

INDUSTRIËLE BEHUIZING VRAAGT OM GERICHTE KOELING BIJ DE BRON

# Effectief koelen van industriële schakelkast-behuizingen

De moderne productietechniek is door de grootschalige introductie van (micro)-elektronica steeds krachtiger geworden. Hittevorming is daarbij de grootste vijand van gevoelige micro-elektronica. De steeds kleinere elektronische componenten, die veelal dicht bij elkaar in schakelkastbehuizingen zijn ondergebracht, zijn bijzonder gevoelig voor externe invloeden zoals stof, olie, vocht en oplopende behuizingtemperaturen. Industriële schakelkastbehuizingen die uitsluitend door conventionele ruimtekoeling worden gekoeld lopen gevaar dat elektronische componenten uitvallen en complete productieprocessen tot stilstand komen - met hoog oplopende faalkosten en een afnemende betrouwbaarheid als gevolg. Dit alles vraagt om een nieuwe benadering van koeling, ofwel: een gerichtere koeling die de warmte direct bij de bron afvoert.



**D**oordat geïnstalleerde vermogenselektronica, transformatoren, PLC's en andere actieve componenten tijdens hun werking veel warmte afgeven, lopen temperaturen in schakelkasten onvermijdelijk op. Ook temperatuurschommelingen veroorzaken stress en verkorten de levensduur van componenten. Voor halfgeleiders geldt de vuistregel dat een verhoging met 10°C ten opzichte van de maximaal toelaatbare bedrijfstemperatuur de levensduur met de helft verkort.

## Warmtetransport

Het functioneren van elektronische schakelingen en een productieproces zonder storingen is dus in belangrijke mate afhankelijk van de warmte die zich in de schakelkast ontwikkelt en de hoeveelheid warmte die naar buiten wordt afgevoerd. In beginsel zijn er drie verschillende manieren van warmtetransport: warmtegeleiding, convectie en straling.

Bij de warmtegeleiding wordt de warmte door de materie getransporteerd, zonder dat deze zichzelf verplaatst. De energie wordt van deeltje naar deeltje doorgegeven.

Bij convectie valt de energie samen met de materie. Tijdens het warmtetransport neemt de energiedrager, bijvoorbeeld een vloeistof of een gas, hierbij energie in de vorm van warmte op en geeft energie als warmte af.

Bij warmtestraling wordt de warmte in de vorm van stralingsenergie, zonder tussenkomst van een materiële drager, van het ene naar het andere element overgebracht. In schakelkasten vindt vooral warmtegeleiding en convectie plaats. De warmtestraling wordt via een warmteoppervlak van de behuizing naar de omgeving afgestraald. Warmtestraling speelt ook een belangrijke rol bij buitenopstelling van de behuizing bij de inwerking van zonnestraling.

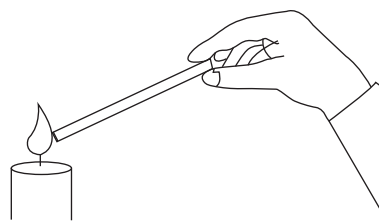
## Basisbegrippen

Een deel van de warmte die door actieve componenten in de schakelkast wordt gegenereerd wordt dus via warmtegeleiding, convectie en warmtestraling afgevoerd, maar ook het resterende deel moet worden afgevoerd, het liefst op een zo effectief mogelijke wijze. Hiervoor zijn er tegenwoordig diverse mogelijkheden beschikbaar, maar hoe bereken je de nodige koelcapaciteit zodat voor de meest passende oplossing kan worden gekozen? Hieronder laten we aan de hand van een voorbeeld zien hoe je het nodige koelvermogen berekent, maar eerst worden een aantal basisbegrippen geïntroduceerd.

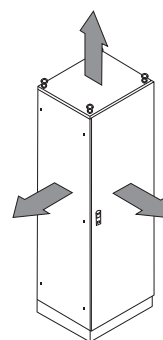
- $P_t$  = totaal vermogensverlies (warmteontwikkeling) in de behuizing [W]
- $P_c$  = convectie: door het kastoppervlak afgegeven getransporteerde warmte [W]  
 $P_c > 0$ : uitstraling ( $T_i > T_u$ )  
 $P_c < 0$ : instraling ( $T_i < T_u$ )
- $P_n$  = noodzakelijk koelvermogen [W]
- $V$  = noodzakelijke volumestroom van een ventilator [ $m^3/h$ ]
- $T_i$  = gewenste temperatuur in de behuizing [ $^{\circ}C$ ]
- $T_u$  = omgevingstemperatuur van de behuizing [ $^{\circ}C$ ]
- $\Delta T$  =  $T_i - T_u$  = Max. toelaatbaar temperatuurverschil [K]
- $k$  = warmtedoorgangscoefficiënt [ $W/m^2K$ ] voor plaatstaal  
 $k = 5,5 W/m^2K$  bij recirculerende lucht, en  
 $2,75 W/m^2K$  bij stilstaande lucht in de behuizing.
- $A$  = effectieve kastoppervlak [ $m^2$ ]

## Effectief schakelkastoppervlak

De warmte die de kast transporteert, is niet alleen afhankelijk van het werkelijke oppervlak; doorslaggevend is ook de wijze van opstelling van de kast. Een volledig vrijstaande kast kan meer warm-



Geleiding.










Convectie.

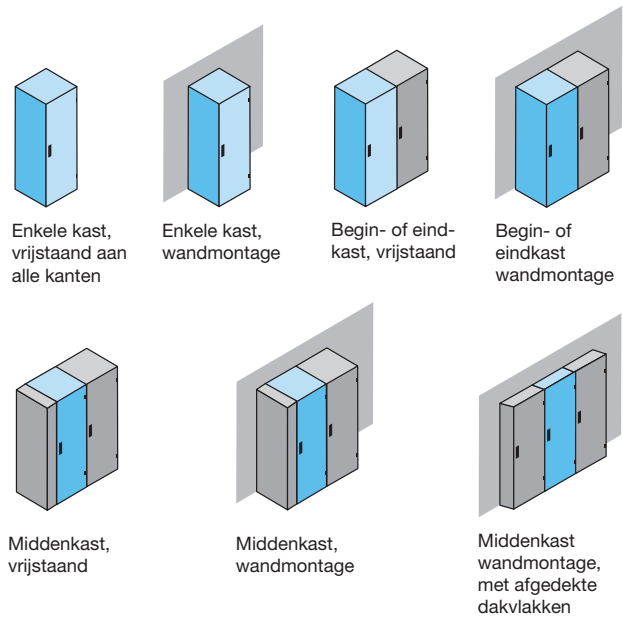


Straling.



Kastinstallatletype volgens IEC 60 890	
	Enkele kast, vrijstaand aan alle kanten $A = 1,8 \cdot H \cdot (B + D) + 1,4 \cdot B \cdot D$
	Enkele kast, wandmontage $A = 1,4 \cdot B \cdot (H + D) + 1,8 \cdot H \cdot D$
	Begin- of eindkast, vrijstaand $A = 1,4 \cdot T \cdot (B + H) + 1,8 \cdot B \cdot H$
	Begin- of eindkast, wandmontage $A = 1,4 \cdot H \cdot (B + D) + 1,4 \cdot B \cdot D$
	Middenkast, vrijstaand $A = 1,8 \cdot B \cdot H + 1,4 \cdot B \cdot D + H \cdot D$
	Middenkast, wandmontage $A = 1,4 \cdot B \cdot (H + D) + H \cdot D$
	Middenkast, wandmontage, met afgedekte dakvlakken $A = 1,4 \cdot B \cdot H + 0,7 \cdot B \cdot D + H \cdot D$

A = Effectief schakelkastoppervlak [m<sup>2</sup>]  
 B = Kastbreedte [m]  
 H = Kasthoogte [m]  
 D = Kastdiepte [m]



te transporteren dan een kast die tegen een wand of in een nis is geplaatst. Daarom zijn er nauwkeurige voorschriften, waarmee men het effectieve kastoppervlak (A) afhankelijk van de wijze van opstelling kan berekenen. De formules voor het berekenen zijn vastgelegd in de IEC 60 890.

### Voorbeeld

Een plaatstalen schakelkast met afmetingen: 800 x 2000 x 800 mm (bxhxd) staat opgesteld tegen de muur, maar is aan de linker en rechterzijde vrij. De behuizing of schakelkast bevat een besturing die totaal 750 Watt aan warmte genereert. De kast/behuizing is opgesteld in een ruimte waar het in de zomer wel +30°C kan worden. De componenten in de kast/behuizing hebben een bedrijfstemperatuur van circa +40°C

**Berekening** hoeveel er daadwerkelijk gekoeld moet worden.

**Stap 1** (bepalen van de eigen convectie)

Ofwel de warmte die wordt toe- of afgevoerd als gevolg van het temperatuurverschil  $T_i$  en  $T_u$ .

$$P_c = k \times A \times \Delta T \rightarrow P_c = 5,5 \times 6 \times 10 = 330 \text{ Watt.}$$

**Stap 2** (bepalen van het af te voeren vermogen)

$$P_n = P_t - P_c \rightarrow P_n = 750 - 330 = 420 \text{ Watt.}$$

Dus in dit voorbeeld dient er 420 Watt te worden afgevoerd om de kast/behuizing op de bedrijfstemperatuur te behouden van +40°C. Om dit te realiseren zijn er diverse oplossingen in te zetten zoals: ventilatoren, koelaggregaten, lucht/lucht-warmtewisselaars en lucht/water-warmtewisselaars.

Hieronder wordt berekend wat de capaciteit van de ventilator dient te worden, maar aangezien lucht ijler wordt naarmate men hoger komt ten opzichte van NAP, en ijlere lucht minder energie kan opnemen heeft men dus meer lucht nodig om dezelfde hoeveelheid warmte (energie) af te voeren.

Dit is vertaald in een correctiefactor  $f$ . Deze wordt bepaald door de specifieke warmtecapaciteit van lucht ( $C_p$  in kJ/kg.K) en de dichtheid  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>). De correctiefactor  $f = 1/C_p \times \rho$

Hoogte in m	Cp in kJ/kg*K	$\rho$ in kg/m <sup>3</sup>	f in m <sup>3</sup> * K/Wh
0	0,948	1,225	3,1
500	0,9348	1,167	3,3
1000	0,925	1,112	3,5
1500	0,8954	1,058	3,8
2000	0,8728	1,006	4,1
2500	0,8551	0,9568	4,4
3000	0,8302	0,9091	4,8
3500	0,8065	0,8633	5,2

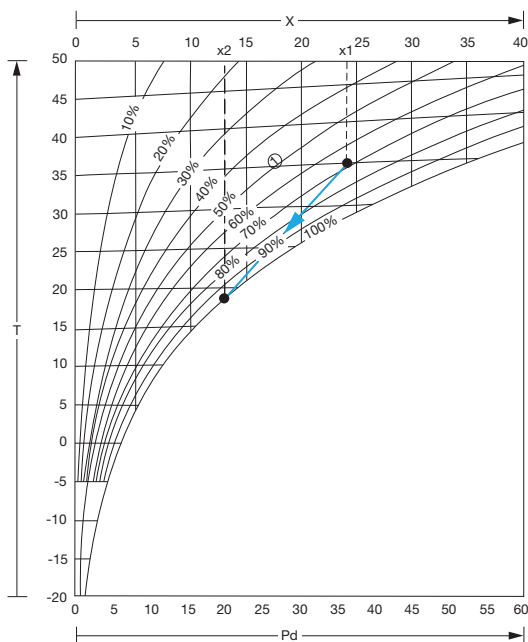
De benodigde capaciteit wordt dan als volgt berekend:

$$V = \frac{f \times P_n}{\Delta T}$$

De benodigde capaciteit in ons voorbeeld is dan:

$$3,1 \times 420 / 10 = 130 \text{ m}^3/\text{h}$$

Als er gekozen wordt voor een koelaggregaat, dan heeft dit het bijkomstig voordeel dat een koelaggregaat naast het koelen ook voor de luchtontvochtiging in de schakelkast/behuizing zorgt, maar hoeveel vocht wordt er dan precies uit de lucht in de schakelkast/behuizing onttrokken? Dit kan worden bepaald met behulp van het Mollier h-x-diagram. Het koelaggregaat wordt bij een luchttemperatuur van  $T_i = +35^\circ\text{C}$  en een relatieve luchtvochtigheid van 70% in bedrijf genomen. Stroomt de lucht van  $+35^\circ\text{C}$  over de verdampers met een gemiddelde verdampingstemperatuur van circa  $+18^\circ\text{C}$ , dan zal deze in aanraking komen met het koude oppervlak en afkoelen tot onder het dauwpunt, zodat er condens ontstaat. Het verschil  $\Delta x = x_1 - x_2$  geeft aan hoeveel condens er ontstaat per kg lucht bij volledige ontvochtiging. De hoeveelheid condenswater berekent men met de vergelijking:  $W = V \times \rho \times \Delta x$

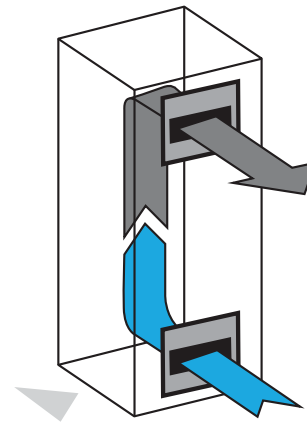


**Mollier-h-x-diagram.**

**Pd = gedeeltelijke waterdampdruk (mbar)**

**T = luchttemperatuur (°C)**

**x = waterinhoud (g/kg droge lucht)**





W = condenswaterhoeveelheid

V = volume (bxhxd)

$\rho$  = dichtheid van de lucht = 1,2 kg/m<sup>3</sup>

$\Delta x$  = verschil in watergehalte in g/kg droge lucht  
(Mollier h-x-diagram)

Hoeveel condens wordt er dan in het voorbeeld onttrokken:

$$V = 0,8 \times 2 \times 0,8 = 1,28 \text{ m}^3$$

$$W = 1,28 \times 1,2 \times 11 \text{ g/kg}$$

$$W = 16,90 \text{ g} \approx 17 \text{ ml.}$$

### Opwarming ruimte/machinekamer

Afhankelijk van de gekozen koelmethode dient men er tevens rekening mee te houden dat ook de ruimte of machinekamer waarin de schakelkast/behuizing staat opgesteld, door de warmteontwikkeling uit deze schakelkast/behuizing, zal worden opgewarmd. In het slechtste geval verplaatst men het probleem van de schakelkast/behuizing naar de ruimte. Het is dus van belang om bij het ontwerp van de ruimtekoeling of ventilatie in de machinekamer ook rekening te houden dat de warmte vanuit de schakelkast/behuizing ook door het ventilatie- of koelsysteem van de ruimte afgevoerd dient te worden.

### Software

In dit artikel is aangegeven hoe men zelf kan uitrekenen of - en hoeveel - er aan warmte afgevoerd moet worden, maar hiervoor zijn natuurlijk ook handige softwaretools beschikbaar waarmee je in een paar eenvoudige stappen tot de juiste oplossing komt. Een voorbeeld hiervan is de Rittal tool Therm, die te vinden is op [www.rittal.nl](http://www.rittal.nl). ■

#### Over de auteur

De auteur is Product Manager Klimatisering & Outdoor-behuizingen

#### Meer informatie

Rittal B.V.

T: 0316 - 59 16 60

E: [sales@rittal.nl](mailto:sales@rittal.nl)

I: [www.rittal.nl](http://www.rittal.nl)