

# PCM, het nieuwe bouwen.

## Deel 2 Energiedragers, thermische autarkie, het nieuwe ontwerpen, dimensioneren en bouwen.

Harry Schmitz, OC Autarkis bv.  
December 2015.

Europa wil rond 2020 energieneutraal bouwen! Als dat al mogelijk is, hoe gaan we dat doen? Blijven we vasthouden aan traditionele bouwwijzen gebaseerd op stationaire normen met centennium oude warmtepompen of slaan we een revolutionaire nieuwe weg in? Deze publicatie, bestaande uit twee delen, toont met de beantwoording van de volgende drie fundamentele vragen, het nieuwe bouwen met PCM.

- Blijven we leefzones regelen op een constante setpoint temperatuur?
- Gaan we verder met het beter isoleren van de gebouwschil zonder aandacht voor de warmtecapaciteit?
- Blijven we water als hoofd energiedrager beschouwen?

Middels eenvoudige dynamische berekeningen, gebaseerd op [1], wordt niet alleen kwalitatief maar ook kwantitatief het nieuwe bouwen verduidelijkt. Het eerste artikel behandelt de dynamische behaaglijkheid, de warmtecapaciteit en sinusresponsies en het tweede artikel beschrijft energiedragers, thermische autarkie en het nieuwe ontwerpen, dimensioneren en bouwen.

### Energiedragers.

PCM's evenals beton zijn geen perpetuum mobile en zij zijn ook niet in staat om uit de exergiewaarde van een energiestroom thermische conversies te realiseren zoals door een ketel warmte uit een gasstroom of koude, door een koelmachine, uit een elektriciteitsstroom. PCM 's zijn dan ook niet in staat tot verlaging van de daggemiddelde binnentemperatuur in een ruimte. Het zijn daar en tegen wel bijzonder adequate warmte accumulators. Thermische pieken en dalen worden adequaat gedempt en vertraagd. Voor aanpassing van de daggemiddelde binnentemperaturen aan de gewenste adaptieve binnentemperaturen zijn additionele energiedragers noodzakelijk. Gekozen kan worden uit koudemiddelen, water of lucht. Tot dusverre wordt water als de betere energie drager beschouwd met evidente voordelen in de EPC berekeningen. In [17] is een kwantitatief beslissingscriterium afgeleid om voor het transport van warmte (of koude) van A naar B te kiezen voor water of lucht:

$$\bar{v}_l \leq 3,1 \left( \frac{\Delta\theta_l}{\Delta\theta_w} \right)^{0,2} \bar{v}_w \quad (1)$$

Waarin:

$\bar{v}_l \left[ \frac{m}{s} \right]$	De gemiddelde luchtsnelheid in verwarming of koelluchtkanalen.
$\bar{v}_w \left[ \frac{m}{s} \right]$	De gemiddelde watersnelheid in verwarming of koelwaterleidingen.
$\Delta\theta_l [K]$	Het temperatuurverschil tussen lucht toe – en afvoer.
$\Delta\theta_w [K]$	Het temperatuurverschil tussen water toe – en afvoer.

Indien bij het dimensioneren van luchtkanalen in vergelijking met waterleidingen voldaan wordt aan ongelijkheid (1) is lucht een betere energiedrager dan water. Een voorbeeld uit [18] met betrekking tot traditionele plafond inductie convectoren. Bij een binnentemperatuur van 26[°C] bedraagt de uitredende luchttemperatuur van de secundaire koelbatterij 20[°C] met een bijbehorend temperatuurtraject van het koelwater van 17 naar 19[°C]. De gemiddelde luchtsnelheid in de kanalen wordt bij deze uitgangspunten gedimensioneerd op  $\bar{v}_l \leq 3,1 \left( \frac{26-20}{19-17} \right)^{0,2} \bar{v}_w = 3,9\bar{v}_w$ . Waarbij  $\bar{v}_w$  de

gemiddelde watersnelheid in de koelwaterleidingen is. Uit geluid overwegingen bedragen de maximale watersnelheden in aftakkingen  $0,5 \left[ \frac{m}{s} \right]$  en in hoofdleidingen  $2,0 \left[ \frac{m}{s} \right]$ . Indien nu de luchtkanalen voor de aftakkingen worden gedimensioneerd op  $\bar{v}_l \leq 3,9 \times 0,5 = 1,9 \left[ \frac{m}{s} \right]$  en de hoofdkanalen op  $\bar{v}_l \leq 3,9 \times 2,0 = 7,7 \left[ \frac{m}{s} \right]$  is lucht beter dan water en kan het secundaire waterzijdige koelvermogen van traditionele inductie convectoren beter vervangen worden door primaire ventilatielucht koeling. In tabel 1 worden hoofd koelluchtkanalen vergeleken met hoofd koelwaterleidingen.

**Tabel 1. Hoofd koelluchtkanalen versus hoofd koelwaterleidingen.**

**De uitgangspunten**

Aantal traditionele inductie convectoren	$n = 40$ [stukks]
Secundair recirculatie luchtdebiet	$\dot{V}_s = 225 \left[ \frac{m^3}{h} \right]$
Secundaire luchttemperaturen	$\Delta\theta_s = 26 - 20 = 6 [K]$
Secundair voelbaar koelvermogen	$P_s = \frac{\dot{V}_s}{3} \Delta\theta_s = \frac{225}{3} \times 6 = 450 \left[ \frac{W}{stuk} \right]$
Totaal secundair voelbaar koelvermogen	$P_{st} = 40 \times 450 = 18 [kW]$
Transportafstand	$l = 36 [m]$
Koelwaterleidingen	Draadpijp volgens NEN 3257 middel / DIN 2394
Koelluchtkanalen	Verzinkte spiraalgewonden felsnaad luchtkanalen volgens NEN – EN 1506.

**De fysische grootheden.**

Omschrijving.	Koelwater	Koellucht	
Soortelijke massa	$\rho_w = 1.000$	$\rho_l = 1,2$	$\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$
Warmtecapaciteit	$c_w = 4.200$	$c_l = 1.000$	$\left[ \frac{J}{kg.K} \right]$
Viscositeit	$\nu_w = 1 \times 10^{-6}$	$\nu_l = 15 \times 10^{-6}$	$\left[ \frac{m^2}{s} \right]$
Wandruwheid	$\varepsilon_w = 0,045 \times 10^{-3}$	$\varepsilon_l = 0,150 \times 10^{-3}$	$\left[ m \right]$
Pomp/ventilatorrendement	$\eta_w = 0,8$	$\eta_l = 0,6$	

**De berekening.**

Medium snelheid zie tekst	2,0	7,7	$\left[ \frac{m}{s} \right]$
Temperatuurtraject	19 – 17 = 2	26 – 20 = 6	$[K]$
Water en luchtdebiet	$\frac{18.000}{1.000 \times 4.200 \times 2} = 2,14 \times 10^{-3}$	$\frac{18.000}{1,2 \times 1.000 \times 6} = 2,5$	$\left[ \frac{m^3}{s} \right]$
Minimale inwendige diameter	$\sqrt{\frac{4 \times 2,14 \times 10^{-3}}{\pi \times 2}} = 0,037$	$\sqrt{\frac{4 \times 2,5}{\pi \times 7,7}} = 0,642$	$[m]$
Praktische diameter keuze	$\emptyset = 1 \frac{1}{4}'' \Rightarrow d_w = 0,036$	$DN = 710 \Rightarrow d_l = 0,710$	$[m]$
Werkelijke mediumsnelheid	$\frac{2,14 \times 10^{-3}}{0,25 \pi \times 0,036^2} = 2,1$	$\frac{2,5}{0,25 \pi \times 0,710^2} = 6,3$	$\left[ \frac{m}{s} \right]$
Getal van Reynolds	$\frac{2,1 \times 0,036}{1 \times 10^{-6}} = 75.600$	$\frac{6,3 \times 0,710}{15 \times 10^{-6}} = 298.200$	
De wrijvingscoëfficiënt	$\left( -2 \log \left( \frac{0,045}{3,72 \times 36} + \frac{5,74}{756000^{0,901}} \right) \right)^{-2} = 0,024$	$\left( -2 \log \left( \frac{0,150}{3,72 \times 710} + \frac{5,74}{298.200^{0,901}} \right) \right)^{-2} = 0,016$	
Wrijvingsverlies	$0,024 \times \frac{36}{0,036} \times 0,5 \times 10^3 \times 2,1^2 = 52,92 \times 10^3$	$0,016 \times \frac{36}{0,710} \times 0,5 \times 1,2 \times 6,3^2 = 19$	$[Pa]$
Elektrisch vermogen	$\frac{2,14 \times 10^{-3} \times 52,92 \times 10^3}{0,8} = 142$	$\frac{2,5 \times 35}{0,6} = 80$	$[W]$
Transport efficiëntie	$COP_w = \frac{\text{koelvermogen}}{\text{Elektrisch vermogen}} = \frac{18.000}{2 \times 142} = 63$	$COP_l = \frac{\text{koelvermogen}}{\text{Elektrisch vermogen}} = \frac{18.000}{2 \times 80} = 119$	

In tabel 1 bedraagt de Coëfficiënt Of Performance (COP) van het koudetransport over een afstand van 36 meter voor een voelbaar koelvermogen van 18 kiloWatt door koelwater (aanvoer plus retour) 63 en door koellucht 119. Het koudetransport door koellucht is circa 90 % efficiënter dan door koelwater. Meer primaire ventilatielucht in plaats van minder secundair koelwater levert naast een efficiënter energietransport ook een betere binnenluchtkwaliteit op, dat wil zeggen, gezondere leefzones. In het Europese klimaat is het ook nog eens zo dat directe vrije buitenluchtcooling, zeker in goed geïsoleerde gebouwen energie efficiënter is dan indirecte vrije buitenluchtcooling middels koelwater en drycoolers.

**Thermische autarkie**

Overeenkomstig de tweede hoofdwet treedt bij elk proces entropie productie op. Dat wil zeggen noodzakelijk potentieel arbeidsverlies, ook wel exergie verliezen genoemd. Zijn er geen

*exergie verliezen door warmtedissipatie stoppen processen spontaan. Als bij het verlichten van leefzones door led lampen geen warmtedissipatie optreedt gaan de lampen spontaan uit en stoppen met verlichten, ongeacht de toevoer van voldoende elektrisch vermogen. Alle processen in de bouw zoals verlichten, computergebruik, ventileren, zonneshijn, het leven zelf, verwarmen en koelen functioneren alleen maar onder de voorwaarde van noodzakelijke warmtedissipatie.*

*Warmtedissipatie, dat wil zeggen verlies van benutbare energie is altijd aanwezig, behoudens voor het klimatiseren van Leefzones. Het verwarmen en koelen van gebouwen zijn de enigste processen waarbij exergie verliezen theoretisch tot nul te reduceren zijn, waardoor thermische autarkie resulteert. 's Winters door de noodzakelijke warmtedissipatie van de overige processen en zomers door de koelere nachtelijke ventilatielucht. De, op de eerste hoofdwet van de thermodynamica gebaseerde ontwerpdoelen; energieneutraal en energieproducerend bouwen behoren zodoende niet tot de reële mogelijkheden. Op grond van de tweede hoofdwet, die in tegenstelling tot de eerste onverbiddelijk is, is een beter en meer realistische ontwerpdoelstelling te streven naar entropie reducerend bouwen met als ultiem ontwerpcriterium thermische autarkie van leefzones.*

*De vermeende ontwerpdoelstellingen energieneutraal en energieproducerend bouwen doen ook geen recht aan de milieudoelstelling 'duurzamer bouwen in 2020'. Een goed geïsoleerd massaloos beta kantoor voorzien van traditionele klimaatplafonds met als hoofdenergiedrager water en met lange termijn warmte – koude opslag in de bodem en additionele elektrische warmtepompen gevoed met duurzame elektriciteitsproductie door windturbines en photovoltaïsche zonnecellen ter compensatie van de noodzakelijke exergie verliezen en wellicht nog wat elektriciteitslevering elders, zoals beschreven in het eerste artikel is minder duurzaam dan een alfa kantoor met een geoptimaliseerde schilisolatie en voorzien van korte termijn warmte opslag middels PCM 's in het kantoor met ventilatielucht als hoofdenergiedrager en minder windturbine en zonnecel vermogen vanwege de ontwerpdoelstelling 'thermische autarkie van de leefzones'. Domweg omdat de noodzakelijke exergie verliezen minder zijn.*

### **Het nieuwe ontwerpen.**

*Het nieuwe ontwerpen is een overstap van stationair naar dynamisch denken en handelen. Zoals in de voorgaande paragraaf toegelicht is op grond van de tweede hoofdwet van de thermodynamica de maximaal haalbare ontwerpdoelstelling 'thermische autarkie van kunstmatige leefzones'. Dan resulteert de minste entropie productie. Het nieuwe ontwerpen is gebaseerd op beantwoording van de drie geformuleerde fundamentele vragen in het eerste artikel:*

- *Leefzones worden niet meer stationair maar dynamisch geregeld volgens de adaptieve binnentemperatuur en het bioritme van de mens. Zo'n regeling levert veruit het comfortabelste binnenklimaat op.*
- *Gebouwen worden niet alleen optimaler geïsoleerd maar ook voorzien van voldoende benutbare warmtecapaciteit. Thermisch traag bouwen met dag – nacht warmte opslag is de enigste mogelijkheid voor entropie reducerend bouwen.*
- *In plaats van water is de nieuwe hoofd energiedrager primaire ventilatielucht. Met meer ventilatielucht gaat een betere binnenluchtkwaliteit hand in hand met duurzamer bouwen.*

*Leefzones in gebouwen worden op een daggemiddelde adaptieve binnentemperatuur geregeld en dagelijkse op een dynamische binnentemperatuur overeenkomstig het bioritme van de mens. Vanwege kleding adaptatie, individuele beïnvloedbaarheid kan de binnentemperatuur in alfa gebouwen 's zomers hoger zijn dan in beta gebouwen. Met name ook als er vrouwen aanwezig zijn. De eenvoudigste manier om leefzones dynamisch te regelen is thermisch zwaarder bouwen in combinatie met een variabel volume regeling van de ventilatielucht. Door het grotendeels zelfregelende vermogen van de warmtecapaciteit resulteert overdag een binnentemperatuur stijging en 's nachts, ondersteund door optimaliserende nachtverlaging, een temperatuur daling. Overdag worden leefzones in optimaal geïsoleerde gebouwen gekoeld door de opwarmende thermische massa*

en 's nachts verwarmd door de afkoelende massa. In optimaal geïsoleerde gebouwen met voldoende warmtecapaciteit zal dan ook tijdens koude winterse dagen geen additionele verwarming noodzakelijk zijn. Extra opwarmvermogen is dan ook overbodig [10]. Voldoende warmtecapaciteit verwarmt 's winters de leefzone 's nachts meer dan voldoende. 's Zomers daarentegen zijn de nachtelijke warmte verliezen van de gebouwschil te gering voor afvoer van de overtollige dagwarmte. 's Zomers wordt dan ook voorzien in extra nachtventilatie. In gebouwen met voldoende warmtecapaciteit en nachtventilatie is zomers geen additionele koeling meer noodzakelijk.

Voor een winterse ontwerpperiode met Arctisch koude dagen wordt de gebouwschil zo ver geïsoleerd dat de ontwerpdoelstelling; thermische autarkie wordt gerealiseerd. Op grond van het minimaliseren van de entropieproductie is het nog verder isoleren van de gebouwschil niet meer zinvol. Bij thermische autarkie is de dagelijks noodzakelijke warmte dissipatie door de zon, de aanwezige mensen en de elektrische apparaten zoals computers en verlichting gelijk is aan het dagelijkse warmteverlies door transmissie, infiltratie en ventilatie. Onder deze voorwaarden moet voldoende warmtecapaciteit beschikbaar zijn voor de transformatie van dag – naar nachtwarmte. Wordt het gebouw niet optimaal geïsoleerd en is onvoldoende warmtecapaciteit geïnstalleerd is alsnog additionele verwarming noodzakelijk. Figuur 3 in deel 1, verduidelijkt het winterse optimaliseren waarbij de warmte accumulatie overdag gelijk is aan de benodigde warmte ontlading 's nachts. De blauwe arcering is dan bij de gewenste daggemiddelde adaptieve binnentemperatuur gelijk aan de rode arcering, waarbij de thermische massa door de dynamische binnentemperatuur stijging overdag geladen en 's nachts door de dalende binnentemperatuur ontladen wordt. Het zij nogmaals vermeld dat dit de meest comfortabele binnentemperatuurregeling is.

De winterse ontwerpweek toont twee verschillende ontwerpdagen. Arctisch koude, wolkenloze dagen met veel zonneschijn en nachtelijke uitstraling en minder koude, bewolkte dagen met weinig zonneschijn en minder nachtelijke uitstraling. Voor een goed geïsoleerde zuid gevel zijn de minder koude dagen met weinig zonneschijn maatgevend voor het dimensioneren van de schilisolatie, bestaande uit de begane grondvloer, buitenwanden, ramen en het dak. Op de extreem koude, wolkenloze dagen is de zonneschijn op een zuid gevel meer dan voldoende om het gebouw met voldoende isolatie en thermische massa op de gewenste binnentemperatuur te regelen middels de buitenzonwering. Een ruimte met voldoende thermische massa functioneert dan als regelbare passieve zonnecollector. De optimale schil isolatie wordt berekend voor een hele dag en wel de zesde, niet zo koude bewolkte dag.

De te installeren thermische massa en de noodzakelijke nachtventilatie wordt voor een zomerse ontwerpperiode met tropisch warme dagen ontworpen. De optimale warmtecapaciteit en nachtventilatie worden elk berekend voor een halve ontwerpdag, namelijk 12 uur dag respectievelijk nachttijd. Indien minder warmtecapaciteit en nachtventilatie dan optimaal wordt geïnstalleerd is additioneel koelvermogen noodzakelijk. De thermische massa wordt 's nachts ontladen door regelbare ventilatielucht.

### **Figuur 1. Een maatgevende arctisch koude en een tropisch warme ontwerpweek.**

Figuur 1 geeft de tropisch warme zomerse en de Arctisch koude winterse ontwerpweek weer. De derde dag in de zomer is voor de directe vrije buitenluchtcooling maatgevend. Indien de thermische massa en de zomerse nachtventilatie gedimensioneerd worden op deze dag is de nachtelijke buitenlucht koeling voor de vierde dag van de week onvoldoende, als het overdag iets warmer wordt dan de derde dag. Van de vierde op de vijfde dag is de nachtelijke zomerse hemel volledig bewolkt waardoor de nachtelijke uitstraling zeer gering is en de buitentemperatuur niet verder afkoelt dan 22 a 23[°C]. Onvoldoende om de thermische massa volledig te ontladen, tenzij het nachtelijke ventilatiedebiet extreem wordt over gedimensioneerd. Indien de vijfde dag van de zomerse ontwerpweek niet in het weekeinde valt zullen, ondanks de bewolkte hemel overdag, overschrijdingen

optreden van de binnentemperatuur. Indien het aantal overschrijdingsuren voldoet aan de eisen volgens NEN 15251 [6] zijn deze toelaatbaar.

### **Het nieuwe dimensioneren.**

Het nieuwe dimensioneren is een overstap van warmtestromen in Watts naar warmtecapaciteiten in Watturen per dagperiode. In tegenstelling tot de conventionele manier van dimensioneren op basis van uurlijkse vermogensbalansen is het nieuwe dimensioneren gebaseerd op energiebalansen voor winterse ontwerpdagen en voor zomerse halve ontwerpdagen. Meer concreet de optimale schilisolatie wordt berekend voor een winterse dag van 24 uur en de noodzakelijke warmtecapaciteit en nachtventilatie elk voor een zomerse halve dag van 12 uur.

#### **Kader 1. Dimensioneren.**

Het berekeningsvoorbeeld in kader 1 heeft betrekking op een alfa kantoorgebouw met een binnenluchtkwaliteit A en een binnenklimaatkwaliteit B. Aangezien de warmteweerstanden van de gebouwschil groter zijn dan de warmteweerstanden van eventuele binnenwanden en vloeren resulteert in het hele gebouw een min of meer uniform binnenklimaat. Individuele temperatuurverschillen tussen ruimten zijn niet meer aanwezig. De buitenschil van het kantoor vormt zodoende de berekeningsgrens. Overeenkomstig kader 1 zal voor thermische autarkie de gewogen warmtedoorgang van de gebouwschil, zijnde de sommatie van de gewogen warmtedoorgangen van de begane grondvloer, de buitengevels, de ramen en het dak, moeten voldoen aan  $U_{ti} = 0,13 \left[ \frac{W}{Km^2_{schil}} \right]$ . Het betreffen zowel transmissie als infiltratieverliezen. Het kantoor wordt verder voorzien van gebalanceerde mechanische ventilatie met HR WTW en zomerse bypass. Het minimale ventilatiedebiet overdag bedraagt  $8,0 \left[ \frac{m^3}{hm^2_{netto vloeroppervlak}} \right]$ . Met een plafond hoogte van  $2,7[m]$  resulteert een ventilatievoud van  $3,0 \left[ \frac{1}{h} \right]$ . De ventilatie installatie is voorzien van een variabel volume regeling. Bij deel en vollast bezetting wordt het kantoor 's winters op temperatuur gehouden door de noodzakelijke warmtedissipatie van de aanwezige mensen, de verlichting, de computers, de overige elektrische apparaten en de zoninstraling, dag en nacht. Indien een ruimte niet in gebruik is, is de desbetreffende ventilatie ook niet in bedrijf. Tijdens een Arctisch koud weekeind als het kantoor niet in gebruik is bedraagt het additionele verwarmingsvermogen circa  $10 \left[ \frac{W}{m^2_{netto vloeroppervlak}} \right]$ . De verlichting is dan meer dan voldoende om ruimten eventueel op temperatuur te houden. Indien ergonomisch toelaatbaar gaat het kantoor onder winterse omstandigheden fungeren als zonnecollector. Overdag wordt de buitenzonwering geregeld op de gewenste binnentemperatuurstijging en 's nachts sluit de zonwering zodat extra warmteweerstand resulteert. Overdag wordt de ruimte 's winters gekoeld middels de thermische massa waardoor de ventilatie installatie via de HR WTW (dus geen vrije buitenlucht koeling) in bedrijf is. In deze situatie wordt dan voldoende warmte geaccumuleerd voor de nacht.

De minimaal noodzakelijke warmtecapaciteit bedraagt  $400 \left[ \frac{Wh}{dag.m^2_{netto vloeroppervlak}} \right]$ . Dit wordt enerzijds gerealiseerd door toepassing van een open plafond zodat de warmtecapaciteit van de betonnen vloeren en het dak maximaal benutbaar zijn. De vloerbedekking blijft liggen. Onder verwijzing naar tabel 2 in deel 1 is de sommatie van vloer en plafondcapaciteit samen goed voor  $168 \left[ \frac{Wh}{dag.m^2_{netto vloeroppervlak}} \right]$ . Verder wordt voorzien in flexibel opstelbare mobiele down flow PCM

ventilator convectoren met een warmtecapaciteit van  $400 - 168 = 232 \left[ \frac{Wh}{dag.m^2_{netto vloeroppervlak}} \right]$ .

Aangezien het een autarkisch installatieconcept betreft zonder additionele koeling draait overdag, als de buitentemperatuur zomers hoger is dan de binnentemperatuur, de gebalanceerde ventilatie

installatie vollast warmteterugwinning. Het ventilatievoud overdag bedraagt  $3,0 \left[ \frac{1}{h} \right]$  en 's nachts  $8,1 \left[ \frac{1}{h} \right]$ . In deze additionele nachtventilatie kan worden voorzien door te openen buitenluchtroosters in de gevels of te openen ramen in combinatie met mechanische afzuiging. De gebalanceerde mechanische ventilatie installatie waarbij 's nachts de HR WTW wordt gebypasst en de additionele mechanische afzuiging verzorgen samen de benodigde nachtventilatie.

### **Figuur 2. Numerieke dynamische simulatie resultaten gebaseerd op het nieuwe dimensioneren.**

De dynamische binnentemperaturen zijn, in het middels analytische vergelijkingen gedimensioneerde autarkische kantoorgebouw, voor de Arctisch koude en tropisch warme ontwerpweken numeriek berekend. De down flow PCM ventilator convector gedraagt zich als een eerste orde differentiaal vergelijking [15] zodat de dynamische simulatie bestaat uit slechts twee dv vergelijkingen met als oplossing een 4 de orde Runge Kutta. Aangezien op voorhand niet kan worden vastgesteld op welke dagen de weekeinden vallen zijn de interne warmtebelastingen voor zeven dagen per week als sprongverstoringen op de leefzone in rekening gebracht. Voor de zomerse ontwerpsituatie valt op dat, zoals vooraf verondersteld temperatuur overschrijdingen resulteren op de 4-de, 5-de en 6-de tropisch warme ontwerpdagen. Voor een heel jaar maximaal 28 uur. Minder dan maximaal toegestaan volgens NEN 15251. Als zondanig voldoet het installatieconcept aan de gestelde behaaglijkheidcriteria. De temperatuur overschrijdingen in de zomer worden voornamelijk veroorzaakt door de nachtelijke bewolking waardoor de buitentemperaturen 's nachts onvoldoende dalen om het PCM weer in te vriezen. Ook voor de Arctisch koude winterse ontwerpweek voldoet de autarkische klimaatinstallatie. Figuur 2 geeft de berekeningsresultaten weer van een zuidgevel, waarvoor de buitenzonwering niet geregeld wordt. Ondanks het extreem koude weer raken de ruimten op de zuid gevel, ondanks het geringe percentage raam oververhit. Deze berekeningsresultaten geven de noodzaak weer van het 's winters regelen van de buitenzonwering, maar ook om de zuidgevel minder goed te isoleren dan de noord gevel, dat wil zeggen het gebouw moet oriëntatie afhankelijk worden geïsoleerd.

### **Het nieuwe bouwen**

Het nieuwe bouwen wordt gekenmerkt door een optimale combinatie van schilisolatie, warmtecapaciteit middels PCM, nachtventilatie en binnentemperatuurregeling middels de buitenzonwering en ventilatie installatie. Onder verwijzing naar figuur 3 resulteert dan een zeer eenvoudig autarkisch gebouw en installatieconcept met minimaal jaarlijks onderhoud en met een gezond en comfortabel binnenklimaat met:

- Een dynamische binnentemperatuur volgens het bioritme van de mens door een variabel volume regeling met winterse nacht ontlading naar binnen en 's zomers nacht ontlading naar buiten.
- Een optimale regeling van de buitenzonwering zodat het kantoor gaat functioneren als een passieve zonnecollector met verliesvrije warmte opslag voor koude nachten.
- Een optimaal geïsoleerde gebouwschil.
- Een optimale warmtecapaciteit door bijvoorbeeld mobiele down flow PCM ventilator convectoren met thermisch gedreven verdringingsstroming in de leefzone in combinatie met zo mogelijk open plafonds.
- De hoofd energiedrager primaire ventilatielucht met directe vrije buitenluchtkoeling bestaande uit gebalanceerde mechanische ventilatie met HR WTW en zomerse bypass en extra zomerse nachtventilatie.

Indien een gebouw ontworpen wordt op basis van thermische autarkie wordt het te installeren elektrische windturbine en PV vermogen tot een absoluut minimum beperkt. Deze bionische bouwwijze is afgekeken van de termietensoort *Termus Bellicosus* [19]

**Figuur 3. Een goed geïsoleerd thermisch traag reagerend kantoor met het bijbehorende proces stroom en proces instrumentatie diagram.**

Tot slot zij nogmaals opgemerkt dat Indien de gebouwschil niet optimaal wordt geïsoleerd of onvoldoende warmtecapaciteit en nachtventilatie aanwezig is dat dan aanvullend warmte en koude vermogen noodzakelijk is voor een comfortabel binnenklimaat.

**Literatuur.**

- [1] *Klimagerechtes Bauen, Grundlagen – Dimensionierung – Beispiele, Bruno Keller, 1997.*
- [2] *Bouwbesluit 2014.*
- [3] *NEN 7120, Energieprestatie van gebouwen – bepalingsmethode, laatste wijziging C5, juli – 2014.*
- [4] *World set to use more energy for cooling than heating, John Henley, The Guardian 26 – oktober – 2015.*
- [5] *Thermal Comfort, Analysis and Applications in Environmental Engineering, P.O. Fanger, 1970.*
- [6] *NEN – EN 15251, Binnenmilieu gerelateerde input parameters voor ontwerp en beoordeling van de energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van de binnenlucht, thermisch comfort, de verlichting en akoestiek, juli – 2007.*
- [7] *ISSO publicatie 74, Thermische behaaglijkheid, december – 2014.*
- [8] *Vrouwen kleumen wat af op kantoor, W. Gerritsen, Dagblad de Limburger 4 – augustus – 2015.*
- [9] *NEN – EN – ISO 7730, Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, 2005.*
- [10] *De revisie van NEN 5066, Harry Schmitz, Klimaatbeheersing November – 1993.*
- [11] [www.AUTARKIS.nl](http://www.AUTARKIS.nl)
- [12] *Handbuch der passiven Kühlung, rationelle energienutzung in Gebäuden, Mark Zimmermann, Empa juni – 1999.*
- [13] *De nieuwe ISSO publicatie PCM.*
- [14] *PCM koeling met een minimale COP van 139, Harry Schmitz, RCCK&L, april – 2014.*
- [15] *PCM koeling met een minimale COP van 1.260, Harry Schmitz, RCCK&L, mei – 2014.*
- [16] *PCM vermogen, warmte, massa en capaciteit, Harry Schmitz, V&V+, november – 2014.*
- [17] *Is water echt een betere energiedrager dan lucht, Harry Schmitz, V&V+, juni – 2015.*
- [18] *Meet -, regel – en energie – illusies, Harry Schmitz, V&V+, mei – 2013.*
- [19] *Autarkische gebouwen met DC fasetransformatie (PCM), Joris van Dorp en Harry Schmitz, V&V+ september 2003.*

## Kader 1. Dimensioneren.

### Figuur 4 Dimensioneren en een kantoorgebouw.

Voor thermische autarkie wordt het specifieke warmteverlies van de gebouwschil berekend uit de dagelijkse warmtebalans op een koude maatgevende winterse ontwerpdag, volgens:

$$H_{ti} = \frac{Q_z + Q_{mc} + Q_v - Q_f}{\Delta\bar{\theta}_{ie}24} \quad (1.1)$$

De optimale warmtecapaciteit en nachtventilatie wordt berekend uit de halfdagelijkse warmtebalans van een warme zomerse ontwerpdag volgens:

$$Q_o = Q_z + Q_{mc} + Q_v - [Q_f + H_{ti}(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)12] \quad (1.2)$$

En

$$\dot{V}_f = 3 \frac{Q_o - [Q_f + H_{ti}(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e)12]}{\Delta\theta_f \Delta t_{fn}} \quad (1.3)$$

#### Voorbeeld berekening kantoorgebouw.

##### Omschrijving

		Winter	Zomer Dag	Nacht	
Adaptieve binnentemperatuur	$\bar{\theta}_i$	20,4	25,4	25,4	[°C]
Daggemiddelde buitentemperatuur	$\bar{\theta}_{e24}$	-7,4	25,0	25,0	[°C]
Buitemtemperatuur dag, nacht	$\bar{\theta}_{e12}$		29,5	20,5	[°C]

##### Warmte van de zon

Zontoetreding factor glas	ZTA	0,55	0,12		
Dagelijkse zonneshijn	$q_z$	0,24*)	4,60**)		$\left[\frac{kWh}{m^2 \cdot d}\right]$
Raamoppervlak	$A_{z,zuid} = A_{z,noord}$ $A_{z,oost} = A_{z,west}$	180	180		$[m^2]$
Oriëntatiegetal raam	$z_{zuid}$ $z_{oost} = z_{west}$ $z_{noord}$	1,0 1,0 1,0	1,0 0,56 0,33		
Warmte dissipatie zonnestraling	$Q_z = ZTA \cdot q_z \sum z_z A_z$	55,4	150,7		$\left[\frac{kWh}{d}\right]$

##### Warmte van mensen en elektrische apparaten zoals computers

Vermogen mensen en computers	$p_m + p_c$	8+12=20	8+12=20		$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
Netto vloeroppervlak	$A_{netto}$	1.555	1.555		$[m^2]$
Werktijd mensen en computers	$\Delta t_{mc}$	8	8		$\left[\frac{h}{d}\right]$
Warmte dissipatie mensen en computers	$q_{mc} = (p_m + p_c) A_{netto} \Delta t_{mc}$	248,8	248,8	0	$\left[\frac{kWh}{d}\right]$

##### Warmte van de verlichting

Vermogen verlichting	$p_v$	8	8		$\left[\frac{W}{m^2}\right]$
Verlichting oppervlak	$A_{bruto}$	1814	1814		$[m^2]$
Aan tijd verlichting	$\Delta t_v$	10	10		$\left[\frac{h}{d}\right]$
Warmte dissipatie verlichting	$q_v = p_v A_{bruto} \Delta t_v$	145,1	145,1	0	$\left[\frac{kWh}{d}\right]$

##### Ventilatie installatie

Primair ventilatiedebiet	$\dot{V}_f$	12.000	12.000		$\left[\frac{m^3}{h}\right]$
Specifiek ventilatie verlies	$H_f = \frac{\dot{V}_f}{3}$	4	4		$\left[\frac{kW}{K}\right]$
Recuperatief WTW rendement	$\eta$	0,9	0,9	0	
Temperatuurverhoging ventilator	$\Delta\theta_f^*$	0,5	0,5		[°C]
Temperatuurverschil binnen buiten	$\Delta\bar{\theta}_{ie} = \bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e \approx$	+ 28	- 4	+ 5	[K]
Temperatuurverschil ventilatie installatie	$\Delta\theta_f = (1 + \eta)\Delta\theta_f^* - (1 - \eta)\Delta\bar{\theta}_{ie} \approx$	-1,9	+1,4	-4,4	[K]
Bedrijfstijd ventilatie	$\Delta t_f$	10	10	12	$\left[\frac{h}{d}\right]$
Ventilatie energie	$q_f = H_f \Delta\theta_f \Delta t_f$	-76	+56		$\left[\frac{kWh}{d}\right]$

**Specifiek transmissie en infiltratie verlies**  $H_{ti} = \frac{55,4 + 248,8 + 145,1 - 76}{28 \times 24} = 0,556$   $\left[\frac{kW}{K}\right]$

$$h_{ti} = \frac{0,556}{1,555} = 0,37$$

$$\left[\frac{W}{Km^2_{vloer}}\right]$$



$$U_{ti} = \frac{556}{4.337} = 0,13 \quad \left[ \frac{W}{Km^2_{scell}} \right]$$

$$P_{ti} = 0,37 \times 28 = 10,4 \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

**Warmtecapaciteit voor de leefzone:**

$$Q_o = 150,7 + 248,8 + 145,1 - [-56 + 0,556 \times -4 \times 12] = 627 \quad \left[ \frac{kWh}{dag} \right]$$

$$q_o = \frac{627}{1.555} = 0,40 \quad \left[ \frac{kWh}{dag.m^2} \right]$$

**Zomerse nachtventilatie**

$$\dot{V}_f = 3 \frac{627 - 0,556 \times 5 \times 12}{4,4 \times 12} = 33.800 \quad \left[ \frac{m^3}{h} \right]$$

$$\dot{v}_f = \frac{37.100}{1.555} \approx 22 \quad \left[ \frac{m^3}{h.m^2} \right]$$

\*) Alleen diffuse straling.

\*\*) Diffuse en directe straling.