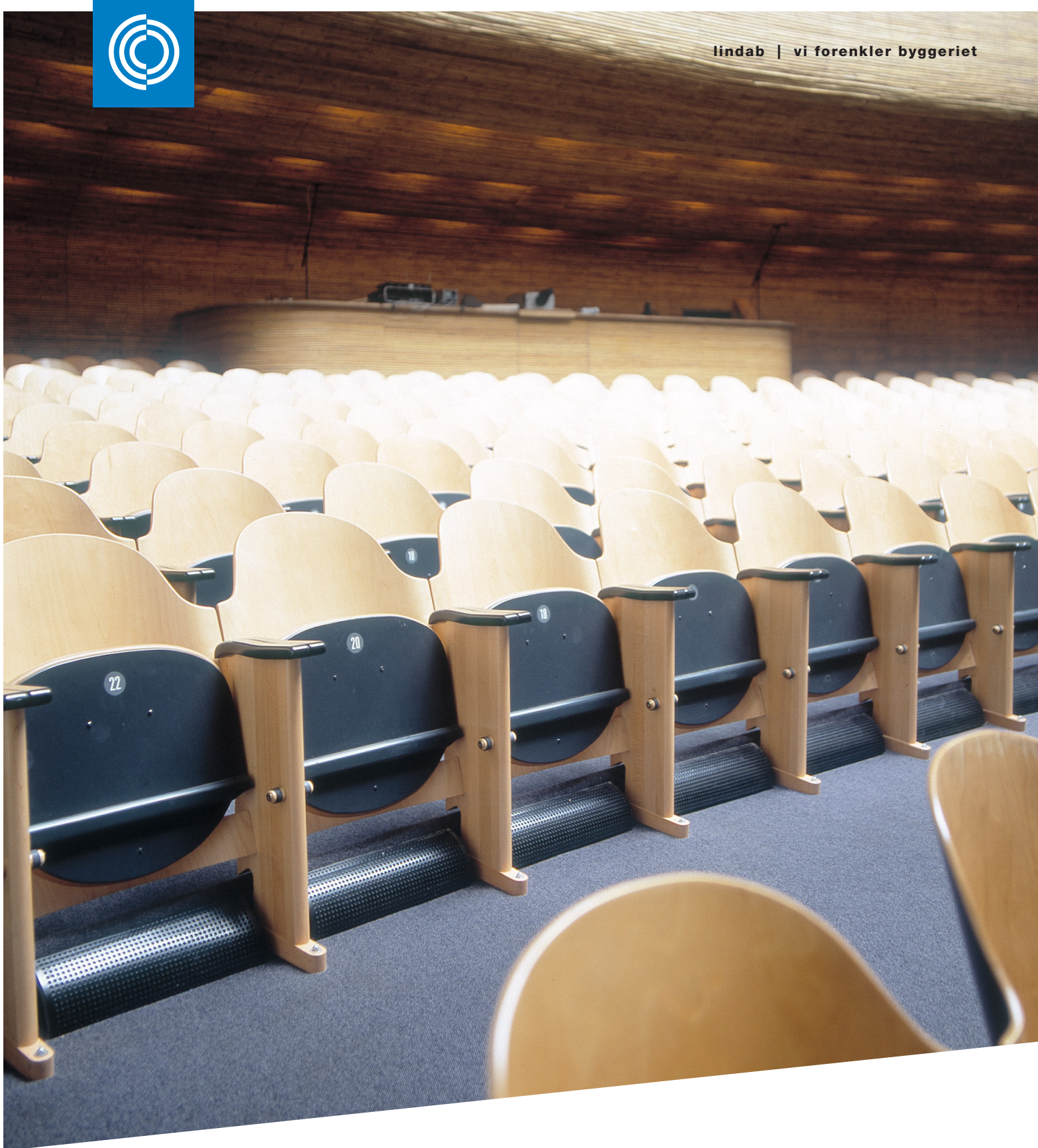




Lindab Luft Teori

Luftbårne løsninger



Teori

Indhold

Side

Generelt om luftfordelingssystemer

3

Opblandingsventilation

3

Fortrængningsventilation

3

Lavimpulsindblæsning

4

Valg af luftfordelingssystem

4

Opblandingsventilation

6

Betegnelser

6

Tryktab

6

Lydniveau

6

Isoterm indblæsning

6

Coandaeffekt

7

Hastighed i strålen

7

Termisk indblæsning

8

Projektering af opblandingsventilation

8

Fortrængningsventilation

12

Betegnelser

12

Vertikal temperaturfordeling

12

Temperatureffektivitet

12

Tryktab

12

Lydniveau

12

Nærzone

13

Projektering af fortrængningsventilation

13

Projektering af lydniveau

16

Betegnelser

16

Bestemmelse af lydniveau

16

Luftfordelingssystemer

Teori

Opblandingsventilation

Ved opblandingsventilation tilføres luften med relativ stor hastighed udenfor opholdszonen, som regel fra loft eller væg. Den store indblæsningshastighed medfører, at der medrives en betydelig mængde rumluft. Indblæsningshastigheden bør holdes på et niveau, der sikrer, at opblandingen er effektiv, og at hastigheden er faldet til det ønskede niveau, inden strålerne når opholdszonen. Dette stiller krav til indblæsningsarmaturernes effektivitet med hensyn til indblæsningshastighed og opblanding.

En forøgelse af indblæsningshastigheden medfører en forøgelse af lydniveauet. Krav om et lavt lydniveau er således med til at begrænse armaturernes effektivitet. Temperatur og forureningskoncentration er stort set den samme i hele rummet, når der er tale om tilførsel af isotherm eller undertempereret luft.

Opblandingsventilation er relativt ufølsom over for ydre påvirkninger og kan anvendes både til opvarmning og køling.

Indblæsning af overtempereret luft

Da overtempereret luft er lettere end rumluften, kræver det betydelig energi at tvinge luften ned i opholdszonen. Dette bevirker, at kravet til den nedadgående indblæsningshastighed stiger med stigende lofthøjde og stigende overtemperatur. Ved stor lofthøjde er det som regel nødvendigt at blæse luften direkte lodret nedad.

Indblæsning af undertempereret luft

Den tungere undertempererede luft, som indblæses fra loftet, kan ved store termiske belastninger medføre for store hastigheder i opholdszonen. Strålerne fra armaturerne (normalt vandrette) og konvektionsstrømmene fra varmekilderne (personer, belysning, maskiner) resulterer i en hastighed i opholdszonen, som, udover armaturets indblæsningshastighed, afhænger af den fjernede effekt pr. arealenhed (W/m^2), fordelingen på de enkelte armaturer samt armaturernes spredningsmønster.

Tilførsel af både over- og undertempereret luft i samme armatur fra loftet kan i mange tilfælde ikke opfylde kravene til temperaturgradient, ventilationseffektivitet og hastighed i opholdszonen samtidig.

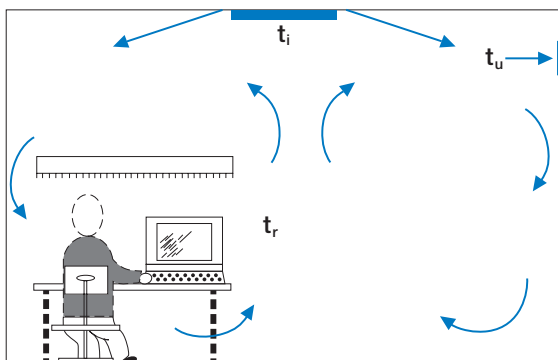


Fig. 1, Illustration af opblandingsventilation.

Løsningen på dette problem kan være motoriserede armaturer, som kan ændre indblæsningsmønsteret. En anden mulighed er at dimensionere armaturerne for kølesituationen og så supplere med lodrette hjælpe-dyser ved indblæsning af overtempereret luft.

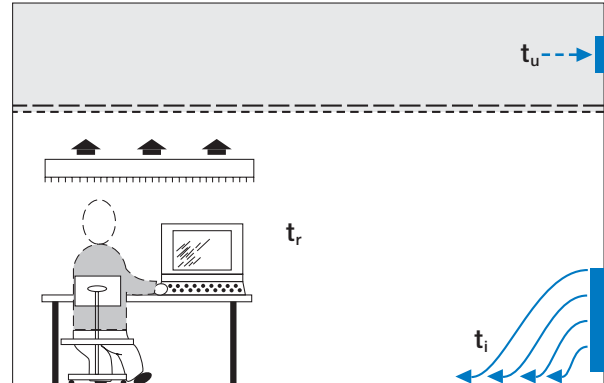


Fig. 2, Illustration af fortrængningsventilation.

Fortrængningsventilation

Ved fortrængningsventilation er det de termiske kræfter fra varmekilderne i rummet, der styrer luftfordelingen. Luften tilføres rummet direkte i opholdszonen i gulvniveau - med lav hastighed og undertemperatur. Luften udbreder sig over hele gulvet og fortrænger den varme, forurenede luft, som føres til loftet af konvektionsstrømmene fra varmekilderne. Udsugning bør ske ved loftet, hvor der dannes et varmt, "forurenat" lag.

Ventilationseffektiviteten ved fortrængningsventilation er på grund af lagdeling større end ved opblandingsventilation. Forskellen forøges ved større lofthøjde. Den samtidig forøgede temperatureffektivitet medfører, at man kan spare køleeffekt eller tilsvarende udnytte udeluftens køleeffekt bedre idet udsugningsluften er varmere og dermed transporterer mere effekt bort fra rummet. Fortrængningsventilation kan under normale forhold ikke anvendes til opvarmning.

Armaturets nærzone afhænger primært af den tilførte volumenstrøm, undertemperaturen samt af armaturets placering. Indenfor det anbefalede volumenstrømsområde har armaturets størrelse ingen praktisk indflydelse på nærzonen. Nærzonens geometri kan dog ændres efter behov ved at justere på fordelingsdyserne.

Luftfordelingssystemer

Teori

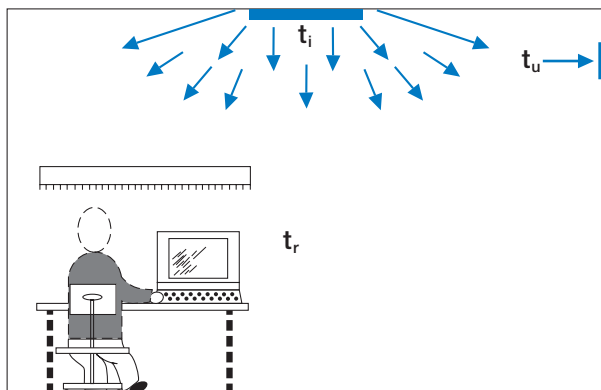


Fig. 3, Illustration af lavimpulsindblæsning.

Lavimpulsindblæsning

Ved lavimpulsindblæsning tilføres undertempereret luft fra loftet med lav hastighed. Den rene luft fortrænger den forurenede.

Det bedste resultat opnås ved at fordele den indblæste luftmængde i små portioner spredt over hele loftet.

Systemet kan ikke anvendes til opvarmning.

Valg af luftfordelingssystem

De forskellige systemer har deres fordele og ulemper. Disse bør derfor nøje afvejes forud for valg af systemløsning.

Fælles for systemløsningerne er, at der opnås bedre termisk og atmosfærisk komfort ved anvendelse af flere små armaturer frem for få store. Samtidig er det vigtigt at fordele armaturerne jævnt i lokalet.

Fordele og ulemper fremgår af nedenstående oversigt.

Opblandningsventilation

- + Kan anvendes til køling og opvarmning.
- + Stor induktion giver mulighed for indblæsning med stor undertemperatur.
- + Stort set samme temperatur og luftkvalitet i hele rummet, dvs. lille temperaturgradient og lille koncentrationsgradient.
- + Stabilt strømningsmønster.
- + Fleksibilitet med hensyn til placering af armaturer.
- + Ingen reduktion af brugsareal (nærzone).
- Risiko for kortslutning og dermed lav ventilations-effektivitet (specielt ved opvarmning).
- Større effektbehov ved køling.
- Risiko for træk ved stor køleffekt.

Fortrængningsventilation

- + Høj ventilations- og temperatureffektivitet.
- + Høj luftkvalitet i opholdszonen.
- + Lave hastigheder i opholdszonen, dog ikke i nærzonen.
- + Velegnet til køling af højloftede lokaler.
- Møbleringsfrihed begrænses og brugsarealet reduceres pga. armaturets nærzone.
- Lav induktion.
- Stor vertikal temperaturgradient.
- Opvarmning ikke mulig.

Lavimpuls

- + Ingen reduktion af brugsareal.
- + Velegnet ved store luftskifter med begrænset undertemperatur.
- + Høj lokal effektivitet.
- Lav induktion.
- Kan ikke bruges til opvarmning.
- Risiko for kortslutning ved udsugning i loftet.

Luftfordelingssystemer

Teori

Valg af luftfordelingssystem

		Opblanding								Fortrængning			Lavimpuls
		Dyser	Riste	Bagkantindblæsning	Eensp. diffusorer	Perf. diffusorer	Flerkonediffusorer	Rotationsarmatur	Spaltdiffusorer	Vægarmaturer	Gulvarmaturer	Stoleindblæsning	
Kontor	Opv. + køl. 0-30 W/m ² 30-60 W/m ² >60 W/m ²			••	•• ••• ••	•• ••• ••	•• ••• ••	••• ••• ••	•	•• ••	••		
Forsamling	Konference Teater, Biograf Auditorie Restaurant Undervisning Udstilling		•	••	• • ••	•• • ••	•• • ••	•• • ••	•	••• •• ••	•• •• ••	••• ••	
Forretning	Butikker Supermarked	• •	• •	••	•• •••	••• •••	••• •••	••• •••	•				
	Sportshaller Svømmehaller	••• •••	•• ••			•	•• ••	•• ••		•			
	Storkøkken				•	••	••	••		••			•••
	Laboratorier				•	••	••	••		••			•••
	"Rene rum" Boliger Institutioner		•• ••	•• ••	• ••• •••	•• ••• •••	•• ••	•••	••	••			

• Brugbar •• God ••• Bedst

Valg af luftfordelingssystem i industrimiljø

Ventilations-behov	Varme-behov	Køle-behov	Opblandings-ventilation	Fortrængnings-ventilation	Lavimpuls
✱	✱	✱	X		
✱	✱	✱	X		
✱	✱	✱	X		
✱	✱	✱		X	X
✱	✱	✱	X		X
✱	✱	✱	X		
✱	✱	✱	X		
✱	✱	✱		X	X

✱ Lille behov ✱ Stort behov

Mix ventilation

Teori

Opblandingsventilation

Et luftfordelingsarmatur skal tilføre en bestemt mængde luft, således at rummet bliver tilstrækkeligt gennemventileret, samtidig med, at krav til lydniveau, lufthastighed og temperaturgradient i opholdszonen overholdes. For at kunne overholde disse krav har man brug for projekteringsregler, hvoraf de vigtigste er angivet i det følgende. Ved valg af armatur skal kravene til tryktab, lydniveau og kastelængde fastlægges. Disse data findes for hvert enkelt produkt separat.

Udvælgelses- og ydelsesdata vist i Lindabs produktdatablade er resultater af målinger udført i Lindabs laboratorium og er udført med moderne og nøjagtige måleinstrumenter. I praksis er forholdene sjældent så ideelle som i et laboratorium, idet bygningsmæssige forhold, møblering, placering af luftfordelingsarmaturer m.v. har stor indflydelse på stråleudbredelse i rummet. Lindab tilbyder at efterprøve forholdene i praksis ved at udføre fuldskalaforsøg, hvilket ofte er værdifuldt ved større og komplicerede opgaver.

Betegnelser

A	Rummets totale absorptionsareal	[m ²]
b _h	Maksimal horisontal spredning til isovelen 0,2 m/s	[m]
b _v	Maksimal vertikal spredning til isovelen 0,2 m/s	[m]
F	Armaturets effektive friareal (q/v ₀ , hvor v ₀ er den målte indblæsningshastighed)	[m ²]
K _{ok}	Korrektionsværdi for lydeffektniveau i oktavbånd	[dB]
l _{0,2}	Kastelængde til isovelen 0,2 m/s	[m]
l _{0,0}	Vendepunkt ved vertikal indblæsning	[m]
l _b	Afstand fra armatur til den position, hvor spredningen er maksimal	[m]
L _A	A-vægtet lydeffektniveau	[dB(A)]
L _{WA}	A-vægtet lydeffektniveau	[dB(A)]
L _{Wok}	Lydeffektniveau i oktavbånd	[dB]
L _p	Lydeffektniveau	[dB]
L _W	Lydeffektniveau	[dB]
ΔL	Egendæmpning	[dB]
D	Rumdæmpning	[dB]
Δp _t	Totaltrykfald	[Pa]
q	Volumenstrøm	[m ³ /h], [l/s]
Δt	Temperaturdifferens mellem rumluft og indblæst luft	[K]
v ₀	Armaturets indblæsningshastighed	[m/s]
v _x	Strålehastigheden i afst. x fra armaturets centrum	[m/s]
v _{term}	Termisk maksimalhastighed i opholdszonen	[m/s]

Tryktab

Diagrammerne viser det totale trykfald for armaturet (ved $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), d.v.s. summen af statisk og dynamisk tryk (inklusive evt. trykfordelingsboks), tilsluttet en lige kanal med en længde på 1 m og samme dimension som armaturet.

Lydniveau

Diagrammerne i produktdatabladene angiver det A-vægtede lydeffektniveau L_{WA} for armatur og evt. trykfordelingsboks tilsluttet med en lige kanal med en længde på 1 m og samme dimension som armaturet.

Lydeffektniveau er et mål for lydens styrke, dvs. de tryk-svingninger vi opfatter, mens lydeffektniveau er en parameter, der karakteriserer lydkilden. Begge størrelser angives normalt i enheden dB (decibel), hvilket kan give anledning til en del forvirring.

Lydeffekt (L_p)

Et mål for lydens styrke, karakteriseret ved de tryk-svingninger, der opfattes af øret eller måles med en mikrofon på en støjmåler. Lydeffekt måles i Pascal (Pa) og angives hyppigst som lydeffektniveau i decibel (dB) eller dB(A).

Lydeffekt (L_W)

Den effekt, en lydkilde (fx en maskine) udsender i form af lyd. Lydeffekten måles i Watt (W) og angives hyppigst som lydeffektniveau i decibel (dB) eller dB(A).

I produktdatabladene er armaturernes lydmæssige egenskaber angivet som lydeffektniveau.

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

hvor N er den aktuelle lydeffekt [W], der tilføres luften i form af tryk-svingninger og $N_{re} = 10^{-12} \text{ W}$ er referencydefekten.

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

hvor p er det aktuelle lydtryk [N/m²] og $p_{re} = 2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ er referencydtrykket.

Rumdæmpningen D [dB] er forskellen mellem lydeffektniveau og lydeffektniveau

$$L_p = L_W - D$$

Det A-vægtede lydeffektniveau, L_{WA} omregnes til lydeffektniveau i de enkelte oktavbånd ved:

$$L_{Wok} = L_{WA} + K_{ok}$$

hvor K_{ok} er en korrektionsværdi. K_{ok} er angivet på tabel-form for hvert armatur.

Egendæmpning

Angives for hvert armatur reduktionen af lydeffektniveau-et fra kanal til rum (inkl. enderefleksion).

Isoterm indblæsning

Alle tekniske data gælder ved isoterme forhold.

Kastelængde

Kastelængden $l_{0,2}$ defineres som den største afstand fra armaturets centrum til isovelen 0,2 m/s.

Værdierne for $l_{0,2}$ gælder for armaturer monteret i loftet.

(Fig. 4)

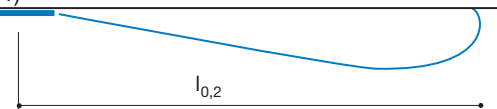


Fig. 4, Kastelængde $l_{0,2}$ for armaturer monteret i loft.

Mix ventilation

Teori

Ved frithængende montage, dvs. armaturer monteret mere end 300 mm fra loftet (Figur 5), reduceres kastelængden med 20%, således at $l_{0,2}$ frithængende = $0,8 \times l_{0,2}$.

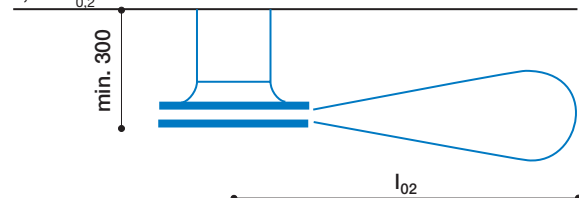


Fig. 5, Frithængende armatur.

For riste gælder $l_{0,2}$ for montering mere end 800 mm fra loftet. (Figur 6).

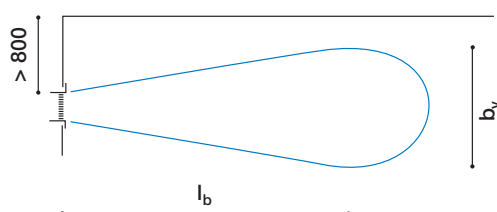


Fig. 6, Kastelængde for rist monteret mere end 800 mm fra loft.

Hvis en rist er monteret mindre end 300 mm fra loftet (Figur 7) forlænges kastelængden $l_{0,2}$ med 40%, således at $l_{0,2}$ rist ved loft = $1,4 l_{0,2}$.

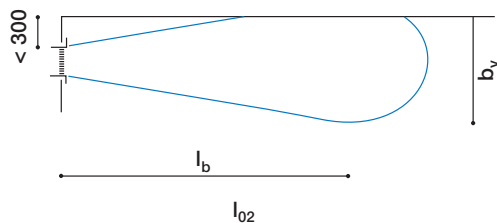


Fig. 7, Kastelængde for rist monteret mindre end 300 mm fra loft.

Spredning

Den største vertikale spredning b_v angiver den største vertikale afstand fra loftet til isovelen 0,2 m/s (Figur 8).

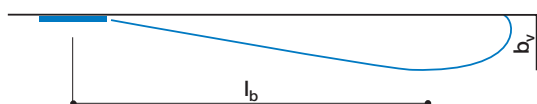


Fig. 8, Vertikal spredning.

Den horisontale spredning betegnes b_h og angiver luftstrålens maksimale spredning i horisontalplanet ved isovelen 0,2 m/s (Figur 9). Afstanden fra armaturet til det plan, hvor den største spredning findes, betegnes l_b . b_v , b_h og l_b angives for de enkelte armaturer som funktion af kastelængden $l_{0,2}$.

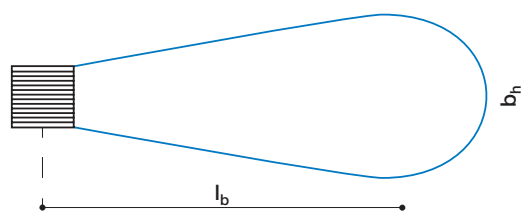


Fig. 9, Horisontal spredning.

Coandaeffekt

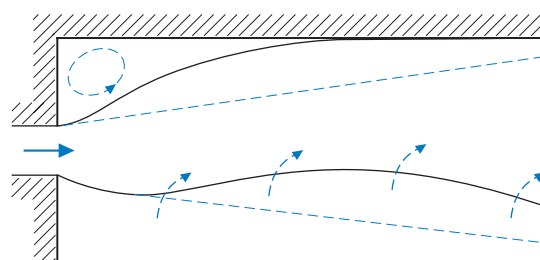


Fig. 10, Strømning med Coandaeffekt.

Når luften blæses ind langs en begrænsningsflade, f.eks. et loft, opstår der et undertryk mellem luftstrålen og loftet, som får strålen til at »klæbe« til loftet (Figur 10). Denne effekt, den såkaldte Coandaeffekt, har stor betydning for luftens fordeling, specielt ved indblæsning af undertempereret luft.

For at opnå så stor Coandaeffekt som muligt skal luften tilføres i små mængder pr. armatur og med så stor spredning på loftet som muligt, samt med størst mulig hastighed.

Det er således altid bedst at indblæse luften fra armaturet i et helt 360°-mønster uden afdækninger til nogen af siderne. Specielt bør spaltediffusorer (MTL) opdeles i aktive og inaktive sektioner for at undgå drop.

Hastighed i strålen

Lufthastigheden i kernestrålen kan inden for et begrænset område beregnes efter

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

hvor x er afstanden til det punkt i kernestrålen, hvor lufthastigheden er v_x m/s.

Eksempel

Et armatur har en kastelængde på $l_{0,2} = 3$ m. Afstanden til det punkt, hvor strålehastigheden er 0,3 m/s bliver således:

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

Mix ventilation

Teori

Termisk indblæsning

Kastelængdeværdierne vist i databladene gælder ved isothermisk indblæsning.

Ved under- eller overtempereret indblæsningsluft virker de termiske kræfter ved henholdsvis at tvinge strålen nedad (undertempereret) eller give strålen opdrift (overtempereret). En beskrivelse af strømningstilstanden vil kræve en bestemmelse af forholdet mellem temperaturdifferens og indblæsningshastighed (i stråleteorien udtrykt ved Archimedes tal). Ønskes en detaljeret beregning af lufthastigheder, hvor der tages hensyn til dette, samt visualisering af strømningstilstanden fra armaturerne, henvises til softwareprogrammet DIMcomfort.

Nedenstående tommelfingerregler for horisontal og vertikal indblæsning med under- eller overtempereret luft kan dog anvendes som korrektion for kastelængden i en mere simpel beregning.

Horisontal indblæsning ved loft

1. Ved horisontal indblæsning med undertempereret luft reduceres kastelængderne med 1,5% pr. grad (Figur 11), og den vertikale spredning b_v øges.
2. Ved horisontal indblæsning med overtemperatur øges kastelængderne med 2% pr. grad (Figur 11).

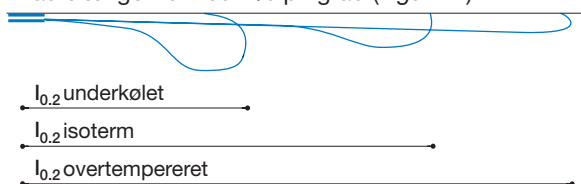


Fig. 11, Kastelængde $I_{0,2}$ for armaturer monteret i loft.

Vertikal indblæsning fra loft

Kastelængderne for vertikal indblæsning gælder ved isotherme forhold.

1. Ved undertempereret luft forøges kastelængden. Således fordobles kastelængden ved $\Delta t = -10^\circ\text{C}$.
2. Ved indblæsning med overtempereret luft reduceres kastelængden. Således halveres kastelængden ved $\Delta t = 10^\circ\text{C}$.

For produkter, som kan indstilles til vertikal indblæsning findes desuden særskilte vendepunktsdiagrammer til overtempereret luft ($\Delta t = +5\text{K}$, $+10\text{K}$ og evt. $+15\text{K}$) for vendepunktet $I_{0,0}$ sammen med øvrige produktdata.

Projektering af opblandingsventilation

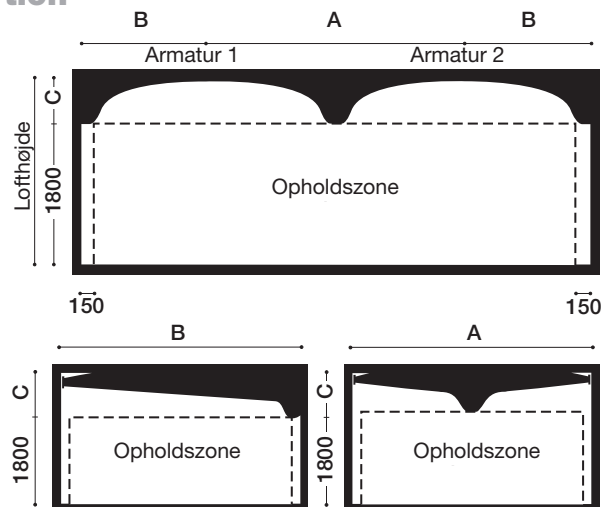


Fig. 12, Projektering af opblandingsventilation.

For at undgå hastigheder over 0,2 m/s i opholdszone skal armaturerne dimensioneres således, at kastelængderne $I_{0,2}$ har det rigtige forhold til afstandene A, B og C (Figur 12). For to mod hinanden blæsende armaturer skal følgende overholdes.

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

For et armatur, som blæser mod væg gælder:

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

Hvis 2 eller flere armaturer med parallelt rettet indblæsning (1-vejs eller 2-vejs) placeres med en indbyrdes afstand A, som er mindre end b_h , forlænges kastelængden efter:

$$I_{0,2} (\text{korrigeret}) = K \times I_{0,2}$$

hvor K er en korrektionsfaktor, der kan aflæses af Figur 13.

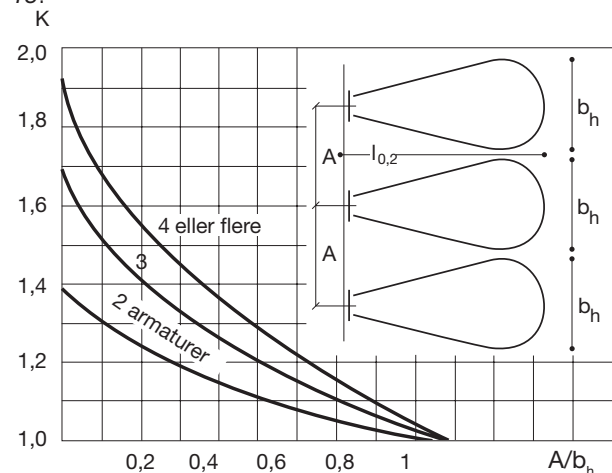


Fig. 13, Projektering af opblandingsventilation.

Mix ventilation

Teori

For dyser og frithængende armaturer med 1-vejs indblæsning kan strålens opdrift eller fald som følge af over- eller undertempereret indblæsningsluft aflæses af Figur 14.

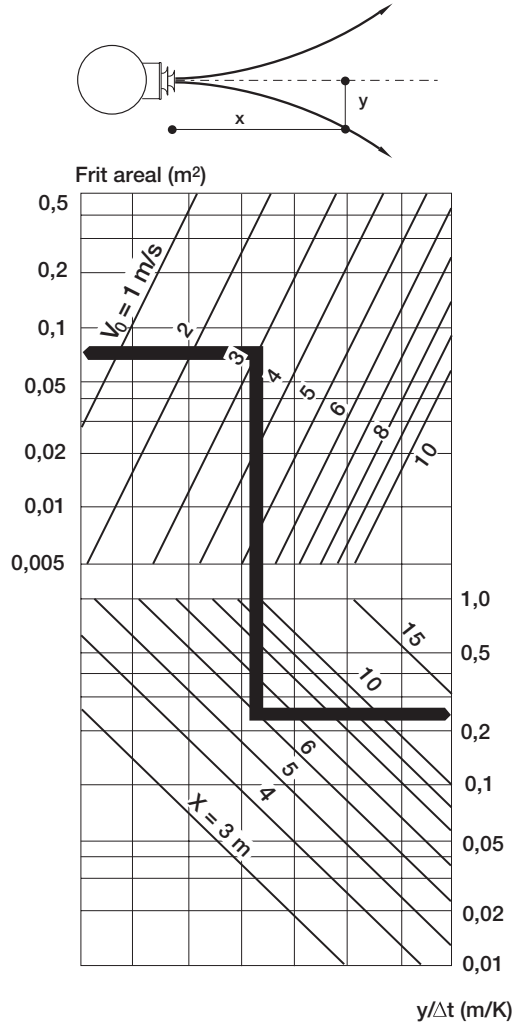


Fig. 14, Projektering af opblandingsventilation.

Eksempel

En dyse har et frit areal på 0,075 m².

Med en luftmængde på 756 m³/h fås en indblæsnings-hastighed $v_0 = 3$ m/s ($v_0 = q / A_0$).

På Figur 14 er indtegnet en vandret fed streg mellem $A_0 = 0,075$ m² og $v_0 = 3$ m/s.

Ved at følge den fede streg lodret ned til $x = 6$ m og derefter vandret til højre kan forholdet mellem y (opdrift/fald) og Δt (temperaturdifference mellem indblæsningsluft og rumluft) aflæses til 0,24.

Med en temperaturdifferens på 10 K fås en opdrift/fald på $y = 0,24$ m/K $\times$ 10 K = 2,4 m i en afstand på $x = 6$ m fra dysen.

For at undgå at luftstrålen afbøjes af evt. forhindringer skal minimumafstandene i Figur 15 overholdes.

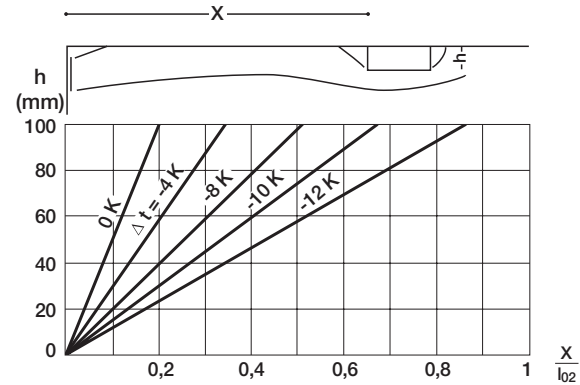


Fig. 15, Kastelængde $l_{0,2}$ for armaturer.

Varmebelastninger i rummet skaber opadgående konvektionsstrømninger, og tilsvarende opstår der nedadgående kolde konvektionsstrømninger af den indblæste luft.

Mix ventilation

Teori

Den beregnede maksimale hastighed v_{term} i opholdszonen, som opstår pga. af termiske strømninger, er vist i *Figur 16*. Strømningerne afhænger af varmebelastningen i rummet (W/m^2), samt af fordelingen af indblæsningsluften (antal armaturer og spredningsmønster), men ikke af impulsen af indblæsningen. Desuden er hastigheden beroende på loftshøjden.

Bestemmelsen af den maksimale hastighed i opholdszonen foretages ved hjælp af en empirisk model ud fra varmebelastningen (W/m^2), antal armaturer (W/armatur)

samt luftmønster (1-, 2-, 3-, 4-vejs) ved en loftshøjde på 2,5 m.

Hersker der tvivl om et projekt, eller ønskes særlige forhold undersøgt, tilbyder Lindab at efterprøve forholdene i praksis ved at udføre fuldskalaforøg, hvilket ofte er værdifuldt ved større og komplicerede opgaver.

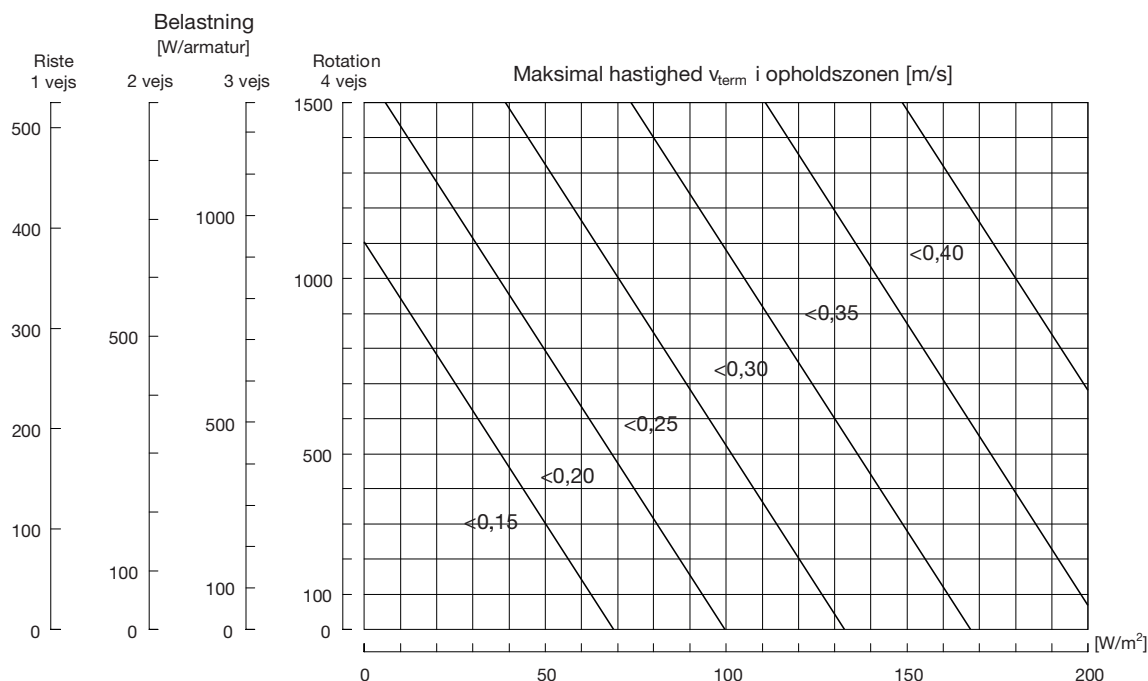


Fig. 16 a, Termisk maksimalhastighed i opholdszonen. Diagrammet er vejledende og gælder for en loftshøjde på 2,5 m.

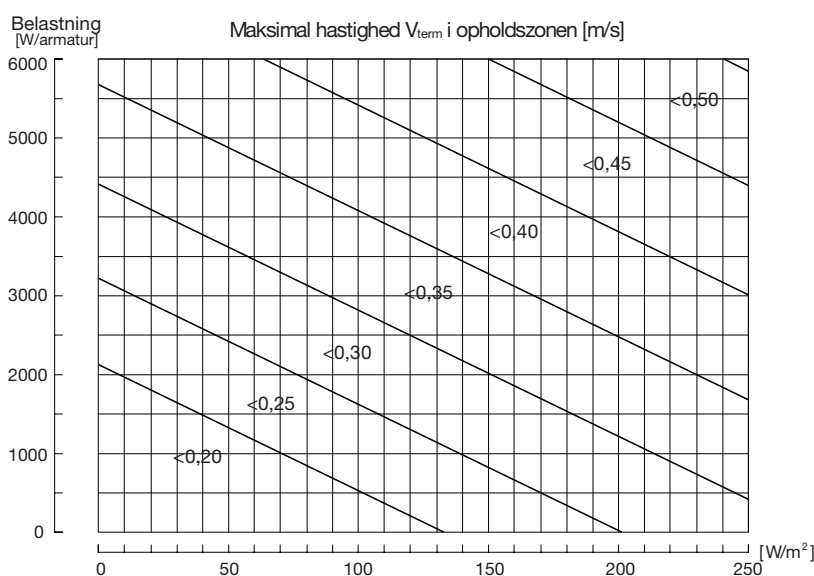


Fig. 16 b, Termisk maksimalhastighed i opholdszonen. Diagrammet er vejledende og gælder for loftshøjder > 4 m.

Mix ventilation

Teori

Beregningseksempel

Lokale: $L \times B \times H = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$

Termisk belastning:

10 pers., siddende aktivitet ($10 \times 130 \text{ W}$) = 1300 W (22 W/m²)

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

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

Samlet belastning = 2900 W (48 W/m²)

For at opnå tilfredsstillende luftkvalitet i lokalet regnes typisk med at ventilationen skal have en udelufttilførsel på 4-10 l/s pr. person samt 0,4 l/s pr. m² gulvareal. Benyttes 10 l/s kan følgende nødvendige volumenstrøm beregnes.

$$q_{\min} = 10 \text{ personer} \times 10 \text{ l/s pr person} + 60 \text{ m}^2 \times 0,4 \text{ l/s pr. m}^2 = 124 \text{ l/s}$$

Hvis ventilationen samtidig skal fjerne den samlede varmebelastning i lokalet, er det nødvendigt med en temperaturdifference Δt mellem indblæsningsluft og rum-/udsugningsluft. Δt kan bestemmes til:

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

Da en undertemperatur på næsten 20 K højst sandsynligt vil give anledning til termisk ubehag, eksempelvis pga. drop fra et loftarmatur, anbefales det at øge luftmængden og benytte en mindre undertemperatur. Vælges $\Delta t = 6 \text{ K}$ kan luftmængden bestemmes til:

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

Fortrængningsventilation

Teori

Fortrængningsventilation

Et luftfordelingsarmatur skal tilføre en bestemt mængde luft, således at rummet bliver tilstrækkeligt gennemventileret, samtidig med, at krav til lydniveau, lufthastighed og temperaturgradient i opholdszonen overholdes. For at kunne overholde disse krav har man brug for nogle projekteringsregler, hvoraf de vigtigste er angivet i det følgende.

Ved valg af armatur skal kravene til tryktab, lydniveau og kastelængde fastlægges. Disse data findes for hvert enkelt produkt separat.

Udvælgelses- og ydelsesdata vist i Lindabs produktdatablad er resultater af målinger udført i Lindabs laboratorium og er udført med moderne og nøjagtige måleinstrumenter. I praksis er forholdene sjældent så ideelle som i et laboratorium, idet bygningsmæssige forhold, møblering, placering af luftfordelingsarmaturer m.v. har stor indflydelse på stråleudbredelse i rummet. Lindab tilbyder at efterprøve forholdene i praksis ved at udføre fuldskalaforøg, hvilket ofte er værdifuldt ved større og komplicerede opgaver.

Betegnelser

$a_{0,2}$	Bredde af nærzone	[m]
$b_{0,2}$	Længde af nærzone	[m]
ε_t	Temperatureffektivitet	[-]
K_{ok}	Korrektionsværdi for lydeffektniveau	[dB]
L_A	A-vægtet lydtrykniveau	[dB(A)]
L_{WA}	A-vægtet lydeffektniveau	[dB(A)]
L_{Wok}	Lydeffektniveau i oktavbånd	[dB]
L_p	Lydtrykniveau	[dB]
L_w	Lydeffektniveau	[dB]
ΔL	Egendæmpning	[dB]
D	Rumdæmpning	[dB]
Δp_t	Totaltrykfald	[Pa]
q	Volumenstrøm	[m³/h], [l/s]
t_i	Indblæsningstemperatur	[°C]
t_r	Rumtemperatur (1,1 m over gulv)	[°C]
t_u	Udsugningstemperatur	[°C]
Δt	Temperaturdifferens mellem rumluft og indblæst luft	[K]
v_x	Strålehastigheden i afst. x fra armaturets centrum	[m/s]

Vertikal temperaturfordeling

På grund af den lagdelte strømning er der ved fortrængningsventilation stor forskel på temperaturen op gennem rummet. Ved komfortventilation, hvor varmekilderne er placeret i den nederste del af lokalet, vil temperaturgradi-

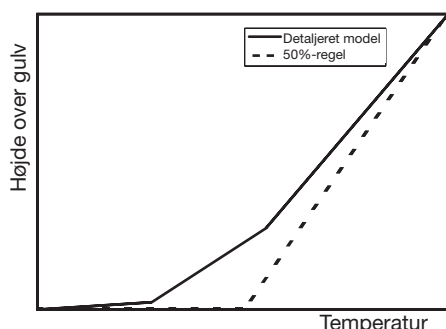


Fig. 17, Sammenligning af modeller til beskrivelse af den vertikale temperaturfordeling.

enten, dvs. temperaturstigningen pr. m (K/m) være størst i den nederste del af lokalet og mindre i den øverste del. De simpleste modeller til beskrivelse af den vertikale temperaturfordeling er de såkaldte “%-regler”.

Den mest anvendte er 50%-reglen, i hvilken det antages, at halvdelen af temperaturstigningen fra indblæsning til udsugning sker ved gulvet, og den anden halvdel sker op gennem lokalet (se Figur 17). Modellen er god, som en første tilnærmelse for de fleste typiske lokaler og armaturer, men pga. sin simplicitet er den ikke tilstrækkelig præcis til angivelse af temperaturgradienten i opholdszonen. Lindab anbefaler i stedet at anvende en mere detaljeret model, der beskriver temperaturgradientens variation op gennem lokalet. Som en god tilnærmelse kan antages, at temperaturgradienten i opholdszonen er halvdelen af temperaturforskellen mellem rumluften og indblæsningsluften. Modellen er baseret på erfaring fra en række fuldskalaforøg og tager højde for temperatureffektiviteten, samt at temperaturgradienten er større i den nederste del af lokalet end den øverste.

Temperatureffektivitet

Effektiviteten ved fortrængningsventilation bliver på grund af lagdelingen større end ved opblandingsventilation. Forskellen forøges ved større lofthøjder. Den effekt, der fjernes fra rummet, er ligefrem proportional med temperaturforskellen mellem indblæsning og udsugning ($t_u - t_i$).

Da udsugningstemperaturen (t_u) ved fortrængningsventilation er højere end rumtemperaturen (t_r) kan der fjernes samme effekt fra rummet med en højere indblæsnings-temperatur (t_i) i forhold til opblandingsventilation, hvor $t_u \leq t_r$. Dette betyder, at man kan spare køleeffekt eller er i stand til at udnytte udeluftens køleeffekt bedre.

Fortrængningsventilation er desuden delvis selvregulerende ved varierende termisk belastning, fordi en stigende belastning først og fremmest giver en større temperaturgradient og dermed højere temperatur ved loftet. Temperatureffektiviteten er givet ved:

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

Ved fortrængningsventilation gælder at $\varepsilon_t > 100\%$ ($t_u \geq t_r$), mens $\varepsilon_t \leq 100\%$ ved opblandingsventilation ($t_u \leq t_r$). Ved fuldstændig opblanding er $\varepsilon_t = 100\%$ ($t_u = t_r$).

Tryktab

Diagrammerne viser det totale trykfald for armaturet (ved $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), d.v.s. summen af statisk og dynamisk tryk, tilsluttet en lige kanal med en længde på 1 m og samme dimension som armaturet.

Lydniveau

Diagrammerne i databladene angiver det A-vægtede lydeffektniveau L_{WA} for armatur tilsluttet en lige kanal med en længde på 1 m og samme dimension som armaturet. Lydtrykniveau er et mål for lydets styrke, dvs. de tryk-svingninger vi opfatter, mens lydeffektniveau er en parameter, der karakteriserer lydkilden. Begge størrelser angives normalt i enheden dB (decibel), hvilket kan give anledning til en del forvirring.

Fortrængningsventilation

Teori

Lydtryk (L_p)

Et mål for lydens styrke, karakteriseret ved de trykssvingninger, der opfattes af øret eller måles med en mikrofon på en støjmåler. Lydtryk måles i Pascal (Pa) og angives hyppigst som lydtrykniveau i decibel (dB) eller dB(A).

Lydeffekt (L_w)

Den effekt, en lydkilde (fx en maskine) udsender i form af lyd. Lydeffekten måles i Watt (W) og angives hyppigst som lydeffektniveau i decibel (dB) eller dB(A).

I Lindabs datablade er armaturernes lydmæssige egenskaber angivet som lydeffektniveau.

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

hvor N er den aktuelle lydeffekt [W], der tilføres luften i form af trykssvingninger og $N_{re} = 10^{-12}$ W er referencelydeffekten.

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

hvor p er det aktuelle lydtryk [N/m^2] og $p_{re} = 2 \times 10^{-5}$ N/m^2 er referencelydtrykket.

Rumdæmpningen D [dB] er forskellen mellem lydeffektniveau og lydtrykniveau.

$$L_{wok} = L_w - D$$

Det A-vægtede lydeffektniveau, L_{WA} omregnes til lydeffektniveau i de enkelte oktavbånd ved:

$$L_p = L_{WA} + K_{ok}$$

hvor K_{ok} er en korrektionsværdi. K_{ok} er angivet på tabelform for hvert armatur.

Egendæmpning

Angives for hvert armatur reduktionen af lydeffektniveauet fra kanal til rum (inkl. enderefleksion).

Nærzone

Det område omkring armaturet, hvor lufthastigheden overstiger 0,2 m/s, kaldes nærzonen.

Størrelsen af nærzonen er angivet for hvert armatur ved en undertemperatur på $\Delta t = t_r - t_f = 3K$. Nærzonelængden (a_0) og -bredden (b_0) gælder for jævnt fordelt termisk belastning.

Projektering af fortrængningsventilation

At projektere et ventilationsanlæg efter fortrængningsprincippet, der »virker« på basis af de termiske kræfter, og hvor indblæsningsluften tilføres direkte i opholdszonen, stiller særlige krav til dimensionering og placering af luftfordelingsarmaturerne. Systemet er følsomt overfor varmepåvirkninger, og armaturerne bør således aldrig placeres lige ved siden af en kraftig varmekilde som fx en radiator. Kraftigt solindfald kan ligeledes forstyrre systemet og i nogle tilfælde få det til at fungere som et opblæsningssystem. Store, kolde væg- og vinduesflader i lokalet kan give anledning til en tilbagestrømning af forurenede luft til opholdszonen.

Systemet er ikke velegnet til opvarmningsformål og kræver derfor, at opvarmning og ventilation separeres. Udsugning bør altid ske så højt i lokalet som muligt.

Hersker der tvivl om et projekt eller ønskes særlige forhold undersøgt, tilbyder Lindab at efterprøve forholdene i praksis ved at udføre fuldskalaforøg, hvilket ofte er værdifuldt ved større og komplicerede opgaver.

Konvektionsstrøm

Den tilførte volumenstrøm skal mindst svare til den samlede konvektionsstrøm i rummet (Figur 18). Såfremt den tilførte volumenstrøm er mindre, vil konvektionsstrømmen medrive forurenede luft oppefra, hvilket bevirker, at det forurenede lag trækkes med ned i opholdszonen (Figur 19).

Følgende forhold påvirker konvektionsstrømmen:

- Varmekildens form og overflade
- Varmekildens overfladetemperatur
- Konvektiv andel af den afgivne varmeeffekt
- Middeltemperatur i lokalet
- Den forurenede zones højde i forhold til varmekildernes placering (højde) i lokalet

Konvektionsstrømmene fra personer, lys og maskiner kan bestemmes ud fra varmekildernes effekt og placering i rummet (se Tabel 1 og Tabel 2).

Tabel 1, Vejledende konvektionsstrømme for personer.

Aktivitet	met	Varmeflg. W	Volumenstrøm l/s	
			1,2 m o.g.	1,8 m o.g.
Siddende, hvile	1,0	100	8-10	-
Siddende aktivitet	1,2	130	10-12	-
Let aktivitet, stående	1,6	170	-	25-30
Middel akt. Stående	2,0	200	-	30-35
Høj aktivitet, stående	3,0	300	-	35-40

Met: metabolisme(stofskifte), 1 met = 58 W/m² kropsoverflade.

Tabel 2, Vejledende konvektionsstrømme for diverse varmekilder.

Varmekilde	Volumenstrøm l/s pr. W	
	1,2 m o.g.	1,8 m o.g.
Bordlamper	0,11	0,20
Loftbelysning	-	-
Maskiner	0,10	0,20
Solindfald	0,11	0,22

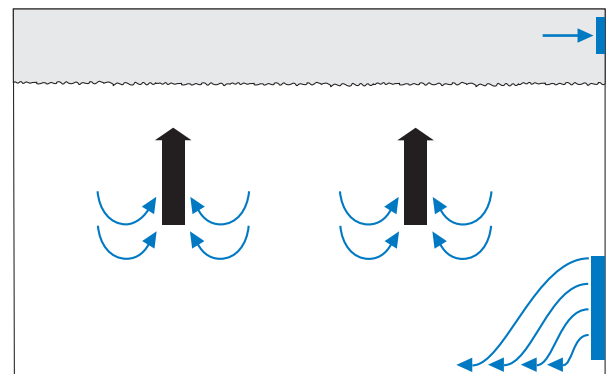


Fig. 18, Fortrængningsventilation med tilstrækkelig volumenstrøm.

Fortrængningsventilation

Teori

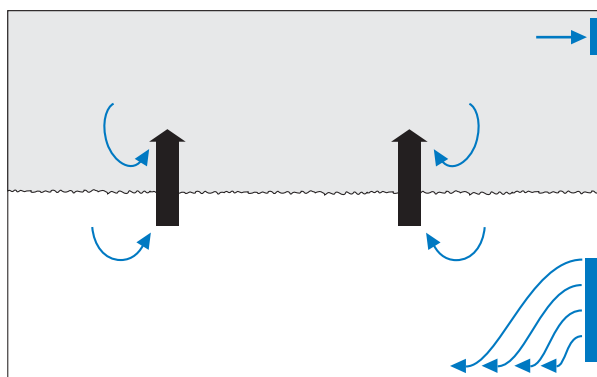


Fig. 19, Fortrængningsventilation med tilstrækkelig volumen strøm.

Temperaturgradient

Kravet til termisk komfort i opholdszonen sætter grænser for temperaturgradientens størrelse. I Tabel 3 er angivet den af Lindab Comfort maksimalt anbefalede gradient i opholds-zonen angivet ved forskellige aktivitetsniveauer. Desuden er den tilsvarende maksimalt tilladte undertemperatur ($t_r - t_i$) angivet ved anvendelse af Lindabs COMDIF-armaturer. Temperaturgradienten i opholdszonen (K/m) kan med god tilnærmelse sættes til det halve af undertemperaturen $t_r - t_i$ (K).

Tabel 3, Vejledende temperaturgradienter og undertemperaturer.

Aktivitet	Maksimal temperatur gradient (K/m)	Maksimal undertemperatur $t_r - t_i$ (K)
Siddende, hvile	1,5	3,0
Siddende aktivitet	2,0	4,0
Let aktivitet, stående	2,5	5,0
Middel aktivitet	3,0	6,0
Høj aktivitet	3,5	7,0

Nærzone

Nærzonens størrelse er angivet for hvert armatur i produkternes datablade. Hvis flere armaturer anbringes i nærheden af hinanden, forøges nærzonen væsentligt (Figur 20).

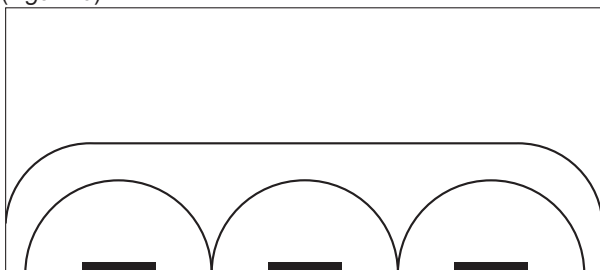


Fig. 20, Armaturer placeret for tæt, hvorved det enkelte armaturs induktion begrænses.

Stor volumenstrøm fra et armatur kan resultere i en for stor nærzone (Figur 21). Fordeles luften i stedet på to armaturer opnås mindre nærzoner (Figur 22).

For at opnå så små nærzoner som muligt, og dermed den bedste udnyttelse af rummet, bør volumenstrømmen fordeles jævnt i rummet med så mange armaturer som muligt.

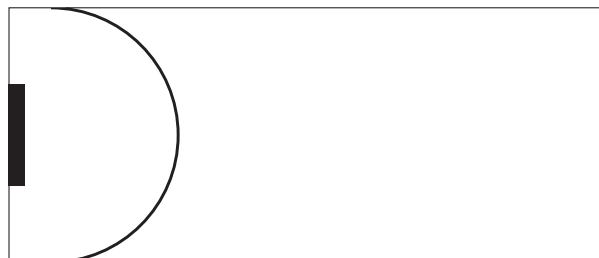


Fig. 21, For stor volumenstrøm på ét armatur resulterer i stor nærzone.

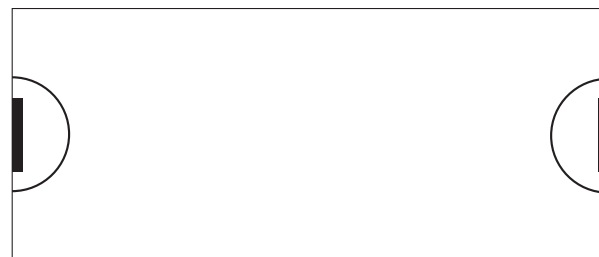


Fig. 22, Mindre volumenstrøm pr. armatur og dermed mindre nærzoner.

Flere armaturer

Når flere armaturer placeres for tæt på hinanden ved samme væg, forøges nærzonen som vist på Figur 20, idet der kan dannes stråler mellem armaturerne. I en vis afstand fra armaturerne vil der imidlertid dannes en plan strømning med noget nær konstant hastighed. Denne sluthastighed er afhængig af den samlede volumenstrøm pr. m væg og undertemperaturen. I Figur 23 kan denne sluthastighed aflæses. Det kan ofte være hensigtsmæssigt at fordele luften ud på armaturer, der sidder på tilstødende vinkelrette vægge. Her bør armaturerne også placeres jævnt langs væggene, idet der også kan dannes stråler mellem for tætsiddende armaturer omkring et væghjørne.

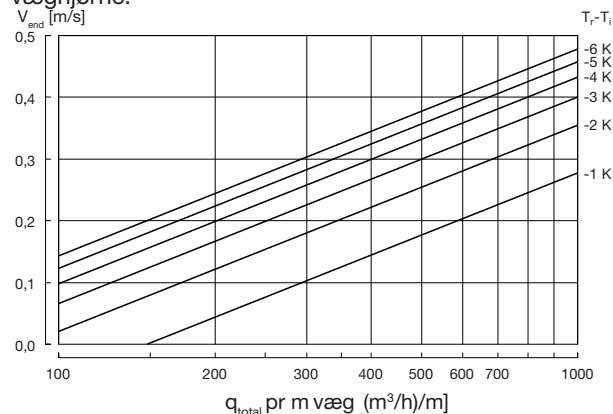


Fig. 23, Sluthastighed ved plan strømning.

Fortrængningsventilation

Teori

Effekt

For at beregne den effekt, som kan fjernes fra rummet med et fortrængningssystem, skal temperaturforskellen $t_u - t_i$, være kendt (afhænger af den termiske belastning, lofthøjden og undertemperaturen ($t_r - t_i$)). Ved beregning af temperatureffektiviteten og den nødvendige temperaturredifferens $t_u - t_i$ medtages varmekilder tæt ved loftet (fx belysning) med 50% af den afgivne effekt.

Af Figur 24 kan temperatureffektiviteten ε_t aflæses ved forskellige kombinationer af lofthøjde og varmebelastning.

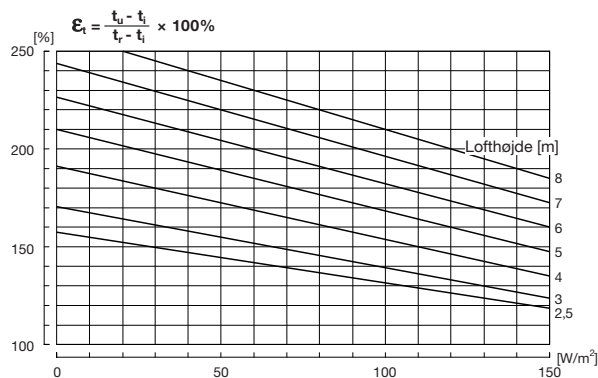


Fig. 24, Temperatureffektivitet afhængig af lofthøjde og varmebelastning.

Beregningseksempel

Lokale: $L \times B \times H = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} \times 4 \text{ m}$

Termisk belastning:

10 pers., siddende aktivitet ($10 \times 130 \text{ W}$) = 1300 W (22 W/m²)
 10 bordlamper á 60 W ($10 \times 60 \text{ W}$) = 600 W (10 W/m²)
 10 maskiner á 100 W ($10 \times 100 \text{ W}$) = 1000 W (17 W/m²)

Samlet belastning = 2900 W (48 W/m²)

Mindste volumenstrøm (fra Tabel 1 og Tabel 2):

$q_{\min} = 10 \text{ pers.} \times 11 \text{ l/s/pers.} + 10 \text{ bordlamper} \times 60 \text{ W/bordlampe} \times 0,1 \text{ l/s/W} + 10 \text{ mask.} \times 100 \text{ W/mask.} \times 0,1 \text{ l/s/W} = 270 \text{ l/s}$

Nødvendig temperaturredifferens ($t_u - t_i$):

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

Af Figur 24 kan temperatureffektiviteten aflæses til $\varepsilon_t = 178 \%$ ved en lofthøjde på 4 m og en varmebelastning på 48 W/m².

Hermed kan temperaturforskellen $t_r - t_i$ bestemmes

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

hvilket giver en temperaturgradient i opholdszonen på 2,5 K/m (da temperaturgradienten i opholdszonen med god tilnærmelse kan sættes til det halve af undertemperaturen $t_r - t_i$). Lindab anbefaler en temperaturgradient på <2 K/m og derfor bør volumenstrømmen øges.

En temperaturgradient på 2 K/m giver $t_r - t_i = 4 \text{ K}$ og med uændret temperatureffektivitet på 178% bliver den acceptable temperaturredifferens $t_u - t_i = 7,1 \text{ K}$.

For at fjerne varmebelastningen på 2900 W skal volumenstrømmen ændres til:

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

Projektering af lydniveau

Teori

Projektering af lydniveau

Diagrammerne i produktdatabladene angiver det A-vægtede lydeffektniveau L_{WA} for armatur tilsluttet en lige kanal med en længde på 1 m og samme dimension som armaturet.

Det aktuelle lydtrykniveau, det vi hører, bestemmes som vist nedenfor.

Betegnelser

A	Rummets totale absorptionsareal	[m ²]
K_{ok}	Korrektionsværdi for lydeffektniveau	[dB]
L_A	A-vægtet lydtrykniveau	[dB(A)]
L_{WA}	A-vægtet lydeffektniveau	[dB(A)]
L_{Wok}	Lydeffektniveau i oktavnåbånd	[dB]
L_p	Lydtrykniveau	[dB]
D	Rumdæmpning	[dB]
L_w	Lydeffektniveau	[dB]
V	Rummets volumen	[m ³]
T_s	Rummets efterklaringstid	[-]
D	Rumdæmpning	[dB]
Q	Retningsfaktor	[-]
Δ	Forøgelse af lydeffektniveauet ved et givet antal ens armaturer	[dB]
r	Afstand til nærmeste armatur	[m]
α	Absorptionsfaktor	[-]
n	Antal armaturer	[-]

Bestemmelse af lydtrykniveau

Den samlede lydeffekt L_w fra et antal ens armaturer findes ved logaritmisk multiplikation af antallet af armaturer med lydeffektniveauet fra et enkelt armatur.

$$L_w = L_{w1} \otimes n$$

hvor L_{w1} er lydeffektniveauet fra et enkelt armatur [dB] og n er antallet af armaturer.

Den samlede lydeffekt kan vha. Figur 25 beregnes som

$$L_w = L_{w1} + \Delta$$

hvor Δ er forøgelsen af lydeffektniveauet ved et givet antal ens armaturer.

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

Fig. 25, Forøgelse af lydeffektniveau (logaritmisk multiplikation) ved et antal ens lydkilder.

Med kendskab til lydkilderne og rummets absorptionsareal bestemmes rumdæmpningen af Figur 26, Figur 27 og Figur 28 ved en eller flere ens lydkilder i rummet.

Det aktuelle lydtrykniveau er forskellen mellem lydeffektniveau og rumdæmpning, hvor L_p er lydtrykniveau [dB], L_w er lydeffektniveau [dB] og D er rumdæmpningen [dB]. Ved forskellige lydkilder i samme rum findes lydtrykniveauet i et givet punkt ved logaritmisk addition af lydtrykniveauerne for de enkelte lydkilder (Figur 29).

A kan også beregnes ud fra efterklaringstiden efter formelen:

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

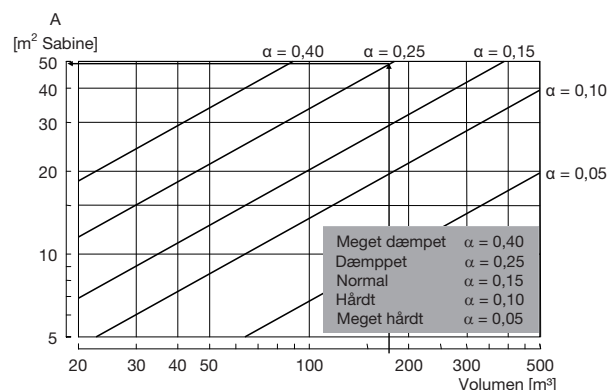


Fig. 26, Forholdet mellem rumvolumen og ækvivalent lydabsorptionsareal.

Beregningseksempel

I et lokale med dimensionerne $L \times B \times H = 10 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ er der monteret fire armaturer i loftet. Hvert armatur giver et lydeffektniveau på 29 dB(A). Rummet er dæmpet, hvilket giver et absorptionsareal på $A \sim 50 \text{ m}^2$ Sabine (Figur 26).

Lydtrykniveauet ønskes beregnet 1,5 m over gulv.

Lydeffektniveau fra de fire armaturer:

$$L_w = 29 \otimes 4 = 29 + 6 = 35 \text{ dB(A)} \text{ (Figur 25).}$$

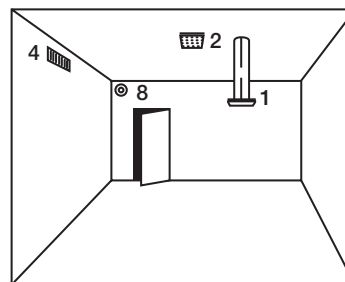
For armaturer monteret i loftet er retningsfaktoren $Q = 2$ og dermed bliver (Figur 27).

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

I højden 1,5 m over gulv er afstanden til nærmeste armatur.

$r = 1 \text{ m}$, og dermed kan rumdæmpningen bestemmes til $D = 9 \text{ dB}$ vha. Figur 28.

Lydtrykniveauet i rummet: $L_A = 35 \text{ dB(A)} - 9 \text{ dB} = 26 \text{ dB(A)}$.



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

Fig. 27, Retningsfaktor for forskellige placeringer af lydkilder og forholdet mellem $\sqrt{n} / \sqrt{Q}$ som funktion af antal lydkilder og retningsfaktor (billedet).

Projektering af lydniveau

Teori

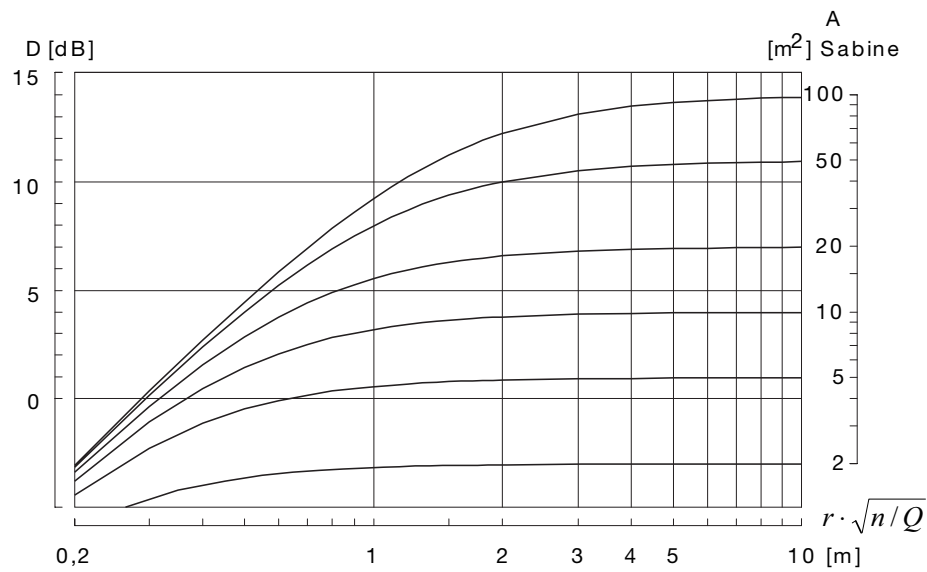


Fig. 28, Rumdæmpning som funktion af absorptionsareal og antal lydkilder.

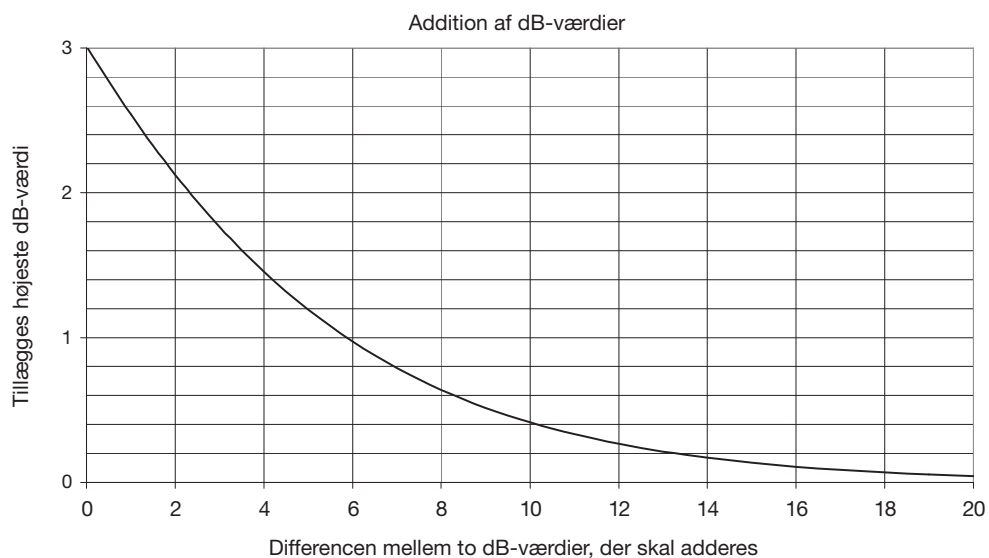


Fig. 29, Addition af lydniveauer (logaritmisk addition af lydeffektniveau eller lydtrykkniveau).

F.eks. to kilder ved 41 dB og 47 dB;
 forskellen er $47 - 41 = 6$;
 fra graf: 6 på X-axis = 1 på Y-axis;
 $47 + 1 = 48$ dB resulterende niveau.



De fleste af os tilbringer størstedelen af vores tid indendørs. Indeklima er afgørende for, hvordan vi har det, hvor produktive vi er, og om vi holder os sunde.

Hos Lindab har vi derfor gjort det til vores vigtigste mål at bidrage til et indeklima, der forbedrer menneskers liv. Det gør vi ved at udvikle energieffektive ventilations- løsninger og holdbare byggeprodukter. Vi stræber også efter at bidrage til et bedre klima for vores planet ved at arbejde på en måde, der er bæredygtig for både mennesker og miljøet.

Lindab | For et bedre klima