



air processing management

Praktische gids

voor de industriële ventilator



Vanaf het moment dat er zich een luchtbeweging voordoet, is er een drukverlies, net zoals er vanaf het moment dat er elektrische stroom ontstaat een spanningsverlies optreedt. Of, anders geformuleerd: er zal zich een luchtverplaatsing voordoen tussen 2 punten indien er een drukverschil bestaat tussen deze 2 punten, net zoals er alleen een elektrische stroom ontstaat indien er een potentieelverschil is.

De ventilator is dus een "drukgenerator" die in staat is de drukverliezen te overwinnen en de lucht in beweging te brengen.

Ventilator types:



Centrifugale ventilator



Axiale ventilator

Theoretisch gezien is elke ventilator in staat om elke druk te leveren aan eender welk debiet, op voorwaarde dat hij werkt aan een aangepaste snelheid. Weerstandsbeperkingen van het materiaal en rendementscriteria houden in dat men grote debieten met zwakke druk voorbehoudt aan axiale ventilatoren en gematigde debieten met hogere druk voorbehoudt aan centrifugale ventilatoren.

Bij een centrifugale ventilator, veroorzaken voorovergebogen schoepen een hogere druk bij een lager rendement in vergelijking met achterovergebogen schoepen. Voor industriële toepassingen wordt, onder druk van het vereiste rendement, massaal gebruik gemaakt van turbines met achterovergebogen schoepen. De schoepen zijn meestal vlak, of gebogen in één vlak om de kosten zo veel mogelijk te drukken. In uitzonderlijke gevallen kiest men voor een schoep in de vorm van een vliegtuigvleugel om het rendement te optimaliseren.

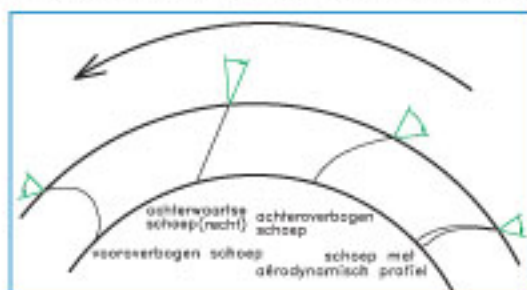


Fig.A : Courant gebruikte soorten centrifugale schoepen

Curve van de ventilator

Een ventilator wordt gekenmerkt door een druk-debietcurve en een geabsorbeerd vermogen-debietcurve die men verkrijgt met behulp van een testbank. Voor centrifugale ventilatoren met achterovergebogen schoepen verloopt de druk-debietcurve meestal eerst in stijgende lijn als het debiet stijgt (dit is een onstabiele zone en kan het pompverschijnsel veroorzaken). Nadat het maximumpunt is bereikt, daalt de curve geleidelijk (d.i. de stabiele werkingszone).

De geabsorbeerd vermogen-debietcurve verloopt in het algemeen in stijgende lijn samen met het debiet, en overschrijdt soms een maximale waarde alvorens terug te dalen. In dit geval wordt de ventilator "non overloading" genoemd, omdat het vermogen van de geïnstalleerde motor niet zal overschreden worden, wat het debiet ook moge zijn.

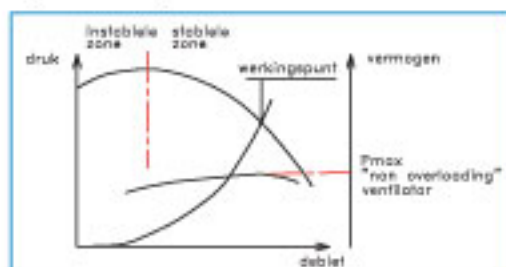


Fig. B. Parabool van een equivalent circuit, met werkingspunt van de ventilator.

Werkingspunt van de ventilator

Het werkpunt van een ventilator binnen een circuit is het punt bepaald enerzijds door de curve van de ventilator en anderzijds door de parabool van de drukverliezen in het circuit.

Statische, dynamische en totale druk

De **statische druk** is de druk die loodrecht op de wand van een reservoir of een leiding onder druk wordt gemeten, en staat los van luchtbewegingen.

De **dynamische druk** wordt veroorzaakt door de luchtverplaatsing. Het is de druk die men voelt op de hand wanneer men deze uit het raam van een rijdende auto steekt. Het is ook deze druk die veroorzaakt wordt door de omzetting van de statische druk aan de tuit van een ballon bij het leeglopen.

De **totale druk** is de som van de statische en dynamische druk, rekening houdend met het teken.

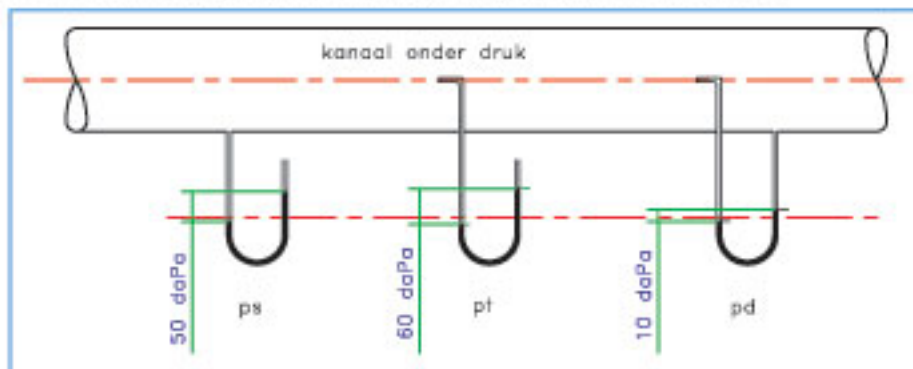


Fig.C. Statische, dynamische en totale druk.

Deze vormen van druk worden in de praktijk uitgedrukt in Pa, daPa, mmce, of mbar.

De dynamische druk kan bepaald worden door het verschil te meten tussen de totale en de statische druk, waarbij de uiteinden van dezelfde manometer in U-vorm aan elkaar worden verbonden. Dit principe wordt gebruikt door de buis van Pitot. De dynamische druk geeft een beeld van de lichtsnelheid en dus van het debiet.

$$H_{dyn} (daPa) = v^2 \rho / 20$$

Waarin ρ = massadichtheid van de lucht (kg/m^3)
 v = lichtsnelheid (m/s)

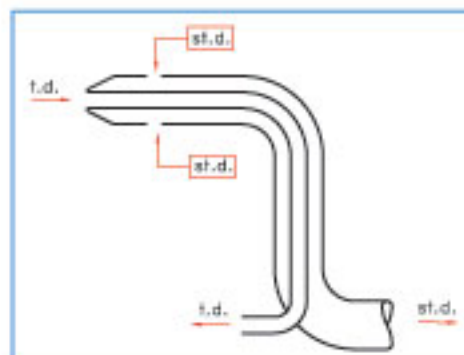


Fig.D. Buis van Pitot

Massadichtheid

Onder **normale** omstandigheden, d.i. volgens conventie onder omstandigheden van atmosferische druk op zeeniveau en bij $0^\circ C$, bedraagt de massadichtheid $1,293 kg/Nm^3$. Onder een andere temperatuur of bij een andere druk, varieert de massadichtheid volgens de volgende formule :

$$\rho (kg/m^3) = 1.293 \times \frac{273}{273 + T} \times \frac{101300 + p}{101300}$$

Waarbij T in $^\circ C$ en p in Pa.

En derhalve, $Q_v (m^3/s) = Q_m (kg/s) / \rho$.

De massadichtheid is veranderlijk onder druk en temperatuur. Hierdoor dient men rekening te houden met deze veranderingen voor warme lucht, alsook voor het berekenen van ventilatoren die op grote hoogte werken. Bovendien zal men in dit specifiek geval rekening moeten houden met een slechtere koeling van de motor, waardoor men deze eventueel moet deklasseren.

Drukverliezen

De drukverliezen in een circuit zijn gewoonlijk in verhouding met het kwadraat van het debiet en zijn dus parabolen van de tweede graad die door de oorsprong gaan in een debiet-druk assenstelsel. Ze zijn van de vorm :

$$\Delta p \text{ (daPa)} = k \cdot (v^2 \rho / 20) = k \cdot H_{dyn}$$

waarin k een coëfficiënt is die eigen is aan het soort circuit.

De parabool van het equivalent circuit is dus de som der aparte parabolen van de verschillende drukverliezen in het circuit, veroorzaakt door lokale weerstanden aan de luchtstroom (bochten, vergroten van de doorsnede...) of machines (filters, warmtewisselaar...).

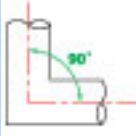
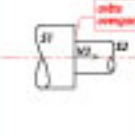
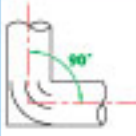
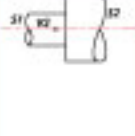
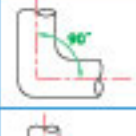
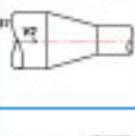
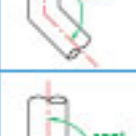

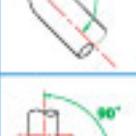

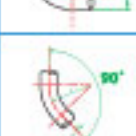
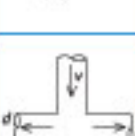
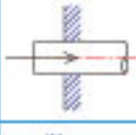
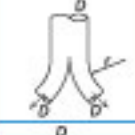
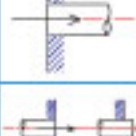

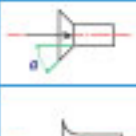



N°		k		N°		k																																									
1		1.5	Bochtstuk van 90°	13		k wordt gebruikt met H_{dyn} in de doorsnede S_2	<table border="1"> <tr> <td>S_2/S_1 met overgang</td> <td>0.2</td> <td>0.4</td> <td>0.5</td> <td>0.6</td> <td>0.7</td> <td>0.8</td> <td>0.9</td> </tr> <tr> <td>plots</td> <td>0.35</td> <td>0.29</td> <td>0.22</td> <td>0.17</td> <td>0.1</td> <td>0.05</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>afgeschuind</td> <td>0.11</td> <td>0.09</td> <td>0.07</td> <td>0.05</td> <td>0.03</td> <td>0.02</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>afgerond</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0.01</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>goed afgerond</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>	S_2/S_1 met overgang	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	plots	0.35	0.29	0.22	0.17	0.1	0.05	0	afgeschuind	0.11	0.09	0.07	0.05	0.03	0.02	0	afgerond	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	goed afgerond	0	0	0	0	0	0	0
S_2/S_1 met overgang	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9																																								
plots	0.35	0.29	0.22	0.17	0.1	0.05	0																																								
afgeschuind	0.11	0.09	0.07	0.05	0.03	0.02	0																																								
afgerond	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0																																								
goed afgerond	0	0	0	0	0	0	0																																								
2		0.15	Bochtstuk van 90° met geleidingsprofielen	14		k wordt gebruikt met H_{dyn} in de doorsnede S_1	$k = (1 - S_1/S_2)^2$ <table border="1"> <tr> <td>S_1/S_2</td> <td>1.2</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>5</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td>0.03</td> <td>0.11</td> <td>0.25</td> <td>0.45</td> <td>0.64</td> <td>1</td> </tr> </table>	S_1/S_2	1.2	1.5	2	3	5	∞	k	0.03	0.11	0.25	0.45	0.64	1																										
S_1/S_2	1.2	1.5	2	3	5	∞																																									
k	0.03	0.11	0.25	0.45	0.64	1																																									
3		0.5	Bochtstuk van 90° met afgeronde hoeken	15		0-0.05	k wordt gebruikt met H_{dyn} in de doorsnede S_1																																								
4		0.5	Bochtstuk van 135°	16		k wordt gebruikt met H_{dyn} in de doorsnede S_1	$k = 0.15(1 - (S_1/S_2))^2$ <table border="1"> <tr> <td>S_1/S_2</td> <td>1.2</td> <td>1.5</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td>0.005</td> <td>0.017</td> <td>0.04</td> <td>0.07</td> <td>0.1</td> </tr> </table>	S_1/S_2	1.2	1.5	2	3	5	k	0.005	0.017	0.04	0.07	0.1																												
S_1/S_2	1.2	1.5	2	3	5																																										
k	0.005	0.017	0.04	0.07	0.1																																										
5		0.2	Bochtstuk van 135° met afgeronde hoeken	17		k wordt gebruikt met H_{dyn} in de doorsnede S_1	$k = \text{hieronder coëfficiënt} \times (1 - S_1/S_2)^2$ <table border="1"> <tr> <td>α</td> <td>2 vlakken</td> <td>4 vlakken</td> </tr> <tr> <td>θ'</td> <td>0.1</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>$11'$</td> <td>0.25</td> <td>0.35</td> </tr> <tr> <td>θ''</td> <td>0.3</td> <td>0.45</td> </tr> </table>	α	2 vlakken	4 vlakken	θ'	0.1	0.15	$11'$	0.25	0.35	θ''	0.3	0.45																												
α	2 vlakken	4 vlakken																																													
θ'	0.1	0.15																																													
$11'$	0.25	0.35																																													
θ''	0.3	0.45																																													
6		0.3 0.15 0.01	Bochtstuk van 90° $r = d$ $r \geq 2d$ $r \geq 6d$	18			$k_1 = 0$ $k_2 = 0.01 \text{ à } 0.3$																																								
7		0.05	Bochtstuk van 135° $r \geq 2d$	19		1.5	vertakking op 90°																																								
8		0.6	Plots versnellen van de luchtstroom aan de ingang van een buis	20		zie situatie 21																																									
9		0.4	Plots versnellen van de luchtstroom aan de ingang van een buis	21			$A = r/d$ <table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>0</td> <td>0.25</td> <td>0.5</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> <td>4</td> <td>5</td> <td>6</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td>1.1</td> <td>0.4</td> <td>0.28</td> <td>0.2</td> <td>0.14</td> <td>0.1</td> <td>0.07</td> <td>0.05</td> <td>0.03</td> <td>0.01</td> </tr> </table>	A	0	0.25	0.5	1	2	3	4	5	6	7	k	1.1	0.4	0.28	0.2	0.14	0.1	0.07	0.05	0.03	0.01																		
A	0	0.25	0.5	1	2	3	4	5	6	7																																					
k	1.1	0.4	0.28	0.2	0.14	0.1	0.07	0.05	0.03	0.01																																					
10		1	Plotse drukval aan een uitlaat																																												
11		0.2	Geleidelijke versnelling $\alpha = 40 \text{ à } 45^\circ$																																												
12		0	Geleidelijke versnelling door middel van een aanzuigpaviljoen																																												

Fig.E. Drukverliescoëfficiënten

Geabsorbeerd vermogen

Het vermogen op de as is gelijk aan het nuttige vermogen aan de luchtstroom geleverd, gedeeld door het rendement van de ventilator.

$$P_{abs} (kW) = \frac{Q(m^3/s) \times H(daPa)}{100 \times \eta}$$

Om het vermogen te meten dat door het elektrische net wordt geabsorbeerd, moet men overigens rekening houden met het transmissierendement, met de elektrische motor en met de eventuele snelheidsverandering.

De ventilatorwetten

1/ Zonder het circuit te veranderen waarin de ventilator is geplaatst, en onder constante massadichtheid, verkrijgt men nieuwe werkingsvoorwaarden indien men de rotatiesnelheid van de ventilator verandert door van N_1 (tr/min) over te schakelen naar N_2 . Deze voorwaarden beantwoorden aan de volgende wet :

$$Q_2/Q_1 = N_2/N_1 \quad H_2/H_1 = (N_2/N_1)^2 \quad P_2/P_1 = (N_2/N_1)^3$$

Q = debiet ; H = druk ; P = geabsorbeerde vermogen

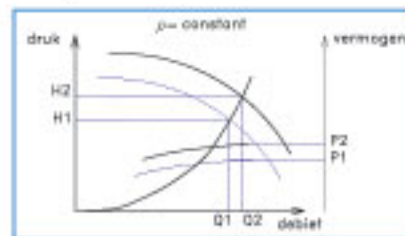


Fig.F. Ventilatorwetten : snelheidsverandering bij constante dichtheid

2/ Bij een onveranderd circuit, met een constante snelheid, en een luchtstroom die overgaat van dichtheid ρ_1 (kg/m³) naar dichtheid ρ_2 ,

- verandert het volumetrisch debiet niet : $Q_2/Q_1 = 1$
- veranderen de drukverliezen alsook de druk die door de ventilator wordt opgewekt in verhouding tot de massadichtheid : $H_2/H_1 = \rho_2/\rho_1$.
- verandert de geabsorbeerde druk in verhouding tot de massadichtheid: $P_2/P_1 = \rho_2/\rho_1$.
- verandert het rendement van de ventilator niet.
- verplaatst het werkpunt zich vertikaal

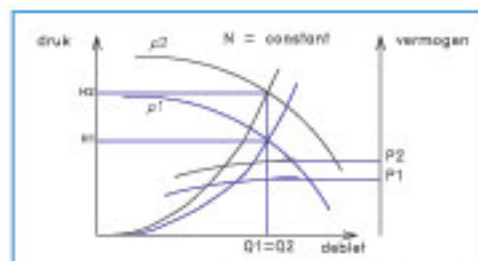


Fig.G.Ventilatorwetten : verandering van massadichtheid aan constante snelheid

Geluidsemissie van ventilatoren

Ventilatoren zijn lawaaiërgere machines die dikwijls een akoestische aanpassing vereisen.

Dit kan door isolatie van het ventilatorhuis en/of door toevoeging van een geluidsdemper aan de uitlaat of inlaat.



Akoestische isolatie van het ventilatorhuis.

Akoestische druk en akoestisch vermogen

Het oor is gevoelig voor de **drukwisselingen** die veroorzaakt worden door geluidstrillingen. Een geluidsmeter meet de **akoestische druk** uitgeoefend op het membraan op een vergelijkbare manier als het oor.

Het niveau van de **akoestische druk** (L_p in dB) wordt steeds uitgedrukt in functie van de afstand tot de bron. Het niveau van het **akoestisch vermogen** (L_w in dB) is daarentegen onafhankelijk van de afstand voor een geluidsbron die het geluid in alle richtingen verspreid. Ze kan berekend worden door de geluidsdruk te vermenigvuldigen met het oppervlak van de bol gevormd door de uitdijende geluidsgolf op een afstand tot de geluidsbron gelijk aan de afstand die men in rekening neemt voor de meting van de geluidsdruk.

Als P = akoestische druk in W/m^2 , W = akoestisch vermogen in Watt; en r = straal van de bol, met de bron als middelpunt en waarvan het externe oppervlak door het meetpunt gaat.

dan is $P = W/4\pi r^2$ en, uitgedrukt in dB, $L_p = L_w + 10 \cdot \log(1/4\pi r^2)$, met r uitgedrukt in m.

Als de geluidsbron een richtingseffect heeft, dan wordt het totale vermogen W niet isotroop verdeeld over de bol. Men neemt een richtingsfactor Q in rekening, die 2 bedraagt voor een geluidsbron op de grond in een vrij geluidsveld, 4 voor een geluidsbron tegen een galmende muur geplaatst, en 8 voor een geluidsbron in een hoek gevormd door de grond en twee galmende muren.

Men heeft dus $L_p = L_w + 10 \cdot \log(Q/4\pi r^2)$.

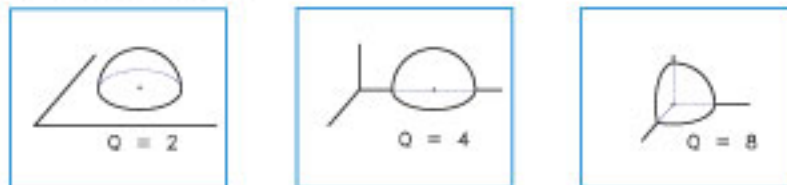


Fig.H. Bepalen van de waarde Q

Een gevolg van de hierboven vermelde formule is dat men het geluidsniveau kan berekenen als men de meetafstand verandert en daarbij overgaat van afstand r_1 naar r_2 .

$$L_{p2} = L_{p1} + 10 \cdot \log(r_1^2/r_2^2) = L_{p1} + 20 \cdot \log(r_1/r_2).$$

In het algemeen geldt de volgende formule als we de afstand verdubbelen: $L_{p2} = L_{p1} - 6$.

Weegkromme A

De fysiologie van het menselijk oor zorgt ervoor dat wij twee geluiden van dezelfde akoestische druk, met een verschillende frequentie niet ervaren als even hinderlijk.

Om de hinder veroorzaakt door geluidsdrukken van verschillende frequentie te kunnen vergelijken, moet men deze geluidsdrukken wegen in functie van de gevoeligheid van het oor voor de verschillende frequenties. De hieronder afgebeelde curve, de weegkromme, wordt het meest gebruikt.

Gemiddelde frequentie in de octaafband	Hz	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
Weegkromme A	dB	-26	-16	-8.6	-3.2	0	+1.2	+1	-1.1

Fig.I. Weegkromme A.

Samenstelling van akoestische niveaus

Om het globale geluidsniveau te bekomen van een akoestisch geluidsspectrum, moet men de L_{pi} in elke octaafband uitgezonden logaritmisch optellen.

$$L_{p \text{ global}} (\text{dB ou dBA}) = 10 \cdot \log(\sum 10^{L_{pi}/10}).$$

Men kan ook bovenstaande formule gebruiken om het resulterend globale geluidsniveau te berekenen. Bij het narekenen van enkele voorbeelden kan men constateren dat bij twee geluidsbronnen het geluidsniveau van één van de bronnen bijna te verwaarlozen is indien het verschil tussen beiden oploopt tot meer dan 10 dB. Men zegt op dat moment dat de bron met het hoogste geluidsniveau de andere geluidsbron maskeert.

Indien L_{pv} het geluid is van één enkele ventilator, dan zal het geluid van 2 identieke ventilatoren die zij aan zij functioneren, 3 dB hoger liggen dan the geluid afkomstig van één enkele ventilator. Inderdaad:

$$L_{p \text{ global}} (\text{dB of dBA}) = 10 \cdot \log(2 \cdot 10^{L_{pv}/10}) = 10 \cdot \log 2 + 10 \cdot \log(10^{L_{pv}/10}) = 3 + L_{pv}.$$

Men kan uiteraard extrapoleren naar n ventilatoren. Indien deze niet identiek zijn, maakt men eerst de logaritmische som van de n geluidsniveaus per frequentieband, en men voegt vervolgens het spectrum samen om het globale geluidsniveau te bekomen.

Vrij veld en galmend veld

De hierboven vermelde formules zijn geldig in een vrij veld, en niet in een galmend veld. Indien men zich in een lokaal bevindt, dan bevindt men zich in de nabijheid van obstakels waarop de geluidsgolven weerkaatsen. Bovendien beïnvloeden ze de metingen door de indirecte golven die ze doen ontstaan. Een studie van de akoestiek van het lokaal door een gespecialiseerde firma biedt de mogelijkheid om de gemiddelde akoestische geluidscoefficiënt α , te meten. Dit kan door het toepassen van de formule van Sabine die α , het volume van het lokaal, de oppervlakte van de wanden, en de galmtijd van het lokaal meten. Deze studie zal toelaten om voor elke apart genomen machine het aanvaardbare geluidsniveau te bepalen zodat het geproduceerde geluid lager ligt dan de maximumgrens (normaal gezien 85 dBA).





AIRVISION

Avenue Jean Monnet,1
1348 Louvain-La-Neuve
Belgium

Tél. +32 10 47 00 80

Fax. +32 10 47 00 81

e-mail : info@airvision.be

