



# Teori



Om Lindab	1
Om kanalsystemer	2
<b>Teori</b>	<b>3</b>
Tekniske informationer	4
Safe	5
Rekt	6
Isol	7
Transfer	8
Lyddæmpere	9
Spjæld	10
Måling og indregulering	11
Taghætter og gennemføringer	12
Ophængningssystemer	13
Maskinrumselementer	14
Index	15
	16
	17
	18



# SI-systemet

## Enheder

SI-systemet (Système International d'Unités) anvendes i dette katalog i overensstemmelse med international praksis. Måleenheder angives i det "tekniske system" i diagrammer og tabeller, parallelt med SI-systemet.

### Nogle grundenheder

For længde	meter	m
For masse	kilogram	kg
For tid	sekund	s
For elektrisk strøm	ampere	A
For temperatur	kelvin	K

### Nogle afledte enheder

For frekvens	hertz	Hz	1 Hz	= 1/s
For kraft	newton	N	1 N	= 1 kg · m/s <sup>2</sup>
For tryk, mekanisk spænding	pascal	Pa	1 Pa	= 1 N/m <sup>2</sup>
For energi, arbejde	joule	J	1 J	= 1 N · m
For effekt	watt	W	1 W	= 1 J/s
For elektrisk potentiale, elektrisk spænding	volt	V	1 V	= 1 W/A

### Nogle tillægsenheder

For tid	minut	min	1 min	= 60 s
	time	h	1 h	= 3 600 s = 60 min
For flade vinkler	grad	°	1°	= 1/360 af en cirkel
For volumen	liter	l	1 l	= 1 000 cm <sup>3</sup> = 1 dm <sup>3</sup>

### Nogle sammensatte præfikser

Talfaktor	Benævnelse	Betegnelse	Eksempel	
10 <sup>12</sup>	tera	T	1 terajoule	1 TJ
10 <sup>9</sup>	giga	G	1 gigawatt	1 GW
10 <sup>6</sup>	mega	M	1 megavolt	1 MV
10 <sup>3</sup>	kilo	k	1 kilometer	1 km
10 <sup>2</sup>	hekto	h	1 hektogram	1 hg
10 <sup>1</sup>	deka	da	1 decalumen	1 dalm
10 <sup>-1</sup>	deci	d	1 decimeter	1 dm
10 <sup>-2</sup>	centi	c	1 centimeter	1 cm
10 <sup>-3</sup>	milli	m	1 milligram	1 mg
10 <sup>-6</sup>	mikro	μ	1 micrometre	1 μm
10 <sup>-9</sup>	nano	n	1 nanohenry	1 nH
10 <sup>-12</sup>	piko	p	1 picofarad	1 pF



# SI-systemet

## Omregningsfaktorer

For nogle af de enheder, der kan være relevante for branchen, anføres nedenfor tabeller til omregning til andre mål.

### Tryk

	Pa=N/m <sup>2</sup>	mbar	mm H <sub>2</sub> O	atm	in WG	psi
1 Pa	1	10 <sup>-2</sup>	0,102	9,869 · 10 <sup>-6</sup>	4,015 · 10 <sup>-3</sup>	1,4504 · 10 <sup>-4</sup>
1 mbar	100	1	10,197	9,869 · 10 <sup>-4</sup>	0,4015	1,4504 · 10 <sup>-2</sup>
1 mm H <sub>2</sub> O	9,807	9,807 · 10 <sup>-2</sup>	1	9,678 · 10 <sup>-5</sup>	3,937 · 10 <sup>-2</sup>	1,4223 · 10 <sup>-3</sup>
1 atm	1,013 · 10 <sup>5</sup>	1013	1,0332 · 10 <sup>4</sup>	1	406,77	14,696
1 in WG	249,10	2,491	25,4	2,453 · 10 <sup>-3</sup>	1	3,613 · 10 <sup>-2</sup>
1 psi	6895	68,95	703,1	6,805 · 10 <sup>-2</sup>	27,68	1

1 atm (fysisk atmosfære) = 101,325 kPa = 760 mm Hg

1 at (teknisk atmosfære) = 1 kp/cm<sup>2</sup> = 0,968 atm = 10<sup>4</sup> mm H<sub>2</sub>O

### Temperatur

Fra t (celsiustemperatur) til t<sub>F</sub> (fahrenheittemperatur):  $t_F = \frac{9}{5} \cdot t + 32 \text{ }^\circ\text{F}$

Fra t<sub>F</sub> til t:  $t = (t_F - 32) \cdot \frac{5}{9} \text{ }^\circ\text{C}$

T /Kelvin) = 273,15 + t

### Længde

	m	in	ft	yd	mile
1 m	1	39,37	3,281	1,094	6,214 · 10 <sup>-4</sup>
1 in	0,0254	1	0,08333	0,02778	1,578 · 10 <sup>-5</sup>
1 ft	0,3048	12	1	0,3333	1,894 · 10 <sup>-4</sup>
1 yd	0,9144	36	3	1	5,682 · 10 <sup>-4</sup>
1 mile	1609	63.360	5280	1760	1

### Areal

	m <sup>2</sup>	in <sup>2</sup> (sq.in)	ft <sup>2</sup> (sq.ft)	yd <sup>2</sup> (sq.yd)	mile <sup>2</sup> (sq.mile)
1 m <sup>2</sup>	1	1550	10,76	1,196	3,861 · 10 <sup>-7</sup>
1 in <sup>2</sup>	6,452 · 10 <sup>-4</sup>	1	6,944 · 10 <sup>-3</sup>	7,716 · 10 <sup>-4</sup>	2,491 · 10 <sup>-10</sup>
1 ft <sup>2</sup>	0,09290	144	1	0,1111	3,587 · 10 <sup>-8</sup>
1 yd <sup>2</sup>	0,8361	1296	9	1	0,3228 · 10 <sup>-6</sup>
1 mile <sup>2</sup>	2,590 · 10 <sup>6</sup>	0,4015 · 10 <sup>10</sup>	2,788 · 10 <sup>7</sup>	3,098 · 10 <sup>6</sup>	1

### Volumen

	m <sup>3</sup>	l	ft <sup>3</sup> (cu.ft)	yd <sup>3</sup> (cu.yd)	gal (UK)	gal (US)
1 m <sup>3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	35,31	1,308	220,0	264,2
1 l	10 <sup>-3</sup>	1	0,03532	1,308 · 10 <sup>-3</sup>	0,2200	0,2642
1 ft <sup>3</sup>	0,02832	28,32	1	0,03704	6,229	7,481
1 yd <sup>3</sup>	0,7646	764,6	27	1	168,2	202,0
1 gal (UK)	4,546 · 10 <sup>-3</sup>	4,546	0,1605	5,946 · 10 <sup>-3</sup>	1	1,201
1 gal (US)	3,785 · 10 <sup>-3</sup>	3,785	0,1337	4,951 · 10 <sup>-3</sup>	0,8327	1





# SI-systemet

## Volumenstrøm

	$m^3/s$	$m^3/h$	l/s	$ft^3/s$	$ft^3/min$	$\frac{gal (UK)}{min}$	$\frac{gal (US)}{min}$
1 $m^3/s$	1	3600	1000	35,3198	2.119	13.198	15.850
1 $m^3/h$	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	1	0,2778	$9,810 \cdot 10^{-3}$	0,5886	3,666	4,403
1 l/s	$10^{-3}$	3,6	1	0,03532	2,119	13,20	15,85
1 $ft^3/s$	0,0283168	101,9	28,32	1	60	373,7	448,9
1 $ft^3/min$	$4,7195 \cdot 10^{-4}$	1,699	0,4720	0,01667	1	6,229	7,481
1 gal (UK)/min	$7,57682 \cdot 10^{-5}$	0,02728	0,07577	$2,675 \cdot 10^{-3}$	0,1605	1	1,201
1 gal (US)/min	$6,30888 \cdot 10^{-5}$	0,02271	0,06309	$2,2280 \cdot 10^{-3}$	0,1337	0,8327	1

1  $m^3/h = 10^3 l/h = 16,67 l/min = 0,2778 l/s$

1 l/s = 60 l/min = 3600 l/h

## Masse

	kg	tekma	g	lb	oz
1 kg	1	0,102	1000	2,2046	35,274
1 tekma	9,807	1	9807	21,6205	345,93
1 g	$10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-4}$	1	$2,205 \cdot 10^{-3}$	$3,527 \cdot 10^{-2}$
1 lb	0,45359	$4,625 \cdot 10^{-2}$	453,59	1	16
1 oz	$2,835 \cdot 10^{-2}$	$2,8908 \cdot 10^{-3}$	28,35	$6,25 \cdot 10^{-2}$	1

1 ton =  $10^3$  kg

1 gr (grain) = 64,80 mg

## Massestrøm

	kg/s	kg/h	lb/min
1 kg/s	1	3600	132,28
1 kg/h	$2,7778 \cdot 10^{-4}$	1	$3,67 \cdot 10^{-2}$
1 lb/min	$7,56 \cdot 10^{-3}$	27,216	1

## Densitet

	$kg/m^3$	$lb/ft^3$
1 $kg/m^3$	1	$6,243 \cdot 10^{-2}$
1 $lb/ft^3$	16,0185	1

## Kraft

	N	kp	$lb \cdot ft/s^2$
1 N	1	0,102	7,2330
1 kp	9,807	1	71,0
1 $lb \cdot ft/s^2$	0,1383	$1,410 \cdot 10^{-2}$	1

## Omdrejningstal (rotationsfrekvens)

	o/min	o/s	rad/s
1 o/min	1	0,01667	0,105
1 o/s	60	1	6,28
1 rad/s	9,55	0,1592	1

## Hastighed

	m/s	km/h	ft/min	mph
1 m/s	1	3,6	196,9	2,237
1 km/h	0,2778	1	54,68	0,6214
1 ft/min	$5,080 \cdot 10^{-3}$	0,01829	1	0,01136
1 mph	0,4470	1,609	88	1

## Acceleration

	$m/s^2$	$ft/s^2$
1 $m/s^2$	1	3,281
1 $ft/s^2$	0,3048	1
1 g	9,80665	32,17405



# SI-systemet

## Arbejde, energi og varemængde

	J	kpm	kWh	kcal	ft · lbf	Btu
1 J	1	0,1020	$2,778 \cdot 10^{-7}$	$2,388 \cdot 10^{-4}$	0,7376	$9,478 \cdot 10^{-4}$
1 kpm	9,80665	1	$2,724 \cdot 10^{-6}$	$2,342 \cdot 10^{-3}$	7,233	$9,295 \cdot 10^{-3}$
1 kWh	$3,6 \cdot 10^6$	$3,671 \cdot 10^5$	1	859,8	$2,655 \cdot 10^6$	3412
1 kcal	4186,8	426,9	$1,163 \cdot 10^{-3}$	1	3088	3,968
1 ft · lbf	1,3558	0,1383	$3,766 \cdot 10^{-7}$	$3,238 \cdot 10^{-4}$	1	$1,285 \cdot 10^{-3}$
1 Btu	1055,06	107,6	$2,931 \cdot 10^{-4}$	0,252	778,2	1

J = Nm = Ws

## Effekt, varmestrøm

	kW	kp · m/s	hk	kcal/h	ft · lb/s	hp	Btu/h	ton of ref.
1 kW	1	102	1,36	860	738	1,34	3310	2,84
1 kp · m/s	$9,81 \cdot 10^{-3}$	1	$1,33 \cdot 10^{-2}$	8,44	7,23	$1,32 \cdot 10^{-2}$	32,5	$2,79 \cdot 10^{-2}$
1 hk	0,735	75	1	632	542	0,986	2510	2,09
1 kcal/h	$1,16 \cdot 10^{-3}$	0,119	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1	0,858	$1,56 \cdot 10^{-3}$	3,97	$3,31 \cdot 10^{-4}$
1 ft · lb/s	1,36	0,138	$1,84 \cdot 10^{-3}$	1,17	1	$1,82 \cdot 10^{-3}$	4,63	$3,86 \cdot 10^{-3}$
1 hp	0,745	76	1,014	642	550	1	2550	2,12
1 Btu/h	$2,93 \cdot 10^{-4}$	$2,99 \cdot 10^{-2}$	$3,99 \cdot 10^{-4}$	0,252	0,216	$3,93 \cdot 10^{-4}$	1	$8,33 \cdot 10^{-3}$
1 ton of ref.	3,52	35,9	0,479	3024	259	0,471	1200	1

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

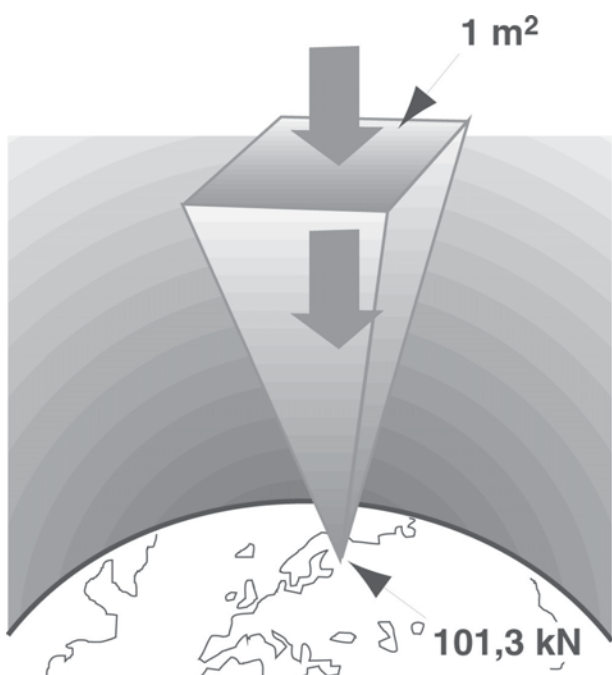


# Tryk

## Totaltryk = dynamisk tryk + statisk tryk

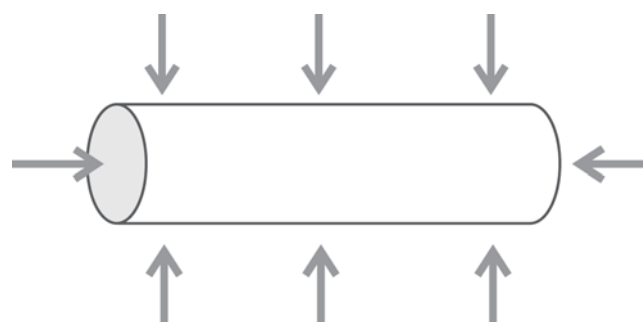
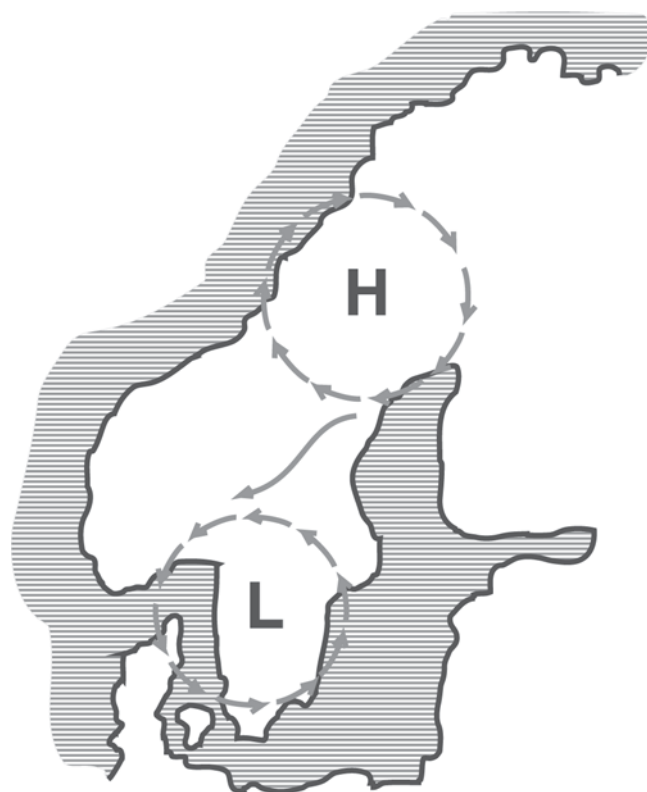
Det statiske tryk i luften omkring os varierer med vejret – højtryk eller lavtryk – samt med højden over havets overflade. Normalværdien, det atmosfæriske tryk, ved havets overflade er:

101,3 kPa = 1,013 bar = 1013 mbar  
(= 1 atm = 760 mm Hg)



På et bestemt punkt, som f.eks. i en ventilationskanal, kommer det statiske tryk fra alle sider.

I et ventilationssystem relaterer man det statiske tryk til det omgivende atmosfæriske tryk udenfor kanalsystemet; det statiske tryk kan således være positivt – højere end det omgivende atmosfæriske tryk, eller negativt – lavere end det atmosfæriske tryk.

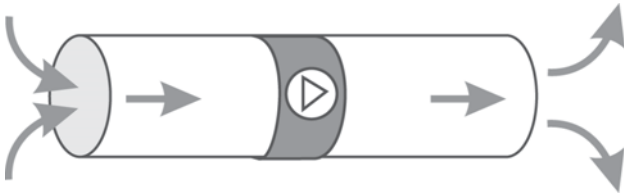




# Tryk

## Trykfald

Hvis man frembringer en statisk trykforskel i et åbent kanalsystem, kan man få luften til at strømme fra et punkt med et højere tryk til et punkt med et lavere tryk - fra atmosfæren via luftindtagsristen til ventilatorens sugeside, og fra ventilatorens trykside via indblæsningsarmaturet tilbage til atmosfæren. Trykforskellen omdannes til kinetisk energi.



**Dynamisk tryk** er et mål for den kinetiske energi i luftstrømmen. Forbindelsen mellem tryk og energi er let at se, hvis man anvender SI-systemets enheder

$P_a = N/m^2 = Nm/m^3 = J/m^3$  dvs. energi (i J) pr. volumenenhed (i m<sup>3</sup>) af luftstrømmen.

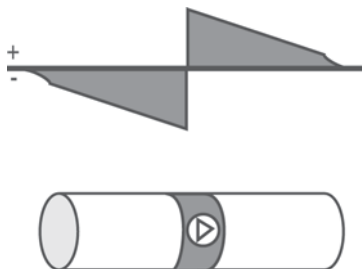
Det dynamiske tryk afhænger af

$$p_d = \rho \cdot \frac{v^2}{2} \text{ with the units}$$

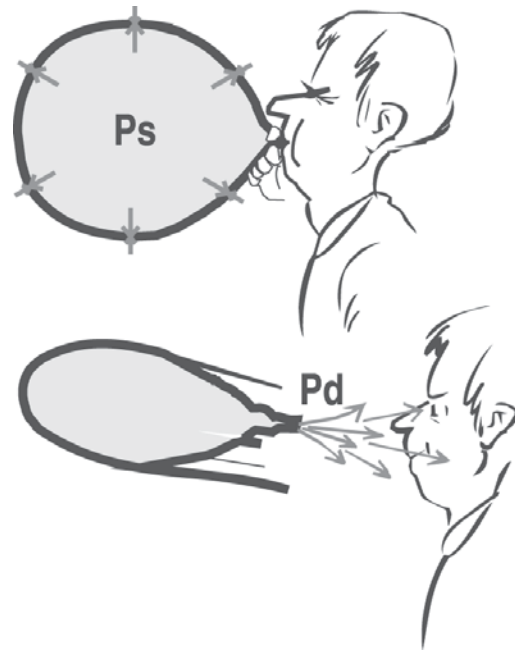
$$\frac{kg}{m^3} \cdot \left(\frac{m}{s}\right)^2 = \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{m^2}{s^2} = \frac{kgm}{s^2} \cdot \frac{m}{m^3} = N \cdot \frac{1}{m^2} = \frac{N}{m^2} = Pa$$

Strømningen i et kanalsystem sker normalt ikke uden tab. Der opstår friktionstab, og luften tvinges til at ændre retning. Der kræves således tryk (dvs. energi) for at klare både dynamisk og statisk tryk - summen af disse to kaldes totaltryk.

$$P_t = P_s + P_d$$



Da  $p_s$  vil være negativ i forhold til det atmosfæriske tryk (på sugesiden af ventilatoren), medfører dette, at  $p_t$  også vil være negativ, hvis summen af  $p_s$  og  $p_d$  er negativ.



## Trykfald og strømningstab

I et ventilationssystem handler det om at sætte luften i bevægelse. Ren luft skal tilføres opholdszone, og forurenede luft skal bort fra rummet, processen eller maskinen. For at flytte luften kræves der energi, hvilket tilføres via ventilatoren, som sætter luften i bevægelse.

For at luft skal kunne strømme gennem et kanalsystem skal den overvinde to typer strømningssmodstand eller tryktab:

- **friktionstab** mellem luftstrømmen og kanalvæggene.
- **engangstab** når luften ændrer retning eller hastighed.

Friktionstab (også kaldet R-værdien) udtrykkes i enheden

$$Pa/m \Delta p_f = \frac{\lambda}{d_h} \cdot \rho \frac{v^2}{2}$$

hvor

$$\Delta p_f = \text{friktionstab pr. meter (Pa/m)}$$

$\lambda$  = friktionsfaktor som afhænger af kanalens materiale og overfladens ujævnhed

$d_h$  = kanalens hydrauliske diameter, diameteren i en cirkulær kanal, som giver samme friktionstrykfald ved samme strømningshastighed som i en rektangulær kanal

$$d_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a + b}$$

hvor a og b er kanalsider

For en cirkulær kanal,  $d_h = d$

$\rho$  = luftens densitet (kg/m<sup>3</sup>)

v = luftens gennemsnitshastighed (m/s)

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18



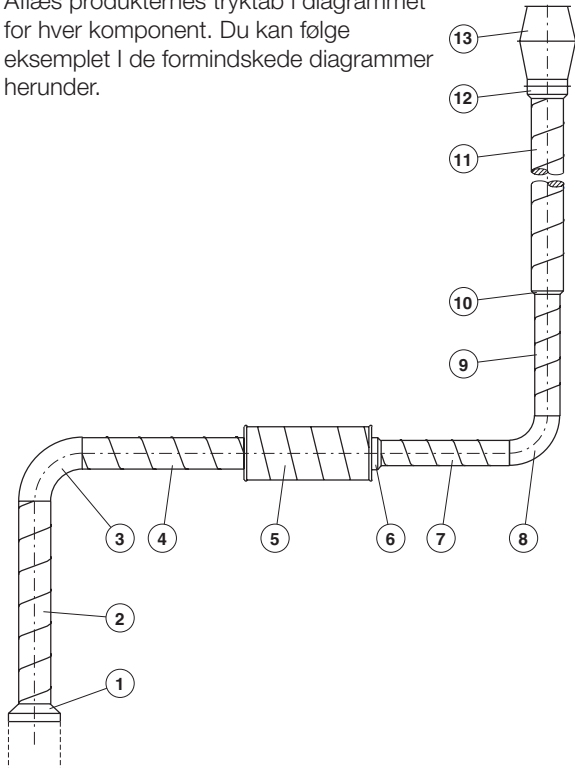
# Tryk

## Tryktabsberegning

### Ventilatorens nødvendige trykkapacitet

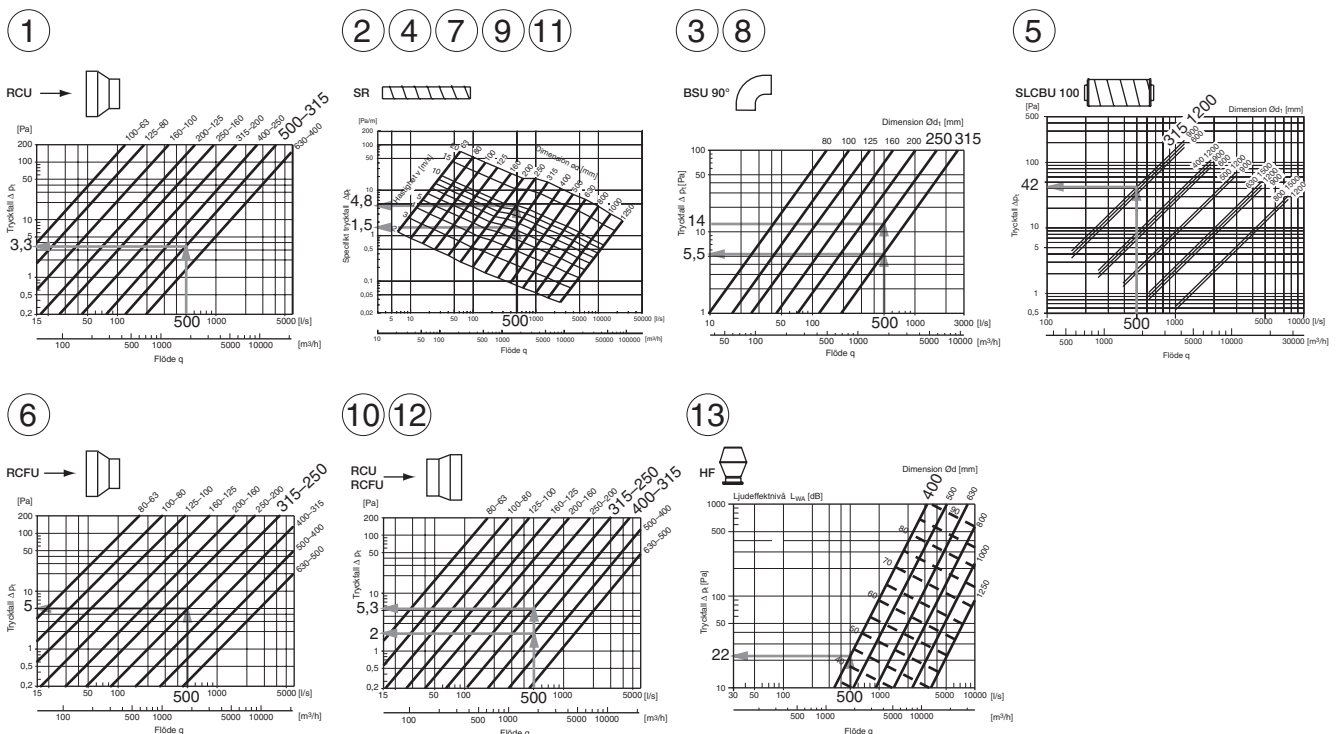
Lad os foretage en tryktabsberegning for et enkelt kanalsystem.

- Nummerér komponenterne i luftstrømningsretningen.
- Indsæt dernæst dimensioner og data for hver komponent i en tabel som vist i eksemplet.
- Aflæs produkternes tryktab i diagrammet for hver komponent. Du kan følge eksemplet i de formindskede diagrammer herunder.



Nr.	Luftmængde l/s	Komponent betegnelse	Dimension Ø mm	Længde m	Tryktab Pa/m	Tryktab Pa
1	500	RCU	500-315	-	-	3,3
2	500	SR	315	2	1,5	3,0
3	500	BSU 90°	315	-	-	5,5
4	500	SR	315	1,6	1,5	2,4
5	500	SLBU 100	315/1200	1,2	-	42,0
6	500	RCFU	315-250	-	-	5,0
7	500	SR	250	1,5	4,8	7,2
8	500	BSU	250	-	-	14,0
9	500	SR	250	1,2	4,8	5,8
10	500	RCU	315-250	-	-	6,0
11	500	SR	315	3,5	1,5	5,3
12	500	RCFU	400-315	-	-	2,0
13	500	HF	400	-	-	22,0
<i>Totalt trykfald (summen af rækkerne 1 – 13) = 123,4</i>						

Læg tryktabet længst ude til højre i tabellen sammen. Vælg derefter en passende ventilator, som giver den ønskede luftmængde  $q = 500$  l/s og en total trykstigning  $p_t = 125$  Pa.







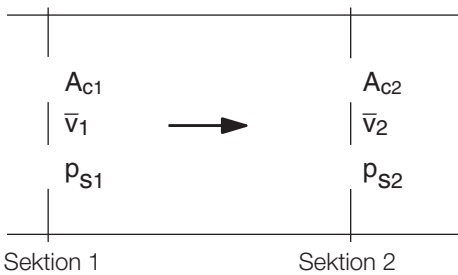
# Tryk

## Forudsætninger

For at kunne dimensionere et kanalsystem korrekt, behøver man oplysninger om komponenternes totale tryktab.

Det totale tryktab  $\Delta p_t$  (Pa) mellem to sektioner, 1 og 2, i et kanalsystem defineres ved

$$p_t = p_{t1} - p_{t2} = (p_{s1} + p_{d1}) - (p_{s2} + p_{d2})$$



hvor  $p_d = \frac{\rho \cdot \bar{v}^2}{2}$  og  $\bar{v} = \frac{q}{A_c}$

Ved trykfaldsberegning af ventilationskanaler forudsættes:

- inkompressibel strømning, dvs. luftens densitet ændres ikke
- isotermiske forhold, dvs. ingen varmeudveksling mellem kanalen og dens omgivelser
- ingen ændring i luftens potentielle energi, dvs. der ses bort fra højdeforskellene mellem kanalsystemets forskellige dele

## Anvendte betegnelser

$l$	= længde	m (mm)
$a$	= lang side	m (mm)
$b$	= kort side	m (mm)
$r$	= radius	m (mm)
$d$	= diameter	m (mm)
$d_h$	= hydraulisk diameter	m (mm)
$A_c$	= tværsnitsareal	m <sup>2</sup>
$p_A$	= atmosfærisk tryk	mbar
$p_s$	= statisk tryk	Pa
$p_d$	= dynamisk tryk	Pa
$p_t$	= totaltryk	Pa
$\Delta p$	= trykfald	Pa
$\Delta p_t$	= total tryktab	Pa
$\vartheta$	= temperatur	°C
$v$	= lufthastighed (gennemsnit)	m/s
$q$	= luftmængde	m <sup>3</sup> /s
$\rho$	= densitet	kg/m <sup>3</sup>
$\alpha$	= vinkel	°
$\varphi$	= relativ fugtighed	%
$\lambda$	= friktionstal	
$R$	= friktionskoefficient	Pa/m
$\zeta$	= modstandstal	
$\nu$	= kinematisk viskositet	m <sup>2</sup> /s

Det totale tryktab for de almindeligste komponenter vises i diagramform som funktion af luftmængden (eller i nogle tilfælde hastigheden).

De grundlæggende data i diagrammerne stammer fra målinger og beregninger foretaget i vores laboratorium. Nogle diagrammer er hentet fra litteratur.

Diagrammerne gælder for luft under standard forhold.

$v$	= 15,1 · 10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s
$\vartheta$	= 20 °C
$\rho$	= 1,2 kg/m <sup>3</sup>
$\varphi$	= 65 %
$p_A$	= 1013,2 mbar

For luft af anden densitet ( $\rho_{\text{anden}}$ ) fås luftmængden ( $q_{\text{anden densitet}}$ ) i henhold til formlen

$$q_{\text{anden densitet}} = q_{\text{diagram}} \cdot \sqrt{\frac{1,2}{\rho_{\text{anden}}}}$$

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18



# Lyd

## Ventilationen behøver ikke at støje!

Hvis man bruger sin sunde fornuft og opbygger sit ventilationsanlæg med eftertanke og gode komponenter, kan man ofte undgå problemer og klager.

At ventilatorer støjer, det kan man ikke gøre så meget ved. Man kan derimod forhindre støjen i at nå frem til de lokaler, som er tilsluttet ventilatoren – man kan absorbere og dæmpe støjen undervejs!

Med dette afsnit har vi ikke til hensigt at belære om hvordan man støjberegner og støjdæmper et ventilationssystem – men i stedet formidle viden og nogle enkle regler og tips som, sammen med sund fornuft, kan klare enklere tilfælde.

For at kunne vælge det rigtige princip og den rigtige komponent kræves en del elementære kundskaber om, hvor og hvordan støjen frembringes, spredes og dæmpes i systemet. Man kan forenkle med en sammenligning. Lydudbredelsen er en bølgebevægelse, som sker i et medium, f.eks. luft, og som er usynlig for os. Denne spredning har dog store ligheder med en anden bølgebevægelse, vandbølger, som vi kan se og ved, hvordan optræder.

Lad os følge sammenligningerne nedenfor, så vi lettere kan forstå, hvordan lyden kan dæmpes.

### Kilde

#### Vandbølger

Vi kaster en sten ned i en spejlblank vandoverflade.



### Udbredelse

#### Vandbølger

Vandbølgerne breder sig ud over overfladen i stadig større koncentriske ringe fra centrum, dvs. hvor stenen ramte vandet.



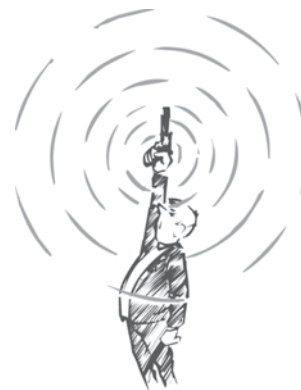
#### Lydbølger

Vi affyrer et pistolskud.



#### Lydbølger

Lydbølgerne breder sig ud i den omgivende luft i alle retninger i stadig større ringe fra centrum, dvs. pistolen.





# Lyd

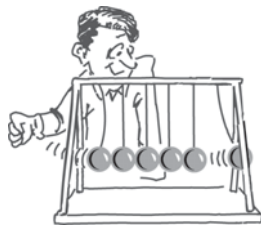
## Energitransport

### Vandbølger

Bevægelsesenergien overføres fra molekyle til molekyle i vandet, de støder imod og bevæger sig fra hinanden, molekylerne bevæger sig frem og tilbage. Energien breder sig ud fra kilden.

### Lymbølger

Bevægelsesenergien overføres fra molekyle til molekyle i luften, de støder imod og bevæger sig fra hinanden, molekylerne bevæger sig frem og tilbage. Energien breder sig ud fra kilden.



## Afstand

### Vandbølger

Når vandbølgerne fjerner sig fra centrum, stenens nedslagssted, bliver bølgehøjden stadig mindre, lige til vi ikke længere kan se dem, vandoverfladen er igen blank.

### Lymbølger

Når lymbølgerne fjerner sig fra lydkilden, pistolen, bliver bølgehøjden stadig mindre og lyden svagere, lige til vi ikke længere kan høre lyden, den er for svag.



## Intensitet

### Vandbølger

Den energi som startede bølgespredningen, eller den effekt som kræves for at holde den igang, fordeles over en stadig større strækning, når afstanden, radien, stiger.

### Lymbølger

Den energi som startede bølgespredningen, eller den effekt som kræves for at holde den igang, fordeles over en stadig større overflade, når afstanden, radien, stiger.



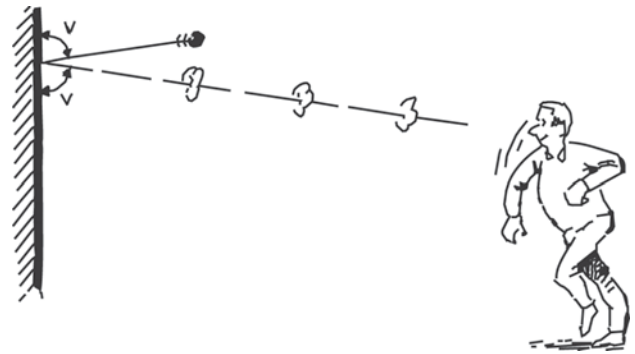
## Forhindringer på vejen

### Vandbølger

Hvis vandbølgerne rammer en bådside eller en brokant, så vil de blive reflekteret tilbage med samme vinkel som de ramte forhindringen med.

### Lymbølger

Hvis lymbølgerne rammer en mur, så vil de blive reflekteret tilbage med samme vinkel, som de ramte muren med.



På samme måde som når vi kaster en bold mod en mur.

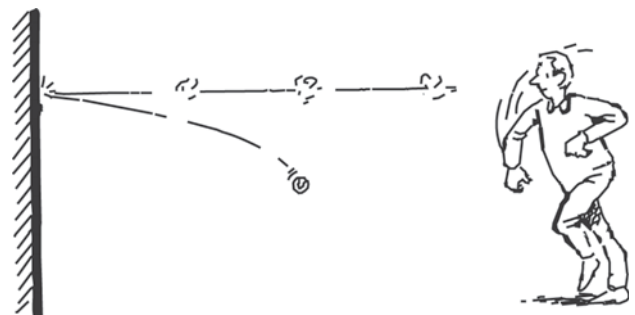
## Energitab

### Vandbølger

De reflekterede bølgers højde er lavere end de indfaldendes. Ved kollisionen med brokanten absorberes en del af bevægelsesenergien i bro materialet (og omdannes til varme).

### Lymbølger

De reflekterede bølgers højde er lavere end de indfaldendes. Ved kollisionen med muren absorberes en del af bevægelsesenergien i mur materialet (og omdannes til varme).



Bolden bevæger sig langsommere når den springer tilbage, end da den ramte muren.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18



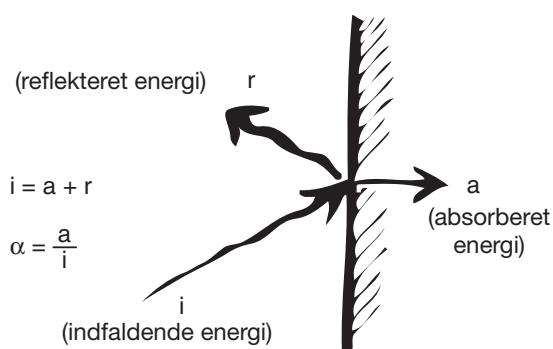
# Lyd

## Lyden kan absorberes

Når lydbølgerne rammer en blød porøs væg af f.eks. mineraluld, vil de svingende luftmolekyler trænge delvis ind i overfladelaget og bremses af friktion mod materialefibrene.

Den del af lydenergien, som på denne måde absorberes, omdannes til varme i materialet. Resten af lydenergien reflekteres tilbage i rummet. Man kalder denne type dæmpning, hvor lyden bremses op i overfladelaget på bløde materialer, for porøabsorption.

Materialer har forskellig effektivitet med hensyn til at absorbere lyd. Man udtrykker denne egenskab med materialets lydabsorptionsfaktor  $\alpha$ .



Hvis intet absorberes, men alt reflekteres, så bliver  $a = 0$  og dermed  $\alpha = 0$ :

$$i = 0 + r \quad \alpha = \frac{0}{i} = 0$$

Hvis alt absorberes, og intet reflekteres, så bliver  $r = 0$  og dermed  $\alpha = 1$ :

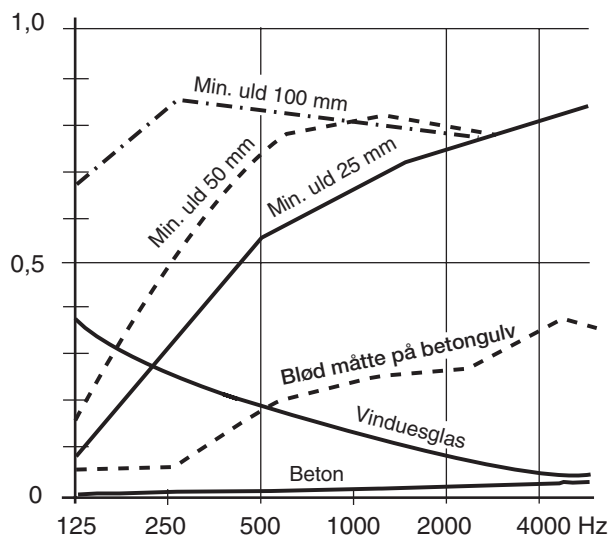
$$i = 0 + r \quad \alpha = \frac{a}{a} = 1$$

Et åbent vindue kan siges at have  $\alpha = 1$ , al lyd, som rammer det åbne vindue fra rummet, forsvinder ud!

I hårde materialer, f.eks. beton- eller marmoroverflader, vil der næsten ikke absorberes nogen lydenergi, men alt reflekteres, her bliver  $\alpha$ -værdien nær nul. I lokaler med hårde overflader varer det længe, inden lyden ebber ud. Lokalet har lang efterklangstid, og vi får et kraftigt og forstyrrende ekko. Lydniveauet bliver højt fra normale støjkilder.

I blødt materiale, f.eks. tykke mineraluldplader, sker det modsatte;  $\alpha$ -værdien ligger nær 1. Undertiden kan alt for dæmpende, bløde lokaler være uegnede – "Man hører ikke, hvad man selv siger!". Lokalets efterklangstid skal være afpasset til formålet.

## $\alpha$ -v rdi



Lyd i et ventilationsanlæg bevæger sig lige let med – som mod luftens flowretning.

Lyd, som bevæger sig gennem et kanalsystem, vil blive dæmpet på flere måder. Lad os begynde med den nøgne kanalplade.

### Selv kanalpladen giver dæmpning – men (kun) lidt

Når kanalpladen rammes af lydbølgen, begynder den at svinge i takt med lydets frekvens.

Bevægelserne er normalt meget små og knapt synlige for det blotte øje (det er ofte lettere istedet at føle bevægelsen med fingerspidserne mod pladen).

Det, der sker, er det samme, som når et vindue vibrerer, når en tung lastbil passerer på gaden.

Kanalpladen, og vinduet, vil da fungere som **membran-absorbenter**, plader som bringes i svingning af den indfaldende lydenergi. Men bevægelsen sker ikke friktionsfrit, da den bremses af bøjnings-modstand dels i pladen, men især i sammenpresningen rundt om pladens kanter. Ligesom tidligere, hos porøabsorbenten, omdannes en del af lydenergien derfor til varme – lyden, som bliver tilbage, er blevet svagere, dvs. dæmpet.

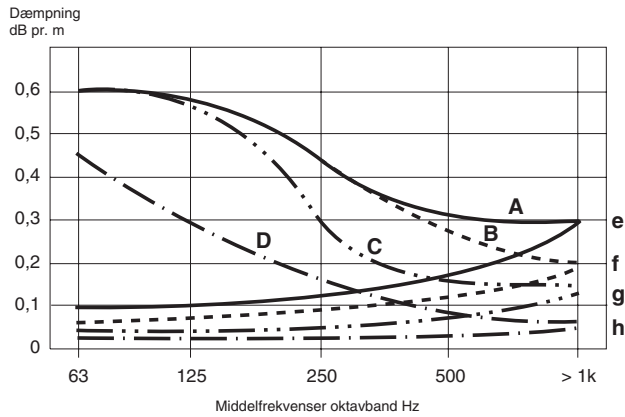
For samme kanal-friareal er en rund spiralfalset kanal stivere end en rektangulær og vil derfor dæmpe mindre.

Som det fremgår af figuren på næste side, er dæmpningen i uisolerede kanaler ganske beskedne. Man plejer derfor normalt ikke at medregne den, når man lydberegner anlægget, man lader den istedet være sikkerhedsmarginal.



# Lyd

## Dæmpning i lige stålpladekanaler (1 mm pladetykkelse)

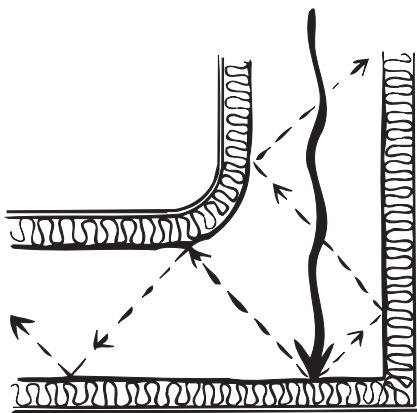


Kanaldimensioner/betegnelse			
Rektangulære stålpladekanaler			
□ 75–200	200–400	400–800	800–1000
A ———	B - - - - -	C ·····	D - - - - -
Cirkulære stålpladekanaler			
ø75–200	200–400	400–800	800–1600
e ———	f - - - - -	g ·····	h - - - - -

### Mere effektiv med absorption

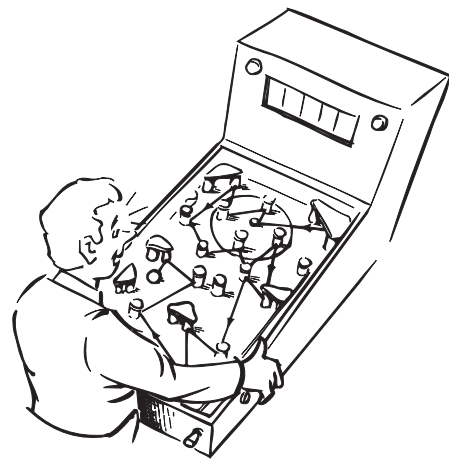
Dæmpningen bliver mere effektiv, hvis vi fører absorptionsmateriale ind i kanalsystemet. Hvordan lyden da dæmpes, er beskrevet tidligere; en del af lydenergien vil blive optaget af absorptionsmateriale, som rammes af lyden.

Hvis lydbølgerne rammer porøse overflader tilstrækkeligt mange gange, vil den tilbageblevne lydenergi, den bevægelsesenergi som sætter vores trommehinder i bevægelse, være tilstrækkelig lav til, at vi ikke bliver forstyrret!

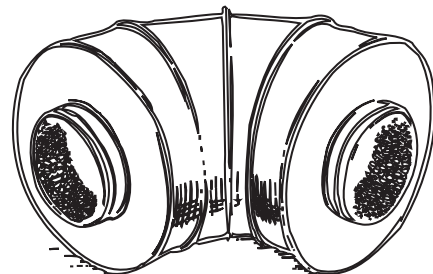


## Hvor skal man placere absorptionsmaterialet i kanalerne?

Svaret er klart – der hvor materialet rammes af flest lydbølger. Lyd, som breder sig i en lang ubeklædt lige kanal, vil komme til at styres af refleksioner mod kanalvæggene. Her gør absorptionsmaterialet mindre nytte, end hvis vi placerer det i en bøjning, i suge- eller trykbokse eller i en lige kanal direkte efter ventilatorudløbet, med andre ord overalt hvor vi har et "turbulent lydflow". Jo flere refleksioner vi får mod de bløde overflader, desto bedre udnytter vi materialet.



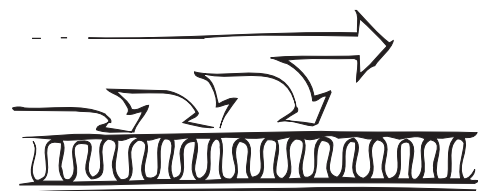
Det er derfor de bøjede lydæmpere BSLCU/LVT er så effektive!



## Den lige/rette lydæmper koncentrerer absorptionsmaterialet

Der findes et supplement til beskrivelsen af lydbølgerne ovenfor. Når lydbølgerne bevæger sig frem langs med en porøs overflade, vil de bøje af mod overfladen. Man kalder denne afbøjning "diffraktion".

Dette, i kombination med at lydspredningen forstyrres af visse turbulenser, gør at lige lydæmpere kan have høj dæmpning.

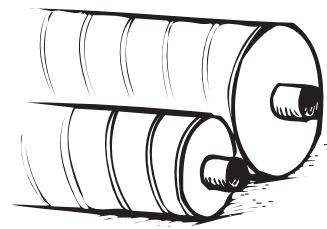


- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18



# Lyd

Som vi kan se af værdierne for f.eks. SLU og SLGU samt SLBU, varierer dæmpningen efter nogle ganske enkle regler:



For at dæmpe lave frekvenser (125 og 250 Hz) kræves tykkere absorptionsmateriale – SLGU 15 er mere effektiv end SLGU 10.

## SLGU 10

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	280	1000	92	13	24	85	05	05	04	31	0
100	315	1200	72	33	65	05	05	03	71	2	
125	315	1200	61	83	05	05	05	04	82	61	3
160	355	1200	51	22	34	35	05	03	11	71	6
200	400	1200	61	12	44	14	94	22	11	32	3
250	450	1200	51	01	93	33	92	91	31	12	6

## SLGU 15

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	400	1000	18	32	45	50	50	50	50	45	19
100	400	1200	12	28	38	50	50	50	50	34	22
125	450	1200	92	03	04	75	05	05	02	62	5
160	450	1200	81	52	54	35	05	03	11	62	5
200	500	1200	81	42	43	94	64	22	11	23	1
250	560	1200	81	22	23	33	92	71	31	03	5

For at dæmpe høje frekvenser (> 500 Hz) er det tilstrækkeligt med tyndere absorptionsmateriale. SLU er ligeså effektiv som SLGU.

## SLU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	180	300	1	5	8	15	25	25	21	15	2
80	180	600	2	8	14	28	49	50	47	24	3
80	180	900	3	10	21	40	50	50	50	34	5
80	180	1200	4	13	27	50	50	50	50	43	7
100	200	300	1	5	7	15	25	25	21	13	2

## SLGU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	280	300	4	6	9	13	19	20	19	12	4
80	280	600	6	13	19	28	42	50	44	25	6
80	280	900	8	19	29	43	50	50	50	39	9
80	280	1000	9	21	32	48	50	50	50	43	10
80	280	1200	11	28	38	50	50	50	50	50	11

Jo længere lyddæmperen er, desto mere effektiv er den. Bemærk dog at dæmpningen ikke er direkte proportional med længden. Det skyldes, at man får en ekstra dæmpning ved dæmpernes åbninger, og alle dæmpere har jo to åbninger uanset længde.

## SLU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	180	300	1	5	8	15	25	25	21	15	2
80	180	600	2	8	14	28	49	50	47	24	3
80	180	900	3	10	21	40	50	50	50	34	5
80	180	1200	4	13	27	50	50	50	50	43	7
100	200	300	1	5	7	15	25	25	21	13	2

## SLGU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	280	300	4	6	9	13	19	20	19	12	4
80	280	600	6	13	19	28	42	50	44	25	6
80	280	900	8	19	29	43	50	50	50	39	9
80	280	1000	9	21	32	48	50	50	50	43	10
80	280	1200	11	28	38	50	50	50	50	50	11

Mindre afstand mellem de beklædte/isolerede overflader øger dæmpningen, dæmpere med mindre diameter har højere dæmpning end dem med større.

## SLU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	180	300	1	5	8	15	25	25	21	15	2
80	180	600	2	8	14	28	49	50	47	24	3
80	180	900	3	10	21	40	50	50	50	34	5
80	180	1200	4	13	27	50	50	50	50	43	7
100	200	300	1	5	7	15	25	25	21	13	2
250	355	600	1	2	6	14	28	14	8	7	9
250	355	900	1	3	9	19	38	19	11	9	12
250	355	1200	2	4	11	24	50	24	13	11	15
315	500	600	2	5	9	14	12	6	4	5	12

Af samme grund giver en ekstra baffel en højere dæmpning end en dæmper med samme dimensioner men uden baffel, SLBU giver højere dæmpning end SLU

## SLU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
80	180	300	1	5	8	15	25	25	21	15	2
80	180	600	2	8	14	28	49	50	47	24	3
250	355	900	1	3	9	19	38	19	11	9	12
250	355	1200	2	4	11	24	50	24	13	11	15
315	500	600	2	5	9	14	12	6	4	5	12
315	500	900	3	6	13	20	19	10	6	7	18
315	500	1200	4	8	16	27	25	15	9	10	24
400	600	600	4	5	8	10	7	4	4	6	16

## SLBU

Ø <sub>1</sub> , nom mm	ØD nom mm	L mm	Indsætningsdæmpning (dB)							Masse kg	
			ioktavbånd (Hz)								
			63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
315	500	600	3	6	12	20	25	22	17	14	15
315	500	900	4	8	17	26	39	37	24	19	22
315	500	1200	5	10	21	33	50	50	32	23	29
400	600	600	4	5	10	15	18	14	11	12	20
400	600	900	5	7	13	22	30	22	16	15	30
400	600	1200	6	8	16	30	42	31	21	18	40
500	710	900	4	5	12	20	23	15	11	12	40
500	710	1200	4	6	14	27	34	21	14	15	53



# Lyd

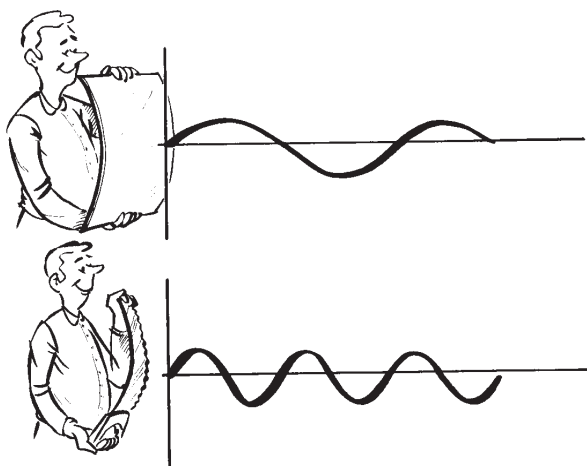
## Støjens frekvens påvirker valget af dæmper.

Som vi ser af tabellerne på foregående side varierer dæmpningsniveauet med lydens frekvens. Før vi beskriver valget af dæmper, vil det derfor være hensigtsmæssigt at beskrive frekvensbegrebet nærmere.

En lydkilde påvirker den omgivende luft, ved at den sættes i svingningsbevægelse. Lydens karakter afhænger af de trykændringer, som da opstår i luften.

Lad os antage, at lydkilden udgøres af en vibrerende plade – trykændringerne, dvs. lyden, vil da få samme frekvens som pladens svingninger. Lydstyrken vil afhænge af hvor kraftigt pladen svinger, dvs. bevægelsesamplituden. Lad os tage det første først:

For en ren tone, af en enkelt frekvens, vil trykket ændre sinus-format, derfor kaldes en ren tone også for sinustone.



Det som kendetegner lydspredningen er:

- **frekvensen (f)**, som måles i hertz, Hz, (s<sup>-1</sup>), (og angiver hvor ofte pr. sekund en ny lydbølge kommer).
- **bølgelængden (λ, "lambda")**, som måles i meter, m, (og angiver afstanden mellem to lige punkter på kurven).

samt

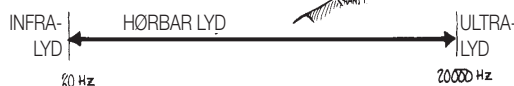
- **lydhastigheden (c)** som måles i m/s, (og angiver hvor hurtigt lydbølgerne flytter sig).

Disse tre størrelser afhænger af hinanden:  
 $c = f \cdot \lambda$

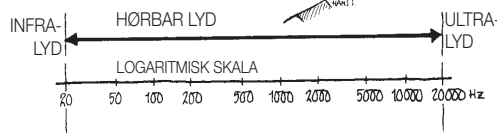
Lydhastigheden i luft afhænger desuden af tryk og temperatur.

Ved normalt lufttryk og 20°C er  $c \approx 340$  m/s.

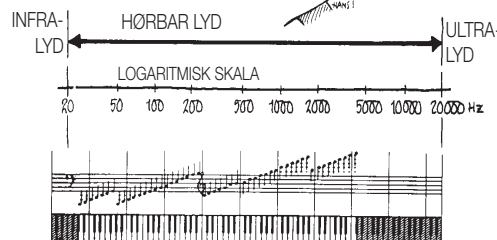
En ung, ikke høreskaded person kan opfatte lyd indenfor frekvensområdet 20-20 000 Hz, dvs. (i luft) med bølgelængder fra ca. 17 m (ved 20 Hz) ned til ca. 17 mm (ved 20 kHz).



Ændringer af en lyds frekvens opfatter vi efter en logaritmisk skala, dvs. det er to lydes indbyrdes frekvensforhold og ikke forskellen i Hz mellem dem, som afgør vor opfattelse af en toneændring. Stigning i en tone til dobbelt frekvens opfattes således ens, uanset om der er tale om en ændring fra 100 til 200 Hz, 1000 til 2000 Hz eller 10 til 20 kHz.



Den logaritmiske skala har man pr. tradition delt ind i **oktaver**, dvs. i skaladele hvor den øvre grænsefrekvens er dobbelt så høj som den nedre. Sådan har man længe gjort indenfor musikken.



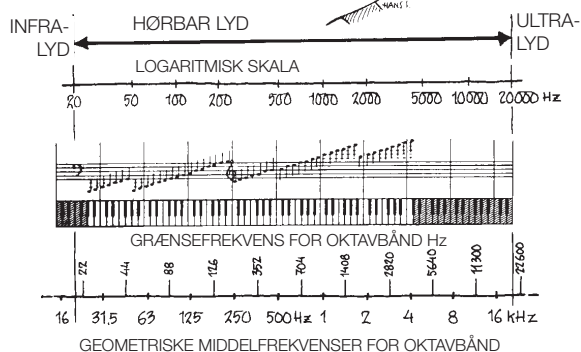
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18





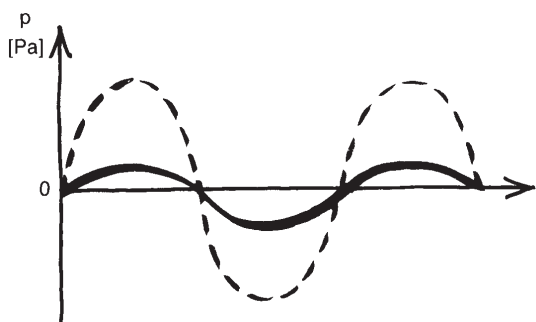
# Lyd

Og indenfor teknikken.



## Decibelbegrebet

Jo stærkere lyd der sendes ud, desto kraftigere vil luftpartiklerne støde mod hinanden.



Lydtryksændringerne indenfor det hørbare område kan variere indenfor meget vide grænser. En del lyde er så svage, at vi ikke kan opfatte dem. Den såkaldte **høregrænse** varierer med frekvensen og ligger ved 1000 Hz på ca. 20  $\mu$ Pa.

Andre lyde er så stærke, at vi risikerer at få høreskader. **Smertegrænsen**, det lydtryk hvor vi får ondt i ørerne af lyden, afhænger også af frekvensen, men ligger ved 1000 Hz på ca. 20 Pa, dvs. det er en million gange stærkere end den svageste lyd, vi kan opfatte.

Også ændringer i en lyds styrke opfatter vi efter en logaritmisk skala. For at kunne udtrykke dette i sammenlignelige værdier har man derfor valgt at indføre et **niveaubegreb** med **decibel (dB)** som enhed.

Enheden **dB**, som anvendes i mange forskellige sammenhænge, defineres almindeligvis som:  $10 \cdot \log(\frac{X}{X_0})$ , hvor X er den målte størrelse, f.eks. lydeffekten, og  $X_0$  er et referenceniveau udtrykt i samme enhed. Forholdet  $X/X_0$  er således dimensionsløst. I stedet angiver man det referenceniveau, som dB-enheden er angivet over, dvs. almindeligvis udtrykker man niveauet i **dB (ref.  $X_0$ )**.

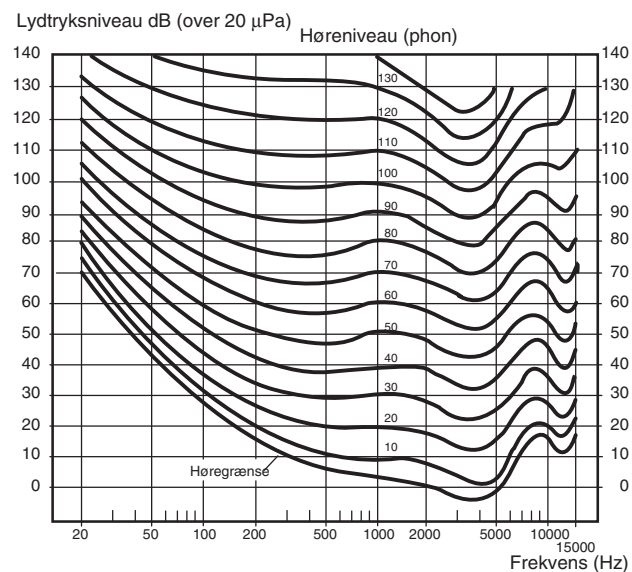
## Vores opfattelse af lyd

Vi reagerer forskelligt på to lyde som har samme lydtryksniveau men forskellige frekvenser.



Gennem forsøg med et stort antal mennesker har man kunnet konstruere kurver som beskriver, hvordan et menneske normalt opfatter lyd af forskellig styrke og frekvens. Kurverne forbinder punkter, kombinationer af lydtryksniveau og frekvens, som opfattes som lige stærke. Disse såkaldte **høreniveaukurver** benævnes efter lydtryksniveauet for de respektive kurver ved frekvensen 1 kHz. Enheden for kurverne er **phon**.

## Høreniveaukurver



Eksempel:  
Lydtryksniveauet 70 dB ved 50 Hz opfattes normalt ligeså stærkt som 50 dB ved 1000 Hz.

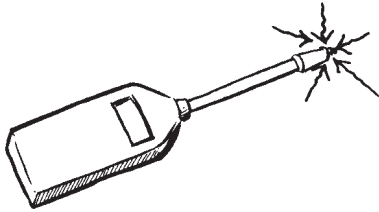
- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18



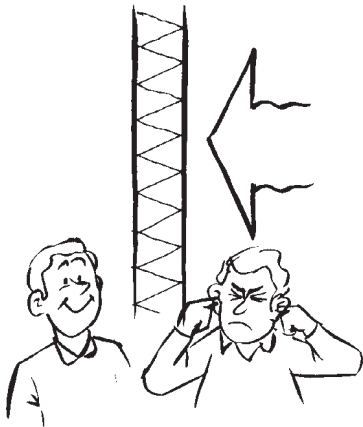


# Lyd

## Lydniveauer



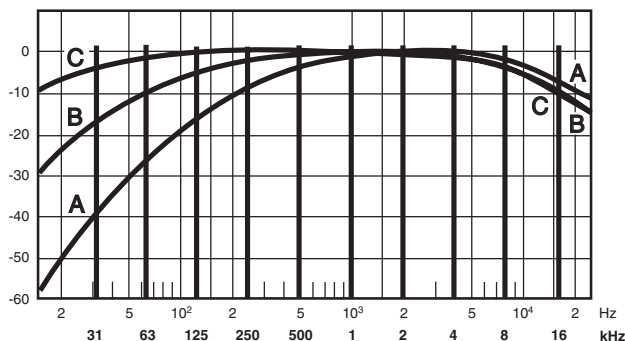
Der findes flere metoder som kan anvendes, når man vil sammenligne genegraden af to lyde med hinanden, og hvor man efterligner ørets opfattelse af støj.



Den enkleste er, at man sammenligner deres "vægtede" lydniveauer. Ved lydmåling lader man den indkommende lyd passere et elektrisk filter, som dæmper de dele, især de lavfrekvente elementer, hvor vi er relativt uimodtagelige, og forstærker de dele, mellem 1 og 4 kHz, hvor vi er mere modtagelige.

Lydmålere er normalt forsynet med tre elektriske filtre, A-, B- og C-filtre. I dag anvendes mest A-filtret, hvor måle-resultatet, det "vægtede" **lydniveau**, udtrykkes i **dB(A)**.

Dæmpning dB (over 20 µPa)



## At vælge lyddæmper

Ventilatoren er den primære lydkilde i et ventilationssystem, men støj kan også opstå i uhensigtsmæssigt valgte kanalfittings og armaturer.

Lyden som frembringes af ventilatoren bestemmes hovedsageligt af driftdata for ventilatoren – luftflow, totaltryk og virkningsgrad – og kan ikke påvirkes særligt meget:

$$L_w = 40 + 10 \cdot \log q + 20 \cdot \log p_t \text{ dB}$$

(over 1 pW)

$q$  = volumenstrøm i (m<sup>3</sup>/s) gennem ventilatoren

$p_t$  = totaltrykstigning (i Pa) i ventilatoren

40 = "specifik lydeffektniveau" som tager hensyn til ventilatorens virkningsgrad i driftpunktet og anvendte enheder for  $q$  og  $p_t$  (her SI-systemet).

Dæmpningen af ventilatorstøjen skal ske i kanalsystemet, fra ventilatortilslutning til armaturet i rummet. En del af dæmpningen sker "naturligt", vi har givet nogle eksempler tidligere i dette afsnit. Ofte er denne dæmpning dog ikke tilstrækkelig, og da kan man supplere med lyddæmpere i kanalsystemet, – i hovedkanalen ved ventilatoren for at dæmpe ventilatorlyden, ud mod alle kanalforgreninger, eller i forgreningsskanaler for kun at dæmpe mod specielt følsomme rum.

For at undgå støj i rummene fra kanalsystemet, bør man vælge lave lufthastigheder i kanalerne.

- Ved et givet luftflow modsvarer en fordobling af hastigheden ca. 12 dB forøgelse af lydniveauet.

Lave lufthastigheder sænker også driftsomkostningerne.

- Ved et givet luftflow stiger ventilatoreffektbehovet med kvadratet på hastigheden.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6
- 7
- 8
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16
- 17
- 18

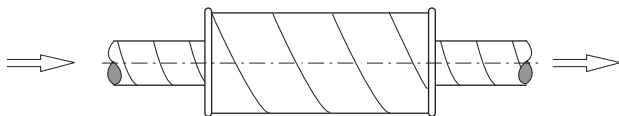


# Lyd

## Eksempel

I eksemplet har beregningen vist, at den aktuelle dæmpning i kanalsystemet ikke er tilstrækkelig. Der kræves yderligere dæmpning jf. tabellen – hvad skal man vælge?

Kanal  $\varnothing 250$



	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Før	x	x	x	x	x	x	x	x
Efter	x	x	x	x	x	x	x	x
Forskel	2	5	12	16	23	21	15	10

**Lindab** har et stort udvalg af lyd-dæmpere med forskellige egenskaber og forskellige mål. Lad os se hvilke der kan passe.

SLU250	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
600	1	2	6	14	26	14	8	7
900	1	3	9	19	38	19	11	9
1200	2	4	11	24	50	24	13	11

SLU er den almindelige lyd-dæmper og for at opfylde kravene bør man vælge den længste, 1200 mm. Afvigelsen på 125 Hz-båndet, 1-2 dB, er lille og vil ikke slå igennem. Dette er et af mulige alternativer.

SLGU10250	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
600	3	5	10	14	16	14	8	7
900	4	8	15	24	27	21	11	9

SLGU lyd-dæmper dæmper bedre i lavfrekvensområdet. For at opfylde kravene bør man vælge den længste, 900 mm. Afvigelsen på 500 HZ-båndet, 1 dB, er lille og vil ikke slå igennem. Dette er et andet muligt alternativ.

SLBU315	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
600	3	6	12	20	25	22	17	14
900	4	8	17	26	39	37	24	19
1200	5	10	21	33	50	50	32	23

SLBU lyd-dæmper har en tykkere absorptionsbeklædning end SLU, men er desuden forsynet med en 100 mm tyk baffel, som øger dæmpningen (men også tryktabet over dæmperen). For at opfylde kravene er det her tilstrækkeligt med den korteste, 600 mm. Dæmperen opfylder alle oktavnåbne med god marginal. Dette er yderligere et af mulige alternativer.

Det endelige valg mellem alternativerne afhænger af de forudsætninger, der gælder:

- SLU 1200  
hvis der er plads i længden (men måske er der trangt i bredden eller højden).
- SLGU 10 900  
kortere, men dyrere.
- SLBU 600  
hvis længdemålet er begrænset, og hvis den moderate stigning i det totale tryktab er uden betydning – f.eks. i en forgreningskanal, hvor en del af det tilgængelige tryk alligevel skal reguleres ved indregulering af volumenstrømmen.

Afgør hvor sikre værdierne i lyd-beregningen er og vælg dæmper med tilsvarende sikkerhedsmarginal. Det er altid dyrere og ofte sværere bagefter at tillæggsdæmpe i stedet for at tage højde for det fra begyndelsen. Hvis de, der benytter lokalerne, er utilfredse med støjen, er det svært at få dem omvendt.