

Lindab Ilmanvaihtotekniikkaa

Ilmassa olevat ratkaisut



Teoria

Sisältö

Sivu

Tuloilmajärjestelmät

3

Sekoittava ilmanvaihto

3

Syrjäyttävä ilmanvaihto

3

Piennopeuspuhallus

4

Tuloilmajärjestelmän valinta

4

Sekoittava ilmanvaihto

6

Käytetyt lyhenteet

6

Painehäviö

6

Äänitaso

6

Isoterminen tuloilma

6

Coanda-vaikutus

7

Muut loppunopeudet

7

Ei-isoterminen tuloilma

8

Sekoittavan ilmanvaihdon suunnittelu

8

Syrjäyttävä ilmanvaihto

12

Käytetyt lyhenteet

12

Lämpötilajakauma

12

Lämpötilatehokkuus

12

Painehäviö

12

Äänitaso

12

Lähivyöhyke

13

Syrjäyttävän ilmanvaihdon suunnittelu

13

Äänitason suunnittelu

16

Käytetyt lyhenteet

16

Äänitason määrittäminen

16

Tuloilmajärjestelmät

Teoria

Sekoittava ilmanvaihto

Sekoittavassa ilmanvaihdossa ilma puhalletaan sisään suhteellisen suurella nopeudella oleskeluvyöhykkeen ulkopuolelta, yleensä katosta tai seinästä. Tuloilman suuresta nopeudesta johtuen se myös sekoittuu huoneilmaan. Tuloilman nopeus on pidettävä riittävän suurena, jotta sekoittuminen on tehokasta, mutta toisaalta nopeus ei kuitenkaan saa olla liian suuri ilmavirran saapuessa oleskeluvyöhykkeelle. Tämä asettaa tietyt vaatimukset tuloilmalaitteen tehokkuudelle tuloilman sisäänpuhallusnopeuden ja huoneilmaan sekoittumisen suhteen. Tuloilman nopeuden lisääminen aiheuttaa äänenpainetasoon nousun. Matalaan äänenpainetasoon pyrkiminen rajoittaa siis tuloilmalaitteen tehokkuutta. Ilman lämpötila ja epäpuhtaudet eivät juurikaan vaihtele huoneen sisällä, kun tuloilma on isotermistä tai alilämpöistä. Sekoittava ilmanvaihto ei ole erityisen herkkä ulkoisille olosuhteille ja toimii sekä lämmitys- että jäähdytystilanteissa.

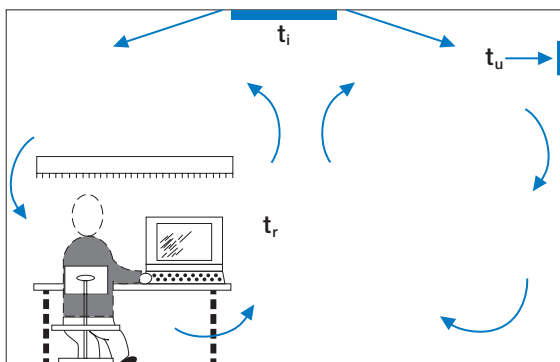
Ylilämpöisen ilman sisäänpuhallus

Koska ylilämpöinen ilma on huoneilmaa kevyempää, sen puhaltaminen oleskelualueelle vaatii huomattavasti energiaa. Tämän johdosta alaspäin suuntautuvan sisäänpuhallusnopeuden tulee lisääntyä, kun huonekorkeus kasvaa tai tuloilman lämpötila nousee. Korkeissa huoneiloissa käytetään tavallisesti tuloilman puhallusta suoraan alaspäin.

Alilämpöisen ilman sisäänpuhallus

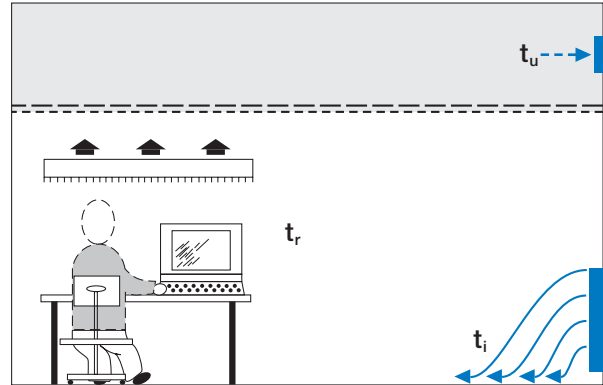
Kun huoneilmaa raskaampaa alilämpöistä ilmaa puhalletaan sisään katosta, saattavat suuret termiset kuormat aiheuttaa liian korkean ilmavirran nopeuden oleskelualueella. Päätelaitteiden säteily (normaalisti vaakasuo- ra) sekä lämmönlähteiden (ihmiset, laitteet, valaisimet) tuottamat konvektiovirtaukset aiheuttavat oleskeluvyöhykkeellä nopeuden, joka riippuu paitsi laitteen sisäänpuhallusnopeudesta myös poistotehosta pinta-alayksikköä kohti (W/m^2), tehonjoasta päätelaitetta kohti ($W/laitte$) sekä päätelaitteen puhalluskuvioista.

Sekä yli- että alilämpöisen ilman syöttö samasta kattoon sijoitetusta tuloilmalaitteesta ei yleensä täytä kaikkia lämpötilagradientille, lämpötilatehokkuudelle ja ilmavirran nopeudelle oleskeluvyöhykkeellä asetettuja vaatimuksia.



Kuva 1. Sekoittava ilmanvaihto.

Ongelma voidaan ratkaista käyttämällä moottorilla varustettua tuloilmalaitetta, joka muuttaa puhalluskuviota. Toinen vaihtoehto on mitoittaa laite jäähdytystilannetta varten ja käyttää ylilämpöisen ilman puhalluksessa apuna alaspäin puhaltavia tuloilmasuuttimia.



Kuva 2. Syrjäyttävä ilmanvaihto.

Syrjäyttävä ilmanvaihto

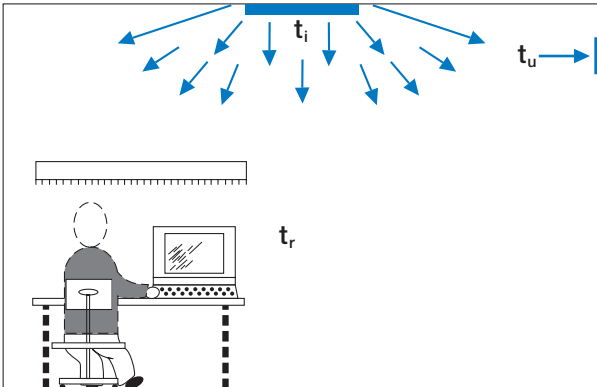
Syrjäyttävässä ilmanvaihdossa huoneen lämmönlähteiden aiheuttamat termiset virtaukset ohjaavat ilmanjakoa. Alilämpöinen ilma puhalletaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle lattiatasossa pienellä nopeudella. Ilma leviää pitkin lattiaa ja työntää tieltään (syrjäyttää) lämpimämmän vanhan ilman, jonka lämmönlähteiden aiheuttamat konvektiovirtaukset nostavat huoneen kattoon. Poistoilma ohjataan ulos katon kautta, jonne muodostuu lämmin, ”epäpuhdas” kerros.

Syrjäyttävän järjestelmän ilmanvaihto on sekoittavaa tehokkaampi, koska ilma jakautuu lämpötilakerrokseen. Ero korostuu huonekorkeuden kasvaessa. Samalla kasvavan lämpötilatehokkuuden ansiosta voidaan säästää jäähdytyskustannuksia tai vastaavasti hyödyntää ulkoilman jäähdytysvaikutusta paremmin, koska poistoilma on lämpimämpää, ja sen mukana huoneesta poistuu enemmän lämpökuormaa. Syrjäyttävää ilmanvaihtoa ei tule normaalitapauksissa käyttää huonetilan lämmitykseen.

Tuloilmalaitteen lähivyöhykkeen koko riippuu ensisijaisesti tuloilman määrästä, alilämpötilasta sekä laitteen sijainnista. Suositellulla ilmavirtausalueella tuloilmalaitteen koolta ei ole käytännön vaikutusta lähivyöhykkeeseen. Lähivyöhykkeen muotoa voidaan kuitenkin muuttaa tarpeen mukaan tuloilmalaitteen ilmanjakosuuttimia säätämällä.

Tuloilmajärjestelmät

Teoria



Kuva 3. Piennopeusilmanvaihto.

Piennopeusilmanvaihto

Piennopeuspuhalluksessa alilämpöistä ilmaa tuodaan katosta pienellä nopeudella. Raitis ilma työntää edellään vanhan ilman.

Paras tulos saavutetaan, kun tuloilma puhalletaan tasaisesti jaettuna koko katon alueelta. Järjestelmä ei sovellu lämmitykseen.

Tuloilmajärjestelmän valinta

Eri järjestelmillä on omat hyvät ja huonot puolensa, jotka tulee ottaa huomioon järjestelmää valittaessa. Yhteistä kaikille järjestelmille on, että tilan lämpöolosuhteet ovat sitä paremmat mitä useampia tuloilmalaitteita käytetään ja mitä tasaisemmin laitteet on jaoteltu huonetilaan. Edut ja haitat on koottu alla olevaan yhteenvetoon.

Sekoittava ilmanvaihto

- + Sopii sekä jäähdytykseen että lämmitykseen.
- + Tehokas induktio mahdollistaa voimakkaasti alilämpöisen ilman sisäänpuhalluksen.
- + Suurin piirtein sama lämpötila ja ilmanlaatu koko huoneessa, ts. pieni lämpötila- ja pitoisuusgradientti.
- + Stabiili puhalluskuvio.
- + Mahdollistaa joustavan ilmanvaihtolaitteiden sijoittelun.
- + Ei pienennä lattiapinta-alaa (lähivyyhyke).
- Oikosulkuvirtauksen ja sen myötä ilmanvaihdon tehokkuuden heikkenemisen riski (erityisesti lämmityksessä).
- Suurehko tehontarve jäähdytyksessä.
- Saattaa aiheuttaa vetoa suurilla jäähdytystehoilla.

Syrjäyttävä ilmanvaihto

- + Suuri ilmanvaihto- ja lämpötilatehokkuus.
- + Hyvä ilmanlaatu oleskeluvyyhykkeellä.
- + Nopeudet pieniä oleskeluvyyhykkeellä, ei kuitenkaan lähivyyhykkeellä.
- + Sopii hyvin korkeiden tilojen jäähdytykseen.
- Rajoittaa tilan kalustettavuutta ja pienentää lattiapinta-alaa (lähivyyhyke).
- Pieni induktio.
- Suuri pystysuuntainen lämpötilagradientti.
- Ei sovellu lämmitykseen.

Piennopeusilmanvaihto

- + Ei pienennä lattiapinta-alaa.
- + Soveltuu hyvin suuriin ilmanvaihtomääriin pienillä alilämpötiloilla.
- + Suuri paikallinen ilmanvaihdon tehokkuus.
- Pieni induktio.
- Ei sovellu lämmitykseen.
- Oikosulkuvirtauksen riski, kun poistoilmalaitteet on ka tossa.

Äänitason suunnittelu

Teoria

Tuloilmajärjestelmän valinta

		Sekoittava ilmanvaihto							Syrjäyttävä ilmanvaihto			Piennopeusilmanvaihto	
		Suuttimet	Säleiköt	Takaseinältä sisäpuhallus	Yksirakoiset hajottimet	Reiitetyt hajottimet	Monikartiohajottimet	Pyörrehajottimet	Rakohajottimet	Seinäpuhallus	Lattiapuhallus	Penkkipuhallus	
Toimistot	Lämm. + jäähd. 0-30 W/m ² 30-60 W/m ² >60 W/m ²			••	•••	•••	•••	•••	•	•••			
Yleisötilat	Kokous Teatteri, elokuva Auditorio Ravintola Opetus Näyttely		•	••	•••	•••	•••	•••		•••	•••	•••	
Liikkeet	Kauppa Supermarket	• •	• •	•• •••	••• •••	••• •••	••• •••	•					
	Urheiluhalli Uimahalli Suurkeittiö Laboratorio	••• •••	•• ••		• •	•• ••	•• ••	•• ••	• •				••• •••
	Puhdastila Asunto Julkinen tila		•• ••	•• ••	••• •••	••• •••	••• •••	••	••				

• Tyydyttävä •• Hyvä ••• Paras

Tuloilmajärjestelmän valinta - teollisuustilat

Ilmanvaihtotarve	Lämmitystarve	Jäähdytystarve	Sekoittava ilmanvaihto	Syrjäyttävä ilmanvaihto	Piennopeusilmanvaihto
❄️	❄️	❄️	X		
❄️	❄️	❄️	X		
❄️	❄️	❄️	X		
❄️	❄️	❄️		X	X
❄️	❄️	❄️	X		X
❄️	❄️	❄️	X		
❄️	❄️	❄️	X		
❄️	❄️	❄️		X	X

❄️ Pieni tarve ❄️ Suuri tarve

Mix ilmanvaihto

Teoria

Sekoittava ilmanvaihto

Tuloilmalaitteen tulee varmistaa riittävän ilmamäärän saanti huoneeseen asianmukaisen ilmanvaihdon saavuttamiseksi ja samalla täyttää oleskeluvyöhykkeen äänitasoon, ilmavirran nopeuteen ja lämpötilaeroihin liittyvät vaatimukset. Näiden vaatimusten täyttämiseksi on tunnettava joitakin suunnittelusääntöjä, joista tärkeimmät käydään läpi seuraavassa. Laitetta valittaessa on otettava huomioon sen aiheuttama painehäviö, äänitaso ja heittopituus. Nämä arvot ilmoitetaan jokaiselle laitemallille erikseen. Tässä tuotteen datalehti esitetyt mitoituskriteerit ja tekniset arvot perustuvat Lindabin laboratoriossa moderneilla tarkkuusinstrumenteilla tehtyihin mittauksiin. Käytännössä olosuhteet ovat harvoin yhtä ihanteelliset kuin laboratoriossa, koska esim. tilan muoto, kalustus ja valitut laitekoonpanot asennuksineen vaikuttavat voimakkaasti ilman leviämiseen tilassa. Lindabin mittaustalaboratorioissa on mahdollista suorittaa täysmittakaavakokeita, jotka ovat erittäin hyödyllisiä etenkin silloin, kun kyseessä on suuri ja monimutkainen projekti.

Käytetyt lyhenteet

A	Huoneen kokonaisabsorptiopinta-ala	[m ²]
b _h	Puhalluskuvion suurin leveys loppunopeudella 0,2 m/s	[m]
b _v	Puhalluskuvion suurin korkeus loppunopeudella 0,2 m/s	[m]
F	Laitteen vapaa poikkipinta-ala (q/v ₀ , jossa v ₀ on miattu tuloilman lähtönopeus)	[m ²]
K _{ok}	Äänentehotason korjauskerroin	[dB]
I _{0,2}	Heittopituus loppunopeudella 0,2 m/s	[m]
I _{0,0}	Kääntymispiste	[m]
I _b	Etäisyys laitteesta puhalluskuvion leveimpään kohtaan.	[m]
L _A	A-painotettu äänenpainetaso	[dB(A)]
L _{WA}	A-painotettu äänentehotaso	[dB(A)]
L _{Wok}	Äänentehotaso oktaavikaistoittain	[dB]
L _p	Äänenpainetaso:	[dB]
L _w	Äänentehotaso	[dB]
ΔL	Äänenvaimennus	[dB]
D	Huonevaimennus	[dB]
Δp _t	Kokonaispainehäviö	[Pa]
q	Ilmavirta	[m ³ /h], [l/s]
Δt	Tuloilman ja huoneilman välinen lämpötilaero	[K]
v ₀	Tuloilman lähtönopeus	[m/s]
v _x	Ilmavirran nopeus etäisyydellä x laitteen keskipisteestä	[m/s]
v _{term}	Terminen maksiminopeus oleskeluvyöhykkeellä	[m/s]

Painehäviö

Diagrammit esittävät kokonaispainehäviön (ilman tiheydellä ρ = 1,2 kg/m³), joka ilmoitetaan laitteen (ja mahdollisen liitäntälaatikon) staattisen ja dynaamisen paineen summana asennettuna yhden metrin pituiseen suoraan kanavaan, jonka halkaisija on sama kuin päätelaitteen liitäntä.

Äänitaso

Äänitaso esitetään luettelon diagrammeissa A-painotettuna äänentehotasona L_{WA} päätelaitteelle ja mahdolliselle liitäntälaatikolle asennettuna 1 m pituiseen suoraan kanavaan, jonka halkaisija on sama kuin päätelaitteen liitäntä.

Äänenpainetaso on mitta äänenvoimakkuudelle, ts. kokemillemme paineaalloille, kun taas äänentehotaso on äänilähdettä luonnehtiva parametri. Kumpikin äänitaso ilmoitetaan normaalisti desibeleinä (dB), mikä saattaa aiheuttaa sekaannusta.

Äänenpainetaso (L_p)

Äänen voimakkuuden mitta, paineaallot, jotka korva tai äänitasomittarin mikrofoni rekisteröi. Äänenpainetaso on Pascal (Pa), mutta se ilmoitetaan usein äänenpainetasona desibeleinä (dB) tai dB(A).

Äänenteho (L_w)

Teho, jonka äänilähde (esim. kone) tuottaa äänen muodossa. Äänentehon mittayksikkö on watti (W), mutta se ilmoitetaan usein äänentehotasona desibeleinä (dB) tai dB(A).

Lindabin tuotteen datalehti päätelaitteen ääniominaisuuksien ilmoitetaan äänentehotasona.

$$\text{Äänentehotaso: } L_w = 10 \times \log \frac{N}{N_{re}} \text{ [dB]}$$

jossa N on todellinen äänenteho [W], joka siirtyy ilmaan paineaaltona, ja N_{re} = 10⁻¹² W on vertailuäänenteho.

$$\text{Äänenpainetaso: } L_p = 20 \times \log \frac{P}{P_{re}} \text{ [dB]}$$

jossa p on todellinen äänenpainetaso [N/m²] ja p_{re} = 2 × 10⁻⁵ N/m² on vertailuäänenteho.

Huonevaimennus D [dB] on äänentehotason ja äänenpainetason erotus

$$L_p = L_w - D$$

A-painotettu äänentehotaso, L_{WA} muunnetaan kunkin oktaavikaistan äänentehotasoksi kaavalla.

L_{Wok} = L_{WA} + K_{ok} jossa K_{ok} on korjausarvo. K_{ok} -arvot annetaan taulukoissa erikseen jokaiselle päätelaitteelle.

Äänenvaimennus

Jokaiselle päätelaitteelle ilmoitetaan äänentehotason aleneminen kanavasta huoneeseen (loppuheitastuma mukaan lukien).

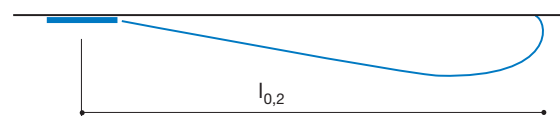
Isotermien tuloilma

Kaikki tekniset arvot ovat voimassa isotermiselle tuloilmalle.

Heittopituus

Heittopituus I_{0,2} määritellään suurimpana välimatkana laitteen keskipisteestä loppunopeuteen 0,2 m/s.

Heittopituuden I_{0,2} arvot koskevat kattoon asennettuja päätelaitteita (kuva 4).

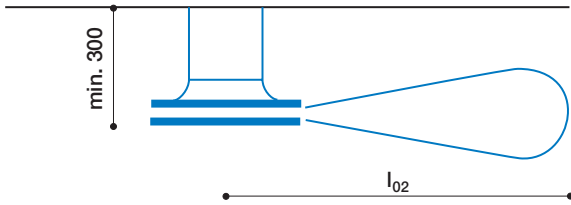


Kuva 4. Heittopituus I_{0,2} kattoon asennetulle päätelaitteelle.

Mix ilmanvaihto

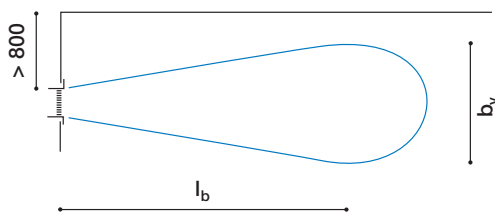
Teoria

Vapaassa asennustavassa, ts. kun laite on asennettu yli 300 mm etäisyydelle katosta (kuva 5), heittopituus lyhenee 20%, joten $l_{0,2}$ vapaa = $0,8 \times l_{0,2}$.



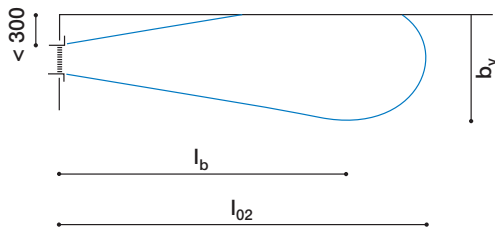
Kuva 5. Vapaa asennustapa.

Säleikölle on voimassa $l_{0,2}$ sen ollessa yli 800 mm etäisyydellä katosta (kuva 6).



Kuva 6. Heittopituus säleikön ollessa yli 800 mm etäisyydellä katosta.

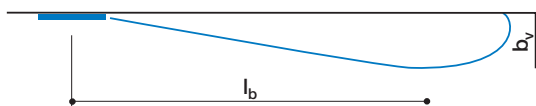
Jos säleikkö asennetaan yli 300 mm etäisyydelle katosta (kuva 7), heittopituus kasvaa $l_{0,2}$ 40%, joten $l_{0,2}$ ritilä katon lähellä = $1,4 \times l_{0,2}$.



Kuva 7. Heittopituus säleikön ollessa alle 300 mm etäisyydellä katosta.

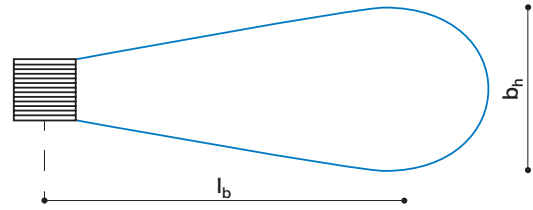
Puhalluskuvio

Puhalluskuvion korkeus b_v ilmaisee suurimman pystysuoran etäisyyden katon ja ilmavirran loppunopeuden 0,2 m/s välillä (kuva 8).



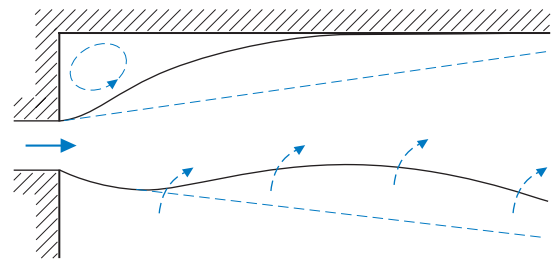
Kuva 8. Puhalluskuvion korkeus.

Puhalluskuvion korkeus b_h ilmaisee suurimman pystysuoran etäisyyden katon ja ilmavirran loppunopeuden 0,2 m/s välillä (kuva 9). Etäisyys laitteesta puhalluskuvion leveimpään kohtaan merkitään l_b . b_v , b_h ja l_b -arvot riippuvat kunkin päätelaitteen heittopituudesta $l_{0,2}$.



Kuva 9. Vaakasuora puhalluskuvio.

Coanda-vaikutus



Kuva 10. Coanda-vaikutuksen alainen ilmavirtaus.

Kun tuloilma suunnataan tason, esim. katon, suuntaisesti, syntyy tason ja ilmasuihkun välille alipaine, joka saa ilmasuihkun pysymään katossa. (kuva 10). Tällä coanda-vaikutuksena tunnetulla ilmiöllä on suuri merkitys ilmanjakoon etenkin jäähdytetyllä tuloilmalla. Jotta ilmiöstä saataisiin suurin hyöty, tulisi ilmavirran säleikköä/hajotinta kohti olla mahdollisimman pieni ja tasaisesti jaettu ja ilmavirran nopeuden mahdollisimman suuri.

Tehokkain tuloilman hajotussuunta on tämän johdosta 360° ilman sivuusteitä. Erityisesti rakohajottimet (LTD) on jaettava aktiivisiin ja passiivisiin vyöhykkeisiin vedon välttämiseksi.

Ilmasuihkun nopeus

Ilmasuihkun ydinosaan nopeus voidaan rajoitella alueella laskea kaavalla: jossa x kuvaa etäisyyttä siihen pisteeseen, jossa ilmasuihkun ydinkohdan nopeus on v_x m/s.

Esimerkki

Päätelaitteen heittopituus $l_{0,2} = 3$ m. Etäisyys siihen pisteeseen, jossa loppunopeus on 0,3 m/s, lasketaan seuraavasti:

$$v_x = \frac{l_{0,2} \times 0,2}{x} \Leftrightarrow x = \frac{l_{0,2} \times 0,2}{v_x}$$

$$x = \frac{3 \text{ m} \times 0,2 \text{ m/s}}{0,3 \text{ m/s}} = 2 \text{ m}$$

Mix ilmanvaihto

Teoria

Ei-isoterminen tuloilma

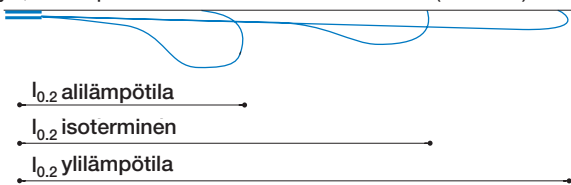
Heittopituuden luetteloarvot ovat voimassa isoteremiselle tuloilmalle.

Ali- tai ylitlämpoisellä tuloilmalla termiset voimat vaikuttavat joko pakottamalla suihkun alaspäin (alilämpöinen) tai ylöspäin (ylilämpöinen). Virtausolosuhteiden määrittämiseksi on otettava huomioon lämpötilaeron ja tuloilman lähtönopeuden suhde (virtausteoriassa Arkhimedeen luku). Jos halutaan laskea ilman nopeudet yksityiskohtaisesti ja saada näkyviin päätelaitteiden virtausolosuhteet, se on mahdollista Lindabin [Indoor Climate Designer](http://www.lindqst.com). www.lindqst.com.

Alla olevia peukalosääntöjä ali- ja ylitlämpöisen ilman vaaka- tai pystysuoralle puhallukselle voi kuitenkin käyttää heittopituuden korjaamiseen summittaisissa laskelmissa.

Vaakasuora puhallus katon lähellä

1. Mikäli vaakasuuntaan puhallettu tuloilma on jäädytettyä, heittopituus lyhenee 1,5% astetta kohti (kuva 11), ja puhalluskuvion korkeus b_v kasvaa.
2. Mikäli vaakasuuntaan puhallettu tuloilma on lämmitettyä, heittopituus kasvaa 2% astetta kohti (kuva 11).



Kuva 11. Heittopituus $I_{0,2}$ kattoon asennetulle päätelaitteelle.

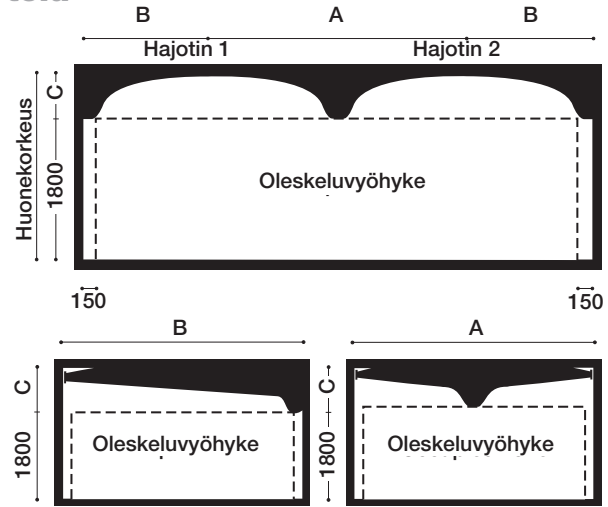
Pystysuora puhallus katosta

Pystysuoran puhalluksen heittopituudet ovat voimassa isoteremiselle tuloilmalle.

1. Jos tuloilma on jäädytettyä, heittopituus kasvaa. Heittopituus kaksinkertaistuu arvolla $\Delta t = -10^\circ\text{C}$.
2. Lämmitettyä ilmaa puhallettaessa heittopituus lyhenee. Heittopituus puolittuu arvolla $\Delta t = 10^\circ\text{C}$.

Päätelaitteilla, jotka voidaan säätää pystysuoralle puhalluskuvion, annetaan lisäksi erityiset kääntymispistediagrammit lämmitetylle ilmalle ($\Delta t = +5\text{K}$, $+10\text{K}$ ja mahd. $+15\text{K}$) ja kääntymispiste $I_{0,0}$ yhdessä muiden tuotetietojen kanssa.

Sekoittavan ilmanvaihdon suunnittelu



Kuva 12. Sekoittavan ilmanvaihdon suunnittelu.

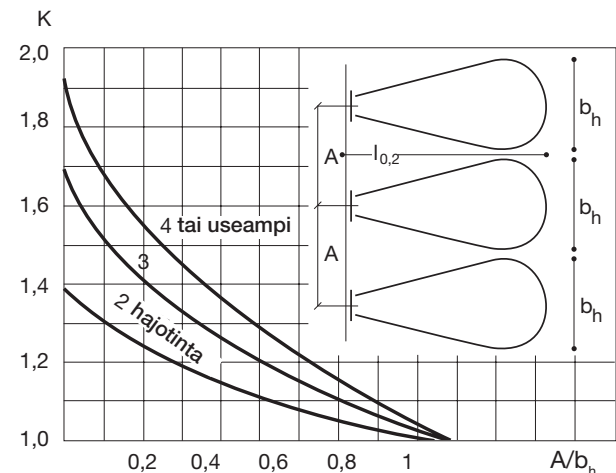
Jotta vältettäisiin 0,2 m/s ylittävät ilmasuihkunopeudet oleskeluvyöhykkeellä, päätelaitteet on mitoitettava siten, että heittopituudet $I_{0,2}$ ovat oikeassa suhteessa etäisyyksiin A, B ja C (kuva 12). Vastakkaisten ilmasuihkujen tapauksessa on noudatettava kaavaa:

$$0,75 \times \left(\frac{A}{2} + C\right) \leq I_{0,2} \leq \left(\frac{A}{2}\right) + C$$

Seinää päin suunnatun päätelaitteen tapauksessa sovelletaan kaavaa:

$$0,75 \times (B + C) \leq I_{0,2} \leq B + C$$

Mikäli kaksi tai useampia laitteita sijoitetaan samansuuntaisesti (tuloilma yhteen tai kahteen suuntaan) siten, että niiden välinen etäisyys A on pienempi kuin b_h , heittopituus kasvaa seuraavan kaavan mukaan: $I_{0,2}$ (korjattu) = $K \times I_{0,2}$ K on korjauskertoimen, jonka arvon voi lukea kuvasta 13.

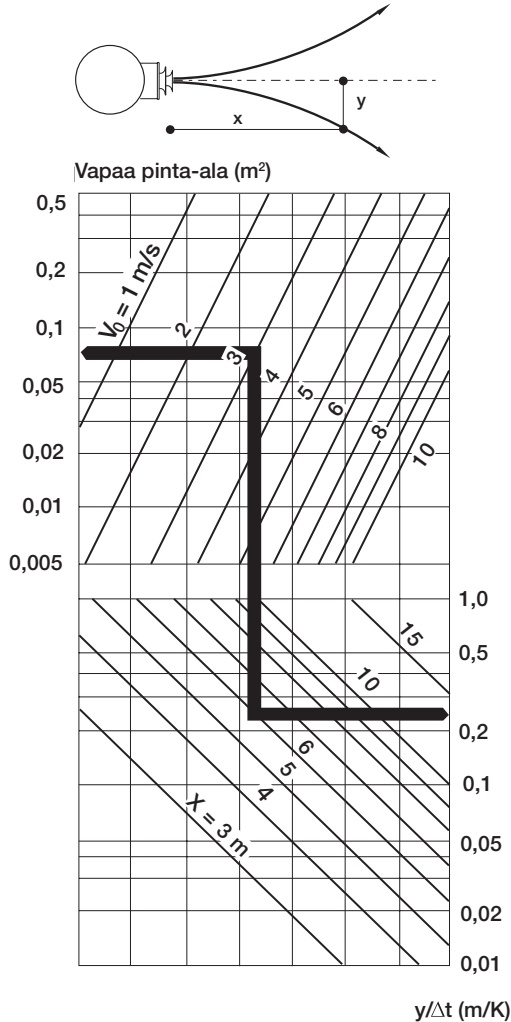


Kuva 13. Sekoittavan ilmanvaihdon suunnittelu.

Mix ilmanvaihto

Teoria

Yli- tai alilämpötilasta johtuva ilmasuihkun nousu tai lasku yksitiepuhalluksella varustetuille suuttimille ja vapaasti asennetuille päätelaitteille voidaan lukea kuvasta 14.



Kuva 14. Sekoittavan ilmanvaihdon suunnittelu.

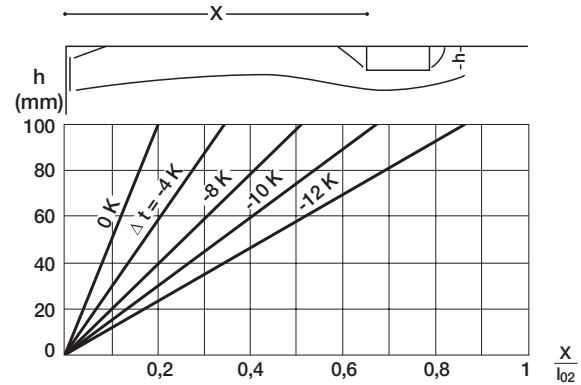
Esimerkki

Suuttimen vapaa poikkipinta-ala on $0,075 \text{ m}^2$.

Ilmavirralla 210 l/s saadaan tuloilman lähtönopeudeksi $v_0 = 3 \text{ m/s}$ ($v_0 = q / A \times 1000$).

Kuvassa 14 on piirretty vaakasuora viiva arvojen $A_0 = 0,075 \text{ m}^2$ ja $v_0 = 3 \text{ m/s}$ välille. Seuraamalla lihavaa viivaa alaspäin kohtaan $x = 6 \text{ m}$ ja sitten vaakasuoraan oikealle, voidaan arvojen y (nouseva/laskeva) ja Δt (tuloilman ja huoneilman välinen lämpötilaero) suhteeksi lukea $0,24$. Lämpötilaerolla 10 K saadaan nousuksi/laskuksi $y = 0,24 \text{ m/K} \times 10 \text{ K} = 2,4 \text{ m}$ etäisyydellä $x = 6 \text{ m}$ suuttimesta.

Jotta vältettäisiin esteestä johtuva ilmasuihkun taipuminen, tulee kuvassa 15 esitettyä minimietäisyyttä noudattaa.



Kuva 15. Minimietäisyys esteen korkeuden ja heittopituuden $l_{0,2}$ funktiona.

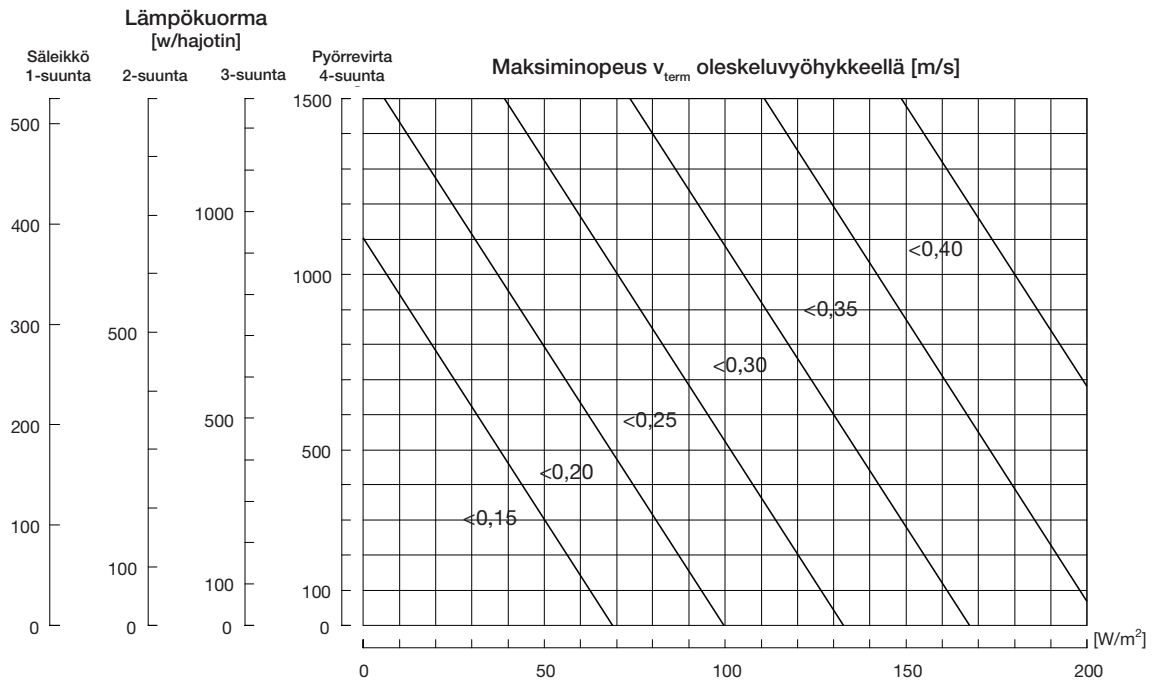
Huoneessa olevat lämpökuormat aiheuttavat ylöspäin suuntautuvia konvektiovirtauksia ja tuloilma aiheuttaa vastaavasti kylmiä alaspäin suuntautuvia konvektiovirtauksia.

Mix ilmanvaihto

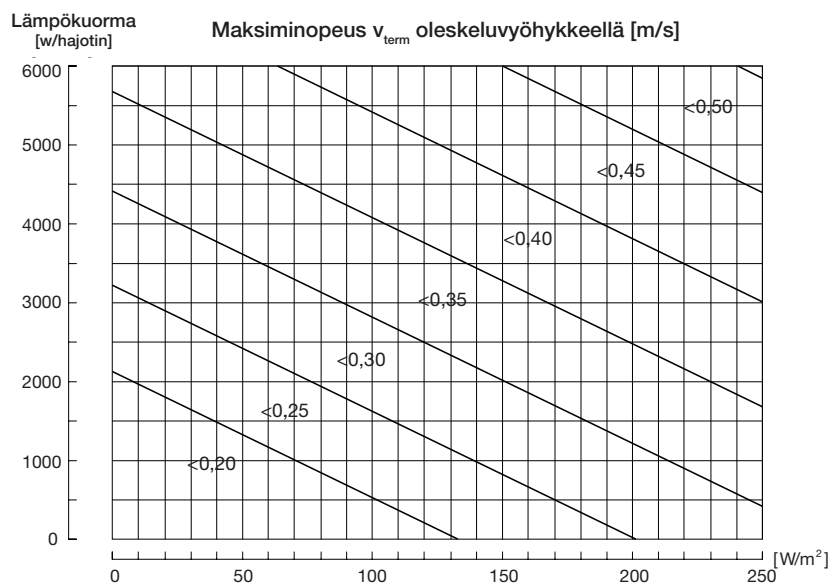
Teoria

Laskettu maksiminopeus v_{term} oleskeluyöhykkeellä termiset ilmvirtaukset huomioiden esitetään kuvassa 16. Näihin virtauksiin vaikuttavat huonetilan lämpökuorma (W/m^2) ja tuloilman jako (hajottimien määrä ja puhalluskuviot), mutta ei sen nopeus. Lisäksi nopeus riippuu huonekorkeudesta. Oleskeluyöhykkeen maksiminopeuksien laskemisessa on käytetty hyväksi kokemukseen perustuvaa mallia, jossa muuttujina ovat lämpökuormitus (W/m^2), hajottimien lukumäärä ($W/hajotin$) sekä puhalluskuviota (1, 2, 3, 4

suuntaa) huonekorkeudella 2,5 m. Jos projektin suhteen ollaan epävarmoja tai jos halutaan tutkia erityisolosuhteita, Lindabin mittaustalvorioliorioissa on mahdollista suorittaa täysmittakaavakokeita, jotka ovat usein hyödyllisiä suurten ja monimutkaisten projektien yhteydessä.



Kuva 16 a. Terminen maksiminopeus oleskeluyöhykkeellä. Diagrammi on suuntaa antava ja voimassa 2,5 m huonekorkeudelle.



Kuva 16 b. Terminen maksiminopeus oleskeluyöhykkeellä. Diagrammi on suuntaa antava ja voimassa huonekorkeuksille > 4 m.

Mix ilmanvaihto

Teoria

Laskentaesimerkki

Huonetila: $P \times L \times K = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$

Terminen kuormitus:

10 henkeä, istumatyö (10 × 130 W) = 1300 W (22 W/m²)

10 pöytävalaisinta á 60 W (10 × 60 W) = 600 W (10 W/m²)

10 konetta á 100 W (10 × 100 W) = 1000 W (17 W/m²)

Kokonaiskuormitus: = 2900 W (48 W/m²)

Normaalisti lasketaan, että tyydyttävä ilmanlaatu huonetilassa edellyttää tuloilmalisäystä 4-10l/s henkilöä ja 0,4l/s lattiapinta-alaa m² kohti. Käyttämällä arvoa 10l/s saadaan tarvittavaksi ilmavirtaukseksi:

$$q_{\min} = 10 \text{ henkeä} \times 10 \text{ l/s henkeä kohti} + 60 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ l/s / m}^2 = 124 \text{ l/s}$$

Jos ilmanvaihdon pitää samanaikaisesti jäähdyttää huonetilan yhteenlaskettu lämpökuormitus, tarvitaan lämpötilaero Δt tuloilman ja huone-/poistoilman välillä. Δt :ksi saadaan

$$\Delta t = \frac{2900 \text{ W}}{\frac{124 \text{ l/s}}{1000 \text{ l/m}^3} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} = 19,4 \text{ K}$$

Koska lähes 20 K alilämpötila mitä todennäköisimmin tuntuu epämiellyttävältä esim. kattohajottimen aiheuttaman vedon johdosta, on suositeltavaa lisätä ilmavirtausta ja käyttää pienempää alilämpötilaa. Kun valitaan $\Delta t = 6 \text{ K}$, ilmavirtaukset voidaan laskea:

$$q = \frac{2900 \text{ W}}{6 \text{ K} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} \times 1000 \text{ l/m}^3 = 400 \text{ l/s}$$

Syrjäyttävä ilmanvaihto

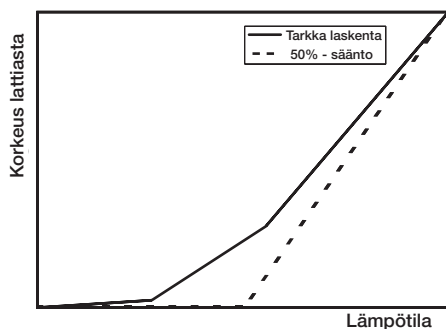
Tuloilmalaitteen tulee varmistaa riittävän ilmamäärän saanti huoneeseen asianmukaisen ilmanvaihdon saavuttamiseksi ja samalla täyttää oleskeluvyöhykkeen äänitasoon, ilmavirran nopeuteen ja lämpötilaeroihin liittyvät vaatimukset. Näiden vaatimusten täyttämiseksi on tunnettava joitakin suunnittelusääntöjä, joista tärkeimmät käydään läpi seuraavassa. Laitetta valittaessa on otettava huomioon sen aiheuttama painehäviö, äänitaso ja lähivyoikyke. Nämä arvot ilmoitetaan jokaiselle laitemallille erikseen. Tässä tuotteen datalehti esitetyt mitoituskriteerit ja tekniset arvot perustuvat Lindabin laboratoriossa moderneilla tarkkuusinstrumenteilla tehtyihin mittauksiin. Käytännössä olosuhteet ovat harvoin yhtä ihanteelliset kuin laboratoriossa, koska esim. tilan muoto, kalustus ja valitut laitekoonpanot asennuksineen vaikuttavat voimakkaasti ilman leviämiseen tilassa. Lindabin mittauslaboratorioissa on mahdollista suorittaa täysmittakaavakokeita, jotka ovat erittäin hyödyllisiä etenkin silloin, kun kyseessä on suuri ja monimutkainen projekti.

Käytetyt lyhenteet

$a_{0,2}$	Lähivyoikykeen leveys	[m]
$b_{0,2}$	Lähivyoikykeen pituus	[m]
ϵ_t	Lämpötilatehokkuus	[-]
K_{ok}	Äänentehotason korjauskerroin	[dB]
L_A	A-painotettu äänenpainetaso	[dB(A)]
L_{WA}	A-painotettu äänentehotaso	[dB(A)]
L_{Wok}	Äänentehotaso oktaavikaistoittain	[dB]
L_p	Äänenpainetaso	[dB]
L_w	Äänentehotaso	[dB]
ΔL	Äänenvaimennus	[dB]
D	Huonevaimennus	[dB]
Δp_t	Kokonaispainehäviö	[Pa]
q	Ilmavirta	[m ³ /h], [l/s]
t_i	Tuloilman lämpötila	[°C]
t_r	Huonetilan lämpötila (1,1 m korkeudella lattiasta)	[°C]
t_u	Poistoilman lämpötila	[°C]
Δt	Tuloilman ja huoneilman välinen lämpötilaero	[K]
v_x	Ilmavirran nopeus etäisyydellä x laitteen keskipisteestä	[m/s]

Lämpötilajakauma

Kerroksittaisen ilmavirtauksen johdosta syrjäyttävä ilmanvaihto aiheuttaa suuret lämpötilaerot huonetilan korkeussuunnassa. Yleisilmanvaihdoissa, jossa lämmönlähteet on sijoitettu huonetilan alaosaan, lämpötilagradientti, ts. lämpötilan nousu metriä kohti (K/m), on suurin huone-



Kuva 17. Lämpötilajakaumaa kuvaavien mallien vertailu.

tilan alaosassa ja pienempi yläosassa.

Yksinkertaisimpia lämpötilajakaumaa kuvaavia malleja ovat nk. prosenttisäännöt. Eniten käytetty on 50% sääntö, jossa oletetaan, että puolet lämpötilan noususta ilman tulon ja poiston välillä tapahtuu lattiatasossa ja toinen puoli noustaessa lattiasta kattoon (katso kuva 17). Malli on hyvä ensimmäisenä arviolaskelmana tyyppisille huonetiloille ja päätelaitteille, mutta yksinkertaisuutensa vuoksi se ei ole riittävän tarkka lämpötilagradientin laskemiseen oleskeluvyöhykkeellä.

Lindab suosittelee sen sijaan käyttämään yksityiskohtaisempaa mallia, joka kuvaa lämpötilagradientin vaihtelua noustaessa huonetilassa ylöspäin. Hyvällä tarkkuudella voidaan olettaa, että lämpötilagradientti oleskeluvyöhykkeellä on puolet tuloilman ja huoneilman välisestä lämpötilaerosta. Malli perustuu täysmittakaavakokeista saatuihin kokemuksiin ja ottaa huomioon lämpötilatehokkuuden sekä sen, että lämpötilagradientti on suurempi huonetilan ala- kuin yläosassa.

Lämpötilatehokkuus

Syrjäyttävän järjestelmän ilmanvaihto on sekoittavaa tehokkaampi, koska ilma jakautuu lämpötilakerroksiin. Ero suurenee huonekorkeuden kasvaessa. Poistettavan lämpökuorman suuruus on suoraan verrannollinen tulo- ja poistoilman väliseen lämpötilaeroon ($t_u - t_r$). Koska poistoilman lämpötila (t_u) on syrjäyttävässä ilmanvaihdoissa korkeampi kuin huonetilan lämpötila (t_r), sama lämpökuorma voidaan poistaa huoneesta korkeammalla tuloilman lämpötilalla (t_i) kuin sekoittavassa ilmanvaihdoissa, jossa $t_u \leq t_r$. Tämä merkitsee sitä, että voidaan säästää jäähdytysenergiaa tai käyttää ulkoilman jäähdytysteho paremmin hyväksi.

Syrjäyttävä ilmanvaihto on lisäksi osin itsesäätyvä vaihtelevissa lämpökuormitusolosuhteissa, koska kuormituksen lisäys suurentaa lämpötilajakaumaa aiheuttaen korkeamman lämpötilan lähellä kattoa.

Lämpötilatehokkuus lasketaan kaavalla:

$$\epsilon_t = \frac{t_u - t_r}{t_i - t_r} \times 100\%$$

Syrjäyttävässä ilmanvaihdoissa on voimassa, että $\epsilon_t > 100\%$ ($t_u \leq t_r$), kun taas $\epsilon_t \leq 100\%$ sekoittavassa ilmanvaihdoissa ($t_u \leq t_r$).

Täydellisessä sekoittumisessa $\epsilon_t = 100\%$ ($t_u = t_r$).

Painehäviö

Diagrammit esittävät kokonaispainehäviön (ilman tiheydellä $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), joka ilmoitetaan laitteen staattisen ja dynaamisen paineen summana asennettuna yhden metrin pituiseen suoraan kanavaan, jonka halkaisija on sama kuin päätelaitteen liitäntä.

Äänitaso

Katso sekoittava ilmanjako sivulta 36.

Syrjäyttävä ilmanvaihto

Teoria

Äänenpaine (L_p)

Äänen voimakkuuden mitta, paineenvaihtelut, jotka korva tai äänitasomittarin mikrofoni rekisteröi. Äänenpaineen mittayksikkö on Pascal (Pa), ja se ilmoitetaan tavallisesti äänenpainetasona desibeleinä (dB) tai dB(A).

Äänenteho (L_w)

Teho, jonka äänilähde (esim. kone) tuottaa äänen muodossa. Äänentehon mittayksikkö on watti (W), ja se ilmoitetaan tavallisesti äänentehotasona desibeleinä (dB) tai dB(A).

Lindabin tuotteen datalehti päätelaitteen ääniominaisuudet ilmoitetaan äänentehotasona.

$$\text{Äänentehotaso: } L_w = 10 \times \log \frac{N}{N_{re}} \text{ [dB]}$$

jossa N todellinen äänenteho [W], joka siirtyy ilmaan paineaaltoina, ja $N_{re} = 10^{-12}$ W on vertailuäänenteho.

$$\text{Äänenpainetaso: } L_p = 20 \times \log \frac{P}{P_{re}} \text{ [dB]}$$

jossa p on todellinen äänenpaine [N/m^2] ja $p_{re} = 2 \times 10^{-5}$ N/m^2 on vertailuäänepaine.

Huonevaimennus D [dB] on äänentehotason ja äänenpainetason erotus.

$L_{wok} = L_w - DA$ -painotettu äänentehotaso, L_{WA} muunnetaan kunkin oktaavikaistan äänentehotaksi kaavalla.

$L_p = L_{WA} + K_{ok}$
jossa K_{ok} on korjausarvo. K_{ok} -arvot annetaan taulukoissa erikseen jokaiselle päätelaitteelle.

Äänenvaimennus

Ilmaisee jokaisella päätelaitteella äänentehotason alenemisen kanavasta huoneeseen (loppuheiijastuma mukaan lukien).

Lähivyöhyke

Päätelaitteen ympärillä olevaa aluetta, jolla ilmavirran nopeus on suurempi kuin 0,2 m/s, sanotaan lähivyöhykkeeksi.

Lähivyöhykkeen koko ilmoitetaan jokaiselle päätelaitteelle alilämpötilalla $\Delta t = t_r - t_i = 3K$. Lähivyöhykkeen pituus (a_j) ja leveys (b_j) on mitattu tasaisesti jakautuneella lämpökuormalla.

Syrjäyttävän ilmanvaihdon suunnittelu

Syrjäyttävän ilmanvaihdon suunnittelu asettaa erityisiä vaatimuksia tuloilmalaitteiden mitoitukselle ja sijoittelulle, sillä järjestelmä käyttää hyväkseen termisiä kuormia, ja tuloilma puhalletaan suoraan oleskeluvyöhykkeelle. Järjestelmä on herkkä lämpövaikutuksille, ja tuloilmalaitteita ei sen vuoksi saa koskaan asentaa voimakkaiden lämmönlähteiden, esim. lämpöpatterien viereen. Myös voimakas auringonpaiste saattaa haitata järjestelmän toimintaa ja saada järjestelmän joissain tapauksissa toimimaan sekoittavan ilmanvaihdon tavoin. Suuret kylmät ikkuna- tai seinäpinnat saattavat aiheuttaa käytetyn ilman virtaamisen takaisin oleskeluvyöhykkeelle.

Järjestelmä ei sovi lämmitykseen ja edellyttää sen vuoksi lämmityksen ja ilmanvaihdon erottamista toisistaan. Poistoilma on aina johdettava ulos huonetilasta mahdollisimman korkealta.

Jos projektin suhteen ollaan epävarmoja tai jos halutaan tutkituttaa erityisolosuhteita, Lindabin mittauslaboratorioissa on mahdollista suorittaa täysmittakaavakokeita, jotka ovat usein hyödyllisiä suurten ja monimutkaisten projektien yhteydessä.

Konvektiovirtaukset

Tuloilman määrän on vastattava vähintään tilan yhteenlaskettuja konvektiovirtauksia (kuva 18). Jos tuloilman määrä on pienempi, konvektiovirtaus vetää ylhäältä mukaansa käytettyä, likaista ilmaa, joka sekoittuu oleskeluvyöhykkeen ilmaan (kuva 19).

Seuraavat parametrit vaikuttavat konvektiovirtauksiin:

- Lämmönlähteen muoto ja pinta
- Lämmönlähteen pintalämpötila
- Lämpötehon konvektio-osuus
- Huonetilan keskilämpötila
- Käytetyn ilman vyöhykkeen korkeus suhteessa lämmönlähteiden sijaintiin (korkeus) huonetilassa.

Ihmisten, valaisimien ja koneiden aiheuttamat konvektiovirtaukset voidaan arvioida näiden lämmönlähteiden tehon ja sijainnin perusteella (katso taulukot 1 ja 2).

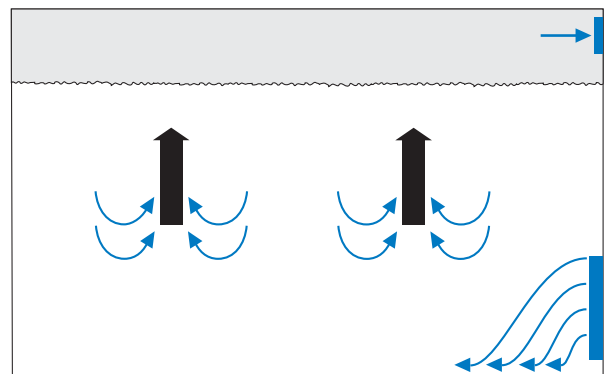
Taulukko 1. Ihmisen aiheuttamat konvektiovirtaukset.

Aktiiviteetti	met	Lämpöulos W	Ilmavirta l/s	
			1,2 m kork.	1,8 m kork.
Istuminen (lepo)	1,0	100	8-10	-
Istumatyö	1,2	130	10-12	-
Seisten, kevyt	1,6	170	-	25-30
Seisten, normaali	2,0	200	-	30-35
Seisten, raskas	3,0	300	-	35-40

Met: metabolismi (aineenvaihdunta), 1 met = 58 W/m² kehon pinta-alaa.

Taulukko 2. Lämmönlähteiden aiheuttamat konvektiovirtaukset.

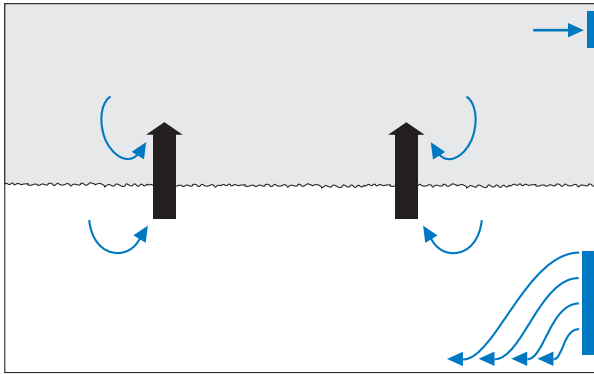
Lämmönlähde	Ilmavirta l/s per W	
	1,2 m kork.	1,8 m kork.
Pöytälamput	0,11	0,20
Kattavalaistus	-	-
Konet	0,10	0,20
Aurinkokuorma	0,11	0,22



Kuva 18. Syrjäyttävä ilmanvaihto ja riittävä ilmavirtaus.

Syrjäyttävä ilmanvaihto

Teoria



Kuva 19. Syrjäyttävä ilmanvaihto ja riittämätön ilmavirtaus.

Lämpötilagradientti

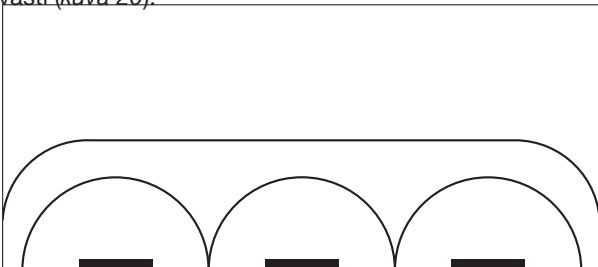
Mukavien lämpöolosuhteiden vaatimus oleskeluyöhykkeellä rajoittaa lämpötilagradientin suuruutta. Taulukossa 3 esitetään Lindab Comfortin suurimmat suositusarvot oleskeluyöhykkeen lämpötilagradientille erilaisten toimintojen tapauksessa. Myös suurimmat sallitut alilämpötilat ($t_r - t_i$) on ilmoitettu Lindabin COMDIF-tuloilmalaitteille. Lämpötilagradientiksi oleskeluyöhykkeellä (K/m) voidaan hyvällä tarkkuudella asettaa puolet alilämpötilasta $t_r - t_i$ (K).

Taulukko 3. Lämpötilajakaumat ja alilämpötilat.

Aktiviteetti	Max. lämpötilagradientti (K/m)	Max. alilämpötila $t_r - t_i$ (K)
Istuminen (lepo)	1,5	3,0
Istumatyö	2,0	4,0
Seisten, kevyt	2,5	5,0
Seisten, normaali	3,0	6,0
Seisten, raskas	3,5	7,0

Lähivöhyke

Lähivöhykkeen koko on ilmoitettu tuotteen datalehti erikseen jokaiselle päätelaitteelle. Toistensa lähelle sijoitetut päätelaitteet suurentavat lähivöhykettä huomattavasti (kuva 20).



Kuva 20. Päätelaitteet sijoitettu liian lähelle, mikä rajoittaa yksitällisen päätelaitteen induktiota.

Suuri ilmavirta yhdestä päätelaitteesta voi aiheuttaa liian suuren lähivöhykkeen (kuva 21). Kun ilmavirta jaetaan kahdelle päätelaitteelle, saadaan pienemmät lähivöhykkeet (kuva 22).

Mahdollisimman pienten lähivöhykkeiden saavuttamiseksi ja huonetilan optimaaliseksi hyödyntämiseksi ilmavirta tulisi jakaa tasaisesti mahdollisimman monelle päätelaitteelle.



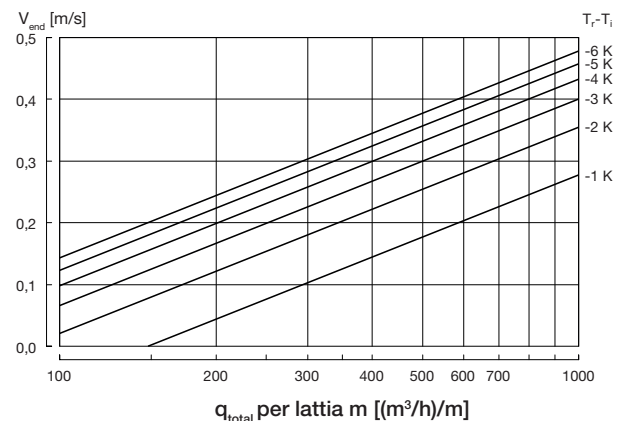
Kuva 21. Liian suuri ilmavirta yhdestä päätelaitteesta aiheuttaa suuren lähivöhykkeen.



Kuva 22. Pienempi ilmavirta laitetta kohti ja pienemmät lähivöhykkeet.

Useita päätelaitteita

Kun useita päätelaitteita sijoitetaan liian lähelle, lähivöhyke kasvaa, kuten nähdään kuvasta 20, koska laitteiden välille voi syntyä virtauksia. Tietyllä etäisyydellä laitteista syntyy kuitenkin tasainen virtaus, jonka nopeus on kutakuinkin vakio. Tämä loppunopeus riippuu kokonaisilmavirrasta seinän pituusmetriä kohti sekä alilämpötilasta. Kuvasta 23 voidaan lukea tämä loppunopeus. Usein voi olla järkevää jakaa ilma päätelaitteille, jotka sijaitsevat vierekkäisillä seinillä. Päätelaitteet pitää silloinkin sijoittaa seinille tasaisesti jaettuna, koska myös lähellä nurkkaa olevien laitteiden välillä saattaa syntyä virtauksia.



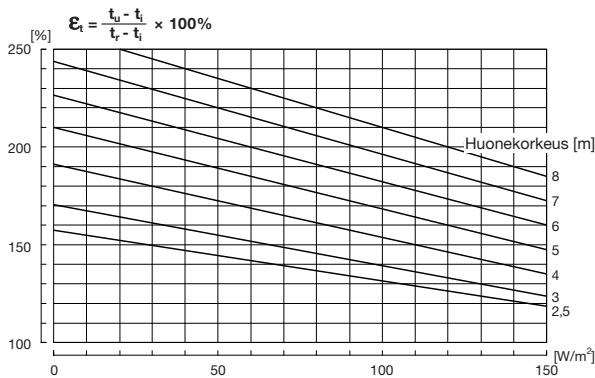
Kuva 23. Loppunopeus tasaisella ilmavirtauksella.

Syrjäyttävä ilmanvaihto

Teoria

Teho

Syrjäyttävän ilmanvaihtojärjestelmän tehon laskemiseksi on tiedettävä lämpötilaero $t_u - t_i$, johon vaikuttavat lämpökuorma, huonekorkeus ja alilämpötila ($t_r - t_i$). Laskettaessa lämpötilatehokkuutta ja tarvittavaa lämpötilaeroa $t_u - t_i$ lasketaan mukaan 50% katossa olevien lämmönlähteiden (esim. valaisimien) ilmoitetusta tehosta. Kuvasta 24 voidaan lukea lämpötilatehokkuus ε_t eri huonekorkeuksien ja lämpökuormien yhdistelmillä.



Kuva 24. Lämpötilatehokkuuden riippuvuus huonekorkeudesta ja lämpökuormasta.

Laskentaesimerkki

Huonetilavuus: $P \times L \times K = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$

Terminen kuormitus:

10 henkeä, istumatyö ($10 \times 130 \text{ W}$) = 1300 W (22 W/m²)

10 pöytävalaisinta á 60 W ($10 \times 60 \text{ W}$) = 600 W (10 W/m²)

10 konetta á 100 W ($10 \times 100 \text{ W}$) = 1000 W (17 W/m²)

Yhteenlaskettu kuormitus = 2900 W (48 W/m²)

Vähimmäisilmavirtaus (taulukosta 1 ja 2):

$q_{\min} = 10 \text{ henkeä} \times 11 \text{ l/s/henkilö} + 10 \text{ pöytävalaisinta} \times 60 \text{ W/valaisin} \times 0,1 \text{ l/s/W} + 10 \text{ konetta} \times 100 \text{ W/kone} \times 0,1 \text{ l/s/W} = 270 \text{ l/s}$

Tarvittava lämpötilaero ($t_u - t_i$):

$$t_u - t_i = \frac{2900 \text{ W}}{\frac{270 \text{ l/s}}{1000 \text{ l/m}^3} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} = 8,9 \text{ K}$$

Kuvasta 24 voidaan lukea lämpötilatehokkuudeksi $\varepsilon_t = 178\%$ huonekorkeudella 4 m ja lämpökuormalla 48 W/m².

Lämpötilaeroksi $t_r - t_i$ saadaan näin

$$\varepsilon_t = \frac{t_u - t_i}{t_r - t_i} \Leftrightarrow t_r - t_i = \frac{t_u - t_i}{\varepsilon_t} = \frac{8,9 \text{ K}}{1,78} = 5 \text{ K}$$

mikä antaa oleskeluvyöhykkeelle lämpötilajakauman 2,5 K/m (koska lämpötilajakaumaksi oleskeluvyöhykkeellä voidaan hyvällä tarkkuudella asettaa puolet alilämpötilasta $t_r - t_i$). Lindab suosittelee lämpötilajakaumaksi < 2 K/m, ja sen vuoksi ilmavirtausta on lisättävä.

Lämpötilajakauma 2 K/m antaa $t_r - t_i = 4 \text{ K}$ ja muuttumattomalla lämpötilatehokkuudella 178% hyväksyttäväksi lämpötilaeroksi tulee $t_u - t_i = 7,1 \text{ K}$.

Lämpökuorman 2900 W poistamiseksi ilmavirran arvoksi on muutettava:

$$q = \frac{2900 \text{ W}}{7,1 \text{ K} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1007 \text{ J/kg/K}} \times 1000 \text{ l/m}^3 = 337 \text{ l/s}$$

Äänitason suunnittelu

Teoria

Äänitason suunnittelu

Äänitason esitetään luettelon diagrammeissa A-painotettuna äänentehotasona L_{WA} päätelaitteelle asennettuna yhden metrin pituiseen suoraan kanavaan, jonka halkaisija on sama kuin päätelaitteen liitäntä. Todellinen kuulemamme äänenpainetaso lasketaan alla olevan mukaan.

Käytetyt lyhenteet

A	Huoneen kokonaisabsorptiopinta-ala	[m ²]
K_{ok}	Äänentehotason korjauskerroin	[dB]
L_A	A-painotettu äänenpainetaso	[dB(A)]
L_{WA}	A-painotettu äänentehotaso	[dB(A)]
L_{Wok}	Äänentehotaso oktaavikaistoittain	[dB]
L_p	Äänenpainetaso	[dB]
D	Huonevaimennus	[dB]
L_w	Äänentehotaso	[dB]
V	Huoneen tilavuus	[m ³]
T_s	Huoneen jälkikaiunta-aika	[s]
D	Huonevaimennus	[dB]
Q	Suuntakerroin	[-]
Δ	Äänentehotason kasvu samanlaisten äänilähteiden annetulla määrällä	[dB]
n	Etäisyys lähimmästä päätelaitteesta	[m]
α	Absorptiokerroin	[-]
n	Laitteiden lukumäärä	[-]

Äänenpainetaso laskeminen

Kokonaisäänenteho L_w tietyllä määrällä samanlaisia päätelaitteita saadaan kertomalla logaritmisesti laitteiden lukumäärä yksittäisen laitteen äänentehotasona.

$L_w = L_{w1} \otimes n$ (\otimes = logaritminen kertolasku) jossa L_{w1} on yksittäisen päätelaitteen äänentehotaso [dB] ja n on laitteiden lukumäärä.

Kokonaisäänenteho voidaan laskea kuvan 25 avulla kaavalla:

$L_w = L_{w1} + \Delta$ jossa Δ on äänentehotason kasvu samanlaisten äänilähteiden annetulla määrällä.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Δ	0	3,0	4,8	6,0	7,0	7,8	8,5	9,0	9,0	10,0	11,8

Kuva 25. Äänentehotason kasvu (logaritminen kertolasku) samanlaisten äänilähteiden eri määrillä.

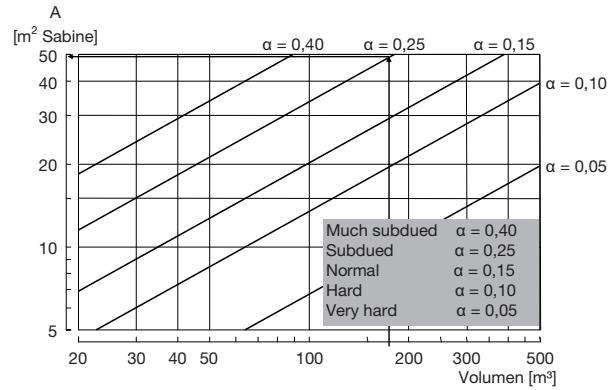
Kun äänilähteet ja huoneen absorptiopinta-ala ovat tiedossa, huonevaimennus lasketaan kuvista 26, 27 ja 28 yhden tai useamman samanlaisen äänilähteen tapauksessa.

Todellinen äänenpainetaso on äänentehotason ja huonevaimennuksen erotus, kun L_p on äänenpainetaso [dB], L_w on äänentehotaso [dB] ja D on huonevaimennus [dB].

Jos samassa tilassa on useampia äänilähteitä, äänenpainetaso tietyssä pisteessä määritetään laskemalla yksittäisten äänilähteiden äänenpainetasot logaritmisesti yhteen (kuva 29).

A voidaan laskea myös jälkikaiunta-ajasta kaavalla:

$$A = 0.16 \times \frac{V}{T_s}$$



Kuva 26. Suuntakerroin äänilähteiden eri sijainneille sekä huoneilavuuden ja absorptiokvivalentin välisen suhde.

Laskentaesimerkki

Huoneessa, jonka mitat ovat $P \times L \times K = 10 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$, on asennettu kattoon neljä päätelaitetta. Kunkin laitteen äänentehotaso on 29 dB(A). Huone on "vaimennettu", ja sen absorptiopinta-ala on $A \sim 50 \text{ m}^2 \text{ Sabine}$ (kuva 27).

Äänenpainetaso halutaan laskea 1,5 m korkeudella lattiasta.

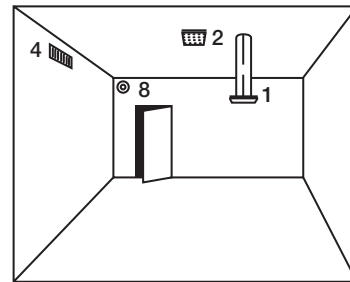
Neljän laitteen äänentehotaso: $L_w = 29 \otimes 4 = 29 + 6 = 35 \text{ dB(A)}$ (kuva 25).

Kattoon asennettujen laitteiden suuntakerroin $Q = 2$, ja näin saadaan (kuvasta 27):

$$\sqrt{n} / \sqrt{Q} = 1,4$$

1,5 m korkeudella lattiasta etäisyys lähimpään laitteeseen on $r = 1 \text{ m}$, joten huonevaimennukseksi saadaan $D = 9 \text{ dB}$ kuvasta 28.

Äänenpainetaso huoneessa: $L_A = 35 \text{ dB(A)} - 9 \text{ dB} = 26 \text{ dB(A)}$.

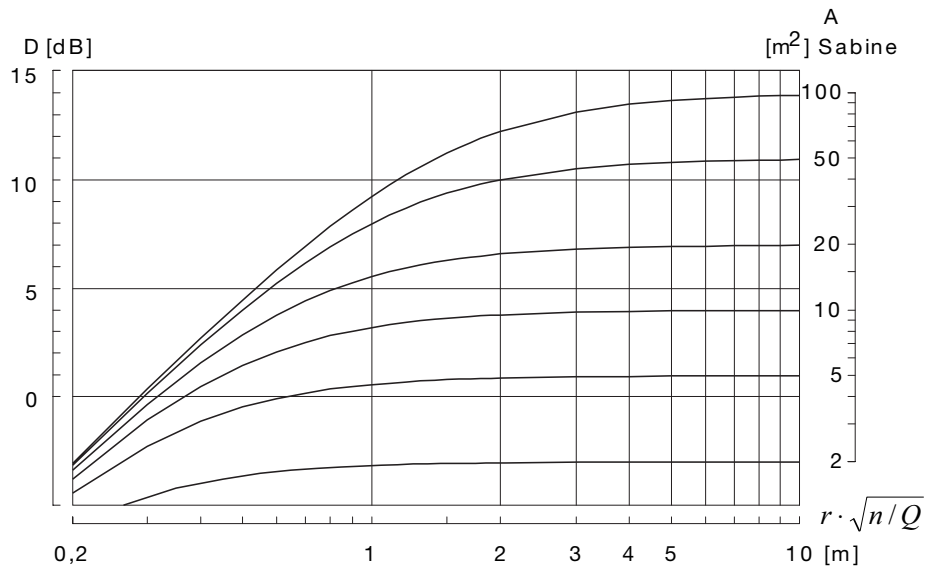


n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
Q	\sqrt{n} / \sqrt{Q}										
1	1,0	1,4	1,7	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0	3,2	3,9
2	0,7	1,0	1,2	1,4	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	2,7
4	0,5	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
8	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,9	1,0	1,1	1,1	1,4

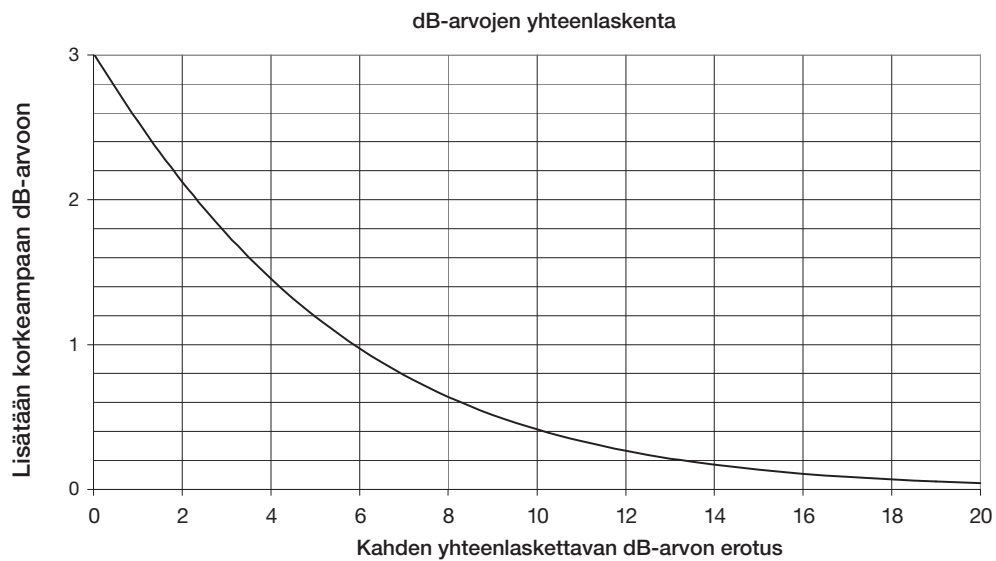
Kuva 27. Suuntakerroin äänilähteiden eri sijainneille ja suhde \sqrt{n} / \sqrt{Q} äänilähteiden lukumäärän ja suuntakertoimen funktiona (kuva).

Äänitason suunnittelu

Teoria



Kuva 28. Huonevaimennus absorptiopinta-alan ja äänilähteiden lukumäärän funktiona.



Kuva 29. Äänitasojen laskeminen yhteen (äänentehotasojen tai äänenpainetasojen logaritminen yhteenlasku).

Esimerkiksi. kaksi lähdettä 41 dB ja 47 dB;
 ero on $47 - 41 = 6$;
 kuvaajasta: 6 X-akselilla = 1 Y-akselilla;
 $47 + 1 = 48$ dB tuloksena oleva taso.



Useimmat meistä viettävät suurimman osan ajasta sisätiloissa. Laadukas sisäilma on ratkaiseva tekijä, kuinka viihdymme, kuinka tuottavia olemme ja kuinka pysymme terveinä.

Siksi me Lindabilla olemme ottaneet tärkeimmäksi tavoitteeksi panostaa sisäilmaan, joka lisää ihmisten hyvinvointia. Päästäksemme tavoitteeseen kehitämme energiatehokkaita ilmanvaihtoratkaisuja ja kestäviä rakennustuotteita kierrätettävistä materiaaleista. Tarjoamamme tuotteet ja ratkaisut ovat kestäviä sekä ihmisille että ympäristölle.

[Lindab](#) | Laadukasta sisäilmaa