

→ Technische inhoud bestemd voor de opleidingsinstellingen

Technische module

HOOFDSTUK 4 De onderdelen van de klimaatregelingsystemen

Voor professionals inzake klimaatregeling: controleurs, technicus klimaatregeling EPB



Ontwerp oktober 2012

Meer info: www.bruxellesenvironnement.be

→ Professionals

→ Energieprestatie en Binnenklimaat

→ Technische installaties

Leefmilieu Brussel - BIM
Departement verwarming en klimaatregeling EPB
E-mail: climPEB@environnement.irisnet.be

ÉNERGIE



BRUXELLES ENVIRONNEMENT
IBGE - INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT



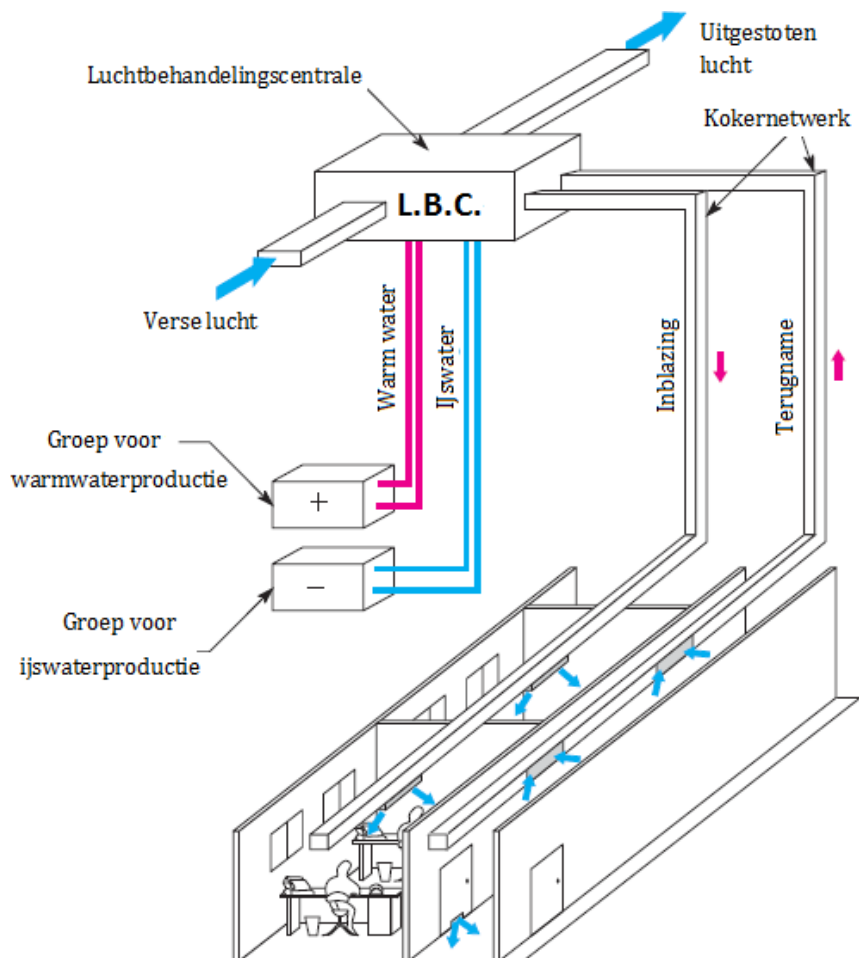
INHOUDSOPGAVE

HOOFDSTUK 4.	De onderdelen van de klimaatregelingsystemen	3
4.1	Luchtbehandelingscentrale (LBC)	4
4.2	Luchtverdeelnetwerk	36
4.3	De soorten klimaatregelingsystemen	59
4.4	De warmte- of koudestralers	67
4.5	Samenstelling van een hydraulisch circuit	77
4.6	Systemen met directe expansie	99
4.7	Warmtepomp	108
4.8	Koeltorens	117
4.9	Aerokoeler	126
4.10	Gegevens over de verdeling van de soorten klimaatregelingsuitrustingen	127
4.11	Evaluatie van de kostprijs voor de klimaatregeling	129

HOOFDSTUK 4. DE ONDERDELEN VAN DE KLIMAATREGELINGSSYSTEMEN

Een gebouw kan op verschillende manier geklimatiseerd worden. Als de behoeften plaatselijk of gelokaliseerd zijn, kan de bouwheer zijn toevlucht nemen tot toestellen met een laag vermogen, om zo elke kamer afzonderlijk te koelen.

Dit type klimaatregeling is gedecentraliseerd en doet een beroep op individuele klimaatregelaars. Voor globale en regelmatige behoeften zal de bouwheer een of meerdere toestellen met een groter vermogen verkiezen, die het hele gebouw of een deel ervan koelen met een al dan niet onderlinge afhankelijkheid tussen de verschillende zones. Dit type klimaatregeling is gecentraliseerd. Het volgende schema betreft een gecentraliseerd systeem.



Figuur 4.1

4.1 LUCHTBEHANDELINGSCENTRALE (LBC)

4.1.1 FILTERING VAN DE LUCHT

De toename van de betrouwbaarheid en de daling van de kosten van de variabele snelheid bieden een grote besparingsmogelijkheid op het gebied van verluchting en watercirculatie. Deze trend wordt gecompenseerd door het groeiende belang van de kwaliteit van de binnenlucht, die zich kan uiten in een toename van de minimale luchtdebieten, een toegenomen filtering en dus stijgende energiekosten.

De doeltreffendheid van de luchtfilters wordt beoordeeld aan de hand van verschillende methoden op basis van hun doeltreffendheid en zijn eigen aan de gebruikte referentienorm.

De meest gebruikte methoden waarmee direct het vereiste type filter bepaald kan worden volgens de opgegeven aanbevelingen:

- volgens de norm EN 779
- volgens Eurovent 4/5
- volgens de norm Pr EN 1822

	Norm EN 779	Eurovent 4/5	Gemiddeld rendement %
Groep filters	Klasse	Klasse	
Grof Gravimetrisch max. Δp : 250 Pa	G1	EU1	$Am^* < 65$
	G2	EU2	$65 \leq Am < 80$
	G3	EU3	$80 \leq Am < 90$
	G4	EU4	$90 \leq Am$
Fijn Opacimetrisch max. Δp : 450 Pa	F5	EU5	$40 \leq Em^* < 60$
	F6	EU6	$60 \leq Em^* < 80$
	F7	EU7	$80 \leq Em^* < 90$
	F8	EU8	$90 \leq Em^* < +95$
	F9	EU9	$95 \leq Em$
	Norm pr EN 1822		Globale doeltreffendheid MPPS*
HEPA	H10		85
	H11		95
	H12		99,5
	H13		99,95
	H14		99,995
ULPA	H15		99,9995
	H16		99,99995
	H17		99,999995
Am	filterefficiëntie (aangenomen gewichtsaandeel)		
Em	opacimetrische filterefficiëntie		
MPPS	efficiëntie voor het binnendringende deeltje		
HEPA	high efficiency particulate air		
ULPA	ultra low penetration air		

Figuur 4.2

De filtering moet zorgen voor:

- de bescherming van de luchtbehandelingscentrale (LBC) tegen vervuiling en de ontwikkeling van micro-organismen
→ ingang van de noodzakelijke centrale: F6 (65 % OPA) wenselijk: F7 (85 % OPA)
- de bescherming van het aerolische netwerk voor de verdeling van de lucht en zijn terminals
→ uitgang van de centrale: filters met hoge efficiëntie: F9 (95 % OPA)
- de behandeling van de lucht om de stofontwikkelingsklasse te garanderen
→ zone 2: F9 (95 % OPA) voldoende aan de uitgang van de centrale of in een koker.
→ zones 3 en 4: filters met zeer hoge efficiëntie (absolute filters) H 13 (99,95 % DOP) bij voorkeur aan de ingang van het behandelde lokaal.
- de bescherming van het terugnamenetwerk → F6 (65 % OPA)
- de opvolging van de vervuiling van de filters wordt gegarandeerd door meting van het ladingverlies (druksensor – Pitotbuis), om te zorgen voor een tijdige vervanging en:
- een handhaving van de debieten
- een handhaving van de drukkiveaus in de lokalen
- bescherming van de filters met zeer hoge efficiëntie (levensduur: 3 tot 5 jaar)

In overeenstemming met de norm NBN EN 13053 moeten de volgende gegevens duidelijk zichtbaar vermeld worden op het filtergedeelte van de luchtbehandelingskast: filterklasse, type filtermiddel, uiteindelijk ladingverlies.

De waarde van de drukkaling van de filter voor het ontwerpdebietvolume, die in aanmerking wordt genomen voor de keuze van de ventilator, moet gelijk zijn aan het gemiddelde van de aanvankelijke drukverliezen (schone filter) en de uiteindelijke drukverliezen (filter bedekt met stof), behalve in sommige specifieke gevallen (bijzondere hygiënische vereisten) waarvoor een constant nominaal debiet gegarandeerd moet worden tot het uiteindelijke maximale ladingverlies van de filter.



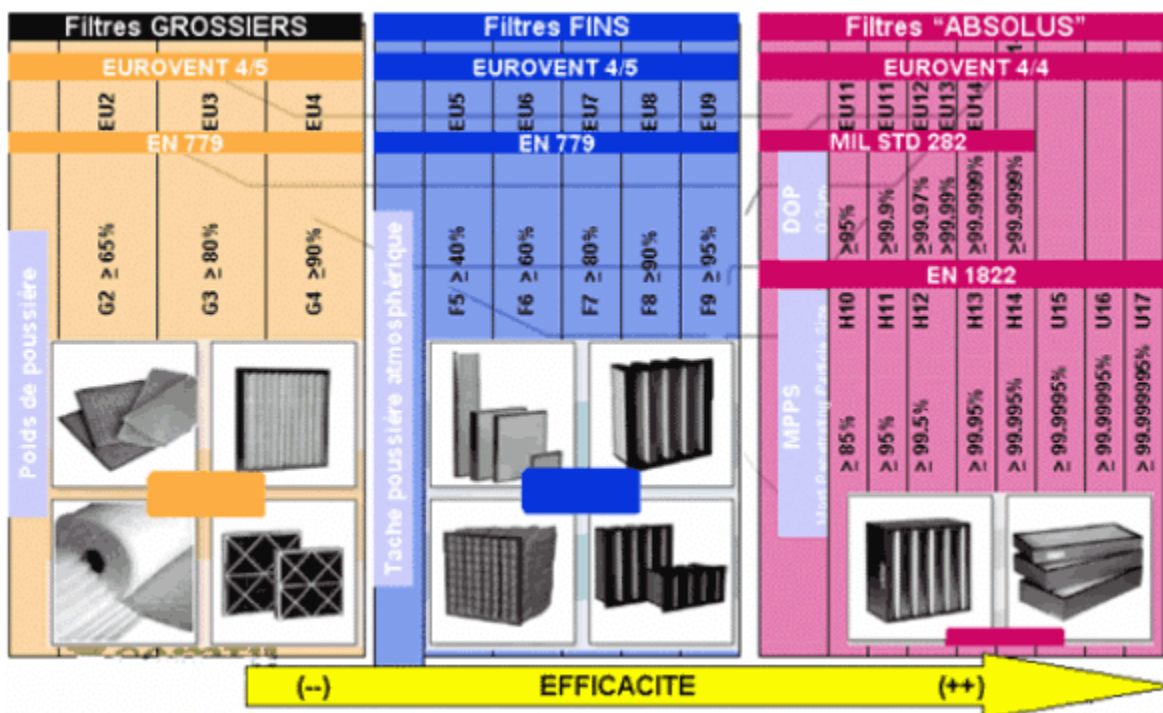
Figuur 4.3 Meting vervuiling van een filter

De filterklasse kan gekozen worden op basis van de volgende aanwijzingen:

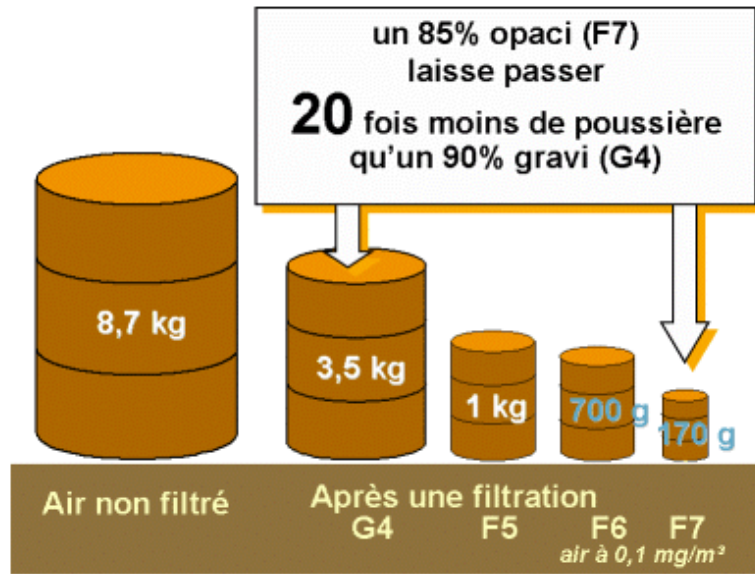
Klasse	Toepassingen
G1 of G2	bijvoorbeeld voor de luchtverhitters van een garage, waar geen overmatige filtering nodig is, of als fijnere filters een ladingverliesprobleem vertonen.
G3 of G4	Voor de ventilator-convectoren,
F5 of F6	voor gemakkelijk te reinigen lokalen zonder stofgevoelige voorwerpen: tentoonstellingsruimten, sportzalen, zwembaden.
F7	kantoren, vergaderzalen, bibliotheken, musea, leslokalen, laboratoria, keukens en restaurants.
F8 of F9	computerzalen, ziekenhuizen (lokale waar patiënten verblijven, met uitzondering van de operatiezalen en andere "schone" of steriele ruimten).
H10 tot H14	voor zalen met gecontroleerde stofontwikkeling: laboratoria die zeer zuivere lucht vereisen, operatie- of sterilisatiezalen, clean rooms, kerncentrales.
U15 tot U17	steriele zalen, clean rooms, kerncentrales, ...

In principe omvat de installatie geen voorfilter. Deze kan nochtans geïnstalleerd worden in de volgende gevallen:

- De filters van de groepen H en U en de filters met actieve kool worden steeds voorafgegaan door een filter van minimaal klasse F7 (op de verse lucht).
- Wanneer de te filteren lucht grote hoeveelheden groffe deeltjes bevat, is een voorfilter F5 verantwoord.
- Een filter F8 of F9 aan de inblaszijde wordt doorgaans voorafgegaan door een filter F7 op de verse lucht.



Figuur 4.4

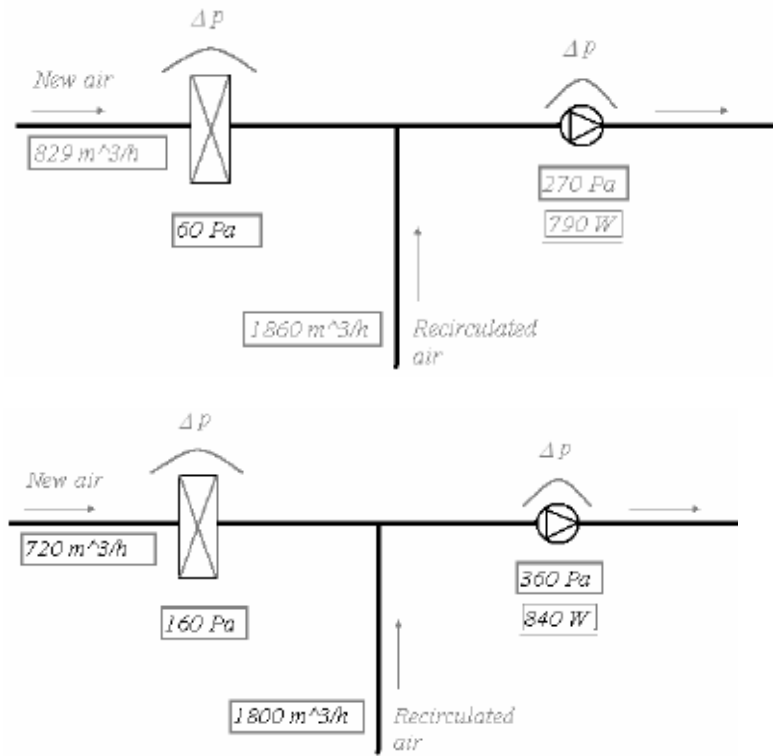


Figuur 4.5



Figuur 4.6

Vervuiling van de filter veroorzaakt een daling van het verseluchtdebiet. De verversingsgraad van de verse lucht wordt niet meer gerespecteerd.



Figuur 4.7

Hoeveel energie wordt verbruikt door een filter (in kWh)?

$$\text{Energie} = \frac{\text{Debiet} \times \text{drukverlies} \times \text{werkingsduur}}{3600 \times \text{rendement van de ventilator} \times 1000}$$

Een filter verbruikt dus energie. Het stroomverbruik van de ventilator is evenredig met:

- het debiet
- het drukverlies
- de werkingsduur
- het rendement van de ventilator

Een daling met 30 % van het drukverlies = een daling met 30 % van het energieverbruik.

Voor een luchtdebiet van 30000 m³/h en een werking 24 u./24:

SITUATIE 1:

2 filterverdiepingen met 10 filters G4+F7

gemiddeld drukverlies = 274 Pa

kostprijs = 0,1539 EUR/kWh (tarief Sibelga 2012)

$$\begin{aligned} \text{energieverbruik} &= \frac{30000[m^3/h] \times 274[Pa] \times 8760[h]}{0,65 \times 1000 \times 3600} \\ &= 30772 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Hetzij 4735 EUR/jaar

SITUATIE 2:

2 filterverdiepingen met 10 filters F6+F7

gemiddeld drukverlies = 206 Pa

kostprijs = 0,1539 EUR/kWh (tarief sibelga 2012)

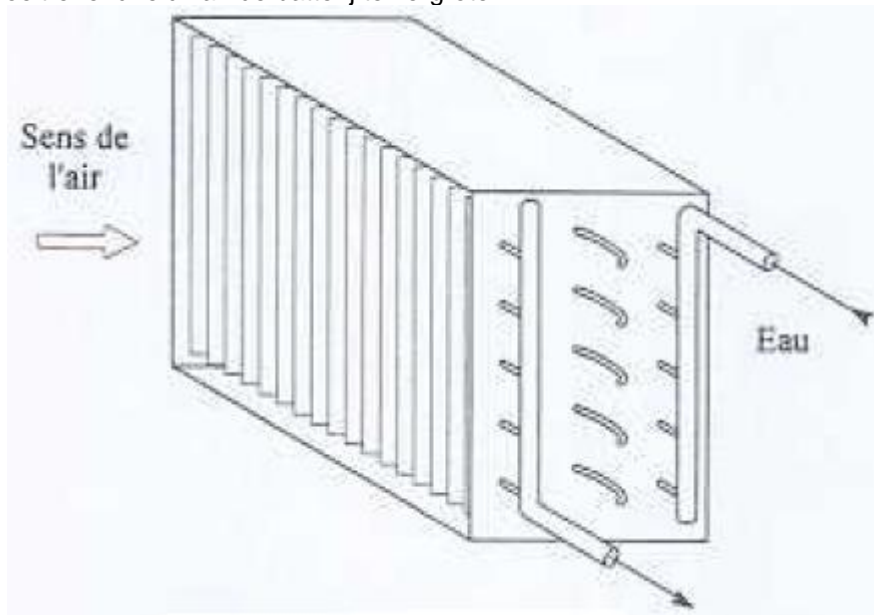
$$\begin{aligned} \text{energieverbruik} &= \frac{30000[m^3/h] \times 206[Pa] \times 8760[h]}{0,65 \times 1000 \times 3600} \\ &= 23135 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Hetzij 3560 €/jaar

4.1.2 BATTERIJEN VOOR AFKOELING EN VERWARMING

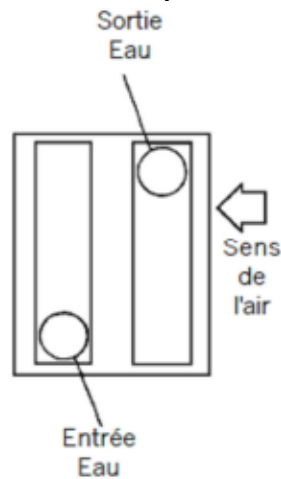
De warme batterij zorgt voor voorverwarming of verwarming van de lucht (warm water, gewapende weerstanden, met naakte draden). De koude batterij zorgt voor afkoeling met of zonder ontvochtiging. (koud water of met koelmiddel).

De batterij omvat een bepaald aantal buizen waarop ribben gefelst of gelast zijn. De buizen vormen een bepaald aantal parallelle circuits die verbonden zijn door een verdeler en een collector, om het ladingverlies te beperken en de doeltreffendheid van de batterij te vergroten.



Figuur 4.8 Batterij 5 circuits en 3 rijen

De waterinlaat is aan de collector gekoppeld die zich aan de luchtuitlaat van de batterij bevindt, om een systeem met tegenstroom tussen lucht en water te verkrijgen. De waterinlaten en -uitlaten worden vaak aangegeven door identificatieplaatjes, om fouten te vermijden.



Figuur 4.9

Wat is het belang van de tegenstroom? Het maximale vermogen uitgewisseld door de batterij wordt berekend met de formule:

$$P = K \times S \times \Delta\theta \text{ in kW}$$

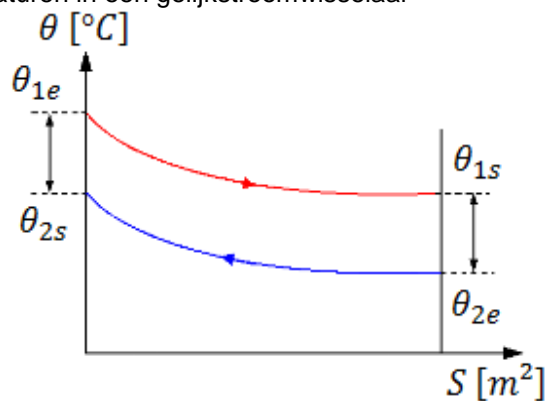
Waarbij

K = warmte-uitwisselingscoëfficiënt in (W/m².K) gegeven door de fabrikant van de batterij

S = uitwisselingsoppervlakte van de batterij (m²)

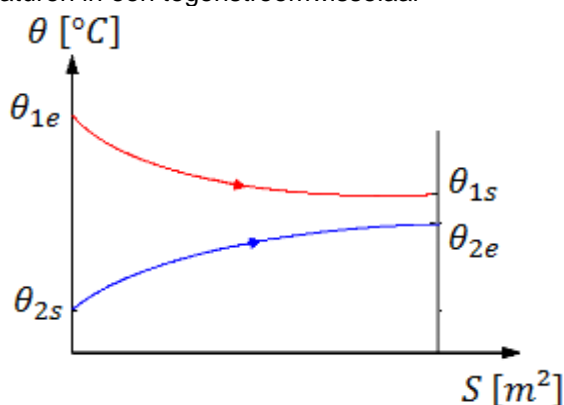
$$\Delta\theta = \frac{(\theta_{1e} - \theta_{2s}) - (\theta_{1s} - \theta_{2e})}{\ln\left(\frac{\theta_{1e} - \theta_{2s}}{\theta_{1s} - \theta_{2e}}\right)} = \text{gemiddeld logaritmisches temperatuurverschil in K}$$

De ontwikkeling van de temperaturen in een gelijkstroomwisselaar



Figuur 4:10

De ontwikkeling van de temperaturen in een tegenstroomwisselaar



Figuur 4:11

De uitdrukking $\Delta\theta$ is groter wanneer de warmte-uitwisseling tussen twee middelen tegen de stroom in gebeurt. Het uitgewisselde vermogen zal groter zijn.

Het ladingverlies kant lucht van de batterijen moet zo veel mogelijk beperkt worden. Het wordt aanbevolen om te streven naar de categorie "kleine ladingverliezen" van de volgende tabellen (uittreksel van EN 13779 voor de batterijen):

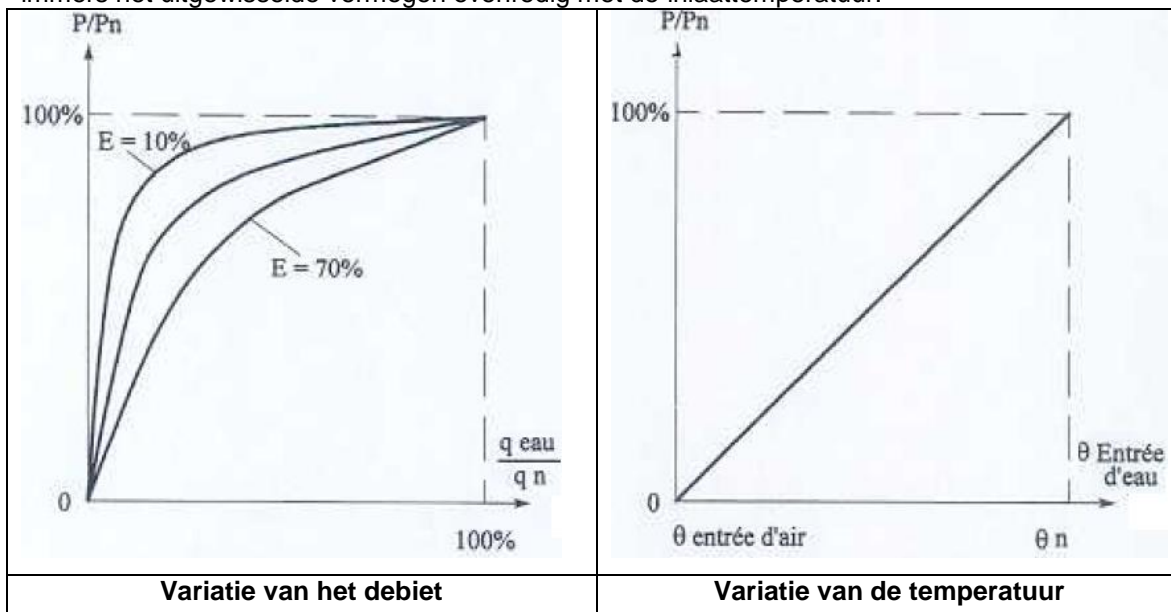
Maximale ladingverliezen			
Component	Kleine ladingverliezen [Pa]	Gemiddelde ladingverliezen [Pa]	Grote ladingverliezen [Pa]
Warme batterij	40	80	120
Koude batterij	100	140	180

Figuur 4:12

Het verbruik van de ventilator zal altijd duidelijk groter zijn dan het verbruik van de pomp die het warme of koude water doet circuleren.

Goede werkwijze: de frontale doorloopsnelheid van de lucht in de wisselaars moet binnen een bereik van 2 tot 3,5 m/s schommelen.

Om het vermogen van de batterij te laten variëren, moet ofwel het waterdebiet (met een 2-weg- of 3-wegklep) ofwel de inlaattemperatuur van het water afgesteld worden. (met een 3-wegklep en een pomp)
 De regeling door variatie van het debiet is de meest gebruikte oplossing, want ze kost minder. Voor kleinere debieten is de vermogensvariatie zeer groot, wat de regeling bemoeilijkt (instabiliteit, pompen). Dit fenomeen wordt versterkt voor een lage efficiëntie; een batterij met een efficiëntie lager dan 10 % kan niet op deze manier geregeld worden.
 De regeling door variatie van de inlaattemperatuur van het water is een betere oplossing. Op die manier is immers het uitgewisselde vermogen evenredig met de inlaattemperatuur.

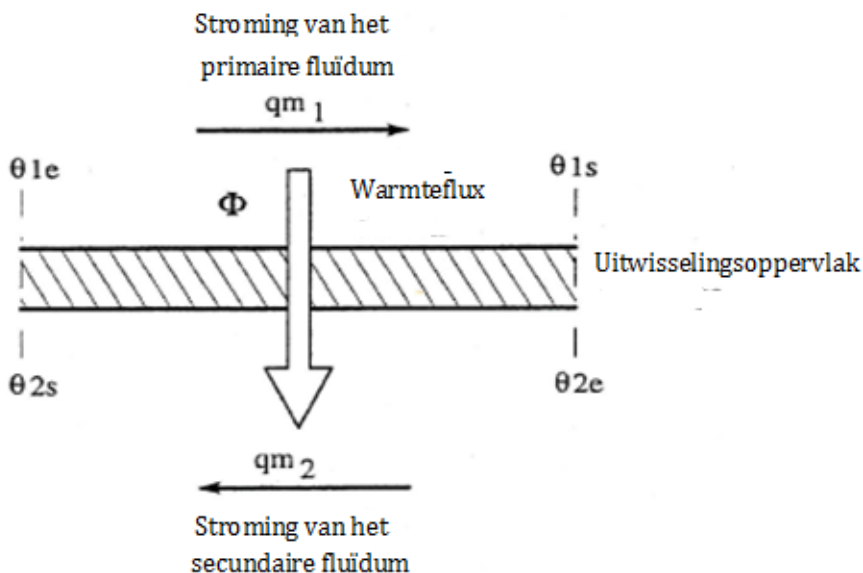


Figuur 4:13

4.1.2.1 Doeltreffendheid van een batterij

Voor de verwarmingsbatterij wordt de efficiëntie van een wisselaar gedefinieerd aan de hand van de formule:

$$E = \frac{\text{werkelijke overgedragen vermogen}}{\text{maximaal overgedragen vermogen}} \quad E = \frac{\sup(\Delta\theta_1, \Delta\theta_2)}{\Delta\theta_e}$$



$$\Delta\theta_1 = \theta_{1e} - \theta_{1s}$$

$$\Delta\theta_2 = \theta_{2s} - \theta_{2e}$$

$$\Delta\theta_e = \theta_{1e} - \theta_{2e}$$

Figuur 4.14

Belangrijk is hierbij de prognose van het gedrag van de wisselaar in andere omstandigheden dan de omstandigheden die gebruikt werden bij zijn dimensionering.

Voorbeeld 1:

Een warme batterij die gevoed wordt met water van 90/70 °C verwarmt een debiet van 0,5 kg/s buitenlucht voor. Ze is gedimensioneerd voor de voorverwarming van deze lucht van -10 °C tot +5 °C. Voor een buitentemperatuur = +5 °C, het volgende bepalen:

- Uitlaattemperatuur van de lucht
- Vermogen van de batterij
- Uitlaattemperatuur van het water

$$P = Q \times c \times \Delta\theta = 0,5 \left[\frac{kg}{s} \right] \times 1 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \times (5 - (-10)) [K] = 7,5 [kW]$$
$$q = \frac{P}{c \times (\Delta\theta)} = \frac{7,5 [kW]}{4,18 \left[\frac{kJ}{kg \cdot K} \right] \times (90 - 70) [K]} = 0,09 \left[\frac{kg}{s} \right] = \text{waterdebiet}$$

$$\Delta\theta_1 = 90 - 70 = 20$$

$$\Delta\theta_2 = 5 - (-10) = 15$$

$$\Delta\theta_e = 90 - (-10) = 100$$

$$E = \frac{20}{100} = 20 \%$$

$$\theta_{1s} = 90 - 0,2 \times (90 - 5) = 73 \text{ °C}$$

$$P = 0,09 \times 4,18 \times (90 - 73) = 6,4 \text{ kW}$$

$$\theta_{2s} = 5 + \frac{6,4}{0,5 \times 1} = 17,8 \text{ °C}$$

Voorbeeld 2:

Een luchtbehandelingscentrale bereidt een debiet voor van 2 kgas/s buitenlucht tot een temperatuur van 20 °C. Het warme water wordt geproduceerd door een ketel tot 80 °C of door recuperatie van de koelmachine tot 45 °C. De temperaturen gebruikt voor de dimensionering:

warmwaterinlaat $\theta_{1e} = 80 \text{ °C}$

warmwateruitlaat $\theta_{1s} = 65 \text{ °C}$

luchtinlaat $\theta_{2e} = -5 \text{ °C}$

luchtuillaat $\theta_{2s} = 20 \text{ °C}$

Vermogen verwarmingsbatterij: $P = 2 \times 1 \times (20 - (-5)) = 50 \text{ kW}$

Warmwaterdebiet: $q_m = 50 / (4,18 \times (80-65)) = 0,8 \text{ kge/s}$

$$E = \frac{\sup(\Delta\theta_1, \Delta\theta_2)}{\Delta\theta_e}$$

Waarbij $\Delta\theta_1 = 80 - 65 = 15 \text{ °C}$

$\Delta\theta_2 = 20 - (-5) = 25 \text{ °C}$

$$E = \frac{25}{80 - (-5)} = \frac{25}{85} = 30\%$$

$$E = \frac{\theta_{2s} - \theta_{2e}}{\theta_{1e} - \theta_{2e}} \rightarrow \theta_{2e} = \frac{\theta_{2s} - E \times \theta_{1e}}{1 - E} = \frac{20 - 0,30 \times 45}{1 - 0,3} = 9 \text{ °C}$$

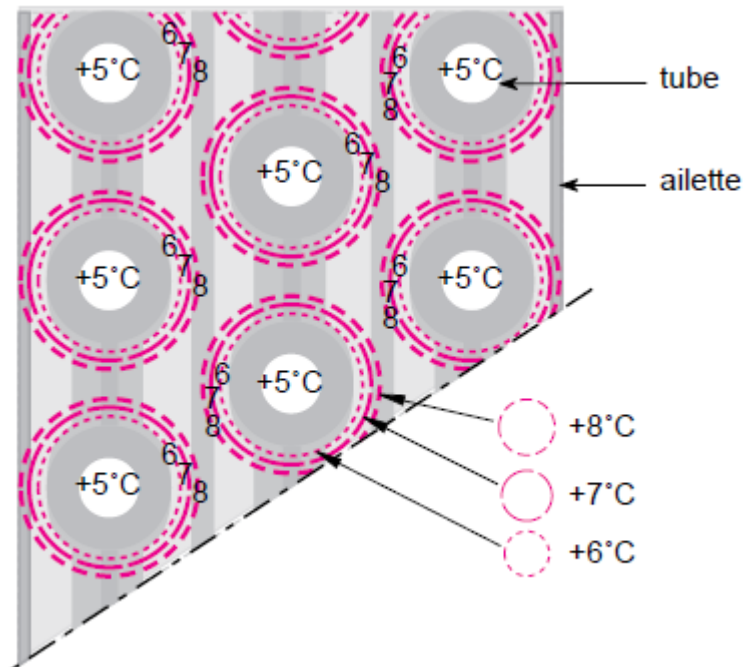
Voor buitentemperaturen van meer dan 9 °C levert de recuperatie de noodzakelijke warmte en wordt de ketel niet meer belast.

De batterij bestaat uit:

- **buizen** waarin het koelmiddel stroomt,
- **ribben** gefelst op de buizen.

Met deze structuur kan het contactoppervlak met de lucht vergroot worden.

Maar de temperatuur van het contactoppervlak is niet gelijkmatig: ze verandert met de afstand tot de koudebron.



Figuur 4:15

De luchtstromen komen naar buiten aan verschillende temperaturen: de stromen in direct contact met de buizen worden afgekoeld aan lagere temperaturen dan de stromen die enkel in contact komen met de rib. De temperatuur gemeten aan de uitlaat van de batterij is het gevolg van het mengen van de verschillende temperaturen: dit is de bypassfactor BF

De efficiëntie van een koude batterij kan gedefinieerd worden als het percentage behandelde lucht ten opzichte van de totale luchtmassa: $\varepsilon = 1 - BF$

De kenmerken die een invloed hebben op "BF" zijn:

- Extern uitwisselingsoppervlak (aantal buizen; ruimte tussen de ribben): hoe kleiner het uitwisselingsoppervlak, hoe groter BF
- Doorloopsnelheid van de lucht: hoe kleiner de snelheid, hoe kleiner BF (langere contacttijd tussen de lucht en het uitwisselingsoppervlak)

De invloed van het uitwisselingsoppervlak is groter dan die van de snelheid.

De gebruikelijke waarden van [BF] liggen tussen 6 en 35 %, met een gemiddelde van 20 %.

4.1.2.2 Afvoer condensaten afkoelingsbatterij

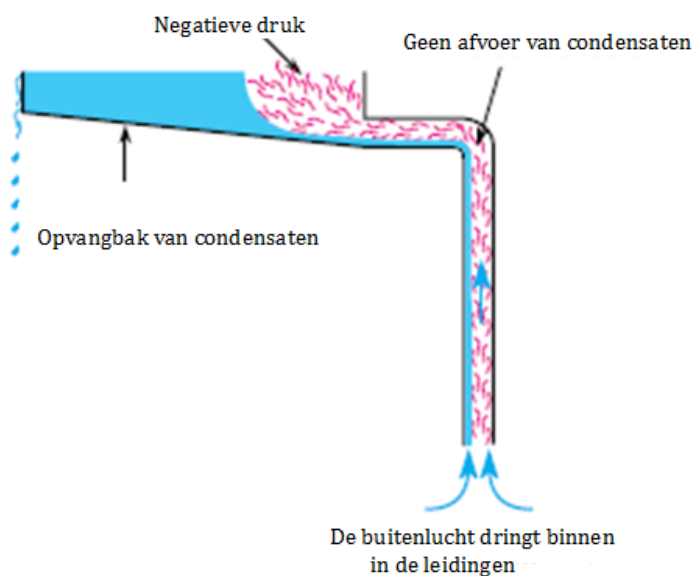
Alle koude batterijen, zowel de batterijen op water als de batterijen met directe expansie, zijn uitgerust met een opvangbak voor condensaten. Het op de batterij gecondenseerde water wordt opgevangen in de opvangbak.

Deze is aangesloten op een afvoerbuis naar een **sifon** in de openlucht.

De ventilator "trekt" het water eigenlijk "aan" en verhindert de afvoer ervan. Opdat het water zou wegstromen, hebben we een compensatiekamer nodig (B)

De rol van de sifon zorgt voor

- een goede afvoer van het water.
- Bij een systeem met onderdruk (koude batterij voor de ventilator) verhindert hij de inlaat van buitenlucht.
- Bij een **systeem met overdruk (koude batterij na de ventilator)** voorkomt hij een verlies van inblaaslucht.

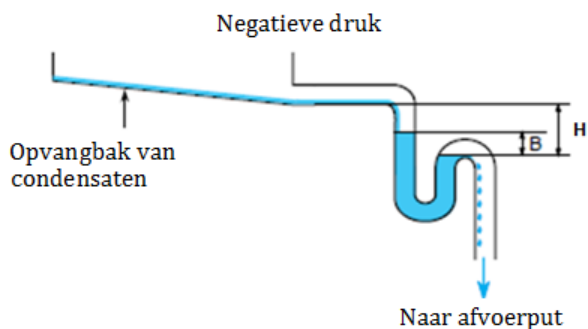


Figuur 4:16

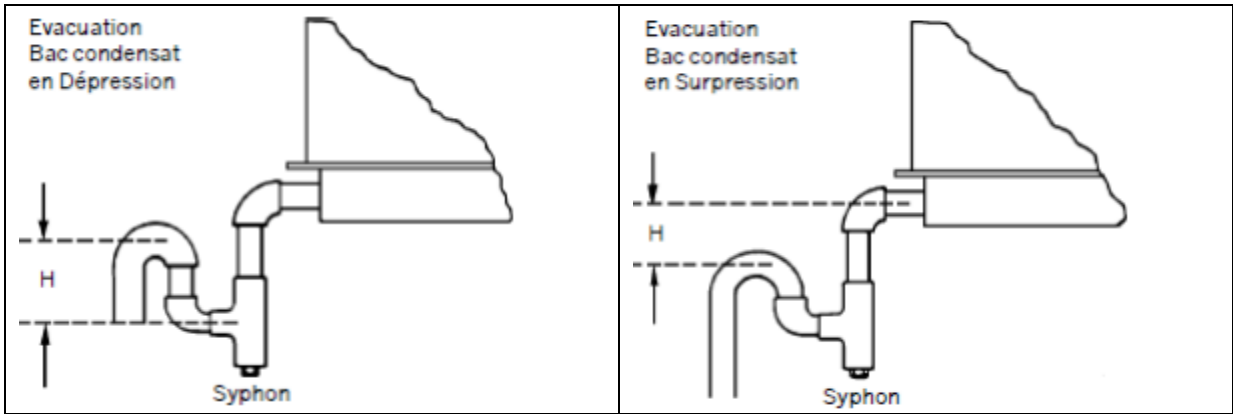
Indien geen sifon aanwezig is, verdwijnt de buitenlucht in de leidingen en verhindert zo de afvoer van de condensaten.

De waterbak loopt over en waterdruppels worden door de lucht meegenomen in de verluchtungskokers.

Bij een ventilator in bedrijf zal het niveau van de condensaten B gestabiliseerd worden op de waarde van de negatieve druk van het systeem. De waarde H moet gelijk zijn aan ten minste twee keer de waarde van deze negatieve druk.



Figuur 4:17



Figuur 4:18

4.1.3 BEVOCHTIGERS

De bevochtiger moet het watergehalte in de behandelde lucht doen toenemen, dit wil zeggen de absolute vochtigheid vergroten. Opdat er bevochtiging zou plaatsvinden, is een nauw en intensief contact tussen de lucht en de bron van vochtigheid noodzakelijk. Deze bron van vochtigheid kan verstoven water of damp zijn.

Er bestaan twee grote soorten bevochtigers: wasser met gerecycleerd water, dampwasser
De verschillende soorten bevochtigers:

- Bevochtigers met water;
- Bevochtigers-wassers;
- Bevochtigers door evaporatie;
- Bevochtigers met vaste nozzles en door verstuuving van door perslucht geatomiseerd water;
- Bevochtigers door verstuuving van door een draaiende nozzle geatomiseerd water;
- Bevochtigers door verstuuving van door centrifugeren geatomiseerd water;
- Bevochtigers door verstuuving van door ultrasone trillingen geatomiseerd water;
- Dampbevochtigers;

4.1.3.1 "wasser" met gerecycleerd water

We vinden **wassers met afvloeiing**, of wassers met **verstuiving**.

Bij de **wassers met afvloeiing** wordt het water verdeeld bovenaan een alveolaire structuur ("bijenkorf") of een cassette met koorden ("amazone"), om een groot oppervlak te voorzien voor de uitwisseling van lucht en water. Met deze technologie bereikt men een grote efficiëntie op een kleine ruimte. Het contactoppervlak tussen lucht en water moet maximaal zijn, dankzij

- de doorstroming van het water in een alveolaire structuur van het type bijenkorf,
- de impregnatie van het water in een speciaal medium waardoor lucht binnendringt,
- de afvloeiing van het water op een oppervlak dat in contact is met de lucht.

De niet-verdampte fractie van het water wordt opgevangen in de bak en gerecycleerd.

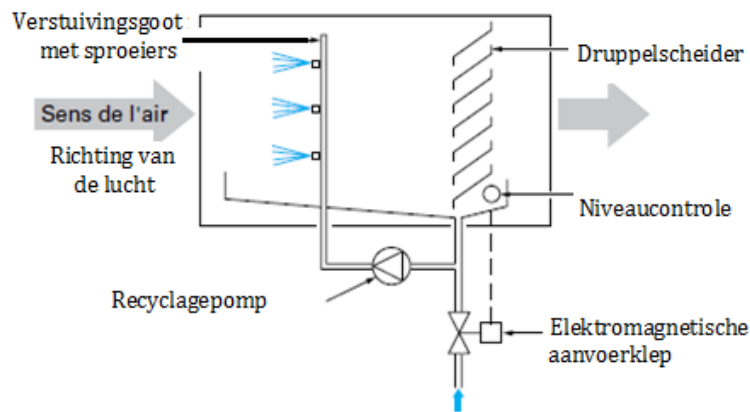
De **verdamping** bestaat in het mechanisch voortstuwen en verstuuven van een waterstraal. Men spreekt van een "luchtwasserskast". Het principe bestaat in het creëren van een fijne mist door zwevende microdruppeltjes koud water. Om te vermijden dat waterdruppeltjes in het onderdeel of in de luchtkoker terechtkomen, gebruikt men wat men noemt een **druppelafscheider**. Het overtollige water dat niet verdampt kon worden, valt in de bak onderin de kast, waar een pomp het recycleert naar de sproeiergoot.

Om kalkaanslag op de verstuuvers, de bak, de kokers en de "amazones" te vermijden, wordt aangeraden water te gebruiken dat verzacht en vervolgens gemengd is om een hardheid van 7 tot 15°F te bereiken. Het wordt aanbevolen regelmatig de kwaliteit van het water in de bevochtigingsbak te controleren: vanuit chemisch (geleidbaarheid, hardheid, ...) en bacteriologisch oogpunt (totale kiemen, legionella pneumophila, ...). Andere aanbevelingen: de bak leegmaken om stilstand van het water te vermijden, regelmatig reinigen, de staat van het oppervlak controleren.



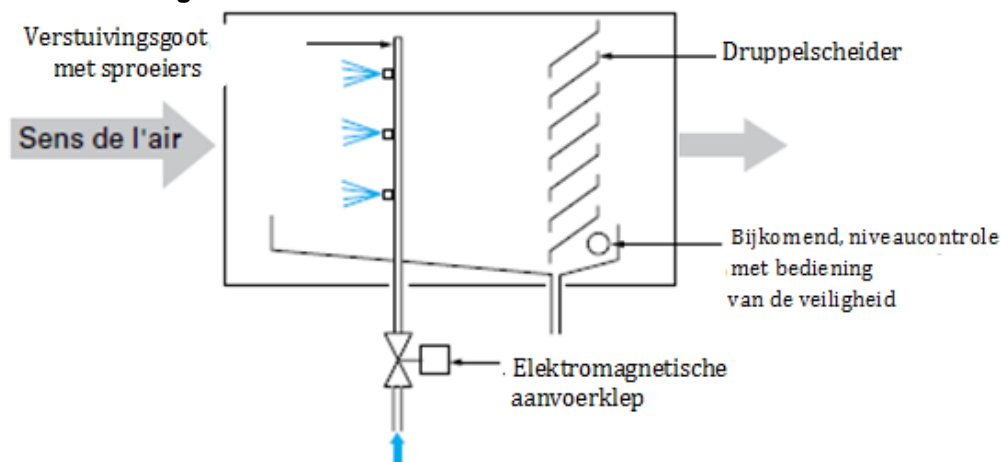
Figuur 4.19 Cassette "Amazone"

Met verstuiving met recyclage voor pomp



Figuur 4:20

Met verstuiving met waterverlies



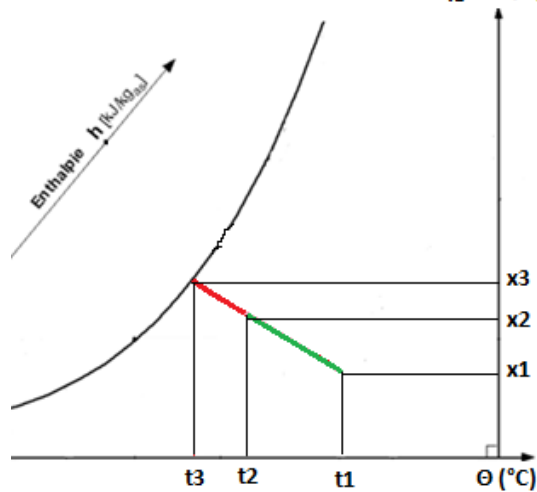
Figuur 4:21

Het verdampte water bevat geen zouten. Ze komen met het overtollige water in de bak onderin de bevochtiger terecht. De concentratie zouten in het water van de bak neemt regelmatig toe, zodat een deconcentratie wordt voorzien door een periodieke verversing van dat water. Een vlotterkraan zorgt voor de automatische watertoevoer, om de verliezen door verdamping en door het deconcentratiedebiet te compenseren. De deconcentratiefrequentie kan geautomatiseerd worden door meting van de elektrische geleidbaarheid, die toeneemt met het gehalte aan zouten. De constructeur verduidelijkt doorgaans het te respecteren percentage deconcentratie naargelang van de kwaliteit van het water
De controle van een eventuele bevochtiging van de koker aan de uitlaat van de kast is nuttig om de ontwikkeling van kiemhaarden te voorkomen. Dit zou het gevolg kunnen zijn van een te grote luchtsnelheid in de kast, waardoor druppels verder dan de scheider meegenomen worden.

Het **rendement** van de bevochtiger (of de efficiëntie ε) met verstuiving is gelijk aan de volgende verhouding:

$$\varepsilon = \frac{t_1 - t_2}{t_1 - t_3} = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_3}$$

X (greau/kg as)



Figuur 4:22

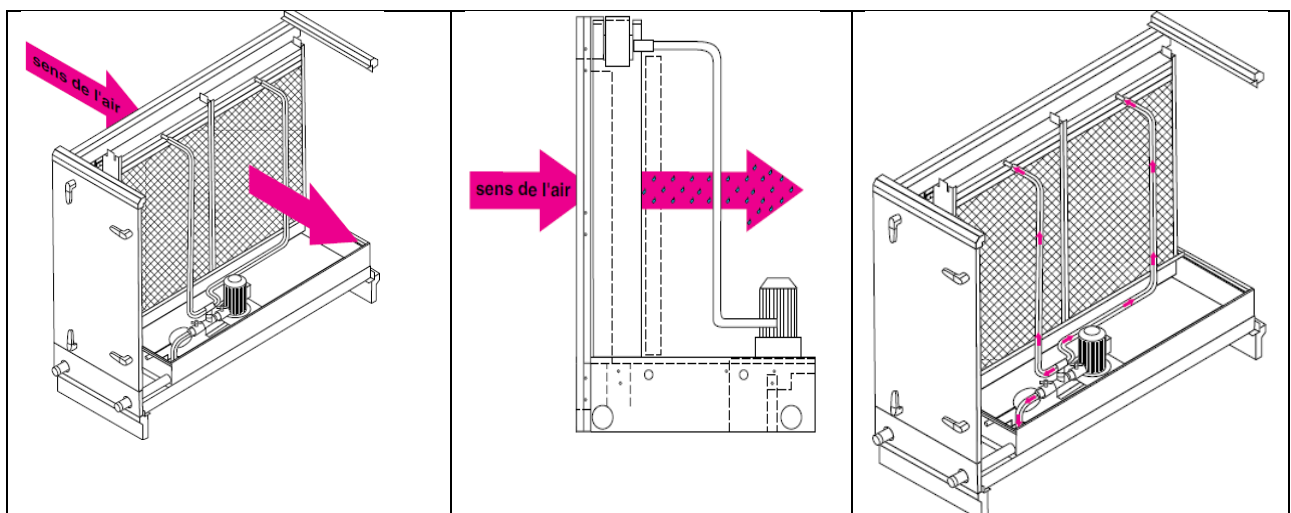
Het rendement (of de efficiëntie) is afhankelijk van:

- de fijnheid van de waterdruppeltjes, dus van de kwaliteit van de verstuiving,
- de duur van het contact tussen de lucht en het water, dus van de afmetingen van de bevochtigingskast. (Aangezien het water een gegeven valsnelheid heeft en de centrale een beperkte hoogte, kan het noodzakelijk zijn om het aantal verstuivingsgoten te vermeerderen, om de duur van het contact te verlengen).

De bevochtiging met waterverlies is zeer duur. Er bestaat immers een verhouding van 1 tot 10 tussen de hoeveelheid verstoven water (dus aangewend) en de werkelijk geabsorbeerde hoeveelheid water (dus verbruikt).

De bevochtiger door afvloeiing met recyclage met pomp functioneert als volgt:

1. Het water vloeit af over een drager met een zeer groot oppervlak.
2. De lucht stroomt door de dikte van deze drager en komt in contact met het vochtige oppervlak.
3. Het water verdampt onder invloed van de warmte afgegeven door de lucht.



Figuur 4:23

4.1.3.2 Met damp

De voordelen ten opzichte van bevochtiging met water zijn de volgende:

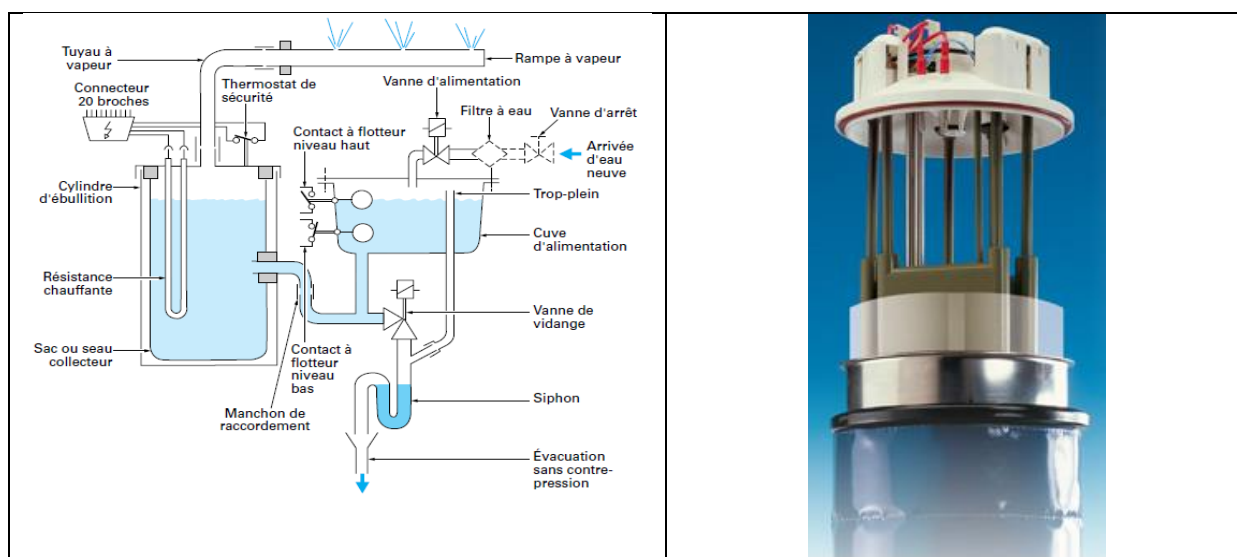
- hoog rendement; er kan een relatieve vochtigheid van 90 tot 95 % bereikt worden.
- geen druppelafscheiders
- aanvoer van steriele vochtigheid
- isothermisch proces (geen batterij voor naverwarming)

Maar men moet rekening houden met:

- het energieverbruik door de productie van damp
- de opvolging van de kalkaanslag op de bevochtigers of het behoud van de vereiste waterkwaliteit voor de dampproductie-installatie

Er zijn twee soorten bevochtigers:

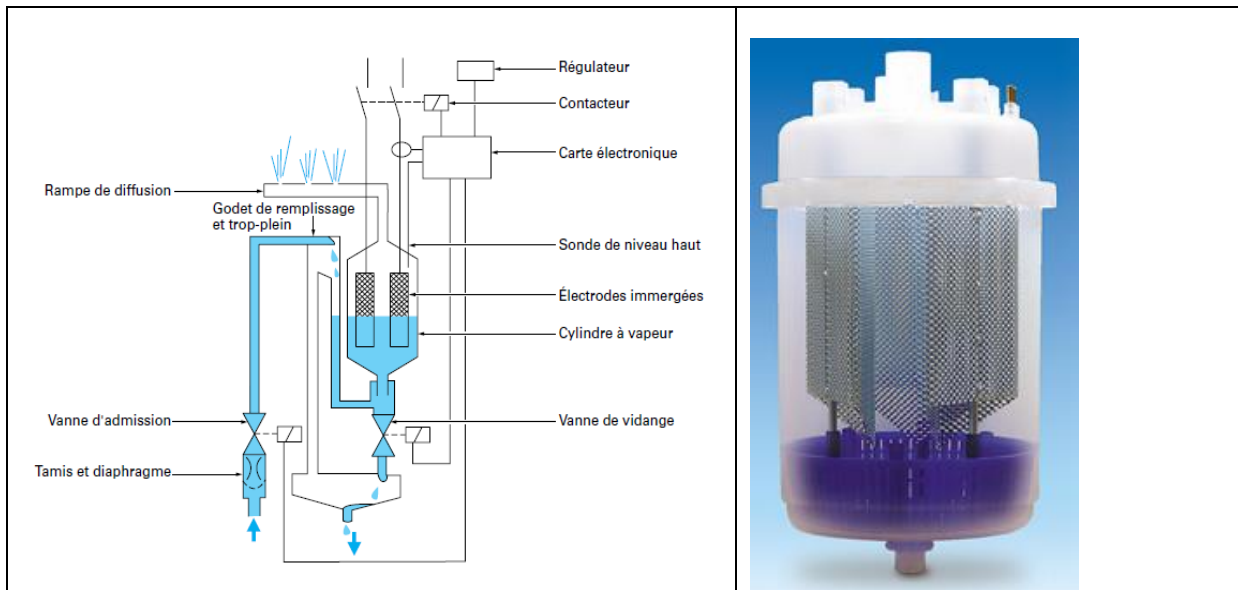
- **Met weerstand**



Figuur 4:24

De variatie van het dampdebiet wordt gecreëerd door de variatie van het elektrische vermogen van de weerstanden.

- **Met elektroden**



Figuur 4:25

De variatie van het dampdebiet wordt gecreëerd door de variatie van het waterpeil. Het water doet dienst als stroomgeleider tussen twee elektroden, dankzij de minerale zouten die het bevat. De sterkte, dus het elektrische vermogen, is evenredig met het natte oppervlak van de elektroden.

Het gebruik van elektrische dampbevochtigers wordt beperkt tot toepassingen met een laag debiet of toepassingen die zeer strenge eisen stellen aan de luchtkwaliteit.

In "grote installaties" kan de damp geproduceerd worden door een of meerdere stoomketels.

4.1.3.3 Bevochtiging door atomisatie of "verneveling" (geen recyclage)

Er bestaan meerdere systemen om de lucht door atomisatie te bevochtigen: ultrasone trillingen, perslucht, rotor die draait aan hoge snelheid, ... Het principe bestaat in het produceren van zeer fijne druppeltjes ("nevel").

Voordelen:

- Laag energieverbruik
- Hoog rendement
- Het water stagneert niet in een bak

Letten op:

- Aanbevelingen inzake waterkwaliteit (vaak ionenvrij water)
- Slijtage van onderdelen (hoge draaisnelheid, zeer kleine openingen, ...)

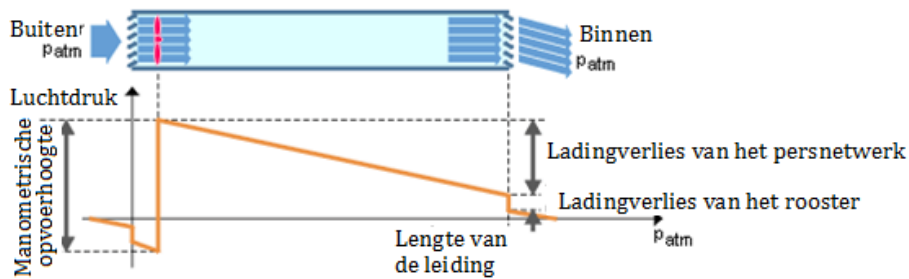


Figuur 4:27

Voorbeelden van verstuiver door atomisatie: rotor, ultrasone trillingen, perslucht

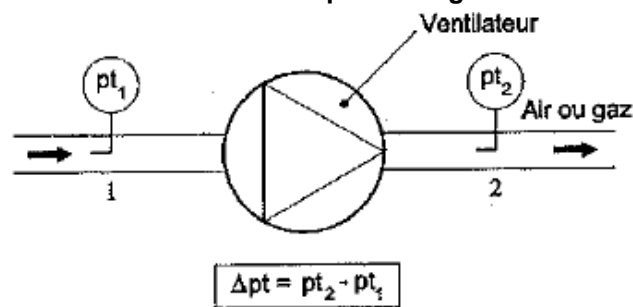
4.1.4 VENTILATOREN

Een ventilator is een turbomachine die een drukverschil (kleiner dan 30000 Pa) kan creëren die de stroming van lucht tussen de inlaat en de uitlaat mogelijk maakt. De ventilator levert aan de lucht een groot deel van de mechanische energie die hij ontvangt van zijn as. Het totale drukverlies gekoppeld aan de weerstand van het verdeelnetwerk tegen het wegstromen van een gegeven luchtdebiet wordt "**ladingverlies**" van het netwerk genoemd.



Figuur 4:28

Het totale drukverschil Δp_t wordt "**manometrische opvoerhoogte**" van de ventilator of "**belasting van de ventilator**" genoemd.

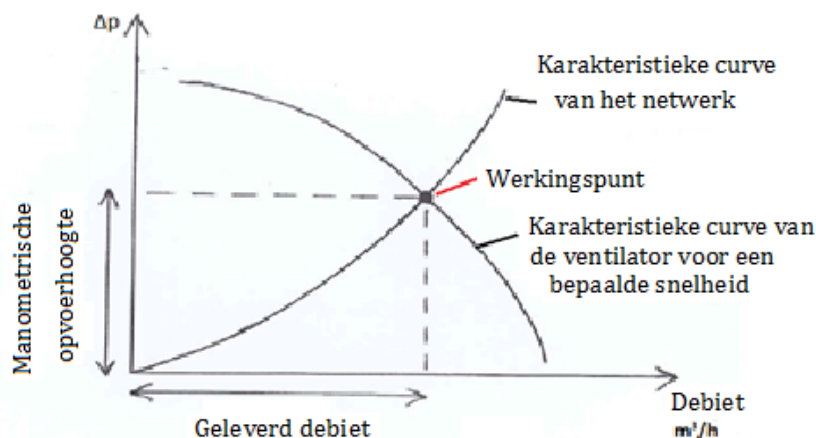


p_{t_1} : Pression totale à l'entrée du ventilateur [Pa]

p_{t_2} : Pression totale à la sortie du ventilateur [Pa]

Figuur 4:29






Als we een ventilator op een verluchttingscircuit aansluiten, zal hij zijn debiet stabiliseren op een waarde waarop de druk die hij levert gelijk is aan de weerstand van het circuit. Dit punt is het enige mogelijke werkingpunt. Het komt overeen met het snijpunt van de karakteristieke curven van de ventilator en van het circuit. Het definieert de manometrische opvoerhoogte en het debiet geleverd door de ventilator, wanneer hij, bij een gegeven snelheid, op het betreffende netwerk wordt aangesloten.



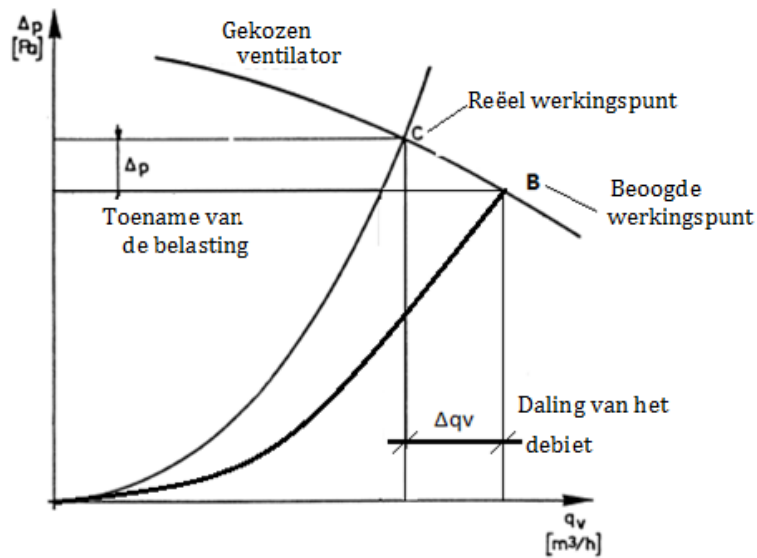
Figuur 4:30

4.1.4.1 Soorten ventilatoren

Er zijn meerdere indelingen mogelijk. De meest gebruikelijke indeling is gebaseerd op de baan van de lucht in het wiel. We onderscheiden centrifugaalventilatoren, schroefventilatoren en dwarsstroomventilatoren.

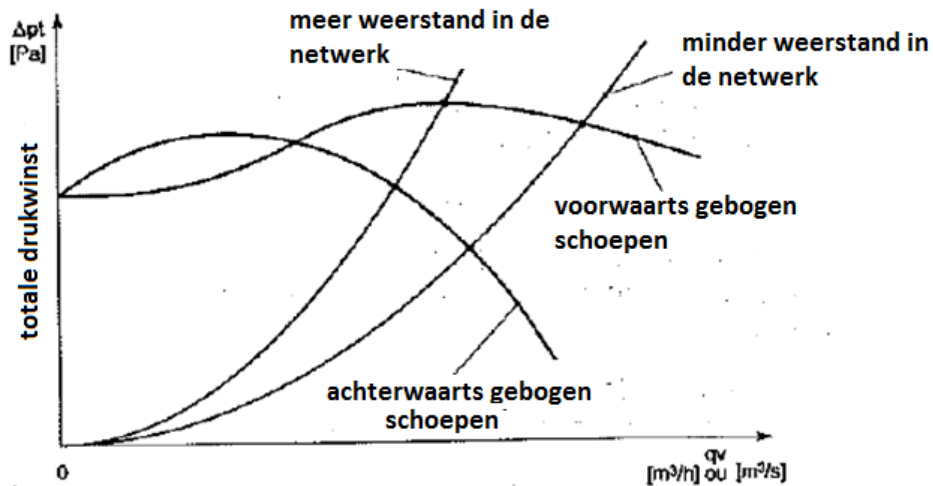
VRIJ WIEL OF GEMIDDELDE DRUK Beschikbare druk > 1500 Pa	Reactie-centrifugaalventilator (Gemiddelde Druk) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De lucht komt binnen langs de rotatieas en gaat loodrecht op de as buiten via het slakkenhuis ▪ Weinig bladen (6...12), naar achter gedraaid (/draairichting) ▪ Relatief hoog rendement ▪ Bij een gegeven rotatiesnelheid is het mechanische vermogen nagenoeg constant. ▪ Het luchtdebiet is relatief weinig afhankelijk van het ladingverlies (verticale curve)
	"Vrij wiel" of schroef-centrifugaalventilator 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gelijkaardig aan de reactie-centrifugaalventilator maar zonder slakkenhuis ▪ In theorie moet de lucht radiaal uitgestoten worden; in werkelijkheid draait deze rond het wiel. ▪ Correct rendement maar lager dan het rendement van de reactie-centrifugaalventilatoren (er wordt steeds dynamische druk verloren) ▪ Vaak gebruikt om een axiale wegstroming te creëren ▪ Vaak geleverd met zijn motor ▪ Het luchtdebiet is relatief weinig afhankelijk van het ladingverlies (verticale curve)
LAGE DRUK Beschikbare druk < 1500 Pa	Actie-centrifugaalventilator (Lage Druk) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De lucht komt binnen langs de rotatieas en gaat loodrecht op de as buiten ▪ Vele kleine bladen, naar voor gedraaid (/draairichting) ▪ Relatief laag rendement ▪ Bij een gegeven rotatiesnelheid schommelt het mechanische vermogen veel ten opzichte van het werkingpunt. ▪ Het luchtdebiet schommelt veel ten opzichte van het ladingverlies (horizontale curve)
	Dwarsstroom 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ De lucht komt binnen en gaat buiten in een richting loodrecht op de rotatieas. ▪ Veel smalle maar lange bladen ▪ Zeer weinig beschikbare druk ▪ Prestaties zeer gevoelig voor de uitlijning van de componenten
SCHROEF Geen druk beschikbaar	Schroef 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Axiale wegstroming aan de inlaat en uitlaat ▪ Weinig beschikbare druk ▪ Vaak geleverd met zijn motor, behuizing, rooster ▪ In de meeste gevallen wordt de dynamische druk niet gebruikt (wandventilator)

Tijdens het onderzoek van het voorontwerp bevindt het werkingpunt zich op het snijpunt van de karakteristieke curve van de ventilator voor de gekozen rotatiesnelheid en van de karakteristieke curve van het netwerk. In werkelijkheid is het ladingverlies van het netwerk groter dan gepland: het werkingpunt lijkt naar rechts of naar links te schuiven ten opzichte van het theoretische punt op de karakteristieke curve van de ventilator.

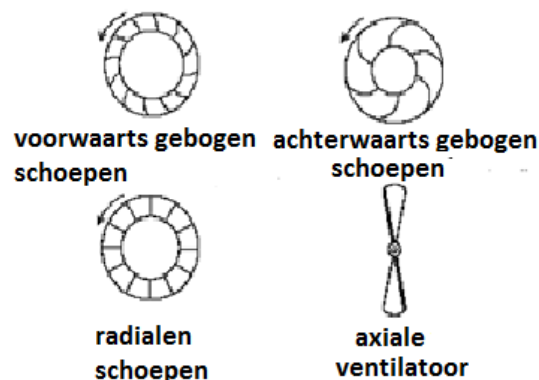


Figuur 4:31

Bijgevoegde grafiek toont de ontwikkeling van de totale drukwinst van de actie- en reactiecentrifugaalventilatoren



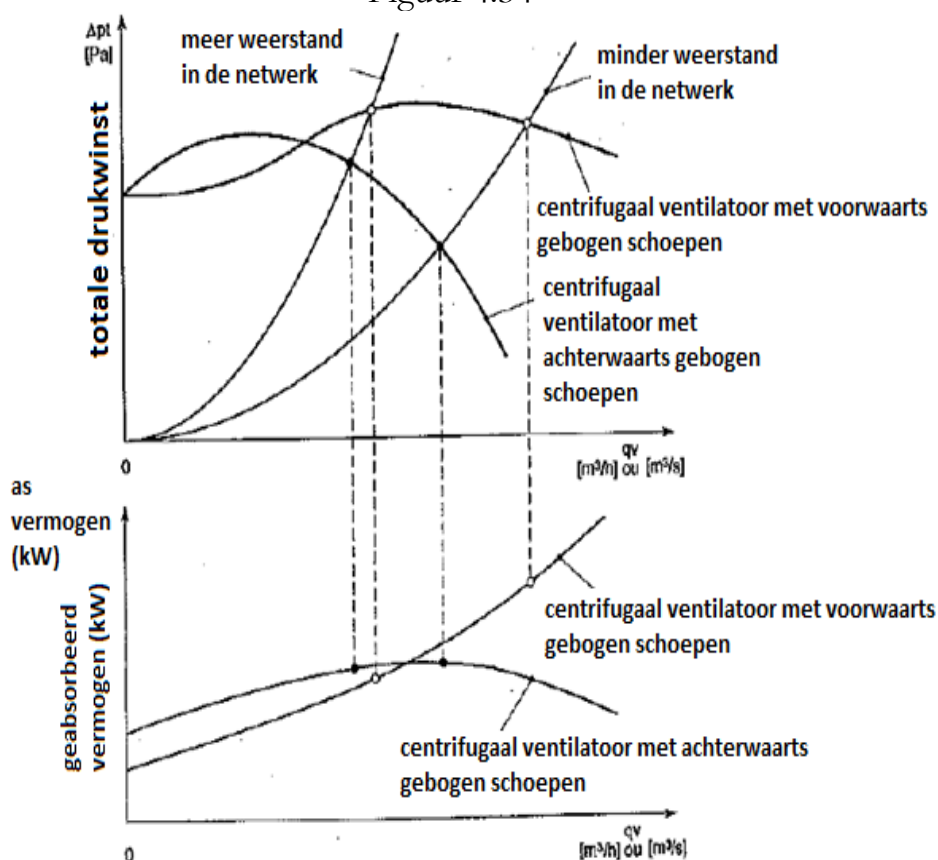
Figuur 4:32



Figuur 4:33

Criteria voor vergelijking	Voorwaarts gebogen schoepen-ventilator	Achterwaarts gebogen schoepen-ventilator
Variatie van het debiet wanneer de weerstand van het circuit verandert	GROOT	KLEIN
Variatie van de drukwinst wanneer het debiet van het circuit verandert	KLEIN	GROOT
Mogelijke draaisnelheid	KLEIN (bepaalde mechanische weerstand van de schoepen)	GROOT (grote mechanische weerstand van de schoepen)
Mogelijke drukwinst	GEMIDDELD	GROOT
Geabsorbeerd vermogen	Stijgt met het debiet	Stijgt met het debiet, daalt vervolgens na een maximum
Rendement	60 tot 75 %	75 tot 85 %
Geluidsniveau	Gematigd	Hoog

Figuur 4:34



Figuur 4:35

Dit voorbeeld geeft aan dat als een netwerk meer weerstand biedt dan gepland met een reactieventilator, dit leidt tot:

- een daling van het volumedebiet
- een toename van de totale drukwinst
- een daling van het geabsorbeerd vermogen van de as van de ventilator

De centrifugaalventilatoren met voorovergebogen schoepen ("actieveventilatoren"), vaak gebruikt in klimaatregelingsgroepen, hebben een kleiner maximaal rendement dan het rendement van de ventilatoren met achterovergebogen schoepen ("reactieveventilatoren").

We kunnen dus overwegen ze te vervangen om het stroomverbruik te verminderen.

Het is mogelijk:

- enkel het **actiewiel** te vervangen door een reactiewiel van dezelfde grootte, met behoud van de behuizing van de ventilator. De rendementswinst is klein. De actieveventilator is immers gekozen om te functioneren aan zijn maximaal rendement en het werkingpunt bevindt zich niet op het maximale rendement van de reactieveventilator. Bovendien is de draaisnelheid van de reactieveventilator veel groter, wat een wijziging van de riemtransmissie met zich brengt en vooral een groter geluidsvermogen genereert
- de actieveventilator te vervangen door een grotere reactieveventilator. De goed te keuren investering is veel groter, aangezien men de ventilator en diens aansluiting op het netwerk moet vervangen. De nieuwe ventilator zal daarentegen een duidelijk beter rendement opleveren. Er wordt dus meer energie bespaard. De snelheid van de nieuwe ventilator zal nog steeds groter zijn dan die van de actieveventilator, maar kleiner wanneer men enkel het wiel vervangt.

Ter herinnering: de besparingsmogelijkheden (dit wil zeggen op het verbruik) situeren zich op twee niveaus:

Verbruik (kWh /jaar) = vermogen (kW) x bedrijfstijd (uren/jaar)

- De bedrijfstijd
Als er geen behoefte bestaat, wordt het systeem uitgeschakeld.
- Het vermogen
Het vermogen van de turbomachine is evenredig met de draaisnelheid: het vermogen daalt als de draaisnelheid daalt.

4.1.4.2 Aandrijving van de ventilatoren

Er worden vier soorten aandrijving voor de ventilatoren gebruikt:

➤ Directe aandrijving

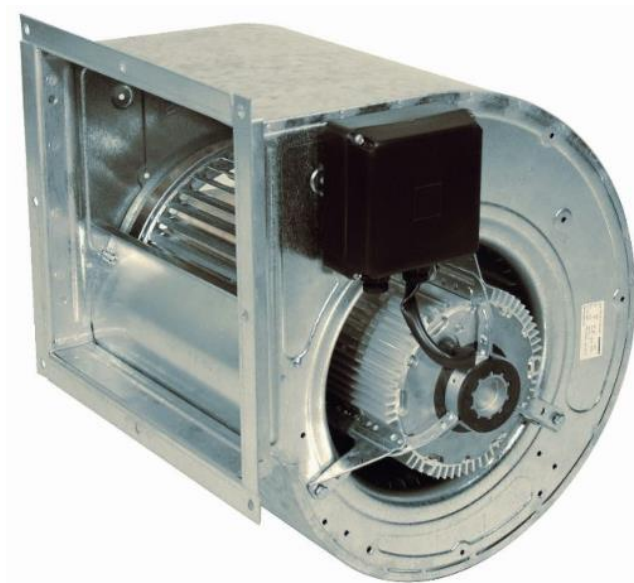
Het wiel is rechtstreeks op de as van de motor bevestigd. De snelheid kan enkel gewijzigd worden indien motoren met meerdere snelheden gebruikt worden, of, beter nog, door de motor te sturen met een snelheidsregelaar.



Figuur 4:36

➤ Directe aandrijving door motor met externe rotor

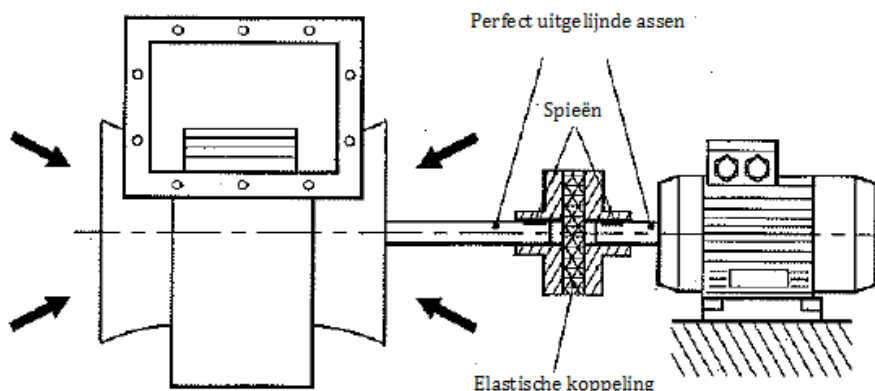
De rotor staat in verbinding met de bladen van de schroefventilator of met de schoepen van de centrifugaalventilator.



Figuur 4:37

➤ Aandrijving door elastische koppeling

De as van de motor en de as van de ventilator zijn apart. Een elastisch, rubberen element wordt tussen de twee helften van de koppeling geplaatst. De snelheid kan enkel gewijzigd worden indien motoren met meerdere snelheden gebruikt worden, of, beter nog, door de motor te sturen met een snelheidsregelaar.

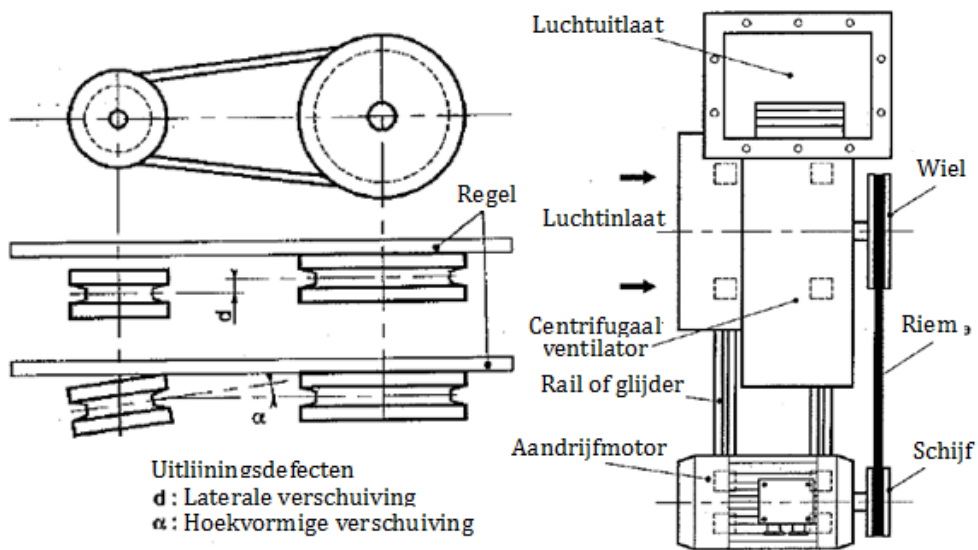


Figuur 4:38

➤ Aandrijving met riem

Een of meerdere riemen zorgen voor de verbinding tussen de schijf van de motor en de schijf van de ventilator.

De riemtransmissie is een bron van verliezen die groot kunnen worden bij een slechte afstelling. Men moet de spanning van de riemen en de uitlijning van de schijven controleren. De handelingen maken deel uit van het onontbeerlijke onderhoud voor een zuinige werking van de installatie.



Figuur 4:39

4.1.4.3 Kenmerken van een ventilator

De karakteristieke curven van een ventilator tonen de ontwikkeling van de belangrijkste kenmerken volgens het gepulseerde volumedebiet. Voor elke ventilator zijn dit:

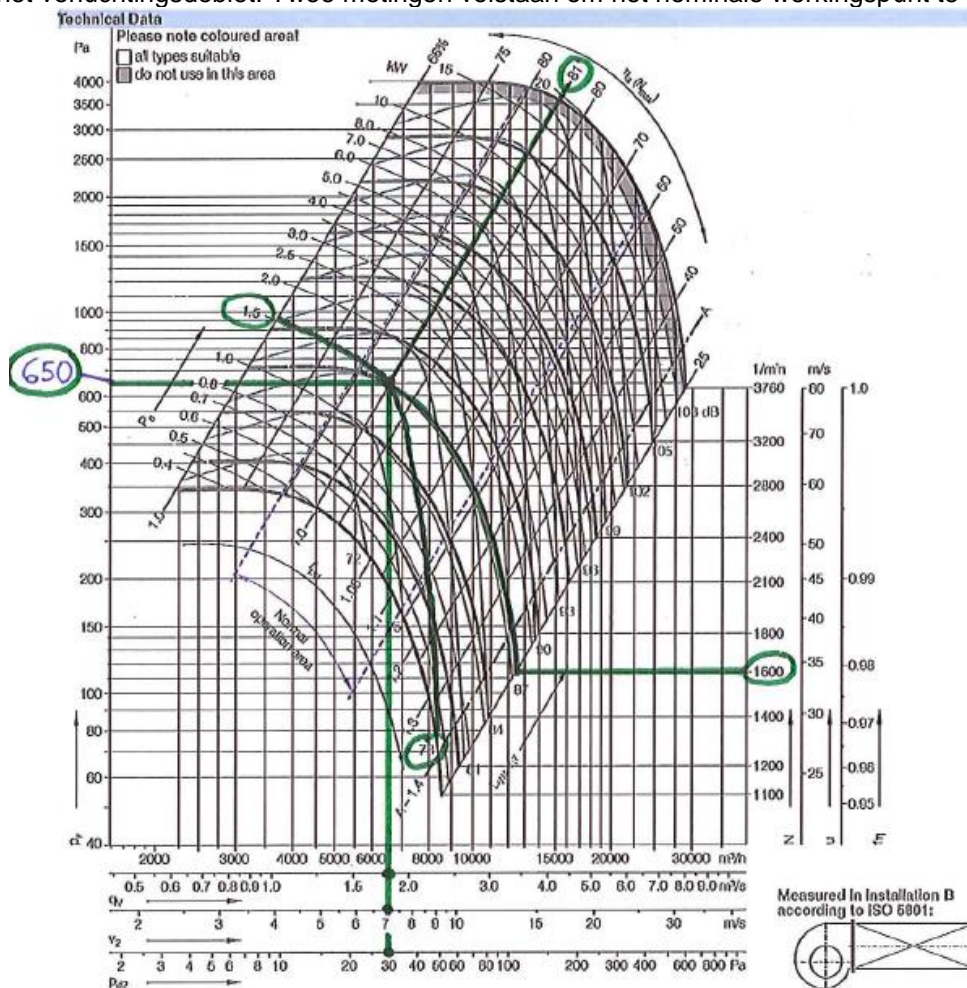
- curve van de totale drukwinst of belasting
- curve van het vermogen op de as van de ventilator
- curve van het globale rendement
- curve van het vermogensniveau

De diagrammen worden vaak opgemaakt voor standaardlucht $p=101325$ Pa, $\theta=20$ °C, $\phi=50$ % wat overeenkomt met $\rho = 1,2$ kg/m³.

Op het bijgevoegde diagram heeft de turbine van de ventilator, op het nominale werkpunt, de volgende kenmerken:

- Belasting van de ventilator = 650 Pa (statische druk + dynamische druk)
- Vermogen op de as van de ventilator = 1,5 kW
- Rendement = 0,81
- Draaisnelheid = 1600 t./min.
- Niveau van het geluidsvermogen = 73 dB

De statische druk wordt berekend volgens de keuze van de verluchtungskokers. De dynamische druk wordt afgeleid van het verluchtingsdebiet. Twee metingen volstaan om het nominale werkpunt te vinden.



Figuur 4:40

Het luchtdebiet dat door de ventilator in circulatie wordt gebracht, is evenredig met de draaisnelheid van de ventilator. Wijzigt men het debiet, dan wijzigt men het luchtdebiet, maar ook de andere kenmerken die eigen zijn aan de ventilator: dit zijn de regels van de gelijkvormigheid:

- Het volumedebiet verandert naar evenredigheid van de draaisnelheid:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

- De druk verandert naar evenredigheid van het kwadraat van de draaisnelheid:

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^2$$

- Het nuttige vermogen verandert naar evenredigheid van de derde macht van de draaisnelheid:

$$\frac{Pu_1}{Pu_2} = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^3$$

En als de temperatuur van de lucht wijzigt, verandert de soortelijke massa.

- Het massadebiet blijft constant Het volumedebiet verandert

$$q_{v2} = q_{v1} \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_1}{P_2}$$

- De druk verandert

$$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1 \times T_2}{P_2 \times T_1}$$

- Het nuttige vermogen verandert

$$\frac{Pu_1}{Pu_2} = \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{P_1 \times T_2}{P_2 \times T_1}$$

4.1.4.4 Rendement van een ventilator

De aanwezige vermogensverschillen tussen de stroomvoorziening van de installatie en het aangevoerde fluïdum staan in de volgende figuur.

- Nuttig vermogen geleverd aan de lucht

$$P_u = q_v \times \Delta p_t$$

- Vermogen geleverd aan de ventilator

$$P_{vent} = \frac{P_u}{\eta_{glv}}$$

η_{glv} = globaal rendement van de ventilator

$$\eta_{glv} = \eta_{méca} \times \eta_{aéraul} \times \eta_{volu}$$

$\eta_{méca}$ = mechanisch verlies

$\eta_{aéraul}$ = aerolisch verlies bij de passage door het wiel en het slakkenhuis

η_{volu} = volumetrisch rendement dat de debietverliezen kenmerkt

- Vermogen van de aandrijfmotor

$$P_{mot} = \frac{P_{vent}}{\eta_{tr}}$$

η_{tr} = transmissierendement

- motor met directe aandrijving: verliezen geschat op 2 tot 5 %,
- aandrijving door koppeling: verliezen van 3 tot 8 %,
- transmissie met riemen: volgens het vermogen van de motor, verliezen van 2,5 tot 10 %.

- Vermogen verbruikt door de elektrische motor

$$P_{el,mot} = \frac{P_{mot}}{\eta_{mot}}$$

De verliezen die eigen zijn aan de werking van de elektrische motor maken dat deze laatste slechts een deel van het elektrische vermogen dat hij ontvangt, aan zijn as teruggeeft. Bij het vermogen verbruikt door de elektrische motor moet men nog de verliezen onderweg optellen, evenals de verliezen veroorzaakt door de voorzieningen voor de regeling van de snelheid (warmteverliezen in de wikkelingen waar de stroom doorloopt ter hoogte van de stator (koperverliezen en ijzerverliezen), verliezen in het anker ter hoogte van de rotor, verliezen door wrijving en ventilatie ter hoogte van de rotor.

Het kan bepaald worden aan de hand van het constructeursplaatje van de motor:

Motor 3 ~	50/60 Hz	IEC 34-1
MET 112 M		2860/3460 tr/min
4/4.6 kW	Cl.F	cos φ = 0.90
380-420/440-480 VY		8.1/8.1 A
220-240/250-280 VΔ		14.0/14.0 A
N°MK 142031-AS	IP55	30kg

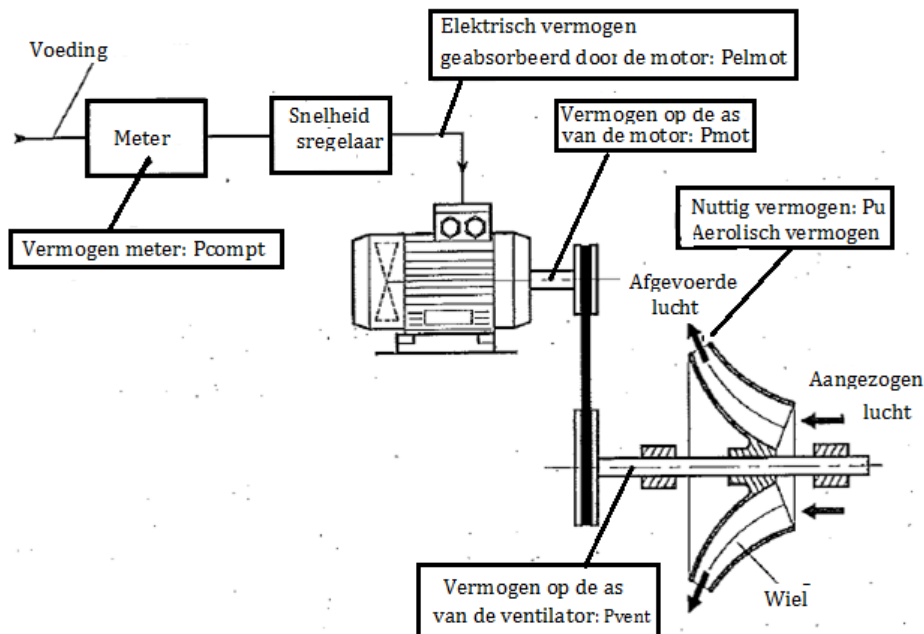
Figuur 4:41

$$\eta = \frac{4000}{1,73 \times 400 \times 8,1 \times 0,9} = 0,79$$

- Vermogen verbruikt door de verluchttingsinstallatie

Het vermogen gefactureerd door de stroomverdeler bedraagt:

$$P_{compt} = \frac{P_{el,mot}}{\eta_{réseau}}$$



Figuur 4.42

Voorbeeld:

**Een centrifugaalventilator stuwt een debiet van 10 m³/s met een belasting van 1000 Pa.
Het verbruik van de ventilator berekenen.**

- Nuttig vermogen geleverd aan de lucht: $P_u = 10 \times 1000 = 10000 \text{ W} = 10 \text{ kW}$
- Vermogen geleverd op de as van de ventilator: $P_{vent} = 10 / 0,6 = 16,67 \text{ kW}$
- Vermogen van de aandrijfmotor: $P_{mot} = 16,67/0,92 = 18,1 \text{ kW}$
- Vermogen verbruikt door de elektrische motor: $P_{el.mot} = 18,81/0,86 = 21,1 \text{ kW}$
- Vermogen verbruikt door de installatie: $P_{compt} = 21,1/0,95 = 22,2 \text{ kW}$
- Rendement van de installatie van de ventilator: $= 10/22,2 = 0,45$
- Elektrisch verbruikte energie E:
E= vermogen x bedrijfstijd = $22,2 \times 365 \times 24 = 194\,472 \text{ kWh/jaar}$

Eurovent beveelt de volgende transmissierendementen aan:

MINIMUM TOTAL EFFICIENCY* FAN/MOTOR COMBINATION [%]												
Air flow rate		Available static fan pressure [Pa] **										
[m ³ /s]	[m ³ /h]	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
1,00	3600	30%	31%	32%	33%	35%	36%	37%	39%	39%	40%	40%
1,25	4500	31%	32%	33%	34%	35%	37%	38%	39%	40%	40%	41%
1,60	5760	32%	33%	34%	35%	36%	38%	39%	40%	41%	42%	42%
2,00	7200	33%	34%	35%	36%	38%	39%	40%	41%	42%	43%	43%
2,50	9000	34%	35%	36%	37%	39%	40%	42%	43%	43%	44%	45%
3,15	11340	35%	36%	38%	39%	40%	42%	43%	44%	45%	45%	46%
4,00	14400	37%	38%	39%	40%	42%	43%	45%	46%	46%	47%	48%
5,00	18000	39%	40%	41%	42%	43%	45%	46%	47%	48%	48%	49%
6,30	22680	40%	41%	42%	44%	45%	46%	48%	49%	50%	50%	51%
8,00	28800	42%	43%	44%	45%	47%	48%	49%	50%	51%	52%	52%
10,00	36000	43%	44%	45%	47%	48%	49%	51%	52%	53%	53%	54%
12,50	45000	44%	45%	47%	48%	49%	51%	52%	53%	54%	54%	55%
16,00	57600	45%	46%	48%	49%	50%	52%	53%	54%	55%	55%	56%
20,00	72000	46%	47%	48%	49%	51%	52%	53%	54%	55%	56%	56%
25,00	90000	47%	48%	49%	50%	51%	53%	54%	55%	56%	56%	57%

De norm NBN EN 13779 geeft de orden van grootte voor de specifieke vermogens die interessant zijn vanuit energetisch oogpunt.

Het specifieke vermogen van de ventilator *SFP* hangt af van het ladingverlies, de efficiëntie van het systeem en van het ontwerp van de motor en van het aandrijfsysteem.

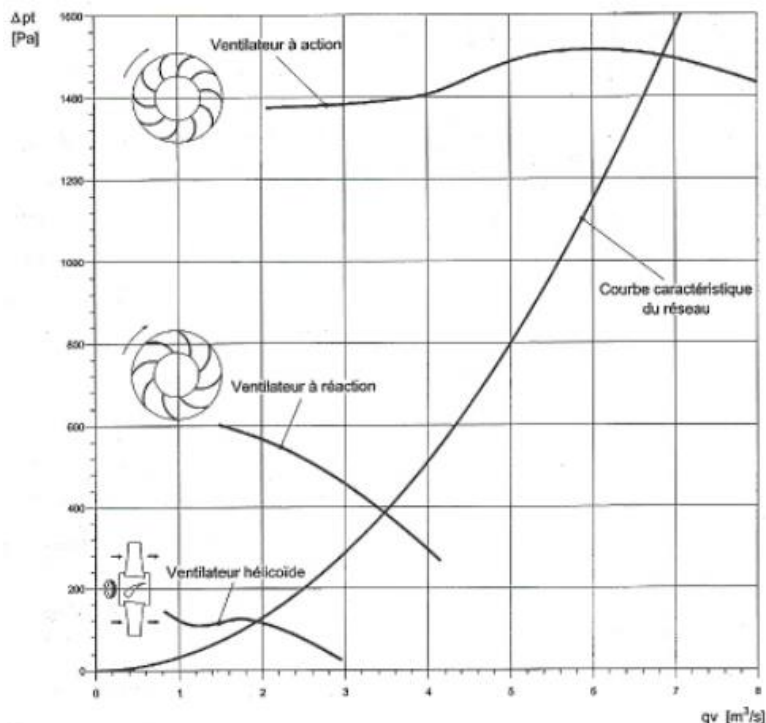
Categorie PSFP in W/(m ³ /s)	
SFP 1	< 500
SFP 2	500 – 750
SFP 3	750 – 1 250
SFP 4	1 250 – 2 000
SFP 5	2 000 – 3 000
SFP 6	3 000 – 4 500
SFP 7	> 4 500

4.1.4.5 Vergelijking van de prestaties

De ventilator wordt gekozen om de belangrijkste prestaties van de installatie te kunnen behalen: het debiet Q_v en de drukwinst Δp_t . Ook andere selectiecriteria moeten overwogen worden:

- **Rendement van de ventilator** om het elektrische verbruik van de aandrijfmotor te minimaliseren
- **Niveau van het geluidsvermogen** moet zo veel mogelijk beperkt worden voor het comfort van de gebruikers

Figuur 4.16 geeft een beeld van de karakteristieke curven van de verschillende ventilatoren die aan dezelfde snelheid draaien.



Figuur 4:43

Als de ventilator die het minste lawaai maakt, het belangrijkste keuzecriterium is, dan is de actieventilator de beste.

Als de ventilator met het beste rendement het belangrijkste keuzecriterium is, dan is de reactieventilator de beste.

De toepassingsdomeinen zijn:

Centrifugaal	ACTIE	- Debietvariatie met een klep - Installatie met constant ladingverlies
	REACTIE	- Installaties onderhevig aan grote drukschommelingen (filtering, ...) - In het geval van parallelle ventilatoren - Installaties geregeld door een mobiele voorrotatievleugel - Installatie met onbekend of niet-berekenbaar ladingverlies - Ventilator geregeld door een bypass
Schroef		- Vermenging van de lucht van grote lokalen - Verluchting van kamers door de wanden - Montage in koker

Figuur 4:44





4.2 LUCHTVERDEELNETWERK













4.2.1 VERLUCHTINGSKOKER

De luchtkanalen vervoeren de verschillende luchtdebieten naar de zones die geklimatiseerd moeten worden. De ronde kanalen zijn gemaakt van een band van gegalvaniseerd plaatijzer van een tiental centimeters breed, in spiraal opgerold en aan zichzelf vastgehecht. Ze worden verkocht in lengten van 3 of 5 meter.

De binnendiameters die op de markt te verkrijgen zijn: 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 mm.

De ronde kanalen bestaan ook in een uitvoering geïsoleerd met glaswol, voor een betere thermische en/of geluidsisolatie. De flexibele ronde buizen met een wand in aluminium of PVC worden verkocht in lengten van 10 meter.

Stijf spiraalvormig kanaal (gegalvaniseerd staal)	
Kanaal van versterkt PVC	
Flexibele aluminiumbuis	
Flexibel kanaal (complex aluminium-polyester)	

			
Mannelijke aansluiting	Kruis van 45°	Conisch verloop	Geperste bocht van 90°
			
Geperste bocht van 45°	T-stuk 90°	Aansluiting verdieping	Bocht sectoren 45°
			
Ronde aftakking	Vrouwelijke aansluiting	T-stuk 45°	dop

Om een luchtkanaal te bepalen, moet men:

- **De afmetingen van de kanalen berekenen** (rond of rechthoekig) naargelang van het volumedebiet dat ze vervoeren
- **De maximale weerstand van de circuits berekenen**, zodat men het type ventilator kan kiezen dat noodzakelijk is voor de continue luchtdoorstroming.

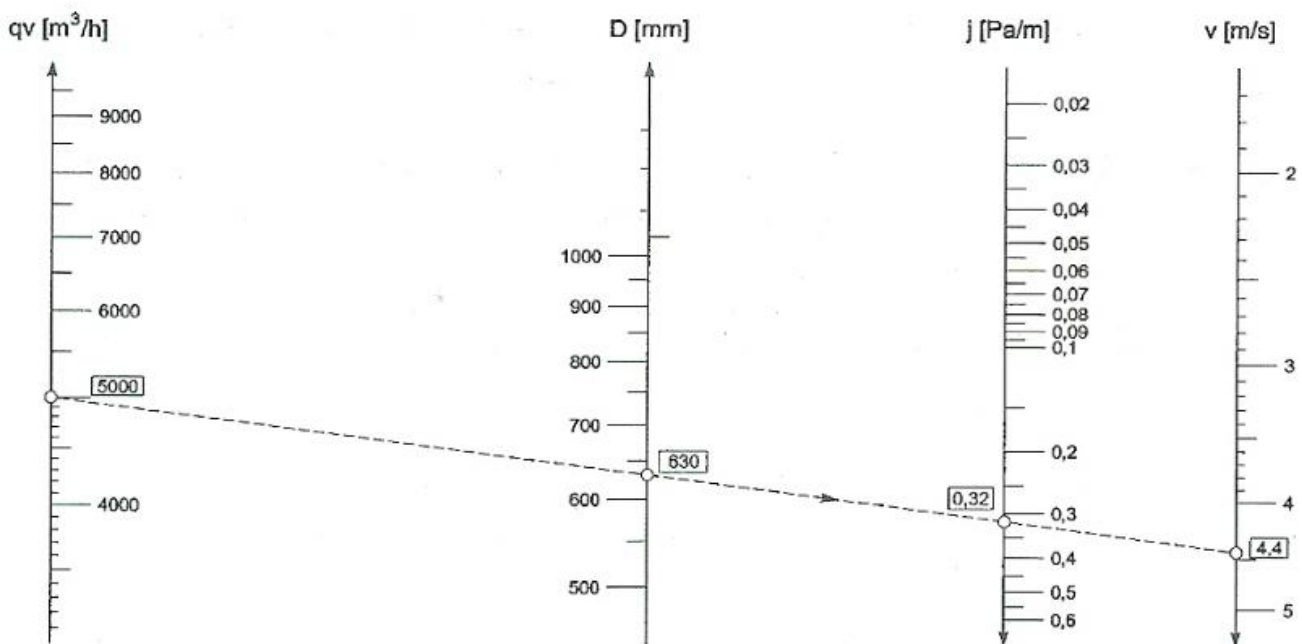
De **berekening van de ladingverliezen** bestaat in het optellen op het meest ongunstige circuit van:

$$j_{TOTALE} = j_{LINEAIR} + j_{plaatselijk} + j_{toestel}$$

Lineair ladingverlies van de kokers $j_{LIN} = j \times L$

j = ladingverlies per lengte-eenheid (Pa/m)
 L = lengte van het circuit (in m)

Aan de hand van het debiet en de aanbevolen snelheid kan men de doorsnede van het ronde kanaal afleiden.



Figuur 4:45

Plaatselijk ladingverlies van de accessoires $j_{sing} = \zeta \times \frac{\rho \times v^2}{2}$

ζ = coëfficiënt van het plaatselijke ladingverlies
 ρ = soortelijke massa van de lucht (kg/m³)
 v = lichtsnelheid (m/s)

De coëfficiënten j en ζ kunnen in berekeningstabellen gevonden worden.

Ladingverlies van de toestellen $\dot{J}_{APPAREIL}$

Het ladingverlies van toestellen zoals batterijen, filters, ..., wordt het vaakst door de fabrikanten aangegeven naargelang van de lichtsnelheid.

Wanneer de benodigde plaats het toelaat, **ronde kanalen kiezen, om de ladingverliezen te beperken.**

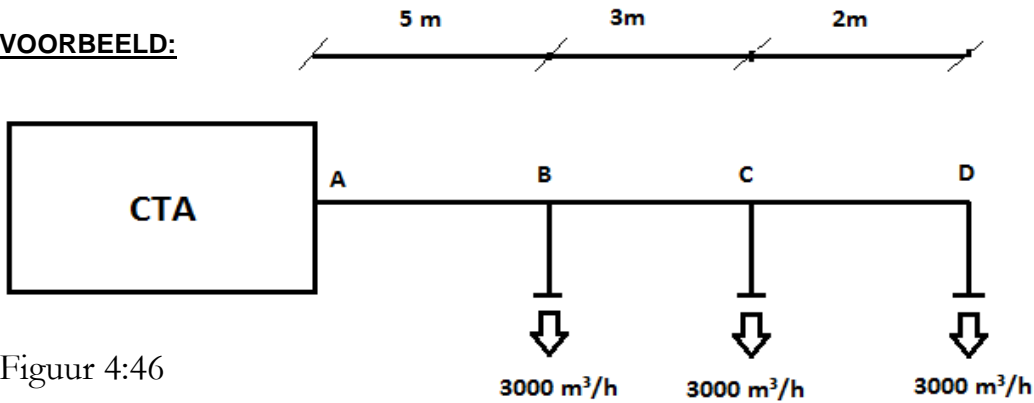
Het verdeelnetwerk wordt zo ontworpen, dat ladingverliezen zo veel mogelijk beperkt worden: dimensionering van de kokers, verloop van de circuits, keuze van diverse uitrusting met klein ladingverlies (batterijen, stuurkleppen, bochten, verbindingen tussen ventilatoren en kokers, rooster van de verseluchttoevoer, geluidsdemper, enz.), ...

Kiest men voor rechthoekige kanalen, dan moet de verhouding breedte/hoogte zo dicht mogelijk 1 benaderen. De studie van het verloop van de verdeelnetten zal rekening houden met de verplichtingen die verbonden zijn met de eventuele aanwezigheid van een warmterecuperatie op de afgezogen lucht.

Plotse wijzigingen van richting of doorsnede moeten vermeden worden. In het voorkomende geval moet men bijvoorbeeld gebruik maken van convergerende of divergerende aansluitingen of van richtingaangevende ribben. Het ladingverlies in rechte stukken zal niet groter zijn dan 1 Pa/m en de snelheid zal niet groter zijn dan 7 m/s.

m/s	Appartementen Hotelkamers Ziekenhuiskamers		Kantoren Auditoria		Winkels Restaurants	
	Aanbevolen	Maximum	Aanbevolen	Maximum	Aanbevolen	Maximum
Beginstuk, als het niet door de gebruikszones gaat	4	6	6	8	8	11
Stukken die door de gebruikszones gaan	3	5	4	6,5	5	7
Eindstukken	2,5	3	3	4	4	6

VOORBEELD:



Figuur 4:46

Naargelang van het type zone dat de kokers doorlopen, wordt een bepaalde snelheid opgelegd. Om een en ander te vereenvoudigen, nemen we $v = 5\text{ m/s}$ voor het hele netwerk.

We bekijken stuk per stuk:

Stuk AB:

Debiet = $9000\text{ m}^3/\text{h}$ of $2,5\text{ m}^3/\text{s}$

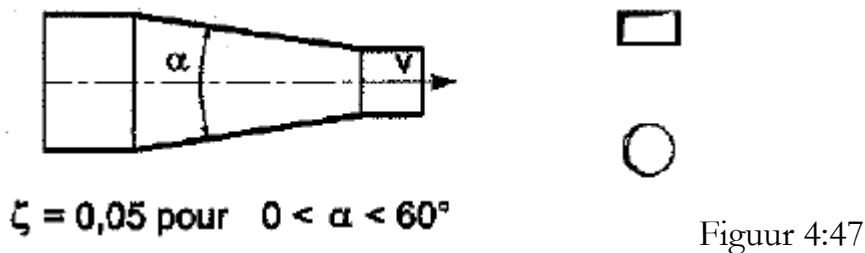
Snelheid = 5 m/s

Doorsnede = $2,5 / 5 = 0,5\text{ m}^2$ (volgens de benodigde plaatsruimte zoekt men een ronde of rechthoekige koker die met deze doorsnede overeenstemt), hetzij $0,79\text{ m}$ door berekening

Er is gekozen voor een koker van 80 cm .

Men moet een pijpfitting voorzien tussen stuk AB en BC:

Het plaatselijke ladingverlies ζ bedraagt $0,05$ (er bestaat een coëfficiënt voor verschillende pijpfittings)



Figuur 4:47

$$P_{sing} = 0,05 \times \frac{5^2}{2} = 2,5\text{ Pa}$$

Het ladingverlies per lengte-eenheid j (Pa/m) wordt gegeven door het bijgevoegde monogram: $0,3\text{ Pa/m}$
Het lineaire ladingverlies voor dit stuk bedraagt $0,3 \times 5 = 1,5\text{ Pa}$

Stuk BC:

Debiet = $6000\text{ m}^3/\text{h}$ of $1,66\text{ m}^3/\text{s}$

Snelheid = 5 m/s

Doorsnede = $1,66 / 5 = 0,33\text{ m}^2$ (volgens de benodigde plaatsruimte zoekt men een ronde of rechthoekige koker die met deze doorsnede overeenstemt), hetzij $0,63\text{ m}$ door berekening

Er is gekozen voor een koker van 63 cm .

Geen pijpfitting tussen stuk BC en CD

Het ladingverlies per lengte-eenheid j (Pa/m) wordt gegeven door het bijgevoegde monogram: $0,5\text{ Pa/m}$
Het lineaire ladingverlies voor dit stuk bedraagt $0,5 \times 3 = 1,5\text{ Pa}$

Stuk CD:

Debiet = 3000 m³/h of 0,83 m/s

Snelheid = 5 m/s

Doorsnede = $0,83 / 5 = 0,16 \text{ m}^2$ (volgens de benodigde plaatsruimte zoekt men een ronde of rechthoekige koker die met deze doorsnede overeenstemt), hetzij 0,46m door berekening

Er is gekozen voor een koker van 63 cm.

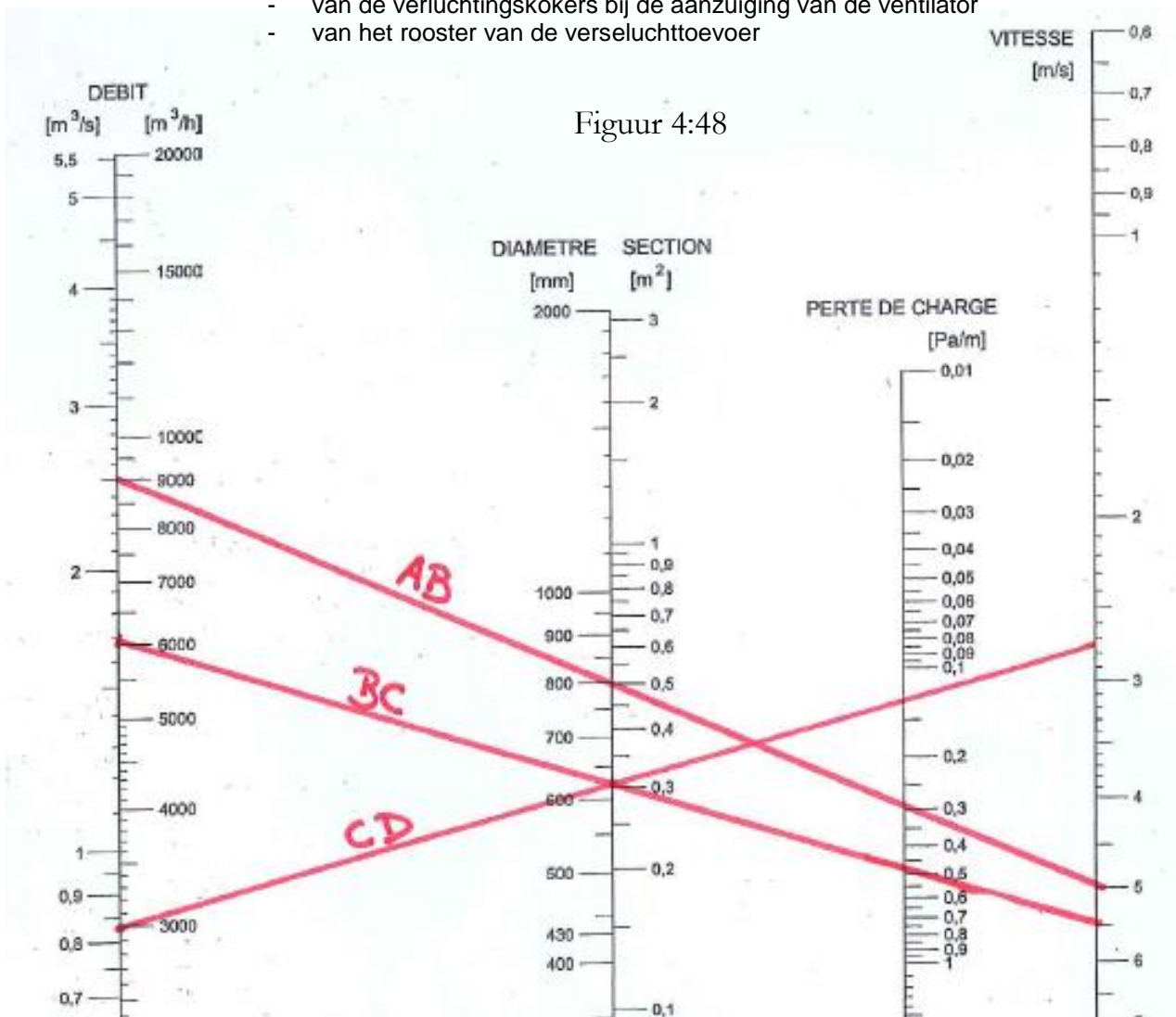
Het ladingverlies per lengte-eenheid j (Pa/m) wordt gegeven door het bijgevoegde monogram: 0,13 Pa/m

Het lineaire ladingverlies voor dit stuk bedraagt $0,13 \times 2 = 0,26 \text{ Pa}$

Het totale ladingverlies bedraagt: $0,26 + 1,5 + 1,5 + 2,5 = 5,76 \text{ Pa}$

Men moet nog rekening houden met de ladingverliezen:

- op de interne componenten van de luchtbehandelingscentrale (batterijen, filters, ...)
- van het verst verwijderde inblaasrooster
- van de verluchtingskokers bij de aanzuiging van de ventilator
- van het rooster van de verseluchttoevoer



4.2.2 BRANDWERENDE KLEPPEN

De brandwerende kleppen zijn bedoeld voor de automatische isolatie van vuurcompartimenten in ventilatie- en airconditioningsystemen.

De brandwerende kleppen sluiten wanneer een bepaalde temperatuur bereikt wordt en isoleren zo delen van het gebouw, om te vermijden dat het vuur en de rook zich verspreiden.



Figuur 4:49

De rechthoekige brandwerende klep is getest volgens de norm EN 1366-2
Volgens het KB 19/12/1996 zijn er drie soorten besturing:

- Type A - brandwerende klep die automatisch sluit wanneer de temperatuur van de circulerende lucht een bepaalde grenswaarde overschrijdt (bv. thermische zekering).
- Type B - brandwerende klep die bovendien vanop afstand door de controlepost gesloten kan worden, wanneer rook in het compartiment wordt gedetecteerd.
- Type C - normaal gesloten brandwerende klep; de opening wordt geregeld door een systeem dat geen externe energie vereist (wordt gebruikt in rookextractiekokers)

Ze worden bestuurd door servomotoren, elektromagneten, thermische zekeringen.

De kleppen in de inblaaskokers en op de luchtroosters in de Rf wanden zijn van type B.

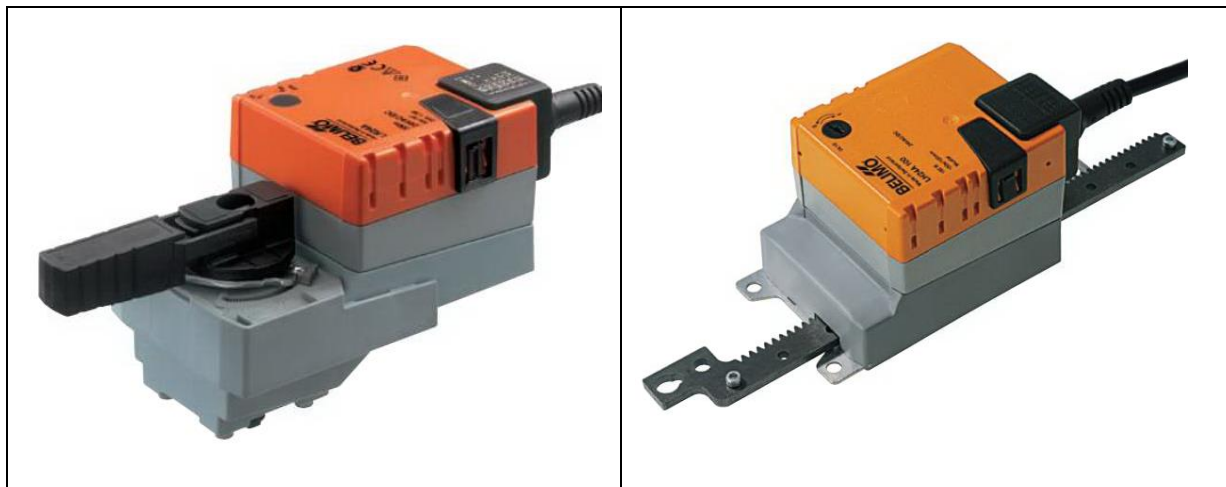
De kleppen in de extractiekokers zijn van type A.

Wanneer in een compartiment of in een lokaal brand wordt gedetecteerd, worden de brandwerende kleppen van type B in de compartimenteringswand automatisch gesloten.

4.2.3 GEMOTORISEERDE LUIKEN EN SCHUIVEN

De schuiven bevinden zich aan de ingang van de luchtcentrale. Hun opening en sluiting is gekoppeld aan de werking van de ventilatoren.

De schuiven worden bestuurd door servomotoren (draaiende of lineaire).



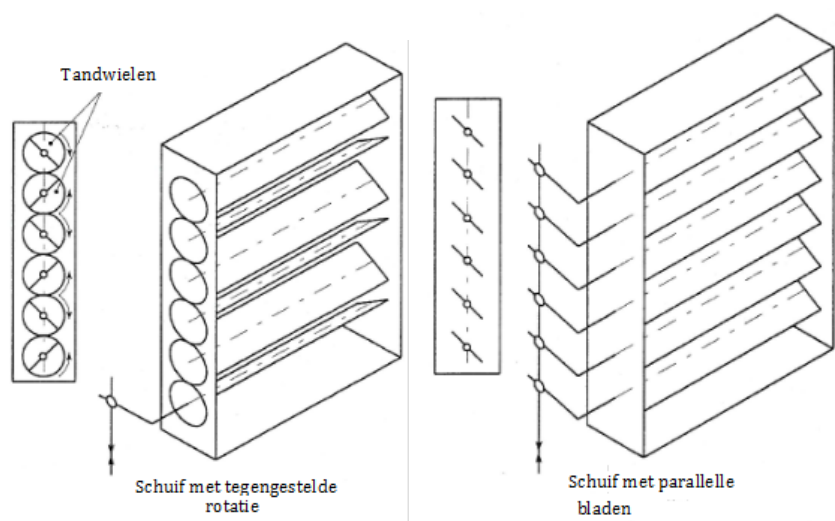
Figuur 4:50

De schuiven dienen voor de afsluiting tussen een luchtkanaal en een of meerdere andere.



Figuur 4:51

De pakkingen tussen de lamellen beperken de lekken in gesloten positie.
De schuiven bestaan uit parallelle bladen of bladen die in de tegengestelde richting draaien:



Figuur 4:52

Om te mengen gebruikt men twee schuiven met samengestelde en tegengestelde besturing. De verplaatsing van de besturingsstang sluit de eerste schuif en opent de tweede. Om de luchtdebieten in evenwicht te brengen met de behoeften, bestaat het alternatief van de vaste of regelbare membranen:



Figuur 4:53

4.2.4 ROOSTERS VOOR VERSE LUCHT EN AFGEVOERDE LUCHT

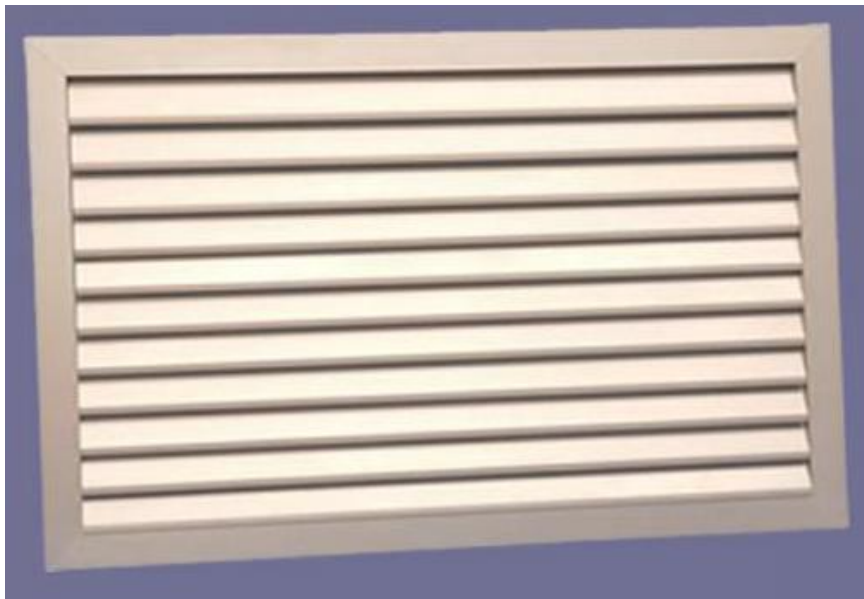
Ze bieden bescherming tegen regen en het binnendringen van knaagdieren of vogels dankzij een metalen rooster.

De Europese norm EN 13779 bevat enkele bepalingen die nageleefd moeten worden voor wat betreft de externe luchttoevoeren:

- de luchttoevoer wordt bij voorkeur in de richting van de overheersende winden geplaatst.
- de afmetingen van een niet-beschermd luchttoevoer worden bepaald op basis van een maximale luchtsnelheid van 2 m/s.
- de belangrijkste afstanden die in acht genomen moeten worden voor de luchttoevoer (afstand ten opzichte van de vloer, van bronnen van vervuiling, van de luchtafvoer, ...) staan in de tabel A.2 van de norm EN 13779

Voor de luchtafvoerroosters moeten de volgende bepalingen in acht genomen worden:

- De luchtafvoeren moeten zich op meer dan 8 m van een naburig gebouw bevinden.
- De luchtafvoeren moeten zich op meer dan 2 m van een verseluchttoevoer op dezelfde muur bevinden, en bij voorkeur erboven.
- Het luchtdebiet per rooster mag niet groter zijn dan 0,5 m³/s en de luchtsnelheid tegenover het rooster moet groter zijn dan 5 m/s.



Figuur 4:54

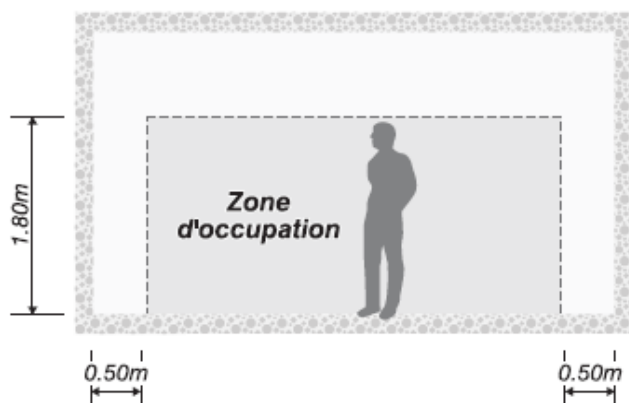
Voor de verseluchttoevoeren gelden de volgende aanbevelingen:

- niet boven zonovergoten donkere horizontale oppervlakken (platte daken bedekt met een zwart afdichtingsmembraan bijvoorbeeld) zonder bescherming.
- horizontaal op minder dan 8 m van een vuilnisophaalpunt, een parkeerzone voor 3 auto's of een vaker gebruikte parkeerzone, laadzones, verkeerszones, openingen van de riolering, rookkanalen en andere, gelijkaardige bronnen van vervuiling.

4.2.5 INBLAAS- EN EXTRACTIEROOSTERS

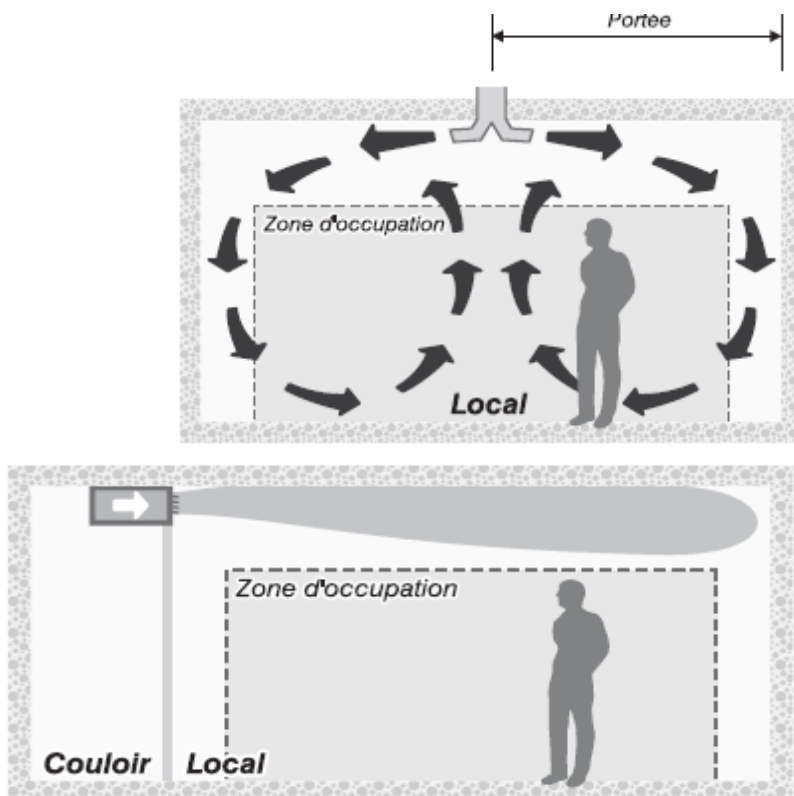
4.2.5.1 Plaats van de roosters

De bewegingen van de lucht in de lokalen hangen af van de plaats van de blaas- en terugnameroosters ten opzichte van de plaats van de gebruikers. In de praktijk moet de luchtsnelheid onder een bepaalde grens in de gebruikszone liggen (volgens EUROVENT: European Association of Air Handling and Refrigerating Equipment Manufacturers). De luchtstraal mag de gebruikers in ieder geval niet bereiken voor ze met de omgevingslucht gemengd is.



Figuur 4:55

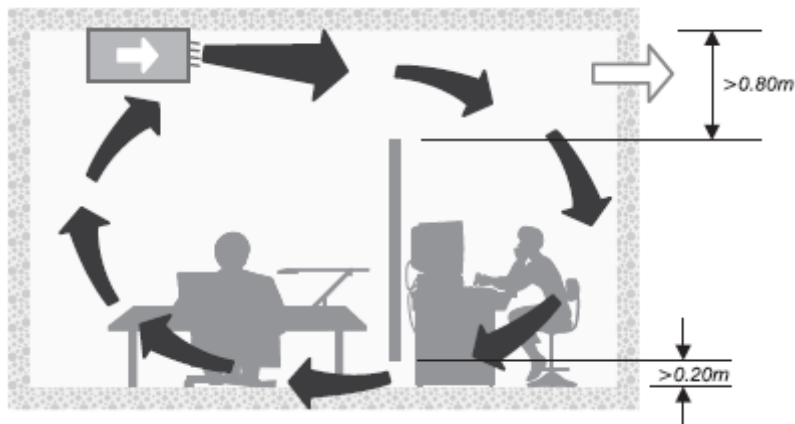
Ideaal is een horizontale inblazing onder het plafond, om laagvorming van de lucht en onvermijdelijke tochten te vermijden.



Figuur 4.56

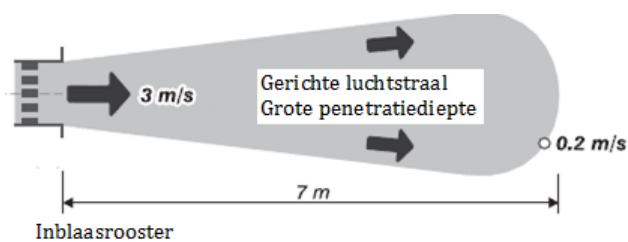
Als de hoogte onder het plafond van het lokaal te klein is, is het moeilijk om een inblazing in de gebruikszone te vermijden.

De gebruikszone wordt doorgaans gedefinieerd als een fictief volume van 1,8 m hoog en op 0,30 m van de omgevende wanden

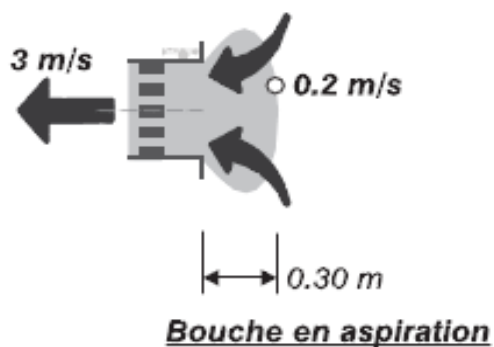


Figuur 4:57

Voor wat betreft de blaas- en terugnameroosters is het bereik belangrijk.



Figuur 4:58

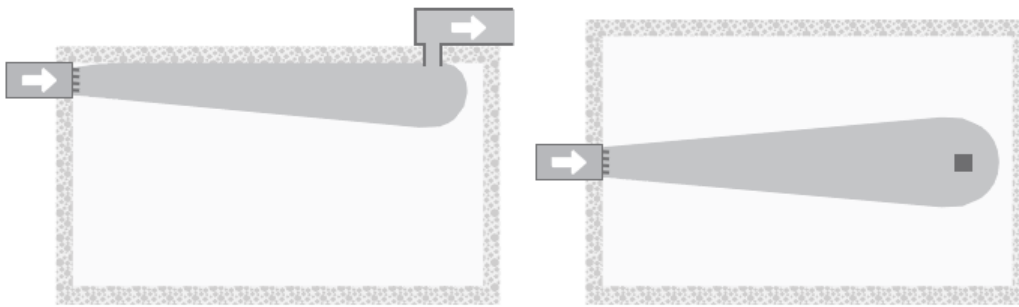


Figuur 4.59

Voor het terugnamerooster is de lichtsnelheid niet essentieel voor het thermische comfort, maar ze kan wel essentieel zijn voor het geluidscomfort.

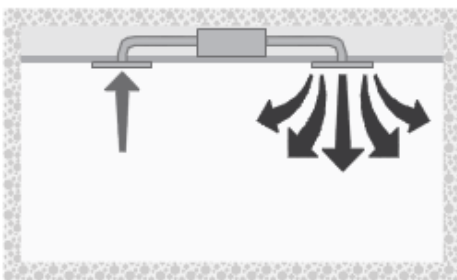
Plaats van het terugnamerooster Aanbevolen terugnamesnelheden		
Boven de gebruikszone	4,5	m/s
In de gebruikte zone ver van de zitplaatsen	3,5-4,5	m/s
In de gebruikte zone dichtbij de zitplaatsen	2,5-3,5	m/s
Deurroosters	1,5-2	m/s
Onder de deuren	1-1,5	m/s

Wanneer men roosters plaatst, dient men rekening te houden met de kortsluitingsfenomenen: de ingeblazen lucht wordt aangezogen door de extractie voor ze de omgevingsvoorwaarden heeft kunnen veranderen. De luchtstraal heeft geen nut.

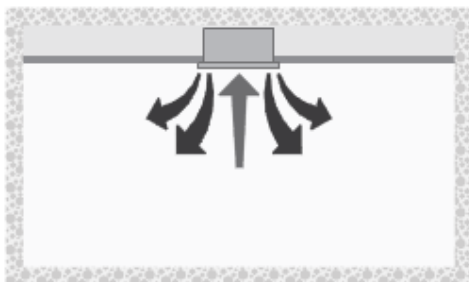


Figuur 4.60

Er zijn geen kortsluitingsproblemen, als het terugnamerooster zich buiten het maximale bereik van de luchtstraal bevindt.



VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none"> ◇ Optimale verdeling van de lucht ◇ Beperkt geluid ◇ Verlaagd plafond ten volle benut ◇ Veelvuldige combinaties 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Risico van kortsluiting als de roosters zich te dicht bij elkaar bevinden



VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none"> ◇ Optimale verdeling van de lucht ◇ Beperkt geluid ◇ Verlaagd plafond ten volle benut 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Moeilijke afvoer van de condensaten (noodzaak van een helling)



VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none"> ◇ Werking correct bij verwarming en afkoeling 	<ul style="list-style-type: none"> ◇ Risico van kortsluiting ◇ Als inblaassnelheid te laag ◇ Benodigde vloerruimte ◇ Moeilijke afvoer van de condensaten (noodzaak van een helling)

Figuren 4.61



Figuur 4.62

VOORDELEN	NADELEN
◇ Optimale verdeling van de lucht koude lucht bij regen ◇ Benodigde ruimte op de vloer nihil	◇ Laagvorming van de temperaturen in de modus verwarming ◇ Risico van horizontale gradiënt van de temperaturen

De keuze van de luchtinblaas- en terugnameroosters speelt een grote rol in het comfort van de gebruikers en de hygiëne van de betreffende zone. Ze is een voorwaarde voor de homogeniteit van de temperaturen en van de luchtkwaliteit, en voor de afwezigheid van tocht in het lokaal.

We kunnen de kwaliteit van een luchtverdeelinstallatie samenvatten in 3 zinnen:

- men voelt zich goed (luchtkwaliteit en thermisch comfort),
- men hoort niets (geluidscomfort),
- men ziet niets (bouwkundige integratie).

Dit wordt omgezet in een reeks criteria die gerespecteerd moeten worden voor de verdeling van behandelde lucht (klimaatregelingsystemen alleen lucht) en voor de verdeling van hygiënische lucht.

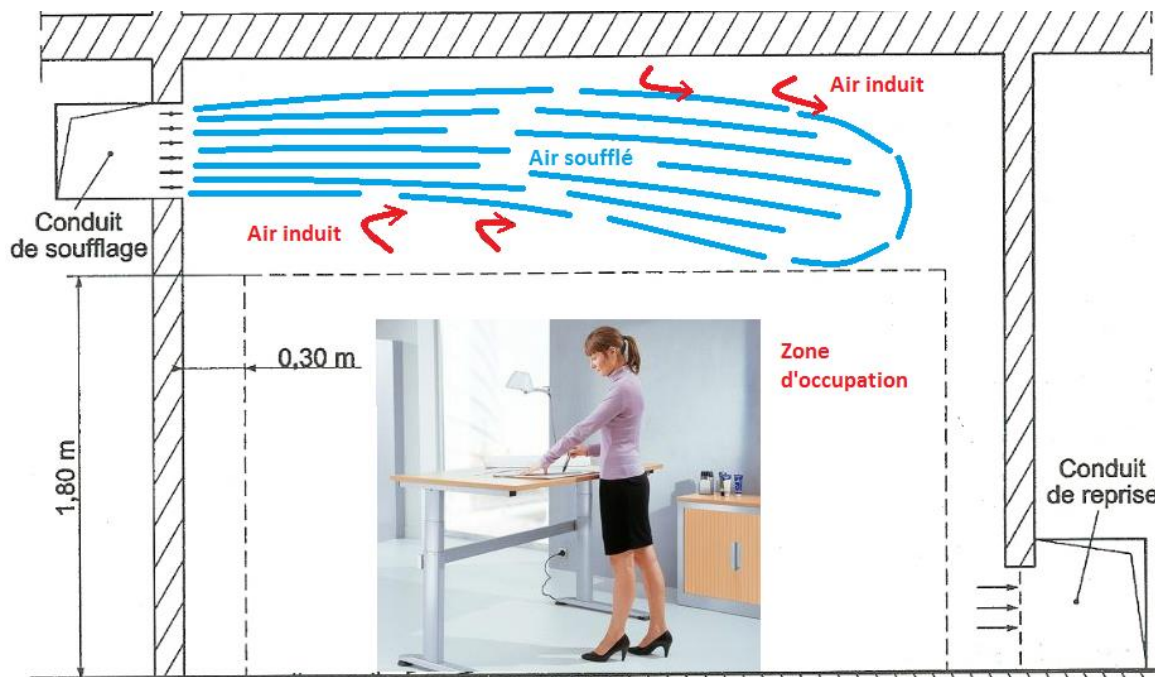
De plaats van de inblaas- en extractieroosters is van groot belang voor de mengkwaliteit van de lucht in een lokaal. Men moet vermijden:

- dat de inblaaslucht direct door de terugname wordt aangezogen, voor koeling of verwarming mogelijk was;
- dat de gebruikte zones niet behandeld worden.

4.2.5.2 Principes van de luchtverdeling

Er worden twee principes voor de luchtverdeling in een lokaal toegepast: luchtverdeling **door mengen** en **door verplaatsen**.

- **Luchtverdeling door mengen:** de lucht van het lokaal wordt aangetrokken door de ingeblazen luchtstraal



Figuur 4.63

De belangrijkste factoren die de luchtverdeling door mengen kenmerken, zijn:

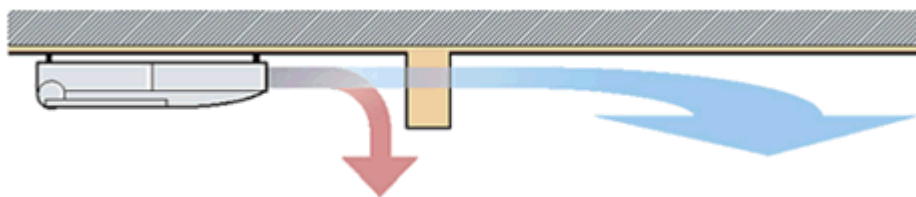
- luchtsnelheid in de gebruikzone
- temperatuur van de inblaasluft
- soorten inblaasroosters
- plaats van de roosters
-

De keuze en de plaats van de roosters moeten zorgen voor voldoende homogeniteit op het gebied van warmtegevoering in de gebruikzone.

De lucht wordt in het lokaal geblazen met een relatief grote initiële snelheid (2 tot 3 m/s) en creëert een inductiefenomeen (de lucht van het lokaal wordt door de ingeblazen lucht meegenomen en vermengt zich ermee.)

De snelheid van de luchtstraal moet in de gebruikzone een grenswaarde bereiken die afhangt van de temperatuur van de lucht ...

Met de plafondverdelers moet men het plafondeffect benutten. Het **Coanda-effect** of **plafondeffect** is het verschijnsel dat de luchtstroom die uit een verdeler komt tegen het plafond blijft voortbewegen. Het effect wordt gecreëerd door een lagedrukzone in het bovenste deel van de luchtstroom. De luchtstroom blijft het plafond volgen, zonder ervan los te komen. De luchtstraal mag geen hindernis tegenkomen (balk).



Figuur 4.64

Het effect is mogelijk onder bepaalde voorwaarden. Het veronderstelt:

- een minimale inblaassnelheid (± 2 m/s)
- een beperkt $-\Delta T$ van de luchtstroom ten opzichte van de omgeving (max. -10 tot -12 volgens het type verdeler en minder voor bepaalde wandroosters)
- de plaatsing ten opzichte van het plafond (voor wandroosters mag de afstand van de bovenkant van het rooster tot het plafond max. 30 cm bedragen)

Om te controleren of aan deze voorwaarden is voldaan, worden berekeningstabellen ter beschikking gesteld. Deze eigenschap is voordelig:

- ze verhindert een voortijdige daling van de luchtstraal naar de gebruikszone
- ze verwarmt op voorhand de koude luchtstraal, die dus niet op de personen valt.



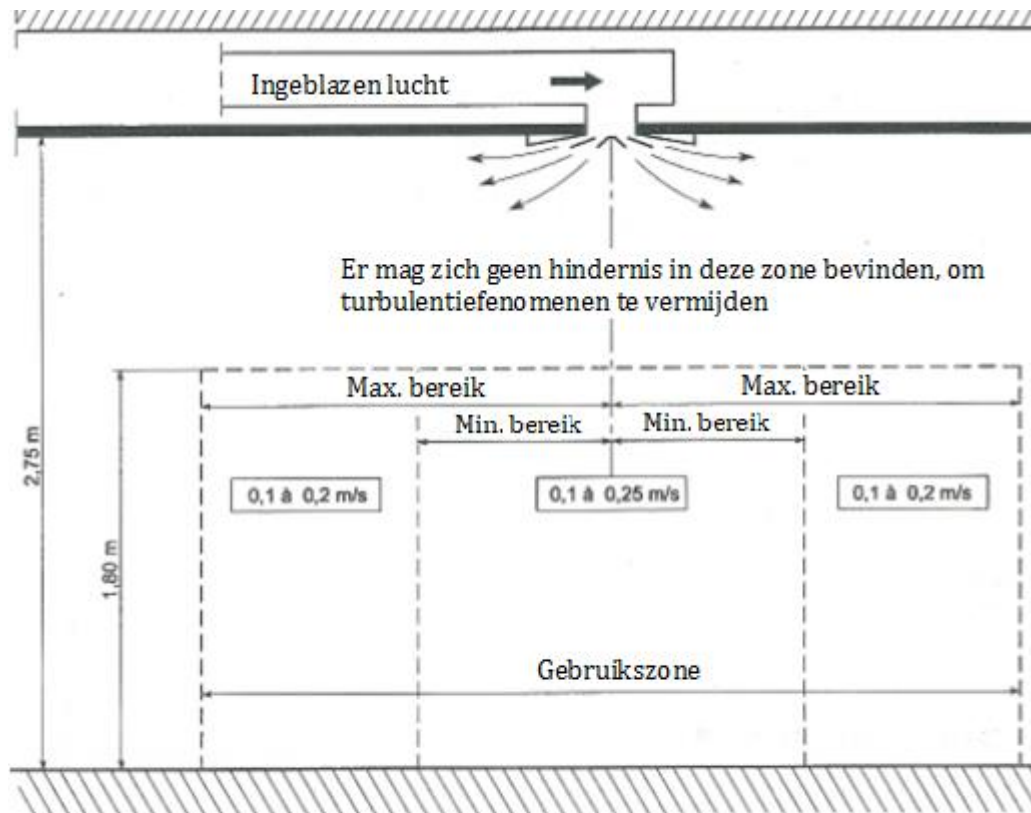
Figuur 4.65

Bij inblazen in een steunwand gebruikt men het Coanda-effect op de verticale wand en het plafond. Het inblaasrooster moet zich zo dicht mogelijk tegen de wand bevinden.

Zonder plafondeffect moet men ervoor zorgen dat de luchtstraal niet te sterk naar de gebruikszone afwijkt. Ze kan immers een gevoel van onbehaaglijkheid veroorzaken als haar snelheid te groot is of als het verschil tussen de inblaastemperatuur en de omgevingstemperatuur te groot is.

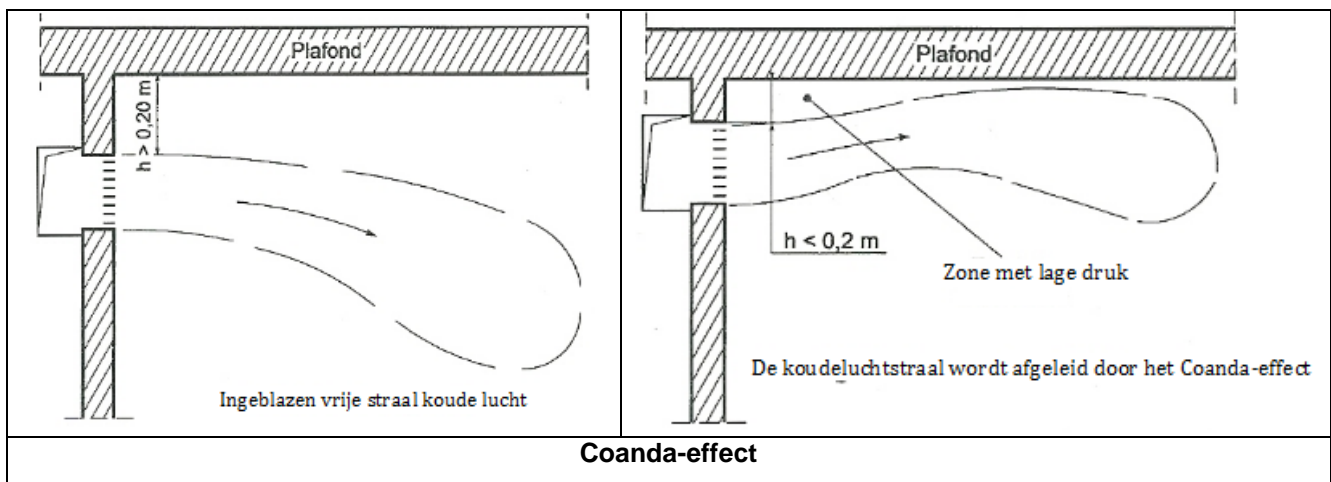
Ook andere begrippen zijn belangrijk bij de keuze van een rooster: het bereik en de daling.

Het bereik is de afstand tussen de verdeler en de plaats waar de gemiddelde snelheid van de luchtstraal 0,25 m/s bedraagt. Het bereik hangt af van de vorm van de luchtstraal (radiaal, conisch, vlak), de configuratie van het lokaal, de plaats van de verdeler en de temperatuurvoorwaarden. Over het hele bereik mag de luchtstraal geen hindernis, wand of andere luchtstraal tegenkomen. In het andere geval treedt turbulentie op. In een eerste benadering wordt het bereik gekozen voor een kleinere afstand van de verdeler tot de tegenoverliggende wand. De daling komt overeen met de afstand tussen de as van de verdeler en het laagste punt waar de lucht een snelheid van 0,25 m/s bereikt.



Boven het maximale bereik een andere verdeler voorzien
 Minimale afstand tussen 2 verdelers = 2 keer het min. bereik
 Het max. bereik mag niet groter zijn dan 1,5 keer de hoogte van het lokaal

Figuur 4.66



Coanda-effect

Figuur 4.67

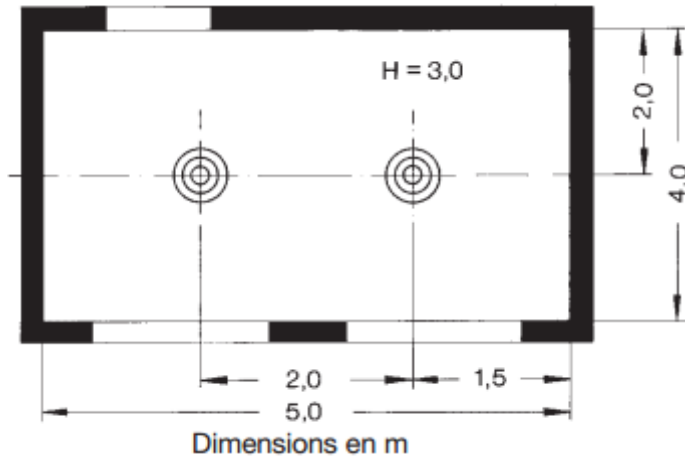
De stralen of inductoren worden gebruikt in industriële toepassingen met een optimale hoogte onder het plafond tussen 2,70 m en 3,50 m. Zelfs als het criterium van het comfort niet belangrijk is, kan op deze hoogte geleverde koude lucht van 16 °C zich mengen met de binnenlucht, alvorens ze de gebruikers bereikt. Er zal dus geen koude gevoeld worden.



Figuur 4.68

VOORBEELD:

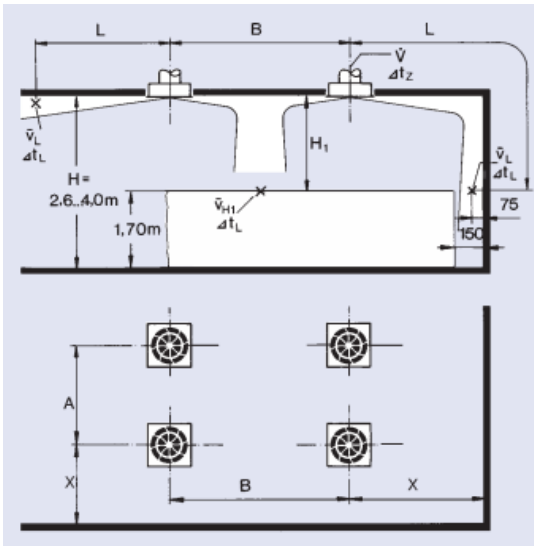
We nemen een lokaal van 5 m bij 4 m. Het noodzakelijke verluchttingsdebiet na berekening levert 720 m³/h. De ontwerper besluit om dit debiet in te blazen via twee roosters.



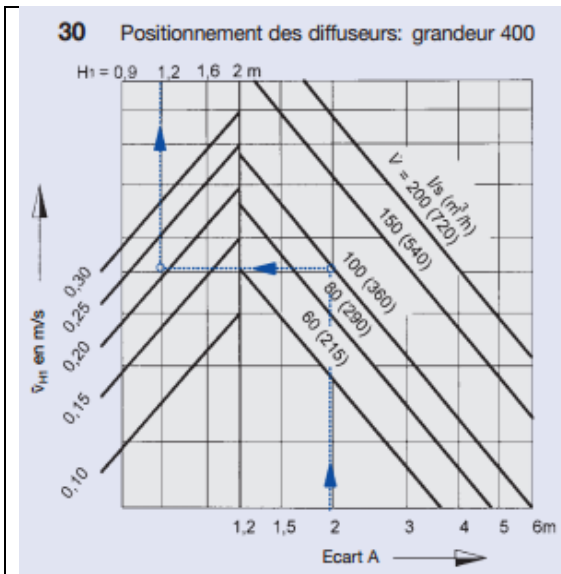
Figuur 4.69

Men dient dus te controleren dat de restsnelheid van de ingeblazen lucht binnen de aanvaardbare grenzen in de comfortzone valt.

De technische fiche van een fabrikant toont de afstanden die in een lokaal gemeten of berekend moeten worden, om ronde straalroosters te kiezen.



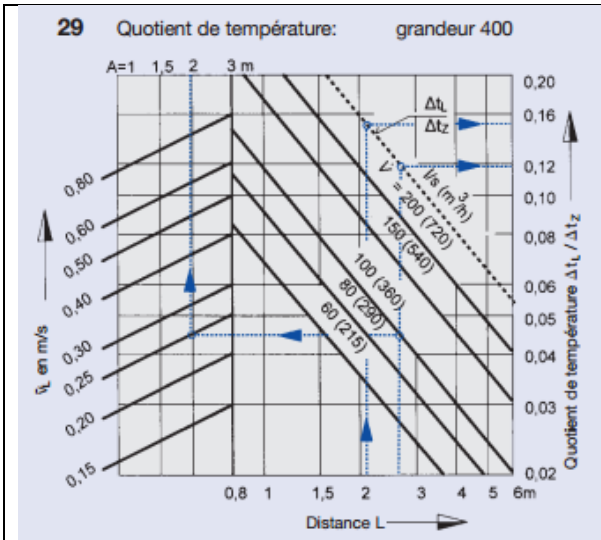
Figuur 4.70



Met een inblaasdebiet van 720 m³/h gaat men uit van 360 m³/h per rooster.

Met een afstand A tussen de roosters en een hoogte H1 (3 m – 1,8 = 1,2 m), krijgen we een restsnelheid van v_{H1}=0,20 m/s ter hoogte van de bovengrens van de comfortzone.

Figuur 4.71



Inblaasverschil = -8 K
 $L = A/2 + H1 = 1 + 1,2 = 2,2$ m
 Temperatuurquotient: op het diagram zien we
 $\frac{\Delta t_L}{\Delta t_Z} = 0,16$ waarbij $\Delta t_L = -8 \times 0,16 = -1,6$ K
 tussen 2 verdelers
 $L = X + H1 = 1,5 + 1,2 = 2,7$ m
 $\frac{\Delta t_L}{\Delta t_Z} = 0,11$ waarbij $\Delta t_L = -8 \times 0,11 = -0,88$ K aan
 de muur en $V_L = 0,25$ m/s

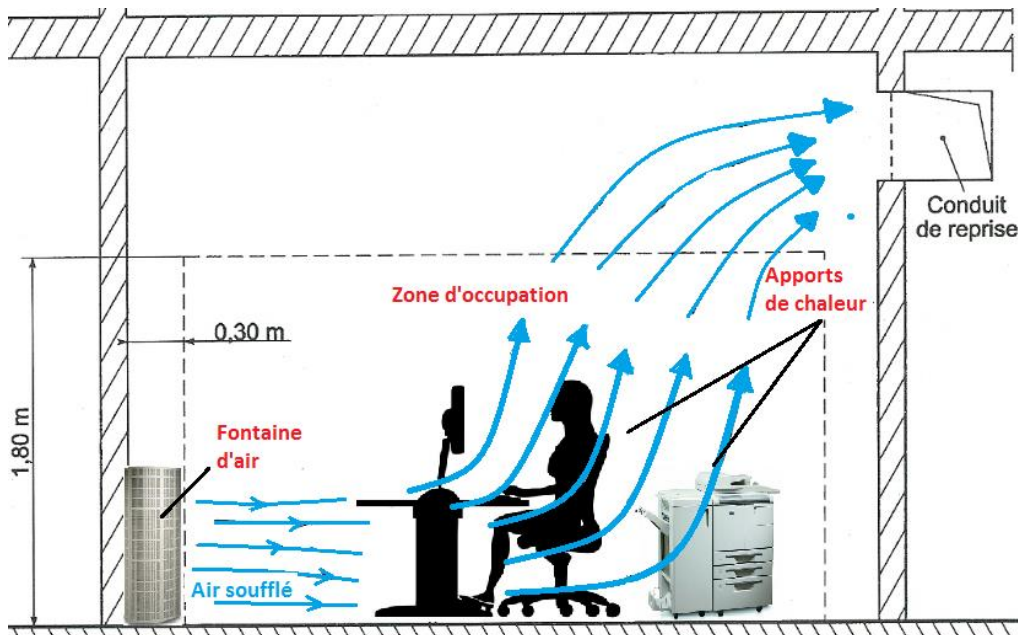
Figuur 4.72

Δt_z = temperatuurverschil tussen inblaasluft en omgevingsluft
 Δt_L = temperatuurverschil aan de rand van de gebruikszone

- **Luchtverdeling door verplaatsen:** verdeling van de lucht door substitutie voor de lokalen die permanent gekoeld moeten worden

De lucht wordt niet verdeeld door verdunning of door inductie, zoals in de klassieke systemen, waarbij de ingeblazen lucht zich bovenin de lokalen vermengt met de omgevingslucht en een vermenging van de afgegeven vervuiling en warmte met zich brengt, maar door **verplaatsing**:

- De lucht wordt onderaan in de lokalen ingeblazen, aan **een zeer lage snelheid** (0,12 tot 0,30 m/s) en met een **zeer klein inblaasverschil** (+/- 2 tot 5 °C).
- Door **thermische trek** stijgt de verwarmde lucht bij contact met de gebruikers en andere warmtebronnen tot boven de gebruikszone (1 tot 1,50 m van de vloer).
- Ze wordt **gefilterd** (minimaal 50 % opacimetrisch) en **opgenomen aan het plafond** om gemengd te worden met verse en behandelde lucht in de centrale.



Figuur 4.73

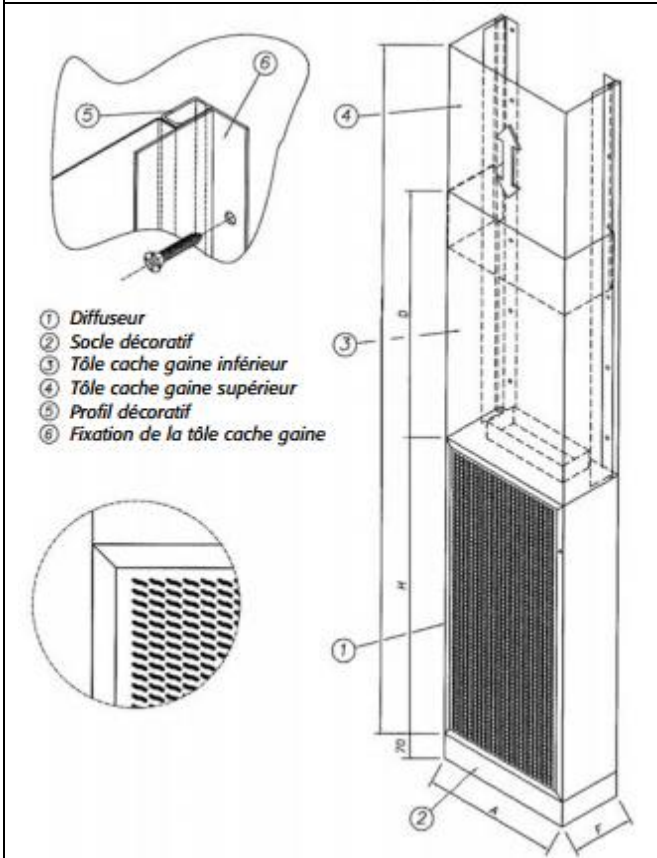
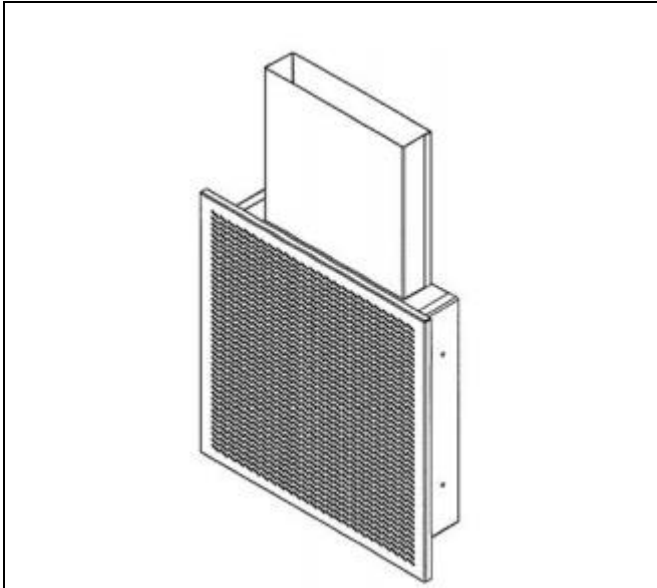
De **luchtkwaliteit** is duidelijk beter; de schadelijke deeltjes ($\phi < 10\mu\text{m}$) passeren slechts eenmaal het lokaal (in plaats van **60 keer** bij verspreiding door verdunning). Het geluid comfort is perfect, dankzij de zeer lage inblaassnelheden (**NR 25**).

De originaliteit van deze technologie ligt in de **verdeelschotten**. De luchtverplaatsingsverdelers hebben een zeer groot verdeeloppervlak en een aanzienlijke hoogte. De lucht wordt door een rooster met microperforaties geblazen nadat deze door een *geluiddemper* en een *ontspanningskast* gestroomd is.

De luchtverplaatsingssysteem zijn ideaal voor de lokalen **met een grote bezettingsgraad, met een grote warmteafgifte en met een groot volume**:

- *Ruimten voor spektakels/shows*: theater, cinema, auditorium
- *Openbare ruimten*: hallen en patio's van hotels, cafés en restaurants
- *Industriële ruimten*: laboratoria, keukens, clean rooms
- *Ziekenhuislokalen*: operatiekwartieren, reanimatieruimten
- *Klaslokalen*: aula's, leslokalen

Enkel de warmteaanvoeren in de gebruikszone (0 tot 2 m) worden behandeld; hierdoor kan men **het debiet en het koelvermogen** die noodzakelijk zijn voor de klimaatregeling van een lokaal verminderen ten opzichte van een traditionele oplossing door vermenging.



Figuur 4.74



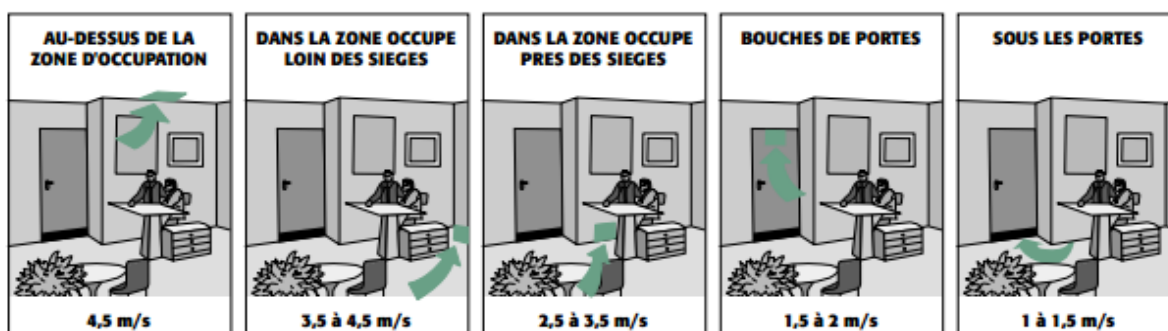
Figuur 4.75

VENTILATIE DOOR VERMENGING	VENTILATIE DOOR VERPLAATSING
Hoge inblaassnelheid: <ul style="list-style-type: none"> • Stabiliteit van de stroom met beperkte luchtdebieten • Grote turbulentie 	Lage inblaassnelheid <ul style="list-style-type: none"> • Aanvaardbare luchtbewegingen met groot debiet • Kleine turbulentie
Groot inblaasverschil mogelijk ⇒ groot koelvermogen	Klein inblaasverschil noodzakelijk ⇒ beperkt koelvermogen
Gelijkmatige temperatuur	Grote temperatuurgradiënt tussen aanvoer en extractie
Gelijkmatige concentratie van de vervuilende stoffen	Kleinere concentratie van de vervuilende stoffen in de gebruikszone dan aan de extractie
Flexibele plaatsing van de EVU en EEU	EVU en EEU met grote afmetingen noodzakelijk

EEU: Eindextractie-unit

EVU: Eindverdeelunit

Bij het kiezen van de terugnameroosters worden de volgende luchtsnelheden aanbevolen:



Figuur 4.76

De soorten verdelers (pulsimonden)

- Wandroosters
- Stralen of inductoren
- Plafondroosters:
 - ✓ rond of met geperforeerd gaas
 - ✓ vierkant met 1 of meerdere verdeelvelden
 - ✓ lineair of rechthoekig
 - ✓ met torische straal.
- Verdelers met luchtstroom met variabele richting
- Verplaatsingsroosters met of zonder injectie
- Vloerroosters

4.3 DE SOORTEN KLIMAATREGELINGSSYSTEMEN

4.3.1 ALLEEN-LUCHTSYSTEEM

In een alleen-luchtsysteem worden de koeling en de aanvoer van verse lucht in een lokaal alleen gegarandeerd door het luchtdebiet.

4.3.1.1 met constant luchtdebiet

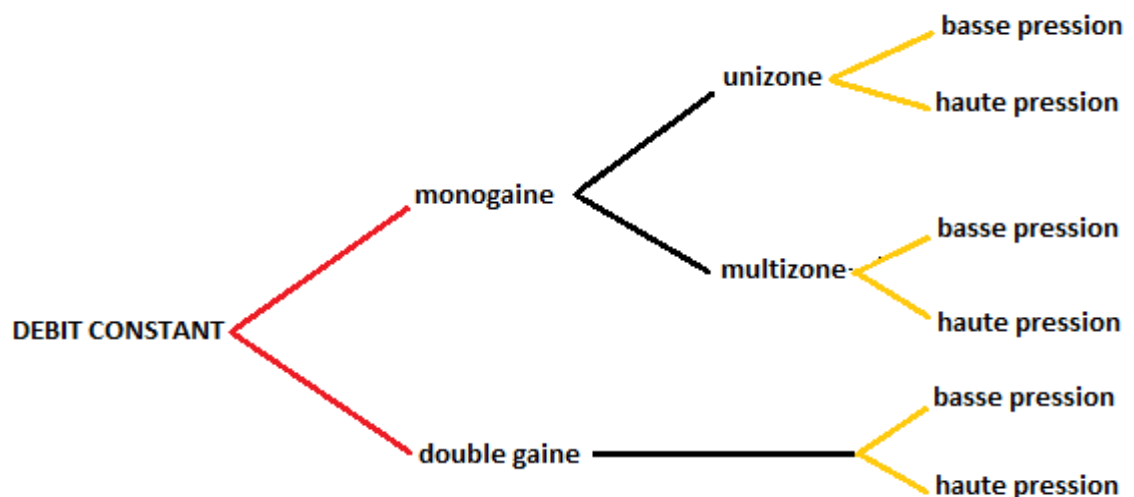
Hoe reageren op ladingveranderingen? Een "klassiek" airconditioningsysteem levert koudere lucht (de lucht wordt bijvoorbeeld afgekoeld van 20° tot 16 °C). Het debiet van de ingeblazen lucht blijft constant (bepaald door de ventilator die slechts één draaisnelheid heeft) maar de temperatuur daalt. We spreken dan van een "systeem met constant luchtdebiet".

Een alternatief bestaat in het behouden van een constante temperatuur gedurende de hele zomer (bijvoorbeeld 16 °C) maar in het vergroten van het debiet van de ingeblazen lucht. We spreken dan van een "systeem met variabel luchtdebiet".

- Tegenover de verliezen in de winter wordt de lucht ingeblazen bij 28 °C
- Als er aanvoeren zijn in de zomer, wordt de lucht ingeblazen bij 16 °C
- Ingeval van lichamelijke activiteit (afgifte van vocht) zal de ingeblazen lucht zeer droog zijn

Bij een constant luchtdebiet gebeurt de regeling door wijziging van de temperatuur en de vochtigheidsgraad van de ingeblazen lucht.

De mogelijke varianten:



Figuur 4.77

Eén koker

Er wordt één enkel netwerk met kokers gecreëerd; er is dus één enkel temperatuurniveau beschikbaar voor de ruimte(n) met klimaatregeling. (de eindunits compenseren de schommelingen van de eindtemperatuur)

Eén koker één zone

Er moet slechts één zone behandeld worden (één zone kan meerdere lokalen omvatten)

Eén koker meerdere zones

Men creëert meerdere zones in het gebouw, waarbij elke zone specifiek behandelde lucht kan ontvangen naargelang van haar behoeften. Eén zone kan meerdere lokalen omvatten.

Lage druk of hoge druk

We spreken van lage druk van de ventilator

- als druk < 800 Pa, of 80 mm CE
- als luchtsnelheid in de kokers begrepen tussen 2 en 7 m/s

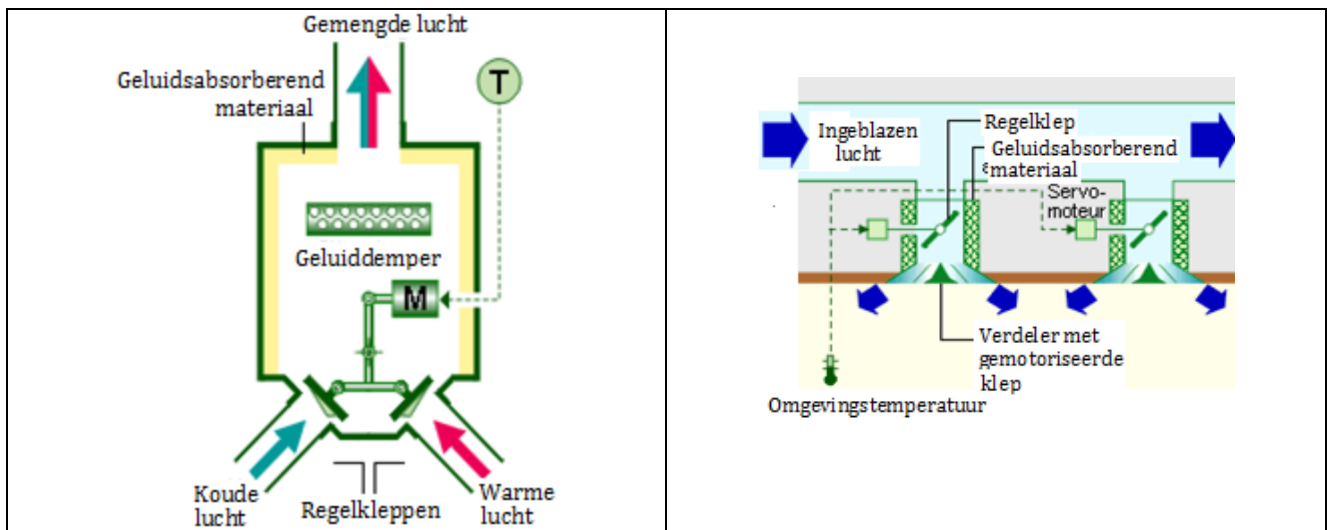
We spreken van een hogedruknetwerk

- als de snelheid in de kanalen > 7 m/s
- als druk > 1000 Pa

Bij een gelijk debiet kan men door een verdubbeling van de snelheid van de lucht in de kokers (ten opzichte van het lagedruksysteem) de vereiste doorsnede halveren. Maar de wrijvingen van de lucht tegen de wanden van de kokers zijn evenredig met het kwadraat van de snelheid. Bijgevolg moet de ventilator veel grotere ladingverliezen overwinnen.

Na passage door een ontspanningskast wordt de lucht verdeeld via de inblaasroosters.

De ontspanningskasten zijn doorgaans geluiddichte kasten met een reduceerorgaan (geperforeerde plaat bijvoorbeeld). Een regelaar zorgt voor een constante debietwaarde. Er worden voorzorgsmaatregelen genomen tegen geluidsoverlast.



Figuur 4.78

Dubbele koker of "dual duct"

Dit is een systeem waarbij twee luchttemperatuurniveaus in de centrale bereid worden en vervolgens via twee afzonderlijke kokers naar de ruimte(n) verdeeld worden.

Een centrale kast zorgt voor een eerste luchtniveau (bijvoorbeeld tot 16°); vervolgens bereiden een naverwarmingsbatterij en een koelingsbatterij warme en koude lucht, die via twee verschillende kokers verdeeld worden. Aan de ingang van elke ruimte of van elke zone waarvan de lokalen dezelfde behoeften hebben, worden mengkasten voorzien. Elke mengschuif wordt bediend door een omgevingsthermostaat.

Toepassingsgebied:

Het "alleen-luchtsysteem" is nuttig wanneer men een groot en constant luchtdebiet wenst, wanneer de behoeften van de ruimten in de verschillende zones veel van elkaar verschillen en wanneer het systeem zeer snel moet reageren op ladingschommelingen. In de praktijk vinden we dit systeem weinig in kantoren (de inertie van kantoren vraagt doorgaans geen grote flexibiliteit), soms in ziekenhuizen, maar meestal in de industrie waar strenge eisen aan regeling worden gesteld.

De kosten: (bron Energie+)

Installatie: van 125 tot 190 €/m² (excl. btw) voor een complete installatie.

Onderhoud: naargelang van het oppervlak, van 1,75 tot 5 €/m².

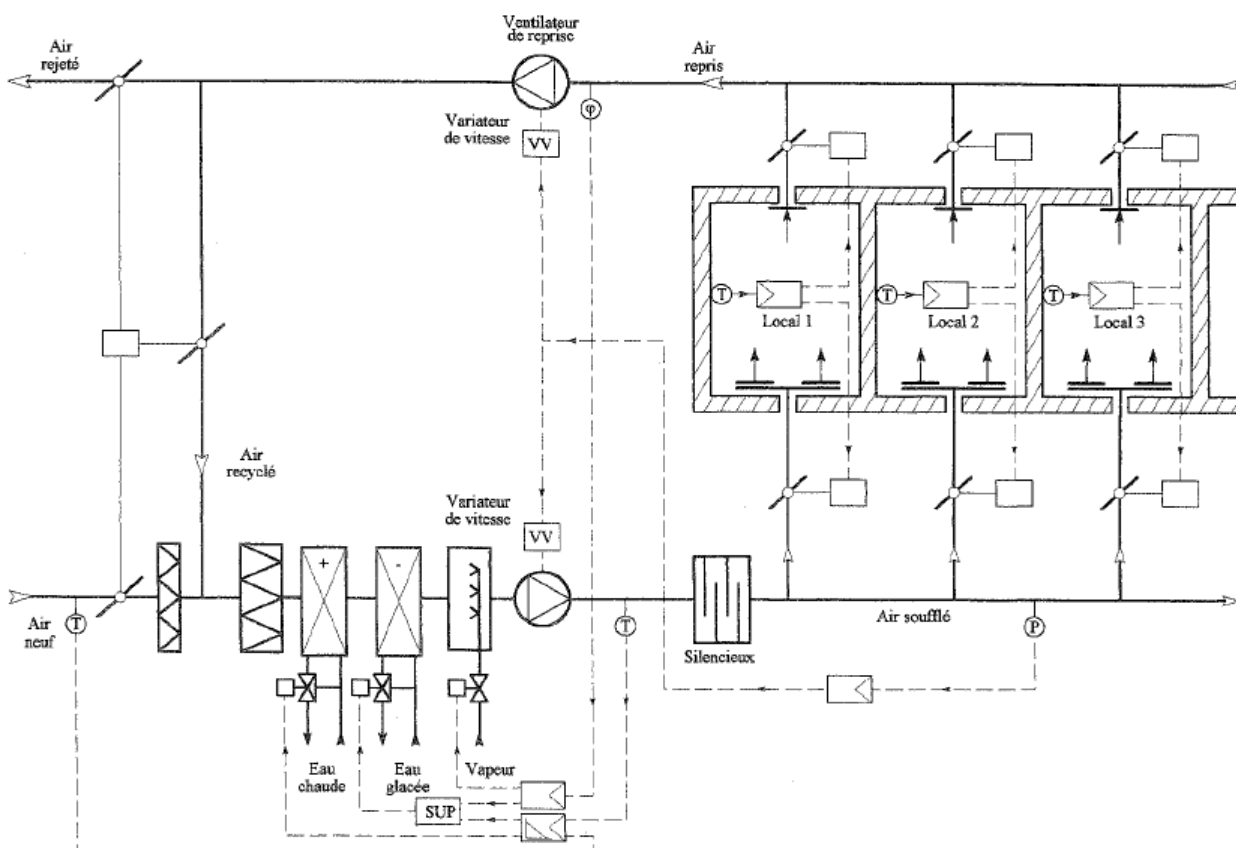
4.3.1.2 Met variabel luchtdebiet

In een systeem "alleen lucht-VAV" verandert het luchtdebiet tussen het hygiënische minimum voor de gebruikers en het maximum dat noodzakelijk is voor het afvoeren van alle belastingen van het lokaal (zon, kantoormeubilair, personen, ...). In de praktijk schommelt het debiet tussen 30 en 100 % van het nominale debiet. Aangezien de kostprijs voor het transport van de lucht 20 tot 40 % bedraagt van de kost voor het gebruik, is een variabel luchtdebiet zeker gerechtvaardigd. De debietvariatie wordt gerealiseerd:

- door bediening van een gemotoriseerd luik,
- direct aan de inblaasroosters (ontworpen voor variabel debiet) maar als de roosters sluiten, zal de kokerdruk toenemen. De hele luchtverdeling wordt dan verstoord.
- door modulatie van de snelheid van de ventilatoren
- door een combinatie van een of meerdere van deze elementen

Een VAV-installatie is ideaal voor een optimale benutting van de vrije energie:

- In de winter kan de koude buitenlucht de af te koelen zones bevoorraden zonder inschakeling van de koelgroepen.
- In de zomer kan verluchting 's nachts het gebouw ontdoen van de warmte die zich overdag heeft opgestapeld.



Figuur 4.79

Toepassingsgebied:

Het eenvoudige VAV (zonder eindverwarming) kan beantwoorden aan zeer uiteenlopende behoeften van zones, ... maar ze mogen niet elkaars tegengestelden zijn!

We vinden VAV in het bijzonder terug in grote kantoorlandschappen of grote platformen met vergaderzalen, conferentiezalen in het centrum van het gebouw: er is permanent aanvoer van verse lucht noodzakelijk.

De kosten:

Installatie: tussen 137,5 en 212,5 €/m²

4.3.2 SYSTEEM LUCHT/WATER

In een systeem lucht/water zijn de afkoeling en de aanvoer van hygiënische lucht gescheiden: de afkoeling gebeurt door uitrustingen op een watercircuit en de aanvoer van hygiënische lucht gebeurt enkel door het luchtdebiet.

Het systeem lucht/water vertoont de volgende kenmerken:

- ✓ Het lokaal is uitgerust met een eindunit die gevoed wordt met warm of koud water uit hydraulische verdeelnetten
- ✓ De hydraulische netten zorgen voor de overdracht van energie tussen de gecentraliseerde productie en de uitstralers
- ✓ De totale energie die noodzakelijk is voor de thermische behandeling van het lokaal, wordt door het water vervoerd

Een selectiecriteria voor een eindunit is de geluidsprestatie, te vergelijken met het geluidcomfort aanbevolen door de normen (ARAB, EN 13779)

NR 30-35	Goede luistervoorwaarden kantoren van de directie
NR 35-40	Normale luistervoorwaarden grote kantoren
NR 40-45	Middelmatige luistervoorwaarden laboratoria, restaurants

De energie kan afkomstig zijn van:

1. een warmwatergenerator en een koudwatergenerator
2. een warmtepomp die tegelijkertijd warm water en koud water levert
3. een transfergroep die toelaat warmte te gebruiken die gerecupereerd werd van de condensor van een ijswatermachine

4.3.3 KEUZE VAN HET KLIMAATREGELINGSYSTEEM

4.3.3.1 Systeem met water of systeem met directe expansie?

- Voor klassieke ruimten zoals kantoren geniet een systeem met water de voorkeur
- Het gebruik van klimaatregelaars en multisplittoestellen voorbehouden aan beperkte zones of uitbreidingen die niet uitgerust zijn met een centrale koudeproductie
- Een "alleen-luchtsysteem" enkel kiezen voor ruimten:
 - met een grote bevolkingsdichtheid (grote behoeften aan verse lucht)
 - zonder ramen
- Een specifiek koelsysteem voorzien voor de ruimten met een constante jaarlijkse behoefte
- Een systeem met een variabel koelmiddeldebiet voorzien voor gebouwen met tegengestelde warmtebehoeften

4.3.3.2 Aandachtspunten

De aandachtspunten bij de keuze van een klimaatregelingsysteem:

- **een dimensionering op basis van realistische criteria:**
 - ✓ van gebruik,
 - ✓ van richtwaarden van binnen- en buitentemperatuur,
 - ✓ van behoefte aan bevochtiging en ontvochtiging,
 - ✓ van interne belastingen verbonden met de binnenuitrustingen.
- **de beperking van de hoeveelheid verse lucht tot precies de kwaliteitsbehoefte van de binnenlucht**

4.3.3.3 Plaats externe unit

De plaats van de condensor beïnvloedt het energieverbruik en de betrouwbaarheid en levensduur van het systeem.

Fouten die niet gemaakt mogen worden:

- **De condensor in een zonovergoten zone plaatsen**

Bij zonneschijn kan de temperatuur van het dakoppervlak op deze plaats gemakkelijk 70 °C overschrijden. Wanneer de condensor op een schaduwrijke en goed verluchte plaats geïnstalleerd wordt, zal dit het rendement ten goede komen.

- **De condensor in de richting van de overheersende winden plaatsen**

In dit geval moet de ventilator, voor het afvoeren van de lucht, de tegenstand van de wind overwinnen; dit verhindert zijn correcte werking.

- **De condensor op een niet-toegankelijk dak plaatsen**

Door te weinig onderhoud heeft dit nadelige gevolgen voor de prestaties van de klimaatregelaar en diens levensduur. De kosten voor een herstelling zijn ook veel groter.

- **De condensor op de grond in de buurt van bloemperken plaatsen**

De aanwezigheid van dode bladeren, aarde en stof, die gemakkelijk door de ventilator worden aangezogen, zal leiden tot een snelle vervuiling van de condensor.

- **De schoonheid van het gebouw vernielen**

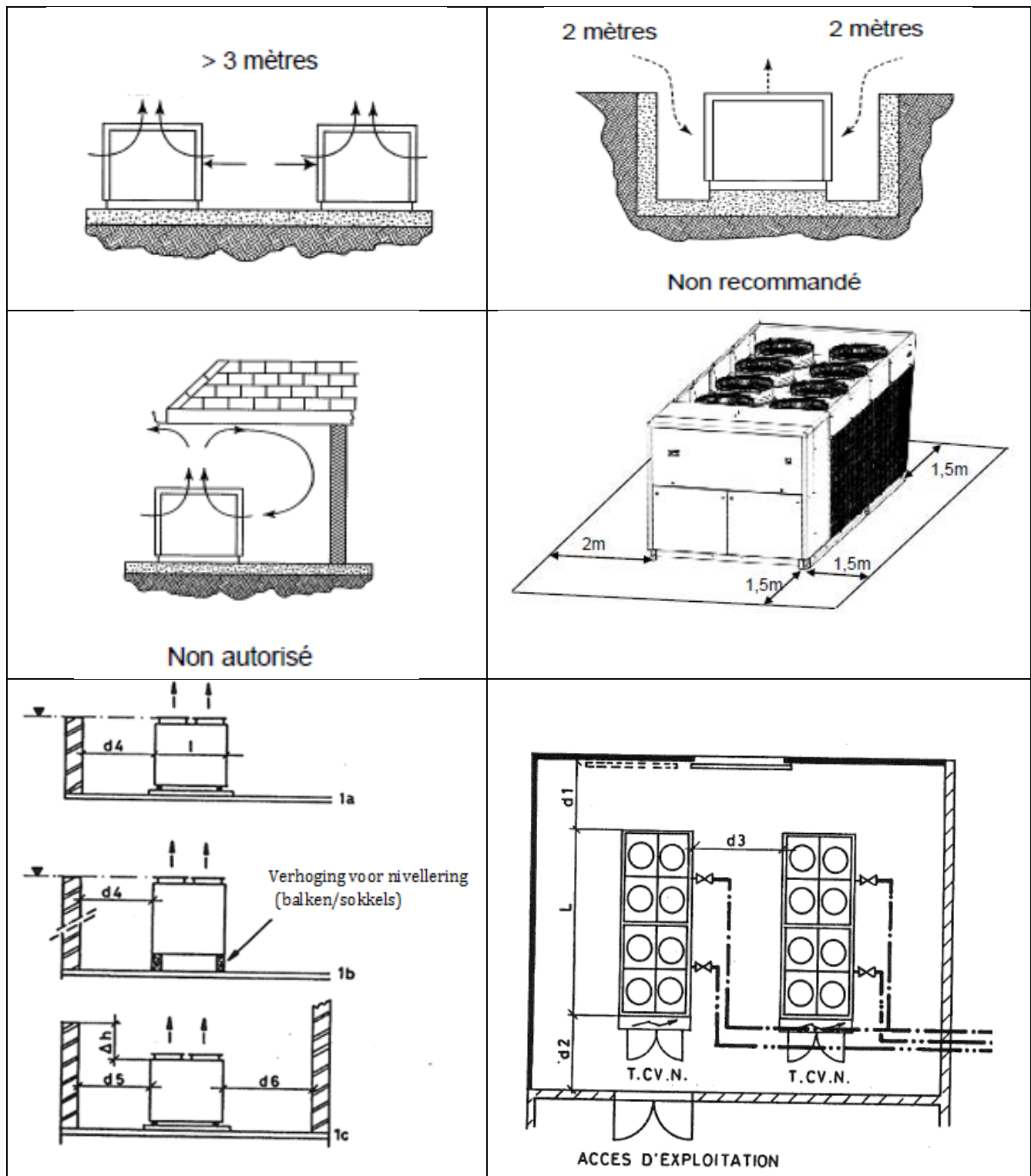
De condensoren zijn vaak lelijke toestellen. Om hun plaats te bepalen, dient men hun mogelijke integratie in het gebouw te onderzoeken. Men geeft de voorkeur aan een niet-zichtbare inplanting.

- **Het belang van het onderhoud uit het oog verliezen**

De condensor moet geïnstalleerd worden op een gemakkelijke toegankelijke plaats voor zijn onderhoud, maar tevens een plaats zonder te veel vervuiling.

- **De condensor te dicht bij de wanden plaatsen**

Risico van hercirculatie van warme lucht



Figuur 4.80

4.4 DE WARMTE- OF KOUDESTRALERS

4.4.1 VENTILATOR-CONVECTOREN

De ventilator-convectoren is een warmtewisselaar waarin ijswater stroomt. Aangezien het temperatuurverschil bij koude kleiner is dan bij warmte, zal het uitwisselingsoppervlak van de koude batterij groter zijn dan dat van de warme batterij. Men bouwt een ventilator in, om voldoende vermogen te leveren voor de afkoeling van de omgeving: men forceert de uitwisseling tussen lucht en water.

Een ventilator-convectoren omvat:

- een luchttoevoer van het lokaal (te verwarmen of af te koelen),
- een groffe filter om het stof tegen te houden,
- een of meerdere ventilatoren, met lage snelheid,
- een of twee uitwisselingsbatterijen, met kleine doorsnede, gevoed met warm water en/of ijswater,
- eventueel een elektrische regelweerstand,
- een bak onderaan voor het opvangen van de condensaten,
- en een eventuele bekleding uit esthetische overwegingen.

De variatie van het vermogen geleverd door de ventilator-convectoren wordt gerealiseerd:

- door stilstand of werking van de ventilator
- door variatie van het waterdebiet in de batterijen (2-weg- of 3-wegklep)

Er bestaan meerdere varianten op de markt:

2 buizen: het toestel heeft een enkele batterij die door twee buizen gevoed wordt

2 buizen 2 draden: het toestel heeft een koude batterij en een elektrische weerstand voor de verwarming (2 draden)

4 buizen: het toestel heeft twee batterijen die elk door twee buizen gevoed worden. De koude batterij heeft meer rijen dan de warme batterij, voor een betere ontvochtiging, en door het kleinere temperatuurverschil tussen de lucht en het ijswater dan tussen het warme water en de lucht (pinch-off).

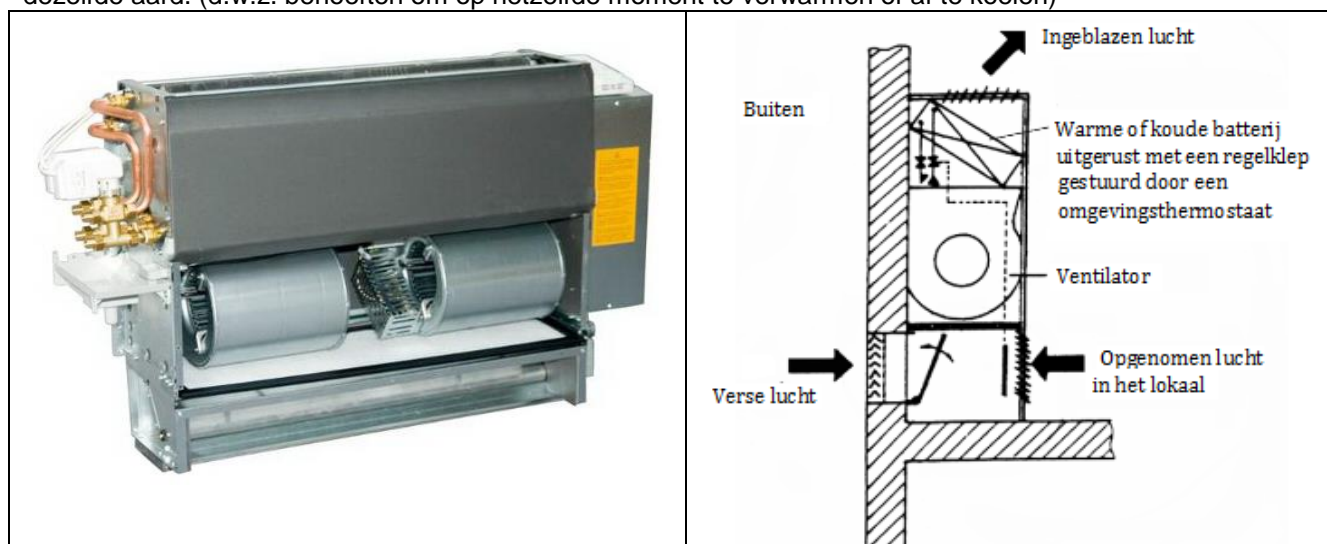
De energieprestaties zijn de volgende:

- warmte: 2 tot 20 kW
- koude: 1 tot 18 kW
- luchtdebiet van 150 tot 2050 m³/h

De geluidsprestaties (gegeven door de norm EUROVENT 8/2 – 92) variëren van 30 tot 65 dbA naargelang van de modellen. (Aan de hand van de beoordelingscurven van het geluid of NR-curve kan men bepalen of het geluidsvermogen het door de normen aanbevolen niveau overschrijdt). In de technische fiches vinden we vaak de aanduiding "NC" (NC = NR – 2 dB) om de geluidsprestatie van een eindunit aan te geven.

Toepassingsgebied:

Het systeem is geschikt voor onderverdeelde ruimten (kantoren, hotels, ...) met variabele behoeften van dezelfde aard. (d.w.z. behoeften om op hetzelfde moment te verwarmen of af te koelen)



Figuur 4.81

Het is mogelijk de ventilator in het verlaagde plafond en de tussenvloer in te bouwen: in de literatuur spreekt men dan van een **cassette**.

De aansluiting wordt voorzien via verdeelkokers naar de verschillende inblaasroosters. Dit verbetert het comfort (betere verdeling van de lucht, afname van het geluid, ...), maar de ventilator moet gemakkelijk toegankelijk blijven voor onderhoud (opening voorzien langs onder).

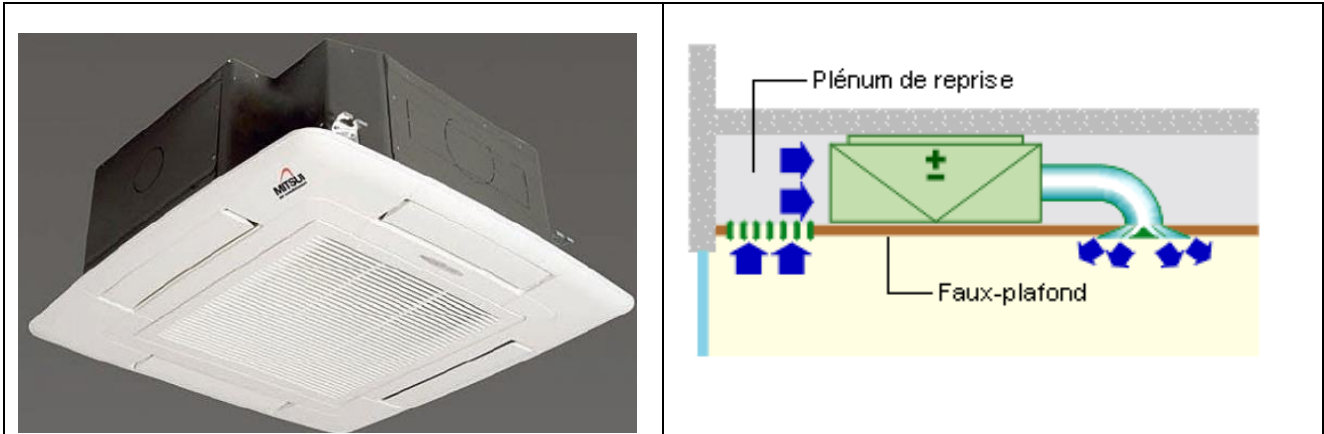
De ventilator-convectoren "2 buizen - 2 draden" kunnen niet gebruikt worden, tenzij het stroomverbruik voor verwarming marginaal is, dit wil zeggen minder dan 10 kWh/m²/jaar (bron Energie+ de website)

Deze ventilator-convectoren hebben de volgende minimale verhouding "elektrisch verbruik / waarneembaar koelvermogen":

Ventilator 2 buizen enkel koude: 2,3 %

Ventilator 2 buizen koude en warmte: 3,4%

Ventilator 4 buizen: 3,5 %



Figuur 4.82

4.4.2 EJECTO-CONVECTOREN

De primaire lucht die bestaat uit verse lucht, behandeld in de centrale, wordt aan een grote snelheid (15 tot 25 m/s) en onder druk (150 tot 500 Pa) naar de ejecto-convectoren met constant debiet geblazen. Het geluidsniveau en het stroomverbruik van de ventilator is groter. Binnenin het toestel stroomt de primaire lucht door nozzles, waardoor de lucht van het lokaal door inductie aangezogen en in beweging gezet wordt. De primaire lucht bij de uitgang van de nozzles vermengt zich met de verwarmde of gekoelde - ontvochtigde opgenomen lucht en wordt vervolgens verdeeld in het lokaal. Het ladingverlies van de batterij is noodzakelijkerwijs beperkt (groot frontaal oppervlak)

De benodigde ruimte is groter.

Alle ejecto-convectoren worden gevoed met warme of koude primaire lucht naargelang van het seizoen. Het volume secundaire lucht kan tot 6 keer groter zijn dan het volume primaire lucht. Het warmtevermogen van de ejecto-convectoren schommelt van 150 tot 1200 watt en het koelvermogen van 120 tot 900 watt.

Het debiet van de primaire lucht aan de injectoren schommelt tussen 8 en 50 l/s.

De energieprestaties variëren van 140 tot 1150 W voor warmte en van 20 tot 860 W voor koude.

NBN D 16-002 (1975): Centrale verwarming, luchtverversing en klimaatregeling - Ejecto-convectoren (1e ed.)

De norm geeft de definitie en de classificatie van de ejecto-convectoren, de specificaties van de onderdelen, de veiligheidseisen, de te leveren kenmerken en de voorwaarden voor de controle van deze kenmerken.

Het geluidshinderniveau van de ejecto-convectoren wordt gegeven door de referentie Eurovent 8/3.

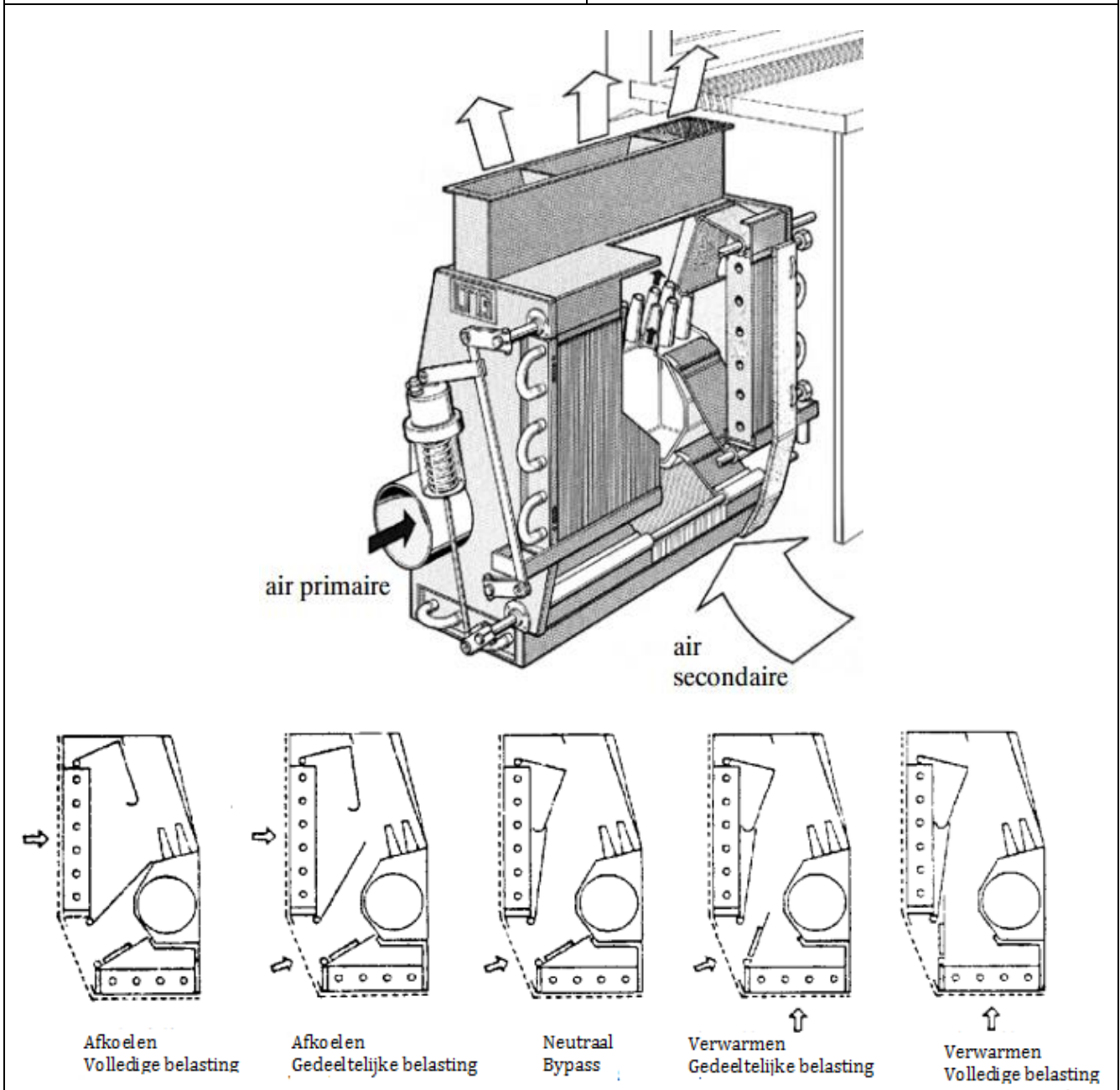
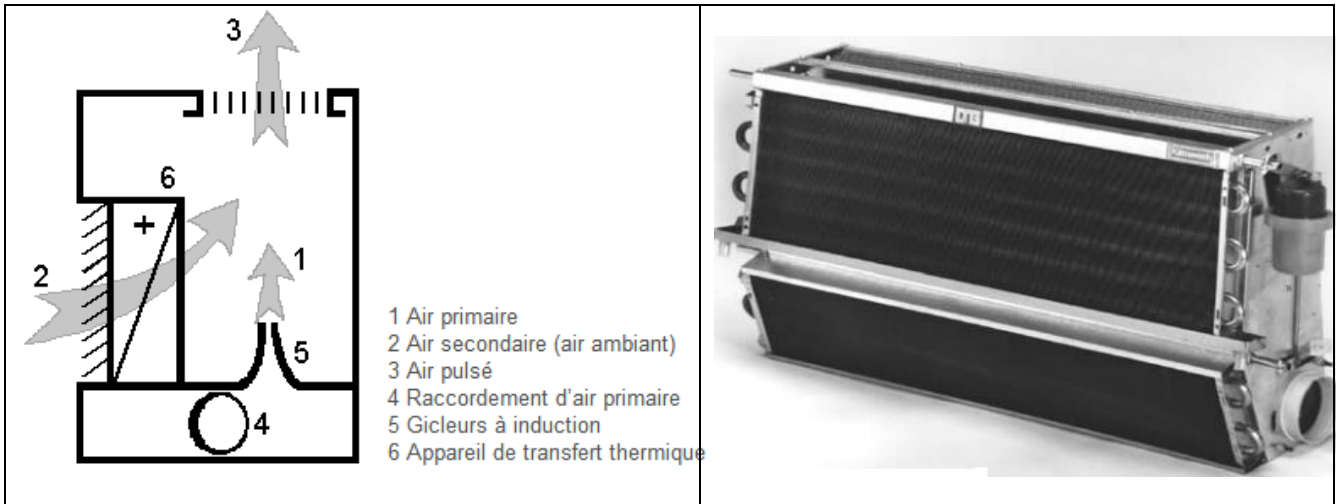
Toepassingsgebied:

Zo zijn de ejecto-convectoren niet geschikt voor hotels. De kamers worden immers met onderbrekingen gebruikt, terwijl de primaire lucht constant ingeblazen wordt

De ejecto-convectorinstallaties met 4 buizen zijn geschikt voor gebouwen met ruimten met variabele belastingen als gevolg van de migratie van de geworpen schaduwen gedurende de dag. Van deze oplossing wordt afgestapt ten voordele van de ventilator-convectoren in nieuwe gebouwen.

De eindregeling van de omgevingstemperatuur wordt gerealiseerd:

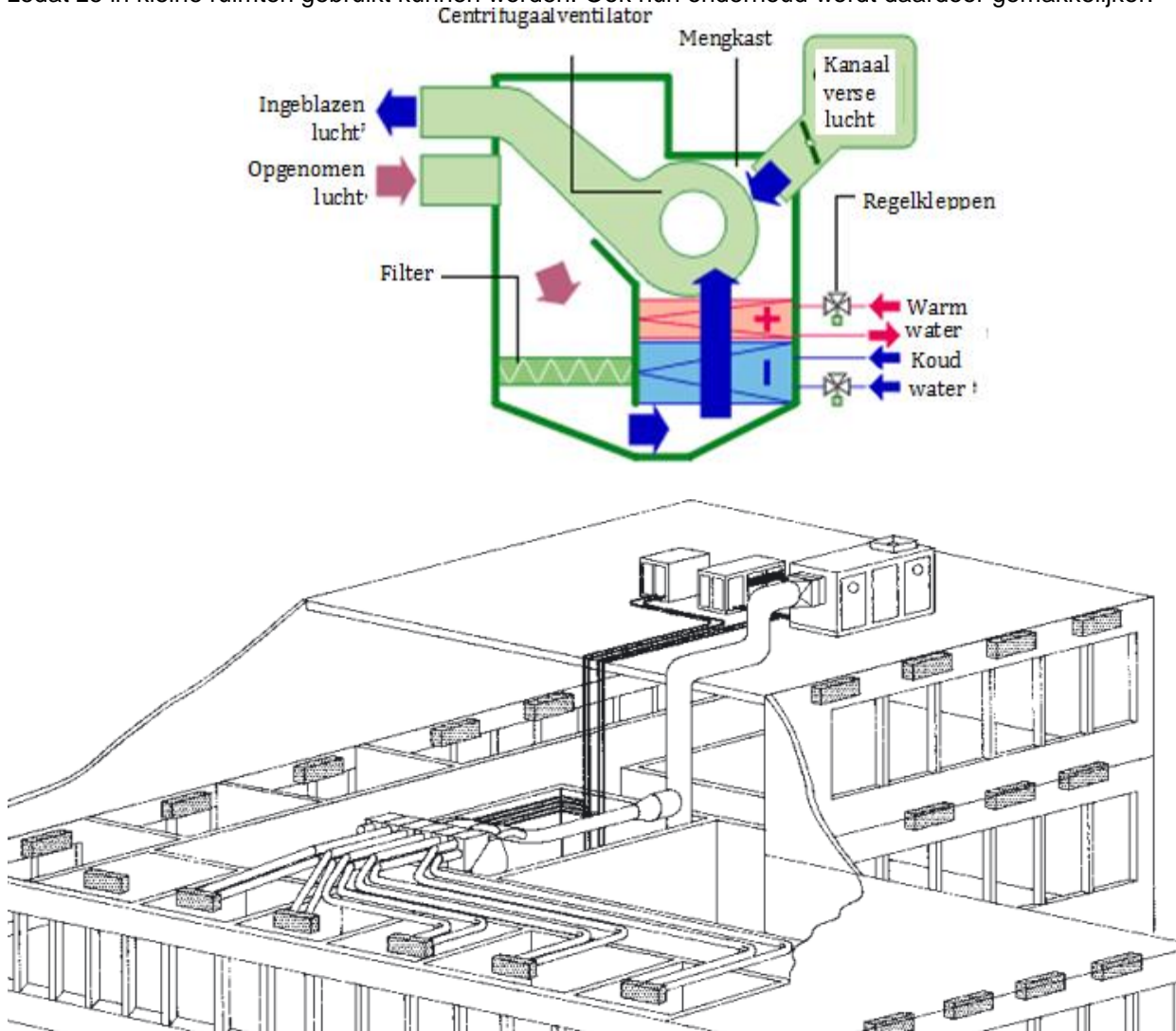
- door werking van een luik in de unit: een luik regelt het debiet van de secundaire lucht dat door de batterij stroomt door een afleidingsopening te openen.
- door werking van de warmwater- of koudwaterklep van de batterij.



Figuur 4.83

4.4.3 LUCHTBEHANDELINGSMODULES

De luchtbehandelingsmodules zijn niet-centrale luchtbehandelingskasten die vereenvoudigd en verkleind zijn zodat ze in kleine ruimten gebruikt kunnen worden. Ook hun onderhoud wordt daardoor gemakkelijker.



Figuur 4.84

Toepassingsgebied:

De luchtbehandelingsmodules maken elke ruimte zelfstandig. Ze worden aanbevolen in modulaire structuren van 25 tot 50 m², zoals kantoorgebouwen, ziekenhuiskamers, ...

4.4.4 KOELBALK

Het principe van de toestellen met koelbalkplafond is het volgende: de primaire lucht zorgt voor een verversing van de lucht in de ruimte door een aanzuiging door inductie te creëren van de omgevingslucht; hierdoor wordt deze verplicht door de ingebouwde batterijen te stromen om af te koelen. Er is geen enkel mechanisch onderdeel, noch eindventilator noch mobiel onderdeel noodzakelijk om de goede werking van de koelbalk te garanderen.

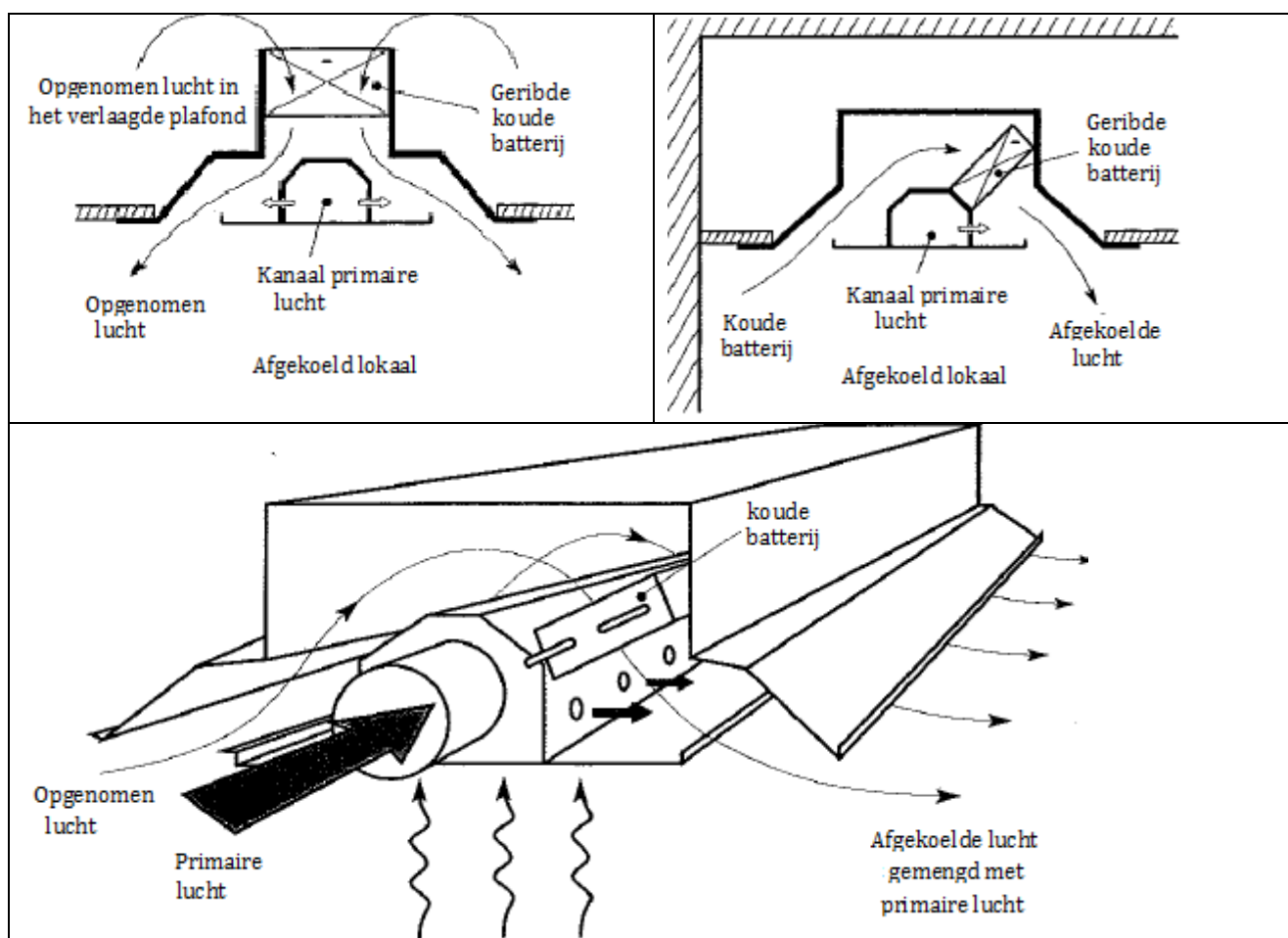
Deze wisselaar werkt met een klein temperatuurverschil door de niet-condensatievoorwaarde. Zijn koelvermogen varieert naargelang van de breedte van de balk, de aanwezigheid van inductie, het temperatuurverschil, ... De graad verse lucht schommelt tussen 1 en 2,5 Volume/uur. Het koelvermogen schommelt tussen 75 en 200 W / strekkende meter met een verschil lucht/water van 10 K.

Er zijn twee ontwerpen mogelijk:

- Convectiekoelbalken bestaande uit een koude batterij: de lucht in het lokaal stroomt door natuurlijke convectie.
- Koelbalken met inductie: de lucht in het lokaal wordt door de batterij vervoerd via een verseluchtkanaal met straalpijpen

Tijdens de werking van de plafonds moet de verse lucht voorgekoeld worden, want het koelvermogen van de koelplafonds volstaat vaak niet om de koudebelasting van het lokaal op te vangen. Dit wordt vaak verholpen door voorgekoelde lucht.

De druk in het kanaal (150 tot 200 Pa) volstaat opdat de verse lucht met grote snelheid zou kunnen ontsnappen en een inductie-effect op de opgenomen lucht zou kunnen creëren.



Figuur 4.85

De passiefbalken bevinden zich evenwijdig met het raam. (de convectielus stijgt langs het raam). Het circuit van de balken wordt gevoed aan een temperatuurregime heen en terug van 15 °C - 17 °C.



Figuur 4.86

De installatie zorgt voor een permanente regeling van de temperatuur van het koude water, naargelang van de belastingen, en van de temperatuur van het dauwpunt. De begintemperatuur van het koude water is steeds hoger dan het dauwpunt van de lucht en wordt berekend op basis van de droge temperatuur en de relatieve vochtigheid van de lucht in het lokaal.

Er zijn meerdere voorzieningen mogelijk:

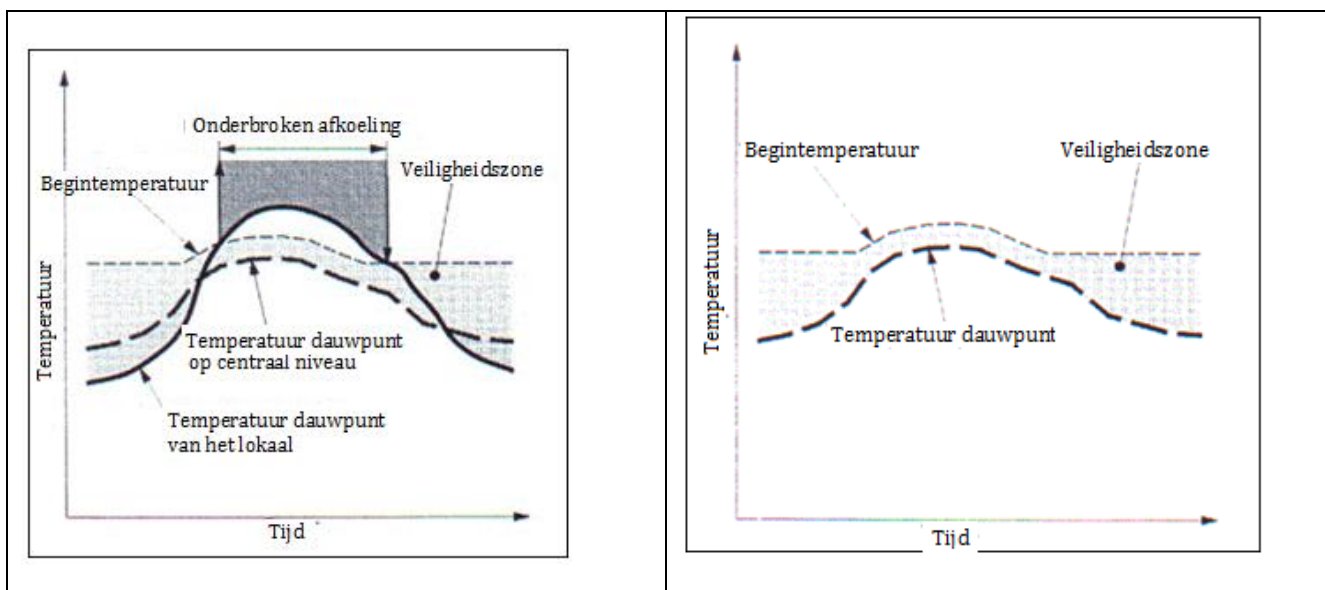
- Centrale regeling van de temperatuur van het koude water naargelang van het buitendauwpunt
- Centrale regeling van de temperatuur van het koude water met lokale detectie van de condensatie
- Centrale en lokale regeling van de temperatuur van het koude water
- Lokale regeling van de temperatuur van het koude water

Op lokaal niveau detecteert een sonde op de koudwaterinlaat de condensatie en sluit de 3-wegklep als er een risico van condensatie op het koelplafond bestaat.

Een andere voorziening: de regelaar berekent het dauwpunt van de lucht in het lokaal op basis van de meting van de droge temperatuur en de relatieve vochtigheid.

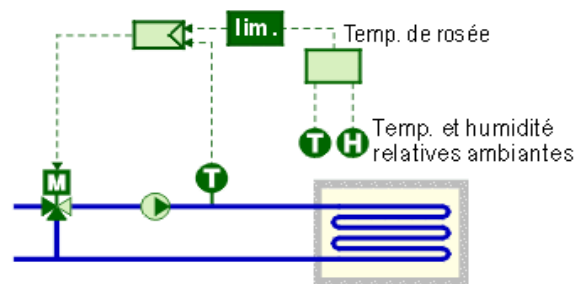
Naargelang van de vraag en het dauwpunt moduleert de regelaar de temperatuur van het koude water in de wisselaars met behulp van de 3-wegklep. De temperatuur wordt zeer nauwkeurig geregeld, maar mag geen condensatie veroorzaken.

Als de relatieve vochtigheid van de lucht aan het oppervlak van de buis in de buurt van condensatie komt, wordt een contact geactiveerd; de klep wordt gesloten en de pomp wordt eventueel uitgeschakeld. Deze pomp kan ook uitgeschakeld worden als het sponningcontact op de openslaande vleugels van de ramen een open raam signaleert. De bewaking van het dauwpunt is noodzakelijk voor lokalen waar veel vocht wordt afgegeven.

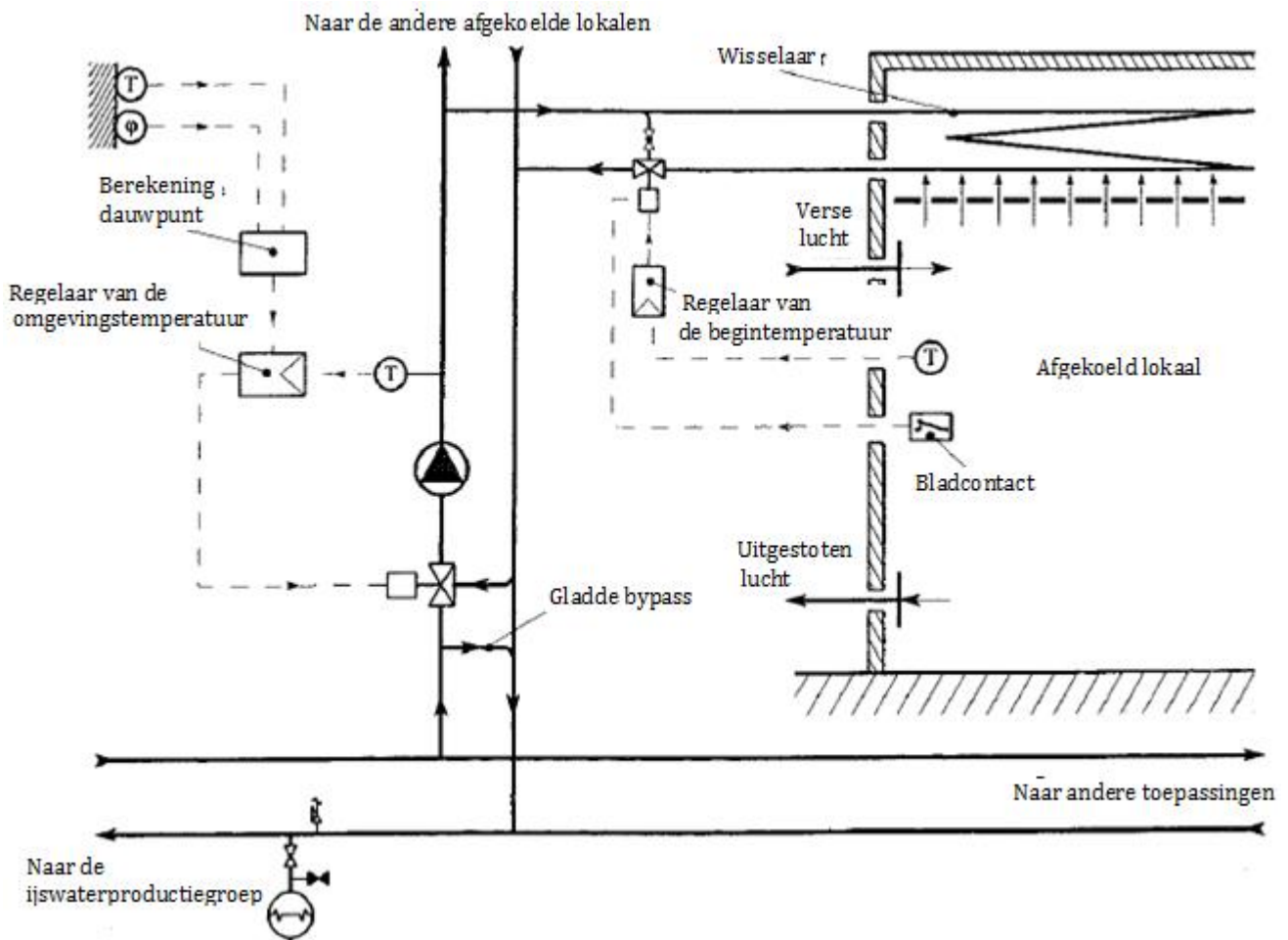


Figuur 4.87

Met de lokale regeling kan men de begintemperatuur naar de wisselaar zeer nauwkeurig regelen (naargelang van het dauwpunt van de lucht in het lokaal en niet van de buitenlucht)



Figuur 4.88



Figuur 4.89

Toepassingsgebied:

Kantoor, gebouwen met grote esthetische beperkingen en een beperkte beschikbare ruimte.

VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none"> • lage luchtverdeelsnelheid • geruisloos 	<ul style="list-style-type: none"> • Het beperkte koelvermogen ten opzichte van de traditionele systemen • De verseluchtaanvoer toevertrouwd aan een andere voorziening

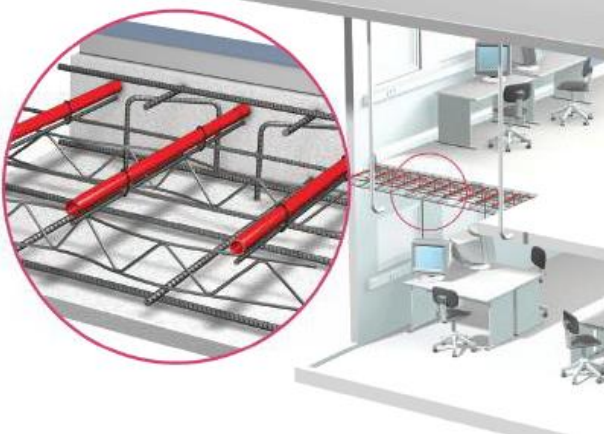

4.4.5 STRALINGSKOELPLAFOND

Het basisidee is om de beschikbare plafondoppervlakte te benutten voor het afvoeren van de warmte en het behouden van de vereiste interne voorwaarden.

De stralingskoelplafonds zijn statische stralers met een droge wand. De warmte-uitwisselingen gebeuren op twee verschillende manieren

- Uitwisseling door convectie met de omgevingslucht: minimaal 40 % van het totale uitgestraalde vermogen.
- Uitwisseling door straling met wanden, meubels, personen, ... : maximaal 60 % van het vermogen.

Er bestaan verschillende technologieën:

<p><u>actieve vloer:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Het koelvermogen is klein (60 W/m²). • Grote inertie van het systeem 	<p>Figuur 4.90</p> 
<p><u>Verlaagde plafonds met onbuigzame ribben</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Het koelvermogen van deze plafonds bereikt 100 W/m². • Kleine inertie van het systeem 	
<p><u>Verlaagde plafonds met capillaire matten</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Het koelvermogen is klein en schommelt tussen 50 en 70 W/m². • Gebruik gedemineraliseerd water want groot risico op verstopping van de mat 	<p>Figuur 4.91</p> 

Voor de capillaire matten:

VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none"> • Kleine dikte • Gemakkelijk te plaatsen • Kleine thermische inertie 	<ul style="list-style-type: none"> • risico van verstopping van de buizen (gedemineraliseerd water gebruiken)

Voor de onbuigzame ribben:

VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none"> • esthetische kwaliteiten • groot vermogen • gemakkelijk te plaatsen 	<ul style="list-style-type: none"> • verkoopprijs • beperkte esthetica

4.4.6 KOELVLOER (SLAB COOLING)

Het basisprincipe bestaat erin, de leidingen waardoor het koude water stroomt (min. 16 °C om het risico op condensatie te vermijden) te integreren in de vloer van elke verdieping.

Het water kan op verschillende manieren worden gekoeld:

- Het water kan gekoeld worden door buitenlucht, via een wisselaar op het dak.
- Het water kan gekoeld worden door water dat in een ondergronds waterbekken gepompt wordt, via een plaatwisselaar water/water.
- Het water kan afgekoeld worden door circulatie in de grond onder het gebouw, via een wisselaar grond/water.
- Het water kan gekoeld worden door een traditionele koelmachine.

Het koelvermogen is klein (van 40 tot 50 W/m² in het beste geval, ten opzichte van 80 tot 90 W/m² met de traditionele koelplafonds en 100 tot 120 W/m² met de ventilator-convectoren). Dit systeem alleen is enkel geschikt in een gebouw met een zeer goede beheersing van de thermische belastingen.

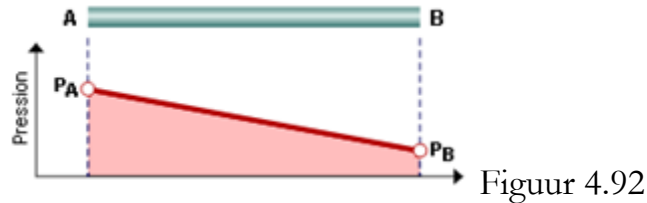
Het systeem zorgt niet voor de behandeling van de vochtigheidsgraad, die bijgevolg, indien gewenst, gerealiseerd moet worden via het hygiënische ventilatiesysteem.

VOORDELEN	NADELEN
<ul style="list-style-type: none">• lage luchtsnelheid• geruisloos• zelfaanpassend karakter: een toename van de temperatuur in het lokaal veroorzaakt een toename van het uitgewisselde vermogen	<ul style="list-style-type: none">• risico van condensatie van waterdamp op het plafond als de luchtvochtigheid toeneemt• Het beperkte koelvermogen ten opzichte van de traditionele systemen• Grote inertie die regeling moeilijk maakt

4.5 SAMENSTELLING VAN EEN HYDRAULISCH CIRCUIT

4.5.1 POMPEN EN CIRCULATIEPOMPEN

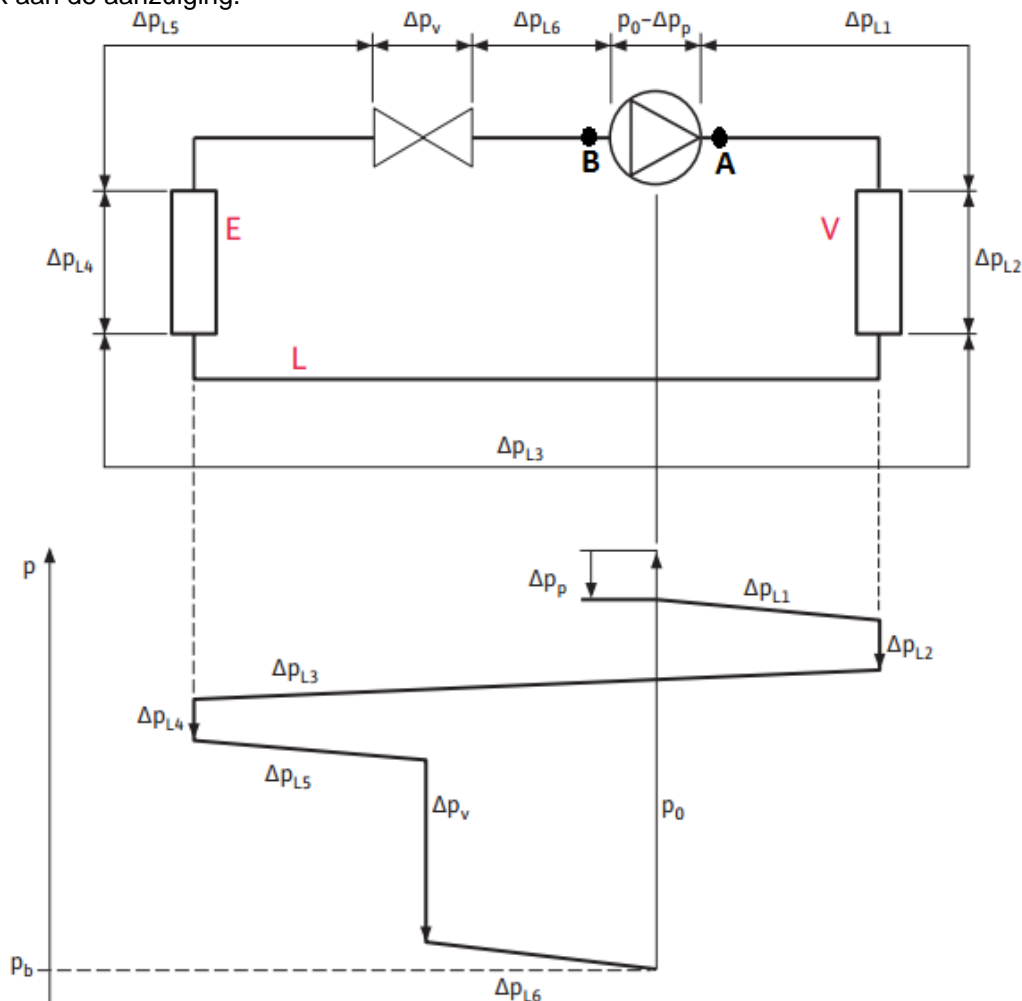
Opdat water in een leiding zou doorstromen, moet het aan een drukverschil onderworpen worden.



Figuur 4.92

We kunnen zeggen dat de grotere druk in punt A het water naar de lagere druk in punt B "duwt". De verplaatsing van het water gaat gepaard met wrijvingen die een drukverlies veroorzaken. We kunnen zeggen dat de drukdaling tussen de punten A en B overeenkomt met de wrijvingen van het fluïdum tegen de wanden van de leiding. Ze wordt "ladingverlies" van punt A naar punt B genoemd.

In een gesloten circuit stroomt het water van A naar B, want de druk aan de perszijde van de pomp is groter dan de druk aan de aanzuiging.



Figuur 4.93

P_0 = ladingverlies van het netwerk tussen A en B = manometrische opvoerhoogte van de circulatiepomp.

P_b = referentiedruk van het circuit (gegeven door het expansievat)

Δp_{L6} , Δp_{L5} , Δp_{L3} , Δp_{L1} = ladingverlies onderweg

Δp_{L4} , Δp_{L2} = ladingverlies van de wisselaars

Δp_{Lv} = ladingverlies van de regelklep

Δp_p = ladingverlies van de pomp

De weerstand van het verdeelnetwerk hangt enerzijds af van zijn configuratie (lengte en vorm van de leidingen, richtingveranderingen, hindernissen zoals kleppen, verwarmingselementen, filters, ...) en anderzijds

van de snelheid van het water dat erdoor stroomt. De weerstand, of met andere woorden de ladingverliezen, staat voor de wrijving van het water in de leidingen. Deze vergroot met de snelheid van het water. De berekening van de ladingverliezen bestaat in het optellen op het meest ongunstige circuit van:

$$\dot{J}_{TOTALE} = \dot{J}_{LINEAIRE} + \dot{J}_{SINGULIERE} + \dot{J}_{APPAREIL}$$

Lineair ladingverlies van de leidingen

$$\dot{J}_{LIN} = j \times L$$

j = ladingverlies per lengte-eenheid (Pa/m)
 L = lengte van het circuit (in m)

Plaatselijk ladingverlies van de accessoires

$$\dot{J}_{sing} = \zeta \times \frac{\rho \times v^2}{2}$$

ζ = coëfficiënt van het plaatselijke ladingverlies
 ρ = soortelijke massa van de lucht (kg/m³)
 v = lichtsnelheid (m/s)

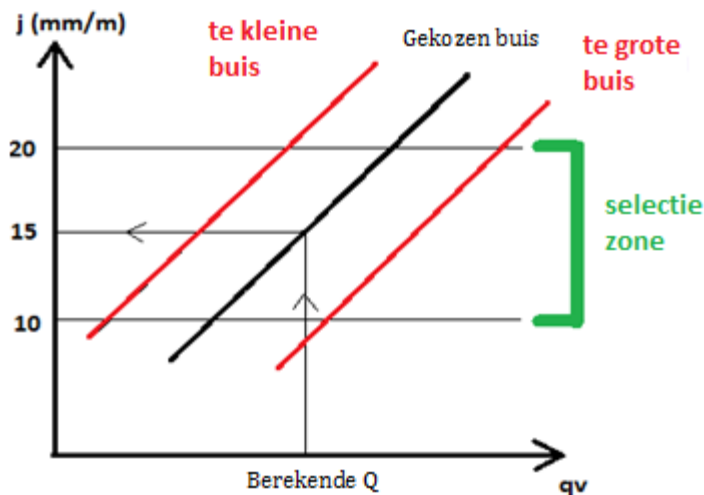
De coëfficiënten j en ζ kunnen in berekeningstabellen gevonden worden. (zie tabel 9.14 hoofdstuk 9)

Ladingverlies van de toestellen $\dot{J}_{APPAREIL}$

De constructeur van het toestel levert een berekeningstabel met het ladingverlies j_0 naargelang van het debiet q_{v0} . Als het gekozen debiet q_v daarvan verschilt, kan men het ladingverlies j van het toestel herberekenen:

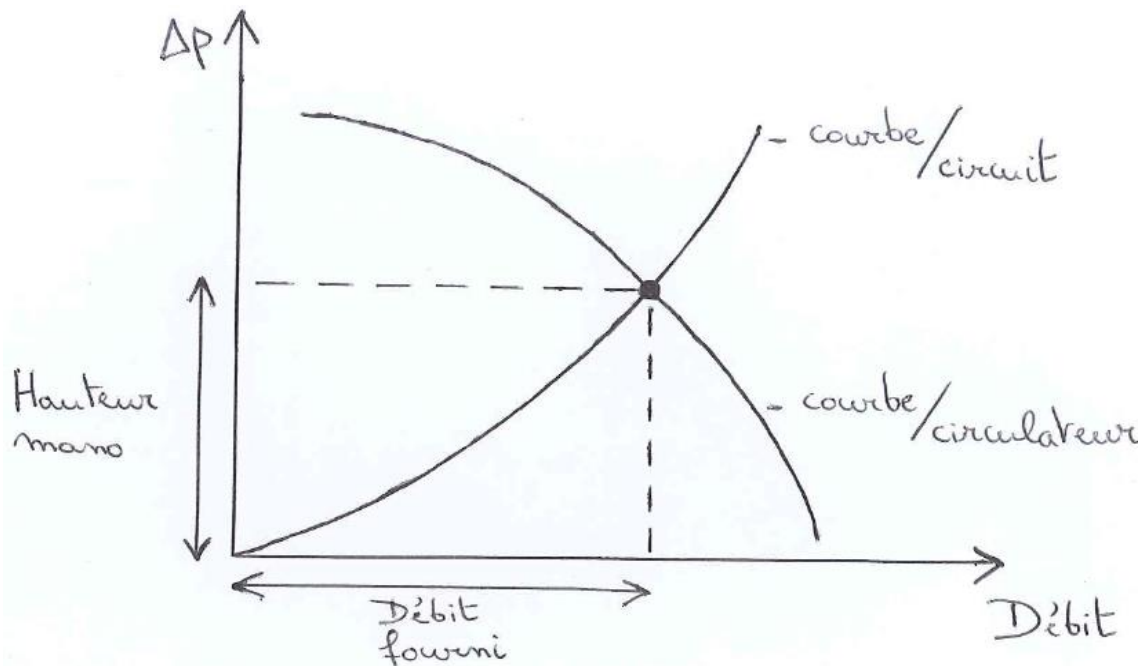
$$j = j_0 \times \left(\frac{q_v}{q_{v0}}\right)^2$$

Voor wat betreft de lengten van de leidingen wordt, om praktische redenen, de buis zo gekozen dat een ladingverlies per lengte-eenheid tussen 10 en 20 mm/m wordt verkregen.



Figuur 4.94

Als we een circulatiepomp op een verdeelcircuit aansluiten, zal ze haar debiet stabiliseren op een waarde waarop de druk die ze levert gelijk is aan de weerstand van het circuit. Dit punt is het enige mogelijke werkingpunt. Het komt overeen met het snijpunt van de karakteristieke curve van de circulatiepomp en van het circuit. Het definieert de manometrische opvoerhoogte en het debiet geleverd door de circulatiepomp, wanneer ze, bij een gegeven snelheid, op het betreffende circuit wordt aangesloten.



Figuur 4.95

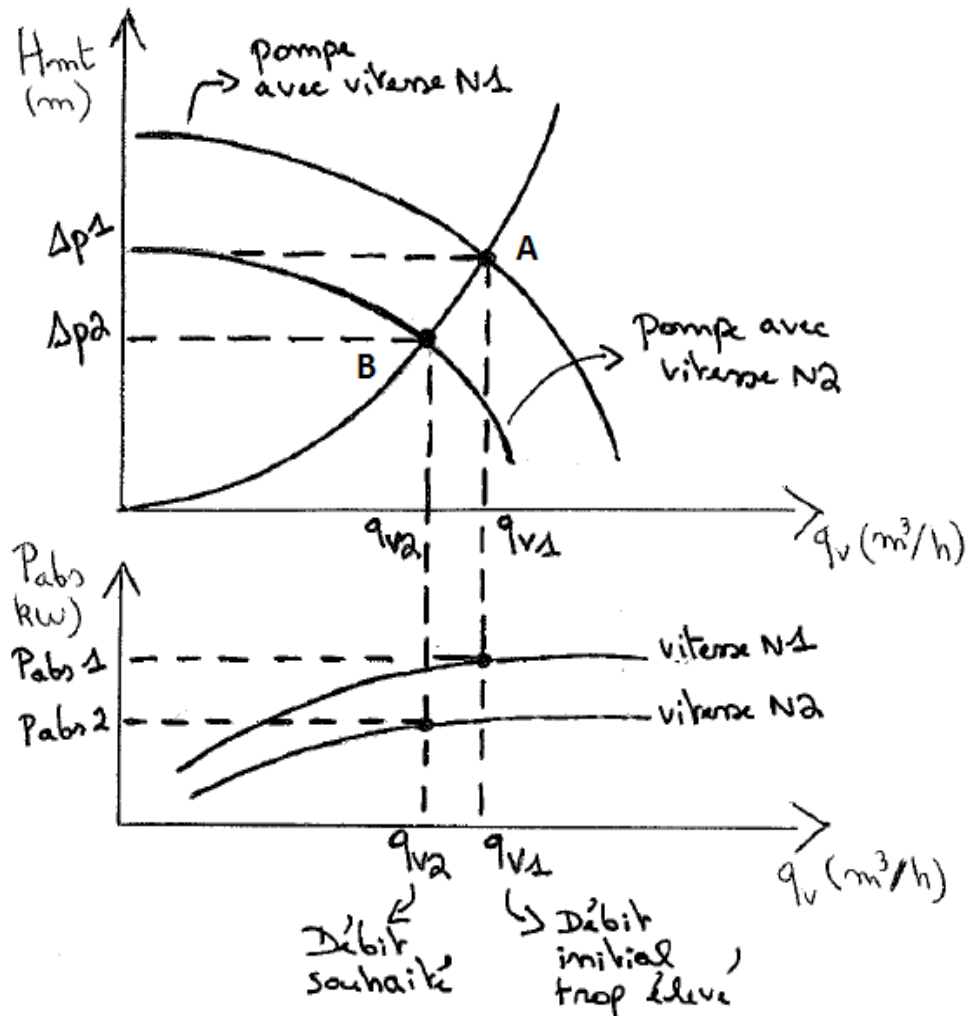
Net zoals de ventilatoren worden de pompen altijd overgedimensioneerd. (om de fouten bij het schatten van de ladingverliezen te compenseren). Het werkingpunt van de installatie geeft een werkelijk debiet dat steeds hoger is aan het gewenste debiet.

Het debiet kan op verschillende manieren worden geregeld:

- Plaatsing regelklep in serie met de pomp (wijzigingen netwerk)
- Plaatsing regelklep parallel met de pomp (wijzigingen netwerk)
- Variatie van de draaisnelheid (aanpassingen circulatiepompen)

De **variatie van de snelheid** is de beste oplossing vanuit energetisch oogpunt.

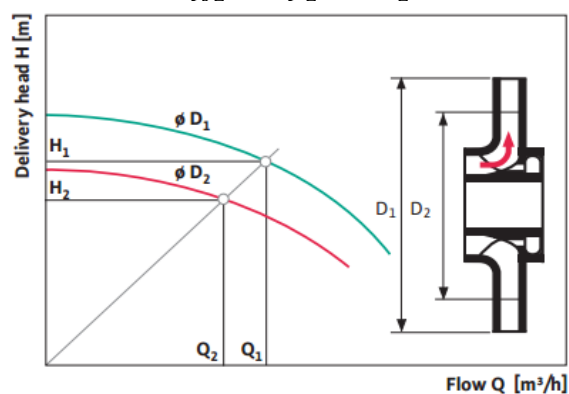
Het werkingpunt in A geeft het debiet q_{v1} en een te grote manometrische opvoerhoogte Δp_1 . Deze pomp moet teruggebracht worden tot de snelheid N_2 . (werkingpunt gaat van A naar B). Bovendien daalt het elektrische vermogen ($P_{abs,2} < P_{abs,1}$).



Figuur 4.96

Het is ook mogelijk om het werkingpunt aan te passen door de wielen te reduceren. Deze techniek bestaat erin, de buitendiameter D van het beginwiel te verkleinen. We krijgen de volgende verhouding:

$$\frac{q_{v1}}{q_{v2}} = \frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2$$



Figuur 4.97

Wanneer men de draaisnelheid van de circulatiepompen wijzigt, wijzigen ook de andere kenmerken:

$\frac{q_1}{q_2} = \frac{n_1}{n_2}$	<p>Legende:</p> <p>q = volumedebiet [m³/h]</p> <p>n = draaisnelheid [t./min.]</p> <p>Δp = drukwinst [mCE of bar]</p> <p>P_{abs} = vermogen op de as [kW]</p>
$\frac{\Delta p_1}{\Delta p_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^2$	
$\frac{p_{abs1}}{p_{abs2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{q_1}{q_2}\right)^3$	

Het criterium om de technologie van de pompen te onderscheiden is het werkingsprincipe:

- Centrifugaalpompen
- Pompen met zijkanaal
- Volumetrische pompen

In een centrifugaalpomp wordt de vloeistof in het midden van een wiel aangezogen, vervolgens naar de periferie van het wiel uitgestoten en uiteindelijk door een slakkenhuis naar de persopening gevoerd. Een centrifugaalpomp doet de vloeistof steeds in dezelfde draairichting stromen. In de tegengestelde richting verminderen de prestaties.

De draairichting wordt steeds aangegeven op het pomplichaam. We kunnen een onderscheid maken tussen de technologieën van de centrifugaalpompen op basis van de volgende classificatiecriteria:

- type wiel (radiaal, semi-axiaal),
- aantal wielen (monocellulair, multicellulair),
- motoras en pompas (gemeenschappelijk, afzonderlijk),
- type motor (geventileerde motor op de standaardpompen, met verzonken rotor in de circulatiepompen, met waterdichte motor voor de dompelpompen)

In het domein van de klimaatregeling gebruikt men veeleer de centrifugaalcirculatiepomp; er bestaan meerdere types:

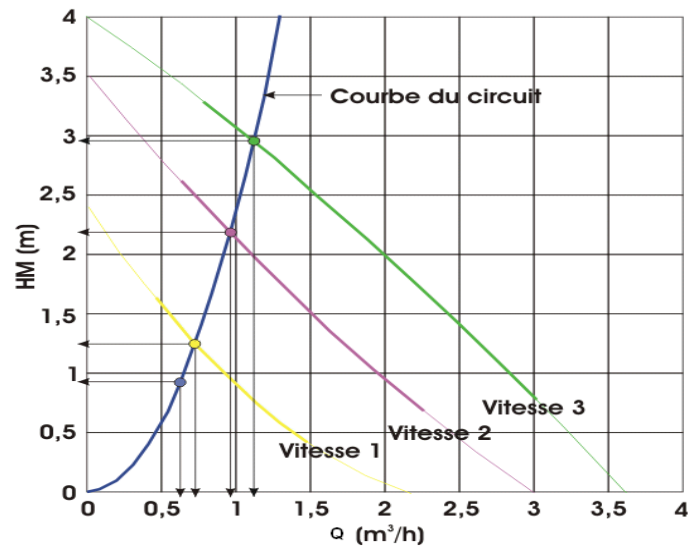
➤ **"standaard" circulatiepomp met verzonken rotor**



Figuur 4.98

De circulatiepompen met verzonken rotor worden in alle installaties gebruikt. Ze worden rechtstreeks op de leidingen gemonteerd. De motor wordt gedeeltelijk rechtstreeks door het water van de installatie afgekoeld. Ze zijn niet zo duur en vereisen geen onderhoud. Ze hebben wel een laag rendement. De draaisnelheid wordt handmatig geregeld in de standaardmodellen en blijft dezelfde ongeacht de gebruiksvoorwaarden van de installatie.

Er zijn circulatiepompen met 1 of meerdere snelheden (3 of 4), uitgerust met een enkelfasige of driefasige motor.



Figuur 4.99

Sommige circulatiepompen kunnen uitgerust zijn met een isolerende coquille op maat die de warmteverliezen beperkt. Men kan ook een permanent "display" toevoegen waarop men in realtime de elektrische werkingskenmerken kan tonen, zoals het geabsorbeerde vermogen, de stroomsterkte, het verbruik en de bedrijfsuren, ...

➤ **"in-line" circulatiepomp**

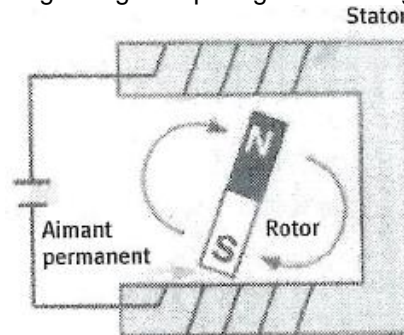


Figuur 4.100

De in-linepompen worden ook rechtstreeks op de leidingen gemonteerd, maar de motor wordt niet meer gekoeld door het water van het verwarmingsnet. Ze zijn uitgerust met een mechanische voering die de pomp van de motor scheidt. Een ventilator zorgt voor de afkoeling. De in-linepompen worden hoofdzakelijk gebruikt in grote verwarmingsinstallaties of in koelinstallaties waarin het verlies van de motor een bijkomende warmtebelasting wordt die gecompenseerd moet worden.

➤ circulatiepomp met permanente magneet

De traditionele circulatiepompen zijn uitgerust met een asynchrone elektrische motor met een vaak middelmatig rendement. (het rendement daalt als het vermogen daalt)
 Op de markt bestaan tegenwoordig circulatiepompen met verzonken rotor, uitgerust met een synchrone motor met elektronische besturing. Deze technologie maakt gebruik van een synchrone motor met permanente magneten. Het roterende veld wordt gegenereerd door een stroom die elektronisch bestuurd wordt met gelijkstroom. De statorwikkelingen worden beurtelings bekrachtigd om de schakeling van de elektromagnetische polen die de aandrijving van de rotor veroorzaakt, te verkrijgen. Dit is de zogenaamde ECM-technologie: Electronically Commuted Motor = synchrone motor met elektronische schakeling. Ze hebben geen elektromagneten, bijgevolg energiebesparing en zeer hoge rendementen.



Figuur 4.101

4.5.1.1 Kenmerken van de pompen

Geabsorbeerd vermogen:

Het door de pomp geabsorbeerde vermogen verwijst naar het mechanische vermogen van haar as. Kent men het geabsorbeerde vermogen, dan kan men de aandrijfmotor kiezen. Het geabsorbeerde vermogen van de centrifugaalpompen neemt toe met het debiet.

Rendement:

Het rendement van de pomp verwijst naar de verschillende hydraulische en mechanische verliezen als gevolg van de wrijvingen ter hoogte van de lagers en de afdichtingsvoering.

$$\eta_{pompe} = \frac{P_{hydraulique}}{P_{arbre}}$$

$$P_{hydraulique} = q_v \left[\frac{m^3}{s} \right] \times \Delta p_t [Pa] \text{ ou } = \frac{\rho \times g}{3,6 \times 10^6} \times q_v \left[\frac{m^3}{h} \right] \times H_{mt} [m]$$

P_{arbre} = geabsorbeerde elektrische vermogen op het constructeursplaatje

Het globale rendement van het geheel motor – pomp is gelijk aan:

$$\eta_{global} = \frac{P_{hydraulique}}{P_{elec}} = \frac{P_{hydraulique}}{P_{arbre}} \times \frac{P_{arbre}}{P_{electrique}} = \eta_{pompe} \times \eta_{moteur}$$

NPSH: "Net positive suction head"

De NPSH-factor is het supplement totale absolute druk ten opzichte van de verdampingsdruk van het fluïdum aan de aanzuiging van de pomp. Wanneer de druk op een punt van het circuit daalt tot de waarde van de verzadigingsdampdruk, verdampt de vloeistof spontaan zonder aanvoer van warmte. De stoombellen worden naar de periferie van het wiel gevoerd, waar de druk groter is, en condenseren. De toestandsveranderingen gaan gepaard met spectaculaire volumeschommelingen: de pomp draait leeg, veroorzaakt daardoor erosie van het metaal van het wiel, en vermindert de hydraulische prestaties van de pomp. De minimale druk in elk punt van het circuit moet groter zijn dan de verzadigingsdampdruk (te controleren aan de aanzuiging van de pomp).

De naleving van deze minimale druk zorgt ervoor dat de vloeistof in de pomp niet verdampt.

Men moet dus het volgende controleren:

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requis}$$

Waarbij

beschikbare NPSH = dit is de NPSH waarover de pomp beschikt door zijn installatie- en gebruiksvoorwaarden: aard en druk van de vloeistof, temperatuur, dampdruk, hoogte van het niveau, doorsnede en vorm van de leidingen, ... Hij hangt niet af van de pomp.

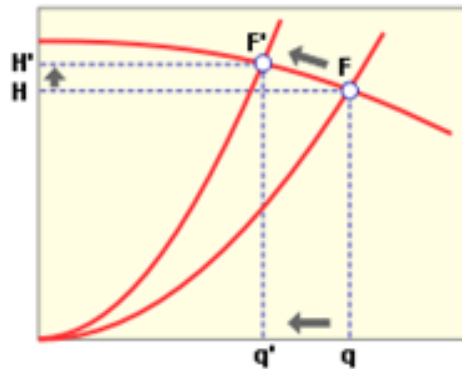
vereiste NPSH = hangt af van het type van de pomp, de doorsnede van het wiel, het debiet en de draaisnelheid. Deze wordt bepaald door de constructeur naargelang van de fabricagekenmerken en geeft de minimale absolute nettobelasting aan die noodzakelijk is aan de ingang van de pomp.

Om aan deze voorwaarde te voldoen, kan men:

- de beschikbare NPSH vergroten: het ladingverlies aan de aanzuiging van de pomp verminderen, de verzadigingsdampdruk verminderen door de temperatuur van het fluïdum te verminderen, de vuldruk van het expansievat vergroten.
- de vereiste NPSH verkleinen: het debiet verkleinen, de pomp vervangen

4.5.1.2 Regeling van de pompen

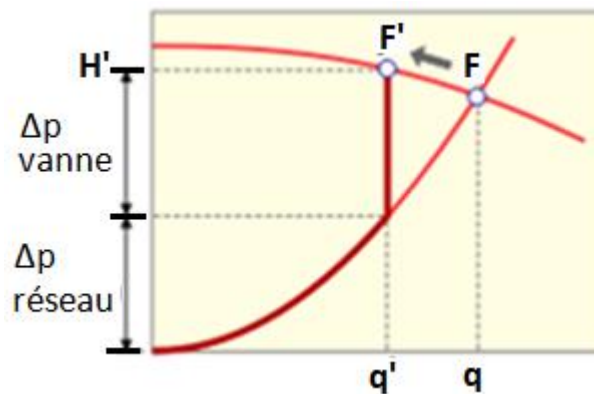
Zodra een klep sluit, daalt het debiet, herstelt de karakteristieke curve van het circuit zich en verplaatst het werkingpunt zich van F naar F'.



Figuur 4.102

De toename van het ladingverlies als gevolg van de sluiting van de klep leidt tot een toename van de druk geleverd door de circulatiepomp. (H naar H')

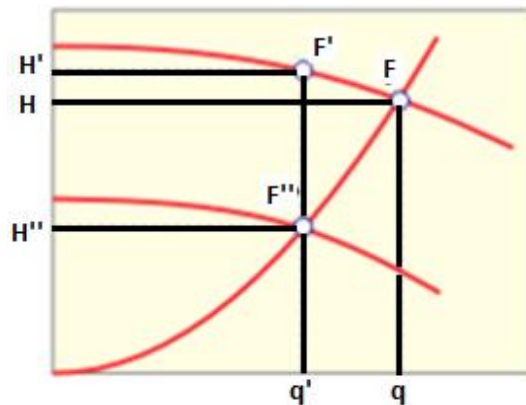
Een andere manier om de evolutie voor te stellen:



Figuur 4.103

Aangezien het debiet verkleind is, is ook het Δp van het netwerk verminderd. Er is een bijkomend lokaal ladingverlies Δp klep veroorzaakt om het debiet af te remmen. Als zuiver verlies!!!

De gearceerde oppervlakken (manometrische opvoerhoogte x debiet) afgebakend door de punten F, F' en F'' stellen het elektrische verbruik van de circulatiepomp voor.



Figuur 4.104

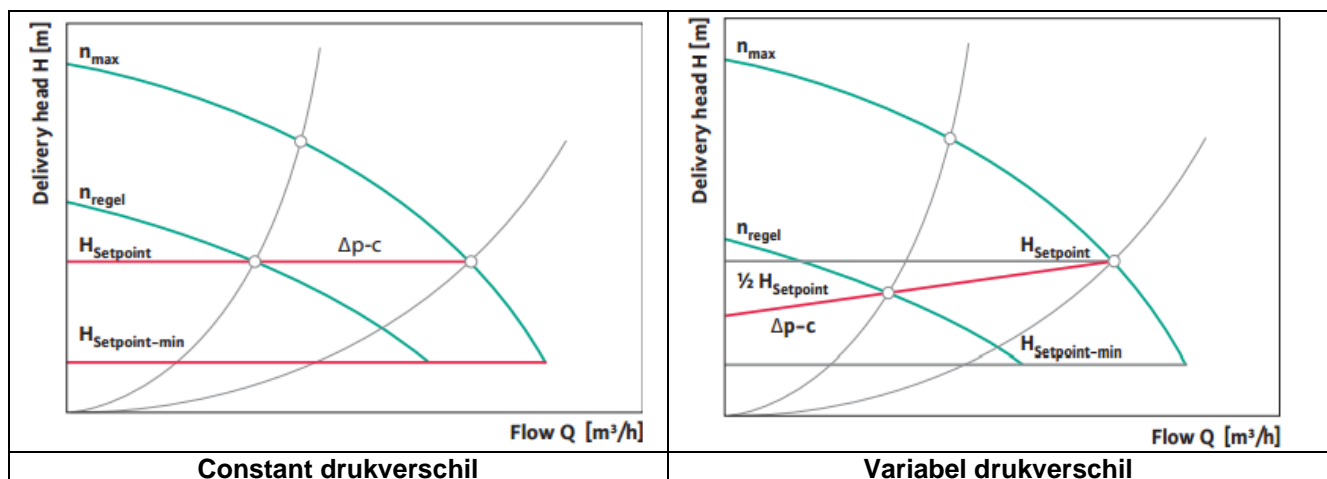
Een daling van de draaisnelheid van de circulatiepomp was ideaal geweest.

H'' volstaat om een debiet q' in de wisselaar te genereren!

De pomp past zich dan aan de behoeften aan en volgt de curve van het netwerk. Het energieverbruik is minimaal. De snelheid van de circulatiepomp wordt continu geregeld naargelang van de drukvariatie in het verdeelcircuit.

Er zijn twee regelmodi voor de elektrische circulatiepompen:

- ofwel wordt de draaisnelheid aangepast om het constante drukverschil te handhaven dat door de circulatiepomp in het circuit wordt gegenereerd
- ofwel wordt de draaisnelheid aangepast om de druk op lineaire wijze te veranderen

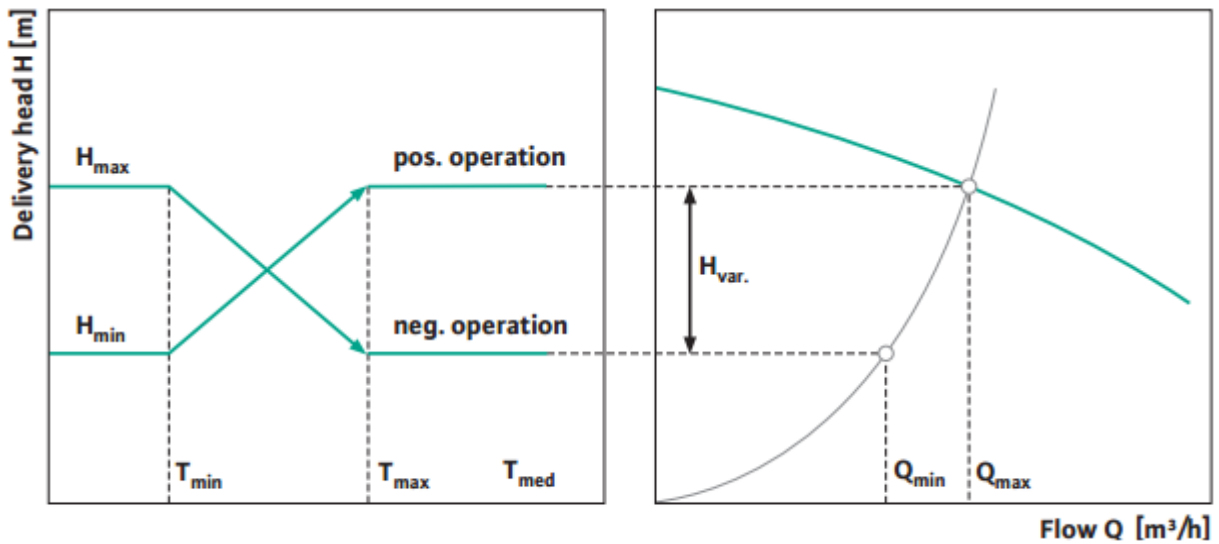


Figuur 4.105

Met de controle door variatie van het drukverschil varieert de druk tussen de richtwaarde (H_{setpoint}) en de helft van de richtwaarde ($\frac{1}{2} H_{\text{setpoint}}$). De richtwaarde verandert met het debiet.

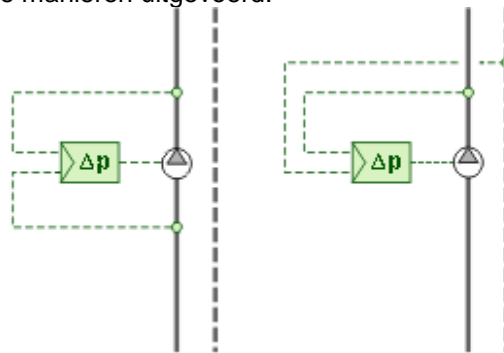
Met de controle door behoud van het constante drukverschil blijft de druk gelijk aan de richtwaarde (H_{setpoint}) zodra het debiet verandert.

De snelheid wordt geregeld door de buitentemperatuur of de temperatuur van het water. In de installaties met constant debiet doet de regeling van de circulatiepomp de druk van de circulatiepomp lineair dalen wanneer de temperatuur van het vervoerde water daalt. Dit type regeling kan gebruikt worden om het onderbreken en herstarten van de installatie te versnellen.



Figuur 4.106

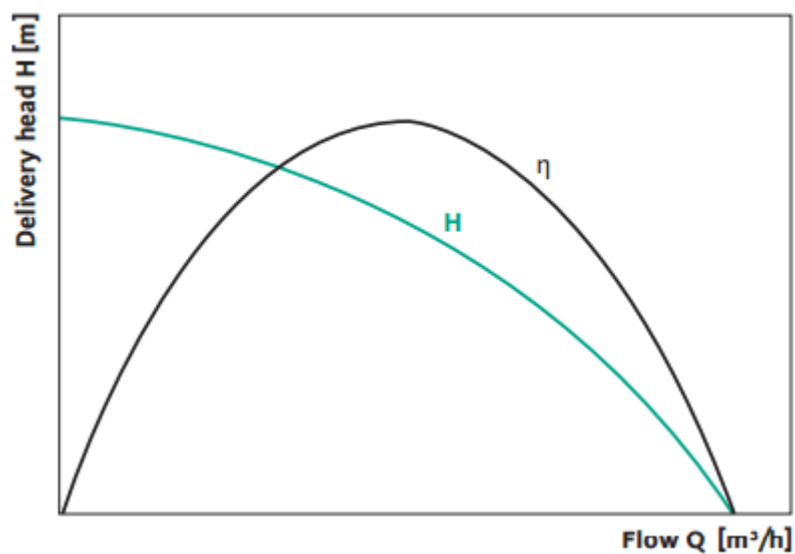
De drukmetingen worden op twee manieren uitgevoerd:



Figuur 4.107

Zo vermijdt men overdimensionering en overdadig elektriciteitsverbruik als gevolg van de onnauwkeurige keuze van een circulatiepomp met een of meerdere snelheden.

Een circulatiepomp wordt zo gekozen dat haar werkingpunt zich in het maximale rendementsbereik bevindt. De rendementscurve is eigen aan elke circulatiepomp.



Figuur 4.108

4.5.2 EXPANSIEVAT

De aanwezigheid van lucht leidt tot een slechte circulatie van warmte en water, klokkende geluiden in de radiatoren, vastlopen of leeglopen van de pompen, maar ook tot corrosie (vervuiling en doorboring van de verwarmingsketels, radiatoren en andere onderdelen van de installatie). De lucht in de installatie is afkomstig van:

- Van het vulwater (bijna 10 % opgeloste lucht)
- Van een open expansiesysteem
- door diffusie door de synthetische onderdelen, de rubberen slangen en door de waterdichte maar niet luchtdichte aansluitingen
- Van een slecht gesloten expansiesysteem (dat in de tijd zorgt voor onvoldoende druk voor de installatie).

Een slecht expansiesysteem is:

- een ondergedimensioneerd vat; het fluïdum wordt via de overloop of via de overdrukbeveiliging afgevoerd. Dit leidt tot een watertekort met aanvoer van lucht tot gevolg.
- De onvoldoende werkelijke vuldruk: deze druk moet gelijk zijn aan of groter dan de statische druk tussen de top van de installatie en het vat, opdat de waterdruk op elk punt in de installatie groter zou zijn dan de atmosferische druk.

De vaten hebben dus twee kenmerken die **berekend moeten worden**:

- Volume van het vat (totaal volume van het reservoir)
- Werkelijke vuldruk = werkelijke druk van het gas wanneer dit het totale volume van het vat inneemt (voor de gesloten systemen met variabele druk)

Voor de berekening van het volume van het vat V_u dient men het volgende te bepalen:

- Expansievolume V_{ex} = variatie van het vloeistofvolume van de installatie tussen de meest ongunstige omgevingstemperatuur en de maximale voorwaarden in werking
- Reservevolume V_r om het bijvullen door diverse verliezen te beperken (gedeeltelijke ledigingen, ontgassing,)
- $V_u = V_{ex} + V_r$

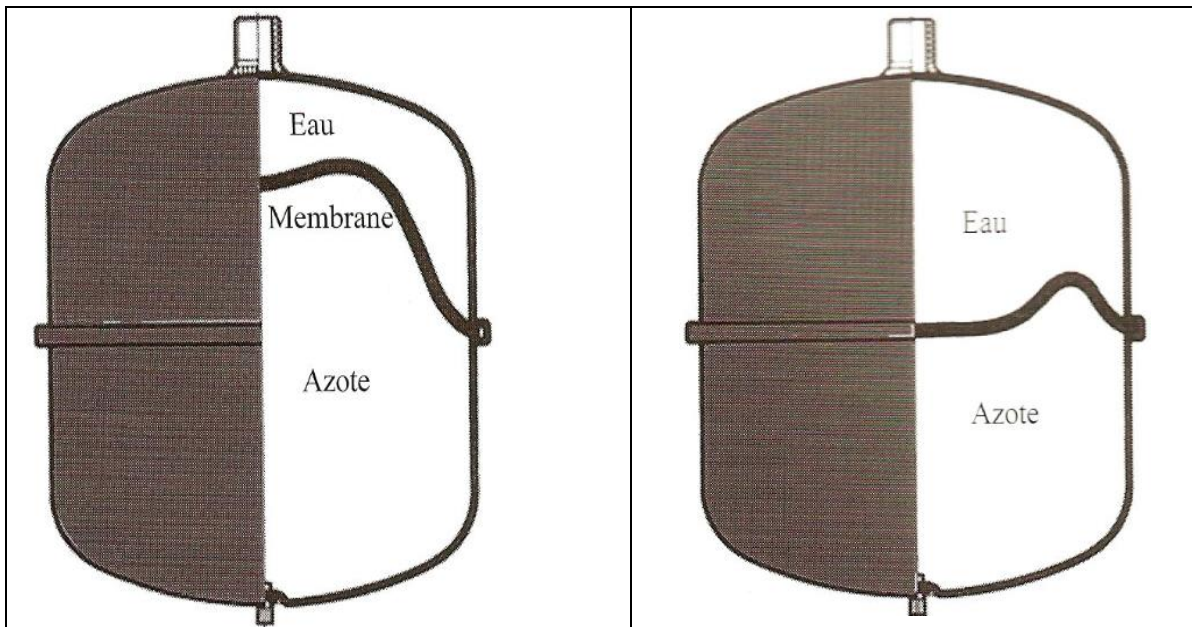
De vier expansievoorzieningen:

1. Open vaten
2. Gesloten vaten met constante druk
3. Gesloten vaten met variabele druk
4. Drukregelsysteem

In een gesloten circuit wordt het vat geplaatst:

- op het deel van het circuit waar de temperatuur het laagst is (een temperatuurstijging vermijden die het membraan kan beschadigen + een te hoge fluïdumtemperatuur veroorzaakt een toename van de stikstofdruk)
- aan de aanzuiging van de pomp, om leeglopen te vermijden (NPSH-factor)

Gesloten vat met variabele druk



Figuur 4.109

Het vat heeft een membraan dat een gas (stikstof of droge lucht) scheidt van het warmtegeleidende fluïdum. De expansie veroorzaakt de verplaatsing van het membraan, de compressie van het gas en dus een toename van de druk in de hele installatie.

Men dient periodiek de vuldruk van het vat te controleren; onvoldoende druk zorgt immers voor een aanzienlijke vermindering van het nuttige volume.

Deze handeling bestaat in het volgende: het expansievat isoleren, de waterzijde op de atmosferische druk brengen door de aftapkraan te openen, en de stikstofdruk meten (bijvullen indien noodzakelijk)

Toepassing

Hoe de keuze van een vat op een bestaande installatie controleren?

Hetzij een vat met de volgende kenmerken: $V_t = 300$ liter en werkelijke vuldruk = 2 bar.

aangesloten op een installatie met de volgende kenmerken:

- Waterinhoud = 3740 liter
- Minimale temperatuur = 10 °C
- Temperatuurregime 80/65 °C
- Hoogste punt = 17,80 m
- Afsluiters verwarmingsketels getarreerd op 4 bar

$$1. \text{ Expansievolume } V_{EX} = V_{EX} = C \times \left(\frac{v_{max}}{v_{min}} - 1 \right)$$

C = totale waterinhoud van de installatie (liter)

V_{max} = maximaal soortelijk volume van de vloeistof (m³/kg) (volgens berekeningstabel)

V_{min} = minimaal soortelijk volume van de vloeistof (m³/kg) (volgens berekeningstabel)

We beschouwen een helft van het volume van de installatie aan 80 °C en de andere helft aan 65 °C

$$\text{Dus } v_{MAX} = \frac{v_{80^{\circ}C} + v_{65^{\circ}C}}{2}$$

$$V_{EX} = C \times \left(\frac{v_{80^{\circ}C} + v_{65^{\circ}C}}{2 \times v_{10^{\circ}C}} - 1 \right) = 3740 \times \left(\frac{1,029 + 1,0199}{2 \times 1,00035} - 1 \right) = 90 \text{ litres}$$

$$2. \text{ Nuttig volume van het vat } V_u = V_U = V_t \times \left(\frac{p_{max} - p_{eff}}{p_{max}} \right)$$

V_t = totaal volume van het vat (liter)

P_{eff} = werkelijke vuldruk (bar)

P_{max} = maximale tarreedruk van de afsluiter (bar)

$$V_U = 300 \times \left(\frac{(4 + 1,013) - 2}{4 + 1,013} \right) = 180 \text{ litres}$$

3. Vuldruk P_{eff}

Men moet dus controleren dat $p_{eff} \geq \rho \times g \times h \rightarrow 2 \text{ bars} \geq 1000 \times 9,81 \times 17,80 = 175000 \text{ Pa} = 1,75 \text{ bars}$

4. Besluiten

Het vat is goed gedimensioneerd: $V_u > V_{EX}$ en $p_{eff} \geq \rho \times g \times h$

De vuldruk moet dus schommelen tussen de volgende grenswaarden:

Onderste grens $p_{eff,1}$:

$$p_{g1} = \frac{V_{ex}}{50,56} = \frac{90,1}{50,56} = 1,78 \text{ bars en } p_{eff,1} = 1,78 - 1 = 0,78 \text{ bar}$$

Bovenste grens $p_{eff,2}$:

$$p_{g2} = \frac{V_{ex}-300}{-59,84} = \frac{90,1-300}{-59,84} = 3,51 \text{ bars en } p_{eff,2} = 3,51 - 1 = 2,51 \text{ bar}$$

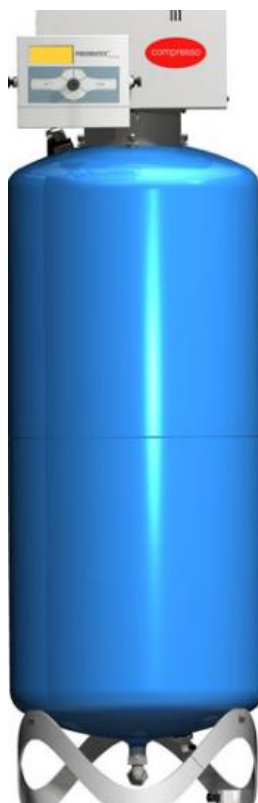
De werkelijke vuldruk moet schommelen tussen 0,77 en 2,50 bar, opdat het vat normaal zou werken. In deze installatie daalt het nuttige volume van het vat als de grenzen niet gerespecteerd worden.

Gesloten vat met constante druk

Bij de stijging van de temperatuur in de installatie dringt het water in het vat, de druk stijgt door compressie van de lucht en de pressostaat zorgt voor de opening van de elektromagnetische ontluchtingsklep.

Tijdens de afkoeling daalt de druk. De pressostaat zorgt voor de inschakeling van de compressor.

De druk van het gas hangt niet af van het vullen van de installatie met water. Deze vaten zijn uitgerust met een voorziening die het watergewicht in het vat meet.



Figuur 4.110

4.5.3 REGELENTIEL

De eindunits in een lokaal moeten op nauwkeurige en in de tijd continue manier kunnen beantwoorden aan de thermische behoeften van het aan storingen blootgestelde lokaal. Het waterdebiet in de eindunit zal schommelen om de verandering van de behoeften te volgen, dankzij de aanwezigheid van een actief element dat het debiet regelt.

We identificeren "de invloed" van een ventiel op een te regelen circuit aan de hand van zijn autoriteit. Met deze parameter kan men de capaciteit bepalen van een ventiel dat het debiet van het circuit waarop het geïnstalleerd is, moet regelen, wanneer het helemaal geopend is.

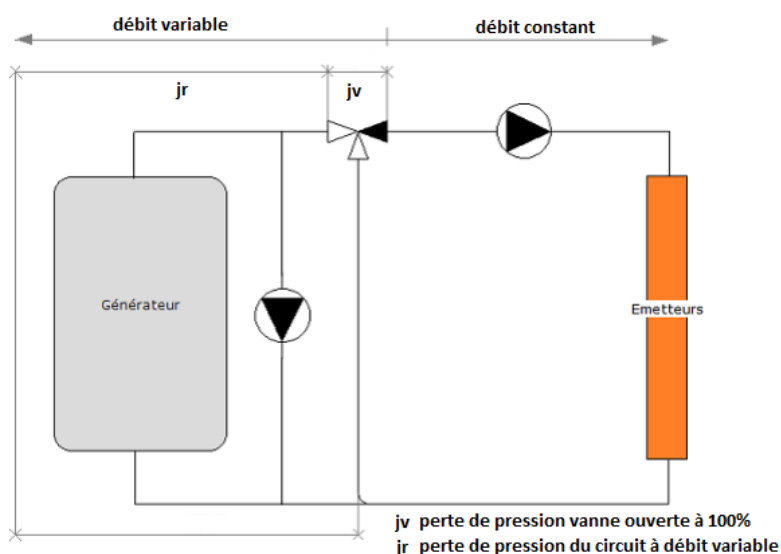
Ingeval van **weinig autoriteit** veroorzaakt de gedeeltelijke sluiting van het ventiel een verwaarloosbare daling van het debiet. Het progressieve karakter van de regeling is zeer slecht en de regeling kan moeilijk gestabiliseerd worden. Het ventiel werkt steeds in de buurt van de sluiting en er bestaat een pomprisico. (extreme open- en sluitcyclus)

Ingeval van **veel autoriteit** is de invloed van het ventiel alom aanwezig voor elke positie van de klep.

$$a = \frac{J_v}{J_r + J_v} \text{ met } 0 < a < 1$$

J_v = ladingverlies van het helemaal geopende ventiel

J_r = ladingverlies van het deel van het circuit waar het debiet varieert



Figuur 4.111

De regeling van een installatie moet toelaten, het te leveren vermogen aan te passen aan de storingen. Welnu, bij een wisselaar is er geen evenredige verhouding tussen het debiet dat erdoor stroomt en het uitgewisselde vermogen. De toevoeging van een ventiel met het juiste gedrag zal deze niet-rechthoekigheid compenseren. De verschillende mogelijke gedragingen: lineair ventiel, kwadratisch ventiel, ventiel met gelijk percentage EQM (equal percentage modified)



Figuur 4.112

De hydraulische capaciteit van een ventiel wordt weergegeven door een ventielcoëfficiënt K_v . De K_v geeft het debiet koud water in m^3/h dat door het ventiel stroomt wanneer het een ladingverlies van 1 bar creëert.

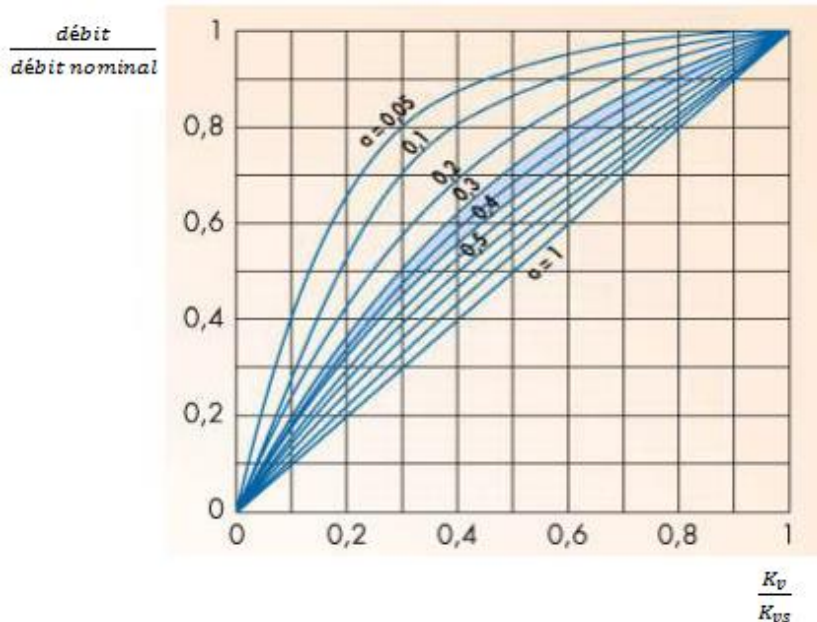
$$K_v = \frac{q_v}{\sqrt{\frac{J_v}{\rho}}}$$

q_v = volumedebiet dat door het ventiel stroomt (m^3/h)

J_v = ladingverlies gecreëerd door het ventiel (bar)

ρ = soortelijke massa van de vloeistof (kg/dm^3)

K_{vs} = coëfficiënt K_v van het helemaal geopende ventiel



Figuur 4.113

Figuur 4.40 Evolutie van het debiet naargelang van de verhouding

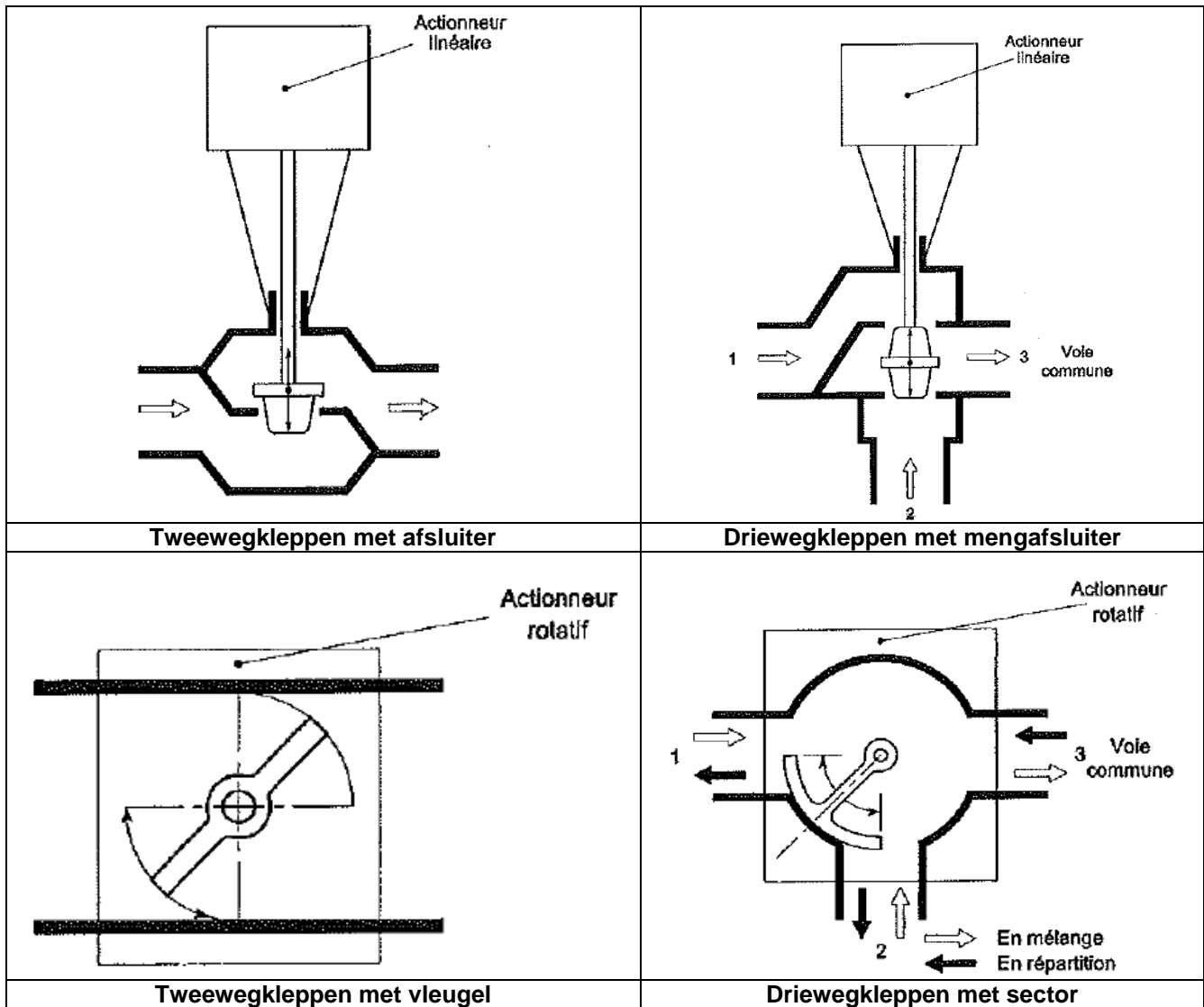
K_v/K_{vs}

In de praktijk moet $a < 0,5$ ($J_v > J_r$).

Het effect van een ventiel op de temperatuur van de straler is afhankelijk van:

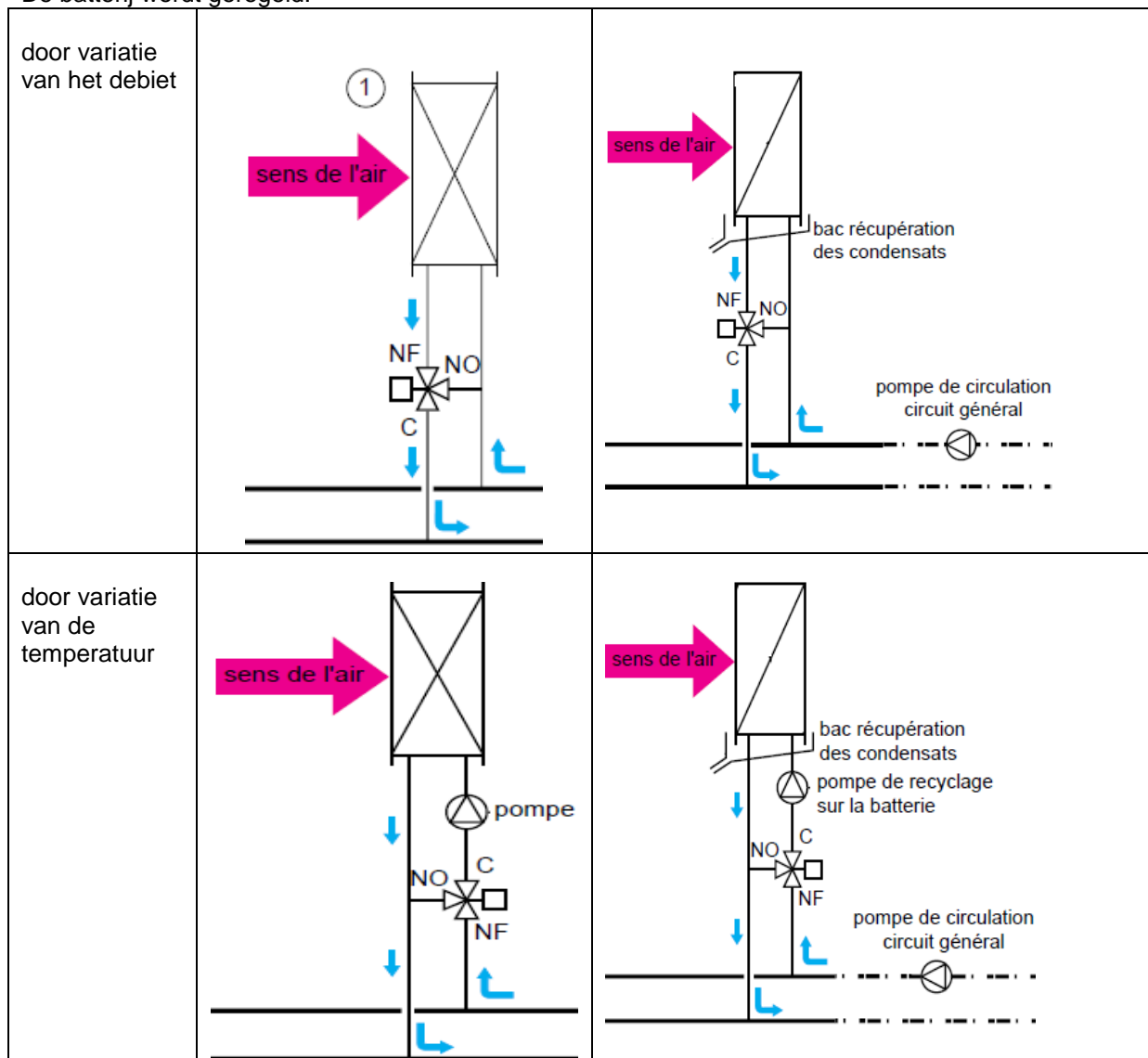
- de autoriteit van het ventiel
- het type ventiel
- maar ook van het geïnstalleerde type regeling voor de opening van het ventiel: "alles of niets" (AON = open of gesloten), lineaire regeling, volgens een curve, volgens een PID-regelaar (Proportioneel, Integrerend en Differentiërend) ...

De verschillende soorten regelkleppen: de tweewegkleppen en de driewegkleppen



Figuur 4.114

De batterij wordt geregeld:

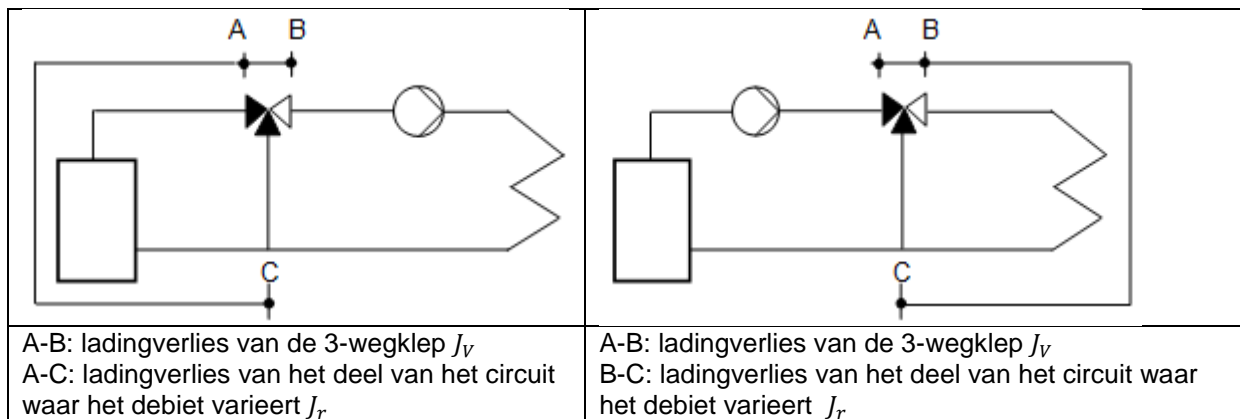


Figuur 4.115

Een batterij wordt veel fijner geregeld met een 3-wegklep. Met de tweewegklep kan men werken met circulatiepompen met variabele snelheid (energiebesparing).

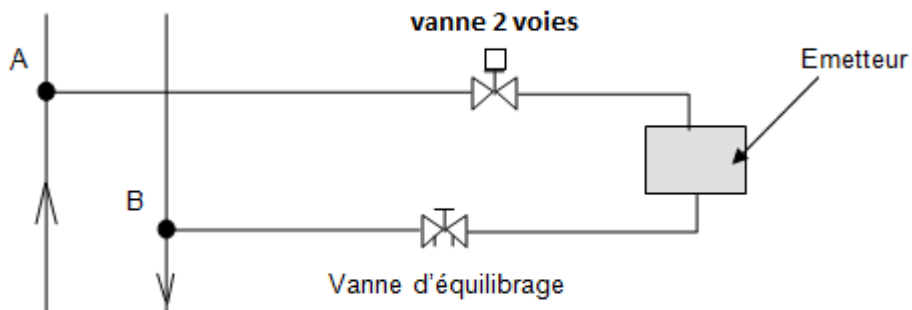
Hoe de afmetingen van de klep bepalen?

A. Geval van een driewegklep



Figuur 4.116

B. Geval van een tweewegklep



Figuur 4.117

In alle gevallen varieert het debiet in het circuit A-B.

We nemen $a = 0,5 \rightarrow 0,5 = \frac{J_V}{J_V + J_R} \rightarrow J_V = J_R \rightarrow K_{VS} = \sqrt{\frac{q_v}{J_R}}$

In de tabellen van de constructeurs kiest men een klep met een coëfficiënt K_{VS} in de buurt van de K_{VS} berekende coëfficiënt. We leiden de DN van de klep af die op het circuit geplaatst moet worden.

$J_R = \left(\frac{Q_v}{K_{VS \text{ sélectionné}}} \right)^2 \rightarrow \text{controle } a = \frac{J_V}{J_V + J_R} \text{ met } 0,33 \leq a < 0,5$

4.5.4 ONTWERP VAN EEN HYDRAULISCH CIRCUIT

De circuits kunnen ingedeeld worden in: open circuits (geen recyclage: directe doorstroming van het water) en gesloten circuits (volledige recyclage van het water: zeer kleine aanvoer van water).

De open circuits worden vaak voorbehouden aan industriële toepassingen in de buurt van een waterloop; het gesloten circuit wordt gebruikt in de meeste installaties voor verwarming (warmwatercirculatie) of klimaatregeling (ijswatercirculatie). Het water stroomt door verschillende toestellen (wisselaars, verdamper of condensers) door een gesloten circuit onder druk. Het wordt constant gerecycleerd.

Het circuit wordt "gesloten" genoemd, want de vloeistof komt niet in contact met de buitenomgeving. Er wordt afgestapt van het vat van het open type ten voordele van de expansievaten van het gesloten type.

Er bestaan geen hydraulische standaardcircuits. Elke toepassing vereist de aanwezigheid van welbepaalde accessoires. De keuze van de accessoires wordt bepaald door:

- de aard van het fluïdum
 - ✓ **filtering,**
 - ✓ **min of meer complexe fysisch-chemische behandelingen,**
- het geometrische aspect van het circuit
 - ✓ **kleppen,**
 - ✓ **ontluchters,**
 - ✓ **bezinkkamer,**
 - ✓ **drukbezoekers,**
 - ✓ **overdrukkinrichting,**
 - ✓ **antidrukstootinrichting,**
- de techniciteit van het aangekoppelde systeem
 - ✓ **regelventielen,**
 - ✓ **bypassventielen,**
 - ✓ **afsluitventielen,**
 - ✓ **afsluiters,**
 - ✓ **expansievat,**
 - ✓ **bufferreservoir.**

Enkele goede praktijken:

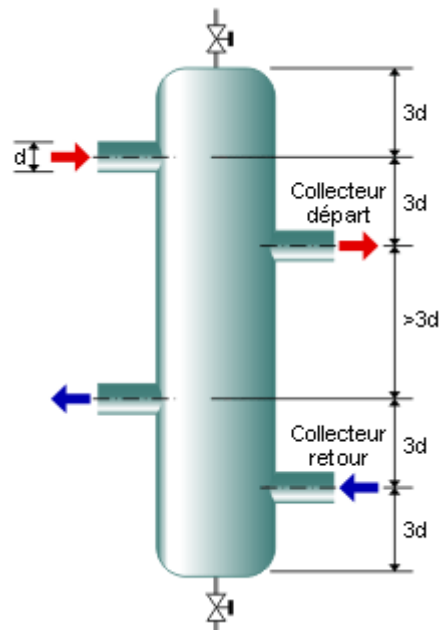
1. expansievat op de retour van het circuit (het koudste water van het circuit)
2. expansievat op de aanzuiging van de pomp
3. automatische ontluchters op elk hoog punt van de installatie
4. vat en veiligheid op hetzelfde niveau, aan dezelfde kant van de pomp met weinig weerstand tussen aansluiting vat en veiligheid
5. duwpomp in de chiller om opstapeling van bellen in de wisselaar te vermijden
6. constant waterdebiet in de waterverdamer
7. evenwichtsfles of bufferreservoir

De evenwichtsfles is gerechtvaardigd in de volgende omstandigheden:

- Geen afstemming tussen de productie en de vraag als gevolg van een overdimensionering van de installatie die kan leiden tot kortsluitingsfenomenen
- Meerdere secundaire circuits met verschillende temperatuurregimes en met variabel debiet

De lage circulatiesnelheid in de fles kan bovendien benut worden:

- ✓ om een ontgasser te installeren en een opvanginrichting voor de vaste stoffen die naar de bodem van de fles bezinken.
- ✓ Om het expansievat aan te sluiten, om het neutrale punt van de installatie te vormen



Figuur 4.118

4.6 SYSTEMEN MET DIRECTE EXPANSIE

Dit type toestel zorgt voor de koeling van min of meer frisse ruimten. Men spreekt van "autonome" klimaatregelaars, want het koelmiddel stroomt doorgaans rechtstreeks door de koude batterij. Dit is het systeem met directe expansie.

Het koelvermogenbereik gaat van 1,5 tot 15 kW.

Maar het comfort is niet heel groot.

- De vochtigheidsgraad in het lokaal wordt niet beheerst,
- anderzijds kan de koudeluchtstroom onbehaaglijk zijn voor de gebruikers.

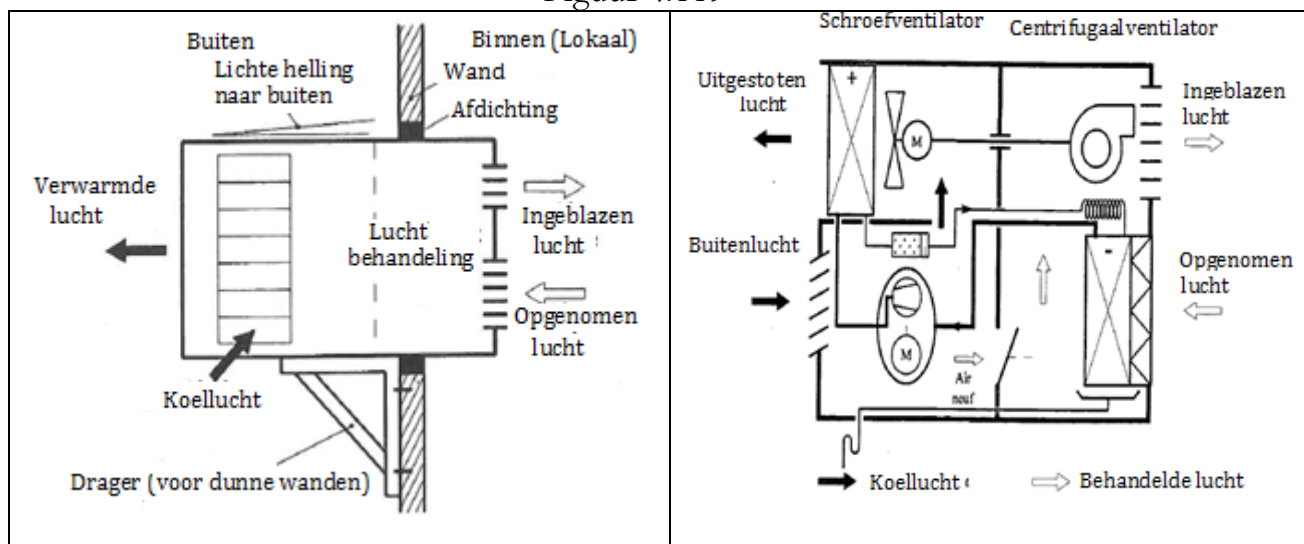
Bij airconditioning tracht men te zorgen voor een beperkt inblaasverschil (verschil tussen de temperatuur van de aangeblazen lucht en de temperatuur in het lokaal). Men kan gaan tot een verschil van 10 °C (hetzij een luchtinblazing op 14 °C wanneer de temperatuur in het lokaal 24 °C bedraagt), maar men gebruikt dan roosters met een hoge inductiegraad, om er zeker van te zijn dat er een maximale menging met de omgevingslucht is. Bij klimaatregeling tracht men daarentegen een maximaal vermogen in een zo klein mogelijk benodigde ruimte te leveren. De verdampers heeft dus een klein oppervlak, ... en werkt bij heel lage temperatuur! De lucht van het lokaal wordt sterk afgekoeld bij contact. Een koudeluchtstroom kan de gebruikers dan erg hinderen...

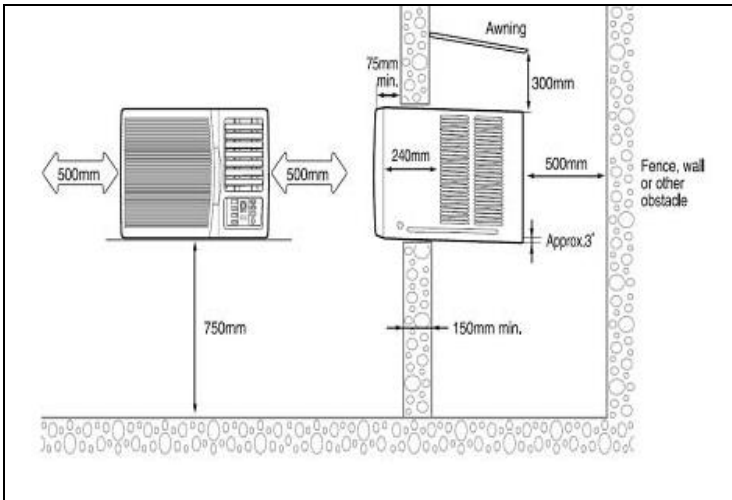
Het is een gemakkelijke oplossing wanneer slechts een beperkt aantal ruimten behandeld moet worden. En het beperkte comfort is aanvaardbaar als de klimaatregelaar sporadisch wordt gebruikt tijdens perioden van zeer grote hitte.

4.6.1 EENDELIGE KLIMAATREGELAARS

De "raamklimaatregelaar" ("window") is een klimaatregelaar uit een stuk die in een opening in een buitenwand (muur of raam) wordt geïnstalleerd.

Figuur 4.119

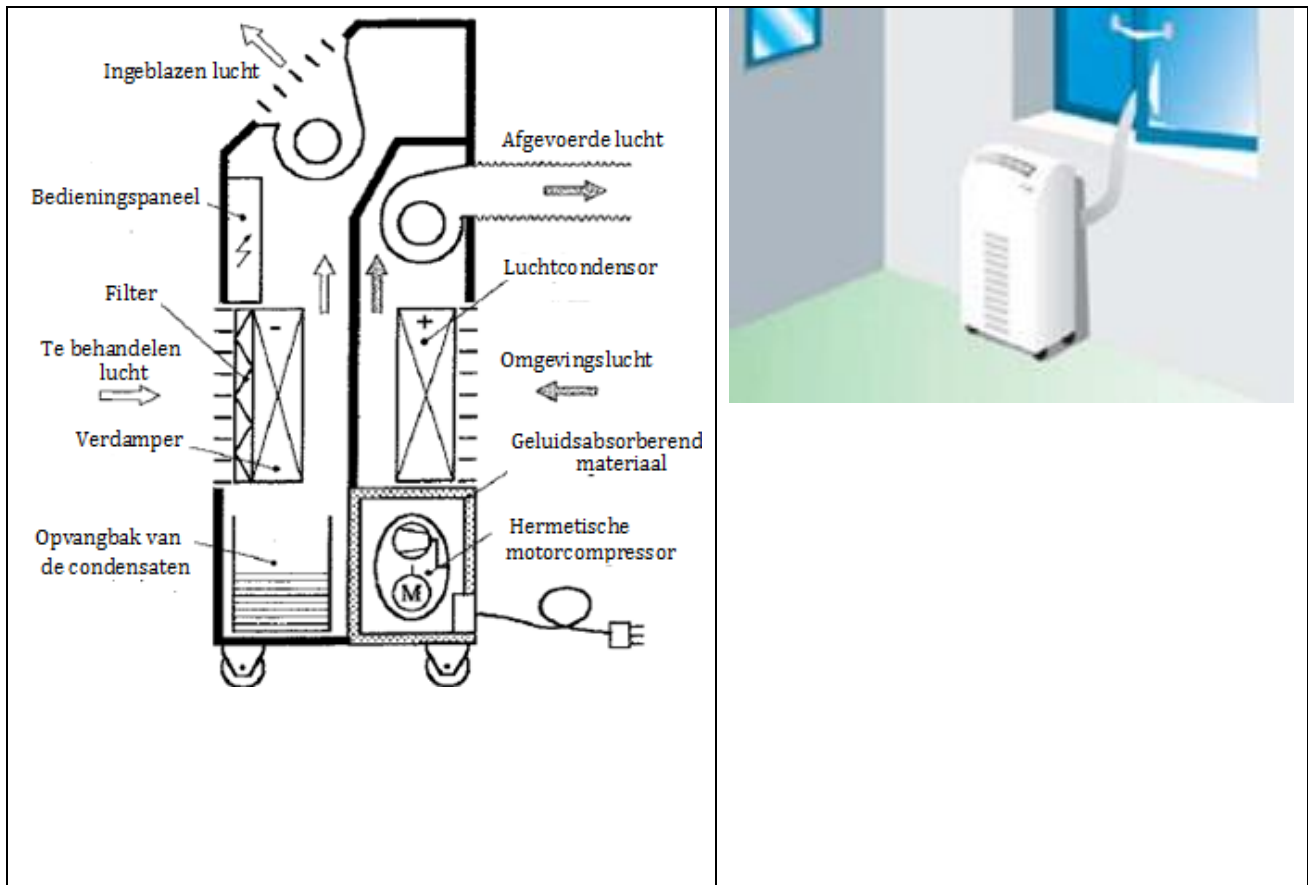




Figuur 4.120

Het is een toestel met klein koelvermogen (max. 2,5 kW), hoofdzakelijk bestemd voor plaatselijk gebruik. Voor het gebruik ervan moet een openslaande vleugel volledig geopend blijven, waardoor de bescherming van het lokaal tegen de buitenlucht en het lawaai buiten afneemt!

Dit systeem wordt steeds minder gebruikt. Het gebruik ervan wordt vaak beperkt tot tijdelijke omstandigheden.



Figuur 4.121

4.6.2 KLIMAATREGELINGSKASTEN

Een klimaatregelingskast is in zekere zin een "verticale kast voor luchtbehandeling".

Ze wordt doorgaans onmiddellijk in de ruimte geplaatst waarvan het klimaat geregeld moet worden. Standaard wordt deze oplossing gekozen voor het koelen van een computerzaal.

In de praktijk kan deze verticale metalen kast alle voor de behandeling noodzakelijk onderdelen ontvangen

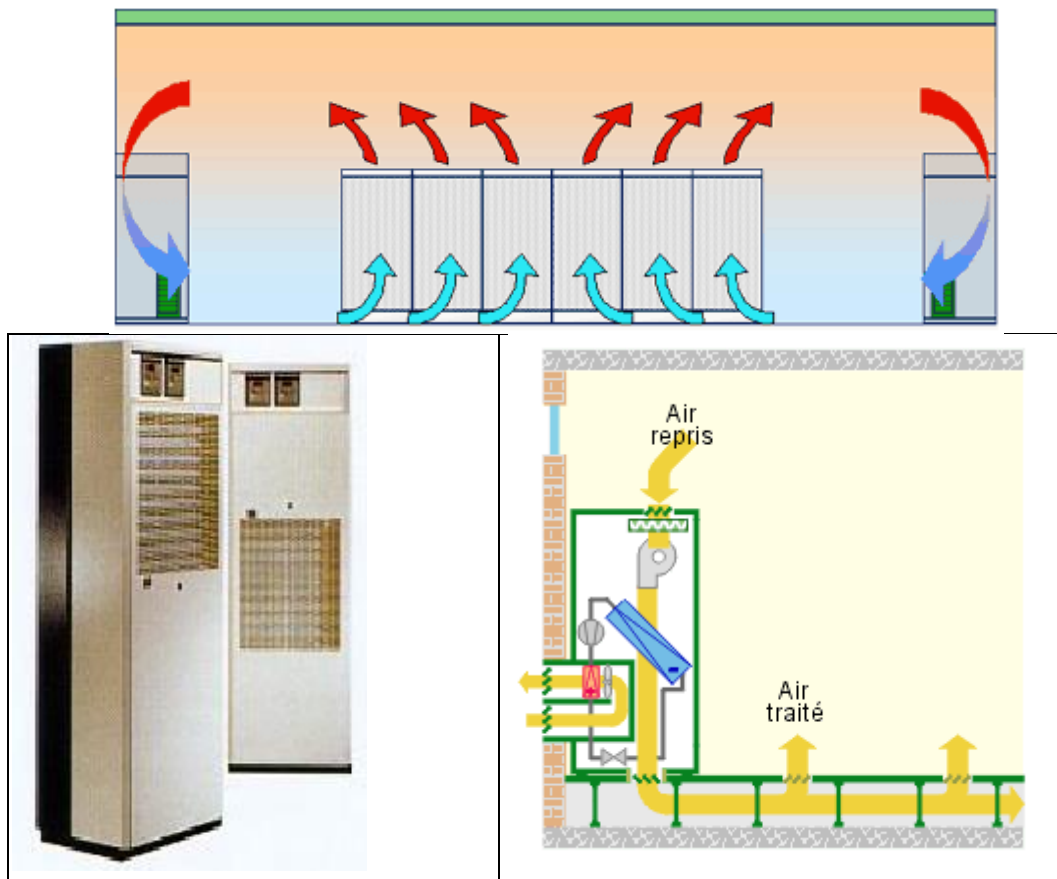
- een filter,
- een koude batterij,
- een warme batterij (elektrisch of met water),
- een bevochtiger,
- een centrifugaalventilator.

In de meeste gevallen wordt de opgenomen lucht onderaan in de kast aangezogen en naar de bovenkant van de kast gestuwd, eventueel via een klein netwerk van kokers. De tussenvloer wordt onder druk gezet en doet dienst als verdeelplenum. De koudeluchtverdeling rond de computers is dan ideaal: veranderen van plaats is steeds mogelijk.

Als de vochtigheid van de omgevingslucht gecontroleerd moet worden, kan een bevochtiger in de klimaatregelingskast ingebouwd worden, doorgaans via een dampbevochtiger.

Indien de computerzaal niet over een tussenvloer beschikt (kleinere zaal, minder vermogen, ...) kunnen de klimaatregelaars werken met een trage lage inblazing en een hoge afvoer.

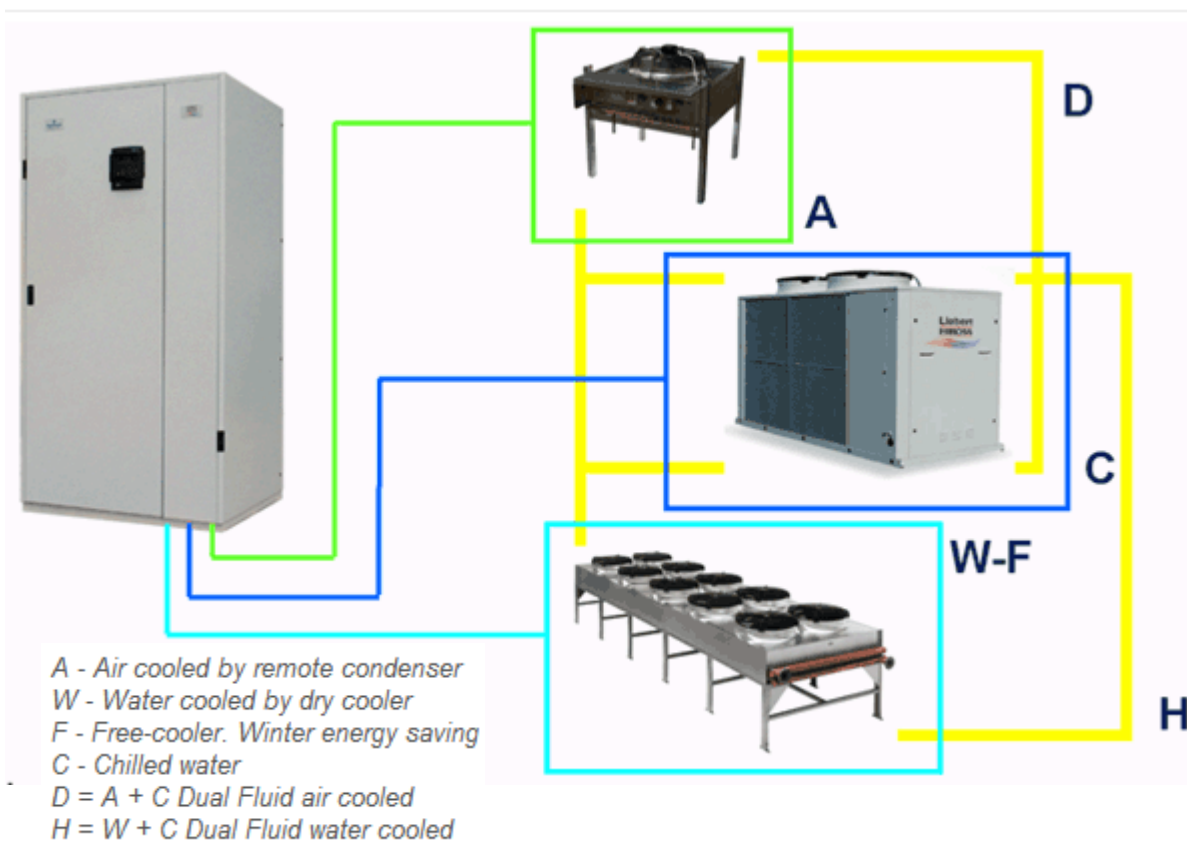
("upflow"-technologie)



Figuur 4.122

De klimaatregelingskasten onderscheiden zich vooral door de condensor:

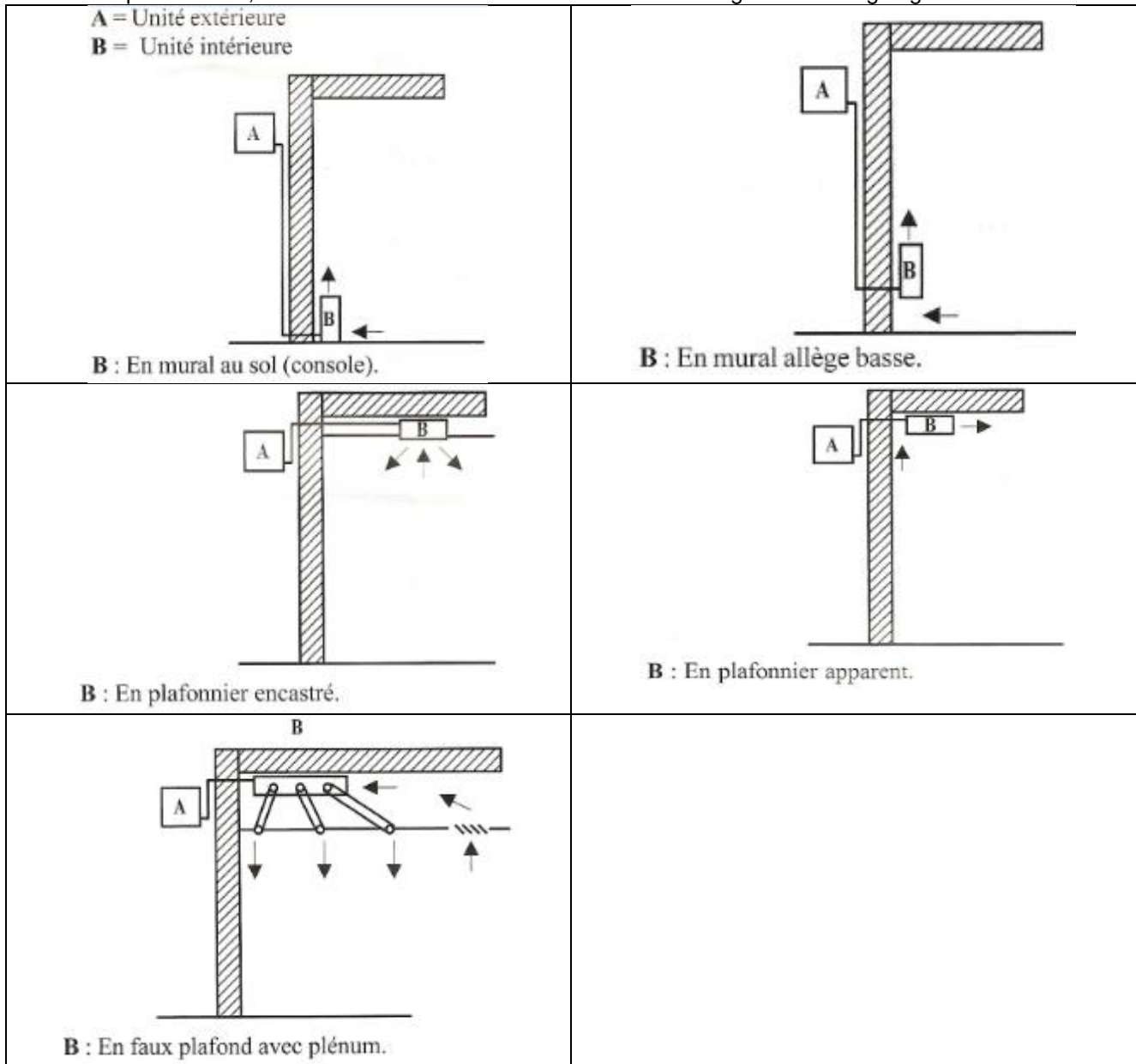
- de in de kast ingebouwde luchtcondensor
- de afzonderlijke luchtcondensor
- de condensor met gerecycleerd water
- de condensor met waterverlies



Figuur 4.123

4.6.3 KLIMAATREGELAARS MET TWEE DELEN (SPLIT-SYSTEM)

"Split System" betekent "klimaatregelaar met afzonderlijke elementen", de condensatie-unit is namelijk gescheiden van de verdamper. Een centrifugaalventilator doet de binnenlucht door een filter en daarna door de verdamper stromen, vooraleer deze door de verdeelroosters met regelbare helling uitgestoten wordt.



Figuur 4.124

In alle gevallen zijn de units aan elkaar gekoppeld met een koelverbinding (koelmiddel) en stroomkabel, waarvan de lengten vermeld staan in de technische fiches.

Unité extérieure		RAS-10SAV2-E
Débit d'air	m ³ /h	1800
Niveau de pression sonore *	dB(A) Froid	46
Niveau de puissance sonore	dB(A) Froid	59
Plage de fonctionnement	°C Froid	-10 à +46°C
Niveau de pression sonore *	dB(A) Chaud	47
Niveau de puissance sonore	dB(A) Chaud	60
Plage de fonctionnement	°C Chaud	-15 à +24°C
Dimensions (HxLxP)	mm	550 x 780 x 290
Poids	kg	33
Type de compresseur		DC Rotary
Raccord flare		
Gaz	pouce	3/8
Liquide	pouce	1/4
Longueur de liaison frigo. mini./maxi.	m	1/20
Dénivelé maxi.	m	10
Longueur sans appoint	m	15
Alimentation électrique	V-ph-Hz	220 - 240/1/50
Section alimentation mini. U.E.	mm ²	3G1,5
Protection électrique	A	16
Section connection U.E./U.I.	mm ²	4G1,5

Figuur 4.125

De koperen verbindingsleidingen worden vooraf met koelmiddel gevuld en uitgerust met snelkoppelingen. Tijdens de montage worden de kapjes automatisch geperforeerd. Ze zijn doorgaans niet langer dan 10 tot 15 m, om de ladingverliezen te beperken.

4.6.4 KLIMAATREGELAARS MET MEERDERE DELEN

Om de installatiekosten te beperken en het aantal units tegen de buitengevel te beperken, bestaat de oplossing met meerdere delen

Er bestaan meerdere types op de markt:

- Met onafhankelijke circuits (meerdere koelcircuits met de condensors in een externe unit)
- Met verdeling van ontspannen koelmiddel (een gemeenschappelijke elektronische reduceerklep voor de voeding van meerdere verdamper in de binnenunits (tot 16))
- Met verdeling van vloeibaar koelmiddel

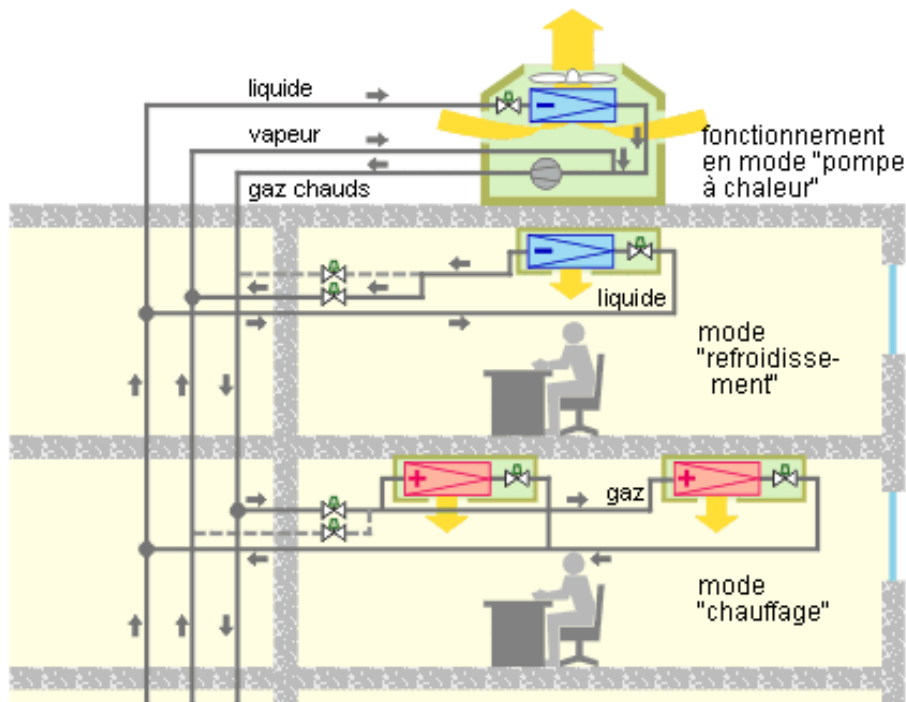
Een andere term voor dit type klimaatregelaars is klimaatregelaars met variabel koelmiddeldebiet.

Er bestaan verschillende werkingsmodi: enkel koude, omkeerbaar en met recuperatie van energie.

In dit laatste type wordt het koelmiddel vervoerd van een lokaal met koelbehoeften (warmtewisselaar = verdamper) naar een lokaal met verwarmingsbehoeften (warmtewisselaar = condensor).

Het systeem zal tegelijkertijd zorgen voor beide vragen, met een minimaal energieverbruik aangezien de warmte die aan een kant afgezogen wordt, aan de andere kant hergebruikt wordt, met een COP die alle concurrentie ver achter zich laat

Met één buitenunit kan men tot 32 binnenunits voeden. De buitengroepen die tegenwoordig op de markt te verkrijgen zijn, hebben koelvermogens van 15 tot 90 kW in de uitvoering met een deel voor de aansluiting van een onafhankelijk koelcircuit.



Figuur 4.126 Bron Energie+ de website

De buitenunit wordt doorgaans op het dak geplaatst. Het koelmiddel stroomt door de binnenunit. Een schroefventilator stuwt de lucht van het lokaal door de wisselaar. Deze kan gebruikt worden voor koeling of verwarming, luchtvermenging of ontvochtiging. Een elektronische reduceerklep zorgt voor de permanente regeling van het koelmiddeldebiet naargelang van de binnenbelasting.

De technologische beperkingen van dit systeem blijven de maximale verticale niveaoverschillen tussen de buitenunits en binnenunits, evenals tussen de binnenunits. (handleidingen en nota's fabrikanten raadplegen)

In dit systeem worden 3 leidingen met de externe unit verbonden

- een vloeistofleiding,
- een leiding voor lagedrukdamp,
- een leiding voor hogedrukdamp, d.w.z. "warme gassen".

De 3 leidingen voeden de verdeelmodules (rechthoeken in stippellijn op de grafiek). Deze worden geïnformeerd over de omgevingstemperatuur en de gewenste richttemperatuur en selecteren het gepaste type werking. Uit deze modules vertrekken twee buizen die de wisselaars van het lokaal voeden

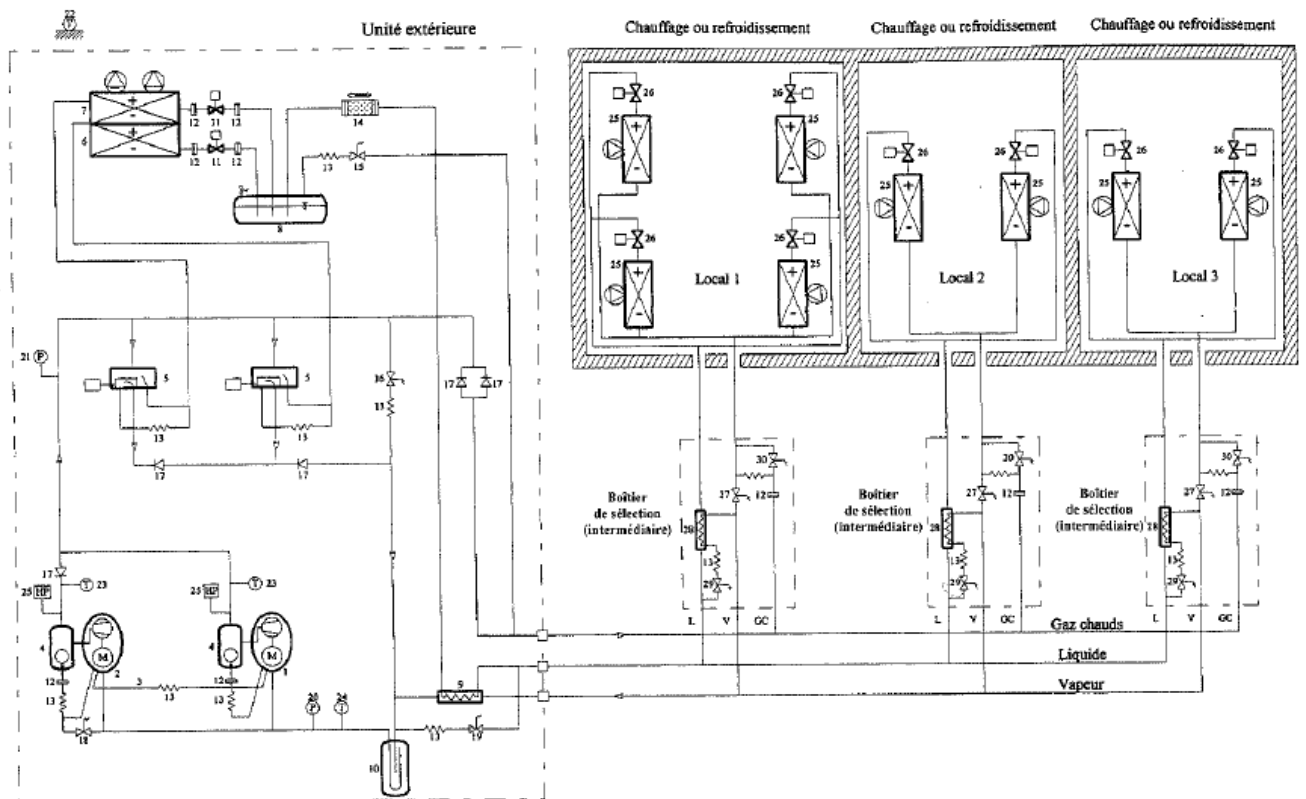
Een dergelijk product kon pas geïntegreerd worden met behulp van de technologie:

- ✓ Ter hoogte van de binnenunits, regeling van de omgevingstemperatuur:
 - door regeling van de snelheid van de ventilator van de verdamper,
 - door een elektronische reduceerklep die het fluïdumdebiet moduleert door het temperatuurverschil ingang-uitgang van het fluïdum in de verdamper te controleren (gelijkaardig aan de regeling van de oververhitting).

- ✓ Ter hoogte van de buitenunits
 - In de buitenunit bevindt zich een hermetische compressor met variabele snelheid met een "INVERTER"-regeling, d.w.z. met variabele snelheid door regeling van de voedingsfrequentie.

In de praktijk wordt op de aanzuigdruk van de compressor een sonde geplaatst. Deze druk wordt constant gehouden door regeling van de snelheid van de compressor. Automatisch wordt ook de verdampingstemperatuur constant gehouden. Als de thermische belasting van het gebouw toeneemt, zal zo de snelheid van de compressor toenemen en vergroot het koelmiddeldebiet!

Ingeval van een groot koelvermogen wordt een cascade van twee (of drie) compressoren gerealiseerd. Maar slechts een compressor functioneert aan variabele snelheid. De tweede wordt afgesteld op "alles of niets". Bij het starten functioneert enkele de compressor INVERTER. Zodra de belasting de vermogensgrens van deze compressor overschrijdt, wordt de 2e compressor ingeschakeld om de belasting over te nemen en de compressor INVERTER begint te moduleren vanaf 0 %.



- | | | |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> 1 - Motocompresseur à pistons à vitesse variable. 2 - Motocompresseur à pistons à vitesse variable. 3 - Conduite d'égalisation des niveaux d'huile. 4 - Séparateur d'huile. 5 - Vanne 4 voies. 6 - Batterie d'échange extérieure. 7 - Batterie d'échange extérieure. 8 - Bouteille accumulatrice de liquide. 9 - Echangeur liquide-vapeur auxiliaire. 10 - Bouteille anti-coups de liquide. | <ul style="list-style-type: none"> 11 - Détendeur électronique de la batterie d'échange extérieure. 12 - Filtre. 13 - Capillaire. 14 - Déshydrateur bidirectionnel. 15 - Electrovanne de gaz chauds. 16 - Electrovanne d'égalisation des pressions. 17 - Clapet de non-retour. 18 - Electrovanne de régulation de puissance. 19 - Electrovanne d'injection de liquide. 20 - Sonde de pression (basse pression) | <ul style="list-style-type: none"> 21 - Sonde de pression (haute pression) 22 - Sonde de température extérieure. 23 - Sonde de température au refoulement des compresseurs. 24 - Sonde de température à l'aspiration des compresseurs. 25 - Batterie d'échange intérieure. 26 - Détendeur électronique de la batterie d'échange intérieure. 27 - Electrovanne retour du fluide frigorigène. 28 - Echangeur liquide vapeur du boîtier de sélection. 29 - Electrovanne d'injection de liquide du boîtier de sélection. |
|--|--|---|

Figur 4.127

4.7 WARMTEPOMP

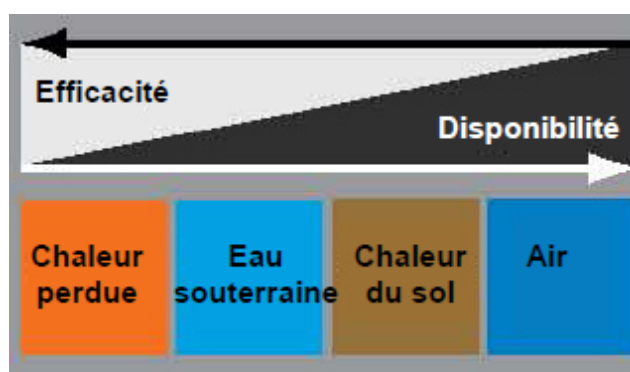
Een systeem met warmtepomp bestaat uit drie elementen:

1. Koudebron: opvangsysteem voor de recuperatie van de omgevingswarmte
2. Warmtepomp: voorziening die de omgevingswarmte op een hogere temperatuur zal brengen
3. Warmtebron: warmteafgiftesysteem die de warmte gaat verdelen in de verschillende ruimten van de woning of sanitair warm water gaat produceren

Het opvangsysteem moet voldoende omgevingswarmte naar de warmtepomp vervoeren. Het ontwerp en de keuze van het systeem hangen af van het gekozen type warmtebron. De doeltreffendheid van een warmtepomp hangt af van de prestaties van het opvangsysteem ervoor.

Opvangsysteem	Bronnen van warmte
Opvang met lucht	Buitenlucht, vervuilde lucht
Opvang met glycolwater	Horizontale geothermische sensor Verticale geothermische sensor
Opvang met water	Grondwater, rivieren, wateroppervlakken

Aan de hand van de volgende klassering kan men de "beste" koudebron definiëren:



Figuur 4.128

Op de markt bestaan er meerdere modi voor de werking van de warmtepomp: met compressie, met gasmotor, met absorptie.

Voor de warmtebron bestaan de afgiftesystemen uit radiatoren, vloerverwarming, ventilator-convectoren. Het verwarmingsvermogen is afhankelijk van de kwaliteit van de thermische isolatie van het gebouw en de luchtdichtheid. De behoeften aan sanitair warm water hangen af van het aantal gebruikers en hun leefgewoonten.

Het vermogen van de warmtepompen begint bij 1 kW en stijgt tot boven 500 kW.

Dit vermogen is afhankelijk van de temperatuur van de koudebron. Hoe lager de temperatuur, hoe kleiner het vermogen. Zo onderscheiden we twee grote warmtepompsystemen: aerothermisch en geothermisch. Het vermogen afgeleverd door een aerothermisch warmtepompsysteem is beperkt in de winter.

Warmtegeleidend fluïdum van de sensoren	Temperatuur van het warmtegeleidend fluïdum (°C)	Warmtegeleidend fluïdum warme bron	Temperatuur van het warmtegeleidend fluïdum (°C)	Vermogen (kW) condensor
Glycolwater	0	water	35	10
Glycolwater	5	water	35	12,3
water	10	water	35	14,2
lucht	7	water	35	13,1
lucht	0	water	35	10,8
lucht	-7	water	35	8,9

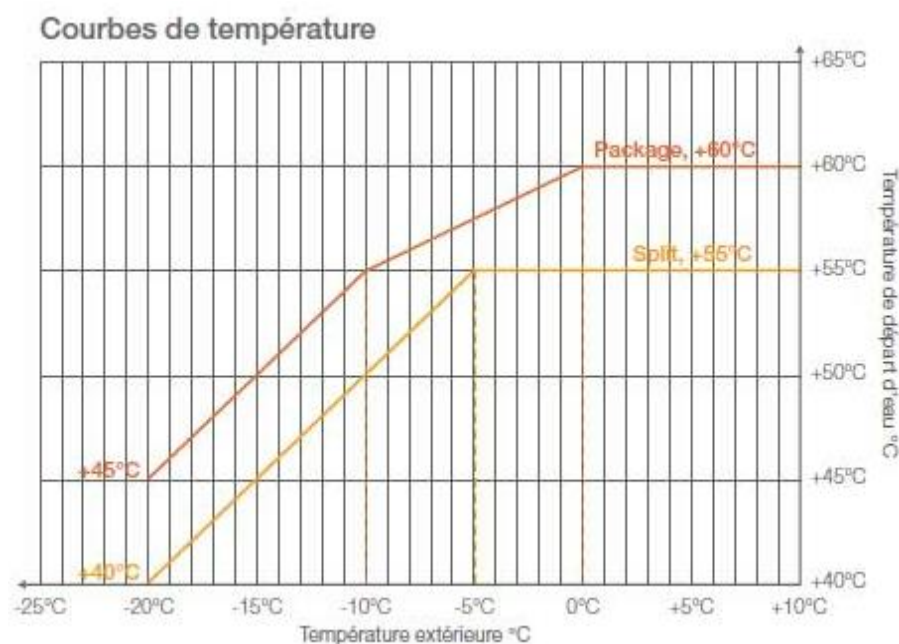
De tweede temperatuur die men in aanmerking moet nemen, is de maximale inlaattemperatuur van het warmteafgiftesysteem. Het water dat een warmtepomp verlaat die een vloerverwarming voedt, is niet warmer dan 35 °C.

De dichtheid van de buizen in de vloer laat toe het vermogen per eenheid vloeroppervlakte te moduleren.

Experimentele waarden van de ruimten tussen de buizen (stap)

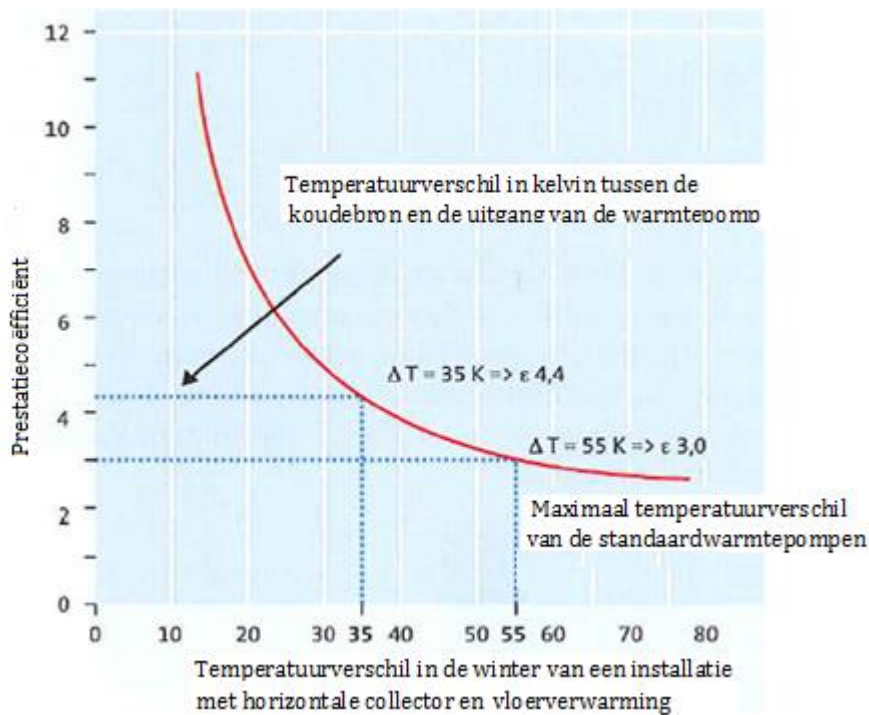
- 10 cm kan 90 W/m² leveren (gebruikelijke waarde voor badkamers)
- 15 cm produceert 60 W/m²
- 20cm produceert 45W/m²

Voor hogere temperaturen voor het sanitaire warme water of om te blijven werken met het bestaande radiatorcircuit in het geval van renovatie, bestaan er hogetemperatuur warmtepompen die temperaturen tot 70 °C kunnen bereiken met behulp van de techniek EVI ("enhanced vapor injection"). Deze techniek geeft een boost aan de warmtepomp tijdens de koudste periode van de winter, zoals een turbocompressor in een auto. Op die manier verkrijgt men een constant vermogen over een zeer groot bereik van buitentemperaturen. De begintemperatuur van het water met een hogetemperatuur warmtepomp laat toe, te voldoen aan de behoeften aan sanitair warm water (50 °C) en tegelijkertijd problemen met de legionairsziekte te voorkomen. De concurrentie tussen de hogetemperatuur warmtepomp en de verwarmingsketel op de renovatiemarkt is zeer groot.



Figuur 4.129

Hoe kleiner het verschil tussen de temperatuur van de koudebron en de warmtebron, hoe groter de COP. De warmtepomp functioneert bij lage temperatuur (water verwarming 30 °C) beter met water als warmtegeleidend fluïdum dan met lucht



Figuur 4.130

De doeltreffendheid van een warmtepomp wordt gekenmerkt door de prestatiecoëfficiënt COP, die de verhouding is tussen de hoeveelheid geproduceerde warmte en de elektrische energie verbruikt door de compressor. Hoe groter de COP, hoe beter de warmtepomp.

Er zijn 3 soorten COP:

1. COP machine: (gegeven door de constructeur op de technische fiches)

Voor de systemen Lucht/Lucht en Lucht/Water:

de proef wordt uitgevoerd bij een nominale buitentemperatuur van +7 °C; de proefnorm EN 14511 definieert, bovenop de nominale proefpunten, proefpunten van toepassingen voor buitentemperaturen van 2 °C, -7 °C en -15 °C. Deze elementen moeten in aanmerking genomen worden bij de keuze van materiaal.

De prestaties bij een buitentemperatuur van -7 °C van verschillende producten kunnen geraadpleegd worden op de website van Promotelec.

Voor de systemen Water/Water:

de proef wordt uitgevoerd bij een nominale watertemperatuur van 10 °C;

Voor de systemen Glycolwater/Water:

de proef wordt uitgevoerd bij een nominale watertemperatuur van 0 °C.

Voor de systemen type Grond/Grond of Grond/Water:

er is geen proefnorm maar er zijn wel protocollen aangenomen door de meerderheid van de industriëlen. Voor deze producten bedraagt de nominale temperatuur van het fluidum bij de ingang van de verdamper -5 °C.

2. COP systeem:

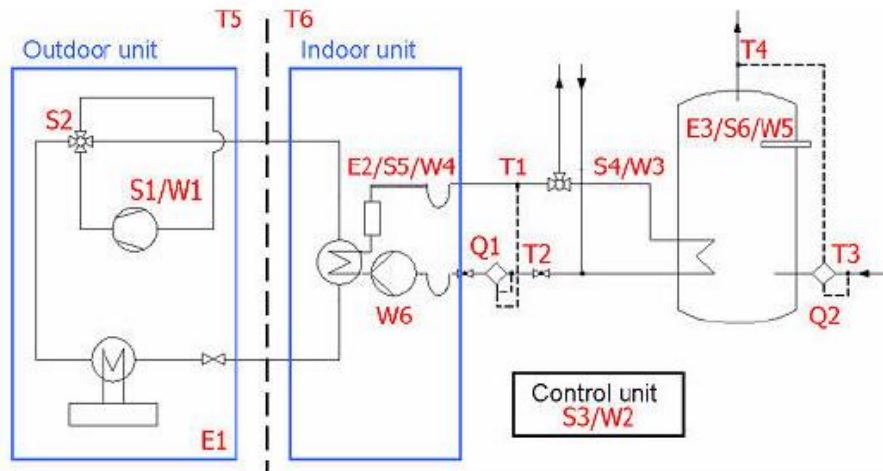
Het houdt rekening met de volgende elementen:

- de onvolmaaktheden van de installatie (energieverliezen van de verdeelnetwerken, verliezen aan de wisselaars, enz.) die niet bijdragen tot de verwarming van de ruimten,
- de hulptoestellen (pompen, circulatiepompen, ventilatoren, enz.),
- de plaatsing van de installatie (dimensionering, plaatsing, enz.).

3. COPA:

De jaarlijkse coëfficiënt of COPA geeft een beoordeling van de jaarlijkse prestatie van de warmtepompinstallatie, met inbegrip van de hulptoestellen. Het is de belangrijkste indicatie in het onderzoek van een warmtepompinstallatie. Alle hoeveelheden geproduceerde energie die tijdens een jaar worden geïnjecteerd, worden vergeleken. Het gaat niet om een theoretische waarde berekend op basis van het geïnstalleerde vermogen, maar om een reële waarde in situ van de verbruikte en geleverde hoeveelheid energie. Het is de jaarlijkse prestatiecoëfficiënt die een echt idee geeft van het "rendement" en van de doeltreffendheid van de installatie.

Het volgende beginselschema geeft een overzicht van metingen.



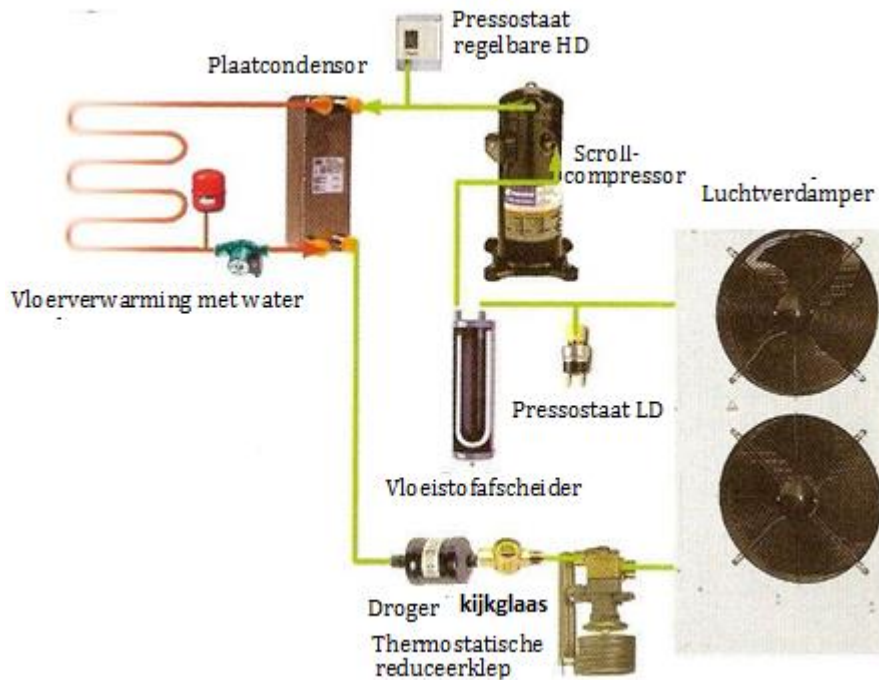
- 2 compteurs d'énergie - chaleur (Q)
- 3 compteurs d'énergie - électricité (E)
- 6 sondes de température (T)
- 6 enregistreurs temps/statut (S,W)
- Transmission data par GSM

Figuur 4.131

Het warmtepompsysteem kan gecombineerd worden met andere verwarmingssystemen: elektrische weerstand, verwarmingsketel, thermische zonnepanelen.

AEROTHERMISCHE WARMTEPOMP:

De aerothermische warmtepompen onderscheiden zich in hun manier van plaatsing: eendelig buiten of binnen of tweedelig. De plaatsing van een aerothermische warmtepomp is eenvoudig en kost minder dan een geothermische warmtepomp. Men moet enkel controleren of het door de fabrikant aanbevolen ventilatiedebiet aan de verdamper wordt nageleefd.



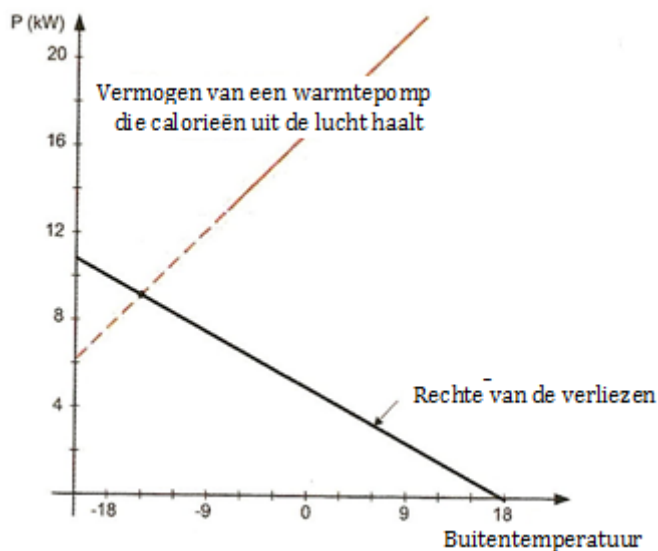
Figuur 4.132

Voordelen:

- Gemakkelijke plaatsing
- Weinig benodigde plaatsruimte
- Goed geschikt voor renovatie, maar geen grote grondwerken

Nadelen:

- Ontoereikende prestaties in de zeer koude zone (minimale gemiddelde temperatuur < -15 °C)
- Ventilatie genereert lawaai
- Periodieke ontdooiing noodzakelijk met verzameling van de condensaten (afgenomen prestatie)
- Elektrische weerstand om de daling van de doeltreffendheid op te vangen en de warmtebehoefte te dekken (noodzaak om een elektriciteitsabonnement met groter vermogen af te sluiten)



Figuur 4.133

GEOTHERMISCHE WARMTEPOMP:

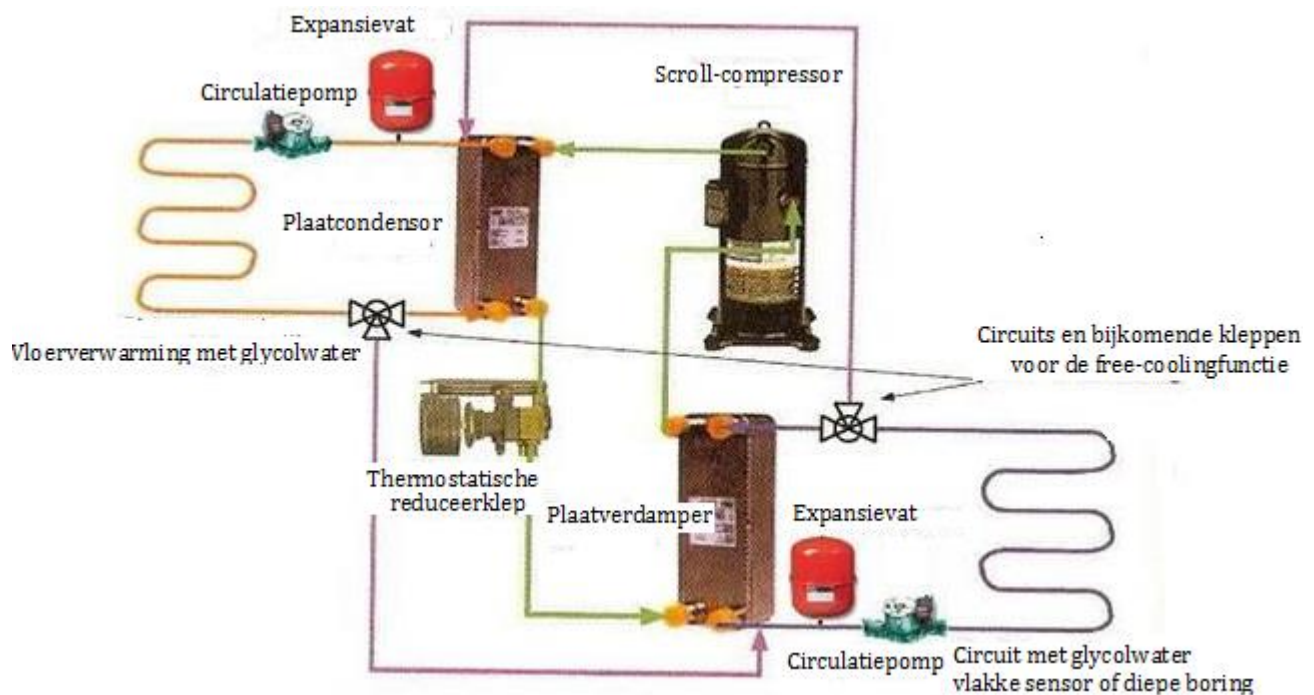
Dit type warmtepomp haalt de in de grond opgeslagen zonnewarmte op, rechtstreeks of onrechtstreeks, door insijpelingen van regenwater en circulatie van grondwater. De sensoren kunnen horizontaal (platte sensoren) of verticaal (geothermische sonden) ingegraven zijn. De calorieën worden opgevangen en naar de verdamper van de warmtepomp vervoerd door een warmtegeleidende vloeistof, glycolwater. De glycol vermindert de prestaties, maar verhindert dat het water bevroert. Het mengsel kan vervangen worden door sensoren met koelmiddel, vanuit thermisch oogpunt efficiënter maar zeer vervuilend ingeval van lekken. De afdichting wordt vaker gecontroleerd, naarmate de belasting in kg groter is.

Voordelen:

- Stabiele prestaties in de winter (als ingravingsdiepte groter dan 80 cm)
- Minimale grondinname

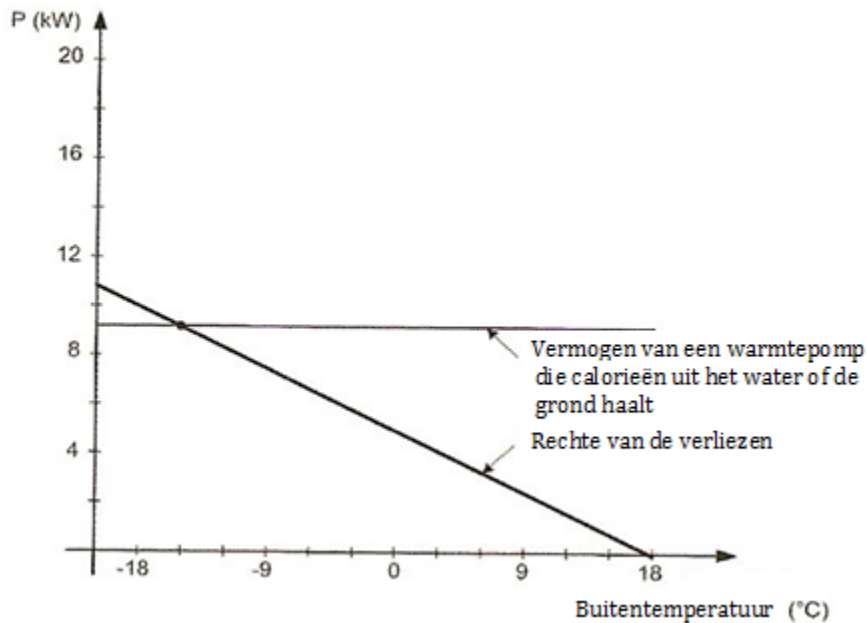
Nadelen:

- Hoge boorkosten voor de verticale sonden
- Toelating noodzakelijk voor de verticale sonden
- Onzekerheid over de regeneratie van het terrein op zeer lange termijn
- Aanwezigheid expansievat, circulatiepomp
- Verplicht bodemonderzoek



Figuur 4.134

De platte sensor bestaat uit een lang netwerk van polyethyleenbuizen die horizontaal ingegraven worden op 0,8 tot 1,5 m diepte. Ze moeten voldoende ingegraven worden om bevrozing te vermijden, maar ook weer niet te diep. Zodra een bepaalde diepte overschreden wordt, laadt de bodem thermisch niet op in het warme seizoen. De dichtheid van de leidingen moet afgestemd worden op het afnamevermogen van de warmtepomp, zonder de caloriebron uit te putten die zich op natuurlijke wijze moet kunnen vernieuwen. Ideaal zou zijn dat op de door de platte sensoren ingenomen grond enkel gras groeit. De verticale sensor bestaat uit twee synthetische buizen in U-vorm. Hij is in een boorgat (met een diepte tot 100 m) vastgezet met een mengsel van cement en bentoniet. Op deze diepte is de meteorologische invloed kleiner en is de bodemtemperatuur het hele jaar constant (13 °C).



Figuur 4.135

Door de ingegraven sensor stroomt glycolwater dat door een circulatiepomp in beweging wordt gezet. De opgevangen calorieën worden geproduceerd door het water van het grondwater dat door het gesteente stroomt.

Het aantal en de diepte van de sonden hangen af van de maximale boordiepte en van de nagestreefde afnamecapaciteit.

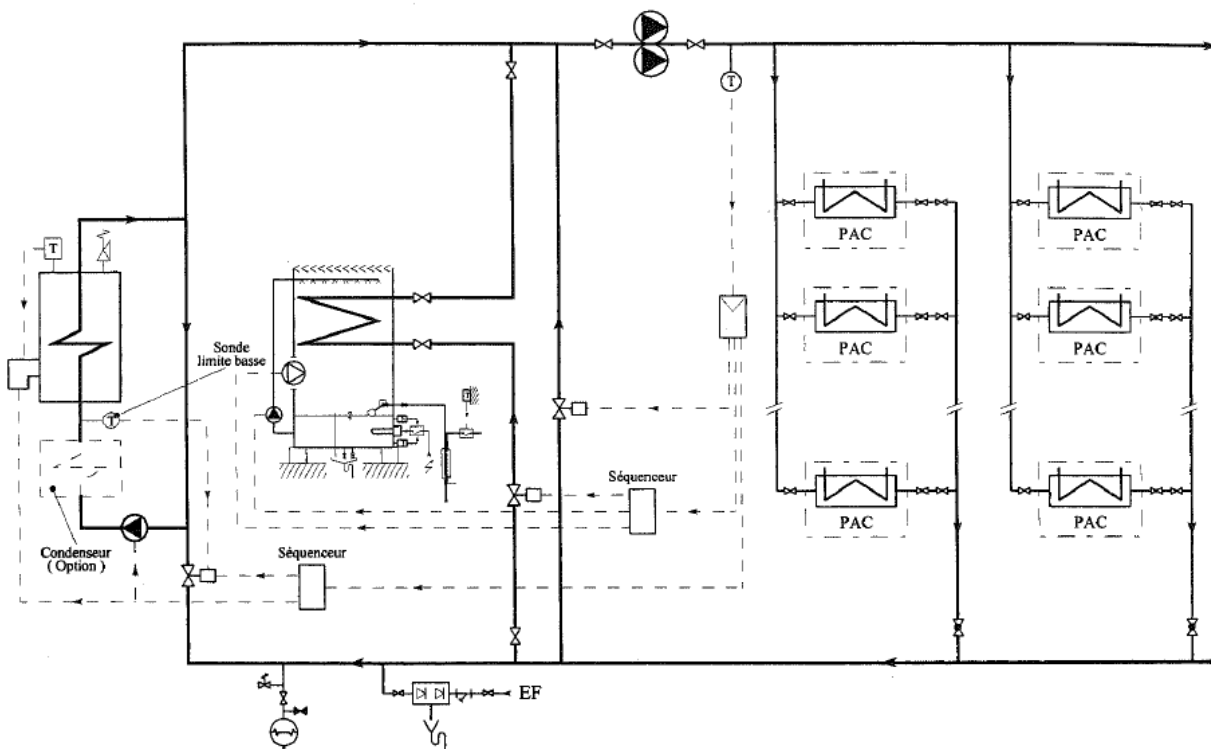
Afname van warmte en thermische regeneratie moeten in evenwicht zijn; zoniet kan de bodem permanent bevroren zijn en wordt te veel of te weinig verlangd van de compressor. Bovenop de middelmatige prestaties kan een ondergedimensioneerde platte sensor een terrein doen bevriezen en het meerdere tientallen centimeters doen opzwellen.

Voor de uitwisselingsoppervlakken van de warme bronnen, twee grote principes:

- Met de vloerverwarmingen: De naar boven toe kleinste mogelijke thermische weerstand (geen parket, geen vast tapijt)
- Verwarmingsoppervlak van de radiatoren te herzien als de watertemperatuur lager is (om het equivalent te verkrijgen van een radiator van 1000 W met water van 75 °C, heeft men een radiator van 3800 W bij 45 °C nodig met een uitwisselingsoppervlak dat vier keer groter is. De uitbreiding van de isolatie van de woning is onontbeerlijk, om te kunnen werken met zo laag mogelijke watertemperaturen. Het warmteverlies, de grootte van de warmtestralers en het warmtepompsysteem worden bepaald volgens de norm EN12831

De kostprijs van het onderhoud is minder belangrijk dan voor verwarmingsketels, maar beïnvloedt de levensduur van de machine met een goed rendement:

- De kwaliteit van het glycolwater moet bewaakt worden: neutrale of basische pH (aanwezigheid van een buffer), concentratie metalen, vriespunt.
- De vloerverwarming moet periodiek gespoeld worden wegens aanwezigheid van modder
- Regelmatige reiniging van de luchtverdamer
- Controle afdichting van de koelcircuits (frequentie volgens belasting van de installatie)
- Meting van de luchttemperaturen aan de aanzuig- en perszijde
- Kiemdodende behandeling bak en batterij
- Controle van de werking van de veiligheids- en regelinrichtingen
- Controle van de druk van het koelmiddel
- Controle oliepeil
- Opnieuw vastklemmen elektrische aansluiting
- Controle zuurgraad van de olie
- Controle van het verklikkerlampje vloeistof
- controle weerstand carter
- Controle afvoer van de condensaten
- Diverse reinigingen, roestwerende verf



Figuur 4.136

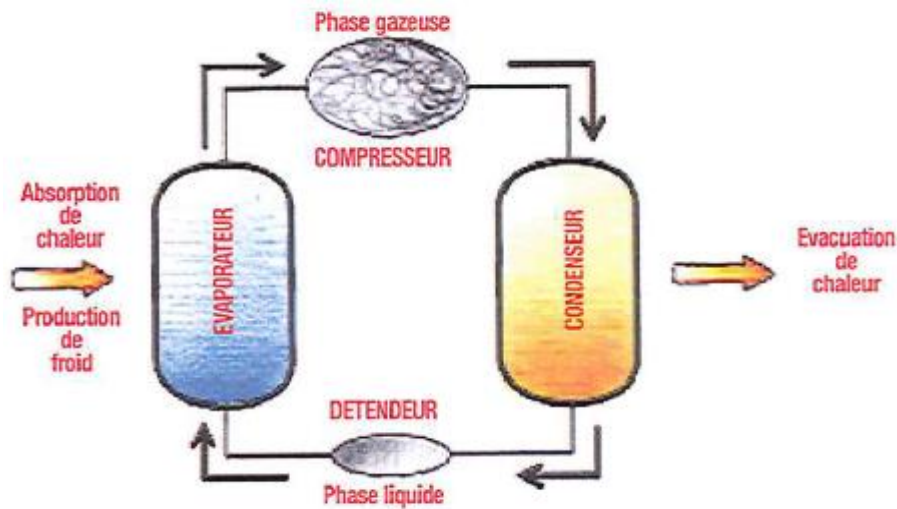
	Horizontale sensor	Verticale sensor
Investering	70 tot 135 EUR per verwarmde m ²	145 tot 185 EUR per verwarmde m ² Boring: 50 EUR/meter
diepte	0,8 tot 1,5 m	Tot 100 m 1 meter boren per m ² oppervlak
Ontnomen vermogen	Tot 35 W/m ² voor moerassige bodems	50 W/m
COP	3 op radiatoren en 4 op vloerverwarming	3 op radiatoren en 4,5 op vloerverwarming

Bron: Energie+ de website

4.8 KOELTORENS

4.8.1 PRINCIPE

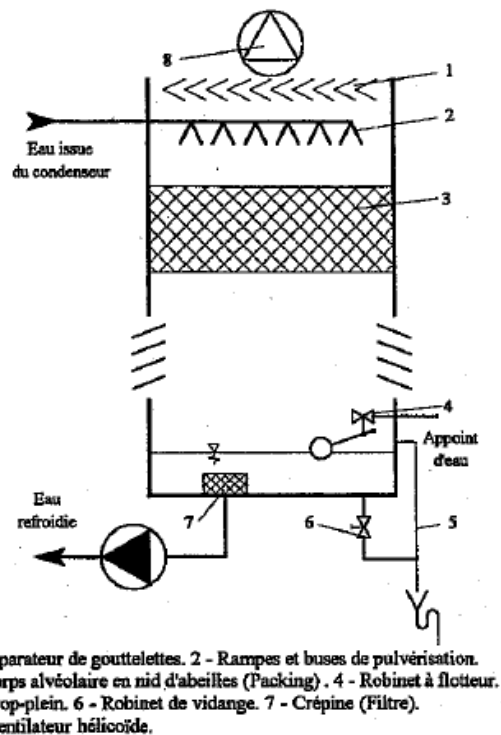
Herinnering: de koudeproductie bestaat in het onttrekken van thermische energie aan een lokaal. Met de verdampers kan men een hoeveelheid warmte onttrekken aan een af te koelen lokaal. Met de condensor kan men de warmte uitstoten in de buitenomgeving.



Figuur 4.137

De afkoeling van de koelcondensoren kan enorme vermogens vereisen voor wat betreft de afvoer van warmte. Indien aerokoelers niet volstaan, dient men een beroep te doen op koeltorens.

Het principe is het volgende: in een open toren wordt het in de condensor verwarmde water in contact gebracht met een luchtstroom na verstuiwing in een goot. Een deel van dit water verdampt in de lucht en krijgt er zijn latente verdampingswarmte. De resterende fractie water wordt afgekoeld en opgevangen in een bak. Het stroomt terug naar de condensor.



Figuur 4.138

Ter herinnering: 1 kg verdampt water betekent een afvoer van 2501 kJ. Het fenomeen wordt evenwel verstoord door de vochtigheid van de koellucht in de omgeving. Een goede koeling is gekoppeld aan een intiem contact tussen lucht en water. Als de toren perfect zou zijn, d.w.z. als het contactoppervlak oneindig zou zijn en het contact perfect, zou men de temperatuur van het water doen dalen tot aan de vochtige temperatuur θ_h van de buitenlucht. In werkelijkheid laat een koeltoren niet toe dat het water deze waarde θ_h bereikt: de temperatuur van het water bij de uitgang van de toren $\theta_s > \theta_h$.

Er bestaat een verschil, nl. de koelgrens van de koeltoren $a = \theta_s - \theta_h$.

De waarde van de koelgrens is kleiner naarmate de toren groter en performanter is.

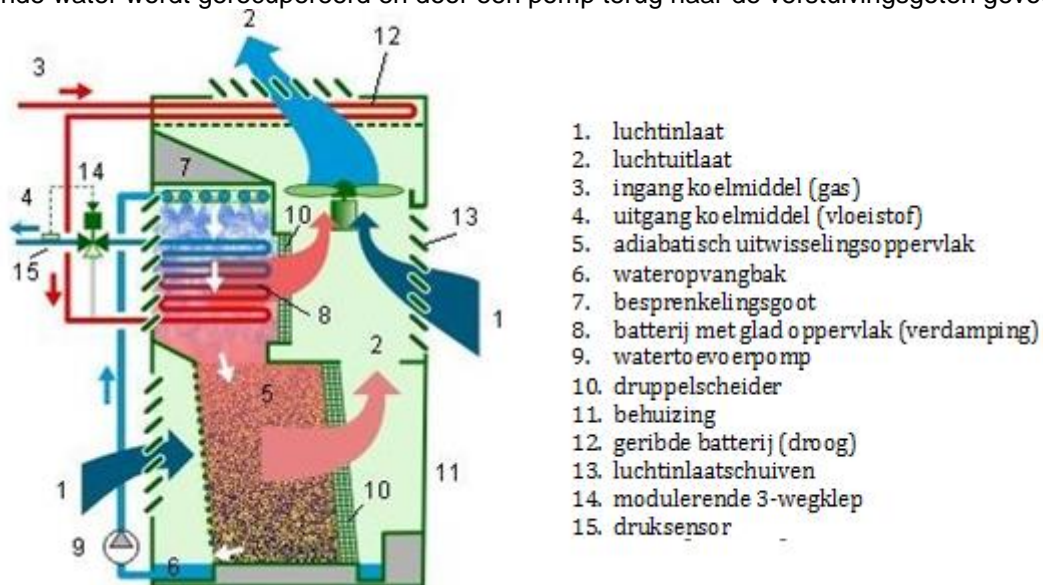
4.8.2 EVAPORATIECONDENSOR

Met evaporatiekoeling kan men energie en water besparen, want de gebruikte water- en luchtdebieten zijn kleiner.

Het koelmiddel stroomt tegen de luchtstroom in in een gesloten circuit. Dit type condensor kan een grote hoeveelheid koelmiddel bevatten (gevolgen voor de wettelijke vereisten)

Water wordt over de buizen met het fluïdum verstoven. De warmte wordt overgedragen aan het water en door dat water stroomt de lucht. De lucht zorgt voor de afvoer van de warmte en veroorzaakt een beperkte verdamping van het water.

Het resterende water wordt gerecupereerd en door een pomp terug naar de verstuiwingsgoten gevoerd.



Figuur 4.139



Figuur 4.140

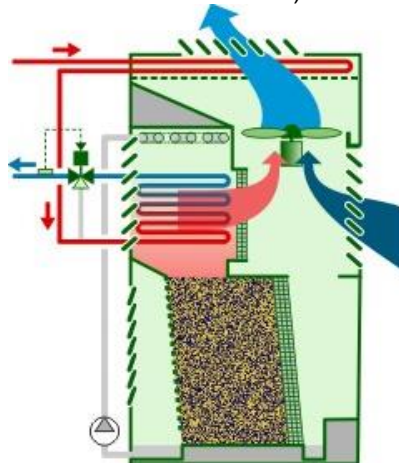
De gemengde evaporatiecondensator optimaliseert het koelwaterverbruik dankzij drie werkingsmodi:

- droge modus;
- adiabatiese modus;
- gecombineerde modus droog en nat.

In de droge modus doet de evaporatiecondensator dienst als luchtcondensator.

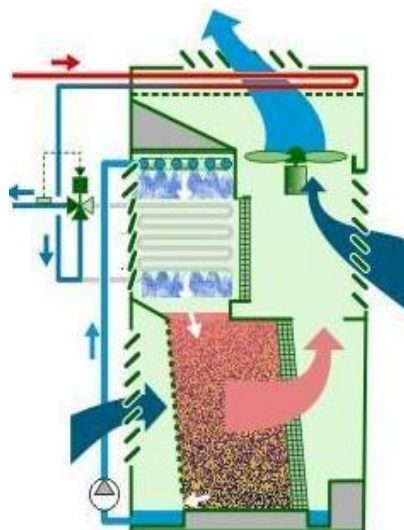
De watertoevoer pomp voert geen water aan.

Deze werkingsmodus is geschikt wanneer de lage externe temperatuur condensatie toelaat door een uitwisseling die enkel gebaseerd is op de waarneembare warmte (uitwisseling van warmte door het temperatuurverschil tussen het koelmiddel en de externe lucht).



Figuur 4.141

In de adiabatiese modus zorgt de driewegklep ervoor dat het koelmiddel enkel kan condenseren in de bovenste geribde wisselaar. De waterpomp functioneert en zorgt voor de besproeiing van de "matras" die doordrenkt wordt met water. Het debiet wordt zo geregeld dat het water in de lucht verdampt die door de matras stroomt. De (adiabatiese) verkoeling van de lucht zorgt voor een condensatietemperatuur die lager ligt dan de verwachte temperatuur in de "droge" modus (volgens een constructeur kan men 5 tot 7 °C winnen ten opzichte van een afkoeling van de waarneembare warmte).

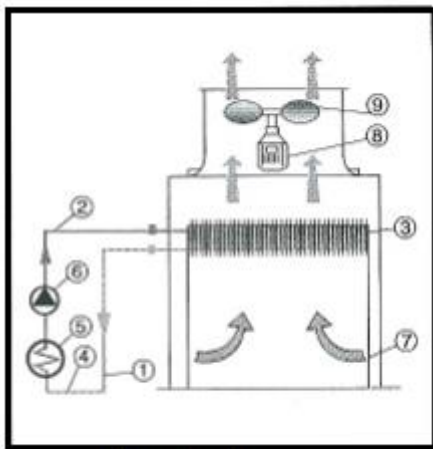


Figuur 4.142

4.8.3 SOORTEN KOELTORENS

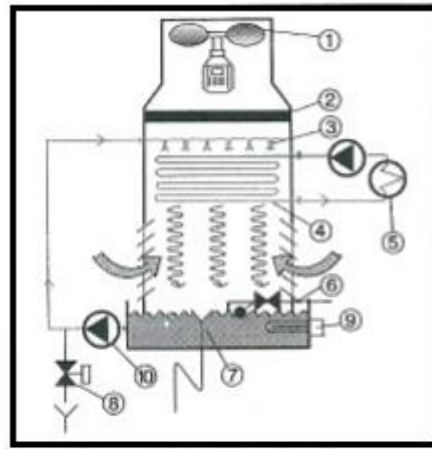
We onderscheiden 4 soorten koeltorens:

- toren met gesloten circuit
- Droge koeler met verstuiving
- Droge hybridekoeler
- Droge koeler



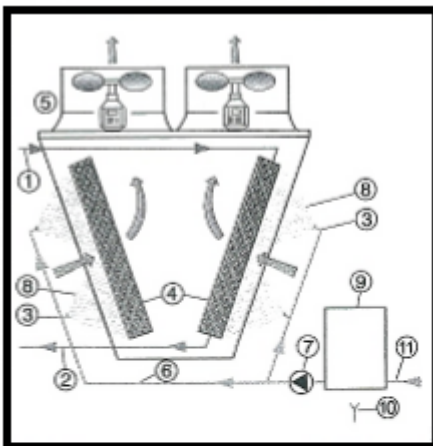
Droge koeler

1. Koelcircuit
2. Heen
3. Wisselaar
4. Terug
5. Warmtebelasting
6. Circulatiepomp
7. Geforceerde convectielucht
8. Motor
9. Ventilator



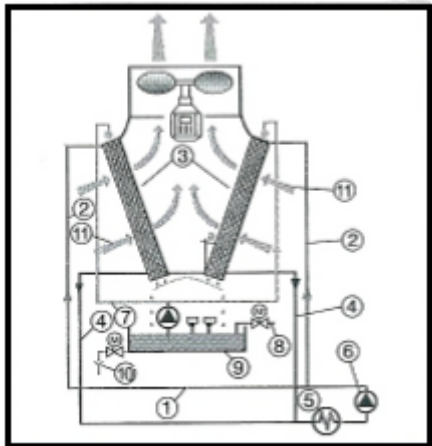
Toren met gesloten circuit

1. Ventilator
2. Druppelverwijderaar
3. Verstuivingsnozzles
4. Buisvormige wisselaar
5. Warmtebelasting
6. Vlotterklep (watertoevoer)
7. Overloop
8. Deconcentratieklep
9. Verwarming bak antivries
10. Circulatiepomp



Droge koeler met verstuiving

1. Heen
2. Terug
3. Verstuivingsnozzles
4. Warmtewisselaars
5. Ventilatoren
6. Toevoer verstuivingswater
7. Hogedrukpomp
8. Spuitbus ionenvrij water
9. Bereiding van het ionenvrije water
10. Ontluchting van het osmosesysteem
11. Toevoer van koud water



Droge hybridekoeler

1. Circuit primair water
2. Heen
3. Warmtewisselaar in gesloten circuit
4. Terug
5. Warmtebelasting
6. Circulatiepomp primair circuit
7. Besproeiingscircuit
8. Toevoer koud water
9. Waterbak
10. Automatische deconcentratie
11. Convectielucht
12. Ventilator
13. Motor

Figuur 4.143

	Voordelen	Nadelen
Droge koeler	Onderhoudsvriendelijk Kleine investering Klein gewicht free-cooling mogelijk	Groot vloeroppervlak Lage koeltemperatuur Groot stroomverbruik
Gesloten toren	Klein vloeroppervlak Lage koeltemperatuur	Damppluim Waterverbruik Groot gewicht Waterbehandeling Weinig free-cooling
Droge koeler met verstuiving	free-cooling Beperkt gewicht	Risico van corrosie Behoeften aan vloeroppervlak Groot stroomverbruik
Droge hybridekoeler	Water- en elektriciteitsverbruik Beperkte behoeften aan vloeroppervlak Eenvoudig onderhoud	Grote investering Waterbehandeling

Voor een koelbehoefte van 825 kW baseert de voorselectie van het koelsysteem zich op de Duitse norm VDI2225:

Type koeler	Koelvermogen (kW)	T uitgang koeler °C	T ingang koeler °C	Volumedebiet water + glycol 35 % (l/s)	Voorwaarden Luchtinlaat/koeler	Vloeroppervlakte (m ²)	Gewicht (kg)	Geïnstalleerd elektrisch vermogen (kW), Ventilator
Droge koeler	1050	40	46	45,3	32°C/40%HR	66	5590	20,64
Gesloten evaporatietoren, met gesloten circuit	986	28	34	42,5	32°C/40%HR	15,3	16320	32,1
Droger koeler met verstuiving	994	30	36	42,9	32°C/40%HR	32,5	6700	25,6
Droge hybridekoeler	987	28	34	42,6	32°C/40%HR	14,6	7050	9

Er bestaat een relatie tussen de watertemperatuur en het vermogen van de compressor: hoe hoger de watertemperatuur, hoe hoger de condensatietemperatuur, met gevolgen voor het elektriciteitsverbruik.

Variant	T uitgang koeler °C	T ingang koeler °C	Koelbehoeften (kW)	Vermogen compressor (kW)	Pomp (kW)	Koelvermogen (kW)
Droge koeler	46	40	825	215	10,2	1050,2
Evaporatietoren met gesloten circuit	34	28	825	147	13,8	935,8
Droge koeler met verstuiving	36	30	825	154	15	994
Droge hybridekoeler	34	28	825	147	14,7	986,7

Er kunnen problemen optreden door het gebruik van water in een open circuit:

- Kalk (vervuiling wisselaar)
- Zoutconcentratie
- Stilstaand water (ontwikkeling van de legionairsziekte)

De inplanting en het gebruik van koeltorens is gereguleerd door het BHG via een milieuvergunning. (<http://www.bruxellesenvironnement.be/Templates/Professionnels/niveau-thematique.aspx?maintaxid=11664&taxid=12367>)

De open toren geniet de voorkeur:

- op financieel vlak: goedkope oplossing, vereist niet veel plaats,
- op energetisch vlak: de condensatietemperatuur is zeer laag (wat de arbeid van de compressor beperkt).

Maar hij is een nachtmerrie op het gebied van onderhoud: corrosie door zuurstoftoevoer naar het water, vervuiling door binnendringen van stof en zandkorrels die kunnen neerslaan in de condensor, toegenomen vorstrisico, ... problemen die bovendien de gemiddelde levensduur met een tiental jaren verkorten.

Er bestaat tevens een risico op besmetting met [legionella](#) : het verstoven water heeft een temperatuur tussen 30 en 50 °C. De waterdampwolk die door de wind wordt meegenomen + fijne druppeltjes die uit de toren ontsnappen kunnen ingeademd worden door personen in de buurt...

Het water in het koelcircuit moet behandeld worden

4.8.4 AANSLUITSCHEMA'S VAN DE KOELTORENS

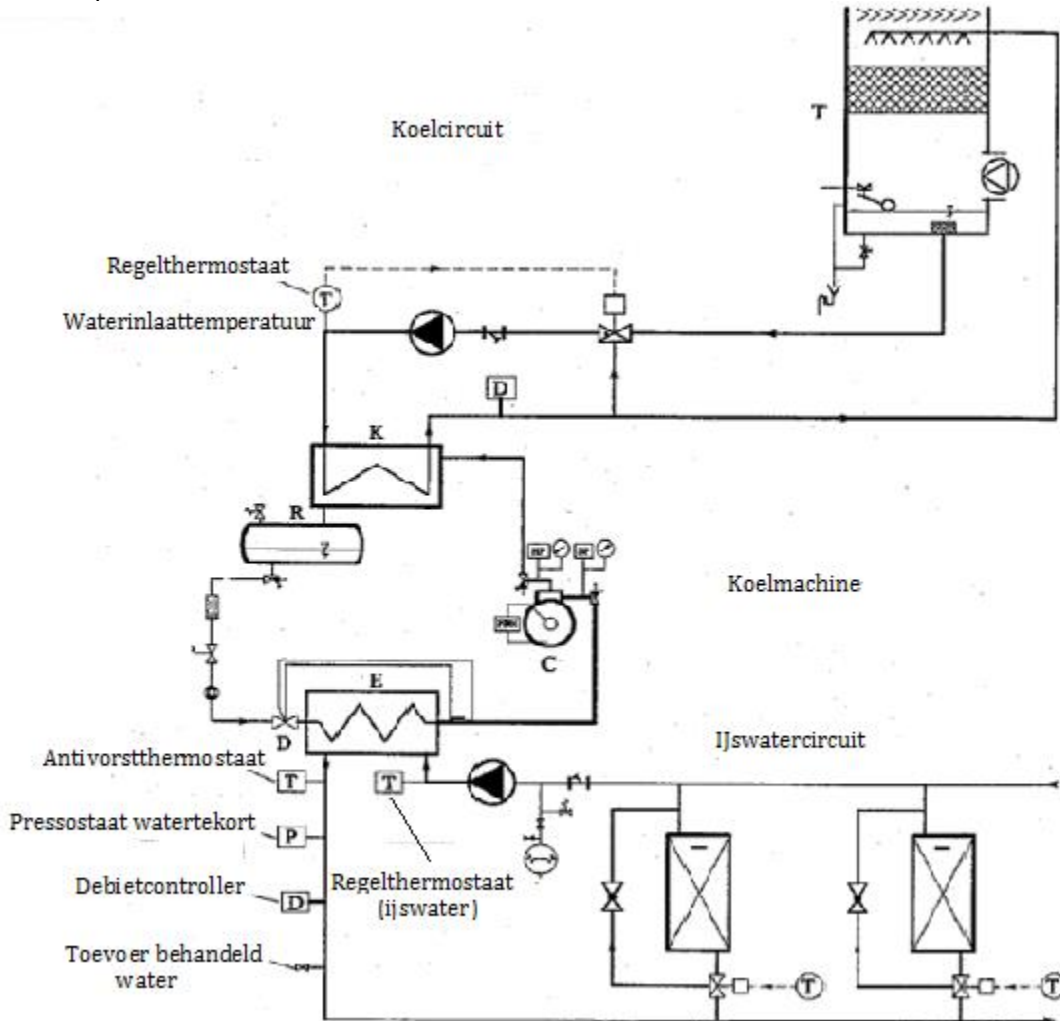
De belangrijke punten die zorgen voor de werking van een koelmachine met watercondensor zijn:

1. Kant condensor

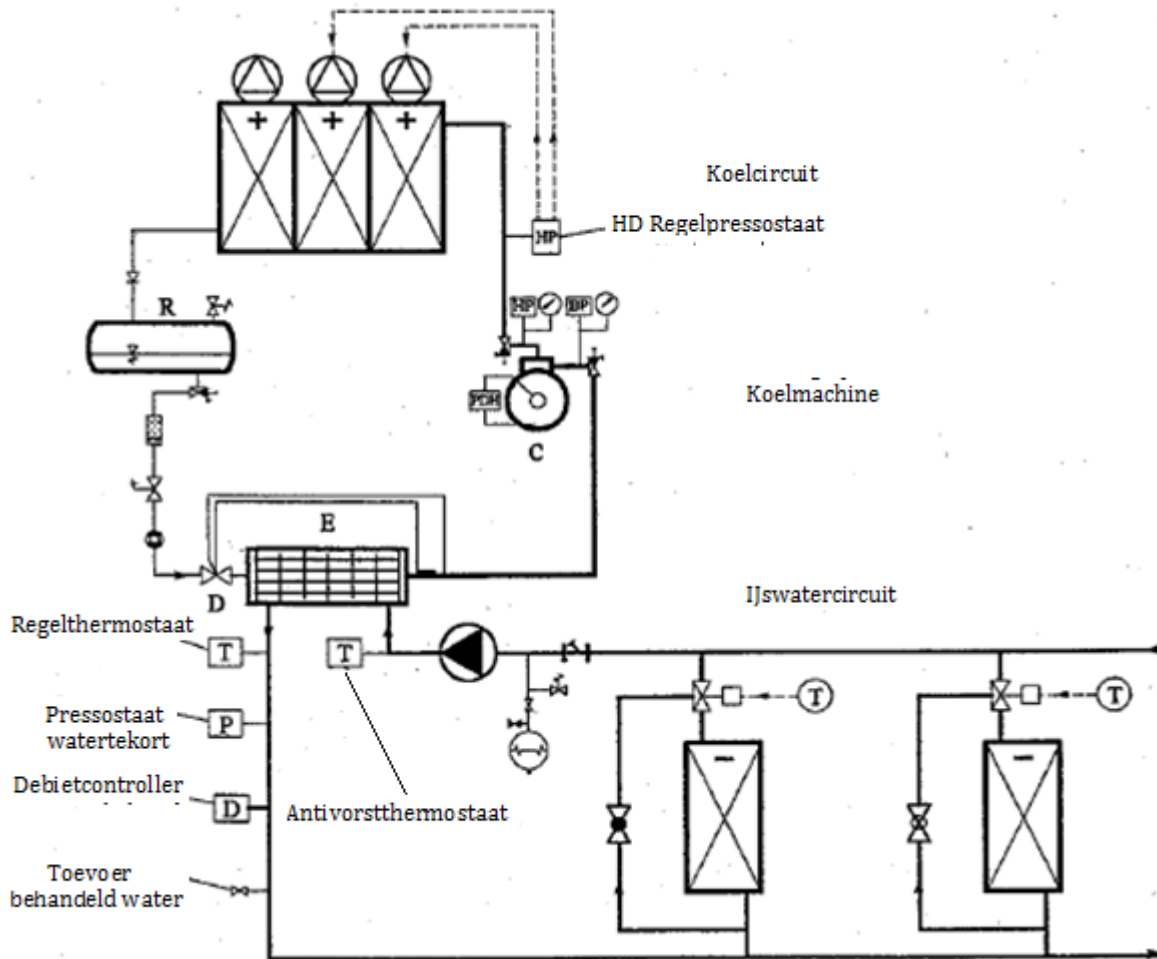
- A. Voor de open torens: regeling van de HD door beïnvloeding van de snelheid van de ventilator van de toren of door bediening van de 3-weg- of 2-wegklep
- B. Voor de aerokoelmiddelen door bediening van een of meerdere modulerende of AON-ventilatoren, dankzij de HD meertrapsregelpressostaat

2. Kant verdamper

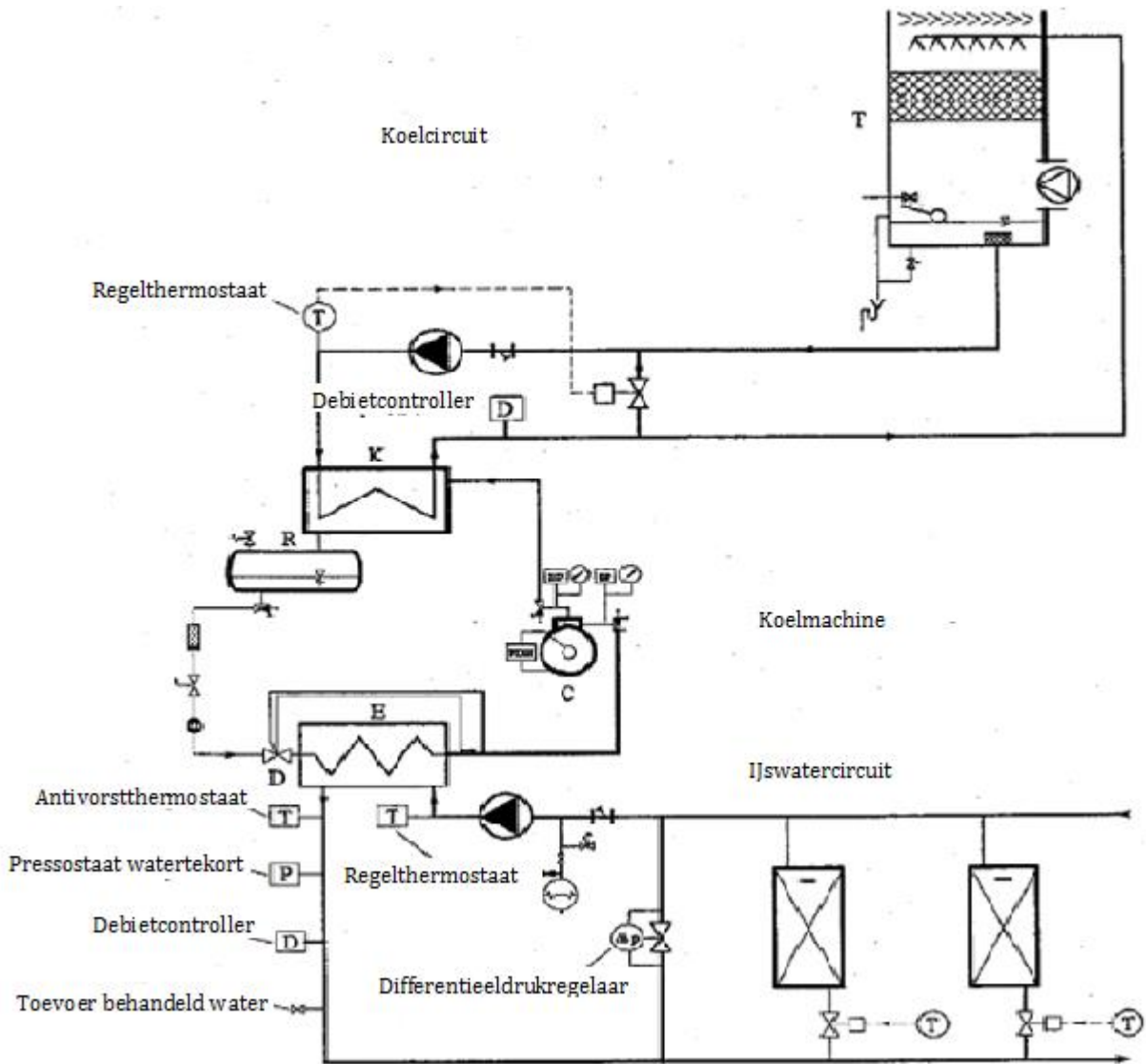
Tegen het risico van vorst, aanwezigheid van een antivorstthermostaat, een debietcontroller, een pressostaat watertekort



Figuur 4.144



Figuur 4.145



Figuur 4.146

De regelaar van het drukverschil laat toe te werken met een variabel debiet in de lokale wisselaars en voort te werken met een constant debiet in de verdampers: als de tweewegkleppen sluiten, stijgt het drukverschil en gaat de regelaar open.

4.9 AEROKOELER.

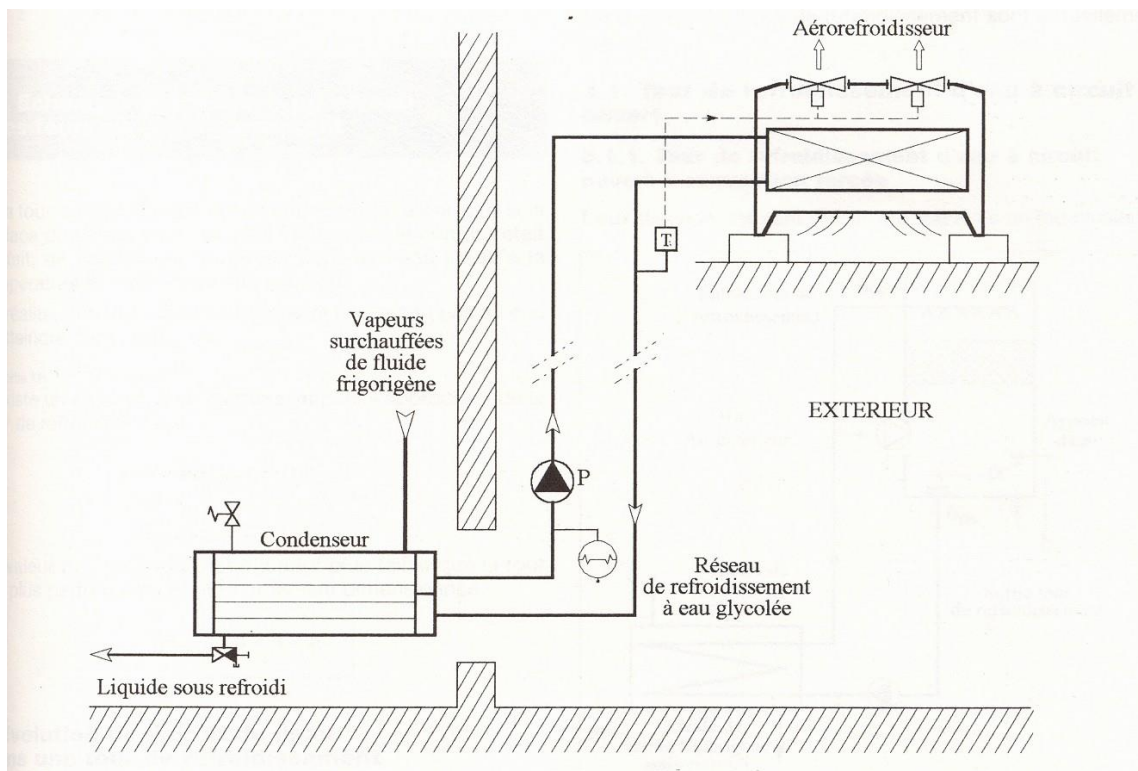
Sommige condensers worden gecombineerd met externe koelers met glycolwater. Deze laatste worden dry-cooler of aerokoelers genoemd.

De concentratie ethyleen – glycol moet ongeveer 30 % bedragen voor een bescherming bij $-16\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Deze apparaten verbruiken geen water en kunnen ver van de koelcondensator op het dak geplaatst worden.



Figuur 4.147 Document Ciat

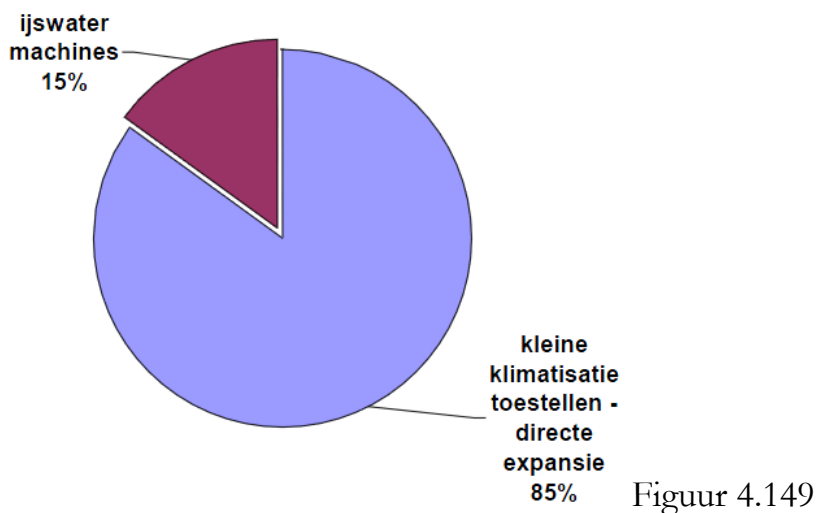


Figuur 4.148

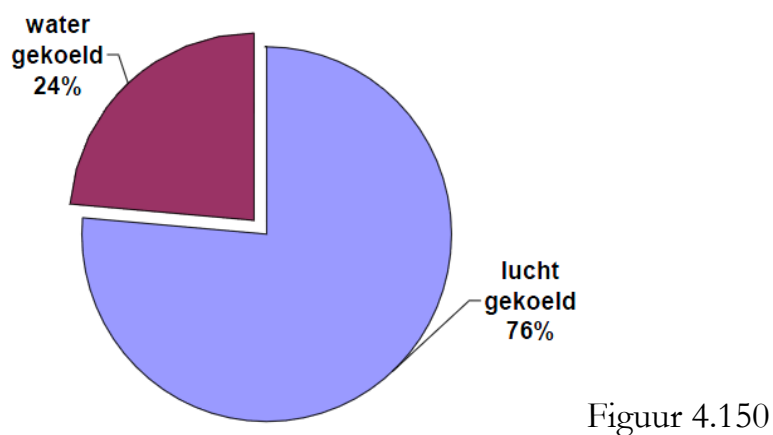
4.10 GEGEVENS OVER DE VERDELING VAN DE SOORTEN KLIMAATREGELINGSUITRUSTINGEN

Voor wat betreft België wezen de verkoopcijfers van 2006 op een overheersing van de systemen met directe expansie ten opzichte van de systemen met ijswater. (bron UBF). Het aantal verkochte machines dit jaar is als volgt verdeeld:

Mobiel: **6200** / split < 7 kW: **19900** / split, multi, VRV > 7 kW: **17825** / chiller: **752**



Voor de ijswatersystemen in het bijzonder is de verdeling als volgt:



Sinds 2003 zien we een toenemend belang van de VRV-systemen (met variabel koelmiddelvolume) (+50 %) en de afname van de verkoop van de chillers.

Voor het Brussels-Hoofdstedelijk Gewest is, voor het BIM, door het studiebureau INGENIUM in 2008 een inventaris opgemaakt voor een park van 50 gebouwen. De studie telde 120 machines voor de productie van ijswater, verdeeld over 70 koudeproductiecentrales. De volgende gegevens werden onderzocht:

- Welke straler in de ruimten?

	aantal	Percentage
Koelbatterij in een ventilatiegroep	49/70	70%
Ventilator-convectoren	46/70	66%
Klimaatregelingskast	18/70	25%
Koelplafond	7/70	10%
Koelbalk	5/70	7%
Ejecto-convectoren	2/70	3%
onbekend	4/70	6%

- Welk type machine voor de ijswaterproductie met fabricagedatum?

	Koeling door lucht - een deel	Koeling door lucht - afzonderlijke condensator	Koeling door water - dry cooler	Koeling door water - gesloten toren	Koeling door water - open toren
Indeling EN15420	G1.1	G1.2	G2.1	G2.2	G2.3
Aantal	83/120	4/120	8/120	4/120	21/120
percentage	69%	3%	7%	3%	18%

- Welk koelvermogen? Welk type compressor? Welk koelmiddel?

Koelvermogen machine ijswaterproductie					
	Onbekend	< 200 kW	200-600 kW	600-1000 kW	>1000 kW
Aantal	-	34/120	40/120	34/120	12/120
percentage	-	28 %	33%	28%	10%
Bouwjaar					
	Onbekend	< 1995	1995-1999	2000-2004	> 2004
Aantal	18/120	19/120	21/120	48/120	14/120
percentage	15%	16%	18%	40%	12%
Compressor					
	Onbekend	Scroll	zuiger	Schroef	Centrifugaal
Aantal	-	24/120	38/120	52/120	6/120
percentage	-	20%	32%	43%	5%
Koelmiddel					
	Onbekend	R22	R134a	R407c	R410a
Aantal	-	35/120	46/120	39/120	0/120
percentage	-	29%	38%	33%	0%

- Welk type reduceerklep (expansieventiel) ?

Reduceerklep				
	Onbekend	mechanisch	elektronisch	
Aantal	26/120	51/120	43/120	
percentage	22%	46%	36%	

- Aanwezigheid van energiebesparende technieken

	aantal	Percentage
Recuperatie op de koelmachine	15/70	21%
freechilling	5/70	7%
Reservoir ijswater	5/70	7%

4.11 EVALUATIE VAN DE KOSTPRIJS VOOR DE KLIMAATREGELING

4.11.1 KOSTPRIJS VAN HET ENERGIETRANSPORT

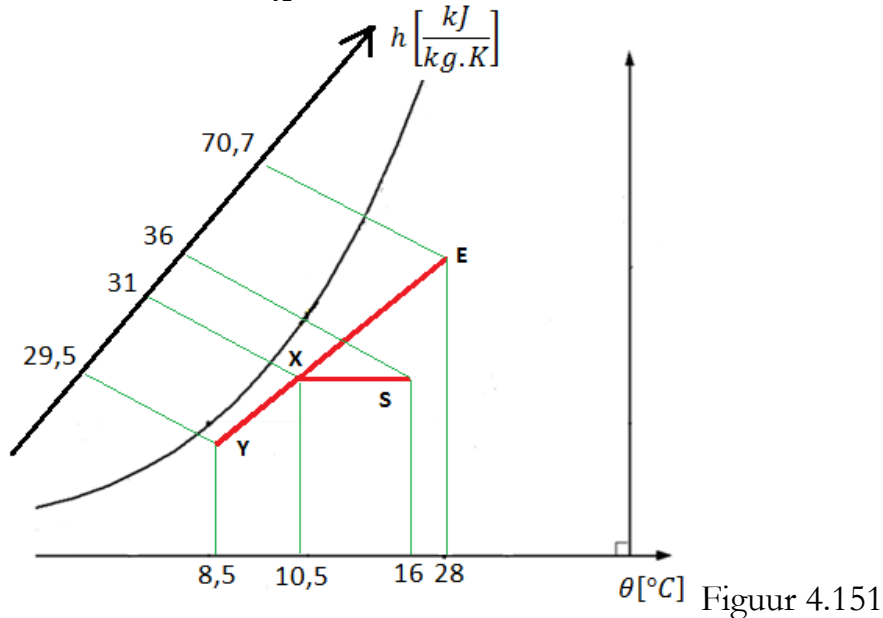
Indien mogelijk moet men steeds de voorkeur geven aan het transport van frigorieën en/of calorieën via water. We beschouwen een kantoor van 250 m³ met een belasting van 80 W/m². Een richtwaarde van 25 °C en een inblaastemperatuur van 15 °C leveren een inblaasverschil van 10 °C. Dit voorbeeld toont goed aan dat, voor het transport van frigorieën, het vermogen van de ventilator groter is dan het vermogen van de pomp.

AIR	EAU
$débit = \frac{puissance}{c \times (t_A - t_s)}$	
$= \frac{20000}{0,34 \times (25 - 15)}$ $= 5822 \text{ m}^3/h$	$= \frac{20000}{1163 \times (25 - 15)}$ $= 2,9 \text{ m}^3/h$
$puissance = \frac{débit \times \Delta p}{rendement \times 3600}$	
ventilateur	pompe
$= \frac{5822 \times 2000}{0,65 \times 3600}$ $= 5028 \text{ W}$	$= \frac{2,9 \times 80000}{0,4 \times 3600}$ $= 161 \text{ W}$

4.11.2 KOSTPRIJS VAN DE KOELING

We beschouwen een mengkast bestemd voor het mengen van een debiet gerecycleerde lucht onder de voorwaarden E, met een verseluchtdebiet onder de voorwaarden Y. Lucht van 10 °C aanvoeren kan een onbehaaglijk gevoel veroorzaken. De lucht moet verwarmd worden met een naverwarmingsbatterij.

Men vraagt om de kostprijs van de luchtbehandeling in het voor- en het najaar te berekenen, om een inblaastemperatuur van 16 °C te verkrijgen.



$$\Delta h = h_E - h_X = 70,7 - 31 = 39,7 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

$$\Delta h = h_S - h_X = 36 - 31 = 5 \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

In totaal dient men, per m³ lucht, de volgende hoeveelheid energie te leveren:

$$(39,7 + 5) \left[\frac{kJ}{kg} \right] \times 1,20 \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 53,64 \left[\frac{MJ}{m^3 \text{ air}} \right]$$

Voor een debiet van 1000 m³/h moet men het volgende leveren:

$$1000 \left[\frac{m^3}{h} \right] \times 53,64 \left[\frac{MJ}{m^3} \right] = 53,64 \left[\frac{MJ}{h} \right]$$

De totale kostprijs:

$$1000 \left[\frac{m^3}{h} \right] \times 1,2 \left[\frac{kg}{m^3} \right] \times \left[\left(39,7 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \times 1,1 \left[\frac{c\text{€}}{MJ} \right] \right) + \left(5 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \times 3,25 \left[\frac{c\text{€}}{MJ} \right] \right) \right] \times 0,001 \left[\frac{MJ}{kJ} \right]$$

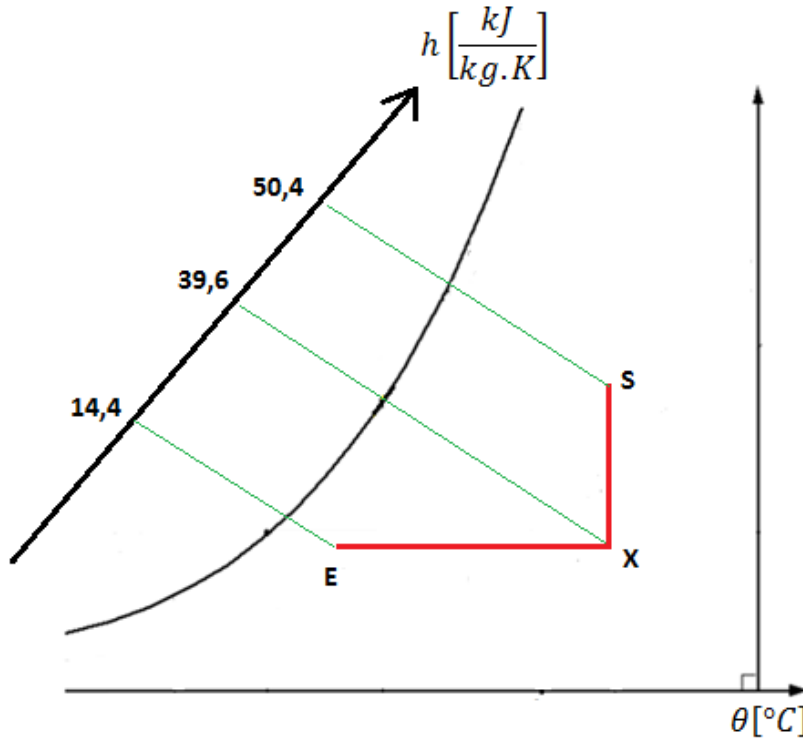
$$= 74 \left[\frac{c\text{€}}{h} \right]$$

4.11.3 KOSTPRIJS VAN DE VERWARMING

We beschouwen de buitenlucht E bij 5 °C en 70 % RV, uit het diagram van de vochtige lucht halen we $h_e = 14,4$ kJ/kg

Dit levert een omgeving S onder de volgende voorwaarden: 30 °C en 30 % RV. Uit het diagram leiden we het volgende af: $h_s = 50,4$ kJ/kg

Wat is de kostprijs van de verwarming van de lucht om deze te brengen tot het niveau van de inblaasvoorwaarden?



$$\Delta h = 50,4 - 14,4 = 36 \text{ kJ/kg}$$

De energie die geleverd moet worden om 1 m³ lucht te behandelen aan de opgegeven voorwaarden: $36 \times 1,15 = 41,4$ kJ/m³

En voor een debiet van 1000 m³/h: $41,4 \times 1000 = 41400$ kJ/h

De totale kostprijs omvat het volgende:

1. Verwarming:

$$(39,6 - 14,4) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \times 1000 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \times 1,15 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times 0,001 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kJ}} \right] \times 0,875 \left[\frac{\text{c€}}{\text{MJ}} \right] = 25 \left[\frac{\text{c€}}{\text{h}} \right]$$

2. Bevochtiging damp:

$$(50,4 - 39,6) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \times 1000 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \times 1,15 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times 0,001 \left[\frac{\text{MJ}}{\text{kJ}} \right] \times 0,275 \left[\frac{\text{c€}}{\text{MJ}} \right] = 34,25 \left[\frac{\text{c€}}{\text{h}} \right]$$

4.11.4 VERGELIJKING VAN DE KOSTPRIJS VAN DE KLIMAATREGELINGSSYSTEMEN

Kantoor: $5 \times 4 \times 3 = 60 \text{ m}^3$

Richtwaarde: $22 \text{ }^\circ\text{C}$ en $50 \text{ } \%$ RV $\rightarrow h = 43,2 \text{ (kJ/kg)}$ + soortelijk volume = $0,84 \text{ m}^3/\text{kg}$

Buitenlucht: $6 \text{ }^\circ\text{C}$ en $90 \text{ } \%$ RV $\rightarrow h = 19,1 \text{ (kJ/kg)}$ + soortelijk volume = $0,72 \text{ m}^3/\text{kg}$

Verliezen van het lokaal: 1500 W (inblaastemperatuur = $40 \text{ }^\circ\text{C}$)

OPLOSSING 1: radiatoren + hygiënische verse lucht

Verversingsgraad verse lucht = 1

$$P = \frac{60 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \times 1,15 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times (43,2 - 19,1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]}{3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]} = 442 \text{ W}$$

OPLOSSING 2: alleen verse lucht

$$\text{massa debiet} = \frac{\text{verliezen}}{\text{enthalpieverschil}} = \frac{1,5 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right]}{(61,2 - 43,2) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]} = 0,083 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{volumedebiet} = \text{massadebiet} \times \text{soortelijk volume} = 0,083 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \times 0,9 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \times 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right] =$$

Volumedebiet = $270 \text{ m}^3/\text{h}$

Verversingsgraad verse lucht = $270/60 = 4,5$ *puissance* = *débit massique* \times *différence enthalpie*

$$P = 0,083 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \times (61,2 - 19,1) \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] = 3,51 \text{ [kW]}$$

OPLOSSING 3: recyclage van de lucht

Als men $210 \text{ m}^3/\text{h}$ recycleert, heeft men een verseluchtdebiet van $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dit wordt omgezet in massadebiet.

$$\frac{210 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{0,84 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \times 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]} = 0,069 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

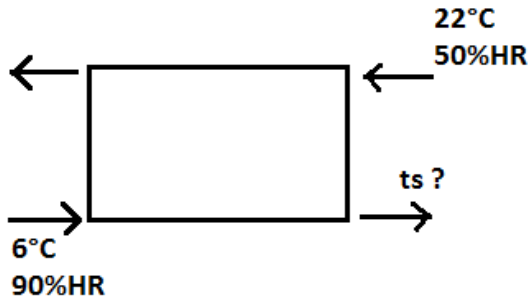
$$\frac{60 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]}{0,72 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right] \times 3600 \left[\frac{\text{s}}{\text{h}} \right]} = 0,023 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$\text{Enthalpie van het mengpunt} = \frac{(0,069 \times 43,2) + (0,023 \times 19,1)}{0,083} = \frac{2,98 + 0,44}{0,083} = 41,20 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

$$\text{vermogen} = 0,083 \times (61,2 - 41,2) = 1,66 \text{ [kW]}$$

$$\text{Economie} = \frac{3,51 - 1,66}{3,51} = 52,70 \text{ } \%$$

OPLOSSING 4: opvangvoorziening - wisselaar



Figuur 4.153

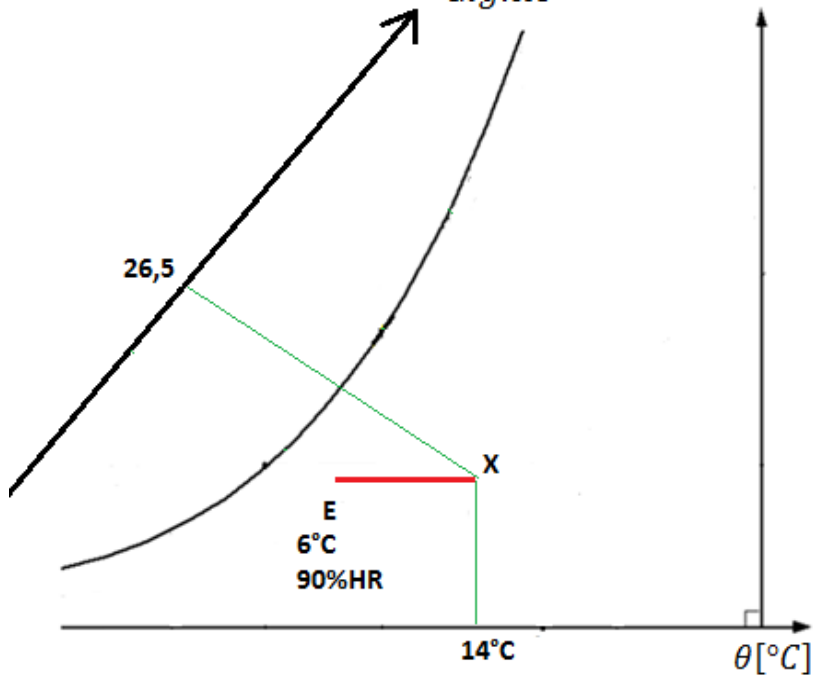
$$\text{rendement batterie} = 0,5 = \frac{t_s - t_e}{t_L - t_e} \times \frac{Q_{pulsion}}{Q_{extraction}}$$

$$0,5 = \frac{t_s - 6}{22 - 6} \quad t_s = 14 \text{ } ^\circ\text{C}$$

► $P = 0,083 \times (61,2 - 26,5) = 2,9 \text{ [kW]}$

$$\text{Economie} = \frac{3,51 - 2,9}{3,51} = 17\%$$

$$h \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right]$$



Figuur 4.154

Overzicht van de verschillende technologieën:

Technologie	Vermogen (kW)	Kostprijs (euro/m ²)	Opmerkingen
Systeem lucht-lucht (NBN EN 15240)			
Individuele klimaatregelaar	1 tot 100	75 - 200	De apparaten uitgerust met de "Inverter"-technologie vertonen de beste EER
DRV (met variabel koelmiddeldebiet)		150 – 300	Vertoont relatief hoge EER en zorgt voor de warmte- of koudeoverdracht tussen verschillende delen van het gebouw. Grote koelmiddelbelasting
Klimaatregelingskast	5 tot > 100	75 tot 190	In sommige gevallen kan deze technologie op efficiënte manier gekoppeld worden aan free-chilling.
Rooftop	20 tot > 200	40 tot 125	Voor grote volumes. Geschikt voor free-cooling
Gecentraliseerd systeem (NBN EN 15240)			
Alleen lucht met constant debiet		150 tot 200	Doorgaans ongunstig op energetisch vlak want geen aanpassing van het debiet
Alleen lucht met variabel debiet		160 tot 225	Maakt het overwegen van free-cooling mogelijk
Systeem lucht-water of water-water (NBN EN 15240)			
Ventilator-convectoor	0.5 tot 10 kW (per toestel)	110 tot 190	Als ze overgedimensioneerd zijn, zorgen ze voor een hoog temperatuurregime. Verbruik van de ventilator en lawaai.
Ejecto-convectoor			Steeds zeldzamer. Constant verseluchtdebiet.
Koelplafond	Max. 80W/m ²	125 tot 200	Hoog temperatuurregime (15-17 °C). Maakt het overwegen van free-chilling mogelijk
Koelbalk			Hoog temperatuurregime (15-17 °C). Maakt het overwegen van free-chilling mogelijk
Systeem water-lucht (NBN EN 15240)			
Warmtepomp op waterlus		100 tot 215	Zorgt voor de energietransfer tussen verschillende delen van het gebouw