

Lindab Luft Teori

Luftburna lösningar



Teori

Innehåll	Sida
Generellt om Tilluftssystem	3
Omblandande ventilation	3
Deplacerande ventilation	3
Lågimpulsinblåsning	4
Val av tilluftssystem	4
Omblandande ventilation	6
Beteckningar	6
Tryckfall	6
Ljudnivå	6
Isoterm inblåsning	6
Coandaeffekt	7
Hastighet i luftstrålen	7
Termisk inblåsning	8
Projektering av omblandande ventilation	8
Deplacerande ventilation	12
Beteckningar	12
Vertikal temperaturfördelning	12
Temperatureffektivitet	12
Tryckfall	12
Ljudnivå	12
Närzon	13
Projektering av deplacerande ventilation	13
Projektering av ljudnivå	16
Beteckningar	16
Beräkning av ljudnivå	16

Generellt om tilluftssystem

Teori

Omblandande ventilation

Vid omblandande ventilation tillförs luften med relativt hög hastighet utanför vistelsezonen, normalt sett från tak eller vägg. Den höga inblåsningshastigheten leder till att det dras med en betydande mängd rumsluft. Inblåsningshastigheten bör hållas på en nivå som säkrar att inblandningen blir effektiv, och att hastigheten faller till önskad nivå, innan luften når vistelsezonen. Detta ställer krav på tilluftsdonens effektivitet avseende inblåsningshastighet och inblandning av rumsluft.

En ökning av inblåsningshastigheten medför en ökning av ljudnivån. Krav på en låg ljudnivå bidrar alltså till att begränsa donens effektivitet. Temperaturen och föroreningskoncentrationen är i stort sett den samma i hela rummet när det rör sig om inblåsning av isoterm eller undertempererad luft. Omblandande ventilation blir relativt lite påverkad av yttre omständigheter och kan användas för såväl uppvärmning som kylning.

Tilluft med övertempererad luft

Då övertempererad luft är lättare än rumsluften, krävs det en betydande energi för att tvinga luften ner i vistelsezonen. Detta leder till att kraven på den nedåtgående lufthastigheten ökar vid ökande takhöjd och ökande övertemperatur. Vid hög takhöjd är det som regel nödvändigt att blåsa luften helt lodrätt nedåt.

Tilluft med undertempererad luft

Den tyngre undertempererade luften, som blåses in vid tak, kan vid stora termiska belastningar leda till för höga hastigheter i vistelsezonen. Strålarna från donen (normalt vågräta) och konvektionsströmmarna från värmekällorna (personer, belysning, maskiner) resulterar i en hastighet i vistelsezonen, som utöver donets inblåsningshastighet, även beror på den bortförda effekten per areaenhet (W/m^2), effektfördelningen per don (W/don) samt donens spridningsmönster.

Det går normalt sett inte att uppfylla samtliga krav på temperaturgradient, temperatureffektivitet och hastighet i vistelsezonen, då man växlar till över- och undertempererad luft med samma takdon.

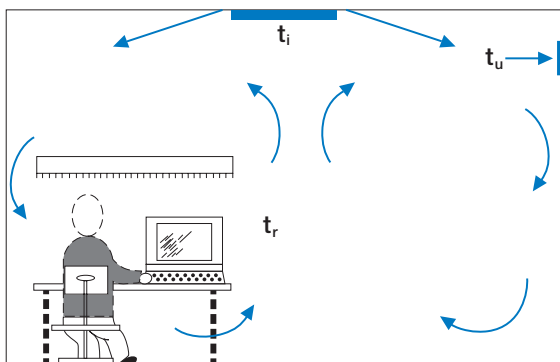


Fig. 1, Illustration av omblandande ventilation.

Lösningen på detta problem kan vara motoriserade don, som kan ändra inblåsningmönster.

En annan möjlighet är att dimensionera donen för kylsituationen och komplettera med lodräta hjälpdysor vid inblåsning av övertempererad luft.

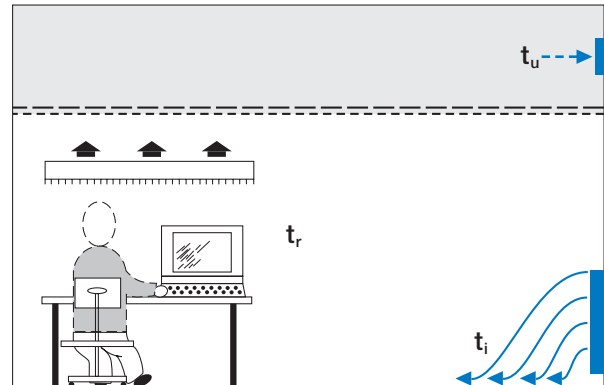


Fig. 2, Illustration av deplacerande ventilation.

Deplacerande ventilation

Vid deplacerande ventilation är det de termiska krafterna från värmekällorna i rummet som styr luftfördelningen. Luften tillförs till rummet direkt i vistelsezonen i golvnivå – med låg hastighet och undertemperatur. Luften breder ut sig över hela golvet och undantränger (deplaceras) den varma, förorenade luften, som förs till taket av konvektionsströmmarna från värmekällorna. Frånluft bör sugas ut vid taket, där det skapas ett varmt, ”förorenat” lager.

Ventilationseffektiviteten vid deplacerande ventilation är, på grund av skiktningen, större än vid omblandande ventilation. Skillnaden ökar med ökad takhöjd.

Den samtidigt ökade temperatureffektiviteten medför, att man kan spara kyleffekt eller motsvarande utnyttja uteluftens kyleffekt bättre, pga. att frånluften är varmare och därmed transporteras mer effekt bort från rummet.

Deplacerande ventilation skall under normala förhållanden inte användas för uppvärmning.

Donets närzon beror primärt på den tillförda luftmängden, undertemperaturen samt på donets placering. Inom det rekommenderade luftflödesområdet har donets storlek ingen praktisk inverkan på närzonen.

Närzonens geometri kan dock ändras efter behov genom att vrida på fördelningsdysorna.

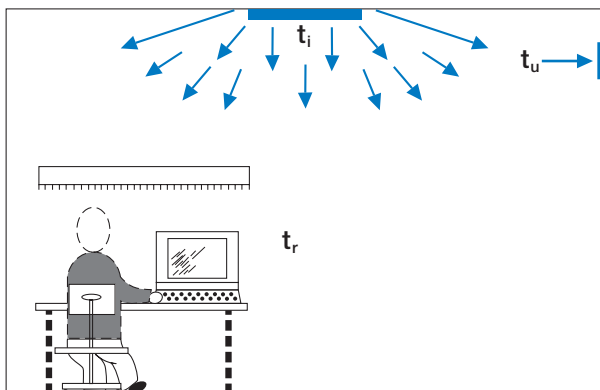


Fig. 3, Illustration av lågimpulsinblåsning.

Lågimpulsinblåsning

Vid lågimpulsinblåsning tillförs undertempererad luft från taket med låg hastighet. Den rena luften trycker undan den förorenade.

Det bästa resultatet uppnås genom att man fördelar den inblåsta luftmängden i små "portioner" spritt över hela taket.

Systemet kan inte användas för uppvärmning.

Val av tilluftssystem

De olika systemen har sina för-, och nackdelar. Dessa bör därför nogra övervägas innan man väljer systemlösning. Gemensamt för systemlösningarna är, att man uppnår bättre termisk och atmosfärisk komfort vid användning av flera små don istället för få stora.

Samtidigt är det viktigt att fördela donen jämnt i lokalen. Fördelar och nackdelar framgår av nedanstående översikt.

Ombländande ventilation

- + Kan användas till kylning och uppvärmning.
- + Stor induktion ger möjlighet till inblåsning med stor undertemperatur.
- + I stort sett samma temperatur och luftkvalitet i hela rummet, d.v.s. en liten temperatur-, och koncentrationsgradient.
- + Stabilt strömningsmönster.
- + Flexibilitet avseende placering av donen.
- + Ingen reduktion av användbar golvyta (närzon).
- Risk för kortslutning och därmed en låg ventilationseffektivitet (speciellt vid värmning).
- Större effektbehov vid kylning.
- Risk för drag vid stora kyleffekter.

Deplacerande ventilation

- + Hög ventilations-, och temperatureffektivitet.
- + Bra luftkvalitet i vistelsezonen.
- + Låga hastigheter i vistelsezonen, dock inte i närzonen.
- + Passar bra till kylning av lokaler med högt till tak.
- Möbleringsfriheten begränsas och den användbara golvytan reduceras p.g.a. donets närzon.
- Låg induktion.
- Stor vertikal temperaturgradient.
- Uppvärmning är inte möjlig.

Lågimpuls

- + Ingen reduktion av användbar golvyta.
- + Passar bra till stora luftomsättningar med begränsad undertemperatur.
- + Hög lokal effektivitet.
- Låg induktion.
- Kan inte användas till uppvärmning.
- Risk för kortslutning vid utsug i tak.

Projektering av ljudnivå

Teori

Val av inblåsningssystem

		Omblandande ventilation							Deplacerande ventilation			Lågimpuls	
		Dysor	Galler	Bakkantsinblåsning	Enspaltsdon	Perf. Don	Flerkonsspridare	Rotationsdon	Spaltspridare	Väggdon	Golvdon	Stolinblåsning	
Kontor	Uppv. + kyla 0-30 W/m ² 30-60 W/m ² >60 W/m ²			••	•• ••	•• ••	•• ••	•• ••	•	•• ••	••		
Församlingslokal	Konferensrum Teater, Biograf Auditorium Restaurant Undervisning Utställning		•		•	•	•	•		•• •• ••	•• ••	•• ••	
Affärer	Butiker Stormarknad	• •	• •	••	•• ••	•• ••	•• ••	•• ••	•				
	Sporthallar Simhallar Storkök Laboratorier	•• ••	•• ••		• •	•• ••	•• ••	•• ••		• •• ••			•• ••
	"Renrum" Bostäder Institutioner		•• ••	•• ••	•• ••	•• ••	•• ••	•• ••	••	••			

• Användbar •• Bra ••• Bäst

Val av inblåsningssystem i industrimiljö

Ventilationsbehov	Värmebehov	Kylbehov	Omblandande ventilation	Deplacerande ventilation	Lågimpuls
❄	❄	❄	X		
❄	❄❄	❄	X		
❄	❄❄	❄❄	X		
❄	❄	❄❄		X	X
❄❄	❄	❄	X		X
❄❄	❄❄	❄	X		
❄❄	❄❄	❄❄	X		
❄❄	❄	❄❄		X	X

❄ Användbar ❄❄ Bra

Mix ventilation

Teori

Omblandande ventilation

Ett tilluftsdon skall tillföra en bestämd mängd luft för att rummet skall bli tillräckligt genomventilerat, samtidigt som kraven på ljudnivå, lufthastighet och temperaturgradient i vistelsezonen skall innehållas. För att kunna klara dessa krav behöver man känna till några projekteringsregler, varav de viktigaste anges i följande stycke. Vid val av don skall kraven på tryckfall, ljudnivå och kastlängd fastställas. Dessa data finns för varje don, separat redovisat. Urvals-, och dimensioneringsdata som redovisas i Lindabs produktdatablad är resultat av mätningar utförda i Lindabs laboratorium och är utförda med moderna och noggranna mätinstrument. I praktiken är förhållandena sällan så ideala som i ett laboratorium, eftersom byggmässiga förhållanden, möblering, placering av donen mm, har ett stort inflytande på strålutbredningen i rummet. Lindab erbjuder att simulera förhållandena i praktiken genom att utföra fullskaleförsök, vilket ofta är värdefullt vid större och komplicerade projekt.

Beteckningar

A	Rummets totala absorptionsarea	[m ²]
b _h	Maximal horisontell spridning till isovelen 0,2 m/s	[m]
b _v	Maximal vertikal spridning till isovelen 0,2 m/s	[m]
F	Donets effektiva fria area (q/v ₀ , där v ₀ är den uppmätta inblåsningshastigheten)	[m ²]
K _{ok}	Korrektionsvärde för ljudeffektnivå	[dB]
l _{0,2}	Kastlängd till isovelen 0,2 m/s	[m]
l _{0,0}	Vändpunkt	[m]
l _b	Avståndet från don till den position, där spridningen är maximal	[m]
L _A	A-vägd ljudtrycksnivå	[dB(A)]
L _{WA}	A-vägd ljudeffektnivå	[dB(A)]
L _{Wok}	Ljudeffektnivå i oktavband	[dB]
L _p	Ljudtrycksnivå	[dB]
L _w	Ljudeffektnivå	[dB]
ΔL	Egendämpning	[dB]
D	Rumsdämpning	[dB]
Δp _t	Totaltryckfall	[Pa]
q	Luftmängd	[m ³ /h], [l/s]
Δt	Temperaturdifferens mellan rumsluft och inblåst luft	[K]
v ₀	Donets inblåsningshastighet	[m/s]
v _x	Strålhastigheten på avståndet x från donets centrum	[m/s]
v _{term}	Termisk maximal hastighet i vistelsezonen	[m/s]

Tryckfall

Diagrammen visar det totala tryckfallet för donet (vid ρ = 1,2 kg/m³), d.v.s. summan av statiskt och dynamiskt tryck (in-klusive ev. tryckfördelningslåda), ansluten med en rak kanal med en längd på 1 m och samma dimension som donet.

Ljudnivå

Diagrammen i produktdatabladet anger den A-vägd ljudeffektnivå L_{WA} för don och ev. tryckfördelningslåda ansluten med en rak kanal med en längd på 1 m och samma dimension som donet.

Ljudtrycksnivå är ett mått på ljudets styrka, dvs. de tryckvågor vi uppfattar, medan ljudeffektnivå är en parameter, som karakteriserar ljudkällan. Bägge ljudnivåerna anges normalt i enheten dB (decibel), vilket kan ge anledning till en del förvirring.

Ljudtryck (L_p)

Ett mått på ljudets styrka, karakteriseras av de tryckvågor, som uppfattas av örat eller mäts med en mikrofon på en ljudmätare. Ljudtryck mäts i Pascal (Pa) men anges oftast som ljudtrycksnivå i decibel (dB) eller dB(A).

Ljudeffekt (L_w)

Den effekt, en ljudkälla (t.ex. en maskin) avger i form av ljud. Ljudeffekten mäts i Watt (W) men anges oftast som ljudeffektnivå i decibel (dB) eller dB(A).

I Lindabs produktdatablad anges donens ljudmässiga egenskaper som ljudeffektnivå.

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

när N är den aktuella ljudeffekten [W], som tillförs luften i form av tryckvågor och N_{re} = 10⁻¹² W är referensljudeffekten.

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

där p är det aktuella ljudtrycket [N/m²] och p_{re} = 2 × 10⁻⁵ N/m² är referensljudtrycket.

Rumsdämpningen D [dB] är skillnaden mellan ljudeffektnivån och ljudtrycksnivån.

$$L_p = L_w - D$$

Den A-vägda ljudeffektnivån, L_{WA} omräknas till ljudeffektnivå i var enskilt oktavband med.

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

där K_{ok} är ett korrektionsvärde. K_{ok} anges i tabellform för varje enskilt don.

Egendämpning

För varje don anges reduktionen av ljudeffektnivån från kanal till rum (inkl. ändreflektion).

Isoterm inblåsning

Alla tekniska data gäller vid isotermiska förhållanden.

Kastlängd

Kastlängden l_{0,2} definieras som det största avståndet från donets centrum till isovelen 0,2 m/s.

Värdena för l_{0,2} gäller för don monterade i taket. (Fig. 4)

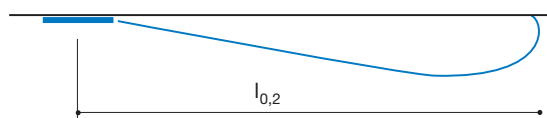


Fig. 4. Kastlängd l_{0,2} för don monterat i tak.

Mix ventilation

Teori

Vid frihängande montage, dvs. don monterade mer än 300 mm från taket (Figur 5), reduceras kastlängden med 20%, så att $l_{0,2} \text{ frihängande} = 0,8 \times l_{0,2}$.

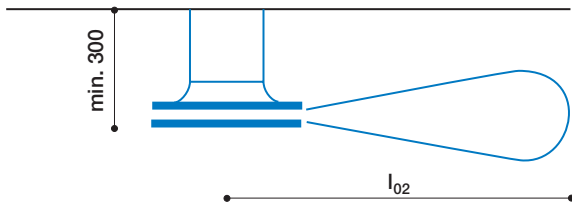


Fig.5, Frihängande don.

För galler gäller $l_{0,2}$ för montering mer än 800 mm från taket. (Figur 6).

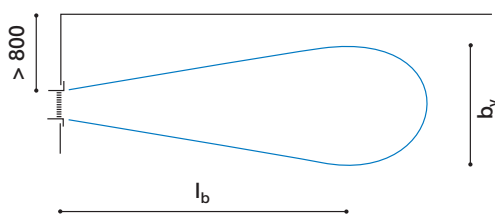


Fig. 6, Kastlängd för galler monterat mer än 800 mm från tak.

Om ett galler monteras mindre än 300 mm från taket (Figur 7) förlängs kastlängden $l_{0,2}$ med 40%, så att $l_{0,2} \text{ galler vid tak} = 1,4 \times l_{0,2}$.

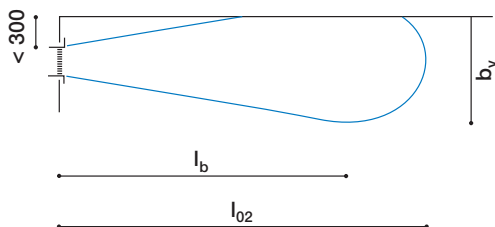


Fig.7, Kastlängd för galler monterat mindre än 300 mm från tak.

Spridning

Den största vertikala spridningen b_v anger det största vertikala avståndet från taket till isovelen 0,2 m/s (Figur 8).

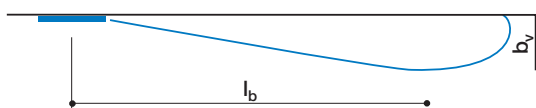


Fig.8, Vertikal spridning.

Den horisontella spridningen betecknas b_h och anger luftstrålens maximala spridning i horisontalplanet vid isovelen 0,2 m/s (Figur 9). Avstånden från donet till det plan, där den största spridningen finns, betecknas l_b . b_v , b_h och l_b anges för de enskilda donet som funktion av kastlängden $l_{0,2}$.

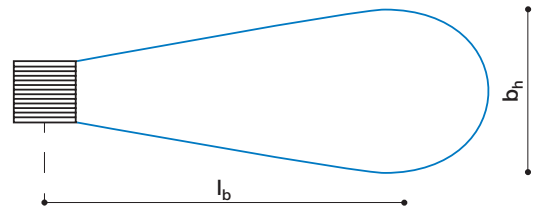


Fig. 9, Horisontell spridning.

Coandaeffekt

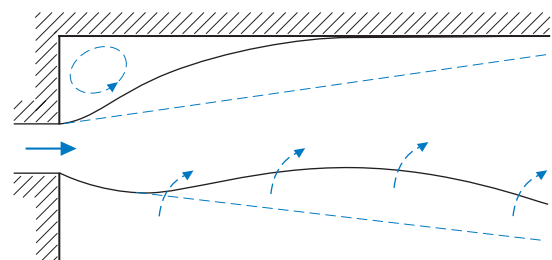


Fig. 10, Strömning med Coandaeffekt.

När luften blåses in längs en begränsningsyta, t.ex. ett tak, uppstår det ett undertryck mellan luftstrålen och taket, som får strålen att »klibba fast« vid taket (Figur 10). Denna effekt, den så kallade Coandaeffekten, har stor betydelse för luftens fördelning, speciellt vid inblåsning med undertempererad luft.

För att uppnå så stor Coandaeffekt som möjligt skall luften tillföras i små mängder per don och med så stor spridning utmed taket som möjligt, samt med största möjliga hastighet.

Det är alltså alltid bäst att blåsa in luften från donet i ett helt 360°-mönster utan avskärmning åt någon av sidorna. Speciellt bör spaltspridarna (LTD) delas upp i aktiva och inaktiva sektioner för att för att undvika kallras.

Hastighet i strålen

Lufthastigheten i kärnstrålen kan inom ett begränsat område beräknas efter:

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

där x är avståndet till den punkt i kärnstrålen, där lufthastigheten är v_x m/s.

Exempel

Ett don har en kastlängd på $l_{0,2} = 3$ m. Avståndet till den punkt, där strålhastigheten är 0,3 m/s blir således:

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

Mix ventilation

Teori

Termisk inblåsning

Produktdatabladvärdena för kastlängder gäller vid isotermisk inblåsning.

Vid under- eller övertempererad tilluft medverkar de termiska krafterna till antingen att tvinga strålen nedåt (undertempererat) eller trycka strålen uppåt (övertempererat). För att fastställa strömningsförhållandena så krävs det att man tar hänsyn till förhållandet mellan temperaturdifferens och inblåsningshastighet (i stråleteori uttryckt som Archimedes tal). Önskas en detaljerad beräkning av lufthastigheter, då hänsyn tas till detta, samt visualisering av luftströmningstillstånden från donen, hänvisar vi till mjukvaruprogrammet [Indoor Climate Designer](http://www.lindqst.com) i www.lindqst.com.

Nedanstående tumregler för horisontell och vertikal in-blåsning med under- eller övertempererad luft kan dock användas som korrektion för kastlängden i en överslagsberäkning.

Horisontell inblåsning vid tak

1. Vid horisontell inblåsning med undertempererad luft reduceras kastlängden med 1,5% pr. grad (Figur 11), och den vertikala spridningen b_v ökas.
2. Vid horisontell inblåsning med övertemperatur ökas kastlängderna med 2% pr. grad (Figur 11).

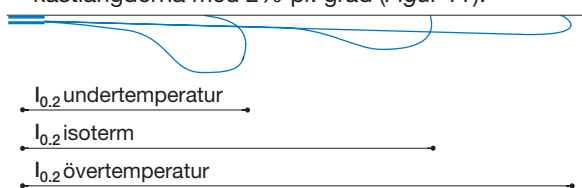


Fig. 11, Kastlängd $I_{0,2}$ för don monterat i tak.

Vertikal inblåsning från tak

Kastlängderna för vertikal inblåsning gäller vid isotermiska förhållanden.

1. Vid undertempererad luft ökas kastlängden. Kastlängden fördubblas vid $\Delta t = -10^\circ\text{C}$.
2. Vid inblåsning med övertempererad luft reduceras kastlängden. Kastlängden halveras vid $\Delta t = 10^\circ\text{C}$.

För produkter som kan ställas om till vertikal inblåsning finns dessutom särskilda vändpunktsdiagram för övertempererad luft ($\Delta t = +5\text{K}$, $+10\text{K}$ och ev. $+15\text{K}$) och vändpunkten $I_{0,0}$ tillsammans med övriga produktdata.

Projektering av omblandande ventilation

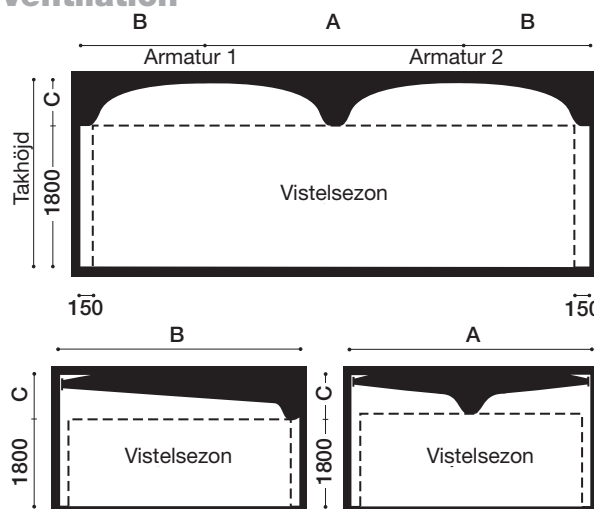


Fig. 12, Projektering av omblandande ventilation.

För att undvika hastigheter över 0,2 m/s i vistelsezonen skall donen dimensioneras så att kastlängderna $I_{0,2}$ har det rätta förhållandena till avstånden A, B och C (Figur 12). För två mot varandra blåsande don skall följande innehållas:

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

För ett don, som blåser mot vägg gäller $0,75 \times (B + C) \leq I_{0,2} \leq B + C$

Om 2 eller flera don med parallellt riktad inblåsning (1-vägs eller 2-vägs) placeras med ett inbördes avstånd A, som är mindre än b_h , förlängs kastlängden enligt $I_{0,2}$ (korrigerat) = $K \times I_{0,2}$ där K är en korrektionsfaktor, som kan avläsas i Figur 13.

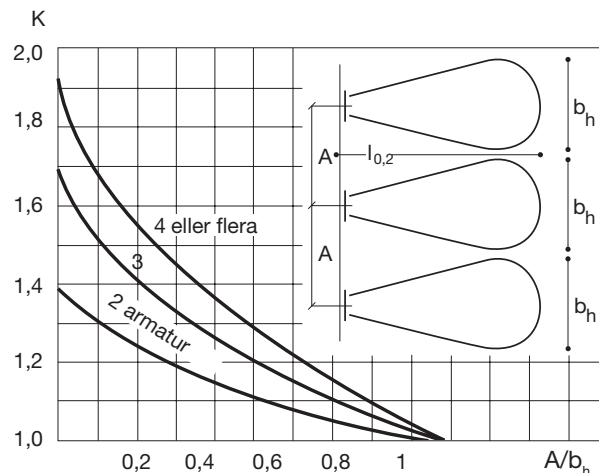


Fig. 13, Projektering av omblandande ventilation.

Mix ventilation

Teori

För dysor och frihängande don med 1-vägs inblåsning kan strålens stigande eller fallande till följd av över- eller undertempererad tilluft avläsas i *Figur 14*.

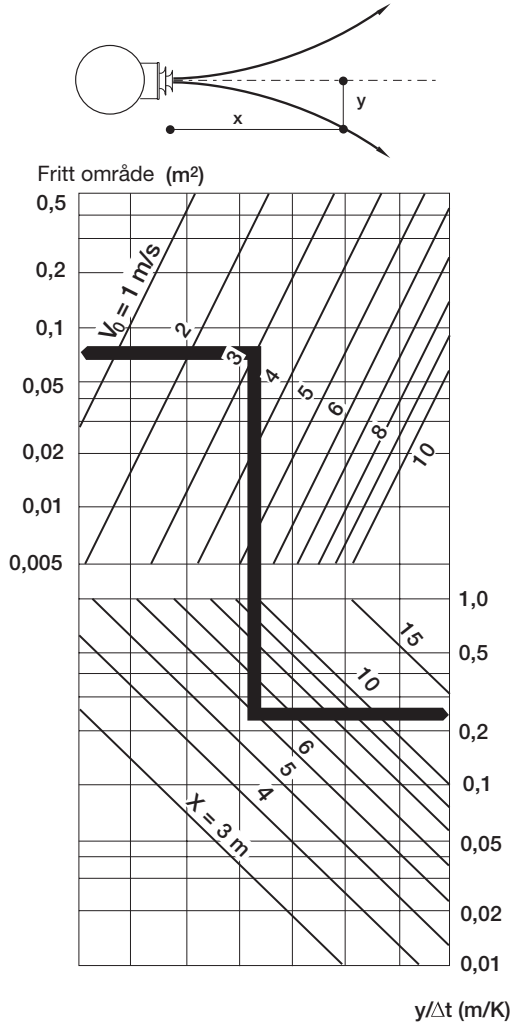


Fig. 14, Projektering av omblandande ventilation.

Exempel

En dysa har en fri area på 0,075m².
 Med en luftmängd på 210 l/s fås en inblåsningshastighet $v_0 = 3 \text{ m/s}$ ($v_0 = q / A \times 1000$).
 I *Figur 14* är en vågrät fet linje inritad mellan $A_0 = 0,075 \text{ m}^2$ och $v_0 = 3 \text{ m/s}$. Genom att följa den feta linjen lodrätt ned till $x = 6 \text{ m}$ och därefter vågrätt till höger kan förhållandet mellan y (stigande/fallande) och Δt (temperaturdifferensen mellan tilluft och rumsluft) avläsas till 0,24.
 Med en temperaturdifferens på 10 K fås en stigning/fall på $y = 0,24 \text{ m/K} \times 10 \text{ K} = 2,4 \text{ m}$ på ett avstånd av $x = 6 \text{ m}$ från dysan.

För att undvika att luftstrålen böjer av p.g.a. ev. hinder skall minimumavstånden i *Figur 15* hållas.

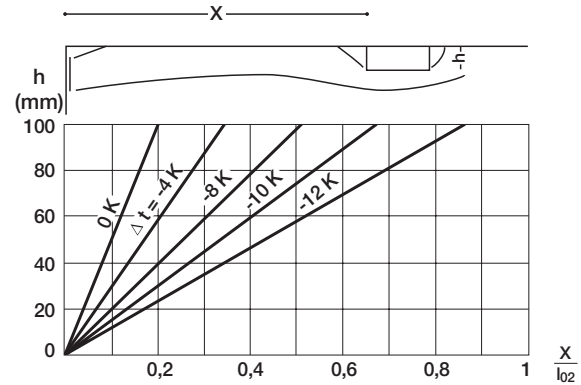


Fig. 15, Kastlängd $l_{0,2}$ för don.

Värmebelastningar i rummet skapar uppåtgående konvektionsströmmar, och motsvarande så uppstår det nedåtgående kalla konvektionsströmmar av den inblåsta luften.

Mix ventilation

Teori

Den beräknade maximala hastigheten v_{term} i vistelsezonen, på grund av termiska strömningar, visas i *Figur 16*. Strömningarna påverkas av värmebelastningen i rummet (W/m^2) samt av fördelningen av tilluften (antal don och spridningsmönster), men inte av impulsen från inblåsningen. Dessutom är hastigheten beroende av takhöjden.

För att fastställa den maximala hastigheten i vistelsezonen tar man hjälp av en empirisk modell ut ifrån värmebelastningen (W/m^2), antal don (W/don), samt

inblåsningmönstret (1-, 2-, 3-, 4-vägs) vid en takhöjd på 2,5 m.

Om det råder tvivel om ett projekt, eller om man önskar undersöka speciella förhållanden, erbjuder Lindab att testa förhållandena i praktiken genom att utföra fullskaleförsök, vilket ofta är värdefullt vid större och komplicerade uppdrag.

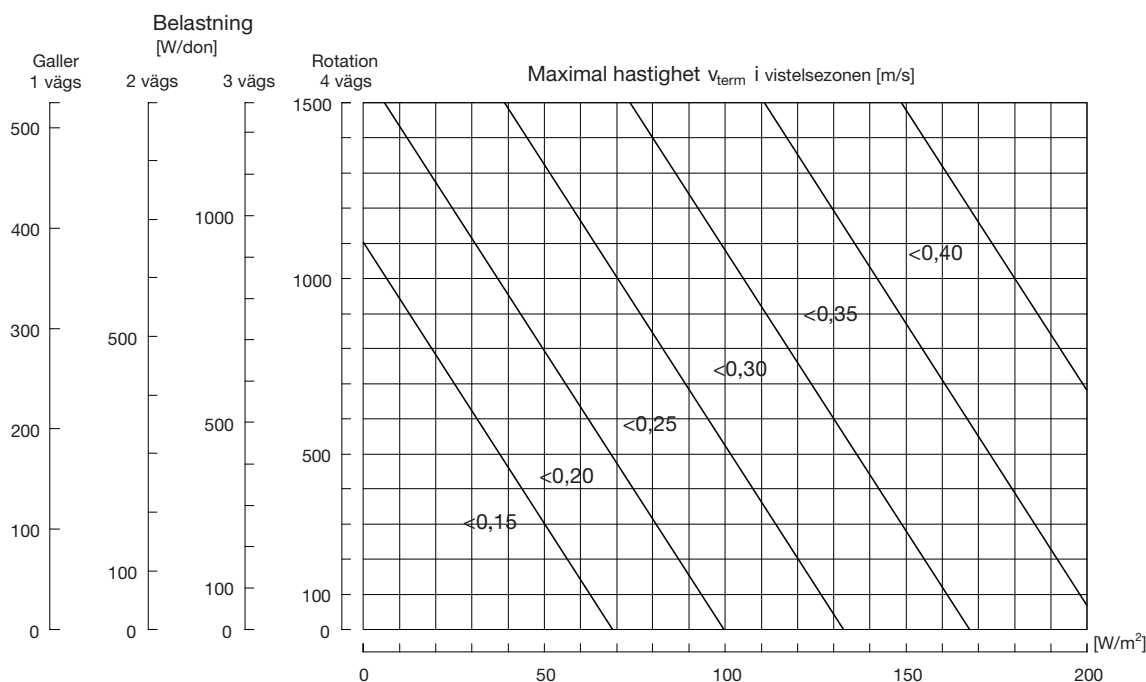


Fig. 16 a, Termisk maximalhastighet i vistelsezonen. Diagrammet är vägledande och gäller för en takhöjd på 2,5 m.

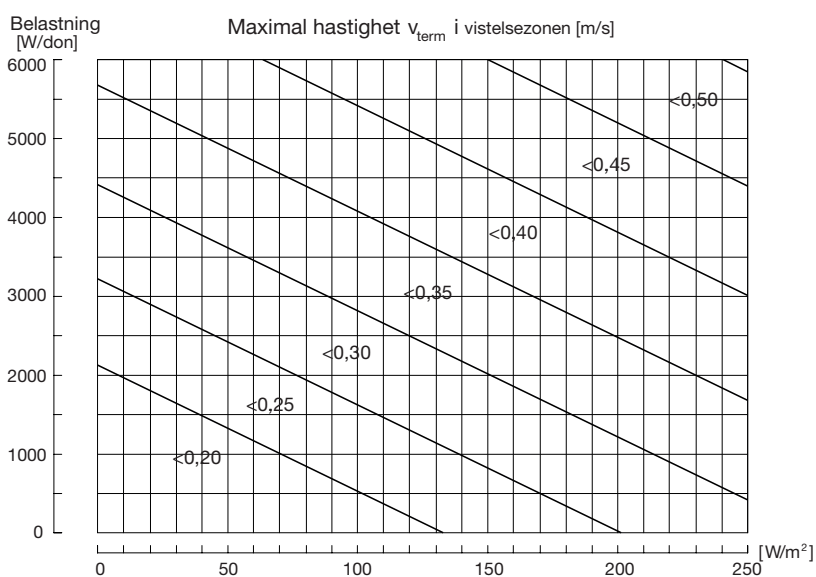


Fig. 16 b, Termisk maximalhastighet i vistelsezonen. Diagrammet är vägledande och gäller för takhöjder > 4 m.

Mix ventilation

Teori

Beräkningsexempel

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

Termisk belastning:

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

10 bordslampor 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)

Total belastning = 2900 W (48 W/m²)

För att uppnå tillfredsställande luftkvalitet i lokalen räknar man normalt med att ventilationen skall ge ett uteluftstillskott på 4-10 l/s per person samt 0,4 l/s per m² golvarea. Används 10 l/s kan följande nödvändiga luftflöde beräknas.

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

Om ventilationen samtidigt skall kyla bort den sammanlagda värmebelastningen i lokalen så är det nödvändigt med en temperaturdifferens Δt mellan tilluften och rums-/frånluften. Δt kan bestämmas till.

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

Då en undertemperatur på nästan 20 K högst sannolikt kommer ge anledning till termiska obehag, exempelvis pga. nedslag från ett takdon, rekommenderas det att man ökar luftmängden och använder en mindre undertemperatur. Väljs $\Delta t = 6 \text{ K}$ kan luftmängden bestämmas till.

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

Deplacerande ventilation

Teori

Deplacerande ventilation

Ett tilluftsdon skall tillföra en bestämd mängd luft för att rummet skall bli tillräckligt genomventilerat samtidigt som kraven på ljudnivå, lufthastighet och temperaturgradient i vistelsezonen skall innehållas. För att kunna klara dessa krav behöver man känna till några projekteringsregler, varav de viktigaste anges i följande stycke. Vid val av don skall kraven på tryckfall, ljudnivå och närzon, fastställas. Dessa data finns för varje don, separat redovisat. Urvals-, och dimensioneringsdata som redovisas i Lindabs produktdatablad är resultat av mätningar utförda i Lindabs laboratorium och är utförda med moderna och noggranna mätinstrument. I praktiken är förhållandena sällan så ideala som i ett laboratorium, eftersom byggmässiga förhållanden, möblering, placering av donen mm, har ett stort inflytande på strålutbredningen i rummet. Lindab erbjuder att simulera förhållandena i praktiken genom att utföra fullskaleförsök, vilket ofta är värdefullt vid större och komplicerade projekt.

Beteckningar

$a_{0,2}$	Bredd på närzon	[m]
$b_{0,2}$	Längd på närzon	[m]
ϵ_t	Temperatureffektivitet	[-]
K_{ok}	Korrektionsvärde för ljudeffektnivå	[dB]
L_A	A-vägd ljudtrycksnivå	[dB(A)]
L_{WA}	A-vägd ljudeffektnivå	[dB(A)]
L_{Wok}	Ljudeffektsnivå i oktavband	[dB]
L_p	Ljudtrycksnivå	[dB]
L_w	Ljudeffektsnivå	[dB]
ΔL	Egendämpning	[dB]
D	Rumsdämpning	[dB]
Δp_t	Totaltryckfall	[Pa]
q	Luftflöde	[m ³ /h], [l/s]
t_i	Tilluftstemperatur	[°C]
t_r	Rumstemperatur (1,1 m över golv)	[°C]
t_u	Frånluftstemperatur	[°C]
Δt	Temperaturdifferens mellan rumsluft och tilluft	[K]
v_x	Strålshastigheten på avst. x från donets centrum	[m/s]

Vertikal temperaturfördelning

På grund av den lagerindelade strömningen så är det vid deplacerande ventilation stor skillnad på temperaturen upp genom rummet. Vid komfortventilation, då värmekällorna är placerade i den nedersta delen av lokalen kommer temperaturgradienten, dvs. temperaturstigningen pr. m (K/m) vara störst i den ned-

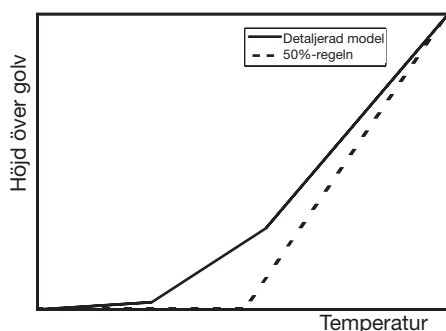


Fig. 17, Jämförelse av modeller för beskrivning av den vertikala temperaturfördelningen.

ersta delen av lokalen och mindre i den översta delen.

De enklaste modellerna för att beskriva den vertikala temperaturfördelningen är de så kallade ”%-reglerna”. Den mest använda är 50% -regeln, i vilken det antas, att hälften av temperaturstigningen från inblåsning till utsugning sker vid golvet och den andra halvan sker upp genom lokalen (se Figur 17). Modellen är bra som ett första överslag för de flesta typiska lokaler och don, men pga. sin enkelhet är den inte tillräckligt precis för att beräkna temperaturgradienten i vistelsezonen.

Lindab rekommenderar i stället att man använder en mer detaljerad modell, som beskriver temperaturgradientens variation upp genom lokalen. Med god noggrannhet kan antagandet göras, att temperaturgradienten i vistelsezonen är hälften av temperaturskillnaden mellan rumsluften och inblåsningssluffen. Modellen är baserad på erfarenheter från en rad fullskaleförsök och tar hänsyn till temperatureffektiviteten, samt att temperaturgradienten är större i den nedersta delen av lokalen än i den översta.

Temperatureffektivitet

Effektiviteten vid deplacerande ventilation blir på grund av lagerindelningen större än vid omblandande ventilation. Skillnaden ökas vid större takhöjder. Den effekt som förs bort från rummet är direkt proportionell mot temperaturskillnaden mellan inblåsning och utsugning ($t_u - t_i$).

Då utsugningstemperaturen (t_u) vid deplacerande ventilation är högre än rumstemperaturen (t_r) så kan man föra bort samma effekt från rummet med en högre inblåsningstemperatur (t_i) i förhållande till omblandande ventilation, där $t_u \leq t_r$. Detta betyder, att man kan spara kylffekt, eller kan utnyttja uteluftens kylffekt bättre.

Deplacerande ventilation är dessutom delvis självreglerande vid varierande termisk belastning, eftersom en stigande belastning först och främst ger en större temperaturgradient och därmed högre temperatur vid taket.

Temperatureffektiviteten beräknas genom:

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

Vid deplacerande ventilation gäller att $\epsilon_t > 100\%$ ($t_u \leq t_r$), medans $\epsilon_t \leq 100\%$ Vid omblandande ventilation ($t_u \leq t_r$). Vid fullständig omblandning är $\epsilon_t = 100\%$ ($t_u = t_r$).

Tryckfall

Diagrammen visar det totala tryckfallet för donet (vid $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$), d.v.s. summan av statiskt och dynamiskt tryck, anslutet med en rak kanal med en längd på 1 m och samma dimension som donet.

Ljudnivå

Diagrammen i produktdatabladet anger den A-vägd ljud-effektnivån L_{WA} för don anslutet med en rak kanal med en längd på 1 m och samma dimension som donet. Ljudtrycksnivå är ett mått på ljudets styrka, dvs. de tryckvariationer vi uppfattar, medan ljudeffektnivån är en parameter, som karakteriserar ljudkällan. Bägge storheterna anges normalt i enheten dB (decibel), vilket kan ge anledning till en del förvirring.

Deplacerande ventilation

Teori

Ljudtryck (L_p)

Ett mått på ljudets styrka, karakteriserat av de tryckvariationer, som uppfattas av örat eller mäts med en mikrofon på en ljudmätare. Ljudtryck mäts i Pascal (Pa) och anges normalt som ljudtrycksnivå i decibel (dB) eller dB(A).

Ljudeffekt (L_w)

Den effekt, en ljudkälla (t.ex. en maskin) sänder ut i form av ljud. Ljudeffekten mäts i Watt (W) och anges normalt som ljudeffektnivå i decibel (dB) eller dB(A).

I Lindabs produktdatablad anges donens ljudmässiga egenskaper som ljudeffektnivå.

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

där N är den aktuella ljudeffekten [W], som tillförs luften i form av tryckvågor och $N_{re} = 10^{-12}$ W är referensljudeffekten.

$$\text{Ljudtrycksnivå: } L_p = 20 \times \log \frac{p}{p_{re}} \text{ [dB]}$$

där p är det aktuella ljudtrycket [N/m^2] och $p_{re} = 2 \times 10^{-5}$ N/m^2 är referensljudtrycket.

Rumsdämpningen D [dB] är skillnaden mellan ljudeffektnivån och ljudtrycksnivån

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

Den A-vägda ljudeffektnivån, L_{WA} omräknas till ljudeffektnivå i vart enskilt oktavband genom

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

där K_{ok} är ett korrektionsvärde. K_{ok} anges i tabellform för vart enskilt don.

Egendämpning

Anger för varje don reduktionen av ljudeffektnivån från kanal till rum (inkl. ändreflektion).

Närzon

Det område omkring donet, där lufthastigheten överstiger 0,2 m/s kallas närzonen.

Storleken på närzonen anges för varje don vid en under-temperatur på $\Delta t = t_r - t_i = 3K$. Närzonslängden (a_v) och bredden (b_v) gäller vid en jämnt fördelad termisk belastning.

Projektering av deplacerande ventilation

Att projektera en ventilationsanläggning efter undanträngandeprincipen, som »fungerar« på grund av de termiska krafterna, och där tilluften tillförs direkt i vistelsezonen, ställer särskilda krav på dimensionering och placering av tilluftsdonen. Systemet är känsligt för värmepåverkan och donen bör därför aldrig placeras alldeles intill kraftiga värmekällor som t.ex. en radiator. Kraftigt solinfall kan likaledes förstöra systemet och i vissa tillfällen få det till att fungera som ett omblandande system. Stora, kalla vägg- och fönsterytor i lokalen kan leda till en tillbakastömning av förorenad luft till vistelsezonen.

Systemet är inte lämpligt för uppvärmning och kräver därför, att uppvärmning och ventilation separeras. Utsugning bör alltid ske så högt i lokalen som möjligt.

Råder det tvivel om ett projekt, eller om speciella förhållanden önskas få undersökta, erbjuder Lindab att testa förhållandena i praktiken genom att utföra fullskaleförsök, vilket ofta är värdefullt vid större och komplicerade uppdrag.

Konvektionsströmmar

Den tillförda luftmängden skall minst motsvara den sammanlagda konvektionsströmmen i rummet (Figur 18). Om den tillförda luftmängden är mindre, kommer konvektionsströmmen dra med sig förorenad luft uppifrån, vilket leder till, att det förorenade lagret dras med ned i vistelsezonen (Figur 19).

Följande parametrar påverkar konvektionsströmmen:

- Värmekällans form och yta.
- Värmekällans yttemperatur.
- Konvektiv andel av den avgivna värmeeffekten.
- Medeltemperatur i lokalen.
- Den förorenade zonen höjd i förhållande till värmekällornas placering (höjd) i lokalen.

Konvektionsströmmarna från personer, belysning och maskiner kan fastställas utifrån värmekällornas effekt och placering i rummet (se Tabell 1 och Tabell 2).

Tabell 1, Vägledande konvektionsströmmar för personer.

Aktivitet	met	Värmeavg. W	Luftflöde l/s	
			1,2 m ö.g.	1,8 m ö.g.
Sittande, vila	1,0	100	8-10	-
Sittande aktivitet	1,2	130	10-12	-
Lätt aktivitet, stående	1,6	170	-	25-30
Medelakt. Stående	2,0	200	-	30-35
Hög aktivitet, stående	3,0	300	-	35-40

Met: metabolism(föroreningsomsättning), 1 met = 58 W/m² kroppsytta.

Tabell 2, Vägledande konvektionsströmmar för diverse värmekällor.

Värmekälla	Luftflöde l/s pr. W	
	1,2 m ö.g.	1,8 m ö.g.
Bordslampor	0,11	0,20
Takbelysning	-	-
maskiner	0,10	0,20
Solinfall	0,11	0,22

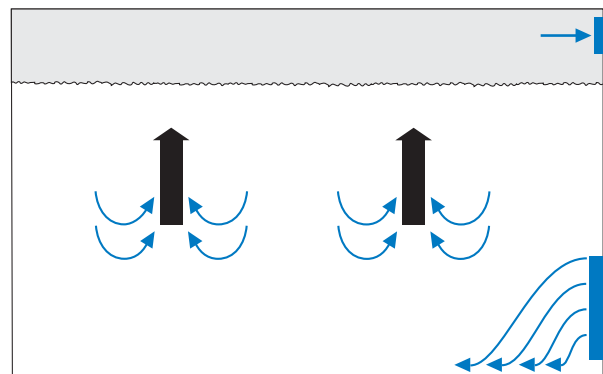


Fig. 18, Deplacerande ventilation med tillräckligt luftflöde.

Deplacerande ventilation

Teori

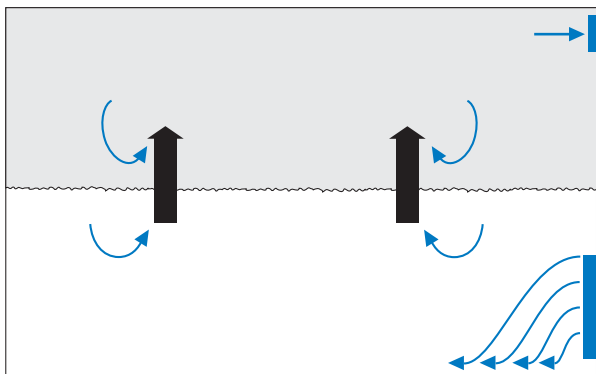


Fig. 19, Deplacerande ventilation med otillräckligt luftflöde.

Temperaturgradient

Kravet på termisk komfort i vistelsezonen sätter gränser på temperaturgradientens storlek. I Tabell 3 anges den av Lindab Comfort maximala rekommenderade gradienten i vistelsezonen angiven vid olika aktivitetsnivåer. Dessutom anges den motsvarande maximala tillåtna undertemperaturen ($t_r - t_i$) då man använder Lindabs COMDIF-don.

Temperaturgradienten i vistelsezonen (K/m) kan med god noggrannhet sättas till halva undertemperaturen $t_r - t_i$ (K).

Tabell 3, Vägledande temperaturgradienter och undertemperaturer.

Aktivitet	Maximal temperatur gradient (K/m)	Maximal undertemperatur $t_r - t_i$ (K)
Sittande, vila	1,5	3,0
Sittande aktivitet	2,0	4,0
Lätt aktivitet, stående	2,5	5,0
Medelakt., stående	3,0	6,0
Hög aktivitet, stående	3,5	7,0

Närzon

Närzonens storlek anges för vart enskilt don i produkt-databladet. Om flera don monteras i närheten av varandra, ökas närzonen väsentligt (Figur 20).

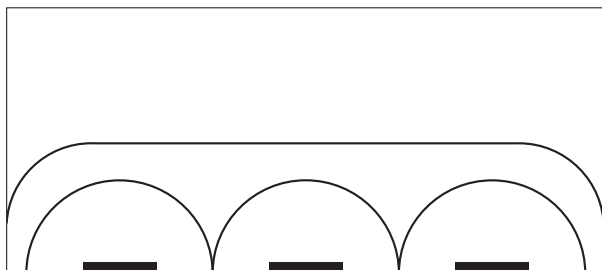


Fig. 20, Don placerade för tätt, varvid det enskilda donets induktion begränsas.

Ett stort luftflöde från ett don kan resultera i en för stor närzon (Figur 21). Fördelas luften i stället på två don uppnås mindre närzoner (Figur 22).

För att uppnå så små närzoner som möjligt, och därmed utnyttja rummet som bäst, bör luftflödet fördelas jämnt i rummet med så många don som möjligt.

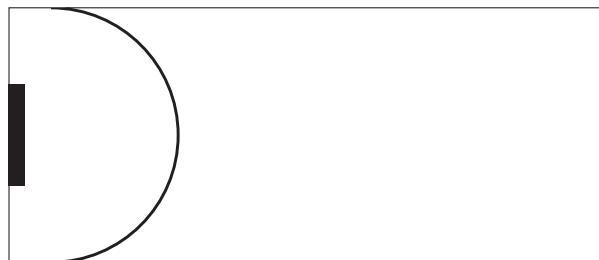


Fig. 21, För stort luftflöde på ett don resulterar i en stor närzon.

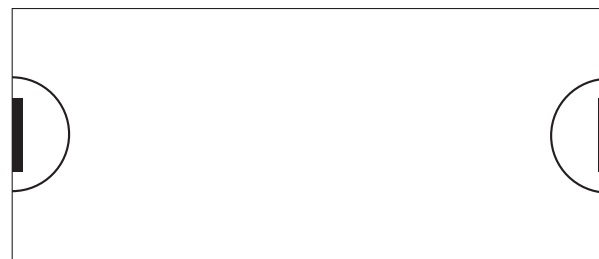


Fig. 22, Mindre luftflöde pr. don och därmed mindre närzoner.

Flera don

När flera don placeras för tätt intill varandra, ökas närzonen som visat i fig. 20, eftersom det kan skapas strålar mellan donen. På ett visst avstånd från donen kommer det emellertid skapas en plan strömning med något sånär konstant hastighet. Denna sluthastighet beror på det totala luftflödet per meter vägg samt undertemperaturen. I Fig. 23 kan denna sluthastighet avläsas. Det kan ofta vara klokt att fördela luften ut på don som sitter på intill varandra liggande vinkelräta väggar. Här bör donen också placeras jämnt längs väggarna, då det även kan skapas strålar mellan tätsittande don kring ett vaggörn.

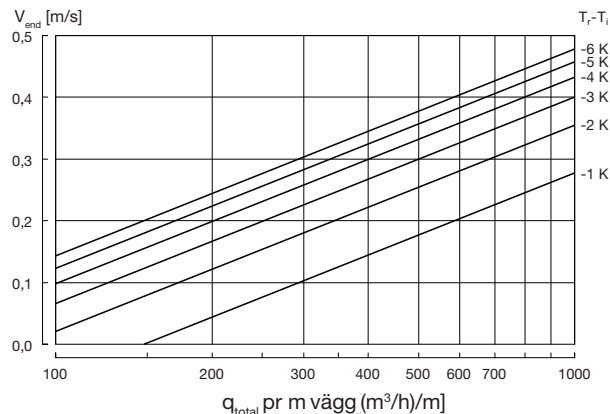


Fig. 23, Sluthastighet vid plan strömning.

Deplacerande ventilation

Teori

Effekt

För att beräkna den effekt, som kan föras bort från rummet med ett deplacerande system, skall man känna till temperaturskillnaden $t_u - t_r$, (beror på den termiska belastningen, takhöjden och undertemperaturen ($t_r - t_i$)). Vid beräkning av temperatureffektiviteten och den nödvändiga temperaturdifferensen $t_u - t_i$ skall man räkna med värmekällor vid taket (t.ex. belysning) med 50% av den angivna effekten.

Ur *Figur 24* kan temperatureffektiviteten ϵ_i avläsas vid olika kombinationer av takhöjder och värmebelastningar.

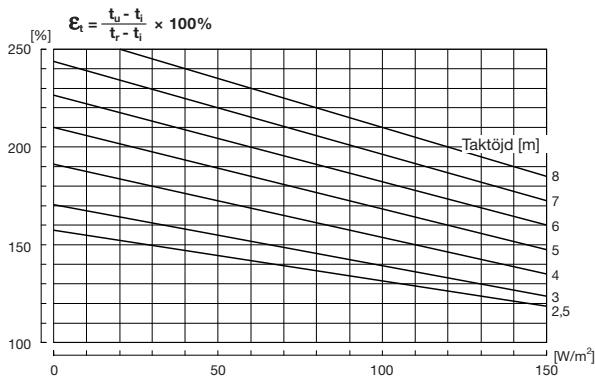


Fig. 24, Temperatureffektivitetens beroende av takhöjd och värmebelastning.

Beräkningsexempel

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

Termisk belastning:

10 pers., sittande aktivitet ($10 \times 130 \text{ W}$) = 1300 W (22 W/m^2)
 10 bordslampor á 60 W ($10 \times 60 \text{ W}$) = 600 W (10 W/m^2)
 10 maskiner á 100 W ($10 \times 100 \text{ W}$) = 1000 W (17 W/m^2)

Sammanlagd belastning = 2900 W (48 W/m^2)

Minsta luftflöde (från Tabell 1 och Tabell 2):

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

Nödvändig temperaturdifferens ($t_u - t_i$):

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

Ur *Figur 24* kan temperatureffektiviteten avläsas till $\epsilon_i = 178\%$ vid en takhöjd på 4 m och en värmebelastning på 48 W/m^2 .

Härmed kan temperaturskillnaden $t_r - t_i$ bestämmas:

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

Vilket ger en temperaturgradient i vistelsezonen på 2,5 K/m (då temperaturgradienten i vistelsezonen med god noggrannhet kan sättas till hälften av undertemperaturen ($t_r - t_i$)). Lindab rekommenderar en temperaturgradient på $< 2 \text{ K/m}$ och därför bör luftflödet ökas.

En temperaturgradient på 2 K/m ger $t_r - t_i = 4 \text{ K}$ och med oförändrad temperatureffektivitet på 178% blir den acceptabla temperaturdifferensen $t_u - t_i = 7,1 \text{ K}$.

För att föra bort värmebelastningen på 2900 W skall luftflödet ändras till:

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

Projektering av ljudnivå

Teori

Projektering av ljudnivå

Diagrammen i produktdatabladet anger den A-vägda lju-
deffektnivån L_{WA} för don anslutna med en rak kanal med
en längd på 1 m och samma dimension som donet.
Den aktuella ljudtrycksnivån, som vi hör, beräknas enligt
nedan.

Beteckningar

A	Rummets totala absorptionsarea	[m ²]
K_{ok}	Korrektionsvärde för lju- deffektnivå	[dB]
L_A	A-vägd ljudtrycksnivå	[dB(A)]
L_{WA}	A-vägd lju- deffektnivå	[dB(A)]
L_{Wok}	Lju- deffektnivå i oktavband	[dB]
L_p	Ljudtrycksnivå	[dB]
D	Rumsdämpning	[dB]
L_w	Lju- deffektnivå	[dB]
V	Rummets volym	[m ³]
T_s	Rummets efterklangstid	[s]
D	Rumsdämpning	[dB]
Q	Riktning- sfaktor	[-]
Δ	Ökning av lju- deffektnivån vid ett givet antal likadana don	[dB]
r	Avståndet till närmsta don	[m]
α	Absorptionsfaktor	[-]
n	Antal don	[-]

Beräkning av ljudtrycksnivån

Den sammanlagda lju-
deffekten L_w från ett antal likadana
don beräknas genom logaritmisk multiplikation av antalet
don med lju-
deffektnivån från ett enskilt don.

$L_w = L_{w1} \otimes n$ (\otimes = logaritmisk multiplikation)
där L_{w1} är lju-
deffektnivån från ett enskilt don [dB] och n
antalet don.

Den sammanlagda lju-
deffekten kan beräknas mha. *Figur*
25 som:

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

där Δ är ökningen av lju-
deffektnivån vid ett givet antal
likadana don.

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, Ökning av lju-
deffektnivån (logaritmisk multiplikation) vid
ett antal lika ljudkällor.*

Med vetskap om ljudkällorna och rummets absorptions-
sarea beräknas rumsdämpningen ur *Figur 26*, *Figur 27*
och *Figur 28* vid en eller flera likadana ljudkällor i rummet.
Den aktuella ljudtrycksnivån är skillnaden mellan lju-
deffektnivån och rumsdämpningen, då L_p är ljudtrycksnivån
[dB], L_w är lju-
deffektnivån [dB] och D är rumsdämpningen
[dB].

Vid olika ljudkällor i samma rum beräknas ljudtrycksnivån
i en given punkt genom logaritmisk addition av ljudtrycks-
nivåerna för de enskilda ljudkällorna (*Figur 29*).

A kan också beräknas utifrån efterklangstiden efter
formeln:

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

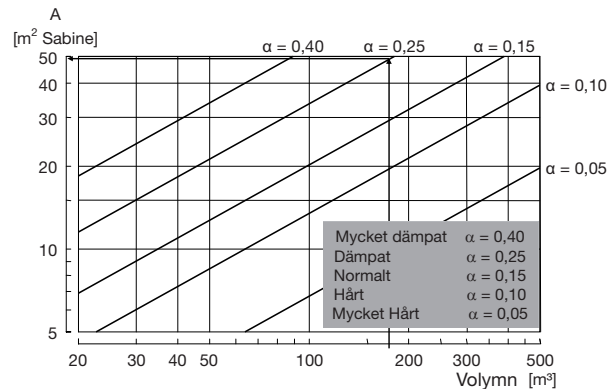


Fig. 26, Riktningsskiva för olika placeringar av ljudkällor och förhållandet mellan rumsvolymen och ekvivalent ljudabsorptionsarea.

Beräkningsexempel

I en lokal med dimensionerna $L \times B \times H = 10 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}$ är 4 don monterade i taket. Varje don ger en lju-
deffektnivå på 29 dB(A). Rummet är "dämpat", vilket ger en
absorptionsarea på $A \sim 50 \text{ m}^2$ Sabine (*Figur 26*).

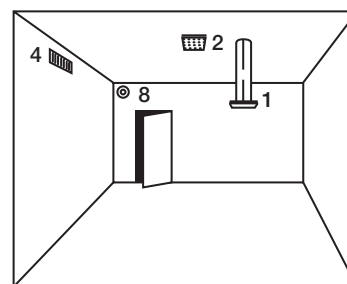
Ljudtrycksnivån skall beräknas 1,5 m över golvet.
Lju-
deffektnivån från de 4 donen: $L_w = 29 \otimes 4 = 29 + 6 = 35 \text{ dB(A)}$ (*Figur 25*).

För don monterade i taket är riktningsskivornas $Q = 2$ och
därmed blir (*Figur 27*).

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

På höjden 1,5 m över golvet är avståndet till närmsta don $r = 1 \text{ m}$ och därmed kan rumsdämpningen bestämmas till $D = 9 \text{ dB}$ mha. *Figur 28*.

Ljudtrycksnivån 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, Riktningsskiva för olika placeringar av ljudkällor och förhållandet mellan \sqrt{n} / \sqrt{Q} som funktion av antalet ljudkällor och riktningsskivornas antal (bilden).

Projektering av ljudnivå

Teori

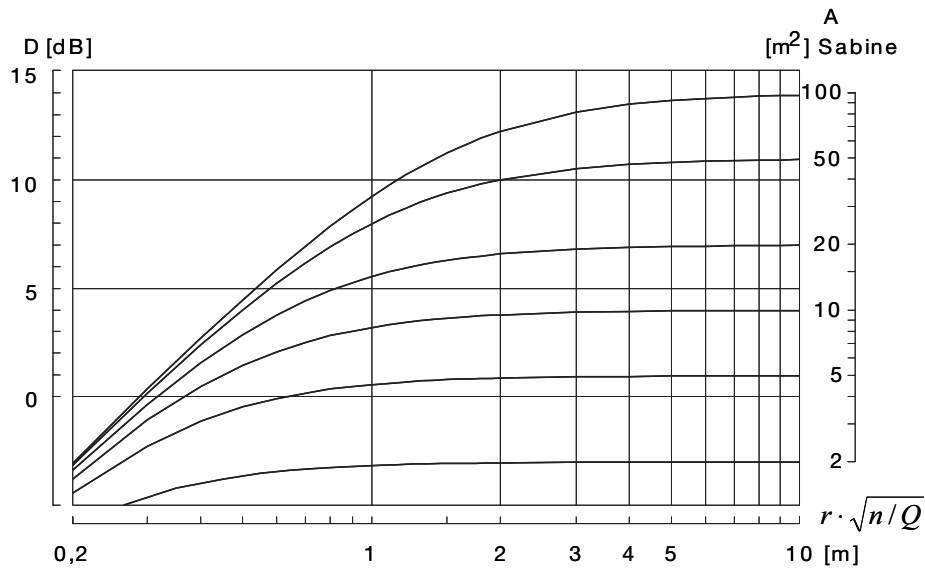


Fig. 28, Rumsdämpning som funktion av absorptionsarean och antal ljudkällor.

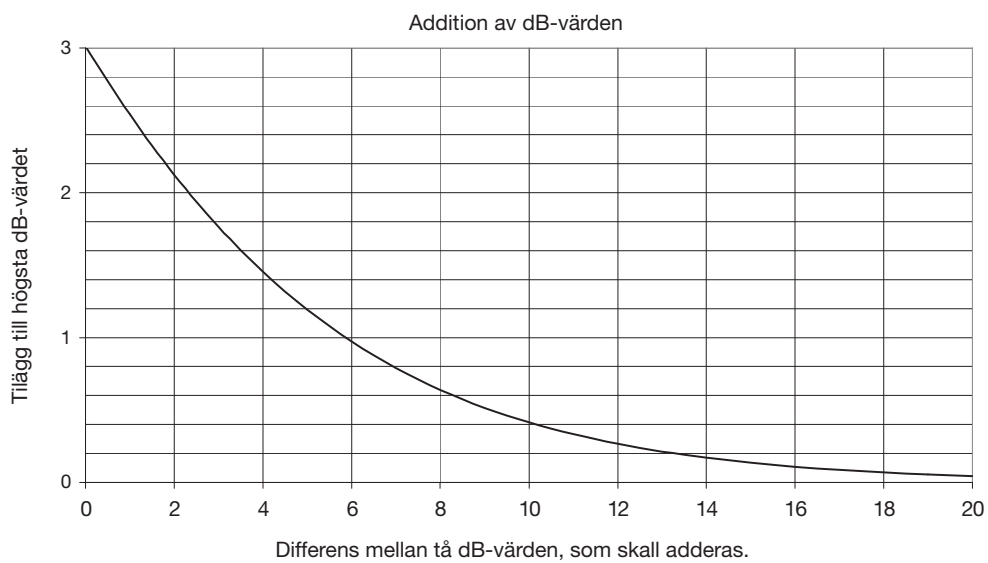


Fig. 29, Addition av ljudnivåer (logaritmisk addition av ljudeffektnivå eller ljudtrycksnivå).

T.ex. två källor vid 41 dB och 47 dB;
skillnaden är $47 - 41 = 6$;
från diagram: 6 på X-axis = 1 på Y-axis;
 $47 + 1 = 48$ dB resulterande nivå.



De flesta av oss tillbringar större delen av tiden inomhus. Inomhusklimatet är avgörande för hur vi mår, hur mycket vi orkar och om vi håller oss friska.

Vi på Lindab har därför gjort till vår viktigaste uppgift att bidra till ett inomhusklimat som förbättrar människors liv. Det gör vi genom att utveckla energieffektiva ventilationslösningar och hållbara byggprodukter. Vi vill också bidra till ett bättre klimat för vår planet genom att arbeta på ett sätt som är hållbart för både människor och miljön.

[Lindab](#) | För ett bättre klimat