

# Verdampingskoeling: betrouwbaar en milieubesparend

Peter G.H. Uges

Bij koeling van grotere ruimten speelt het gemeentelijk vergunningenbeleid een stringente rol. De gemeente kan bij verlening van een bouwvergunning verlangen dat energiebesparende maatregelen worden getroffen. Als energiebesparing bij luchtbehandeling ter sprake komt, is moderne verdampingskoeling een logische optie. Alleen is er nog veel onbegrip.



Luchtbehandelingskast van ThermoAir voorzien van StatiqCooler.

In de praktijk worden de termen adiabatische koeling en diabatische koeling, of nattebolkoeling en dauwpuntkoeling, vaak verward, evenals hun typische kenmerken. Taalkundig betekent het woord adiabatisch 'niet'-diabatisch.

Tijdens een adiabatisch proces wordt de warmte zelf aan de lucht onttrokken en er wordt dus geen warmte toe- of afgevoerd via de wanden van de koeler (in het Mollier-diagram volgens de lijnen met  $h = \text{constant}$ ). De laagst theoretisch haalbare temperatuur is hierbij de natteboltemperatuur, vandaar het gebruik van de term nattebolkoeling.

## (A)diabatisch

In de Duitse uitgave van Wikipedia staat: 'Eine diabatische Zustandsänderung ist eine Zustandsänderung eines thermodynamischen Systems, bei der mit der Umgebung Wärme ausgetauscht wird. Es handelt sich folglich um das realistische Gegenstück einer adiabatischen Zustandsänderung. Da diabatische Prozesse schwerer zu modellieren sind und gerade bei Gasen in der Regel gegenüber adiabatischen Prozessen eine untergeordnete Rolle spielen, werden sie meist vernachlässigt'.

Bij een diabatisch proces heeft wel warmte-uitwisseling tussen wand en lucht plaats. De laagst theoretisch haalbare temperatuur is hierbij de dauwpunttemperatuur, vandaar ook het gebruik van de term dauwpuntkoeling.

### Relatieve en absolute vochtigheid

Zodra lucht bij een gegeven dampdruk geen vocht meer kan opnemen, noemen wij die lucht verzadigd. Is die druk echter lager dan de begindruk (of de hoeveelheid vocht geringer), dan spreken we van onverzadigde lucht. De verhouding van de werkelijke druk tot de verzadigingsdruk, uitgedrukt in procenten, noemen we de relatieve vochtigheid (RV).

$$RV = p_d / p_{d\text{verz}}$$

$$X = x / x_{\text{max}} \cdot 100 \%$$

De hoeveelheid vocht die in de lucht aanwezig is in absolute zin aangeven. Deze wordt uitgedrukt in gr vocht per kg droge lucht.

### Dauwpunt en natte- en drogeboltemperatuur

Als een waterdamp-luchtmengsel bij constante druk wordt gekoeld, wordt de temperatuur waarbij de damp verzadigd is, de dauwpunttemperatuur genoemd. Het is het punt waarbij bij verdere afkoeling condensatie zal optreden.

De natteboltemperatuur van vochtige lucht wordt gemeten met een gewone thermometer, waarbij om de voeler een kousje van katoen is aangebracht dat permanent vochtig wordt gehouden met gedestilleerd (of gedemineraliseerd) water:

Als de lucht niet volledig is verzadigd, zal rondom de voeler voortdurend water verdampen. De voor de verdamping benodigde warmte wordt aan de omringende lucht onttrokken, waardoor deze in temperatuur daalt. De afgelezen waarde wordt de natteboltemperatuur genoemd. De temperatuur zal dus lager worden, omdat de lucht zelf de benodigde warmte levert om zowel het water te verdampen als de waterdamp te verwarmen. Dit geldt totdat de lucht verzadigd is en geen water meer kan verdampen.

Omdat de warmte aan de lucht wordt onttrokken, is hier dan sprake van een adiabatisch proces met als eindtempera-



tuur de natteboltemperatuur. Aan de hand van de verschilgrootte van de aanwijzingen van de natte en droge thermometer kunnen we de *RV* bepalen.

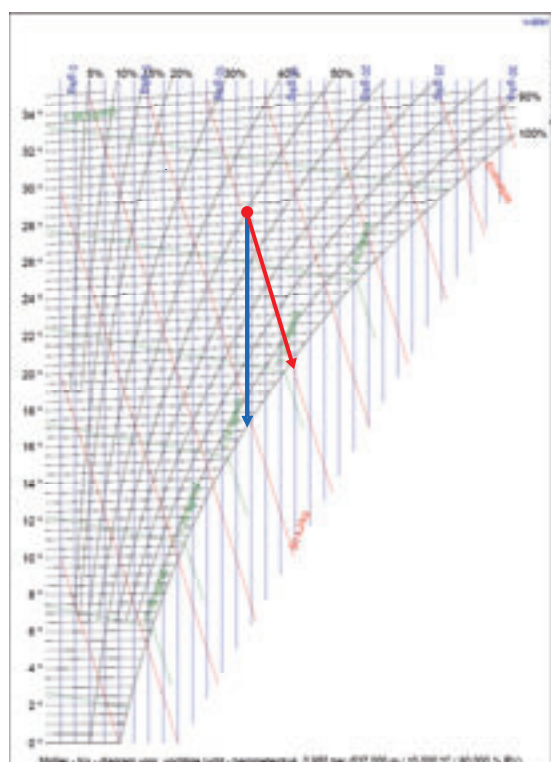
Als in een speciale behuizing twee thermometers worden opgesteld, waarvan er een is voorzien van een vochtig kousje, speken we van een psychrometer, ook wel natte-drogebolthermometer genoemd. Door lucht langs beide thermometers te laten stromen kan gelijktijdig de droge- en de natteboltemperatuur worden bepaald.

### SOORTEN VERDAMPINGSKOELING

Kenmerkend voor alle soorten verdampingskoeling is dat uitsluitend sprake is van de afvoer van voelbare warmte en dus niet van latente warmte. Ook geldt bij verdampingskoeling dat hoe droger de lucht is, hoe groter het koelend vermogen. Bij het ontwerp kan tussen direct of indirect, adiabatisch (nattebolkoeling) of diabatisch (dauwpuntkoeling) en uitgaande temperatuur of koelcapaciteit worden gekozen. Verder moet altijd worden gekozen voor een legionella- en bacteriologisch veilig ontwerp en als het kan voor een corrosiebestendig materiaal dat ook kan worden gerecycled. Behalve een laag energiegebruik (dus hoge COP die ligt tussen de circa 10 en circa 20) is tevens een verminderd onderhoud van belang. Rekening moet worden gehouden dat bij eenzelfde koeler meer lucht een iets hogere uitgaande temperatuur ( $> \text{ }^\circ\text{C}$ ) en een veel grotere koelcapaciteit ( $> \text{ kW}$ ) geeft en omgekeerd wat minder lucht een lagere uitgaande temperatuur ( $< \text{ }^\circ\text{C}$ ) en een veel lagere koelcapaciteit ( $< \text{ kW}$ ) geeft.

Direct werkende systemen zijn in alle gevallen diabatisch. De minimum uitgaande temperatuur van deze systemen is enige graden boven de natteboltemperatuur. Het tijdens het koelproces verdampte vocht komt in de te koelen ruimte terecht. Enerzijds wordt gekoeld, maar anderzijds stijgt de *RV* in de te koelen ruimte. Door de in de ruimte aanwezige personen zal dus tegelijkertijd een temperatuurdaling en een stijgende *RV* worden waargenomen. Beide werken tegengesteld: een lagere temperatuur zal als aangenaam worden ervaren, maar een hogere *RV* juist als onaangenaam. Dit laatste geldt vooral bij wat zwaardere lichamelijke inspanningen, zoals in sportzalen en werkplaatsen, want bij een te hoge *RV* kunnen we slechter transpireren. Bij direct werkende systemen moeten we extra aandacht besteden aan legionellapreventie, het tegengaan van bacteriëngroei op het verdampingsoppervlak en de luchtsnelheid door het pakket (hoge snelheid kan druppelvorming bevorderen).

Indirect werkende systemen kunnen zowel diabatisch als adia-



1. Nattebolkoeling (adiabatisch), vergeleken met dauwpuntkoeling (diabatisch).

**Adiabatische koeling** zie rode (2) lijn

Temperatuur	28 °C
Relatieve vochtigheid	50,0 procent
Absolute vochtigheid	12,59 g/kg
Natteboltemperatuur	20 °C

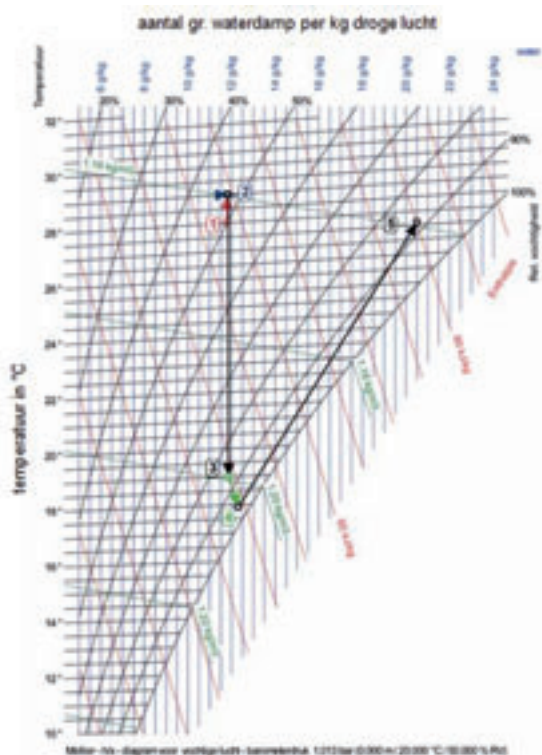
**Diabatische koeling** zie blauwe (1) lijn

Temperatuur	28 °C
Relatieve vochtigheid	50,0 procent
Absolute vochtigheid	12,59 g/kg
Dauwpunt	16,5 °C

Theoretisch temperatuurverschil in dit voorbeeld is  $20 - 16,5 = 3,5 \text{ K}$

Deze uitkomsten zullen in de praktijk van geval tot geval verschillen.

batisch zijn, elk systeem met zijn eigen typische kenmerken. Hierbij is dauwpuntkoeling altijd indirect werkend. De tijdens het koelproces vrijkomende waterdamp wordt naar buiten afgevoerd en beïnvloed dus niet de *RV* in de te koelen ruimte. Bij adiabatische of nattebolkoeling bepalen de *RV* en de temperatuur van de aangezogen lucht de natte bol en daarmee de mate van koeling. De minimum haalbare temperatuur ligt enige graden boven de natteboltemperatuur. Een hogere



2. Dauwpuntkoeling weergegeven in het Mollier-diagram.

Stappen in het Mollier-diagram:

- 1 - 2 opwarming door afgegeven energie van ventilator;
- 2 - 3 afkoeling aangezogen lucht;
- 3 tweederde van de gekoelde lucht gaat naar de te koelen ruimte in het gebouw;
- 3 - 4 eenderde proceslucht keert 180° om. Het aanwezige vocht op de hygroscopische laag begint te verdampen;
- 4 - 5 verdampend vocht waarbij de benodigde warmte voor het verdampen wordt onttrokken aan de te koelen (2<sup>3</sup>) aangezogen lucht;
- 5 de proceslucht met het verdampte vocht wordt naar buiten afgevoerd.

temperatuur van de aangezogen lucht geeft een lagere koelcapaciteit (< kW). Het ventilatorvermogen beïnvloedt de uitgaande temperatuur negatief (de temperatuur stijgt).

Bij diabatise of dauwpuntkoeling bepaalt het absolute vochtgehalte het dauwpunt en daarmee de mate van koeling. De uitgaande temperaturen zijn haalbaar tot beneden de natteboltemperatuur. De hogere temperatuur van de aangezogen lucht geeft een grotere koelcapaciteit (> kW). Het ventilatorvermogen beïnvloedt de uitgaande temperatuur niet (werking volgens lijn van absoluut vocht in het Mollier-diagram). De dauwpuntkoeling is de enige koelinstallatie waarbij met gelijkblijvend energiegebruik de koelcapaciteit stijgt zodra de temperatuur van de aangezogen buitenlucht stijgt.

temperatuur van de aangezogen te koelen primaire lucht zakt, terwijl tegelijkertijd de rv stijgt, totdat het dauwpunt bijna is bereikt. Tijdens dit proces blijft het absolute vochtgehalte (gr/kg) van de aangezogen lucht gedurende het gehele koelproces gelijk. Met andere woorden tijdens het koelen heeft geen condensatie plaats en is sprake van uitsluitend voelbare warmte.

Bij de proceslucht is sprake van een iteratief proces, waarbij vanuit een vochtig oppervlak, beurtelings adiabatisch vocht en daarna weer warmte wordt opgenomen. De warmte die nodig is om het water te verdampen, wordt daarbij onttrokken vanuit de aangezogen buitenlucht, waardoor deze in temperatuur daalt. Het proces lijkt op een soort zaagtand. Omdat hier dus sprake is van uitwisseling van warmte tussen lucht en wand, is het een diabatise proces.

Omdat hier dus sprake is van uitwisseling van warmte tussen lucht en wand, is het een diabatise proces.

## STATISCHE KOELING

Statische koeling maakt gebruik van zoveel mogelijk natuurlijke processen, zoals adhesie, hygroscopische werking, zwaartekracht (falling film), middelpuntvliedende kracht (draaien 180° proceslucht betekent geen vervuiling) en gebruik van de drukval in de luchtkanalen en roosters na de lbk.

Deze koeling maakt gebruik van recyclebare kunststoffen en is ongevoelig voor de luchtkwaliteit, dus corrosievrij. (Aluminium aan de kust = zout, koper bij veeteelt = vrijkomende ammoniak, en rvs met chloor in zwembaden geeft corrosie). Het statische heeft betrekking op het werken met een kunststofkoeler zonder draaiende delen, behalve dan de ventilator voor het luchttransport. Door gebruik te maken van de weerstand in de luchtkanalen na de koeler is voor de proceslucht geen extra ventilator nodig. Maximaal een derde van de al gekoelde lucht wordt gebruikt als proceslucht. De koeler wordt vervaardigd uit plaat met een wanddikte van circa 0,12 mm.

Aan de buitenzijde ervan bevindt zich een hygroscopisch vlies (0,08 mm) dat met een gepatenteerde puntlasmethode op de plaat is bevestigd. De methode van bevestiging en watertoevoer waarborgt een volledige bevochtiging over het totale plaatoppervlak tot zelfs een plaathoogte van 1.500 mm.

Bij statische koeling is geen watervoorraad aanwezig, wat de groei van bacteriën voorkomt, en dankzij de hygroscopische laag is er ook geen voedingsbodemp voor bacteriën. Het sys-

teem is legionellaveilig (zie TNO-rapport nr. 2007-A-R0544) en behoeft een minimum aan onderhoud.

#### Energiegebruik

De koelcapaciteit kan worden geregeld door het modularend openen en sluiten van een klep in de proceslucht en/of toerenregeling van de ventilator met een frequentieregelaar. Aantoonbaar is dat bij het stijgen van de buitenluchttemperatuur de koelcapaciteit ook toeneemt (bij normale AC en Kt neemt die dan juist af). Belangrijk voor het energiegebruik is dat de hoeveelheid aangezogen buitenlucht afhankelijk is van zowel de buitentemperatuur en RV, als de benodigde koelcapaciteit. Dat betekent dat het overgrote deel van het jaar de installatie zal functioneren met veel minder lucht. Zo lang wordt gewerkt met vrije koeling is de proceslucht niet nodig (dus een derde minder aangezogen lucht).

Zodra de proceskoeling start zal de uitgaande luchttemperatuur door het dan werkende diabatische verdampingsproces sterk dalen en dus zal minder koude geconditioneerde lucht nodig zijn. De installatie zal zich dan instellen op minder capaciteit en dus minder gekoelde lucht, maar daar afhankelijk van ook minder proceslucht.

Bij StatiqCooling bepaalt uitsluitend de hoeveelheid aangezogen lucht het opgenomen ventilatorvermogen en daarmee het energiegebruik.

Bij minder lucht neemt de drukval kwadratisch af en het energiegebruik met de derde macht, bij meer lucht gebeurt het omgekeerde. Omdat de installatie het overgrote deel van het jaar met minder lucht draait dan waarvoor de koeler is ontworpen, zal het werkelijk opgenomen vermogen per jaar aanmerkelijk lager zijn dan bij maximumkoelcapaciteit. Bekend is dat een gemiddelde installatie slechts 2 procent per jaar onder maximumcondities draait.

#### Water

Het waterverbruik is afhankelijk van de hoeveelheid te koelen lucht, het absolute vochtgehalte van de aangezogen lucht en de benodigde koelcapaciteit. Onder extreme omstandigheden is slechts maximaal 5 l/h per 1.000 m<sup>3</sup> gekoelde lucht benodigd. De statische koeler werkt zonder circulatiepomp. De watertoevoer wordt geregeld door het automatisch, periodiek en afhankelijk van de behoefte openen en sluiten van een magneetklep in de waterleiding (geen recirculatie van het water). Aantoonbaar is dat de watertoevoertemperatuur zo goed als geen invloed heeft op de koelcapaciteit. Het leidingwater moet, afhankelijk van de kwaliteit, zo nodig worden onthard. Het gebruik van kunststof maakt de koeler

## Werking statische koeling

Gedurende het koelproces, wordt door een ventilator verse buitenlucht in een warmtewisselaar geblazen, waar het wordt gekoeld door het verdampen van water. De aan de lucht afgegeven ventilatorenergie wordt direct afgevoerd en heeft geen invloed op de uitgaande temperatuur.

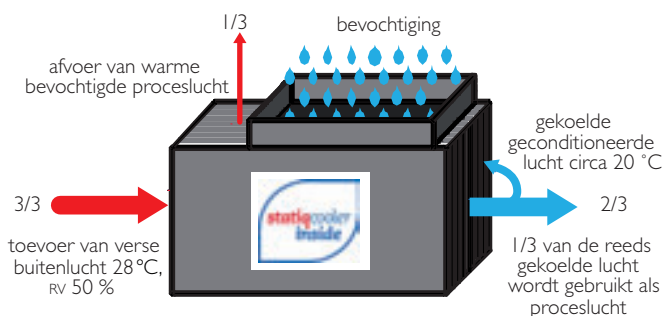
De buitenzijde van de platen (die luchtkanalen bevatten) in de warmtewisselaar zijn voorzien van een hygroscopisch en vochtabsorberende laag, die extern wordt bevochtigd met water.

Maximaal een derde van de gekoelde lucht wordt als proceslucht aan de buitenzijde van de platen in tegengestelde richting teruggevoerd. Deze wordt daarbij 180° van richting gedraaid. Door de daarbij ontstane centrifugale kracht, worden eventueel aanwezige vuildeeltjes niet met de proceslucht meegevoerd en zal het koelerooppervlak niet vervuilen (minder onderhoudskosten). Na vier jaren functioneren werd een koeler uit elkaar genomen, waarbij bleek dat de platen nog volledig schoon waren.

De proceslucht verdampt het vocht van de hygroscopische laag. De bevochtigde proceslucht wordt naar buiten afgevoerd, waardoor er geen vocht bij de geconditioneerde lucht kan komen.

Door het verdampingsproces worden de luchtkanalen gekoeld, welke indirect de aangezogen verse buitenlucht koelt die er door wordt geblazen.

Deze lucht wordt naar de te koelen ruimte afgevoerd als gekoelde geconditioneerde lucht.



Schema van de werking van statische indirect werkende dauwpuntkoeling.

ongevoelig voor eventueel in het water aanwezig chloor, NH<sub>3</sub> of het agressieve gedemineraliseerde water.

De aldus verkregen moderne vorm van ventilatie in combinatie met verdampingskoeling biedt een betrouwbaar en milieubesparend alternatief om ruimten te koelen en te ventileren waar dit om energetische redenen anders niet verantwoord zou zijn.

#### Auteur

Peter G.H. Uges, StatiqCooling.