

---

Beteckningar  
Omräkningsfaktorer  
Definitioner  
Hjälpmedel  
Ventilationens syfte  
Riktlinjer

Ventilationsprinciper  
Ventilationssystem  
Omblandande ventilation  
Deplacerande ventilation  
Mätning och injustering  
Akustik

RUM		
Symbol		Enhet
l	Längd	m
b	Bredd	m
h	Höjd	m
$\delta$	Tjocklek	m
r	Radie	m
d	Diameter	m
A	Area	m <sup>2</sup>
V	Volym	m <sup>3</sup>

VENTILATION OCH VÄRME		
Symbol		Enhet
C <sub>p</sub>	Specifik värmekapacitet	kJ/kg · K
C	Strålningskoefficient	W/m <sup>2</sup> · K <sup>4</sup>
d <sub>h</sub>	Hydraulisk diameter	m
d <sub>e</sub>	Ekvivalent diameter	m
E	Energi	J
F	Kraft	N
g	Tyngdacceleration	m/s <sup>2</sup>
h	Entalpi	J/kg
m	Massa	kg
P	Effekt	W = J/s
Pr	Prandtl's tal	
ρ	Tryck	Pa = N/m <sup>2</sup>
ρ <sub>d</sub>	Dynamiskt tryck	Pa
ρ <sub>s</sub>	Statiskt tryck	Pa
ρ <sub>atm</sub>	Atmosfäriskt tryck	Pa, mbar
ρ <sub>t</sub>	Totaltryck	Pa
Δp	Tryckdifferens	Pa
q	Volymflöde	m <sup>3</sup> /s
r	Förångningsvärme	kJ/kg
R	Värmemotstånd	m <sup>2</sup> · K/W
T	Temperatur, Kelvin	K
t	Temperatur, Celsius	°C
t	Tid	s
ΔT	Temperaturdifferens	K
Δt	Temperaturdifferens	°C
U	Värmegenomgångskoeff.	W/m <sup>2</sup> · K
v	Hastighet	m/s
α	Värmeövergångskoeff.	W/m <sup>2</sup> · K
ε	Emissionstal, effektivitet	
ν	Kinematisk viskositet	m <sup>2</sup> /s
ρ	Densitet	kg/m <sup>3</sup>
φ	Relativ fuktighet	%
η	Verkningsgrad	
λ	Värmeledningstal	W/m · °C

AKUSTIK		
Symbol		Enhet
A	Absorptionsarea	m <sup>2</sup> Sabine
c	Ljudhastighet	m/s
D	Nivådifferens	dB
f	Frekvens	Hz
i	Intensitet	W/m <sup>2</sup>
L	Ljudnivå	dB ref 2 · 10 <sup>-5</sup> Pa
L <sub>A</sub>	A-vägd ljudtrycksnivå	dB ref 2 · 10 <sup>-5</sup> Pa
L <sub>p</sub>	Ljudtrycksnivå	dB ref 2 · 10 <sup>-5</sup> Pa
L <sub>W</sub>	Ljudeffektnivå	dB ref 10 <sup>-12</sup> W
L <sub>WA</sub>	A-vägd ljudeffektnivå	dB ref 10 <sup>-12</sup> W
L <sub>i</sub>	Ljudintensitetsnivå	dB ref 10 <sup>-12</sup> W/m <sup>2</sup>
L <sub>eq</sub>	Ekvivalent ljudnivå	dB ref 2 · 10 <sup>-5</sup> Pa
Q	Direktivitetsfaktor	
R	Rumskonstant	
R	Reduktionstal	dB
T	Efterklangstid	s
α	Absorptionsfaktor	
λ	Våglängd	m

LUFTUTBYTE		
Symbol		Enhet
ε <sub>rc</sub>	Ventilationseffektivitet	%
ε <sub>pc</sub>	Lokalt ventilationsindex	-
ε <sub>ra</sub>	Luftutbyteseffektivitet	%
ε <sub>rt</sub>	Temperatureffektivitet	%
ε <sub>pt</sub>	Lokalt temperaturindex	-
τ <sub>n</sub>	Nominell tidskonstant	h
τ <sub>m</sub>	Rumsluftens medelålder	h
τ <sub>r</sub>	Utbyttestiden för luften i rummet	h
n	Specifikt luftflöde	Rumsvolymer/h

LÄNGD		
m	in (inch)	ft (feet)
l	39,370	3,281
$25,4 \cdot 10^{-3}$	1	$83,33 \cdot 10^{-3}$
0,3048	12	1

AREA	
m <sup>2</sup>	sq ft (square feet)
l	10,76
0,09290	1

VOLYM		
m <sup>3</sup>	ft <sup>3</sup>	US gallon
l	35,32	264,2
$28,32 \cdot 10^{-3}$	1	7,481
$3,785 \cdot 10^{-3}$	0,1337	1

MASSA	
kg	lb (pound)
l	2,205
0,4536	1

VOLYMFLÖDE			
m <sup>3</sup> /s	l/s	m <sup>3</sup> /h	cfm (cubic feet per minute)
l	10 <sup>3</sup>	3600	2119
10 <sup>-3</sup>	1	3,6	2,119
$0,2778 \cdot 10^{-3}$	0,2778	1	0,5886
$0,4720 \cdot 10^{-3}$	0,472	1,699	1

HASTIGHET	
m/s	fpm (feet per minute)
l	196,9
$5,080 \cdot 10^{-3}$	1

## Omräkningsfaktorer

TRYCK				
Pa (= $10^{-2}$ mbar)	kp/cm <sup>2</sup>	mmvp	lb/in <sup>2</sup> (psi) (pound per square inch)	in of water (inch of water)
1	$10,20 \cdot 10^{-6}$	0.1020	$0,1450 \cdot 10^{-3}$	$4,015 \cdot 10^{-3}$
$98,07 \cdot 10^3$	1	$10^4$	14,22	393,7
9,807	$10^{-4}$	1	$1,422 \cdot 10^{-3}$	$39,37 \cdot 10^{-3}$
$6,895 \cdot 10^3$	$70,31 \cdot 10^{-3}$	703,1	1	27,68
249,1	$2,540 \cdot 10^{-3}$	25,40	$36,13 \cdot 10^{-3}$	1

ENERGI				
J (= Ws)	kpm	kcal	kWh	Btu (British thermal unit)
1	0,1020	$0,2388 \cdot 10^{-3}$	$0,2778 \cdot 10^{-6}$	$0,9478 \cdot 10^{-3}$
98,07	1	$2,342 \cdot 10^{-3}$	$2,724 \cdot 10^{-6}$	$9,295 \cdot 10^{-3}$
$4,187 \cdot 10^3$	426,9	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$	3,968
$3,6 \cdot 10^6$	$0,3671 \cdot 10^6$	859,8	1	$3,412 \cdot 10^3$
$1,055 \cdot 10^3$	107,6	0,2520	$0,2931 \cdot 10^{-3}$	1

EFFEKT					
W (= J/s)	kW (= kJ/s)	kcal/h	hk	Btu/h	TR (ton of re- frigation)
1	$10^{-3}$	0,8598	$1,36 \cdot 10^{-3}$	3,412	$0,2843 \cdot 10^{-3}$
$10^3$	1	$0,8598 \cdot 10^3$	1,360	$3,412 \cdot 10^3$	0,2843
1,163	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	$1,581 \cdot 10^{-3}$	3,968	$0,3307 \cdot 10^{-3}$
735,5	0,7355	632,4	1	$2,510 \cdot 10^3$	0,2091
0,2931	$0,2931 \cdot 10^{-3}$	0,2520	$0,3985 \cdot 10^{-3}$	1	$83,33 \cdot 10^{-6}$
$3,517 \cdot 10^3$	3,517	$3,024 \cdot 10^3$	4,783	$12 \cdot 10^3$	1

### **Olika effektivitetsbegrepp**

Man talar härvid om två olika begrepp:

- VENTILATIONSEFFEKTIVITET, är ett mått på hur effektivt en förorening transporteras bort.
- LUFTUTBYTESEFFEKTIVITET, är ett mått på hur effektivt luften i rummet byts ut.

Ett huvudmål för konstruktörer blir därför att dimensionera och placera till- och frånluftsdonen så att såväl luftutbytes- som ventilationseffektiviteten blir så hög som möjligt.

Ventilationseffektiviteten beror på ett flertal olika parametrar:

- Till- och frånluftsdonens placering.
- Typ av don.
- Tilluftshastighet.
- Temperaturskillnad mellan till- och frånluft.
- Förekomst av störningar t ex värmekällor, aktivitet etc.

Enligt förslag från Nordiska Ventilationsgruppen infördes uttrycket "specifika luftflödet" (n) istället för uttrycket "luftomsättning".

Specifika luftflödet anges som förhållandet mellan tilluftsflödets uteluftsandel och den ventilerade rumsvolymen.

Specifika flödet kallades förr för "luftomsättning" med enheten oms/h. Detta har emellertid ofta lett till uppfattningen att luften i rummet byts ut så många gånger per timme som talet anger. Hur snabbt luften i rummet byts ut bestäms ej enbart av storleken på tilluftsflödet och rumsvolymen utan även i hög grad av hur luften strömmar i rummet.

Överskottsvärme kan betraktas som en förorening. Det är därför lämpligt att införa begreppet "temperatureffektivitet".

Eftersom överskottsvärme kan betraktas som en förorening kan vi därför byta ut koncentrationen mot temperatur för att få temperatureffektiviteten.

Vi skiljer på "medeltemperatureffektivitet" som gäller som ett medelvärde för hela rummet och "lokalt temperaturindex" som gäller för en viss punkt i rummet.

## Definitioner

### Basfakta

#### Ventilationseffektivitet, $e_{rc}$

Definieras vid ett visst föroreningsutsläpp som kvoten mellan koncentrationen i frånluften och medelkoncentrationen i rummet, dvs.

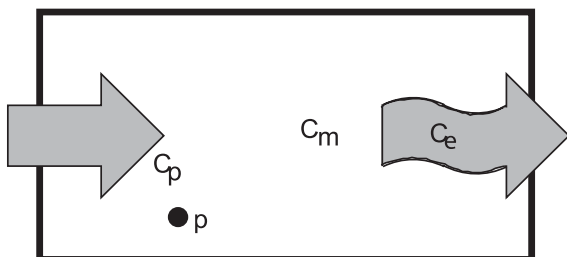
$$e_{rc} = \frac{C_e}{C_m} 100\%$$

där  $C_e$  = jämviktskoncentrationen i frånluften  
där  $C_m$  = medelkoncentrationen i rummet vid jämvikt

#### Lokalt ventilationsindex, $e_{pc}$

där  $C_p$  = jämviktskoncentrationen i punkten p

$$e_{pc} = \frac{C_e}{C_p} 100\%$$



#### Luftutbyteseffektivitet, $e_{ra}$

Definieras som kvoten mellan den nominella tidskonstanten och utbytestiden för luften i rummet.

$$e_{ra} = \frac{\tau_n}{2 \cdot \tau_m} 100\%$$

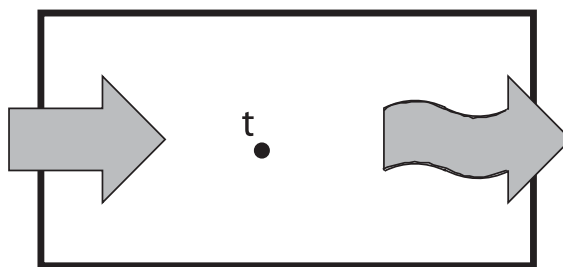
där  $\tau_n$  = nominella tidskonstanten  
 $\tau_m$  = luftens medelålder i rummet  
 $2 \cdot \tau_m$  = utbytestiden för luften i rummet

Anm.

Luftens medelålder är direkt relaterad till den tid det tar att byta ut luften i rummet.

För att byta ut all luft i rummet tar det i medeltal en tid lika med två gånger luftens medelålder i rummet.

Luftens medelålder kan bestämmas genom uppmätning i frånluftskanalen.



**Specifikt luftflöde, n**

$$n = \frac{q}{V} \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^3} \text{ or } \frac{\text{number of room volumes}}{h}$$

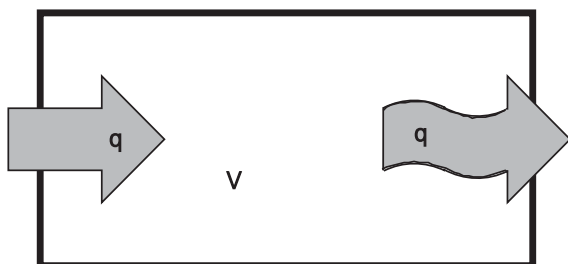
där  $q$  = uteluftsflödet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $V$  = rumsvolymen ( $\text{m}^3$ )

**Nominell tidskonstant,  $\tau_n$** 

Nominella tidskonstanten ( $\tau_n$ ) är den tid som det tillförda ventilationsflödets uteluftsandel  $q$ , i medeltal uppehåller sig i rummet.

$$\tau_n = \frac{V}{q}$$

där  $q$  = uteluftsflödet ( $\text{m}^3/\text{h}$ )  
 $V$  = rumsvolymen ( $\text{m}^3$ )

**Temperatureffektivitet,  $e_{rt}$  (medelvärde)**

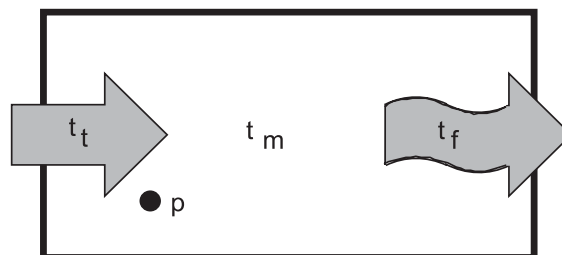
$$e_{rt} = \frac{t_f - t_t}{t_m - t_t} 100\%$$

där  $t_f$  = frånluftens temperatur  
 $t_m$  = rummets medeltemperatur (vid jämvikt)  
 $t_t$  = tilluftens temperatur

**Lokalt temperaturindex,  $e_{pt}$** 

$$e_{pt} = \frac{t_f - t_t}{t_p - t_t} 100\%$$

där  $t_p$  = temperaturen i punkten p vid jämvikt

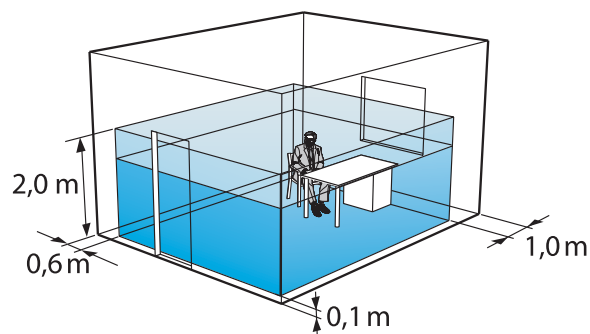


## Definitioner

### Vistelsezon

Vistelsezonen är den del av rummet, där människor normalt uppehåller sig och skall definieras i samråd med byggherre och arkitekt. Dess volym begränsas av plan, som är parallella med rummets väggar, tak och golv. Avståndet mellan vistelsezonens plan och rummets ytor varierar beroende på rummets användningssätt.

Tabell 1 ger en sammanställning på de normala avstånden mellan respektive yta och vistelsezonen samt de normala variationsområdena.



**Figur 1.** Färgad yta markerar en definierad vistelsezon.

Rumsyta	Normalt variationsområde från ytan på avståndet	Normalt värde på avståndet mellan ytan och vistelsezonen enligt Boverket
Yttervägg	0,2 - 1,0 m	1,0 m
Innervägg	0 - 0,6 m	0,6 m
Golv, nedre gräns	0 - 0,1 m	0,1 m
Golv, övre gräns stående person	1,8 - 2,0 m	2,0 m

**Tabell 1.** Gränser för vistelsezon.

## Närzon

Närzon är ett begrepp som används i samband med låghastighetsdon och är därför av primärt intresse vid deplacerande-ventilation.

Enligt de provningsregler som gäller idag (SS EN 122 39) definieras närzonen av måtten  $a_v$  och  $b_v$  enligt figur 2.

Måttet  $a_v$  representerar det största horisontella avståndet från väggen (alternativt donets mitt för ett cylindriskt don) till isovelens för  $v$  m/s.

Måttet  $b_v$  representerar det största horisontella avståndet vinkelrätt mot  $a_v$  mellan isovelens ändpunkter.

Det poängteras i provmetoden att isovelens skall uppmätas där hastigheten är störst, dvs. ej på ett bestämt avstånd från golvet. Hastigheten  $v$  m/s för isovelens har i provmetoden som nu är gällande som europeisk och svensk norm, SS EN 122 39 fastställts till:

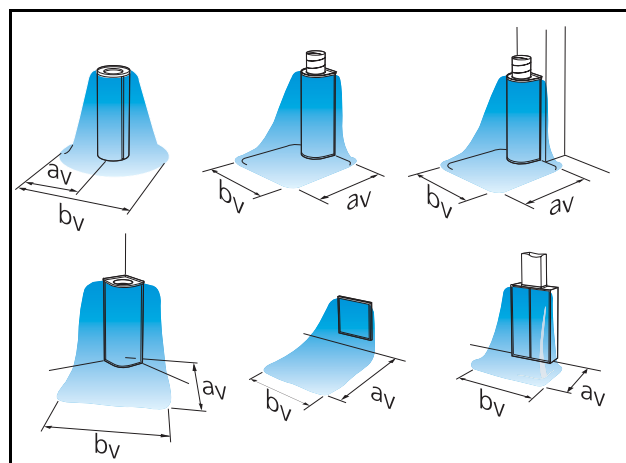
- 0,2 m/s för låghastighetsdon avsedda för komfortventilation.
- 0,3 m/s för låghastighetsdon avsedda för industriventilation.

För takmonterade låghastighetsdon definieras närzonen enligt figur 3.

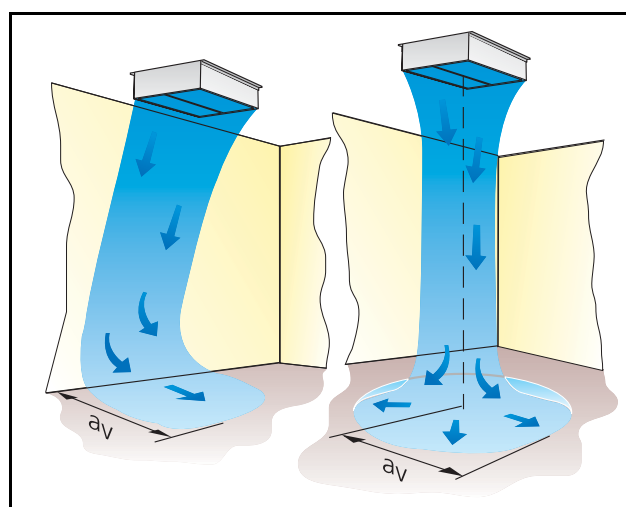
Det är viktigt att ventilationsprojektören är observant på hur olika tillverkare redovisar närzonerna. Olika metoder förekommer. Exempelvis redovisas:

- Komfortzon, som har sin speciella definition.
- Isovelen på nivån 0,05 m över golvet.
- Isovelen på nivån 0,10 m över golvet.

Relativt stora skillnader erhålles i värdena  $a_v$  och  $b_v$  om man frångår den i provmetoden överenskomna mät- och redovisningsmetoden. EN AVVIKELSE FRÅN METODEN GER ALLTID KORTARE VÄRDEN PÅ NÄRZONEN!



Figur 2. Golv- resp. väggmonterade låghastighetsdon.



Figur 3. Takmonterade låghastighetsdon.

## Definitioner

### Fjärrzon

Fjärrzon är ett begrepp som används i samband med deplacerande ventilation. Fjärrzon definieras som den zon utanför närzonen där täthetsströmning råder. Karakteristiskt för täthetsströmning är:

- den drivs av densitetsskillnaden mellan tilluften och rums-luften
- den ger liten medejektering av omgivande luft
- den är mycket tunn, vanligen ca 10 cm
- den har något lägre hastighetsfluktuationer (turbulens) än en jetstråle

Lufthastigheterna inom fjärrzonen bestäms av:

- värmebelastningen i rummet
- rummets geometri (bredd)

Då vi har fått en utjämning av luftflödet över rummets bredd kan lufthastigheten i fjärrzonen beräknas enligt följande ekvation:

$$v_f = \left( \frac{9,81 \cdot q \cdot \Delta t}{b \cdot T} \right)^{1/3} \quad (\text{m/s})$$

Där  $q$  = tilluftsflöde ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\Delta t$  = skillnad mellan rumstemperatur och tilluftstemperatur (K)

$b$  = rummets bredd (m)

$T$  = rummets absoluta temperatur (K)

$v_f$  = lufthastigheten i fjärrzonen (m/s)

Exempel:

Kontorsrum med bredden 3,6 m

Halvrunt låghastighetsdon placerat i bakkant

Tilluftstemperatur 18°C

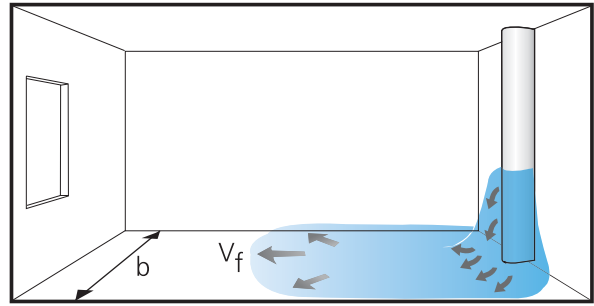
Rumstemperatur 24°C

Luftflöde 30 l/s

$$v_f = \left( \frac{9,81 \cdot 0,030 \cdot 6}{3,6 \cdot 297} \right)^{1/3}$$

$$v_f = 0,12 \text{ m/s}$$

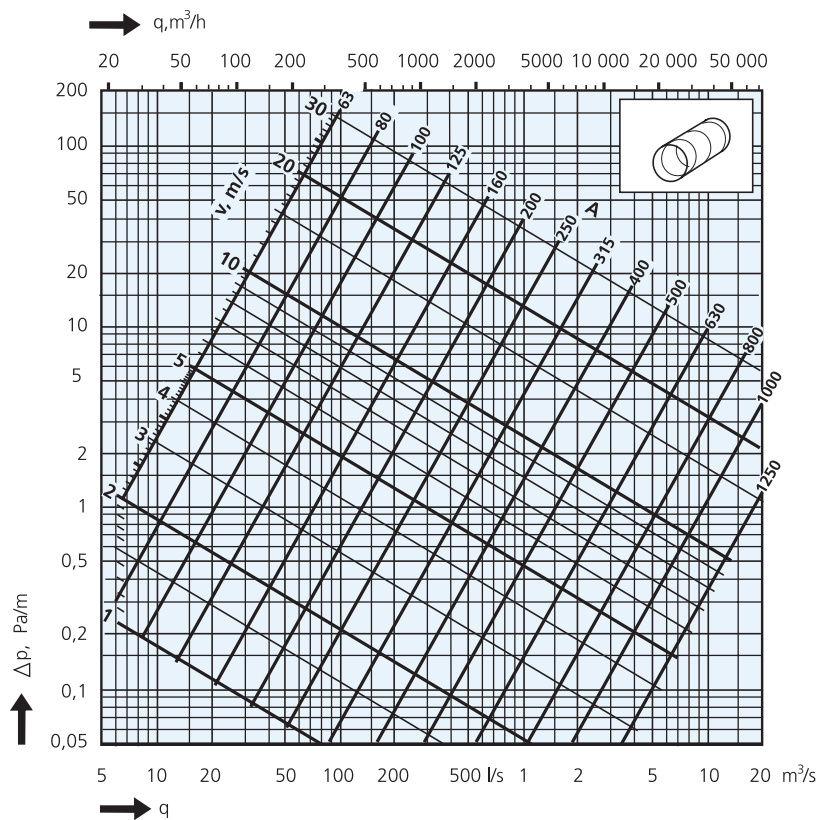
Denna lufthastighet skall betraktas som det lägsta värdet som kan erhållas där täthetsströmning råder.



Figur 4. Fjärrzon i rum med deplacerande don.

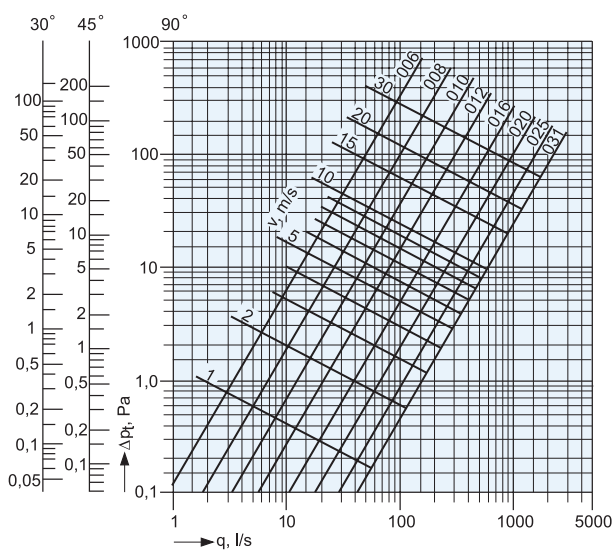
Diagram och formler

Tryckfallsdiagram cirkulära kanaler

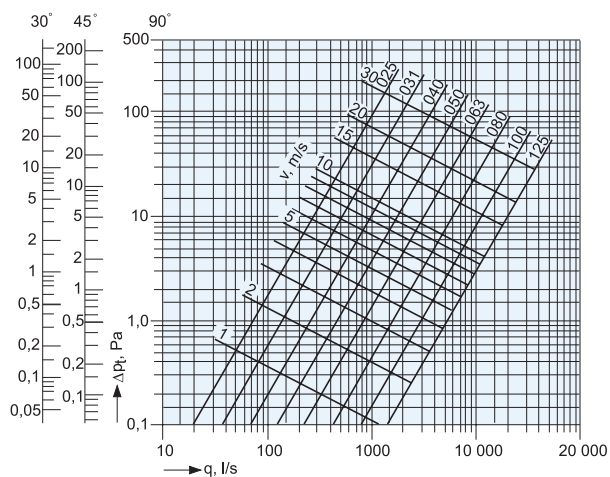


A = Dimension (mm)

Tryckfallsdiagram pressad cirkulär böj



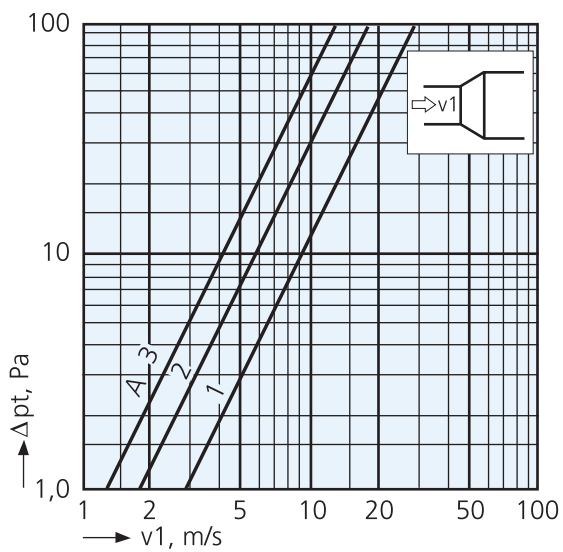
Tryckfallsdiagram segmentbyggd cirkulär böj



# Hjälpmedel

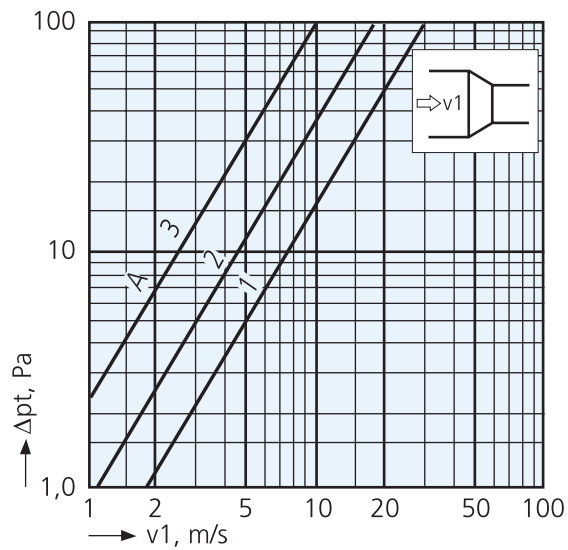
## Tryckfallsdiagram cirkulära dimensionsförändringar

### Areaökning



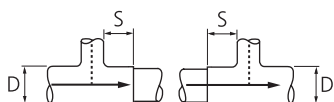
A = Antal dimensionssteg.  
(Exempel från 016 - 020 = 1 dim.steg.)

### Areaminskning

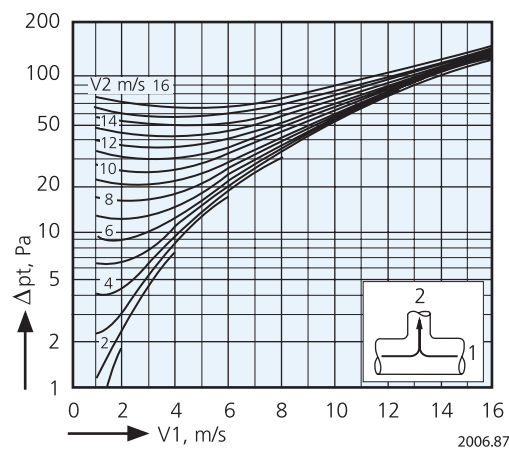
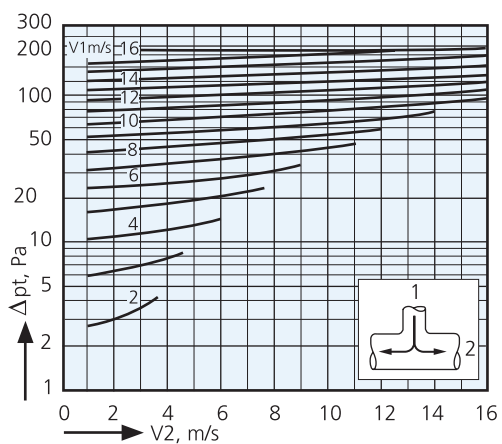
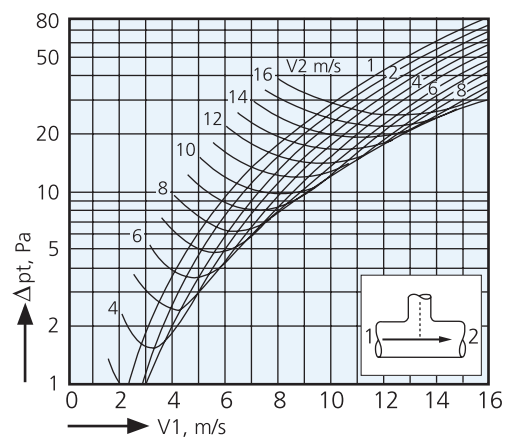
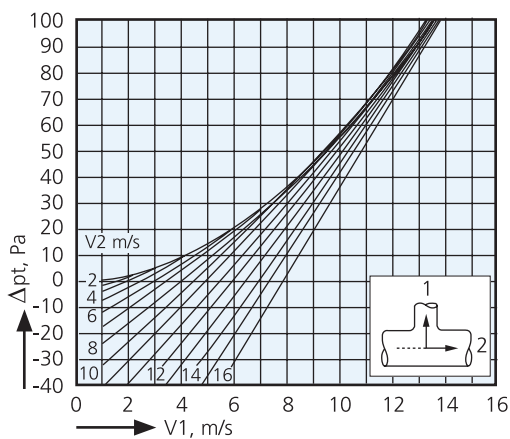
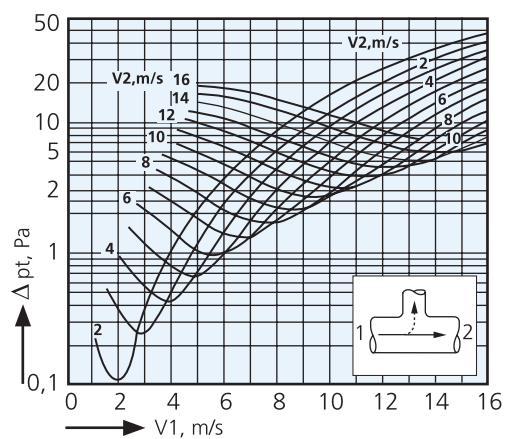
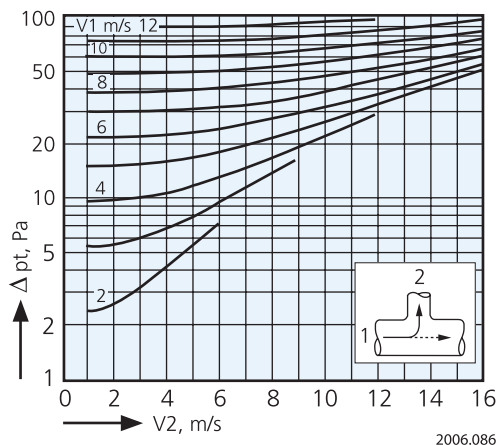


A = Antal dimensionssteg.  
(Exempel från 020 - 016 = 1 dim.steg.)

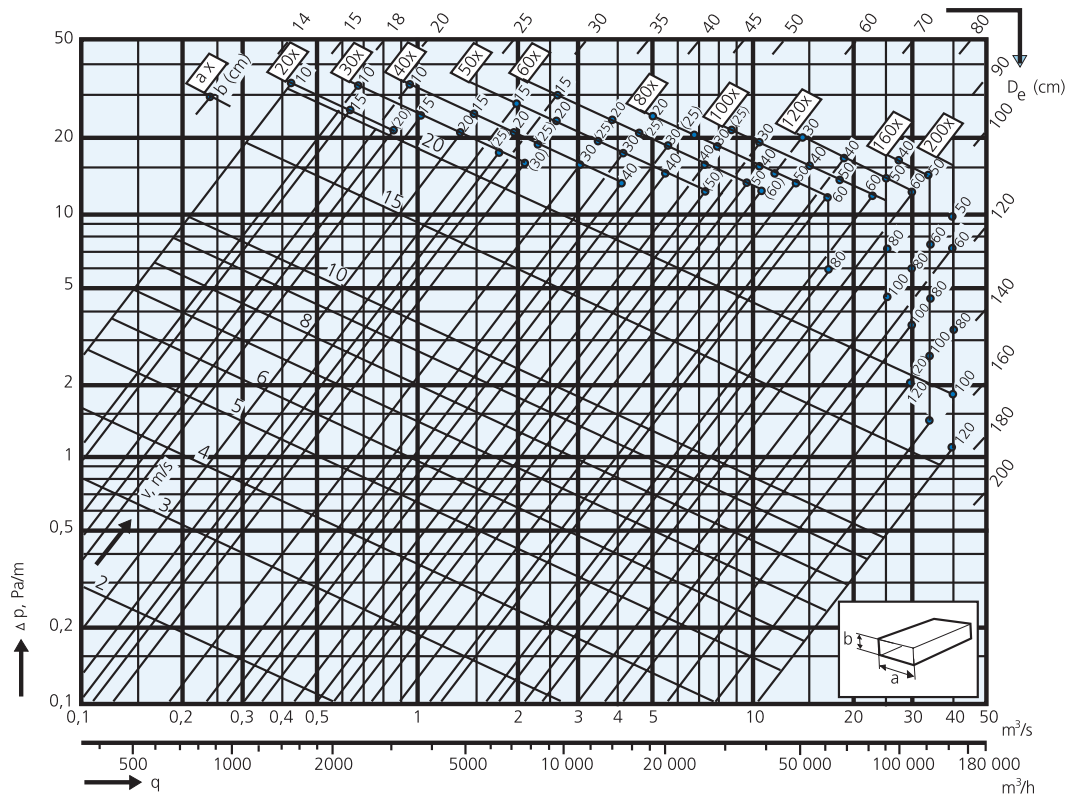
Tryckfallsdiagram för cirkulära, avstick, T-rör och grenrör



Tryckfallen inkluderar eventuell förminskning enligt figur, om  $S < 3 \times D$ .

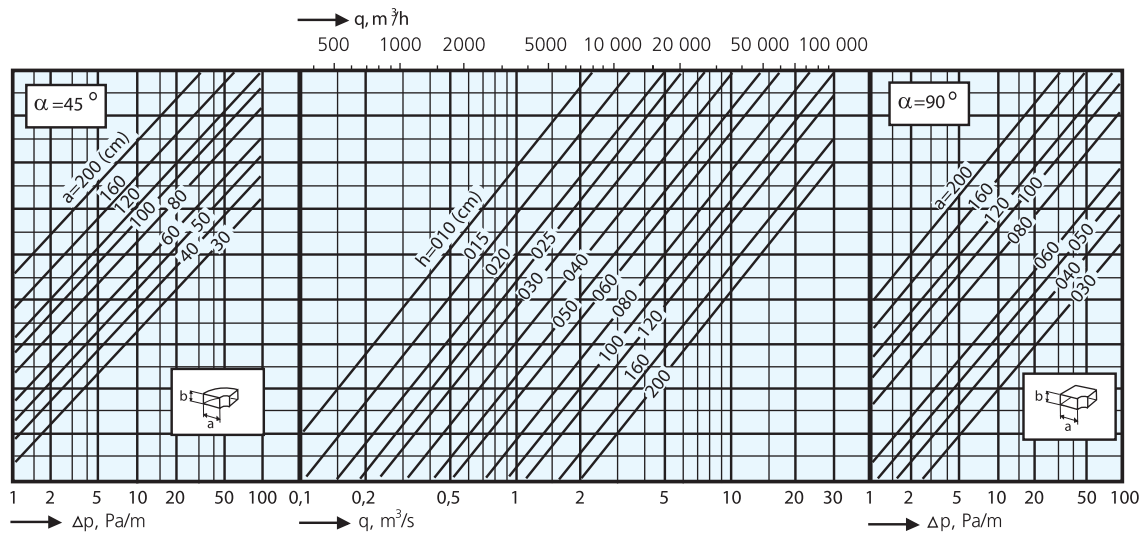


## Tryckfallsdiagram rektangulära kanaler

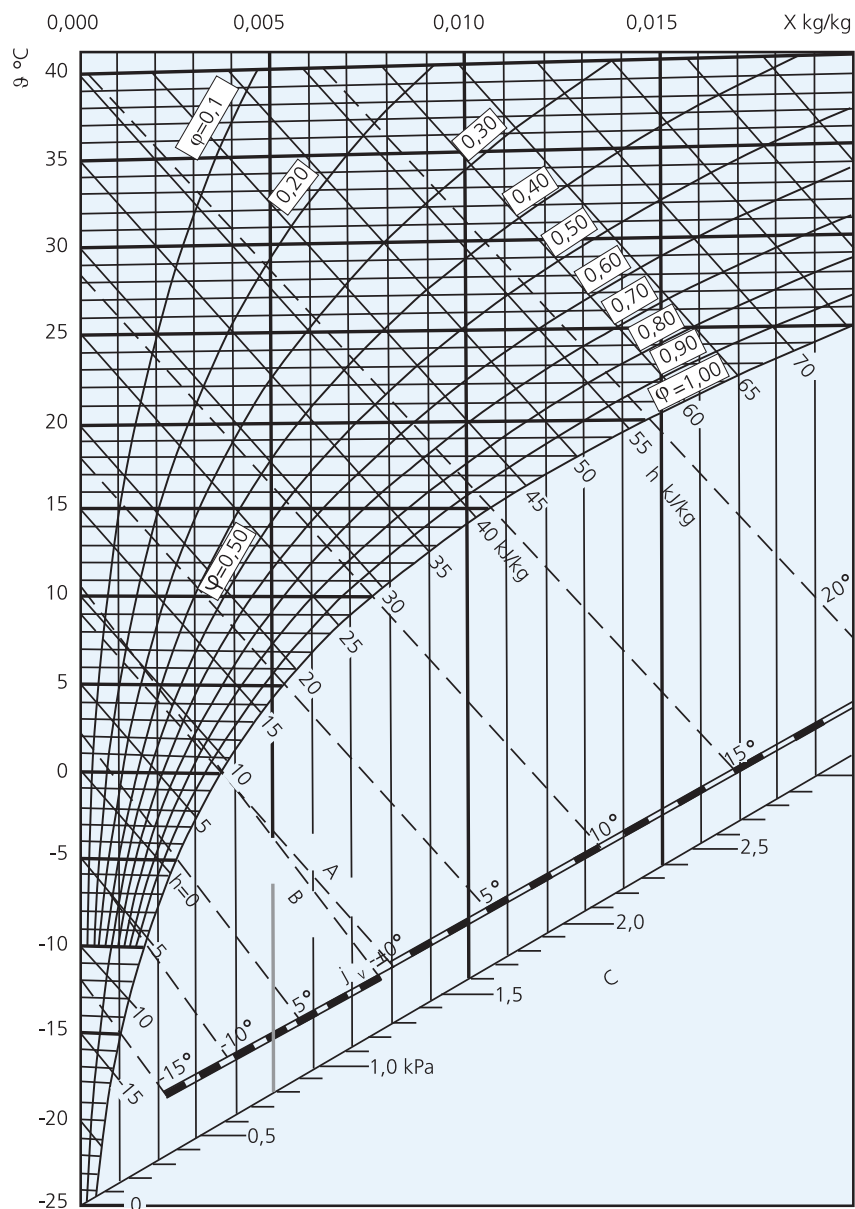


Kanaler med samma ekvivalent diameter  $D_e$ , kan ha olika tvärsnittsarea. De inritade hastighetskurvorna är därför approximativa. Max fel <5%.

## Tryckfallsdiagram rektangulära böjar



## Mollierdiagram



A = Våt termometer

B = Isbelagd termometer

C = Vattenångans mättningsstryck (kPa)

Symboler:

$h$  = Entalpi för 1 kg torr luft (kJ/kg)

$x$  = vatteninnehåll för 1 kg torr luft (kg/kg)

$\varphi$  = relativ fuktighet

$\vartheta$  = torra termometers temperatur (°C)

$v$  = våta termometers temperatur (°C)

Diagrammet gäller vid atmosfärstryck = 101,3 kPa = 1013 mbar.

# Hjälpmedel

## Formelsamling

<b>Luftflöde, <math>q</math> m<sup>3</sup>/s</b>
$q = A \cdot v$
$A =$ tvärsnittsarean, m <sup>2</sup>
$v =$ luft hastigheten, m/s

<b>Dynamiskt tryck, <math>p_d</math> Pa</b>
$p_d = \rho v^2 / 2$
$\rho =$ luftens densitet, kg/m <sup>3</sup>
$v =$ luft hastigheten, m/s

<b>Hydraulisk diameter, <math>d_h</math> m</b>
$d_h = 4 \cdot A / O$
$A =$ tvärsnittsarean, m <sup>2</sup>
$O =$ kanalens omkrets, m
$d_h$ för rektangulär kanal
$d_h = 2 \cdot a \cdot b / a + b$
$a$ och $b$ är kanalens sidor
$d_h$ för cirkulär kanal
$d_h = d =$ kanaldiametern

<b>Totaltryckfall - tilluft, <math>p_t</math> Pa</b>
$p_t = p_s + p_d$
$p_s =$ statiskt tryckfall, Pa
$p_d =$ dynamiskt tryckfall, Pa

<b>Totaltryckfall - frånluft, <math>p_t</math> Pa</b>
$p_t = (-p_s) + p_d$
$p_s =$ negativt statiskt tryckfall, Pa
$p_d =$ dynamiskt tryckfall, Pa

<b>Tvärsnittsarea cirkulär kanal, <math>A</math> m<sup>2</sup></b>
$A = \pi \cdot d^2 / 4$
$d =$ kanalens diameter, m

<b>Omkrets cirkulär kanal, <math>O</math> m</b>
$O = \pi \cdot d$
$d =$ kanalens diameter, m

<b>Luftens densitet, <math>\rho</math> kg/m<sup>3</sup></b>
$\rho_t = 1,293 \cdot B / 1013 \cdot 273 / 273 + t$
$B =$ barometerståndet, mbar
$t =$ lufttemperaturen, °C

<b>Kyl-/värmeeffekt, <math>P</math> kW</b>
$P = q \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T$
$q =$ luftflödet, m <sup>3</sup> /s
$\rho =$ luftens densitet, kg/m <sup>3</sup>
$C_p =$ luftens specifika värmekapacitet, kJ/kg, K ( $\approx 1,0$ vid 20 °C)
$\Delta t =$ temperaturskillnad, °C, mellan från- och tilluft

<b>Kastlängd vid alternativ sluthastighet, <math>L_x</math> m</b>
$L_x = l_{0,2} \cdot 0,2 / V_x$
$l_{0,2} =$ kastlängd till sluthastigheten 0,2 m/s enligt katalogdata, m
$V_x =$ vald alternativ sluthastighet, m/s

## Allmänt

Ventilationsluften utnyttjas för olika syften. Dess huvudsakliga uppgift är att föra bort förorenad luft och byta ut den mot ren och tempererad luft. Med förorenad luft kan vi avse föroreningar i form av gaser och partiklar, men även överskottsvärme kan i vissa fall betraktas som en förorening.

En viktig uppgift som ventilationen har är även att skapa ett bra rumsklimat utan dragproblem och med små temperaturskillnader i vistelsezonen. Rumsklimatet sammansätts av en rad faktorer, bl.a lufthastighet, lufttemperatur och strålnings-temperatur. I rum där människor vistas kan olämplig storlek på en eller flera av dessa faktorer ge upphov till dragproblem.

För att dessa grundläggande funktioner skall kunna vidmakthållas krävs att luftbehandlingsanläggningen konstrueras så att:

- den är stabil mot störningar. Störningar kan vara dels yttre, främst vind och temperatur, dels inre störningar, som t.ex konvektionsströmmar från olika värmekällor. Stabilitet mot yttre störningar kräver bl.a att anläggningen måste dimensioneras med ett visst lägsta tryckfall.
- de är lätta att kontrollera och mäta. Anläggningarna måste projekteras för don med fasta mätuttag alternativt för fasta mätdon i stam- och grenkanaler. Med installerade mätdon minskar tiden för injustering avsevärt och totalkostnaden sjunker.



## Inomhusklimat

Det är viktigt att komma ihåg att den huvuduppgift som ventilationssystemet har är att transportera bort föroreningar så snabbt och effektivt som möjligt från det ventilerade rummet.

Ett mycket viktigt bivillkor är att komfortkraven skall vara uppfyllda. Det är därför nödvändigt att vi ställer relevanta krav på inomhusklimatet.

Inomhusklimatet sammansätts av de fyra tekniska klimaten:

- **luftkvalitet**
- **termiskt klimat**
- **akustiskt klimat**
- **visuellt klimat**

För att få en fungerande helhetslösning krävs samverkan mellan installationstekniker, byggnadstekniker och arkitekter. VVS-konsulten skall t.ex. tidigt i byggprocessen kunna ange krav på erforderliga utrymmen, konsekvenser av byggnadsutformning m.m. så att ställda krav på inomhusklimatet kan uppfyllas till lägsta möjliga kostnad.

### Historik

Ordet ventilation kommer från latinets ventilare, som innebär att utsättas för vinden. Idag har vi gett ordet ventilation en mer konkret innebörd, nämligen luftutbyte. Vi ersätter förbrukad luft med ren luft.

Det kan därför vara intressant att göra en liten historisk tillbakablick för att se vilka bedömningar man har gjort för att få tillräckligt stora ventilationsluftflöden.

- Pettenkofer (1818-1901).  
CO<sub>2</sub>-halten kan användas som en indikator på luftkvaliteten.
  - Hygieniskt minimikrav: ≤1000 ppm CO<sub>2</sub>
  - Krav för god luftkvalitet: ≤700 ppm CO<sub>2</sub>
- Elias Heyman (1829-1889) Karolinska institutet:  
Mätning i skolor:
  - Utan ventilation: = 5000 ppm CO<sub>2</sub>
  - Med någon ventilation: 1500-3000 ppm CO<sub>2</sub>

Sammanfattning: Ej ett enda klassrum var tillräckligt ventilerat.

Mätning i bostäder:

Sammanfattning: Vi kan ej förlita oss på naturlig ventilation om vi vill ha ren luft inomhus.

- Yaglou et al (1936)  
Studerade samband mellan odör från människor och ventilationsluftflöden.

Resultat:

8 l/s,p eller 15 l/s,p då halva luftflödet recirkuleras. Nackdelen med recirkulation är ackumulering av föroreningar i kanalerna. Detta gör att större luftflöden kan erfordras samt att re-

gelbunden rengöring av systemet krävs.

Yaglous studier:

- utgjorde riktlinjer för flödenas storlek under lång tid
- typiskt min-värde för kontor: 7,5 l/s,p (ASHRAE).

Oljekrisen på 1970-talet gjorde att luftflödena minskades:

- ASHRAE, då rökning ej är tillåten ≥2.5 l/s,p
- NKB ≥4 l/s,p.

Den allmänna medvetenheten idag om bättre luftkvalitet gör att flödena ökat:

- ASHRAE (1989) ≥10 l/s,p i kontor
- NKB (1991) ≥11 l/s,p
- Fanger (1988) ≈50 l/s,p i byggnader med hög föroreningsbelastning »14 l/s,p i byggnader med låg föroreningsbelastning

Eftersom de stora inneklimateproblemen började på allvar i samband med de energibesparingar som blev följden av oljekrisen på 1970-talet, antyder denna enkla sammanställning en risk med alltför låga luftflöden.

I samband med att en ny svensk byggnorm (SBN 75) började gälla i mitten på 1970-talet begränsades luftflödena samtidigt som kraven på byggnadernas täthet ökade.

Under de senaste två decennierna har vi ofta i tidningarna kunnat läsa om s.k. sjuka hus. Artiklarna talar om hur det stinker, hur mögel frodas och hur folk får huvudvärk av den dåliga luften inomhus. Problemen verkar finnas i alla typer av byggnader. Bakom tidningsrubrikerna återkommer vissa symptom hos de drabbade personerna. Det är symptom som drabbar slemhinnor:

- irritation i ögon, näsa och hals
- ständig snuva och nästäppthet
- torrhetsskänsla i slemhinnor
- upprepade luftvägsinfektioner
- hosta
- heshet

Det är också symptom på huden som:

- torr och irriterad hud
- utslag i ansikte och på kroppen

Men även allmänna symptom som:

- huvudvärk
- trötthet
- tunghet i huvudet
- svårighet att koncentrera sig
- illamående
- yrsel

Orsaken till de "sjuka" husen är en komplex fråga. Följande punkter utgör ett försök till sammanställning av de viktigaste orsakerna:

- en strävan att minimera produktionskostnaden
- bristfälliga handlingar
- upphandlingsformen

- 
- inbyggd fukt i husen
  - eftersatt drift och underhåll
  - energibesparing genom minskning av luftflöden
  - nya och ej beprövade byggmaterial
  - bristfällig städning

**Lärdom**

Vad vi kan lära av historien är att kraven på energihushållning aldrig får drivas så långt att kraven på tillräckligt stora luftflöden äventyras.

## Riktlinjer

Svenska Inneklimatinstitutet anger i sin riktlinjeserie R1 följande riktvärden för godtagbar halt av föroreningar i rumsluften i olika luftkvalitetsklasser:

Pos	Ämne	Högsta halt i mg/m <sup>3</sup> i klass		Anm
		AQ1	AQ2	
1	Kolmonoxid totalt			
	MV 0,5 h	60	60	Se not 1a
	MV 8 h	6	6	Se not 1b
	- från tobaksrök MV 1 h	2	5	Se not 3
2	Koldioxid MV 1 h	1000	1800	Se not 2
	(i ppm*)	600	1000	
3	Ozon MV 1 h	0,05	0,07	Se not 3
4	Kvävedioxid MV 1 h	0,11	0,11	Se not 1b
	MV 24 h	0,08	0,08	
5	Flyktiga organiska ämnen (VOC)			
	- totalt MV 0,5 h	0,2	0,5	Se not 4
	- formaldehyd MV 0,5 h	0,05	0,1	Se not 5
6	Partiklar från tobaksrök, inandn. bara MV 1 h	0,1	0,15	Se not 3
7	Damm**	0,06	0,15	Se not 6
8	Mögel*** cfu/m <sup>3</sup>	50	150	Se not 7
9	Bakterier cfu/m <sup>3</sup>	4500	4500	

**Tabell 2.** Rums klimatet.

Indelningen i luftkvalitetsklasserna AQ1 och AQ2 bygger på statistiska studier av hur stor andel människor som förväntas få mätbara besvär eller vara missnöjda med inneklimatet.

MV = Medelvärde över viss tid:

\* ppm omräknas från mikrogram/m<sup>3</sup> (g/m<sup>3</sup>) enligt formeln: ppm = 24,1 x mg/m<sup>3</sup> / molvikt  
Molvikt: Koldioxid 44, kolmonoxid 28, svaveldioxid 64, ozon 36, kväveoxid 44, kväveoxid 30, formaldehyd 30.

\*\* Damm i mg/m<sup>3</sup> kan omräknas till antal partiklar approximativt enligt formeln antal partiklar = antal mg x 5000. (Gäller för partikelstorlek ca 10 µm, d v s relativt grovt damm.)

\*\*\* 1 cfu = 1 colony forming unit. Sjukdomsframkallande mögel skall vara 0.

Not 1a: Värden enligt WHO-AQG.

Not 1b: Värden enligt naturvårdsverket förslag 890808.

Not 2: Värden för AQ1 enligt ASHRAE 62-1989 och för AQ2 enligt Morey et al (IAQ 1986).

Not 3: Värden enligt WHO-Euro 103, 1986.

Not 4: Värden delvis enligt Mölhave, delvis enligt sammanfattning från Healthy Buildings 1988 (HB-88).

Not 5: Värden enligt WHO-IAQ och Berglund et al 1985.

Not 6: Värden enligt O Seppanen 1989.

Not 7: Värden enligt Holmberg (Sunda huset 1987) och Canadian Ministry of Health 1987.



**Figur 5.** Luftkvaliteten påverkas av många faktorer, såsom emmissioner från byggmaterial, avsöndring från människor, etc. Rökning är ett exempel på förorening som påverkar luftkvaliteten negativt.

## Termiskt inneklimat

Gränsen för sanitär olägenhet när det gäller t.ex lufttemperaturen i ett rum är under 18°C eller över 28°C.

Temperaturintervallet för bra komfort är betydligt snävare och normalt inom intervallet 20-24°C. (Se fig. 6) Vi ser av figuren att det är svårt att tillfredsställa alla människors behov av lämplig temperatur. Vi måste alltid räkna med att använda klädedräkten som en komfortregulator.

Rumstemperaturens inverkan på människans arbetsprestation framgår av figur 8. Figuren visar schematiskt och starkt förenklat resultat från olika försök med mental och fysisk prestation. Det är iögonfallande hur snabbt den mentala prestationen och arbetstakten på jobbet minskar med ökande rumstemperatur. Det går därför lätt att visa att det är lönsamt med en bra luftkonditioneringsanläggning.

Exempel:

Sommarklädsel, stillasittande arbete (kontor).

Rumstemperatur 25°C.

I förhållande till komforttemperaturen har arbetstakten sjunkit till 70% och den mentala prestationen till 90%, dvs. arbetsgivaren får ut högst 70% av sina anställda vid denna högre temperatur.

Antag att timkostnaden/anställd = 200:- SEK.

Antag att rumstemperaturen överstiger 25°C ca 100 arbetstimmar per år. Förlusten blir då/år:

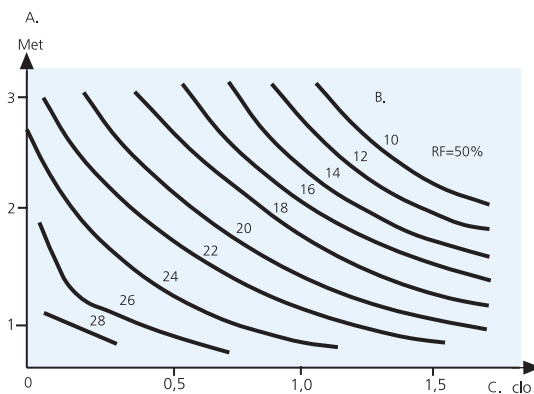
$0,3 \times 200 \times 100 = 6000:-$  SEK/anställd.

Merinvestering för en bra luftkonditioneringsanläggning är högst ca 300:- SEK/m<sup>2</sup>.

Med 20 m<sup>2</sup>/person fås en ökad investeringskostnad på 6.000:- SEK/person, dvs. investeringen är intjänad redan efter den första sommarsäsongen.



**Figur 6.** Klädseln har stor betydelse för hur man upplever klimatet.

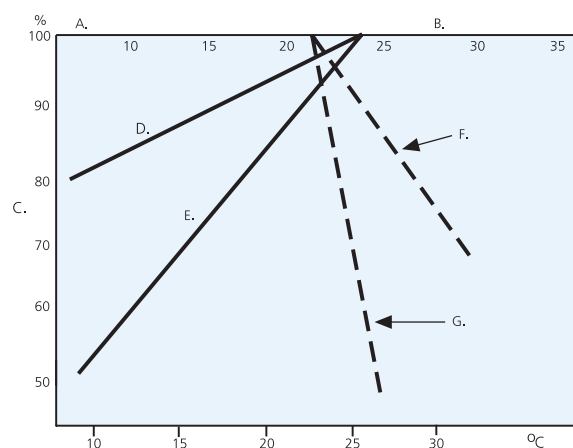


**Figur 7.** Relation mellan optimal operativ temperatur och met- resp clo-värden.

A = Aktivitetsnivå

B = Operativ temperatur (optimal) °C

C = Beklädnad clo



**Figur 8.** Arbetsprestationens förändring med innetemperaturen (enligt Wyon).

A = Rörligt arbete

B = Stillasittande (1,0 clo)

C = Arbetsprestation

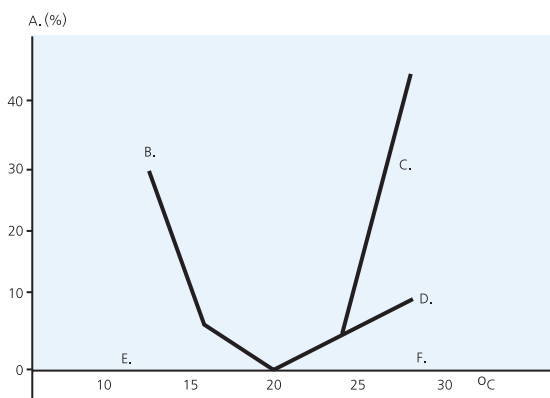
D = Handarbete

E = Fingersnabbhet, känsla

F = Mental prestation (vid försök)

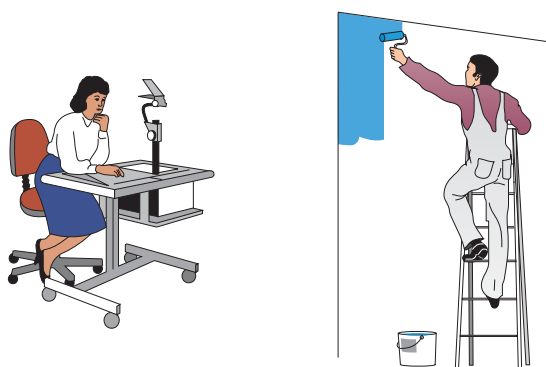
G = Arbetstakt (pågående arbete)

°C= vid stillastittande arbete (60 W/m<sup>2</sup>) och sommarklädsel (0,6 clo)



**Figur 9.** Olycksfallsfrekvensen vid fabriksarbete ändras med innetemperaturen (enligt Wyon).

- A = Ökning av antalet olyckor i %
- B = Olyckor
- C = Män
- D = Kvinnor
- E = Rörligt arbete (0,6 clo)
- F = Stillasittande (1,0 clo)



**Figur 10.** Människans upplevelse av inomhusklimat påverkas i allra högsta grad av vilken aktivitet som bedrivs. Ju högre aktivitet desto lägre temperatur önskas.

Ytterligare motiv för bra inneklimat redovisas i figur 9. Figuren visar schematiskt och starkt förenklat sambandet mellan olyckor på arbetsplatsen och avvikelser från komforttemperaturen.

## Krav på inneklimat

Svaret på frågan vilka krav vi skall ställa på inneklimatet kan vi bl.a få från Inneklimatinstitutets rapport R1. Klassindelade inneklimatsystem.

Ett problem som vi alltid måste beakta är att vi människor är individer med olika krav på vår arbetsmiljö. Detta innebär att vi bör prioritera systemlösningar som medger stor flexibilitet, dvs. systemlösningar som möjliggör att hänsyn tas till individuella önskemål.

Tabell 3 redovisar de krav på det termiska klimatet som ofta kommer till användning (Inneklimatinstitutets Riktlinjeserie R1). Klassindelningen av inneklimatet utgår från människans upplevelse av olika faktorer. Som mått på denna upplevelse används i fråga om termisk komfort det s k PPD-indexet, som anger den förväntade andelen otillfredsställda i en större grupp människor utsatta för en viss inneklimatkvalitet. För luftkvalitet används ett frekvensmått, som anger hur många i en större grupp människor som visar påverkan av den aktuella faktorn.

De PPD-värden som tjänat som utgångspunkt för specifikation av de termiska kvalitetsklasserna är följande:

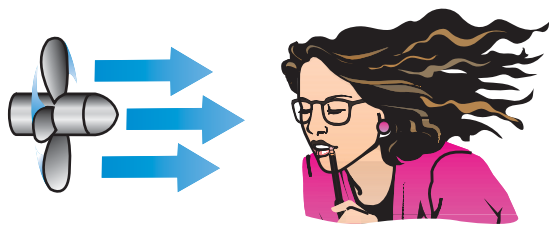
TQ1 < 10%  
TQ2 10%  
TQ3 20%

TQ2 svarar här mot de krav som anges i ISO 7730.

TQ3 svarar mot ASHRAE 61-1989.

Krav enligt TQ1 bedöms endast kunna uppfyllas med individuell reglering av temperatur och luftflöde.

Klasserna TQ1 och TQ2 är tillämpbara vid normalt kontorsarbete.



**Figur 11.** Lufthastigheten har inverkan på upplevelsen av inomhusklimatet.

Inneklimatfaktor	Faktorvärde i kvalitetsklass		
	TQ1	TQ2	TQ3
Operativ temperatur ( $t_o$ )			
Vinterfall 1)			
- högsta värde °C	23	24	26
- optimalvärde °C	22	22	22
- lägsta värde °C	21	20	18
Sommarfall 2)			
- högsta värde °C	25,5	26	27
- optimalvärde °C	24,5	24,5	24,5
- lägsta värde °C	23,5	23	22
Lufthastighet inom vistelsezon 3)			
- vinterfall m/s	0,15	0,15	0,15
- sommarfall m/s	0,20	0,25	0,40
Vertikal temperaturdiff 4)			
- sommar-vinterfall °C	2,5	3,0	3,0
Strålningstemp. asymmetri			
- mot varmt tak °K	4	5	7
- mot kall vägg (fönster) °K	8	10	12
Temperaturändringshastighet °C/h	-	-	-
Luftfuktighet	-	-	-
Golvtemperatur			
- högsta värde °C	26	26	(32)
- lägsta värde °C	22	19	16
enl BFS 1988:18			
- högsta värde °C	27	27	27
- optimalvärde °C	24	24	24
- lägsta värde °C	16	16	16
Temperaturregleringsområde °C	± 2	(± 1)	-

**Tabell 3.** Termisk kvalitet och godtagbara värden för olika faktorer i olika kvalitetsklasser.

- 1) Gäller vid en klädsfaktor på 1,0 clo.
- 2) Gäller vid en klädsfaktor på 0,5 clo.
- 3) Lufthastigheten är angiven som ett tidsmedelvärde under 3 min.
- 4) Mellan nivåerna 1,1 m och 0,1 m över golv.

## Allmänt

Många har väl någon gång klagat på ventilationen på arbetsplatsen, i föreläsningssalen eller i någon annan större lokal. Det är för varmt eller för kallt, blåser för kraftigt, luften känns inte fräsch etc. Det är svårt att från början installera det perfekta ventilationssystemet i en viss lokal, därför att det inte finns regler för alla förekommande installationsfall.

Fullskaleförsök i laboratorium, där man t ex bygger ett kontorrum med det ventilationssystem man tänkt sig, är det säkraste sättet att undersöka hur en planerad anläggning kommer att fungera i verkligheten. Swegons laboratorium för fullskaleförsök ger projektörer och byggherrar möjlighet att prova ett tänkt ventilationssystem, tidigt i byggprocessen.

Vid ventilation av lokaler skiljer man på två huvudprinciper:

- **Omblandande ventilation.**
- **Termiskt styrd ventilation.**

I tillägg till dessa kan även nämnas:

- **Kolvströmning.**
- **Kortslutningsströmning.**

### Basfakta

Utbytestid och luftutbyteseffektivitet		
Utbytestiden och luftutbyteseffektiviteten för luften i rummet vid olika luftströmningsförhållanden.		
Luftströmning	Utbytestiden för luften i rummet $2 \cdot \tau_n$	Luftutbyteseffektiviteten $\epsilon_{ra}$
Deplacerande och utjämnande	$>\tau_n$ $<2\tau_n$	$<100\%$ $>50\%$
Omblandande	$2\tau_n$	50%
Kolvströmning	$\tau_n$	100%
Kortslutning	$>2\tau_n$	$<50\%$

### Omblandande ventilation

Det omblandande systemet karaktäriseras av att tilluften tillförs med en relativt hög hastighet. Den höga hastigheten gör att mycket rumsluft medejekteras till tilluftsstrålen. Det uppstår därför luftrörelser i lokalen som skapar omblandning och därigenom erhålles en likformig fördelning av de föroreningar som produceras i, eller tillförs till lokalen. Även temperaturfördelningen blir därför relativt jämn i lokaler som ventileras med den omblandande tekniken.

### Termiskt styrd ventilation

Den termiskt styrda ventilationen karaktäriseras av att tilluften, som är undertempererad, tillförs med en låg hastighet. De termiska krafterna blir därför dominerande i förhållande till de dynamiska krafterna. Luftrörelserna i lokalen bestäms därför av densitetsskillnaden mellan tilluften och rumsluften samt av till- och frånluftsdonens placering. Den termiskt styrda ventilationen delas därför upp i:

- a) deplacerande ventilation
- b) utjämnande ventilation.

#### Deplacerande ventilation:

Den deplacerande ventilationen kännetecknas av att:

1. tilluften tillförs vid golvnivå
2. ingen nämnvärd inblandning av rumsluft i tilluften eftersträvas
3. tilluften tillförs med låg hastighet
4. tilluften är undertempererad
5. frånluften evakueras vid taknivå.

#### Utjämnande ventilation:

Den utjämnande ventilationen har fått sitt namn på grund av att man eftersträvar en utjämnning av temperaturfördelningen inom i första hand vistelsezonen. Principen kännetecknas av att:

1. inblandning av rumsluft i tilluften eftersträvas
2. tilluften tillförs med låg hastighet
3. tilluften är undertempererad
4. frånluften evakueras vid taknivå.

Inblandning av rumsluft i tilluften kan åstadkommas bl.a genom att:

1. placera tilluftsdonet högt i lokalen
2. skapa medejektering av rumsluft i eller i anslutning till tilluftsdonet.

### Kolvströmning

Kolvströmning är en ventilationsprincip som endast förekommer i samband med mycket höga krav på luftkvaliteten i en lokal. Principen innebär att ventilationsluften fördelas jämnt över t.ex hela takytan på ett sådant sätt att luftrikningen är entydigt bestämd och endast riktad åt ett håll, dvs. nedåt i detta fallet.

Luften sägs då gå som en kolv genom rummet. Frånluften är alltså i detta fallet placerad i golvnivå. För att detta skall fungera krävs relativt höga lufthastigheter. Hastigheter  $\geq 0,35$  å  $0,40$  m/s krävs för att få en stabil kolvströmning i lokalen. Beroende på dessa höga lufthastigheter blir aldrig kolvströmning aktuell i samband med komfortventilation.

### Kortslutningsströmning

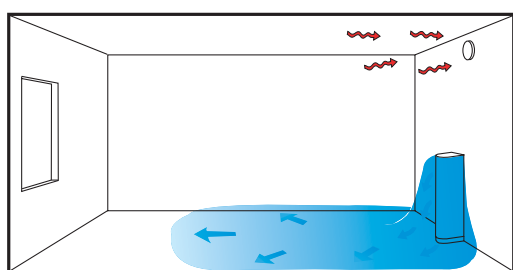
Kortslutningsströmning är ett begrepp som används i de fall hela eller delar av tilluften går direkt ut som frånluft utan att ha passerat vistelsezonen. Kortslutning skall naturligtvis i största möjliga utsträckning undvikas.

Risk för kortslutning föreligger t.ex om såväl till- som frånluftsdonen är placerade i taknivå då tillufts-hastigheten är låg och om tilluftstemperaturen är högre än rumstemperaturen.

**Basfakta***Termiskt styrd strömning*

Deplacerande strömning innebär att ventilationsluften tillförs med låg hastighet vid golv. Tilluften breder mer eller mindre ut sig över golvytan och påverkas av i lokalen förekommande värmekällor. Tilluft strömmar med hjälp av dessa värmekällor uppåt och evakueras.

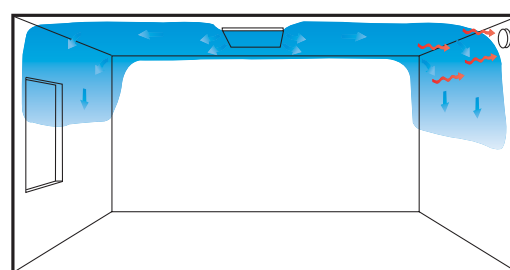
Ett av villkoren för att principen skall fungera utan komfortproblem är att luftfördelningen över tilluftsdonen vid behov kan förändras. Genom att förändra luftfördelningen efter hur vistelsezonen disponeras undviks komfortproblem. Genom att anpassa tilluftsflödet och antalet tilluftsdon till de värmegivande källorna (maskiner, personer m.m) kan ett ventilationssystem med hög effektivitet och god komfort erhållas.



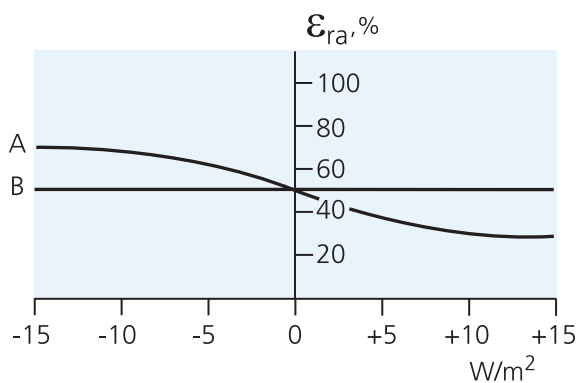
**Figur 12.** A = Tilluft, golv - Frånluft, tak.

*Ombländande strömning*

Tilluften tillförs här med sådan hastighet att koncentrationen av föroreningar blir lika i alla delar av lokalen. Likaså blir temperaturskillnaderna mycket små i lokalen, vilket är till fördel för komforten. Beroende på komfortfördelarna är detta den vanligaste strömningssprincipen i våra lokaler. Tilluften tillförs i regel i taknivå alternativt under fönster med en relativt hög impuls. För dragfrihet krävs ett omsorgsfullt val av tilluftsdon så att kastlängd, strålutbredning m.m blir rätt avvägd i förhållande till rumsstorleken.



**Figur 13.** B = Tilluft, tak - Frånluft, tak.



**Figur 14.** Diagrammet visar vilka luftutbyteseffektiviteter  $e_{ra}$  som kan erhållas som funktion av tillförd effekt med luften.

A = Tilluftsdon vid golv och frånluftsdon i tak

B = Tilluftsdon i tak och frånluftsdon vid tak

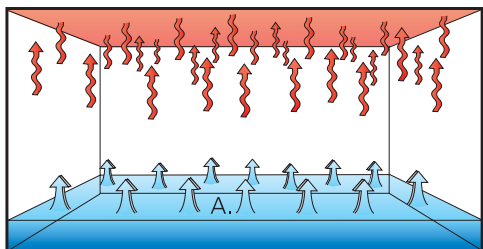
# Ventilationsprinciper

## Basfakta

### Kolvströmning

Kolvströmning innebär att ventilationsluften fördelas på ett sådant sätt att luftriktningen är entydigt bestämd och endast går åt ett håll. Luften kan sägas gå som en kolv genom rummet.

För att kolvströmningen skall fungera krävs relativt höga luft-hastigheter. Hastigheter  $\geq 0,35$  å  $0,40$  m/s krävs för att få en stabil kolvströmning i lokalen. Beroende på dessa höga luft-hastigheter blir aldrig kolvströmning aktuell i samband med komfortventilation. Den stora användningen är istället i samband med rena rum där mycket stora krav ställs på luftkvaliteten i lokalen.



**Figur 15.** A = Tilluft, golv - Frånluft, tak. Vid Renodlad kolvströmning är luftutbyteseffektiviteten lika med 100%.

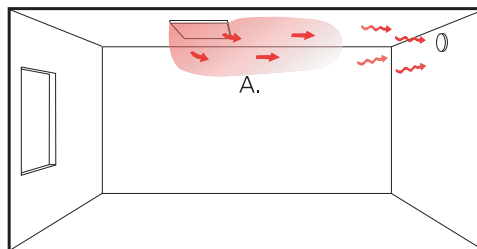
### Kortslutningsströmning

Detta är en typ av strömning, som i största möjliga utsträckning skall undvikas.

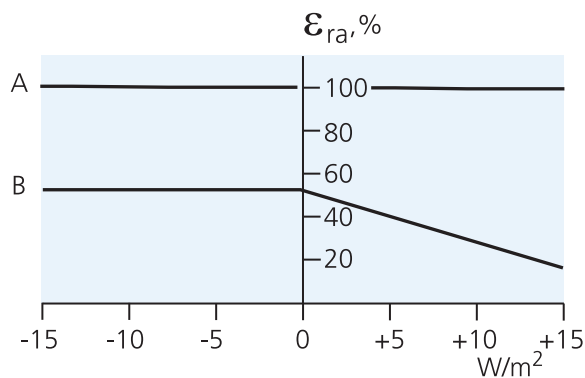
Strömningen innebär att en del av tilluften går direkt ut med frånluften utan att komma vistelsezonen tillgodo, dvs. tilluften kortsluts.

Förutsättningen för att strömningen skall bildas är att såväl till- som frånluftsdonen är placerade i taknivå samt att tillufts-hastigheten är för låg och tilluftstemperaturen högre än rums-temperaturen.

Kortslutningsströmning kan även erhållas i de fall tilluftsdonen är placerade i golvnivå (låghastighetsdon) och tilluften (som är undertempererad) tar sig ut via öppna dörrar eller lågt placerade frånluftsdon.



**Figur 16.** B = Tilluft, tak - Frånluft, tak. (Uppvärmd luft.)



**Figur 17.** Diagrammet visar vilka luftutbyteseffektiviteter  $e_{ra}$  som kan erhållas vid olika donplaceringar och som funktion av tillförd effekt med tilluften.

A = Tilluftsdon vid golv och frånluftsdon i tak

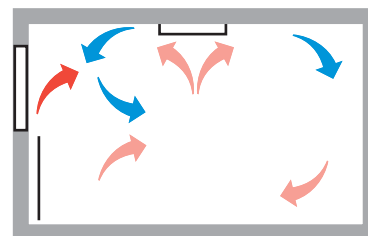
B = Tilluftsdon i tak och frånluftsdon vid tak

### Praktiska vägledningar

Nedan redovisas de principiella tilluftssystem, som normalt används i lokaler i samband med komfortventilation. De maximala kylbelastningar som redovisas avser luftburen kyleffekt, där hänsyn tagits till ackumulering i byggnadsstommen.

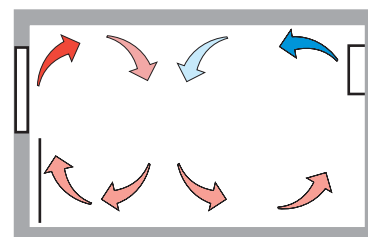
Maximala kylbelastningar för de olika alternativen framgår av tabell 5.

Var noga med definitionen av vistelsezonen. I de fall nedåtgående luftströmmar kan accepteras vid väggarna är principen fördelaktig. Se upp med konvektionsströmmarna från fönsterväggen.



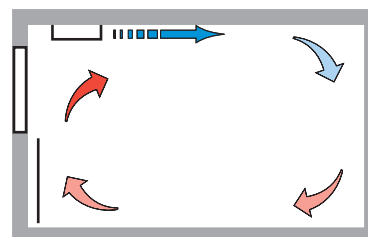
Figur 18. Takplacering.

Val av tilluftsdon är mycket väsentligt mot bakgrund av att kastlängden är mycket betydelsefull. För t.ex kontorsrum, där arbetsplatsen är förlagd nära fönsterväggen bör max  $l_{0,2}$  vara lika med rumsdjupet multiplicerat med 0,7 då undertempererad tilluft tillförs. Längre kastlängder kan med fördel användas om vistelsezonen ej går närmare fönstret än 0,75 m.



Figur 19. Bakkantsplacering.

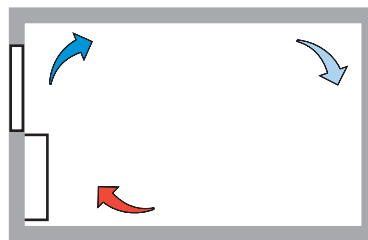
Vid tillförsel av undertempererad luft erhålles i regel ett tillfredsställande resultat om tilluftsdonet dimensioneras för en kastlängd, som är något längre (1 å 2 m) än rumsdjupet.



Figur 20. Takplacering, framkant.

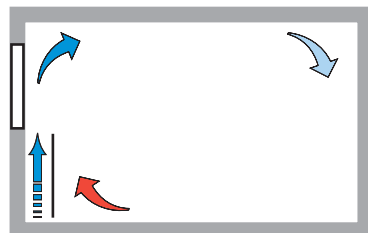
## Ventilationsprinciper

Var observant på tillufts- och fönstertemperatur. I de fall det finns risk för att båda dessa temperaturer är lägre än rumsluftens temperatur, finns risk för luftnedslag i zonen närmast (1 å 2 m) fönstret.



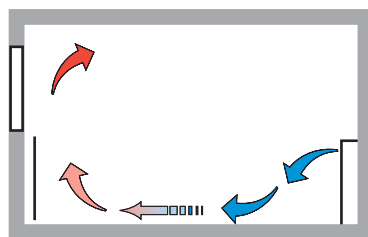
**Figur 21.** Fönsterbänksplacering.

Denna placering kräver hög utloppshastighet från tilluftsdonet för att inte nedslag ska erhållas i vistelsezonen. Det är viktigt att eventuell fönsterbräda blir så utformad att den inte riktar luften in i rummet.



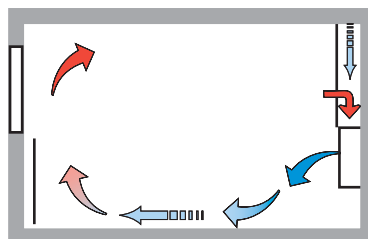
**Figur 22.** Placering bakom radiator.

Används don med flexibel spridningsbild kan en temperaturdifferens mellan rumsluft och tilluft på max 6°C tillämpas. Maximal kylbelastning ca 35 W/m<sup>2</sup> vid takhöjder på ca 2,8 m.



**Figur 23.** Golvplacering, låghastighet.

Med en speciell ejektordel som tillsats till låghastighetsdonen utjämnas temperaturfördelningen i rummets vistelsezon. Temperaturdifferenser på mellan 6 och 9°C mellan rums- och tilluften kan därför tillämpas.



**Figur 24.** Golvplacering, låghastighet med ejektor.

## Kylkapacitet

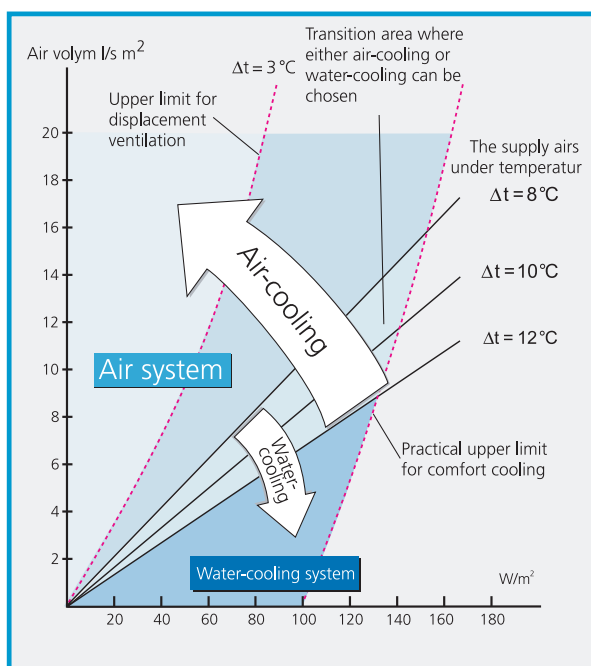
I tidigare kapitel har vi redovisat de ungefärliga gränser som gäller för de olika ventilationsprincipernas möjligheter att kyla en lokal.

De angivna gränserna är flytande och starkt beroende på bl.a. vistelsezonens utsträckning. Vid angivande av komfortkraven är det därför viktigt att göra en koppling till var i rummet som kraven måste vara uppfyllda. Eftersom kraven kan förändras med tiden allt eftersom verksamhetens art förändras är det viktigt att kunna påverka luftfördelningen i rummet på ett enkelt sätt. Detta görs genom att välja tilluftsdon med flexibelt inställbar spridningsbild.

Angivna kylkapaciteter för de olika ventilationsprinciperna gäller enbart i det fall då luft är energibäraren. Används vatten som energibärare, dvs. användning av kyltak typ strålningsstak eller kylbafflar för konvektiv kylning av luften, kan betydligt större värmelaster bortföras.

Nedanstående diagram ger en fingervisning om när det är aktuellt att välja antingen ett luft- eller vattenbaserat system.

Med utgångspunkt från erforderliga luftflöden ( $l/s, m^2$ ) för olika typer av lokaler - se tabell 4 över luftflödesbehov - är det sedan lätt att med vetskap om erforderligt kylbehov komma fram till det lämpligaste alternativet.



**Figur 25.** Med vetskap om specifikt kyleffektbehov och specifikt luftflödesbehov ger diagrammet indikation om kylning kan göras med luft eller om komplettering med vatten måste göras.

## Exempel på luftflödesbehov för olika lokaler, 1)

Typ av lokal	Pers/m <sup>2</sup>	Luftflöde i l/s,m <sup>2</sup> vid CO <sub>2</sub> -halt		
		600 ppm	800 ppm	1000 ppm
<b>Kontor</b>				
- enmans	0,1	2.0	1.1	0.8
- storkontor	0.12	2.4	1.3	1.0
- konferensrum	0.5	10.0	5.6	3.8
<b>Skolor</b>				
- klassrum	0.5	10.0	5.6	3.8
- laboratorium	0.3	6.0	3.3	2.3
- samlingsal	1.5	30.0	16.7	11.5
- gymnastiksal	0.3	6.0	3.3	2.3
<b>Bibliotek</b>	0.2	4.0	2.2	1.5
<b>Butik</b>	0.2-0.3	6.0	3.3	2.3
<b>Restaurang</b>				
- matsal	0.7	14.0	7.8	5.4
- cafeteria	1.0	20.0	11.1	7.7
- bar	1.0	20.0	11.1	7.7
<b>Daghem</b> <sup>2)</sup>	0.4	3,8	2,2	1,5
<b>Diskotek</b> <sup>3)</sup>	1.0	27,2	15,1	10,5
<b>Vänthall /Lobby</b>	1.5	30.0	16.7	11.5

**Tabell 4.** Luftflödesbehov.

- 1) Medelvikt 70 kg, sittande
- 2) Medelvikt 25 kg, gående
- 3) Medelvikt 70 kg, gående

Exempel

Konferensrum med ett värmeöverskott på 60 W/m<sup>2</sup> har ett luftflödesbehov på minst 4 l/s,m<sup>2</sup>.

- a) Om luftflödet 4 l/s,m<sup>2</sup> väljs krävs en lösning med vatten som energibärare. En lösning med konvektionsbafflar kan då med fördel väljas.
- b) Om luftflödet istället ökas till 6 l/s,m<sup>2</sup> kan kylbehovet klaras med ett luftburet alternativ. I detta fallet erhålles då också en bättre luftkvalitet.

## Ventilationsprinciper

Riktvärden för olika principers förmåga att bortföra värmelaster ges av tabellen nedan.

Tabell 5 gäller för en vistelsezon som går från golv till 1,8 m över golv, 0,2 m från innerväggar och 0,5 m från fönstervägg. Värdena gäller för en rumshöjd kring 2,8 m.

Ventilationsprincip	Max kylkapacitet $W/m^2$ , golvyta	
	Komfortkrav enl TQ1	Komfortkrav enl TQ2
<b>Luftburna system</b>		
<u>ombl. ventilation:</u>		
- takdon, dysdon	100 <sup>1)</sup>	120
- takdon, perf.	60	80
- bakkantsinblåsn.	40	60
- framkantsinblåsn.	50	70
- fönsterbänk	50	70
<u>Utjämnande vent.:</u>		
- takdon	40	45
- ejektor $\geq 1.2$ m över golv	35	40
<u>Deplacerande vent.:</u>		
- golvdon	30	35
- väggdon $\geq 0.6$ m över golv	35	40
<u>Vattenburna system:</u>		
- fasadapparater av induktionstyp	50	70
- fläktkonvektor vid fasad	50	70
- kyltak, strålning ombl. vent.	100	120
- kyltak, konvektion depl. vent.	70 <sup>2)</sup>	85
- kyltak, konvektion ombl. vent.	70	85
- kyltak, konvektion depl. vent.	50 <sup>2)</sup>	60

**Tabell 5.** Rekommenderade maximala kylkapaciteter för olika systemlösningar och ventilationsprinciper.

- Med dysdon i specialutförande har värmelaster på 150-200  $W/m^2$  kunnat bortföras.
- Rekommenderad kylkapacitet med ventilationsluften är max ca 20  $W/m^2$ .

## Luftflöde

### Överskottsvärme

Erforderliga ventilationsluftflöden för att bortföra överskottsvärme bestäms för såväl omblandande som för termiskt styrda system av temperaturskillnaden mellan frånluften och tillluften. Följande ekvation kan tillämpas.

$$q = \frac{P}{\rho \cdot C_p \times (t_f - t_t)} \quad (l/s)$$

där  $q$  = luftflödet i l/s

$P$  = kylbehov i W

$t_f$  = frånluftens temperatur °C

$t_t$  = tilluftens temperatur °C

$\rho$  = luftens densitet (1,2 vid 20 °C)

$C_p$  = Luftens specifika värmekapacitet (1,0 vid 20 °C)

För ett omblandande system avviker  $t_f$  normalt inte mer än någon grad från rumstemperaturen 1,1 m över golv (normalt referenspunkten för rummets temperatur). För ett termiskt styrt system kan  $t_f$  emellertid, vid normala takhöjder, anta värden 3 - 5 °C över rumstemperaturen.

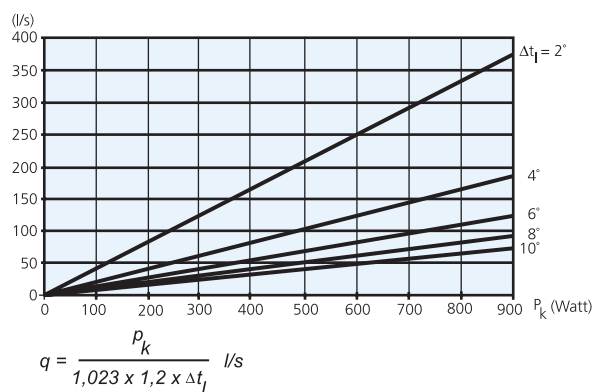
Tilluftstemperaturen begränsas i regel till:

15 °C vid omblandande ventilation och

18 °C vid deplacerande ventilation.

Temperaturskillnaden ( $t_f - t_t$ ) blir därför vid maximal kylbelastning i stort sett samma för de olika ventilationsprinciperna och därmed även erforderliga luftflöden. Ett villkor för att utnyttja stora temperaturskillnader mellan frånluften och tilluften är att:

- Vid omblandande system: Tilluftsdonen dimensionerats på ett riktigt sätt enligt anvisningar som ges under kapitel "Omblandande ventilation".
- Vid deplacerande ventilation: Tilluftsdonen ger en mycket bra luftutbredning över hela golvytan samt att luftfördelningen kan styras efter vistelsezonens utseende.



**Figur 26.** Max. luftflöde som funktion av kylbehov.

## Luftkvalitet

Ett riktigt planerat och dimensionerat ventilationssystem ger en något högre luftutbyteseffektivitet om systemet är utfört enligt principen deplacerande ventilation än om det hade varit ett omblandande system. Skillnaderna är i praktiken emellertid inte så stora. Samma luftflöden kan därför med fördel användas för båda alternativen.

Generellt kan följande formel användas för bestämning av erforderligt luftflöde ur luftkvalitetssynpunkt:

$$q_v = \frac{\dot{m} \times 10^6}{C - C_{in}} \text{ (l/s)}$$

- där  $q$  = ventilationsluftflödet (l/s)  
 $m$  = alstring av föroreningar (l/s)  
 $C$  = rekommenderad högsta halt av föroreningen (ppm)  
 $C_{in}$  = föroreningens begynnelsekoncentration (bakgrunds-nivån) (ppm)

Exempel:

Kontor med människor som den dominerande föroreningskällan. En sittande människa vikt 70 kg, alstrar ca 18 liter CO<sub>2</sub> per timme (0,26 x 70), dvs. 0,005 l/s. Bakgrunds-nivån av CO<sub>2</sub> är som lägst ca 350 ppm. Inne i stadskärnor kan betydligt högre värden förekomma.

Vid en bakgrunds-nivå på 400 ppm CO<sub>2</sub> blir därmed erforderligt luftflöde per person:

$$q_v = \frac{0,005 \times 10^6}{C - 400} \text{ l/s, person}$$

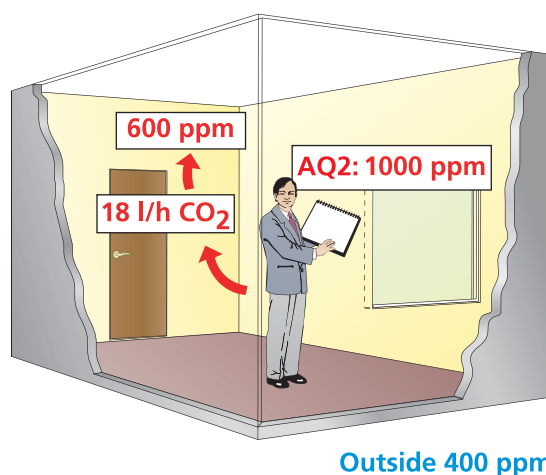
I kvalitetsklass AQ1 är kravet på CO<sub>2</sub>-halten ≤600 ppm och i AQ2 ≤1000 ppm.

Erforderliga luftflöden blir då:

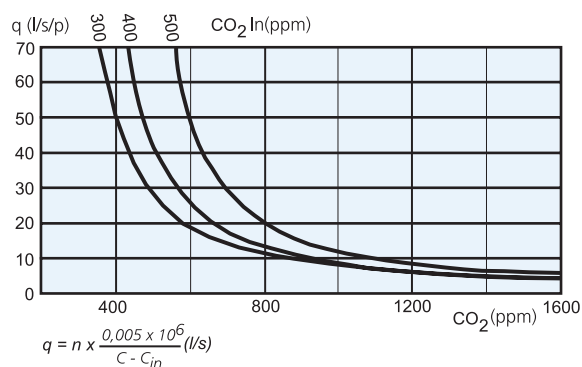
- AQ1 = 25 l/s, person  
 AQ2 = 8,3 l/s, person

Aktivitet	CO <sub>2</sub> l/h, kg
Vila, liggande	0,17
sittande	0,26
stående	0,30
gående	0,35

Tabell 6. CO<sub>2</sub>-avgivning från en människa per kg kroppsvikt.



Figur 27.



Figur 28. Max luftflöde som funktion av luftkvalitet. (Sittande person, 70 kg.)

### TRADITIONELL INDELNING AV VENTILATIONSSYSTEM

Valet av lämplig teknisk lösning är ett viktigt steg i projekteringen. Systemvalet bör göras med beaktande av följande huvudfaktorer:

**Ändamålsenlighet.** Den tekniska lösningens förmåga att uppfylla de ställda kvalitetskraven.

**Driftssäkerhet.** Den tekniska lösningens förmåga att långsiktigt ge tillfredsställande funktion.

**Resurssnålhet.** Den tekniska lösningens energieffektivitet, kostnadseffektivitet m.m. Vid val av teknisk lösning bör man alltid sträva efter enkelhet, begriplighet och tolerans mot avvikelser i driftbetingelser. Undvik tekniska lösningar som inte medger att lokalens användning förändras, fönster öppnas eller som på annat sätt är känsliga för yttre störningar.

#### Grundprinciper och karaktäristiska egenskaper:

Det finns olika ventilationstekniska lösningar som kan tillgodose kraven på rätt luftflöde till alla delar i ett system. De huvudkategorier man talar om är:

- CAV-system (Constant Air Volume), system med konstanta luftflöden. Det enklaste och i allmänhet "prisbilligaste" alternativet.
- VAV-system (Variable Air Volume), system med variabelt luftflöde, som i regel är styrt via en rumstermostat. Fläkten är försedd med någon form av tryckreglering.
- DCV-system (Demand Controlled Ventilation), behovsstyrning av luftflödet, som i regel är styrt via en luftkvalitets- eller närvarogivare.
- Samtliga systemlösningar kan naturligtvis utföras med antingen ombländande eller termiskt styrd ventilation (deplacerande ventilation).

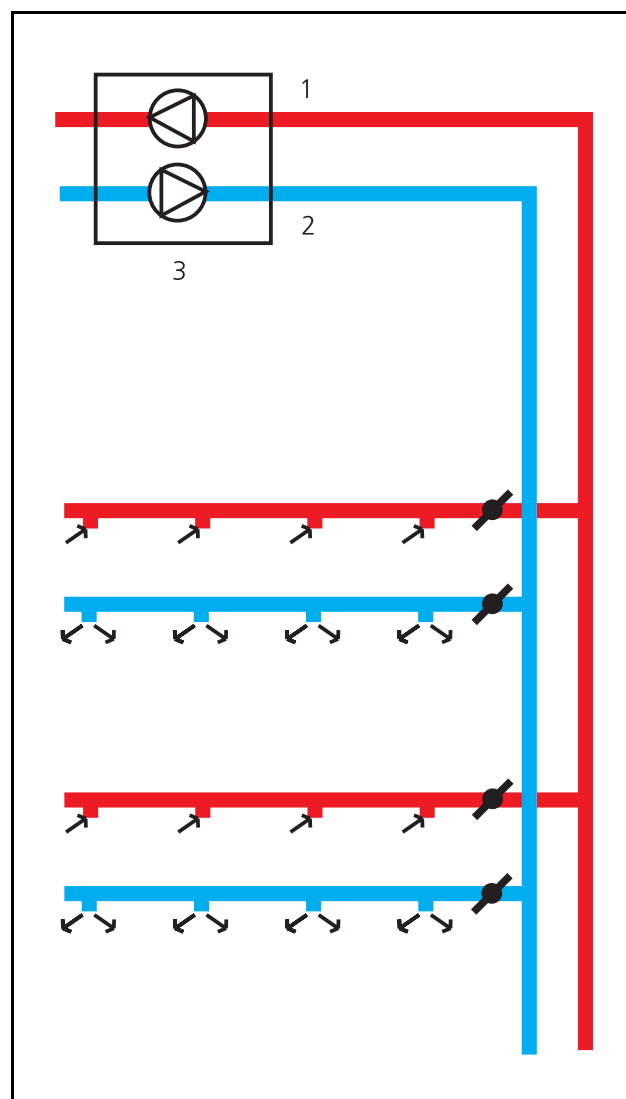
Såväl CAV- som DCV-systemen kan kombineras med alternativa värme- och kylutrustningar för styrning av rumstemperaturen.

### CAV-SYSTEM

CAV-system används där såväl värmealstring som föroreningsproduktion är låg och någorlunda konstant. Tilluftsflödet bestäms i huvudsak av luftkvalitetskraven. Räcker inte det hygieniska luftflödet till för att föra bort den alstrade värmen, kan man komplettera med produkter för vattenburen kyla. CAV-systemen byggs oftast upp efter avgreningsprincipen med injusteringspjäll i varje avgrening. Tryckfallen över donen väljs så att de tillsammans med tryckfallen över injusteringspjällen ger rätt flödesfördelning.

Nackdelen med principen är att systemet lätt kan komma i obalans p.g.a störningar från termiska stigkrafter, förändringar av spjällägen m.m.

Ytterligare en nackdel är de relativt höga tryckfall över spjäll och don som erfordras för säkerställande att flödesvariationerna inte ska bli för stora. Detta i sin tur medför att ljudproblemen kan bli besvärande samtidigt som energiförbrukningen blir onödigt hög. En sänkning av fläktvarvtalet, för att minska energiförbrukningen under vissa perioder, medför att flödesfördelningen ej kan upprätthållas, beroende på att tryckfallen över don och spjäll minskar.



**Figur 29.** Princip för CAV-system.

1. Frånluft
2. Tilluft
3. Ventilationsaggregat (FTX)

### VAV/DCV-system

VAV/DCV-system används när personbelastningen varierar. Uppvärmning sker lämpligen med radiatorer. Rummets kylbehov regleras med ett varierat luftflöde.

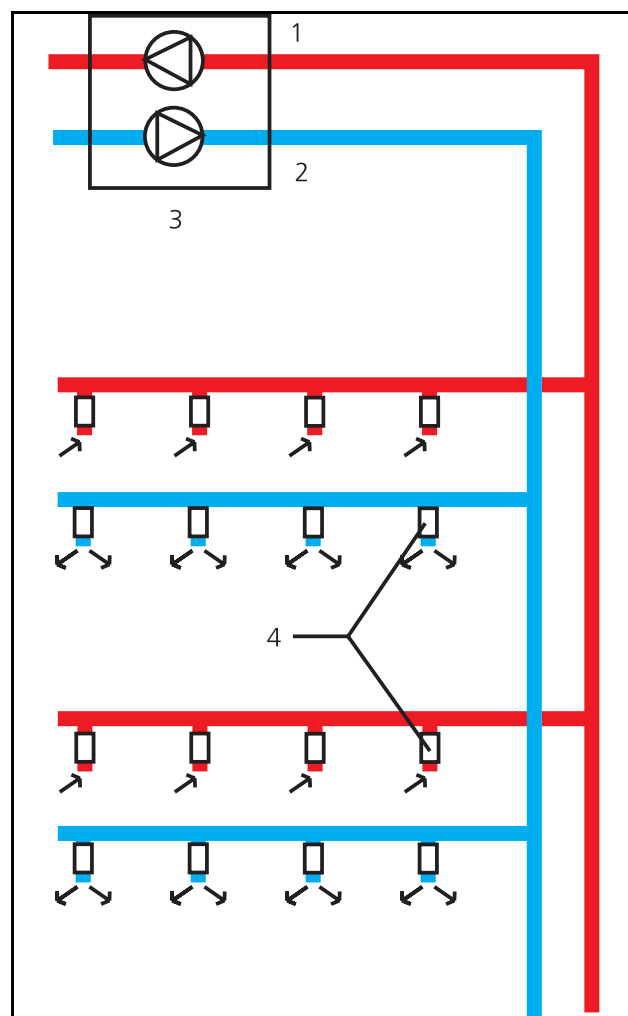
VAV/DCV-systemen skiljer sig från CAV-systemen bl a genom att det finns en tryckreglering i huvudkanalerna för till- och frånluft. Detta är nödvändigt ur såväl energi- som ljudsynpunkt.

En annan skillnad är att i omedelbar anslutning till tilluftsdonen finns reglerenheter som styr luftflödena genom donen. Ett grundläggande problem med detta är att då flödena minskas ökar tryckfallen. Detta kan få allvarliga konsekvenser. Ökade tryckfall skapar generellt högre ljudnivåer. Trycken i huvudkanalerna måste hela tiden garantera att den sämst belagda grenkanalen får tillräckligt med luft.

Om flödesfördelningen i systemet skulle medge ett tillfälligt lägre tryck, måste ändå det inställda börvärdet upprätthållas. Detta påverkar naturligtvis driftskostnaderna negativt.

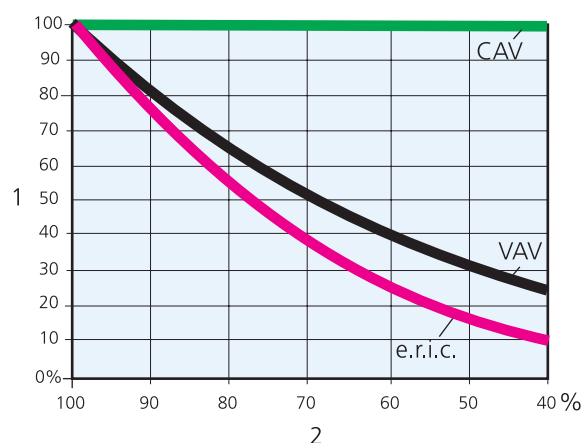
#### Behovsstyrd ventilation

Det är allmänt omvittnat att om vi som brukare av en installation på ett enkelt sätt kan påverka dess inställning, så upplever vi installationen som betydligt bättre. För t.ex bostäder medför denna flexibilitet att de boende på ett mycket enkelt sätt ska kunna behovsanpassa sina luftflöden. Att kunna styra luftflöden efter behovet i de olika rumsenheterna är vi ju inte speciellt bortskämda med när det gäller traditionella FTX-system. Det har istället varit en strävan att försöka hålla luftflödena så konstanta som möjligt. Vi är emellertid övertygade om att det är en klar fördel om de boende kan, inom rimliga gränser, behovsanpassa luftflödet i enskilda rum. Detta skall kunna ske utan att luftflödena i andra rum behöver minskas. Minimiluftflödena i de olika rumsenheterna måste alltid kunna garanteras.



**Figur 30.** Princip av VAV-system.

1. Frånluft
2. Tilluft
3. Ventilationsaggregat
4. VAV-enhet



**Figur 31.** Relativ energiförbrukning beroende på typ av system.

1. Relativ energiförbrukning fläkt (%)
2. Relativt luftflödesbehov (%)

### Allmänt

Omblandande ventilation kan användas generellt i samband med komfortventilation, dvs. oavsett om ventilationsluften används för kylning eller värmning.

I kapitel "Ventilationsprinciper" visas strömningsformen för olika tilluftsalternativ. Dimensioneringsarbetet måste ta hänsyn till bl.a följande:

- Aktivitetsgrad / lokaltyp.
  - Rumsdimensioner.
  - Luftflöde m.m.
  - Eventuellt kylbehov.
  - Resultande lufthastighet i rummet.
  - Resultande ljudnivå.
1. Det är viktigt att aktivitetsgraden kan bestämmas för att kunna bedöma vilka komfortgränser som skall gälla.
  2. Rummets dimensioner påverkar strömningsbilden och därmed komforten i lokalen. Det är därför viktigt att man på projekteringsstadiet korregerar kastlängdsdata enligt gällande dimensioneringsregler.
  3. Det lägsta möjliga luftflödet är fastställt enligt hygienkraven. För allmänventilation i kontor är därför 12 å 15 l/s, per person att betrakta som ett lägsta uteluftflöde.
  4. En beräkning, där såväl intern och extern belastning som energiackumulering i byggnaden beaktas, måste ligga till grund för beräkning av erforderlig kylning. Detta ger tillsammans med komfortkraven ett underlag för val av systemlösning och lämpligt tilluftsflöde.
  5. Donen redovisas med en kastlängd med sluthastighet 0,20 m/s. Vid olika driftsfall kan denna sluthastighet korrigeras för att riktig strömning skall uppnås utan dragproblem i rummet. Underlag finns i denna del för hur detta arbete kan utföras.
  6. Beräkning av resulterande ljudnivå från luftdon och kanalsystem i förhållande till aktuell ljudabsorption i rummet skall alltid utföras. I del "Akustik" framgår hur detta skall utföras.

Övriga hänsynstagande som måste tas är t.ex vid vertikal inblåsning:

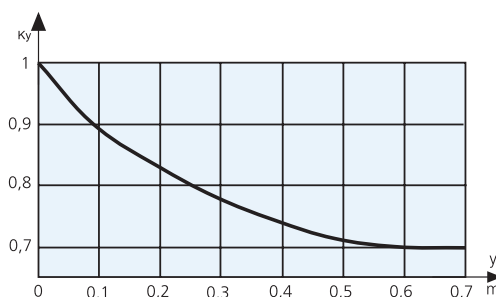
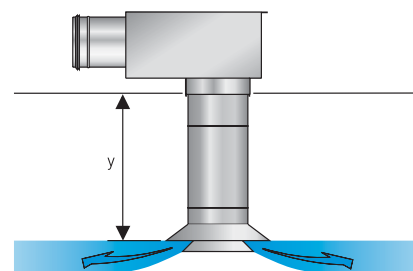
Då över- respektive undertempererad luft skall tillföras en lokal vertikalt påverkar detta kastlängden. Vid övertemperatur förkortas den för att förlängas vid undertemperatur. Detta förhållande kan beräknas och Swegon har utvecklat ett speciellt dataprogram, ProAir web, för dessa driftsfall. Där anges flöde, temperaturvariationer mellan till- och rumsluftens temperaturer samt inblåsningsvinkel.

### Avvikande montage

Redovisning av kastlängd för spaltluftspridare, konspridare och perforerade spridare gäller för takmontage. Om tilluftsdonen monteras frihängande och strålen är riktad så den inte vidhäftar taket, reduceras kastlängden på grund av att medektering kan ske på tilluftsstrålens båda sidor. Följande förhållande gäller:

$$l_{0,2} \text{ frihängande} = k_y \times l_{0,2}$$

där  $k_y$  = korrektionsfaktor beroende av avståndet,  $y$ , mellan don och tak

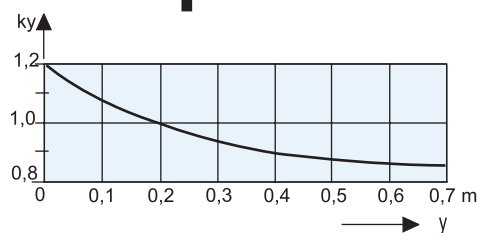
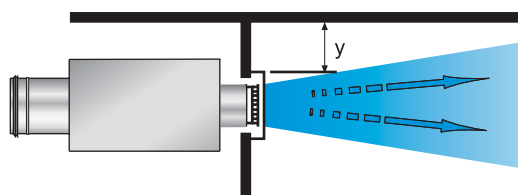


**Figur 32.** Korrektionsfaktor  $k_y$  som funktion av avståndet,  $y$ , mellan don och tak.

För galler gäller redovisningen för väggstråle, dvs. med vidhäftning mot tak. Om gallret monteras mer än 0,2 m från tak minskar kastlängden enligt sambandet:

$$l_{0,2} \text{ nära tak} = k_y \times l_{0,2}$$

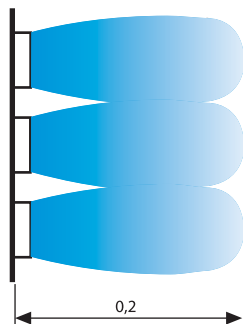
där  $k_y$  = korrektionsfaktor beroende av avståndet,  $y$ , mellan don och tak



**Figur 33.** För väggmonterade galler, där kastlängden är uppmätt för donen monterade på avståndet 0,2 m från taket, gäller ovanstående diagram ( $l_{0,2}$ ) för andra avstånd mellan galler och tak.

### Sammanlagring av tilluftstrålar

Då två eller flera tilluftsdon placeras så nära varandra att strålarna sammanlagras förlängs kastlängden. För beräkning av denna förlängning hänvisas till vårt beräkningsprogram Pro Air web som finns på vår hemsida på Internet eller hos närmaste säljkontor.



Figur 34. Sammanlagring av luftstrålar.

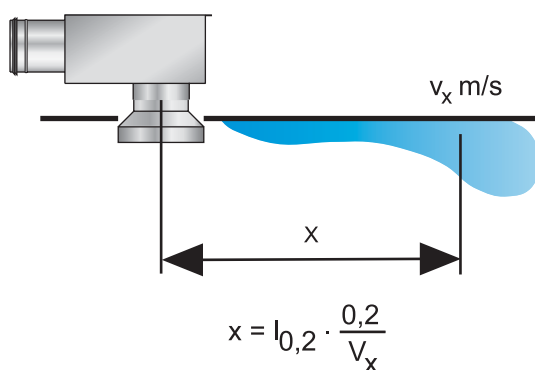
### Kastlängd

Allmänt

Enligt VVS-AMA skall kastlängden redovisas med en sluthastighet i luftstrålen på 0,2 m/s. För beräkning av annan sluthastighet hänvisas till vårt beräkningsprogram ProAir web.

Omräkning

Av olika anledningar kan högre lufthastighet accepteras då en tilluftstråle når vistelsezonen eller träffar ett hinder, t.ex en vägg. Lufthastigheten kan inom ett begränsat område i luftstrålen beräknas enligt figur.



Figur 35. Beräkning av lufthastigheten på avståndet  $x$  från donet.

$x$  = avståndet i meter från luftdonet till den punkt i luftstrålen där lufthastigheten är  $V_x$  m/s

$V_x$  lufthastigheten på avståndet  $x$  från donet

Exempel:

Ett luftdon har en kastlängd  $l_{0,2} = 3$  m. Kastlängden  $l_{0,3}$  blir då:

$$l_{0,3} = 3 \cdot \frac{0,2}{0,3} = 2 \text{ m}$$

## Ombländande ventilation

### Minsta avstånd mellan tilluftsdon

Det minsta avståndet mellan två tilluftsdon, som har luftstrålarna riktade mot varandra, kan förkortas på grund av att kärnstrålarnas sluthastighet kan tillåtas vara högre i blandningspunkten, utan att den sammanlagda strålens hastighet i vistelsezonen överstiger 0,2 m/s. Detta beror på att en kraftig blandning av de båda luftstrålarna sker och deras hastigheter bromsas upp. Följande samband gäller:

$$L_m = k_v (l_{0,2} \text{ don 1} + l_{0,2} \text{ don 2})$$

$L_m$  = Minsta avstånd mellan tilluftsdon.

$k_v$  = Korrektionsfaktor, enligt figur 37.

Exempel:

Två tilluftsdon, vart och ett med kastlängden  $l_{0,2} = 5,0$  m får

### Minsta avstånd mellan tilluftsdon och vägg

En luftstråle, som träffar en vägg tillåts ha en högre hastighet än 0,2 m/s på grund av den uppbromsning och avlänkning, som då inträffar.

Följande samband gäller:

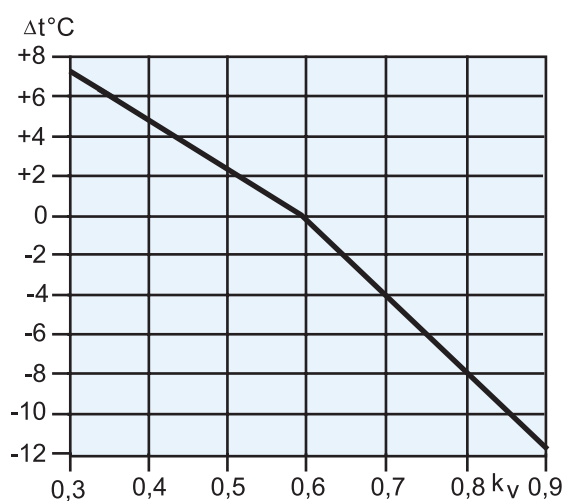
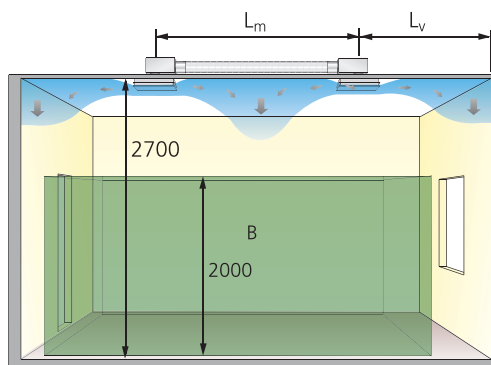
$$L_v = k_v \cdot l_{0,2}$$

$k_v$  erhålles ur figur 37. Observera att ovanstående formel inte gäller generellt för ytterväggar, där konvektionsströmmar eller kallras kan förekomma.

Exempel:

Ett tilluftsdon med kastlängden  $l_{0,2} = 5,0$  m och  $\Delta t = 4^\circ\text{C}$  kan placeras  $L_v = 0,67 \cdot 5 = 3,35$  m från vägg.

ett minimiavstånd vid en undertemperatur på  $6^\circ\text{C}$  på  $L_m = 0,72 (5,0 + 5,0) = 7,2$  m.



Figur 37. Sambandet mellan korrektionsfaktor  $k_v$  och temperaturdifferens  $\Delta t$  (°C) ( $t_{\text{tilluft}} - t_{\text{frånluft}}$ ).

**Minsta avstånd mellan tilluftsdon vid större takhöjd**

Den redovisade kastlängden gäller för en normal takhöjd av 2,7 m. Vid högre takhöjder kan avståndet mellan tak och vistelsezon tillgodoräknas som uppbromsningssträcka för luftstrålen. I figur 36 redovisas sambandet för avståndet mellan två tilluftsdon och avståndet till vistelsezonen.

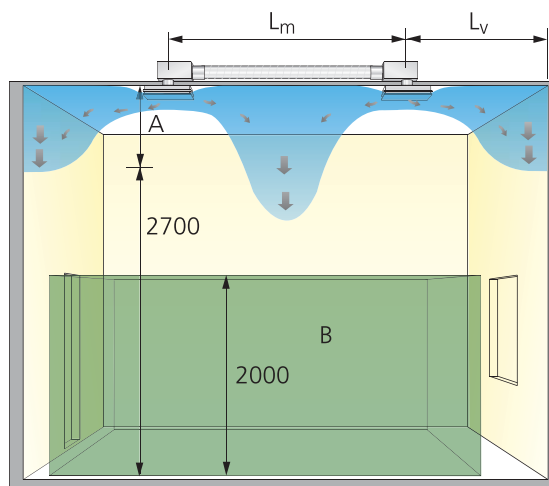
$$L_{mA} = L_m - A$$

Exempel:

Två tilluftsdon vardera med kastlängden  $l_{0,2} = 5,0$  m och  $\Delta t = -6^\circ\text{C}$  monterade i tak med takhöjden 4,5 m får ett avstånd  $L_m = (5,0 + 5,0) \cdot 0,72 = 7,2$  m. Beräkning av avståndet  $L_{mA} = 7,2 - (4,5 - 2,7) = 5,4$  m, dvs. donen kan monterats med ett inbördes avstånd på 5,4 m.

I figur 38 redovisas sambandet för avståndet mellan tilluftsdon och vägg som också kan korrigeras på grund av strålens längre uppbromsningssträcka.

$$L_{VA} = L_V - A$$



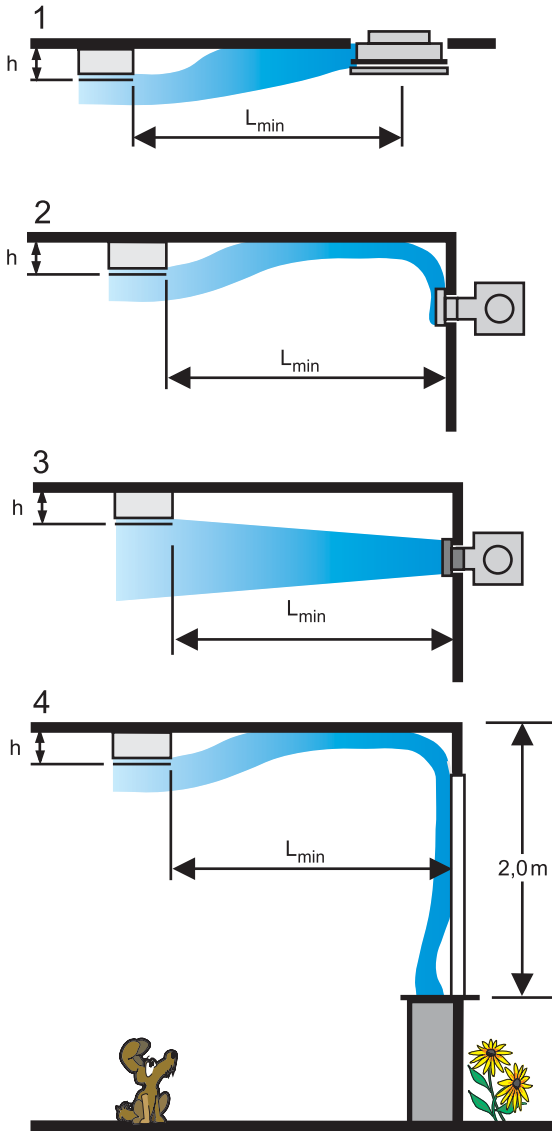
**Figur 38.** Minsta avstånd mellan tilluftsdon vid större avstånd  $A + 2700$ .  
B = Vistelsezon

## Omblandande ventilation

### Minsta avstånd mellan tilluftsdon och hinder

Belysningsarmaturer och annat som kan hindra luftens utbredning får inte placeras för nära tilluftsdonen.

Olika alternativ kan förekomma:



Figur 39. Olika alternativ av inblåsning med hinder i tak.

- 1 = Takdon
- 2 = Bakkantsdon
- 3 = Galler i vägg
- 4 = Inblåsning via fönsterbänk

För de olika alternativen gäller att det minsta avståndet,  $L_{min}$ , är beroende av spridningsbilden från donet samt tilluftstemperaturen. Hindrets form har också stor betydelse. Hinder med rundade eller vinklade kanter är en mindre svår störning än ett med raka kanter.

Följande riktvärden kan anges:

#### Alternativ 1 och 2:

För luft med högst 6°C undertemperatur gäller:

$$L_{min} \geq 25 \times h$$

För större undertemperaturer rekommenderas 50% högre värden.

#### Alternativ 3:

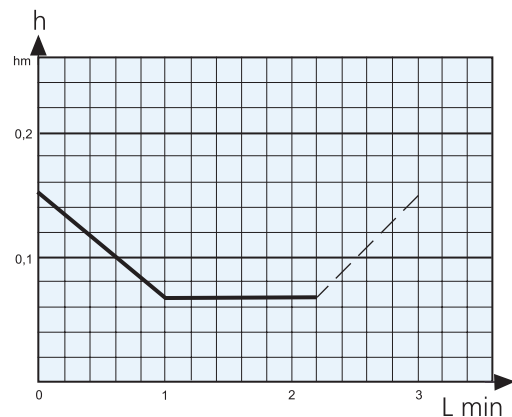
För galler gäller att dessa skall monteras på ett avstånd från taket som är  $\geq 2h$ .

Är dessutom gallrets hydrauliska diameter större än  $1,4 \times h$  erhålles ingen risk för nedslag på grund av hindret.

$$D \text{ v s } \frac{2ab}{a+b} > 1,4 \cdot h$$

#### Alternativ 4:

För detta alternativ måste hindrets höjd begränsas för olika  $L_{min}$  enligt nedanstående diagram.



Figur 40. Kritisk höjd för hinder i tak vid inblåsning via fönsterbänk, som funktion av avstånd från fönsterbänk.

### Ventilera med rätt typ av don

Egenskaper som normalt är betydelsefulla för tilluftsdon avsedda för omblandande ventilation är:

1. Hög medejektering av rumsluft så att låga tilluftstemperaturer kan utnyttjas.
2. Korta kastlängder för tak- och väggdon utan att luften släpper taket och går för tidigt ner i vistelsezonen med dragproblem som följd.
3. Möjlighet att tillföra stora luftflöden utan att kastlängderna blir för stora.

Ett sätt att tillgodose egenskaperna 1 och 2 ovan är att se till att:

- Utgångshastigheten på luften från tilluftsdonet är hög, vilket innebär att donets utloppsarea ( $A_0$ ) ska vara liten.
- Donkonstanten ( $k$ ) ska vara låg.

Samma principer gäller för önskemål 3 ovan, dock med den begränsningen att det finns en konflikt mellan litet  $A_0$  och stort luftflöde. Eftersom kastlängden är proportionell mot uttrycket:

$$k/\sqrt{A_0}$$

skall donkonstanten vara liten för att kastlängden skall bli kort. Samtidigt skall utloppsarean vara så stor som möjligt. Konflikt uppstår då med önskemålet om hög medejektering, som är proportionellt mot uttrycket:

$$x/k \cdot \sqrt{A_0}$$

$x$  = avståndet från donet.

De s.k rotationsdonen (virveldonen) är konstruerade just för att få en låg donkonstant och relativt hög utgångshastighet. Utmärkande för typiska rotationsdon är just kapacitetsbegränsningen jämfört med t.ex perforerade tilluftsdon.

För att få lägsta möjliga donkonstant erfordras att tilluften tillförs via takdon och att den fördelas jämt över donets hela utloppsarea. Spridningsvinkeln skall vara  $360^\circ$  för lägsta donkonstant.

De traditionella rotationsdonen är konstruerade för att tillföra luften via ett flertal långa, rektangulära spalter, som oftast är ordnade radiellt i en cirkulär form.

Principen med att tillföra luften via ett antal spalter gör att utloppsarean begränsas och en hög utloppshastighet kan upprätthållas. En nackdel med spalter är att flexibiliteten begränsas med avseende på möjligheten att åstadkomma variationer i spridningsbilden.

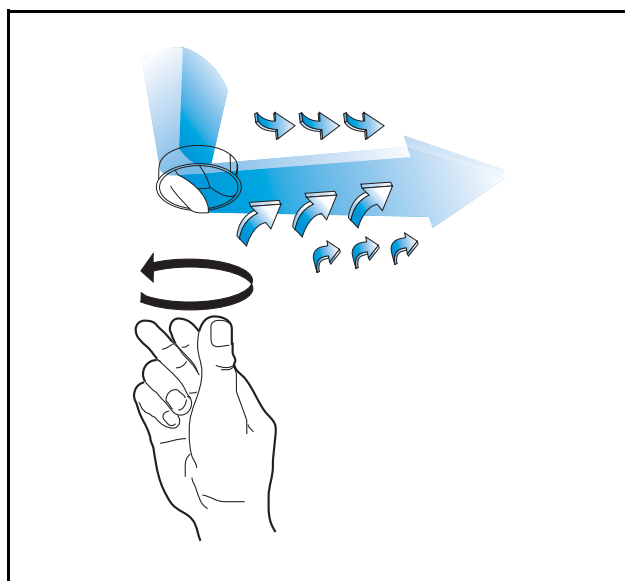
Den metod som Swegon har valt, med kontinuerligt ställbara runda dysor, ger i detta avseende mycket större flexibilitet. Olika egenskaper, och även möjligheter, erhålles med olika antal dysor. Även dysornas storlek påverkar ventilationsmöjligheterna. Ju fler och mindre dysor ett don har, desto större blir variationsmöjligheterna.

De spridningsbilder som på ett enkelt sätt kan åstadkommas med dysdonen kan varieras i det oändliga. Följande varianter kan enkelt erhållas:

- Runtom-spridning
- 1-, 2-, 3- och 4-vägs spridning
- Tangentiell spridning
- Vertikal spridning
- Samtidig vertikal och horsiontell spridning

Den tangentiella spridningen kan utföras på olika sätt. Det vanligaste är att alla dysorna är riktade på samma sätt, dvs. antingen medsols eller motsols. Denna inställning ger den högsta medejekteringen. Om man prioriterar en kort kastlängd kan dysorna ställas in så att en impulsförlust erhålles. Om dysorna är placerade i ringar kan varannan dysring vara riktad motsols och varannan medsols. Detta ger upphov till en kraftig impulsförlust och därmed kortare kastlängd.

Andra faktorer av stor betydelse, som emellertid sällan diskuteras, är tilluftens utloppsriktning just när luften lämnar donet (dysan). För att inte impulsförlusten skall bli för stor måste luften ha en utloppsriktning, som är parallell med takytan, se figur 41. Detta är viktigt i de fall då stora undertemperaturer förekommer. Användning av rotationsdon motiveras just av att de passar för stora undertemperaturer. Om dysan eller spalten inte uppfyller detta krav kan, vid stora undertemperaturer, de termiska krafterna bli dominerande jämfört med coandaeffekten. Icke önskvärda strömningsbilder kan då lätt bli följden. En jämförelse mellan Swegons dysor och de spalter eller andra dysor som marknadsförs i Europa visar en klar fördel för våra dysdon.



Figur 41. Princip för Swegondysa.

## Omblandande ventilation

Nedanstående tabell visar en enkel sammanställning av de vanligaste donens karakteristiska egenskaper:

Dontyp	Karakteristiska egenskaper
Dysdon, takmont.	Flexibilitet i inställning, korta och långa kastlängder kan erhållas. Såväl vertikala som horisontella spridningsbilder kan erhållas. Stora undertemperaturer kan utnyttjas. Stort variationsområde för luftflöden utan att luften "droppar". Klarar stora undertemperaturer
Dysdon, väggmont.	Flexibilitet i inställning. Spridning i sida och/eller framåt. Korta eller långa kastlängder.
Ledskeneperf. takdon LOCKZONE	Stora undertemperaturer kan erhållas. Fasta spridningsbilder. Flushmontage i tak. Luftflödeskapacitet är generellt högre än i dysdon.
Ledskeneperf. väggdon LOCKZONE	Stora undertemperaturer kan erhållas. Fasta spridningsbilder. Luftflödeskapacitet är generellt högre än i dysdon.
Perforerade takdon	Relativt stora undertemperaturer kan erhållas, dock mindre än för dysdonen. Korta kastlängder p.g.a den impulsförlust som erhålles av perforeringen. Olika spridningsbilder möjliga via mekaniska anordningar. Lämpliga för stora luftflöden.
Perforerade väggdon	Relativt stora undertemperaturer kan erhållas, dock mindre än för dysdonen. Korta kastlängder p.g.a den impulsförlust som erhålles av perforeringen. Olika spridningsbilder är möjliga via mekaniska anordningar.
Linjära spaltspridare i tak	Begränsad flexibilitet i spridningsmönster Långa kastlängder trots hög medejektering.
Cirkulära spaltspridare i tak(konspridare)	Hög medejektering vid smala spalter p.g.a gynnsamt förhållande mellan donkonstant och utloppsarea. Relativt stora undertemperaturer kan utnyttjas. Begränsad flexibilitet i spridningsmönster.

**Tabell 7.** Karakteristiska egenskaper hos olika dontyper.

### Allmänt

Figur 42 visar ett deplacerande system. Ventilationsluften tillförs med undertemperatur vid golvnivå och suges ut vid taknivå. Ventilationsluften fördelar sig utefter golvet och börjar stiga uppåt när den kommer i kontakt med varma kroppar, som genererar uppåtgående konvektionsströmmar.

Den varma punktkällan i figuren alstrar en förorening t.ex uppvärmd luft som är lättare än den omgivande luften. Föroreningen stiger mot taket och mera luft dras in i pplymen.

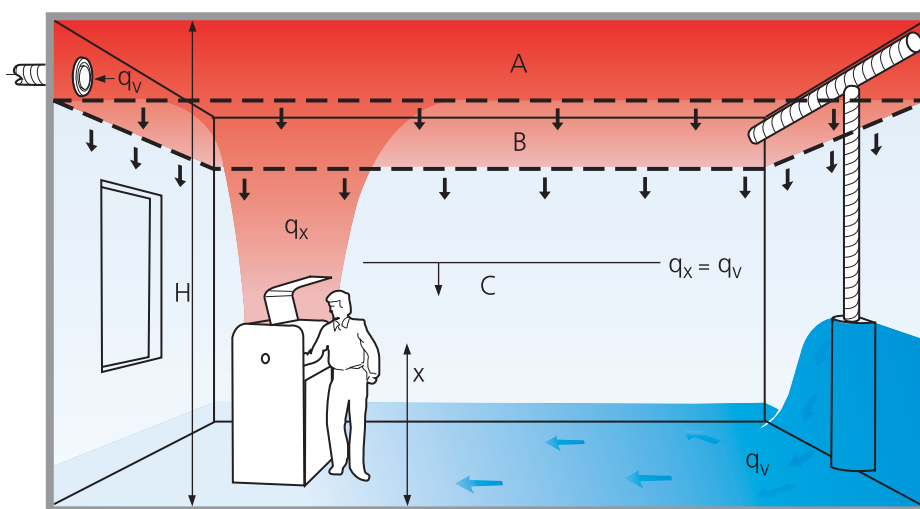
Om volymflödet av luft i föroreningsplymen, när den når taket, är större än ventilationsluftflödet, kan inte hela föroreningsflödet direkt evakueras med ventilationsluften. En del av

föroreningen återcirkuleras därför nedåt i rummet. Vi får en front med förorenad luft som börjar röra sig nedåt i rummet.

Fronten stannar på den nivå där volymflödet av luft i den uppåtgående föroreningsplymen är lika med ventilationsluftflödet.

Två zoner bildas i rummet, en övre zon med förorenad luft och en nedre zon med "ren" luft. I lokaler med rörligt arbete och hög aktivitetsnivå är det eftersträfvansvärt att få upp den rena zonen så högt som möjligt och helst ovanför andningszonen.

Erforderliga luftflöden bestäms med utgångspunkt från gällande normer och bestämmelser om de hygieniska gränsvärdena.



**Figur 42.** Deplacerande ventilation.

Luften tillförs med undertemperatur vid golvnivå och suges ut i taknivå. Tilluften ( $q_v$ ) fördelar sig utefter golvet och stiger uppåt då den kommer i kontakt med varma kroppar.

$q_v$  = ventilationsluftflöde l/s

$q_x$  = konvektionsluftflöde i föroreningsplymen på nivå  $x$  (l/s)

A = Förorenad zon

B = Rörlig front med förorenad luft

C = Ren zon

# Deplacerande ventilation

## Projektering

Vid ventilation enligt principen deplacerande strömning tillförs luften med mycket låg lufthastighet. Detta innebär att strömningsbilden i lokalen styrs av de densitetskillnader, som luften har. Strömningsbilden kan sägas vara termiskt styrd. Det innebär andra hänsynstaganden än vad som är normalt vid ombländande ventilation.

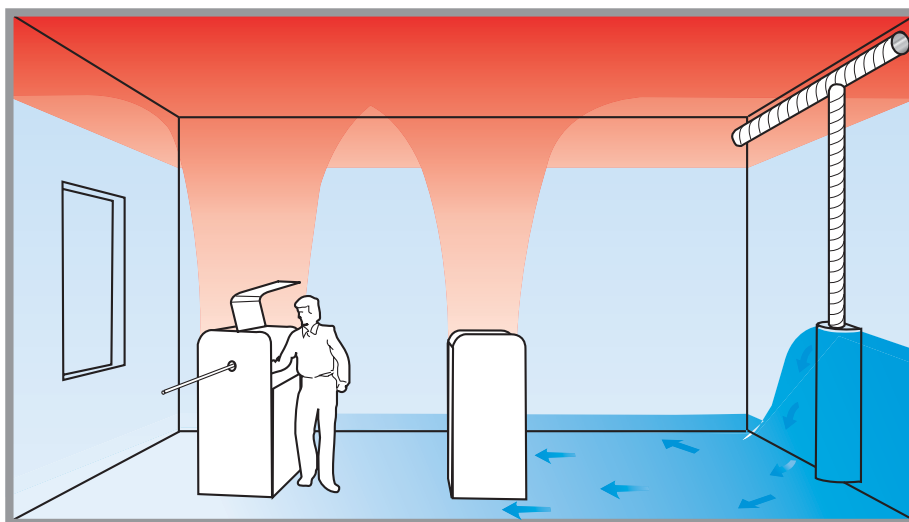
Det är därför viktigt att noga analysera de ingående förutsättningarna i samband med projekteringen. Följande delmoment kan urskiljas:

### 1. Processanalys

- Verksamhetens art / lokaltyp
- Aktivitetsgrad
- Konvektionsströmmar
- Rumsdimensioner
- Rumslayout

### 2. Beräkning

- Luftflöde
- Energibalansberäkning
- Konvektionsluftflöde
- Resultande ljudnivå
- Närzon



**Figur 43.** Deplacerande ventilation.

## Processanalys

### Verksamhetens art / lokaltyp

Användning av låghastighetsdon i lokaler med föroreningsproduktion är lämpligt beroende på att donen har en mycket liten medejektering av rumsluft.

### Aktivitetsgrad

I lokaler där stor hänsyn måste tas till komforten är det viktigt att bestämma komfortkraven med utgångspunkt från gällande aktivitetsgrad.

### Konvektionsströmmar

De i lokalen uppkomna konvektionsströmmarna bestämmer tillsammans med tilluften strömbilden i lokalen. Såväl tilluftsflödet som tilluftsdonen får därför mycket stor inverkan på slutresultatet. Om dimensioneringen skall ske med utgångspunkt från föroreningsalstringen och maximal föroreningskoncentration i vistelsezonen måste luftflödet dimensioneras efter gällande normer och bestämmelser vad avser hygieniska gränsvärden. Se vidare under rubriken "Beräkningar".

### Rumsdimensioner

Rummets höjd påverkar i hög grad den luftutbytes- och ventilationseffektivitet som kommer att erhållas.

Högt till tak medger större utrymme för lagring av förorenad luft medan låg takhöjd begränsar dessa möjligheter.

### Rumslayout / Allmänt

Eftersom värmekällornas läge och storlek har stor betydelse för slutresultatet, är det viktigt att känna till deras placering.

Noggrann analys av t.ex verkstadsmaskinens placering är därför en nödvändig förutsättning för projekteringsarbetet.

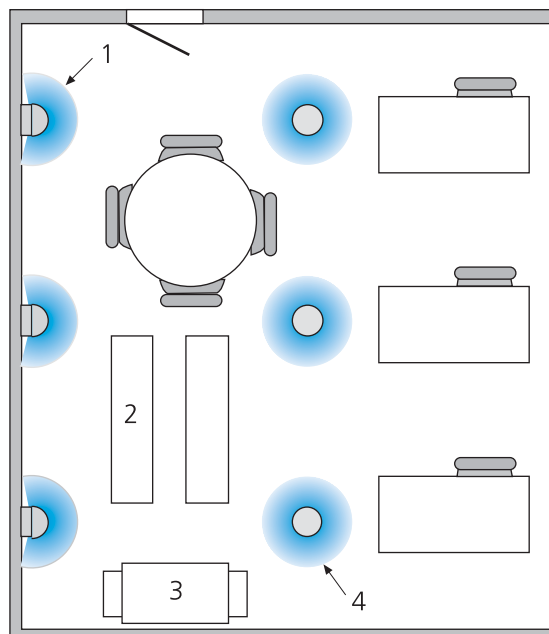
I komfortanläggningar är det nödvändigt att veta hur rummen skall möbleras för att på bästa sätt kunna välja tilluftsdonens placering. Principerna för detta framgår av figurer på följande sidor.

### Rumslayout / Kontorslandskap

Försök hitta platser där människor ej sitter stadigvarande. Ofta finns speciella "gångstråk" i vilkas närhet donen kan placeras.

Plana eller halvrunda don vid pelare, eller kanske runda don i form av "falska" pelare.

Andra ställen som kan vara lämpliga för donplacering i kontorslandskap kan vara vid t.ex "centrala katalogsamlingen" eller kopieringsmaskinen.



**Figur 44.** Donplacering kontorslandskap.

- 1 = Koncentration av don långt från arbetsplatsen
- 2 = Bokhyllor
- 3 = Kopiering
- 4 = Alt. tilluftsdon i form av falsk pelarrad

## Deplacerande ventilation

### Rumslayout / Cellkontor

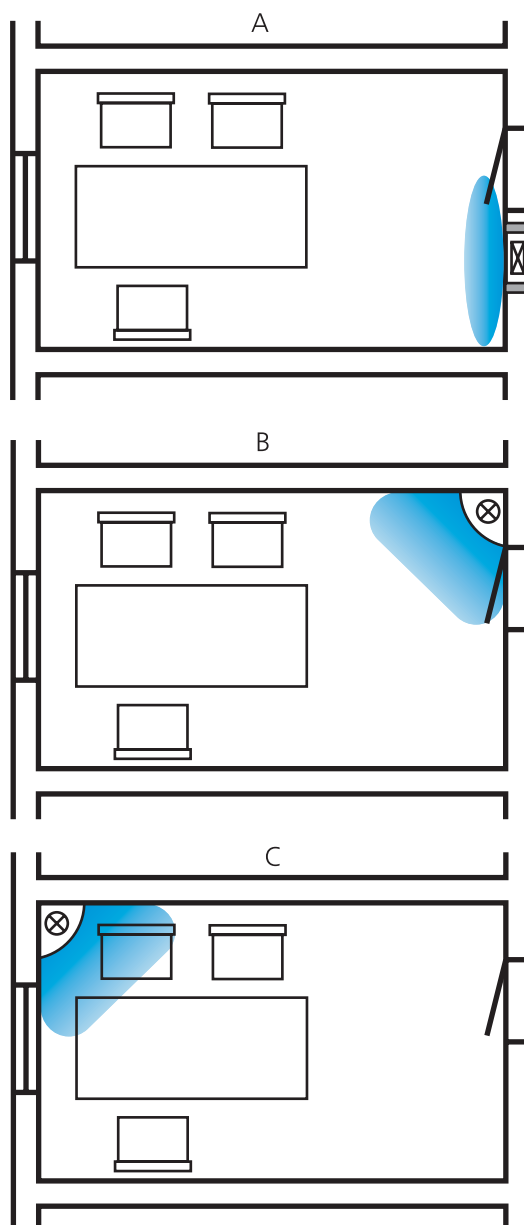
I normala cellkontor är djupet ofta större än bredden. Försök att placera donet i eller vid väggen mot korridoren. Detta ger stort avstånd från donet till den, som sitter vid skrivbordet.

#### Kommentarer till figur 45.

A.  
Ofta kan donet placeras infällt i regelfacket närmast dörren. Vid dörren är väggytan ofta omöblerad på grund av belysingsströmbrytaren.

B.  
Donplacering bakom dörrbladet är en mindre lämplig lösning. Närzonen påverkas, de förhöjda lufthastigheterna uppstår utmed väggen, där i detta fall besökaren sitter.

C.  
Placeras donen vid fasad bör de förskjutas åt ena sidan beroende på var skrivbordet placeras. Den tillfälliga besökaren som hamnar i närzonen är ej lika dragkänslig, som den som sitter i kontoret hela dagen.



Figur 45. Donplacering cellkontor.

### Flexibla spridningsbilder, närzoner

Det är i de flesta fall en mycket klar fördel om donens spridningsbild kan förändras för att hindra att sittplatserna hamnar innanför donens närzon.

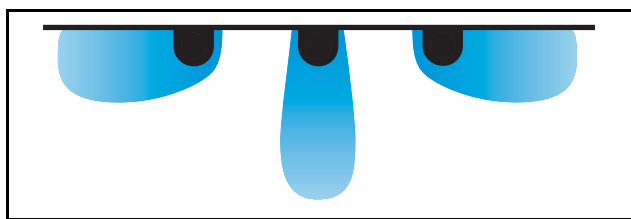
Swegons låghastighetsdon är utrustade med VariZonsystemet. Varje luftdon har ett antal cirkulära vridbara luftriktare bakom den perforerade frontplåten. Genom att vrida på dessa påverkar man spridningsbilden.

En klar fördel då det projekterade rummets layout eller funktion kanske förändras med tiden.

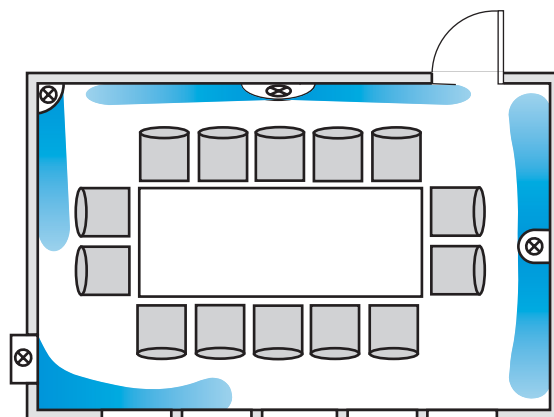
En tumregel är att den i katalogbladet redovisade närzonens utbredning över golvytan ( $m^2$ ), kan omformas till förutom standardinställning;

- Högerriktad närzon
- Vänsterriktad närzon
- Lång och smal närzon

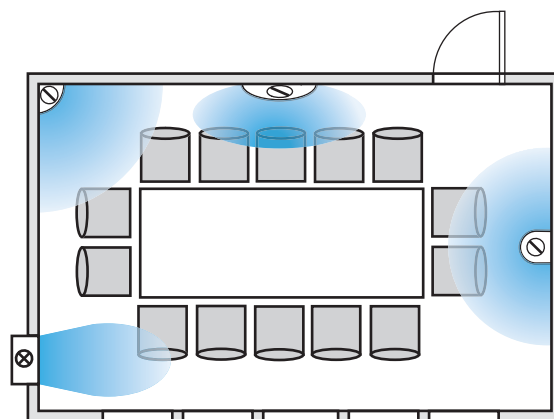
Gemensamt för dessa alternativ är att utbredningsarean är densamma som för standardinställningarna.



**Figur 46.** Exempel på alternativa inställningar.



**Figur 47.** Don, där närzonens form har anpassats efter rummets möblering.



**Figur 48.** Don, där någon omfördelning av strömningsbilden ej har gjorts.

## Deplacerande ventilation

### Beräkningar

#### Luftflöde

För industrianläggningar, där ventilationssystemet skall dimensioneras för en viss maximal föroreningskoncentration i vistelsezonen, är det viktigt att tilluftsflödena bestäms med utgångspunkt från mängden avgivna föroreningar  $m$  (mg/s) i lokalen och tillåten föroreningskoncentration  $c_{till}$  (mg/m<sup>3</sup>).

Luftflödet  $q$  erhålles som:

$$q = \frac{\dot{m}}{C_{till}} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

Koncentrationen,  $c_{till}$  enligt ovanstående ekvation måste alltid vara mindre än det hygieniska gränsvärdet enligt gällande föreskrifter. Om den aktuella föroreningen även kan finnas i tilluften beräknas tilluftsflödet  $q$  enligt ekvationen:

$$q = \frac{\dot{m}}{C_{till} - C_t} \text{ (m}^3\text{/s)}$$

där  $c_t$  = föroreningskoncentrationen i tilluften i mg/m<sup>3</sup>.

I komfortanläggningar är lägsta luftflöde i regel 0,35 l/s per m<sup>2</sup> golvyta. För cellkontor bör uteluftsflödet dock ej understiga 12 à 15 l/s per person.

#### Energibalansberäkning

En beräkning av interna och externa värmelaster där hänsyn tas till värmeackumuleringen i byggnaden måste ligga till grund för en beräkning av erforderlig kylbelastning. Detta ger tillsammans med komfortkraven lämpligt systemval och tilluftsflöde. Beräkning av det deplacerande systemets möjlighet att tillföra kyleffekter framgår av denna projekteringsvägledning.

#### Konvektionsflöde

Konvektionsflödet för olika värmekällor i industrianläggningar behöver ej beräknas om luftflödena bestäms enligt anvisningarna ovan. Även i komfortanläggningar bortses från konvektionsflödenas storlek vid val av tilluftsflöden.

#### Resultaterande ljudnivå

Tilluftsdonen har vanligtvis en mycket låg egenljudalstring. Egenljuddämpningen är också ofta låg varför man alltid ska utföra en noggrann ljudberäkning för kanalsystemet. Korrigering för aktuell rumsabsorption utförs enligt kapitel "Akustik".

#### Närzon

Det bör poängteras att det vid dimensioneringen är nödvändigt att hänsyn tas till närzonens storlek. Man kan inte räkna med att någon stadigvarande skall behöva uppehålla sig i närzonen. Detta är speciellt viktigt i lokaler med hög persontätthet. Välj därför i första hand don efter närzonens form och storlek och i andra hand efter donens ljudalstring.



Figur 49. Beräkningar.

- Min. flöde enligt normer och förordningar
- Energibalansberäkning
- Resultaterande ljudnivåer
- Närzoner

## Samband mellan luftflöden, temperaturgradienter och värmelaster vid deplacerande ventilation

En metod för att beräkna erforderligt luftflöde för att kunna begränsa de vertikala temperaturgradienterna vid olika värmelaster redovisas nedan. Metoden är hämtad från:

Meddelande nr 16 från Installationsteknik KTH, mars 1991.

Beteckningar

$t_{lg}$  = lufttemperatur vid golvnivå

$t_t$  = tilluftstemperatur

$t_f$  = frånluftstemperatur

$s$  = vertikal temperaturgradient ( $^{\circ}\text{C}/\text{M}$ )

$h$  = rummets höjd, m

$\Delta t_{1,1}$  = skillnaden mellan temperaturen på nivån 1,1 m och tilluftstemperaturen

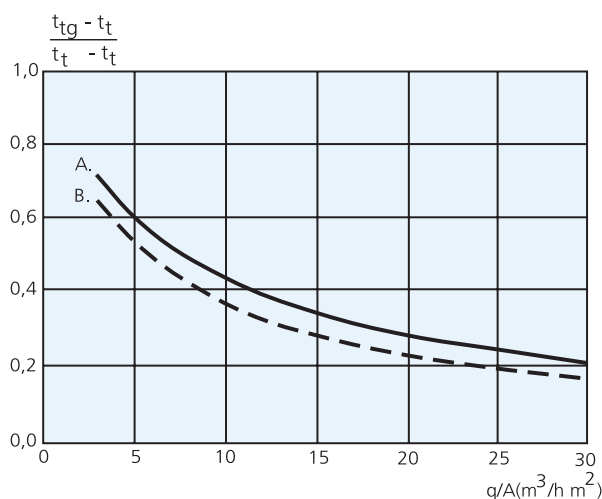
Temperaturgradienten måste begränsas och inte överstiga de gränsvärden som angetts under "krav på inneklimatet".

Erforderligt lägsta ventilationsluftflöde för en viss maximal temperaturgradient erhålles ur figur 51.

Ur figur 52 kan temperaturskillnaden mellan nivån 1,1 m i rummet och tilluftstemperaturen bestämmas.

En kontroll av lufttemperaturen vid golvet ( $t_{lg}$ ) görs med hjälp av figur 50. För att undvika komfortproblem är denna kontroll viktig.  $t_{lg}$  får ej underskrida  $20^{\circ}\text{C}$ .

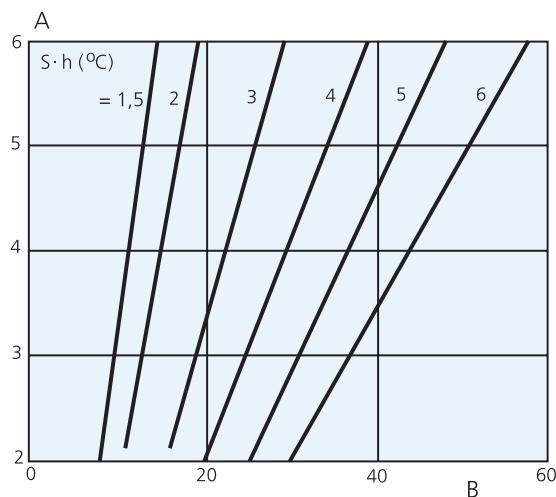
En praktisk vägledning är också att tilluftstemperaturen ej ska underskrida  $18^{\circ}\text{C}$ .



**Figur 50.** Dimensionslös temperaturskillnad i golvzonen vid olika luftflöden.

$A = \alpha_{kg} = 5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  (värmeövergångstal p.g.a konvektion vid golvytan)

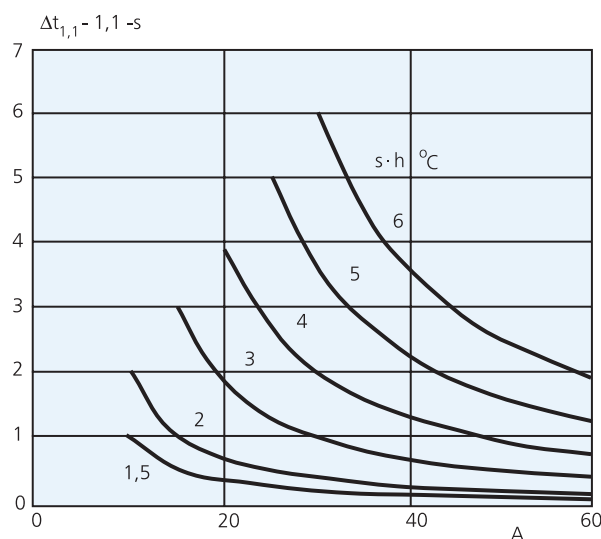
$B = \alpha_{kg} = 3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$



**Figur 51.** Erforderligt ventilationsflöde som funktion av kyleffekten vid olika produkter av gradient och rumshöjd.

A = Luftflöde (l/s, m<sup>2</sup>)

B = Kyleffekt (W/m<sup>2</sup>)



**Figur 52.** Temperaturskillnad mellan luften i golvnivå och tilluften som funktion av kyleffekten vid olika produkter av gradient och rumshöjd.

A = Kyleffekt (W/m<sup>2</sup>)

## Deplacerande ventilation

Metoden beskrivs med hjälp av följande exempel.

Ett kontorsrum med takhöjden 2,7 m har ett kylbehov av 25 W/m<sup>2</sup>.

Den vertikala temperaturgradienten skall begränsas till 1,7°C/m.

Beräkna erforderligt luftflöde samt temperaturen 1,1 m över golv samt vid golv.

Lösning:

$$s \times h = 1,7 \times 2,7 = 4,6^\circ\text{C}$$

Figur 51 ger  $q/A = 2,8 \text{ l/s,m}^2$

Figur 52 ger  $\Delta t_{1,1} = 1,1 \times s = 3,6$

$$\text{dvs. } \Delta t_{1,1} = 3,6 + 1,1 \times 1,7 = 5,5^\circ\text{C}$$

Sätt tilluftstemperaturen  $t_t = 18^\circ\text{C}$

$$\text{vilket ger } t_{1,1} = 18 + 5,5 = 23,5^\circ\text{C}$$

Figur 50 ger

$$\frac{t_g - t_t}{t_f - t_t} = 0,4$$

( $q/A = 2,8 \text{ l/s,m}^2$  eller  $10 \text{ m}^2/\text{h,m}^2$ )

Eftersom:

$$t_f - t_t = \frac{25}{2,8 \cdot 1,2} = 7,5^\circ\text{C}$$

$$\text{fås } t_{tg} = 0,4 \times 7,5 + 18 = 21^\circ\text{C}$$

Dvs. erforderligt luftflöde = 2,8 l/s,m<sup>2</sup>  
lufttemperatur på nivån 1,1 m = 23,5°C  
lufttemperatur vid golv = 21,0°C

## Allmänt

Dåligt utförd injustering är en vanlig orsak till att många ventilationsinstallationer inte fungerar som avsett. Som regel beror detta på att de installationstekniska förutsättningarna för injustering inte har blivit tillvaratagna och bristande kunskap i injusterings- och mätteknik.

Injusteringsarbetet måste noga förberedas redan på projekteringsstadiet. Man bör även ta hänsyn till alla förändringar i installationen under byggnadsperioden. Arbetet med injusteringen är därför tidskrävande om det inte förbereds på ett riktigt sätt.

Det är viktigt att det avsätts tillräckligt med resurser för detta arbete. Denna investering kan bli en försäkring för att få en installation, som fungerar som avsett.

De rekommendationer om hur luftflödesmätningar skall utföras finns redovisade i rapporten: "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer", som kan erhållas från Svensk Byggtjänst.

## Mätning

I en ventilationsanläggning får avvikelsen från föreskrivet värde för ett luftflöde inte vara större än 15% inklusive mätfel.

Instrumenten skall vara kalibrerade med en metod som ger ett känt lågt fel. Kalibreringskurvor där korrektionen anges som funktion av det avlästa värdet skall användas.

Exakta mätningar går aldrig att utföra. Vid mätning av t ex ett luftflöde har man alltid följande tre fel att ta hänsyn till.

- Instrumentfel - betecknas  $m_1$  och kan t.ex bero på friktion inom instrumentet eller vara rester av systematiska fel vid en kalibrering.
- Metodfel - betecknas  $m_2$  och kan t ex bero på felaktiga mätpunkter. Metodfelet  $m_2$  erhålles för de rekommenderade mätmetoderna från den ovan angivna rapporten "Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer".
- Avläsningsfel - betecknas  $m_3$  och kan bero på en dålig upplösning på skalan.

Med utgångspunkt från dessa fel beräknas ett sannolikt mätfel,  $m$ , enligt följande:

$$m = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2} \%$$

## Mätning i kanal

Det finns tre principiellt olika metoder för mätning i ventilationskanaler:

A1 - mätning med prandtlrör.

A2 - mätning med fast mätuttag.

A3 - mätning med spårgas.

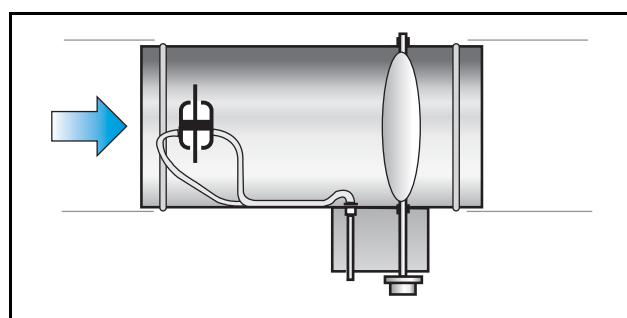
Metod	Beteckning	Metodfel $m_2$
Traversering med prandtlrör i kanal med:	A1	
Cirkulärt tvärsnitt	A11	4-5% rekommenderat mätplan 7% alternativ mätplan
Rektangulärt tvärsnitt	A12	4% rekommenderat mätplan 7% alternativ mätplan
Fasta mätuttag	A2	Se inbyggnadsmått vid felgränserna 5 och 10%
Bestämning av luftflöde med hjälp av spårgas	A3	5 resp. 10%

**Tabell 8.** Metoder för mätning av luftflöden i kanalsystem.

För att minska tidsåtgången och öka noggrannheten i injusteringsarbetet rekommenderas att fasta mätdon (metod A2) skall användas i största möjliga utsträckning. Swegon har olika typer av mäthenheter.

Flertalet av Swegons produkter har fasta mätuttag. Dessutom finns reglerbar mäthenhet, där mätfunktionen har kompletterats med ett spjäll för enkel injustering av aktuellt luftflöde.

Luftflödet bestäms genom mätning av den uppkomna tryckdifferensen över centrumkroppen. Flödet erhålles därefter med hjälp av speciella mäthanvisningar (MIS).



**Figur 53.** Reglerbar mäthenhet.

## Mätning och injustering

### Mätning på tilluftsdon

För mätning av luftflöde på luftdon finns tre rekommenderade mätmetoder.

Metod	Beteckning	Metodfel
Tryckfallsmätning med fast mätuttag	C2	5%
Påsmetoden	C5	3%
Mätning med konventionellt stofsörsedda anemometrar, kompletterade med förlängningsstos	C3	5%

**Tabell 9.** Metoder för mätning av luftflöden på tilluftsdon.

Swegons luftdon är försedda med fasta mätuttag enligt metod C2. Mätuttaget finns antingen direkt i donet eller i den tryckreduceringslåda, som finns som tillbehör till de flesta donen. Till detta ansluts en manometer och ett karakteristiskt tryck mäts upp. Flödet erhålls som funktion av den karakteristiska tryckskillnaden.

I tryckreduceringslådan finns också ett injusteringsspjäll som är åtkomligt genom donet. Lådornas konstruktion ger en god ljuddämpning samt en jämn inströmning av luften i tilluftsdonet, vilket garanterar en jämn spridningsbild.

I samtliga tryckreduceringslådor är spjället lätt borttagbart för att underlätta rensning.

Beroende på typ av tryckreduceringslåda och luftdon varierar antalet mätuttag mellan 1 eller 2 uttag.

### Injusteringsfaktor

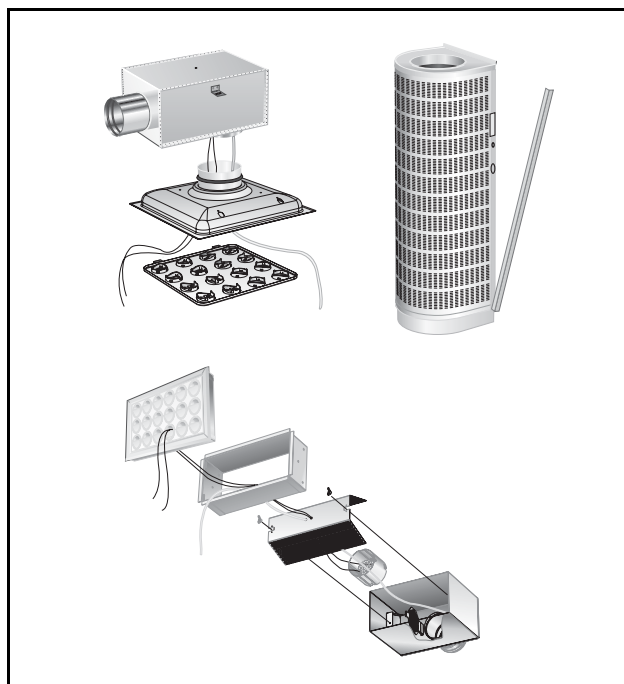
För varje luftdon eller anslutningslåda finns injusteringsfaktorer som är speciellt framtagna för respektive produkt, där flödet erhålles enligt ekvationen:

$$q = k \times \sqrt{\Delta p_i} \text{ (l/s)}$$

där  $q$  = luftflödet i l/s  
 $k$  = injusteringsfaktorn  
 $\Delta p_i$  = uppmätt differenstryck (injusteringstryck i Pa)

Detta sätt att bestämma luftflödet gäller för såväl A2-metoder som C2-metoder.

### Exempel på luftdon med ett eller två mätuttag



**Figur 54.** Ett mätuttag.



**Figur 55.** Två mätuttag.

Kontinuerlig kontroll av injusteringsdata sker vid Swegons laboratorium.

Swegon ger ut en separat katalog med anvisningar för donens montage, injustering och skötsel.

För att förenkla injusteringsarbetet har mätuttagen förlängts med plastslang och injusteringsspjäll försetts med snörreglage (ljus snöre öppnar och mörkt snöre stänger spjället), så att injustering kan ske utan att varken undertak eller luftdon behöver demonteras.



*Injustering av låghastighetsdon.*

Vid dimensionering av tilluftsdon med krav på mycket låg ljudnivå eller kort kastlängd erhålls också ett lågt totaltryckfall över donet. Detta medför att injusteringstrycket  $\Delta p_i$  blir lågt och svårigheter med tryckmätningen uppstår.



*Injustering av luftdon med reglagesnören och mätslang.*

## Arbetsmodell för ventilationsbuller i mekaniska ventilationssystem

### Bakgrund

Buller från ventilationsanläggningar är idag en av de vanligaste orsakerna till klagomål på inomhusklimatet på arbetsplatser och i bostäder och en vanlig störkälla mot omgivning. Det finns krav på minimistandard som i många avseenden är tillräckliga sedan SBN 75. Tyvärr efterlevs de inte alltid i praktiken och kraven är inte heller korrekt formulerade. Swegon har som den ledande fabrikanten av komponenter till ventilationssystem satt som kvalitetsmål att alla produkter som vi tillverkar skall kunna medverka till en väl fungerande tyst ventilationsanläggning med hög komfort om de används på rätt sätt. För att motsvara ambitionen att erhålla tysta ventilationsanläggningar beskriver vi en arbetsmetod att tillämpas under projektering. Metoden leder med stor precision till rätt resultat med en rationell arbetsinsats.

### Helheten

Alla Swegons produkter utformas med hänsyn till deras påverkan på de fyra klimatområden som i första hand bestämmer komforten i rummet. Dessutom vägs energieffektivitet och de ekonomiska aspekterna direkt in i produktutformningen. De fyra klimatområdena är;

- Lufthygien
- Termiskt klimat
- Akustiskt klimat
- Visuellt klimat

Åtgärder i ventilationssystem påverkar direkt de tre översta och med åtgärder i rum även det fjärde. Detta arbetssätt innebär att akustiken, buller från ventilationsanläggningen och andra akustiska effekter av ventilationsanläggningen, bedöms med samma tyngd som de huvuduppgifter ventilationsanläggningen skall utföra.

### Stabilitet och variationer

Ventilationsanläggningar är till sin natur instabila. Många faktorer påverkar driftförhållanden och förorsakar variationer i flöde, ljud m.m. Orsaker till variationer kan vara många; filternas grad av igensättning, drift- och underhållsläget, mängden don som forcerar, vindpåverkan m.m. När det gäller bullerberäkning utgår man från det värsta driftfallet som stadigvarande kan erhållas. Det kan innebära att man inte behöver ta speciell hänsyn till vissa forceringsflöden om de bara skall vara under pauser m.m. Swegon har utvecklat produkter och teknik för att skapa stabilitet i systemen även om driftsförutsättningarna varierar. Bullermässigt behöver den maximala ljudnivån bedömas för dessa produkter utgående från de förutsättningar systemen skall klara. Det gäller produkter som t ex finns i e.r.i.c.-systemet.

### Ventilationsanläggningens inverkan på det akustiska klimatet

En ventilationsanläggning i ett hus påverkar akustiken genom ljudalstring, överhörning i kanalsystemet, läckage i håltagningen och en ökad rumsdämpning av donöppningar i rum. Därtill finns en påverkan av de vibrationskrafter som fläktar orsakar. Alla dessa aspekter skall behandlas vid projekteringen.

### Ljudalstring:

#### Fläktar

Ljudeffektnivåer i dB anges vanligtvis av tillverkaren i oktavband och som total ljudeffektnivå.

#### Spjäll

Ljudeffektnivåer i dB anges vanligtvis av tillverkaren i oktavband. Swegon anger i oktavband mellan 63 Hz och 8000 Hz.

#### Don

Egenljud till rum anges oftast som ljudnivå i dB(A) relaterat till rumsdämpning  $10 \text{ m}^2$  Sabine vilket innebär att ljudnivån gäller på avstånd från don i ett rum med  $10 \text{ m}^2$  ljudabsorptionsarea. Sträcker sig rummets vistelseområde fram till don måste hänsyn tas till att ljudnivån i donets närfält är mycket starkare än ljudnivån på avstånd i rummets mitt. *Se faktaruta 1.*

#### Luftström

Luftströmmen i kanal skapar turbulens vid ojämnheter, avgreningar, anslutningar m.m och därmed ljud. Faktaruta 2 ger ungefärliga uppgifter om ljudnivåer i kanal alstrade av lufthastigheten. Swegons don är i de flesta fall utformade med en tillräcklig insättningsdämpning för att klara ljudalstringen från en lufthastighet på 8 m/s i stamkanaler och högst 4 m/s i grenkanaler. Variationer förekommer, speciellt vid rum med krav på låga bakgrunds nivåer. *Se faktaruta 2.*

### Dämpning:

#### Aggregatljuddämpare

Till fläktaggregat brukar s.k aggregatljuddämpare användas. Dessa är sällan tillräckliga varför extra åtgärder intill aggregaten krävs som regel.

#### Ljuddämpare resistiva

Den vanligaste typen är absorptionsljuddämpare där ljudet och luften strömmar utefter ett ljudabsorberande material. Ju längre ljuddämpare desto större dämpning. Resistiva ljuddämpare ger bättre dämpning vid högre frekvenser. Dämpningen anges i dB i oktavband för vilket motsvarar den dämpning som erhålls om motsvarande kanalbit ersätts med dämparen. Ljuddämpare i vinkel ger effektivare dämpning.

#### Ljuddämpare reaktiva

En reaktiv ljuddämpare kan ge en god dämpning redan vid låga frekvenser om volymen är tillräckligt stor. Ett exempel på reaktiv ljuddämpare är en trycklåda invändigt klädd med ljudabsorberande material. Ljudenergin antas fördelas likformigt över ytan och dämpningen motsvarar i proportion öppningarnas storlek i förhållande till hela den invändiga ytan. In- och utlopp skall helst inte placeras mitt för varandra då högfrekvent ljud kan kortslutas genom ljuddämparen. Faktaruta 3 ger en hjälp att bedöma dämpningens storlek. *Se faktaruta 3.*

#### Förgreningar

I normala fall kan man fördela ljudenergin i kanalsystemets olika grenar i proportion till areastorleken. En grov metod är att fördela i proportion till luftfördelningen i systemet. Det finns avvikelser som t.ex kanalgrenar i rak anslutning nära fläktarna vilka kan ge mer ljud vid vissa frekvenser än vad denna approximativa metod anger. Med en god försiktighet ger metoden dock en bra uppskattning av systemets ljuddämpande egenskaper. *Se faktaruta 4.*

**Faktaruta 1**

**Ljudeffektnivå och ljudtrycksnivå**

Beräkning av skillnaden mellan ljudeffektnivå ( $L_w$ ) och ljudtrycksnivå ( $L_p$ ) som funktion av ekvivalenta ljudabsorptionsarean ( $A$ ) och avståndet till ljudkällan ( $r$ ) vid olika luftdonsplaceringar ( $Q$ ) utföres enligt följande:

$$L_p - L_w = 10 \cdot \log \left( \frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4(1 - \alpha_m)}{A} \right)$$

där  $Q$  = riktningsfaktor

$r$  = avstånd till ljudkälla (m)

$A$  = ekvivalent ljudabsorptionsarea

$\alpha_m$  = medelabsorptionsfaktor för totala begränsningsytan

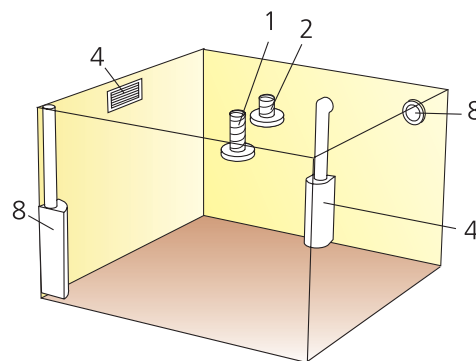
Med hjälp av diagrammet i figur 57 kan man enkelt bestämma skillnaden mellan ljudeffektnivå och ljudtrycksnivå vid olika avstånd,  $r$ , och ekvivalent rumsabsorption,  $A$ .

Exempel:

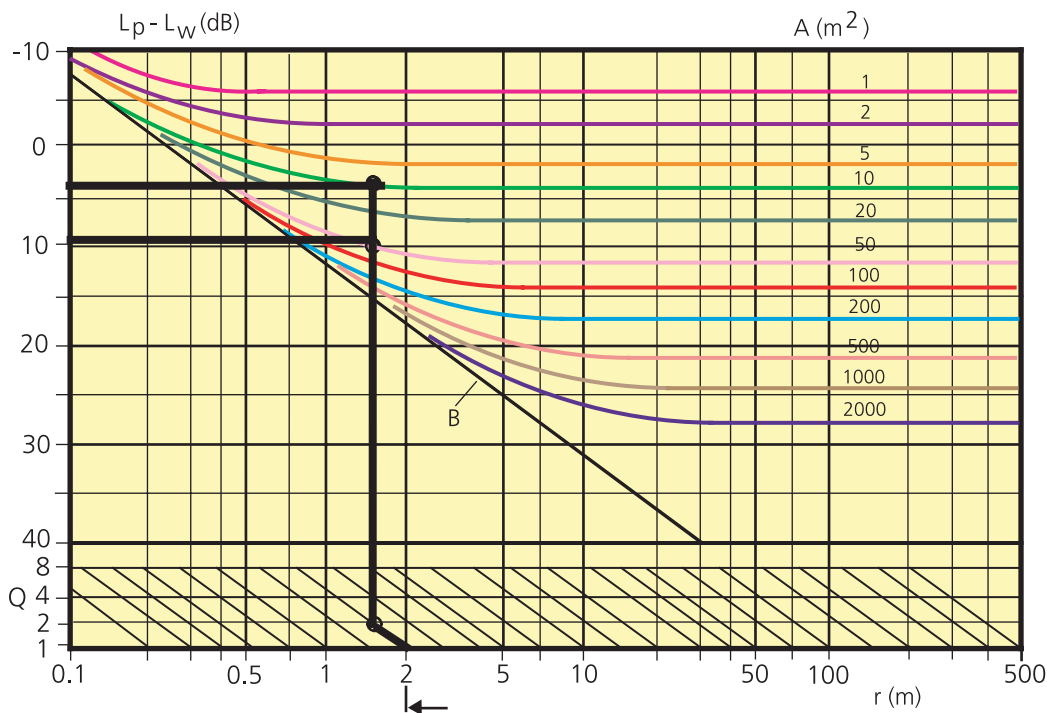
I ett rum med 50 m<sup>2</sup> ekvivalent rumsabsorptionsarea är avståndet mellan vistelsezonen och ett tilluftsdon 2 m. Luftdonet är monterat i tak ( $Q = 2$ ). Ljudnivån från tilluftsdonet och kanalsystemet är enligt kataloguppgifter 43 dB(A).  $L_p - L_w$  blir enligt figur 57 (9 dB - 4 dB) 5 dB.

Ljudtrycksnivån i rummet är då  $L_p = 43 - 5$  dvs. 38 dB(A).

$Q =$	1 Mitt i rum, friblåsande
$Q =$	4 Vägg nära tak
$Q =$	2 Vägg eller tak
$Q =$	8 Hörnplacering



Figur 56. Riktningfaktor för olika donplaceringar.



Figur 57. Skillnad mellan ljudeffektnivå och ljudtrycksnivå.

$L_p - L_w$  = Skillnad mellan ljudeffektnivå och ljudtrycksnivå (dB).

$A$  = Ekvivalent rumsabsorptionsarea (m<sup>2</sup>)

$B$  = Fritt Fält

$r$  = Avstånd från ljudkälla (m)

## Faktaruta 2

### Ljudalstring i raka kanaler

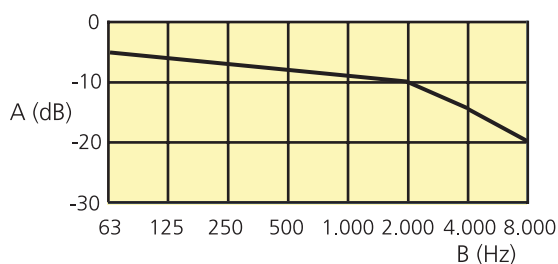
Ljudeffektnivån för ljud alstrat i rak kanal erhålles enligt ekvationen:

$$L_{\text{wtot}} = 10 + 50 \log v + 10 \log s$$

$v$  = lufthastigheten i kanalen, m/s

$s$  = kanalens tvärsnittsarea, m<sup>2</sup>

Oktavbandsfördelningen av den totala ljudeffektnivån erhålles approximativt enligt följande figur:



**Figur 58.** Oktavbandsfördelning av total ljudeffektnivå (raka kanaler).

A = Relativ ljudeffektnivå dB/oktav (dB över 1pW)

B = Medelfrekvens oktavband (Hz)

Exempel:

Lufthastighet,  $v = 10$  m/s

Kanalarea,  $s = 0,5$  m<sup>2</sup>

Ljudeffektnivån,  $L_{\text{wtot}}$ , blir då 57 dB

Den totala ljudeffektnivån fördelar sig på oktavband enligt följande:

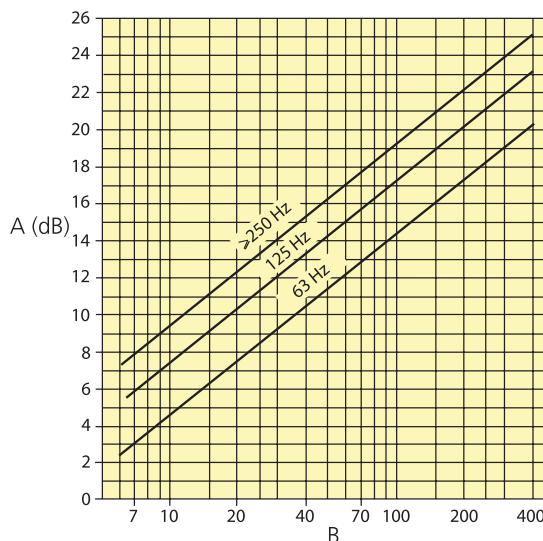
	Medelfrekvens Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Utgångsnivå dB	57	57	57	57	57	57	57	57
Korrigerings enl. figur 58	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-15	-20
Oktavbandsnivå	52	51	50	49	48	47	42	37

## Faktaruta 3

### Dämpning i invändigt beklädd sug- eller tryckkammare

Om ljudet på sin väg från fläkt till rum passerar en invändigt beklädd kammare, kommer ljudet att dämpas i proportion till svårigheten för ljudet att komma ut ur kammaren.

Följande figur kan användas för att bestämma dämpningen i en kammare som är invändigt beklädd med 10 cm mineralull.



**Figur 59.** Dämpning i tryck- eller sugkammare invändigt beklädd med 10 cm mineralull. (Obs! In- och utlopp skall ej placeras mitt för varandra.)

A = Dämpning (dB)

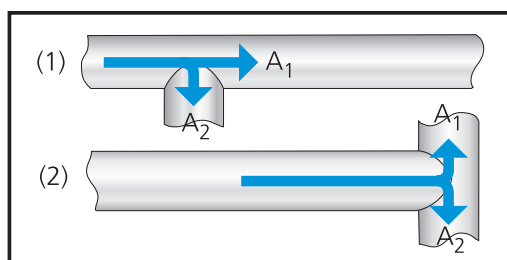
B = Beklädd area dividerad med utloppsarean.

**Faktaruta 4****Förgreningsdämpning**

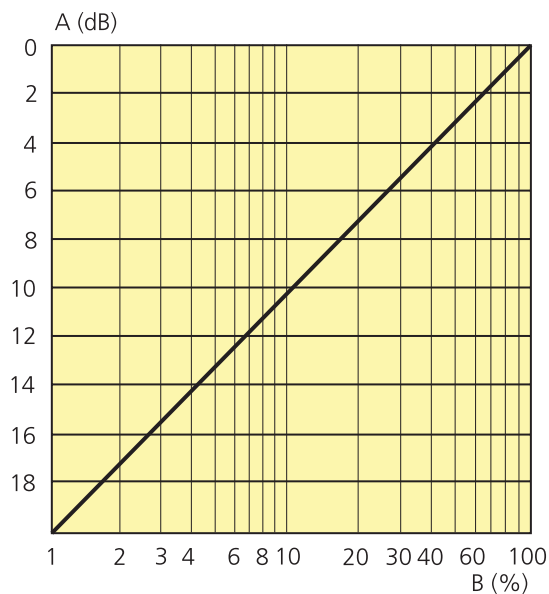
Vid en avgrening fördelar sig ljudeffekten i relation till kanalareorna, dvs. ( $A_1/A_2$ ). I de fall lufthastigheten i samtliga kanaler är relativt lika kommer ljudeffekten att fördela sig på samma sätt som luftmängden. En grenkanal som transporterar 10% av den totala luftmängden kommer också att innehålla 10% av ljudeffekten.

Då höga frekvenser kan liknas vid ljustrålar, ser vi att endast en mindre del av det högfrekventa ljudet fortplantas i avgreningen i figuren. I detta fallet underdimensionerar vi alltså dämpningen vid höga frekvenser (> 500 Hz). I ett T-rör kommer däremot ljudenergin att fördela sig enligt samma förhållande som kanalareorna.

Diagrammet kan användas både då man betraktar förhållandet mellan luftmängd och area.



**Figur 60.** Ljudets fortplantning i förgreningar.



**Figur 61.** Förhållandet mellan % avgrenad luft och dämpning.

A = Dämpning (dB)

B = Luftmängd till rum/don (%)

## Kanaldämpning

I kanalsystemet erhålls endast liten dämpning bortsett från böjar, krökar och dimensionsförändringar där s k reaktiv dämpning erhålls. Effekten redovisas i faktaruta 5.

### Insättningsdämpning

Dämpningen hos don anges i dB i oktavband och avser vanligtvis dämpningen från ljudeffekt i kanal till ljudnivå i rum vid 10 m<sup>2</sup> Sabine rumsdämpning. Andra redovisningar finns, så var vaksam på missförstånd! Notera också att en del don fungerar som förstärkare, dvs. insättningsdämpningen kan vara negativ.

Swegon anger normalt dämpningen för don vid 10 m<sup>2</sup> rumsdämpning. Större produkter avsedda för industriapplikationer redovisas för 150 m<sup>2</sup> rumsdämpning. Faktaruta 1 visar tillägget som erfordras för att kompensera till donets närfält och justeringen i rum med en annan rumsdämpning än 10 m<sup>2</sup> Sabine. Se faktaruta 5.

## Krav på akustisk komfort

Inom Swegon rekommenderar vi att krav ställs i både dB(A) och dB(C) för att säkerställa att alla ljudnivåer är tillräckligt låga och samtidigt har en karaktär som är acceptabel utan ett dominerande lågfrekvent buller. Swegon har sedan länge utformat och kontrollerat produkternas inverkan även på de låga frekvenserna. I produktredovisning finns värden angivna ner till 63 Hz. För lägre frekvenser, 31,5 Hz, kontakta något av våra säljkontor.

Exempel på kravvärden:

Swegon rekommenderar att kravet i dB(C)-värdet är högst 15 dB högre än kravvärdet i dB(A), vilket ger en god ljudkomfort i rummet.

Bostäder	30 dB(A)	45 dB(C)
Kontor	35 dB(A)	50 dB(C)
Lektionssalar	30 dB(A)	45 dB(C)
Konferensrum	30 dB(A)	45 dB(C)
Vårdrum	30 dB(A)	45 dB(C)
Stådrum	45 dB(A)	60 dB(C)

Det är viktigt att alla utrymmen där människor vistas har ett krav på ljudnivå. Högre värden än 45 dB(A), 60 dB(C) bör inte accepteras i andra rum än aggregatrum, maskinrum och liknande med egna kraftiga bullerkällor. I alla sammanhang skall sådana ljudnivåer eftersträvas att ljud från ventilationsanläggningen inte blir dominerande.

## Varför dB(C)?

Historiskt formades tre olika vägningskurvor, A, B och C. Det var tänkt att A-vägningen skulle användas för att mäta de svagare ljuden, B-vägningen för de mellanstarka och C-vägningen för de högsta ljuden. I alla sammanhang avsåg man att mäta hörstyrkan på ett likartat sätt som örat gör. Eftersom hörseln inte är lika känslig för olika frekvenser och att dessutom känsligheten varierar med ljudets styrka erfordras ett flertal vägningskurvor. Internationella jämförelser gav att inget av de föreslagna mätvärdena var bättre än något annat. För att ange hörstyrka förenklade man mätningarna till att bara använda A-vägningen. I många sammanhang ger det en hygglig förståelse för ljudets hörbara styrka. Ljud som alstras av bullerkällor med mycket låg frekvens bedöms fel eftersom A-vägningen dämpar lågfrekvensen uppenbart för mycket. Särskilt när bedömningen inte enbart är hörstyrka, utan mer störstyrkan i rummet för människorna i sin verksamhet. Fläktar an-

slutna till ventilationssystem är ofta en bullerkälla med starkt lågfrekvent innehåll.

I vår produktpresentation finns alltid hänsyn tagen till produkternas lågfrekvenssegenskaper. För ljuddämpare, strypspjäll, insättningsdämpning hos don m.m finns uppgifter givna i oktavband ner till 63 Hz, vilket i de allra flesta fall är tillräckligt för att bedöma ljudalstring och spridning i dB(C) från fläkt och andra delkomponenter. Egenljudalstringen från don ges normalt enbart i dB(A) av det skälet att donets eget strömningsbrus oftast domineras av mellanhöga och höga frekvenser och alltså inte bidrar speciellt till C-värdet i rummet. Bakgrundsvärden i oktavband finns tillgängliga som korrigeringar från angivet dB(A)-värde, så för den som vill finns alltid möjligheten att beräkna C-värdet.

## Arbetsmetod

### Princip

Denna arbetsmetod följer den traditionella projekteringshandläggningen med idéskisser, systemhandlingar och bygghandlingar. Metoden består i att;

1. I det tidiga skedet, skisstadiet, bestämma de åtgärder som erfordras för att dämpa ljudet från fläktarna mot rum och mot omgivning storleksmässigt samt forma systemet i princip.
2. I slutet av skedet färdiga bygghandlingar görs en detaljdimensionering och generellt föreslagna åtgärder preciseras.

Under det första skisstadiet skall man tillsammans med arkitekten:

- Bestämma huskroppens geometri och volym.
  - Föreslå antalet aggregat och aggregatrum med hänsyn till byggnadens form och verksamhet.
  - Bestämma aggregatrummens storlek.
- OBS! att storleken har fler dimensioner än LxBxH. Här anges ljudnivå och dynamiska störkrafter på bjälklag, effektbehov m.m.

## De naturliga stegen

### A

Med kännedom om ventilerad volym kan aggregatstorlek anges. Därmed kan översiktligt ljudeffekten från aggregat bestämmas och de åtgärder som erfordras för att aggregatens ljud skall accepteras mot byggnad och mot omgivning. Faktaruta 6 ger en grov uppskattning av fläktens ljudalstring.

Aggregatrummens dimensioner redovisas dvs.:

- erforderlig yta i  $m^2$  och
- erforderlig ljudnivå i aggregatrum samt
- behov av vibrationsisolering med krav på bjälklag.

Storleken på aggregatrummen bestäms av att ljuddämpande åtgärder får plats för att begränsa bulleremission mot omgivning och att ljudeffektnivån till schakt inte överstiger 60 dB(C) i kanal. All lågfrekvensdämpning skall klaras i aggregatrum. Alla ljudfällor som innehåller porösa ljuddämpande material skall vara åtkomliga. Ljudfällorna skall kunna öppnas och det porösa materialet bytas ut.

Vibrationsisoleringen av aggregaten ställer krav på bjälklag och höjd i aggregatrum. Det skall klaras ut på detta tidiga stadium så att rätt bjälklag eller kompletterande åtgärder kan dimensioneras. *Se faktaruta 6.*

### B

Alla ljudkrav sammanställs på en handling. Den skall omfatta:

- max dimensionerande ljudnivå dB(A)/dB(C) i aggregatrum, anges av V
- max dimensionerande ljudnivå dB(A)/dB(C) i schakt, anges av V
- max dimensionerande ljudnivå dB(A)/dB(C) över korridor tak m.m, anges av V
- ljudnivå i rum dB(A)/dB(C), anges av Akustik eller A
- ljudisolering i skiljeväggar och bjälklag  $R_{W,dB}$ , anges av Akustik eller A
- bulleremission mot omgivning,  $L_{W,dB}$  ljudeffekt i utelufts- och avluftsöppningar, anges av Akustik eller V.

### C

Principhandlingar upprättas där lågfrekvensdämpare i storlek redovisas i aggregatrum och ljuddämpare i kanalsystemet fördelas efter behov intill rum.

Ljuddämpare efter strypspjäll mot rum i kontorshus och liknande. I skolbyggnader och intill sammanträdesrum med högre krav på överhörningsdämpning innebär det vanligtvis 1200 mm ljuddämpare mellan strypspjäll och rum. De olika ljuddämparna ges generella littera LD 1, 2, 3 osv. och detaljdimensioneras i bygghandlingsskedet. Kanaldragningen bör utformas så att man inte måste gå igenom skiljekonstruktioner med höga krav på ljudisolering. Gör överhörningsberäkning med hjälp av ProAc. Här redovisas  $R_{W,dB}$ -värde för aktuell kanaldragning.

### D

All kanaldragning skall utformas så att den kan utföras med god precision och täthet. Det är viktigt att bygghandlingarna visar en utformning vid genomföringar som kan utföras och tätas på ett tillfredsställande sätt. Ansvaret för detaljutformningen är projektörens. Utformningen skall också vara sådan att monteringen kan ske utan att skaderisker för montören, vilket också är projektörens ansvar.

I slutet av projekteringen räknas ljudförhållanden i några kritiska systemförgreningar. Hela systemet behöver sällan beräk-

nas. I samband med beräkningen detaljspecificeras ljuddämparna i aggregatrum och ljuddämparna ute i kanalsystemet. Tidigare givna littera tolkas till föreslagna ljuddämpare av passande mått.

I detaljdimensioneringen skall ljudnivån bestämmas med 5 dB marginal för varje system. Det innebär att när till- och frånluftssystem körs samtidigt kommer marginalen att bli 2 dB, vilket är en nödvändig marginal med hänsyn till skillnader i utförande och osäkerhet i mätningar. Innehåller huset ytterligare system som kyla, värmesystem m.m som kan förväntas påverka ljudnivån i rummet skall marginalen utökas till ytterligare 2 dB per tillkommande system. Vid t.ex tre ljudalstrande system skall dessa beräknas mot ett krav som ligger 7 dB under det gällande kravet. Bidrar de lika mycket till ljudnivån i rummet innebär det att de orsakar en ljudnivå tillsammans som är 5 dB över den dimensionerande för varje system, dvs. marginalen kommer att bli 2 dB till kravet. *Se faktaruta 7* angående sammanlagring av ljudkällor. Det innebär att tilluftssystemet och frånluftssystemet i ett hus med tre system inkl värme, bör vardera dimensioneras för att klara 23 dB(A) i t e x klassrum och bostadsrum. *Se faktaruta 7.*

### E

Till bygghandlingar bör utformas en handling som redovisar håltagning, genomföring och metod för tätning och efterlagning med hänsyn till både ljud- och brandkrav samt flexibilitet. Tätheten är avgörande för att ljudkraven skall innehållas i det färdiga huset. Swegons produkter är från början utformade för att lätt kunna fällas in i väggar, bjälklag m.m och kunna ge en betryggande täthet.

### Bygghandlingarna

Under bygghandlingarna skall de vanliga utförandebristerna som leder till oönskat buller kontrolleras löpande. Det är bl.a;

#### Byte av material

Likvärdighet avseende ljud skall kontrolleras. Krav på redovisning av likvärdighet ur alla nedanstående aspekter bör krävas.

#### Fläktuppställning

Normalt är fläktar vibrationsisolerade i aggregatet. Viktigt att tänka på, är att det skall vara flexibel anslutning mellan fläkt och kanalsystem.

#### Kanaluppbyggnad, täthet, tryckfall

Kanaler skall fogas utan skarpa invändiga kanter. Otätheter förorsakar ljud. Onödigt tryckfall ger ljud och sämre arbetsläge för fläkten. Se till att kanaldragningarna blir jämna med mjuka böjar och övergångar.

#### Sluttryckfall

Det är fel att ta för stort tryckfall över don med ljudalstring som följd. De flesta don har en justermöjlighet som skall utnyttjas för att utjämna flöde mellan rum i en grenkanal, men inte att strypa in hela systemets flödesfördelning.

#### Injustering

Skall göras så att don ej ger för högt egenljud till rum.

#### Kontroll

Ljudnivåerna skall kontrolleras i samband med injustering. Ljud mot omgivning mäts.

## Faktaruta 5

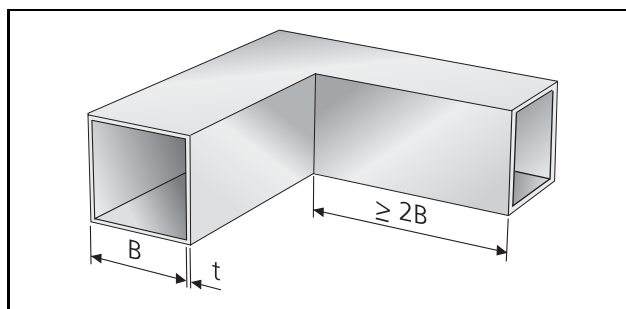
### Dämpning i böjar

När ljudet i en kanal träffar en böj kommer en del av ljudet att reflekteras tillbaka. Hur mycket som reflekteras beror på kanalens dimensioner och ljudets våglängd.

Dämpningen i rektangulära böjar är betydligt större än för cirkulära böjar. Normalt räknas ingen dämpning i cirkulära böjar. Dämpning för rektangulära böjar finns i tabell 10.

Beklädnaden skall ha en längd motsvarande minimum dubbla kanalbredden;

Tjockleken på beklädnads materialet,  $t$ , skall vara minimum  $0,1 \times B$ .



Figur 62. Invändigt beklädd böj med dämpning.

	Kanalbredd mm	Dämpning i dB vid oktavmedelfrekv. (Hz)						
		125	250	500	1000	2000	4000	8000
Utan absorptionsbeklädnad	125			1	5	8	4	3
	250		1	5	8	4	3	3
	500	1	5	8	4	3	3	3
	1000	5	8	4	3	3	3	3
Beklädnad före knät (1)	125			1	5	8	6	8
	250		1	5	8	6	8	11
	500	1	5	8	6	8	11	11
	1000	5	8	6	11	11	11	11
Beklädnad efter knät (1)	125			1	7	11	10	10
	250		1	7	11	10	10	10
	500	1	7	11	10	10	10	10
	1000	7	11	10	10	10	10	10
Beklädnad före och efter knät (1)	125			1	7	12	14	16
	250		1	7	12	14	16	18
	500	1	7	12	14	16	18	18
	1000	7	12	14	16	18	18	18

(1) Se figur 62.

Tabell 10. Dämpning i rektangulära böjar med och utan absorptionsbeklädnad.

**Faktaruta 6****Beräkning av ljudeffektnivån hos en fläkt**

I de fall en fläkts ljuddata inte finns tillgängliga, kan ljudeffektnivån beräknas med en för de flesta tillfällen tillräckligt stor noggrannhet.

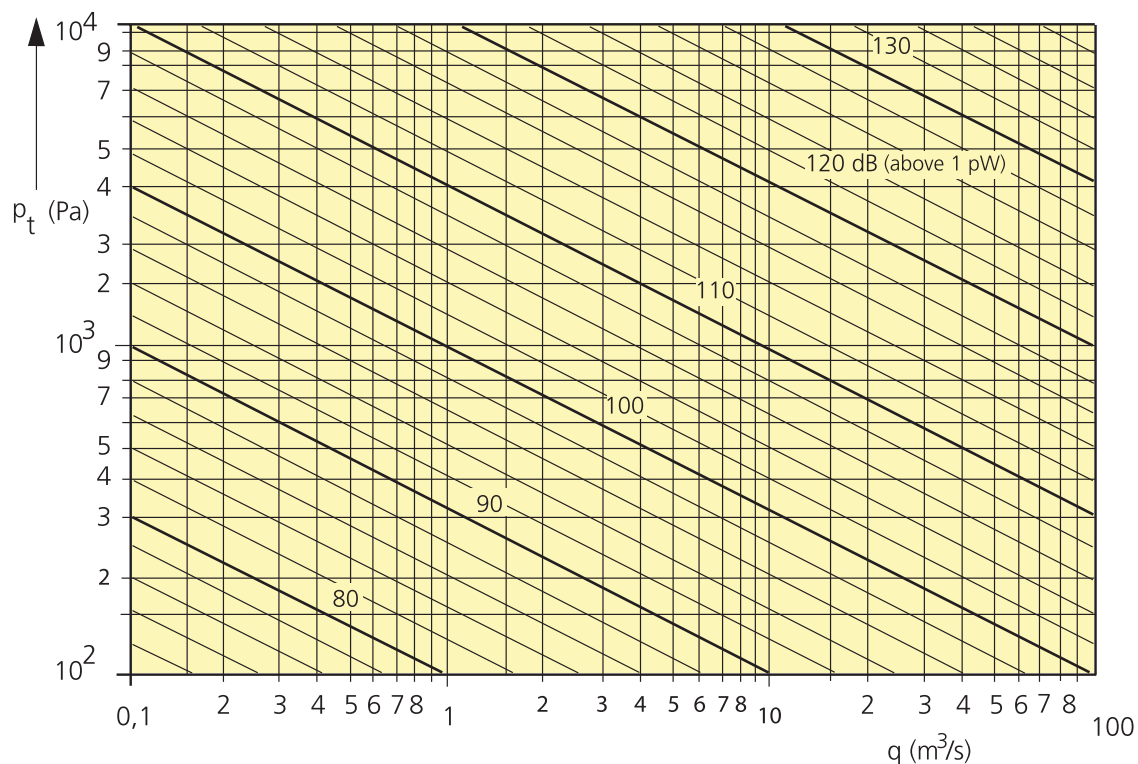
Följande formel kan användas:

$$L_{W_{\text{tot}}} = 40 + 10 \log q + 20 \log p_t \text{ dB}$$

Luftflödet  $q$  anges i  $\text{m}^3/\text{s}$

Tryckuppsättningen  $p_t$  anges i Pa

Ekvationen är grafiskt framställd i nedanstående figur.

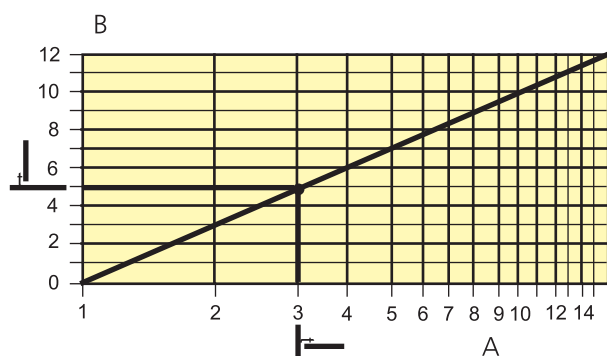


**Figur 63.** Ljudeffektnivå hos fläkt.

## Faktaruta 7

### Summering av ljudnivåer

Samtliga ljudkällor i aktuellt rum adderas logaritmiskt. Addition kan ske med hjälp av diagram för addition av ett antal lika eller olika ljudkällor.



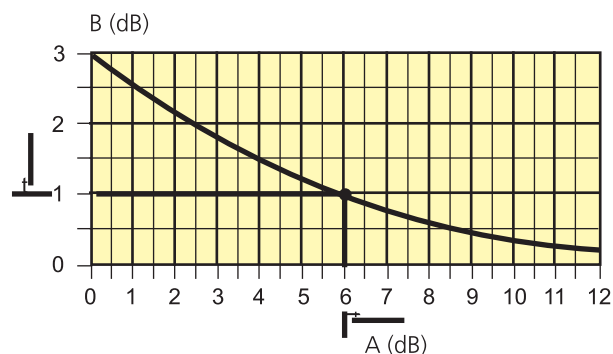
**Figur 64.** Logaritmisk addition av flera lika nivåer.

A = Antal ljudkällor

B = Ökning som skall adderas till nivån från ljudkälla, dB

Exempel:

I ett rum sitter tre frånluftsdon som vardera ger 25 dB(A). Dessa ger sammanlagt en ljudnivå av  $25 + 5 = 30$  dB(A).



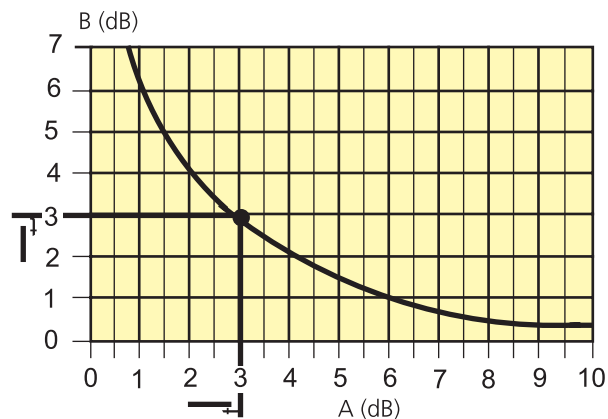
**Figur 65.** Logaritmisk addition av två olika nivåer.

A = Skillnad mellan nivåer som skall adderas (dB)

B = Ökning som skall adderas till den högre nivån (dB)

Exempel:

Summan av 30 dB(A) och 36 dB(A) är 37 dB(A).



**Figur 66.** Logaritmisk subtraktion av två olika nivåer.

A = Skillnad mellan summa nivå och nivå från ljudkälla 1 (dB)

B = Minskning som skall subtraheras från den totala ljudnivån

Exempel:

I ett rum med både till- och frånluftssystem är den totala ljudnivån 35 dB(A). Enbart tilluftssystemet ger 32 dB(A). Skillnaden är 3 dB(A), vilket innebär att frånluftssystemet ger  $35 - 3 = 32$  dB(A).

### Basfakta

Matematisk uppställning för logaritmisk addition, subtraktion om teckenbyte sker.

$$L_{\text{tot}} = 10 \text{ Log} (10^{(LA1/10)} + 10^{(LA2/10)} + \dots)$$

---

**Efterlagning**

Alla tätningar runt kanal i genomföringar skall kontrolleras. Ofta är bara den synliga delen av hålet tätat. Högre krav på ljudisolering bör kontrollmätas. Mätningarna kan göras tidigt i produktion och vara en vägledning till entreprenören.

**Referenslitteratur**

Akustik i Rum och Byggnader, Lennart Karlén, Byggtjänst.

K-Konsult kompendium för buller i installationer.

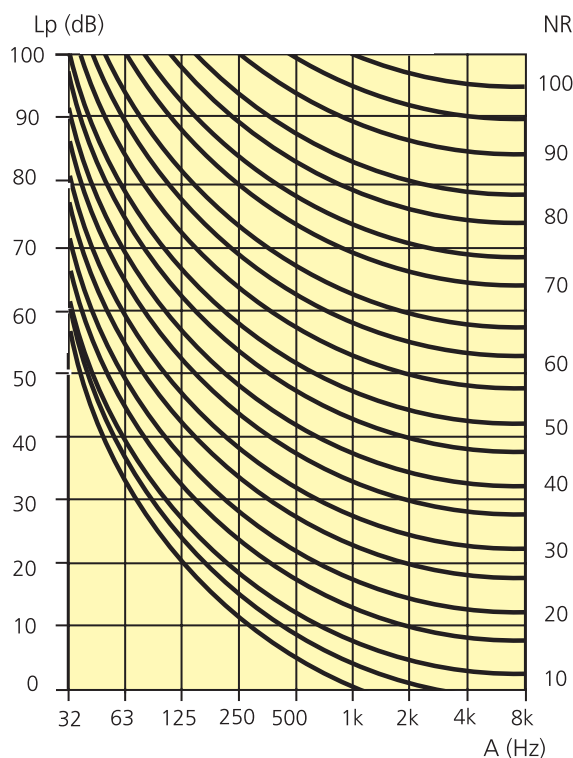
Akustik & Buller, Johnny Andersson. Ingenjörsläroverket.

**Hjälpmedel vid beräkningar**

Swegons dataprogram ProAc för analys av ljud i ventilationsanläggningar.

För att få en uppfattning om hur störande ett ljud är, kan man jämföra frekvensanalysen av ljudet med normerade bullerkriteriekurvor s.k NR-kurvor. NR-värdet anges av numret på den högsta NR-kurvan, som tangeras av kurvan för frekvensanalysen.

En direkt omräkning av ett dB(A)-värde till ett NR-värde går inte att göra. Som riktvärde brukar anges att dB(A)-värdet är cirka fem enheter större än NR-värdet. Skillnaden är emellertid beroende av ljudets frekvensfördelning.



**Figur 67.** NR-kurvor.

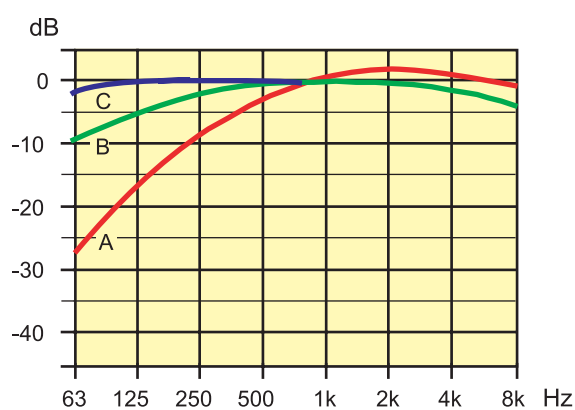
$L_p$  (dB) = Ljudtrycksnivå  
A = Medelfrekvens (Hz)

Oktavband nr	Mittfrekvens Hz	Bandgränser Hz	Våglängd m
2	125	88-177	2.720
3	250	177-354	1.360
4	500	354-707	0.680
5	1000	707-1410	0.340
6	2000	1410-2830	0.170
7	4000	2830-5660	0.085
8	8000	5660-11300	0.043

**Tabell 11.** Rekommenderade oktavband enligt ISO.

Mittfrekvens Oktavband Hz	Filter A (dB)	Filter B (dB)	Filter C (dB)
63	-26.2	-9.3	-0.8
125	-16.1	-4.2	-0.2
250	-8.6	-1.3	0
500	-3.2	-0.3	0
1000	0	0	0
2000	+1.2	-0.1	-0.2
4000	+1.0	-0.7	-0.8
8000	-1.1	-2.9	-3.0
16000	-6.6	8.4	-8.5

**Tabell 12.** Vägningfilter för ljudnivåmätning.



**Figur 68.** Dämpning för olika vägningfilter.

Då dB(A)-värdet skall beräknas korrigeras de uppmätta värdena med A-filtrets närmevärden enligt tabellen. Därefter adderas de resulterande ljudnivåerna per oktavband logaritmiskt.

Exempel:

En ljudmätning ger ljudtrycksnivåerna 45 dB (125 Hz), 40 dB (250 Hz), 36 dB (500 Hz), 37 dB (1000 Hz), 34 dB (2000 Hz) samt 25 dB (4000 Hz). Den resulterande ljudnivån uttryckt i dB(A) blir då 41 dB(A).

Frekvens	125	250	500	1000	2000	4000
Uppmätt värde	45	40	36	37	34	25
Korr. för filter A	-16	-9	-3	0	+1	+1
Resultat	29	31	33	37	35	26

**Tabell 13.** Korrigering för A-filter.

## Rumsabsorption

Rummets volym, ytornas beskaffenhet och inredningsdetaljerna påverkar den resulterande ljudnivån i stor utsträckning. För att räkna ut ett rums ekvivalenta ljudabsorptionsarea kan tabell med referensvärden för absorptionsfaktorn  $\alpha$  och diagram användas.

Generellt gäller att den ekvivalenta ljudabsorptionsarean ( $A$ ) beräknas enligt följande.

$$A = S \cdot \alpha_m$$

där  $S \times \alpha_m = S_1 \cdot \alpha_1 + S_2 \cdot \alpha_2 + \dots + S_n \cdot \alpha_n$   
 $S$  = rummets totala begränsningsarea ( $m^2$ )  
 $S_1 \dots S_n$  = delytornas area ( $m^2$ )  
 $\alpha_1 \dots \alpha_n$  = delytornas absorptionsfaktorer  
 $\alpha_m$  = medelabsorptionsfaktorn för totala begränsningsytan

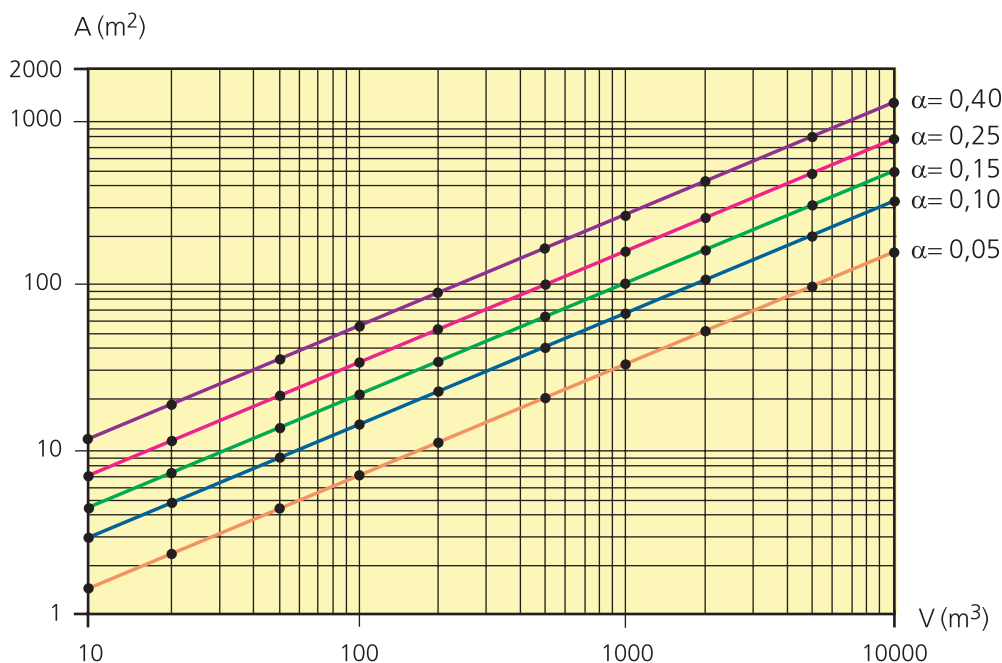
Typ av rum	Medelabsorptionsfaktor $\alpha_m$
Radiostudio, musikrum	0,30 - 0,45
TV-studio, varuhus, läsrum	0,15 - 0,25
Bostäder, kontor, hotellrum, konferenslokaler, teatrar	0,10 - 0,15
Skolsalar, vårdhem, små kyrkor	0,05 - 0,10
Fabrikshallar, simhallar, stora kyrkor	0,03 - 0,05

**Tabell 14.** Referensvärden på olika lokalers medelabsorptionsfaktor.

A	Kraftigt dämpat rum $\alpha_m$	= 0,40
B	Dämpat rum $\alpha_m$	= 0,25
C	Normalt rum $\alpha_m$	= 0,15
D	Hårt rum $\alpha_m$	= 0,10
E	Mycket hårt rum $\alpha_m$	= 0,05

Exempel:

En butiklokal för kläder med dimensionerna 20 x 30 x 4,5 m (dvs. 2700  $m^3$ ) har en medelabsorptionsfaktor på  $\alpha_m = 0,40$ . Lokalens ekvivalenta rumsabsorption blir 500  $m^2$ .



**Figur 69.** Ekvivalent ljudabsorptionsarea.

$A$  = Ekvivalent ljudabsorptionsarea ( $m^2$ )

$V$  = Rumsvolym ( $m^3$ )

## Akustik - Grunder

### Ljuddämpning i kanalmyrning

Vid ingång från kanal till rum reduceras ljudnivån genom ljudets spridning, som normalt sker radiellt. Denna reduktion kallas mynningsdämpning.

Ljuddämpningen ( $\Delta L$ ) för respektive luftdon redovisas i oktavband under "Ljuddata". I dessa värden är mynningsdämpningen inräknad. Om man vill beräkna mynningsdämpningen för en fritt avslutad kanal används diagram, figur 71.

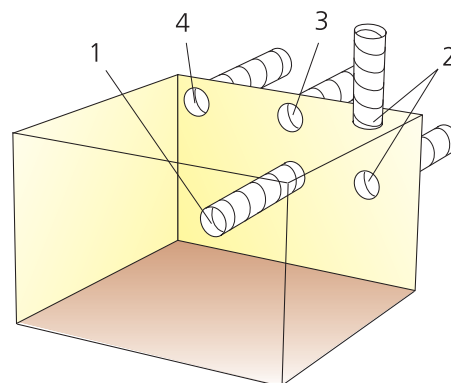
Exempel:

En rektangulär kanal mynnar i rum enligt placeringsalternativ 3 i figur 70 och dess tvärsnittsarea är  $0,15 \text{ m}^2$ . Enligt figur 71 erhålls följande mynningsdämpning.

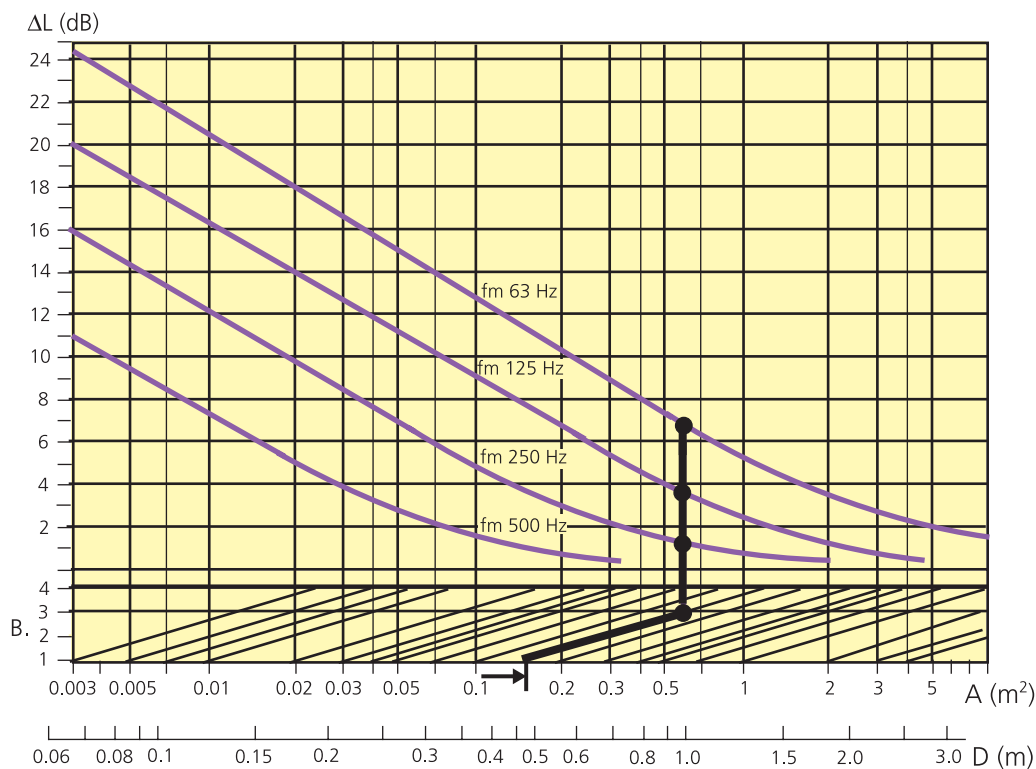
Oktavband, Hz	63	125	250	500
Mynningsdämpning dB	7	4	1	0

Tabell 15. Mynningsdämpning för alt. 3 i figur 70.

- |        |                |
|--------|----------------|
| Alt. 1 | Mitt i rum     |
| Alt. 2 | Vägg eller tak |
| Alt. 3 | Vägg nära tak  |
| Alt. 4 | Hörn           |



Figur 70. Kanalmyrningens placering.



Figur 71. Dämpning.

$\Delta L$  = Dämpning (dB)

B = Kanalmyrningens placering (se figur)

A = Tvärsnittsarea för kanal med rektangulärt tvärsnitt ( $\text{m}^2$ )

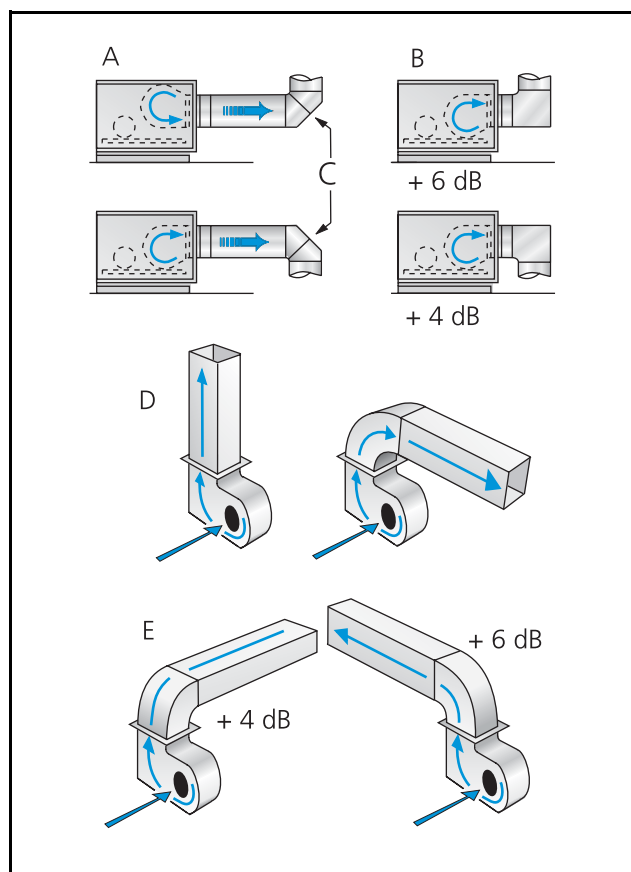
D = Mynningsdiameter för kanal med cirkulärt tvärsnitt (m)

### Kanalanslutning till fläktutlopp

Kanalens anslutning till fläkten är det första stället som kan alstra onödigt höga tryckfall och därmed onödigt höga ljudnivåer. Vid avlänkning av luften via en böj måste hänsyn tas till hastighetsfördelningen i kanalen före böjen.

Ett felaktigt utförande med en tvär böj direkt in på fläkten gör att den totala ljudeffektnivån ökar med 4 dB. Vänds dessutom fläkten "upp och ner" blir ljudnivån cirka 6 dB högre än vid ett riktigt utförande.

Nedan ges några exempel på rätt och fel utförande samt exempel på ljudnivåökning som kan erhållas.



**Figur 72.** Exempel på rätt och fel utförande av kanaldragning efter fläkt.

A = Rätt utförande

B = Fel utförande

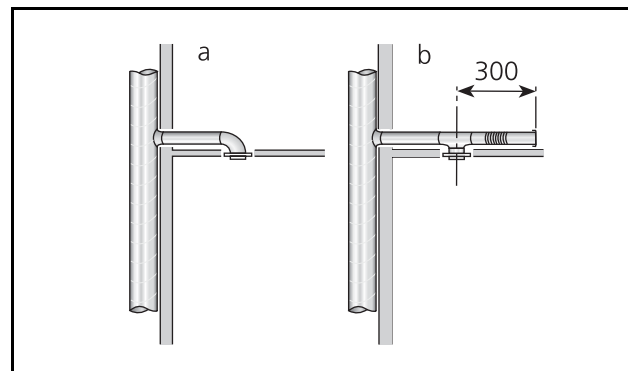
C = Böj fäsas 45° på utsidan

D = Rätt utförande - Kanalböjen ska riktas med fläktens rörelseriktning.

E = Fel utförande

### Ljutfälla vid frånluftsdon

Ett sätt att motverka överhörning via en gemensam ventilationskanal är att montera en ljuddämpare mellan stamkanalen och donet. Genom att placera ljuddämpare som figuren visar kan man ta bort resonanseffekter och därmed väsentligt förbättra ljudisoleringen.



**Figur 73.** Motverkande av överhörning.

- a) låg ljudisolering    b) hög ljudisolering.  
S speciellt vid kanallängder 1-3 m kan höga dämpningar erhållas.

Samma förfarande kan tillämpas vid tilluftsdon för att hindra överhörning och dämpa kanaljud.

### Val av ljudnivå från don:

Val av don bör göras så att donets ljudalstring ligger 5 dB under det krav som angivits för det aktuella rummet.

## Akustik - Projekteringstips

### Avstånd mellan kanal och don

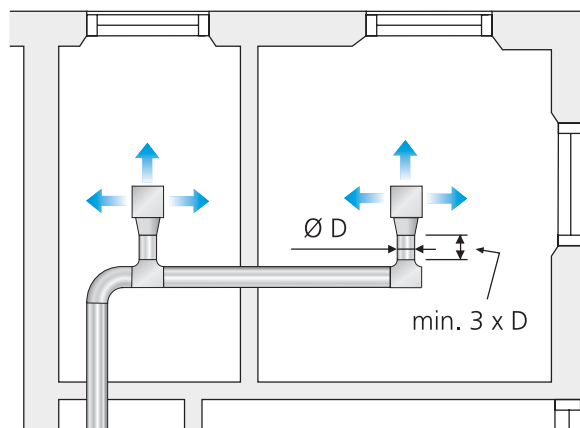
I produktkatalogen redovisade värden på tryckfall och ljudalstring gäller under förutsättning att hastighetsfördelningen i donanslutningen är jämn.

Ett vanligt fel är att donet placeras för tätt inpå grenkanalen med åtföljande ljudproblem.

En rekommendation är att avsticket från kanalen är minst 3 gånger kanalens diameter. Se exempel i figur 74.

### Kanaldragning vid låghastighetsdon

Kanaldragningen har stor betydelse för ljudalstringens storlek. Kanalböjar direkt före donet kan ge betydande ökning av ljudalstringen. Se exempel i figur 75 samt tabell 16.

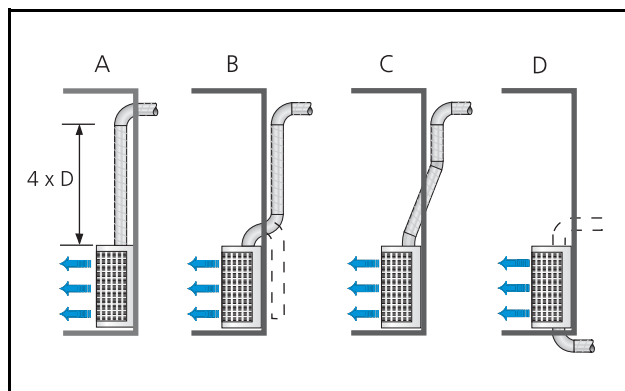


Figur 74. Avsticket från kanal bör vara mins 3 x D.

### Tabell kanalanslutningar

v m/s	Kanalanslutningar			
	A	B	C	D
4-5 m/s	+ 2	+ 6	+ 3	+ 3
6-8 m/s	+ 4	+ 10	+ 6	+ 6

Tabell 16. Tabell ljudpåverkan (dB) vid olika kanalanslutningar och olika lufthastigheter i anslutande kanal.



Figur 75. Exempel på hur olika anslutningar till don påverkar ljudalstringen.

### Beräkningsmodell dB(A) till dB(C)

Modellen visar exempel med tillufsdon PMT 250 som vid flöde 170 l/s vid öppet spjäll ger 30 dB(A) enligt dimensioneringsdiagrammet.

Ljudeffektnivå

Korrektionsfaktor  $K_{OK}$

	Mittfrekvens (oktavband) Hz								
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
dB(A)	30	30	30	30	30	30	30	30	
$K_{OK}$	12	8	4	2	0	-10	-22	-23	
$L_W$	42	38	34	32	30	20	8	7	
Plus C-filter	-0,8	-0,2	0	0	0	-0,2	-0,8	-3	
Resultat, dB(C)	41,2	37,8	34	32	30	19,8	7,2	4	44
	Rumsdämpning vid 10 m <sup>2</sup> Sabine								4
	Resultat dB(C)								40

Resultat:

Vid 170 l/s med spjäll i öppet läge ger en PMT 250, 40 dB(C).