

Het nieuwe ontwerpen, dimensioneren en bouwen.

PCM, het nieuwe bouwen, deel 3

Europa wil in 2020 energieneutraal bouwen! Maar hoe gaan we dat doen? Blijven we vasthouden aan traditionele bouw- en installatietechnieken, voornamelijk gebaseerd op stationaire normen en centennium oude warmtepompen, of slaan we een revolutionaire nieuwe weg in? Dit is het eerste artikel uit een serie van drie over PCM, het nieuwe bouwen.

Ir. H. (Harry) Schmitz, OC Autarkis bv

Deze serie artikelen gaat in op de volgende drie fundamentele vragen over het nieuwe bouwen met PCM:

1. Blijven we leefzones regelen op een constante stationaire setpoint binnentemperatuur?
2. Gaan we verder met het beter isoleren van de gebouwschil zonder aandacht voor de warmtecapaciteit?
3. Blijven we water als belangrijkste energiedrager beschouwen?

Eenvoudige dynamische berekeningen, gebaseerd op [zie lit.1, deel 1], verduidelijken niet alleen kwalitatief maar ook kwantitatief het nieuwe bouwen. Het eerste artikel behandelde dynamische behaaglijkheid en warmtecapaciteit; het tweede artikel sinusresponsies, energiedragers en autarkische leefzones en dit derde artikel het nieuwe ontwerpen, dimensioneren en bouwen.

In de eerste twee artikelen is vastgesteld dat dynamische binnentemperatuurregelingen, in lijn met het dagelijkse bioritme van de mens en met seizoensgebonden daggemiddelde adaptieve binnentemperaturen, comfortabeler zijn dan leefzones met een klassieke constante setpoint temperatuurregeling. Er is geconstateerd dat thermisch zware gebouwen energiezuiniger zijn dan thermisch lichte gebouwen en dat PCM's bij uitstek geschikt zijn om leefzones thermisch traag reagerend te maken, waarbij sinusresponsies een adequaat ontwerp hulpmiddel zijn. Verder is geconstateerd dat ventilatielucht in alle gevallen een betere energiedrager is dan water. Meer ventilatielucht resulteert eveneens in een betere binnenluchtkwaliteit. Verder is geconstateerd dat 'maximaal entropiereducerend bouwen

met autarkische leefzones' resulteert in een duurzamere gebouwde omgeving dan de ontwerpdoelstelling 'energieneutraal bouwen'.

■ HET NIEUWE ONTWERPEN

Het nieuwe ontwerpen is een overstap van thermisch stationair naar thermisch 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'. Het nieuwe ontwerpen is hiervoor gebaseerd op de volgende beantwoording van de drie gestelde fundamentele vragen:

- 1: Leefzones worden niet meer stationair maar dynamisch geregeld op een seizoensgebonden daggemiddelde adaptieve binnentem-

peratuur en een dagelijkse dynamische binnentemperatuur overeenkomstig het bioritme van de mens. Zo'n regeling levert veruit het comfortabelste binnenklimaat op.

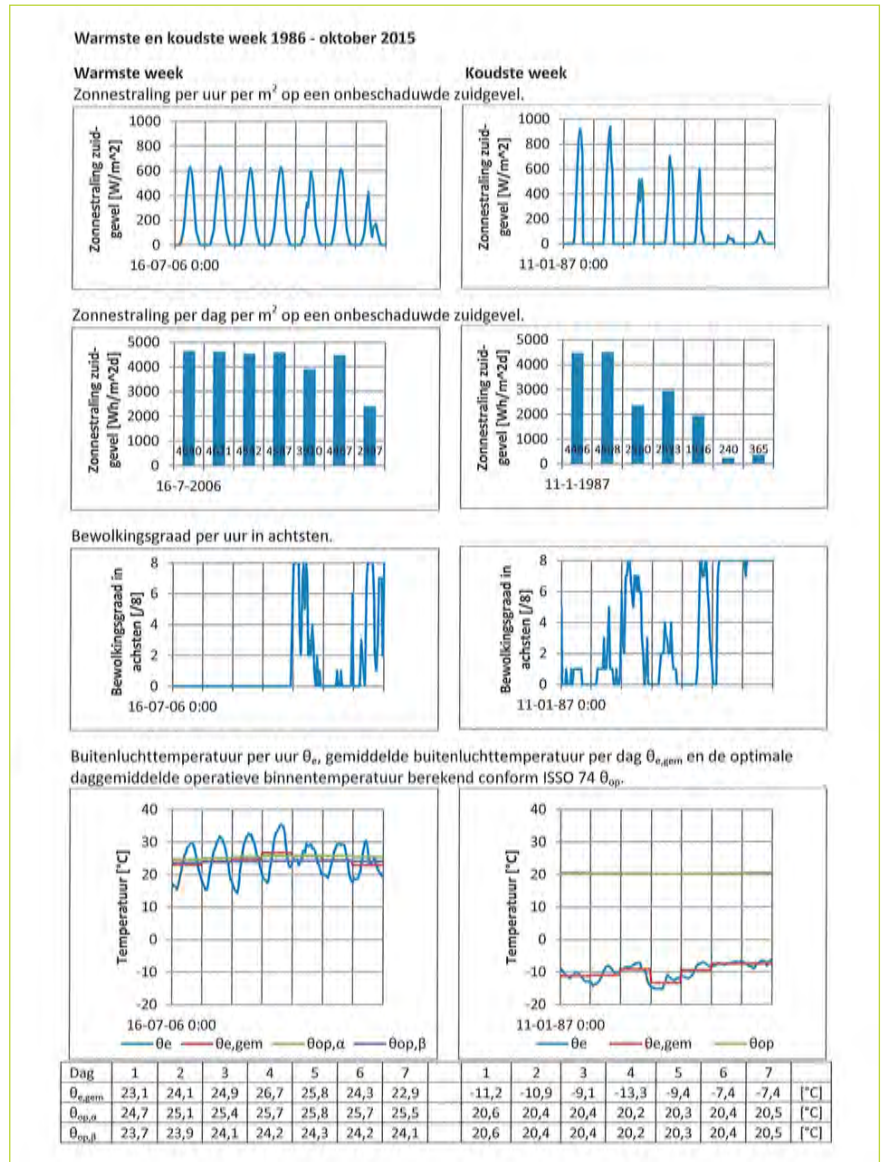
- 2: Gebouwen worden niet alleen meer optimaler geïsoleerd maar ook voorzien van voldoende benutbare warmtecapaciteit. Thermisch traag bouwen met dag-nacht-warmteopslag is de enige mogelijkheid om de entropie productie te minimaliseren en thermisch autarkische leefzones te creëren.
- 3: De nieuwe hoofd energiedrager is primaire ventilatielucht in plaats van water of eventueel koudemiddelen. Meer ventilatielucht resulteert in gezondere en duurzamere gebouwen.

Leefzones in gebouwen worden dus dynamisch geregeld waarbij vanwege kleding adaptatie en individuele beïnvloedbaarheid de binnentemperatuur in alfa gebouwen 's zomers hoger mogen zijn dan in beta-gebouwen, met name als er vrouwen aanwezig zijn. De eenvoudigste manier om leefzones dynamisch te regelen is thermisch zwaarder bouwen in combinatie met een variabel volumeregeling van de ventilatielucht. Door het grotendeels zelfregelende vermogen van de warmtecapaciteit resulteert overdag een binnentemperatuur stijging en 's nachts, ondersteund door optimaliserende

nachtverlaging, een daling. Overdag worden leefzones in optimaal geïsoleerde gebouwen gekoeld door het opwarmen van de 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 meer noodzakelijk zijn. Extra opwarmvermogen is, dan ook, overbodig. Voldoende warmtecapaciteit verwarmt tijdens winterse nachten meer dan voldoende. 's Zomers daarentegen zijn de nachtelijke warmte verliezen van de gebouwschil te gering voor afvoer van de overtollige dagwarmte. 's Zomers moet dan ook voorzien worden in extra nachtventilatie. In gebouwen met voldoende warmtecapaciteit en nachtventilatie is dan zomers geen additionele mechanische koeling meer noodzakelijk.

Voor een winterse ontwerpperiode met Arctisch koude dagen wordt de gebouwschil zo 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 aan het dagelijkse warmteverlies door transmissie, infiltratie en ventilatie. Onder deze voorwaarden moet voldoende warmtecapaciteit aanwezig zijn voor de transformatie van dag- naar nachtwarmte. De thermische massa wordt overdag door de dynamische binnentemperatuur stijging opgeladen en 's nachts door de dalende binnentemperatuur ontladen. Het zij nogmaals vermeld dat dit ook de meest comfortabele binnentemperatuurregeling vormt. Wordt het gebouw niet optimaal geïsoleerd en is onvoldoende warmtecapaciteit geïnstalleerd is alsnog additionele mechanische verwarming noodzakelijk.

De winterse ontwerpweek toont twee verschillende ontwerpweeken. 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 zuidgevel zijn de minder koude dagen met weinig zonneschijn maatgevend voor het thermisch dimensioneren van de gebouwschil, bestaande uit de begane grondvloer, buitenwanden, ramen en het dak. Op de extreem koude, wolkenloze dagen is de zonneschijn op een zuidgevel meer dan voldoende om een optimaal geïsoleerd gebouw met voldoende massa op de gewenste binnentemperatuur te regelen middels de buitenzonwering. Mits ergonomisch verantwoord functioneert een ruimte met voldoende thermische massa dan



-Figuur 1- Een maatgevende arctisch koude en een tropisch warme ontwerpweek

als een 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 ontwerpweek, namelijk 12 uur dag respectievelijk nachttijd. De thermische massa wordt 's nachts ontladen door regelbare ventilatielucht. Indien minder warmtecapaciteit en nachtventilatie dan optimaal wordt geïnstalleerd is additioneel mechanisch koelvermogen noodzakelijk.

Figuur 1 geeft de tropisch warme zomerse en de Arctisch koude winterse ontwerpweek weer. De derde zomerse dag 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

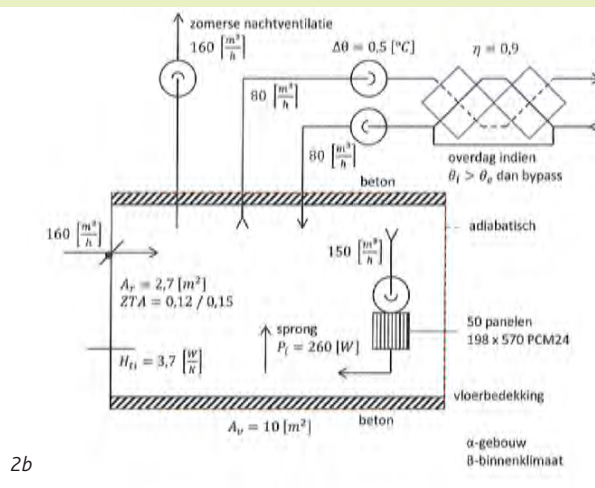
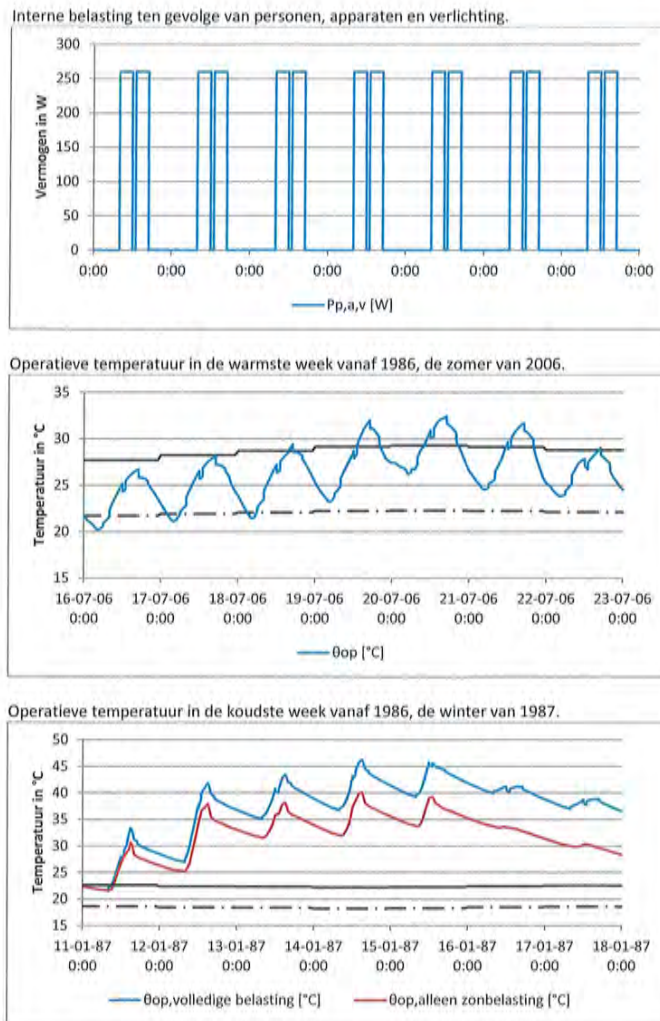
overdag iets warmer wordt dan de derde dag. Van de vierde op de vijfde dag is de nachtelijke zomerse hemel volledig bewolkt waardoor de nachtelijke uitstraling zeer gering is en de buitentemperatuur niet verder afkoelt dan 22 à 23°C. Onvoldoende om de thermische massa volledig te ontladen, tenzij het nachtelijke ventilatie-debiet extreem wordt overgedimensioneerd. 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 is een en ander 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 dagelijkse energiebalansen voor zomerse halve en winterse hele ontwerpda- gen. Meer concreet de optimale schilisolatie wordt berekend voor een winterse dag van 24 uur en de noodzakelijke warmtecapaciteit en nachtventilatie elk voor een halve zomerse dag van 12 uur.

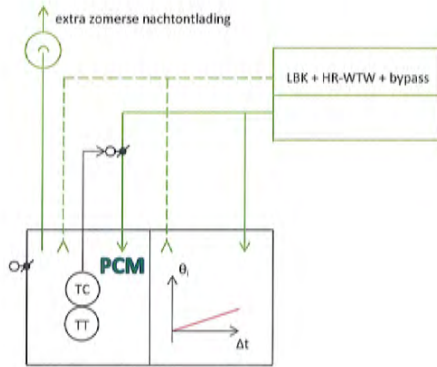
De berekening in kader 1 heeft betrekking op een alfa-kantoor met een binnenluchtkwaliteit A en een binnenklimaatkwaliteit B. Aangezien de warmteverstanden van de gebouwschil groter zijn dan de warmteverstanden van eventuele binnenwanden en vloeren resulteert in het hele gebouw een min of meer uni- forme binnentemperatuur, waarbij eventuele temperatuurverschillen tussen ruimten vanzelf nivelleren. 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 $U_{ti} = 0,13 [W/km^2_{schil}]$. Het betreffen zowel transmissie als infiltratie- verliezen. Het kantoor wordt verder voorzien van gebalanceerde mechanische ventilatie met HR WTW en zomerse bypass. Het minimale ventilatie-debiet overdag bedraagt $8,0 [m^3/hm^2_{netto vloeroppervlak}]$. Met een plafondhoogte van 2,7 m resulteert een ventilatievoud van $3,0 h^{-1}$. De ventilatie-installatie is voorzien van een variabel volumeregeling. Bij deel- en vol- lastbezetting wordt het kantoor 's winters op temperatuur gehouden door de noodzakelijke warmtedissipatie van de aanwezige mensen, de verlichting, de computers, de overige elek- trische apparaten en de zoninstraling. Indien een ruimte niet in gebruik is, is de desbetref- fende ventilatie ook niet in bedrijf. Tijdens een Arctisch koud weekeind als het kantoor niet in gebruik is bedraagt het additionele verwar- mingsvermogen circa $10 [W/m^2_{netto vloeroppervlak}]$. 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 een extra warmtewee- stand 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 $400 [Wh/dag.m^2_{netto vloeroppervlak}]$. Dit wordt enerzijds gerealiseerd door toepassing van een open plafond zodat de warmteca-



-Figuur 2- Numerieke dynamische simulatie resultaten gebaseerd op het nieuwe dimensioneren

paciteit 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 plafondcapaciteiten samen goed voor $168 [Wh/dag.m^2_{netto vloeroppervlak}]$. Verder wordt voorzien in flexibel opstelbare mobiele down flow PCM ventilatorconvectoren met een warmtecapa- citeit van $400-168 = 232 [Wh/dag.m^2_{netto vloeroppervlak}]$. Aangezien het een thermisch autarkisch installatieconcept betreft zonder additionele mechanische koeling draait overdag, als de

buitentemperaturen zomers hoger zijn dan de binnentemperaturen, de gebalanceerde ven- tilatie installatie vollast warmteterugwinning. Het noodzakelijke ventilatievoud 's nachts bedraagt overeenkomstig kader 1; $8,1 h^{-1}$. In deze extra nachtventilatie wordt voorzien door te openen buitenluchtroosters in de gevels of te openen ramen in combinatie met addi- tionele mechanische afzuiging. Samen met de additionele afzuiging voorziet de geba- lanceerde mechanische ventilatie installatie, waarbij 's nachts de HR WTW wordt gebypast,



-Figuur 3- Procesruimte en procesinstrumentatiediagram behorend bij een goed geïsoleerd thermisch traag reagerend kantoor

in het benodigde grotere nachtelijke ventilatie-debiet.

De dynamische binnentemperaturen zijn, in het middels analytische vergelijkingen gedi-mensioneerde autarkische kantoor, voor de Arctisch koude en tropisch warme ontwerpwe-ken numeriek berekend. De mobiele down flow PCM ventilator convectoren gedragen zich als een eerste orde differentiaal vergelijking [1] zodat de dynamische simulatie bestaat uit slechts twee dv vergelijkingen. De numerieke berekening betreft 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 sprongverstor-ingen van de leefzone in rekening gebracht. Voor de zomerse ontwerp situatie valt op dat, zoals vooraf verondersteld temperatuur overschrijdingen resulteren op de 4-de, 5-de en 6-de tropisch warme ontwerp dagen. Voor een heel jaar maximaal 28 uur. Minder dan maximaal toegestaan volgens NEN 15251. Als zodanig voldoet het installatieconcept aan de gestelde behaaglijkheid criteria. De tempera-tuur overschrijdingen in de zomer worden voornamelijk veroorzaakt door de nachtelijke bewolking waardoor de buitentemperaturen 's nachts onvoldoende dalen om het PCM weer te doen stollen. Ook voor de Arctisch koude winterse ontwerpweek voldoet de autarkische klimaatinstallatie. Figuur 2 geeft de bereke-

ningsresultaten weer van de zuidgevel met een niet geregelde buitenzonwering. Ondanks het extreem koude weer raken de ruimten op de zuid gevel oververhit. Deze berekeningsresulta-ten geven de noodzaak weer van het 's winters regelen van de buitenzonwering, maar ook om de zuidgevel wellicht minder goed te isoleren dan de noordgevel, dat wil zeggen het gebouw wordt oriëntatie afhankelijk geïsoleerd.

HET NIEUWE BOUWEN

Het nieuwe bouwen wordt gekenmerkt door een optimale combinatie van winterse schiliso-latie, optimale warmtecapaciteit en zomerse nachtventilatie. Onder verwijzing naar figuur 3 resulteert dan een zeer eenvoudig autarkisch kantoor met minimale jaarlijkse onderhoud en energiekosten (zijnde de jaarlijkse afschrijvin-gen en rentekosten van de duurzame elektrici-teit installatie) en met een meer dan gezond en comfortabel binnenklimaat, dit volgens:
 - een dynamische binnentemperatuur regeling door een variabel volumeregeling van de ven-tilatie installatie met winterse nacht ontlading naar binnen en zomerse nachtontlading naar buiten. Elke nacht vindt er optimaliserende nachtverlaging plaats [4];
 - mits ergonomisch verantwoord een optimale energie regeling van de buitenzon-wering zodat het gebouw functioneert als een passieve zonnecollector met verlies-vrije warmte opslag voor koude winterse

nachten;

- een optimaal geïsoleerde gebouwschil;
- en optimale warmtecapaciteit door bijvoor-beeld mobiele down flow PCM ventilator convectoren met thermisch gedreven verdringingsstroming in de leefzone in com-binatie met zo mogelijk open plafonds zoals weergegeven in figuur 3;
- buitenlucht als hoofd energiedrager met directe vrije buitenluchtkoeling bestaande uit gebalanceerde mechanische ventilatie met HR WTW en zomerse bypass en additio-nele zomerse nachtventilatie.

Indien een gebouw ontworpen wordt op basis van thermische autarkie wordt het te instal-leren duurzame elektrische vermogen tot een absoluut minimum beperkt.

Tot slot zij nogmaals opgemerkt dat indien de gebouwschil niet optimaal wordt geïsoleerd of onvoldoende warmtecapaciteit en nachtventi-latie aanwezig zijn dat dan additioneel mecha-nisch warmte en koude vermogen noodzakelijk is voor een comfortabel binnenklimaat.

CONCLUSIES

In elk artikel zijn drie fundamentele vragen gesteld. Het nieuwe bouwen met PCM naar 2020 is overeenkomstig de beantwoording van de vragen volgens:

- leefzones worden niet meer geregeld op een constante stationaire setpoint binnentem-peratuur maar op een variabele dynamische binnentemperatuur!;
- geen traagheidsloze gebouwen worden meer gebouwd. Elk gebouw wordt voorzien van voldoende thermische massa!;
- de nieuwe hoofd energiedrager is buiten-lucht!

Indien Europa in 2020 energieneutraal wil bouwen is de beste ontwerpdoelstelling 'maximaal entropie reducerend bouwen met als ultieme ontwerpdoelstelling thermisch autarkische leefzones' net hetzelfde als de termietensoort Macro Thermes Bellicosus al miljoenen draaien praktiseert in Afrika, de roots van de moderne mens en de basis voor bionisch bouwen [2].

Europa moet niet alleen de energiedoelstelling 'energieneutraal bouwen in 2020' aanpassen in 'maximaal entropiereducerend bouwen in 2020' maar ook moeten de vigerende ontwerp normen zoals, thermische behaaglijk-heid, berekening van de noodzakelijke warmte en koudecapaciteit zo nodig vermogen worden omgevormd van stationair naar dynamisch alsook moeten de EPC berekeningen zo worden aangepast dat All – air systemen in combinatie met PCM beter tot hun recht komen dan watersystemen.

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

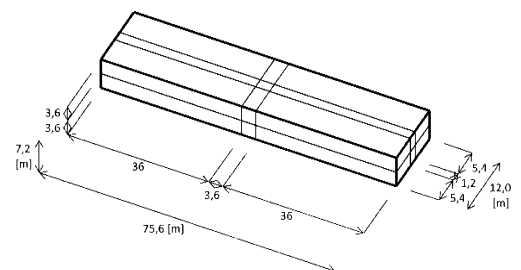
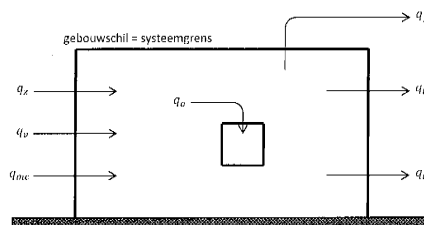
		Winter	Zomer Dag	Nacht	
Adaptieve binnentemperatuur	$\bar{\theta}_i$	20,4	25,4	25,4	[°C]
Daggemiddelde buitentemperatuur	$\bar{\theta}_{e,24}$	-7,4	25,0	25,0	[°C]
Buitentemperatuur dag, nacht	$\bar{\theta}_{e,12}$		29,5	20,5	[°C]
Warmte van de zon					
Zontoetreding factor glas	ZTA	0,55	0,12		
Dagelijkse zonschijn	q_z	0,24*)	4,60**)		$\frac{[kWh]}{[m^2 \cdot d]}$
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		$\frac{[kWh]}{d}$
Warmte van mensen en elektrische apparaten zoals computers					
Vermogen mensen en computers	$p_m + p_c$	8+12=20	8+12=20		$\frac{[W]}{[m^2]}$
Netto vloeroppervlak	A_{netto}	1.555	1.555		$[m^2]$
Werktijd mensen en computers	Δt_{mc}	8	8		$\frac{[h]}{d}$
Warmte dissipatie mensen en computers	$q_{mc} = (p_m + p_c) A_{netto} \Delta t_{mc}$	248,8	248,8	0	$\frac{[kWh]}{d}$
Warmte van de verlichting					
Vermogen verlichting	p_v	8	8		$\frac{[W]}{[m^2]}$
Verlichting oppervlak	A_{bruto}	1814	1814		$[m^2]$
Aan tijd verlichting	Δt_v	10	10		$\frac{[h]}{d}$
Warmte dissipatie verlichting	$q_v = p_v A_{bruto} \Delta t_v$	145,1	145,1	0	$\frac{[kWh]}{d}$
Ventilatie installatie					
Primair ventilatie debiet	\dot{V}_f	12.000	12.000		$\frac{[m^3]}{h}$
Specifiek ventilatie verlies	$H_f = \frac{\dot{V}_f}{3}$	4	4		$\frac{[kW]}{K}$
Recuperatief WTW rendement	η	0,9	0,9	0	
Temperatuurverhoging ventilator	$\Delta\theta_v^*$	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	$\Delta\theta_f = (1 + \eta)\Delta\theta_v^* - (1 - \eta)\Delta\bar{\theta}_{ie} \approx$	-1,9	+1,4	-4,4	[K]
Bedrijfstijd ventilatie	Δt_f	10	10	12	$\frac{[h]}{d}$
Ventilatie energie	$q_f = H_f \Delta\theta_f \Delta t_f$	-76	+56		$\frac{[kWh]}{d}$
Specifiek transmissie en infiltratie verlies					
	$H_{ti} = \frac{55,4 + 248,8 + 145,1 - 76}{28 \times 24} = 0,556$				$\frac{[kW]}{K}$
	$h_{ti} = \frac{556}{1.555} = 0,37$				$\frac{[W]}{[Km^2_{vloer}]}$
	$U_{ti} = \frac{556}{4.337} = 0,13$				$\frac{[W]}{[Km^2_{schil}]}$
	$P_{ti} = 0,37 \times 28 = 10,4$				$\frac{[W]}{[m^2]}$
Warmtecapaciteit voor de leefzone:					
	$Q_o = 150,7 + 248,8 + 145,1 - [-56 + 0,556 \times -4 \times 12] = 627$				$\frac{[kWh]}{[dag]}$
	$q_o = \frac{627}{1.555} = 0,40$				$\frac{[kWh]}{[dag \cdot m^2]}$
Zomerse nachtventilatie					
	$\dot{V}_f = 3 \frac{627 - 0,556 \times 5 \times 12}{4,4 \times 12} = 33.800$				$\frac{[m^3]}{h}$
	$\dot{v}_f = \frac{37.100}{1.555} \approx 22$				$\frac{[m^2]}{[h \cdot m^2]}$

*) Alleen diffuse straling.
**) Diffuse en directe straling.

-Kader 1- Dimensioneren

LITERATUUR

1. Meet -, regel - en energie - illusies, Harry Schmitz, V&V+, mei - 2013.
2. Autarkische gebouwen met DC fasetransformatie (PCM), Joris van Dorp en Harry Schmitz, V&V+ september 2003.
3. De revisie van NEN 5066, Harry Schmitz, Klimaatbeheersing November - 1993.



-Figuur 4- Dimensioneren en een kantoorgebouw