatorna szabvány).
- * CEN = Comité Européen de Normalisation = Európai Szabványosítási Bizottság. TC = Technical Committee = Műszaki Bizottság. WG= Working Group = Munkacsoport. SWG = Sub Working Group = Alcsoport.

Átszámítási tényezők

Mértékegységek átszámításánál az átszámított érték az eredeti értéknél kevésbé pontos. A végső értéket kerekítse le az eredeti értékkel egyező értékes számjegyre.

menyiség	1	SI	=	k	GB
Energia	1	kJ	=	0,9485	Btu
Entalpia	1	kJ/kg	=	0,4302	Btu/lb
Erő	1	N	=	0,2248	lbf
Hossz	1	m	=	3,2808	ft
	1	mm	=	0,0394	inch
Hőátadási tényező	1	W/(m².K)	=	0,1762	Btu/(h.sqft°F)
Hőmérséklet	1	°C	=	1,8°C+32	°F
Hővezető képesség	1	W/(m.K)	=	0,5782	Btu/(h.ft°F)
Kinematikus viszkozitás	1	m²/s	=	10,7639	sqft/s
Lineáris sebesség	1	m/s	=	196,8504	ft/min, fpm
Nedvesség tényező	1	mg/kg	=	0,01	ppm
Nyomás	1	Pa	=	0,004015	in w.g.
	1	Pa	=	0,02089	lb/sqft
	1	kPa	=	0,1450	psi, lbf/sqin
	1	kPa	=	0,01	bar
	1	kPa	=	0,2953	in Hg
Sűrűség	1	kg/m³	=	0,0624	lb/cft
Teljesítmény	1	W	=	3,4144	Btu/h
Térfogat	1	m³	=	1000	liter
	1	m³	=	35,3147	cft
Térfogati áram	1	L/s	=	2,1189	cft/min, cfm
Terület	1	m²	=	10,7639	sqft
	1	mm²	=	0,001550	sqin
Tömeg	1	kg	=	2,2046	lb

Egyenértékű átmérők

$$D_e = 1,3 \cdot (a \cdot b)^{0,625} / (a+b)^{0,25}$$

arány	a/b = k > 5																			
a \ b	160	170	180	190	200	210	225	235	250	265	280	300	315	330	350	380	400	420	450	470
4000	689	715	740	765	790	814	849	872	905	938	970	1012	1042	1072	1111	1167	1204	1240	1292	1327
3750	672	697	722	747	770	794	828	850	883	915	946	986	1016	1045	1083	1138	1174	1208	1259	1293
3550	658	683	707	731	754	777	810	832	864	895	926	965	994	1023	1060	1113	1148	1182	1232	1264
3350	643	668	691	715	737	760	792	814	845	875	905	943	972	999	1035	1088	1122	1155	1203	1235
3150	628	652	675	698	720	742	773	794	825	854	883	921	948	975	1010	1061	1094	1127	1174	1204
3000	616	640	662	685	706	728	759	779	809	838	866	903	930	956	991	1041	1073	1105	1151	1181
2800	600	623	645	666	688	708	738	758	787	815	843	879	905	930	964	1012	1043	1074	1119	1148
2650	587	609	631	652	673	693	723	742	770	798	825	859	885	910	942	990	1020	1050	1094	1122
2500	574	596	617	637	658	677	706	725	753	779	806	840	864	889	920	966	996	1025	1068	1095
2350	560	581	602	622	642	661	689	707	734	760	786	819	843	867	898	942	971	999	1041	1067
2250	551	572	592	612	631	650	677	695	722	747	772	805	828	852	882	926	954	982	1022	1048
2100	536	556	576	595	614	632	659	676	702	727	751	782	805	828	857	900	927	954	993	1018
2000	526	546	565	584	602	620	646	663	688	713	736	767	790	812	840	882	908	935	973	998
1900	516	535	554	572	590	607	633	650	674	698	721	751	773	795	823	863	889	915	952	976
1800	505	523	542	560	577	594	619	636	660	683	705	735	756	777	804	844	869	894	930	954
1700	493	512	530	547	564	581	605	621	644	667	689	718	738	759	785	824	849	873	908	931
1600	482	500	517	534	551	567	591	606	629	651	672	700	720	740	766	803	827	851	885	907
1500	469	487	504	520	536	552	575	590	612	634	654	681	701	720	745	781	805	827	860	882
1400	457	474	490	506	522	537	559	574	595	616	636	662	681	700	724	759	781	803	835	856
1350	450	467	483	499	514	529	551	565	586	607	626	652	671	689	713	747	769	791	822	842
1250	436	452	468	483	498	513	534	548	568	587	606	631	649	667	689	722	744	764	795	814
1200	429	445	460	475	490	504	525	538	558	577	596	620	638	655	677	710	731	751	780	799
1100	414	429	444	459	473	486	506	519	538	557	575	598	615	631	652	683	703	723	751	769
1050	407	421	436	450	464	477	497	509	528	546	563	586	602	618	639	669	689	708	735	753
1000	398	413	427	441	454	467	486	499	517	535	552	574	590	605	626	655	674	692	719	737
940	388	403	416	430	443	455	474	486	503	521	537	558	574	589	609	637	656	673	699	716
900	382	395	409	422	435	447	465	477	494	511	527	548	563	578	597	625	643	660	686	702
840	371	384	397	410	422	434	452	463	480	496	511	532	546	561	579	606	623	640	664	680
800	363	376	389	402	414	425	442	453	470	485	501	520	535	548	567	593	609	626	649	664
750	354	366	379	391	402	414	430	441	457	472	487	506	519	533	550	575	592	607	630	645
710	346	358	370	382	393	404	420	431	446	461	475	493	507	520	537	561	577	592	614	628
670	337	349	361	372	383	394	410	420	435	449	463	481	494	506	523	546	561	576	597	611
630	329	340	352	362	373	384	399	409	423	437	450	467	480	492	508	531	545	559	580	593
600	322	333	344	355	365	375	390	400	414	427	440	457	469	481	496	519	533	547	567	579
560	312	323	334	344	354	364	378	388	401	414	427	443	454	466	481	502	516	529	548	560
530	305	316	326	336	346	355	369	378	391	404	416	432	443	454	468	489	502	515	533	545
500	298	308	318	328	337	346	360	368	381	393	405	420	431	442	455	475	488	500	518	530
470	290	300	309	319	328	337	350	358	370	382	393	408	419	429	442	461	474	485	503	514
450	284	294	303	313	321	330	343	351	363	374	385	400	410	420	433	452	464	475	492	
420	276	285	294	303	312	320	332	340	351	362	373	387	397	406	419	437	448	459		
400	270	279	288	296	305	313	325	332	343	354	364	378	387	397	409	426	437			
380	264	272	281	289	298	305	317	324	335	345	356	368	378	387	399	415				
350	254	262	271	279	286	294	305	312	322	332	342	354	363	371	383					
330	247	255	263	271	279	286	297	303	313	323	332	344	352	361						
315	242	250	258	265	273	280	290	297	306	316	325	336	344							
300	237	244	252	259	266	273	283	290	299	308	317	328								
280	229	237	244	251	258	264	274	280	289	298	306									
265	223	231	238	244	251	257	267	273	281	290										
250	217	224	231	238	244	250	259	265	273											
235	211	218	224	231	237	243	251	257												
225	207	213	220	226	232	238	246													
210	200	206	212	218	224	230														
200	195	201	207	213	219															
190	190	196	202	208																
180	185	191	197																	
170	180	186																		
160	175																			

Példa:

a = 250

→

b = 200

↓

244

= D_e

Példa: $b = 200$
 $a = 250 \rightarrow 244 = D_e$

Egyenértékű átmérők

$$D_e = 1,3 \cdot (a \cdot b)^{0,625} / (a+b)^{0,25}$$

arány	a/b = k > 5								4 < k ≤ 5				3 < k ≤ 4							
a \ b	500	530	560	600	630	670	710	750	800	840	900	940	1000	1050	1100	1200	1250	1350	1400	
4000	1377	1425	1473	1534	1579	1638	1694	1750	1817	1869	1946	1995	2068	2126	2184	2295	2348	2452	2503	
3750	1341	1388	1435	1494	1538	1595	1650	1703	1769	1819	1893	1941	2012	2068	2124	2231	2283	2384	2433	
3550	1312	1358	1403	1461	1504	1559	1613	1665	1728	1778	1850	1897	1965	2020	2074	2178	2229	2327	2374	
3350	1281	1326	1370	1427	1468	1522	1574	1625	1687	1735	1805	1850	1916	1970	2022	2124	2173	2267	2313	
3150	1249	1293	1336	1391	1431	1483	1534	1583	1643	1690	1758	1802	1866	1918	1969	2067	2114	2206	2250	
3000	1225	1267	1309	1363	1402	1453	1503	1551	1609	1655	1721	1764	1827	1877	1927	2022	2068	2158	2201	
2800	1190	1232	1272	1324	1362	1411	1459	1506	1562	1606	1670	1712	1772	1821	1869	1961	2005	2091	2133	
2650	1163	1204	1243	1294	1331	1379	1425	1471	1526	1568	1630	1671	1729	1777	1823	1912	1956	2039	2079	
2500	1136	1175	1213	1262	1298	1345	1390	1434	1488	1529	1589	1628	1685	1731	1776	1862	1904	1985	2024	
2350	1107	1145	1182	1230	1264	1310	1354	1396	1448	1488	1546	1584	1639	1684	1727	1810	1851	1929	1966	
2250	1087	1124	1160	1207	1241	1285	1328	1370	1420	1460	1517	1554	1607	1651	1693	1775	1814	1890	1927	
2100	1055	1091	1126	1172	1205	1247	1289	1329	1378	1416	1470	1506	1558	1600	1640	1719	1756	1830	1865	
2000	1034	1069	1103	1147	1179	1221	1261	1301	1348	1385	1438	1473	1523	1564	1604	1680	1717	1788	1822	
1900	1012	1046	1079	1122	1153	1194	1233	1271	1318	1353	1405	1439	1488	1527	1566	1640	1676	1744	1778	
1800	988	1022	1054	1096	1126	1166	1204	1241	1286	1321	1371	1404	1451	1489	1527	1598	1633	1700	1732	
1700	964	997	1028	1069	1098	1137	1174	1209	1253	1287	1335	1367	1413	1450	1486	1555	1589	1653	1684	
1600	939	971	1001	1041	1069	1106	1142	1177	1219	1251	1298	1329	1373	1409	1444	1511	1543	1605	1635	
1500	913	944	973	1011	1039	1074	1109	1143	1183	1214	1260	1289	1332	1366	1400	1464	1495	1555	1584	
1400	886	915	944	980	1007	1041	1075	1107	1146	1176	1220	1248	1289	1322	1354	1416	1446	1503	1530	
1350	872	901	928	964	990	1024	1057	1088	1126	1156	1199	1226	1267	1299	1330	1391	1420	1476		
1250	843	870	897	931	956	989	1020	1050	1086	1115	1156	1182	1220	1251	1281	1339	1366			
1200	827	854	880	914	938	970	1000	1030	1066	1093	1133	1159	1196	1226	1256	1312				
1100	795	821	846	878	901	931	960	988	1022	1048	1086	1111	1146	1175	1202					
1050	779	804	828	859	882	911	939	967	1000	1025	1062	1086	1120	1148						
1000	762	786	810	840	862	890	918	944	976	1001	1037	1060	1093							
940	740	764	787	816	837	864	891	916	947	971	1005	1028								
900	726	748	771	799	820	847	872	897	927	950	984									
840	703	725	746	773	793	819	843	867	896	918										
800	687	708	729	755	775	800	824	847	875											
750	666	687	707	732	751	775	798	820												
710	649	669	688	713	731	754	776													
670	631	650	669	693	710	732														
630	613	631	649	672	689															
600	598	616	634	656																
560	578	595	612																	
530	563	579																		
500	547																			
470																				

Példa:

b = 800

↓

a = 1000 → 976 = D_e

Példa: $b = 800$
 $a = 1000 \rightarrow 976 = D_e$

arány	2 < k ≤ 3					1,5 < k ≤ 2					1 ≤ k ≤ 1,5							
a \ b	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2250	2350	2500	2650	2800	3000	3150	3350	3550	3750	4000
4000	2601	2696	2788	2877	2963	3047	3128	3246	3322	3433	3540	3644	3777	3873	3998	4118	4233	4373
3750	2528	2619	2708	2794	2877	2958	3036	3150	3223	3330	3433	3533	3661	3754	3873	3988	4099	
3550	2466	2555	2641	2725	2805	2883	2959	3070	3141	3244	3344	3440	3564	3654	3769	3881		
3350	2403	2489	2572	2653	2731	2806	2880	2987	3055	3155	3252	3345	3464	3551	3662			
3150	2337	2420	2500	2578	2653	2726	2797	2900	2966	3063	3155	3245	3360	3443				
3000	2285	2366	2444	2520	2593	2664	2733	2833	2897	2991	3081	3168	3279					
2800	2214	2292	2367	2439	2510	2578	2644	2740	2801	2891	2977	3061						
2650	2158	2233	2306	2376	2445	2510	2574	2667	2727	2813	2897							
2500	2100	2173	2243	2311	2377	2441	2502	2592	2649	2733								
2350	2040	2110	2178	2243	2307	2368	2427	2514	2569									
2250	1998	2067	2133	2197	2258	2318	2376	2460										
2100	1933	1999	2063	2124	2183	2240	2296											
2000	1889	1952	2014	2073	2131	2186												
1900	1842	1904	1964	2021	2077													
1800	1794	1854	1912	1968														
1700	1745	1803	1858															
1600	1693	1749																
1500	1640																	

Példa: $b = 2000$
 $a = 2500 \rightarrow 2441 = D_e$