

Regelstrategie voor energieuze gebouwen

Antonin van de Bree,
Santiago Rodriguez

Transmissie- en ventilatieverliezen vormen niet langer het grootste deel van het energiegebruik bij energieuze gebouwen. De energieprestatie wordt steeds meer bepaald door de bedrijfsgebonden energiegebruiken die zich onder meer voordoen als interne warmtelasten. Een onjuiste inschatting ervan beïnvloedt de resterende warmte- en koudevraag.

Het consortium Ecobuildings ontwikkelt een duurzaam energie kantoorpand in Nieuwegein. Het ontwerp is van KCAP Architects & Planners en staat bekend als de Sustainable energy office buildings. Het betreft twee kantoorstoren waarvan de bouw van de eerste toren begin 2009 moet aanvangen. Het samenspel van het gebouw, de klimaatinstallaties en de bedrijfsvoering ervan moet leiden tot CO₂-neutraliteit. De vraag is welke invloed de verschillende toe te passen systemen en de interne warmtelasten hebben op de warmte- en koudevraag van het gebouw.

HET GEBOUW

De eerste kantoorstoren is een 22-verdiepingen tellend gebouw waarvan de noord- en zuidgevel licht overhellen naar het zuiden. Het totale netto vloeroppervlak is 16.200 m². Karakteristiek aan het gevelbeeld zijn de driehoekige ramen. Het kozijnpercentage bedraagt 40 procent. De driehoekige vorm maakt toepassing van buitenzonwering lastig. Om die reden is gekozen voor beglazing met een lage ZTA-waarde (0,3). De gesloten delen van de gevel bestaan uit metalen panelen, deels voorzien van fotovoltaïsche cellen. Het binnenblad bestaat uit 300 mm beton. De betonnen vloeren hebben een dikte van 280 mm. Gezamenlijk hebben de gevels en vloeren een grote thermische massa.

DE INSTALLATIES

Vanaf het begin is voor de klimaatbeheersing gedacht aan toepassing van een warmtepomp met warmte-koudeopslag in de bodem. Een warmtepomp is een zeer efficiënte techniek dankzij de benutting van duurzame warmte en koude uit de bodem. In de verdiepingvloeren wordt betonkernactivering toegepast. Het trage gedrag van dergelijke vloeren sluit aan bij het gedrag van een warmtepomp. Plotselinge veranderingen in warmte- en/of koudevraag zijn daarmee niet op te vangen. Daarvoor is verwarming en/of koeling via lucht geschikter.

Vanuit het streven naar een CO₂-neutrale bedrijfsvoering, waarbij ook de elektriciteitsvraag voor onder andere kantoorapparatuur hoort, is het onontkoombaar om op één of

andere wijze de benodigde elektriciteit groen te maken. Allereerst wordt daarvoor gekeken naar zon en wind. Het dak- en het geveloppervlak zijn echter onvoldoende om alleen met fotovoltaïsche panelen het jaarlijkse elektriciteitsverbruik te leveren dat is berekend op 85.500 KWh/jr (circa 5 KWh/m²). Een gemiddeld kantoor (groter dan 10.000 m²) verbruikt 79 KWh/jr per m² voor verlichting en apparatuur. Toevoeging van kleinschalige windturbines op het dak levert ondanks de hoogte van het gebouw eveneens een bescheiden bijdrage aan de benodigde groene stroom. Het beperkte dakoppervlak is hier debet aan. Desalniettemin zal een klein aantal door Ecofys ontwikkelde kleinschalige windturbines worden geplaatst uit oogpunt van demonstratie en testen.

Uiteindelijk is besloten voor het duurzame kantoor ook een beter controleerbare vorm van groene stroomproductie te installeren in de vorm van een warmtekrachtenheid die draait op gecertificeerde bio-olie. Hiermee is het mogelijk groene stroom te produceren naar behoefte. Dit impliceert dat de wkk elektriciteitsvraag-volgend wordt geregeld en dat de vrijkomende warmte een restproduct is voor verwarming. In de zomer wordt deze groene warmte gebruikt voor absorptiekoeling en/of voor regeneratie van de bodem. De randvoorwaarde is evenwel dat (in de zomer) geen warmte wordt weggegooid. Naast de bio-olie wkk en een warmtepomp is ook sprake van een aansluiting op het lokale stadsverwarmingsnet die als backup zal dienen.

SIMULATIES

Om de vraag over de invloed van interne warmtelasten op de warmte- en koudevraag van energieuze gebouwen goed te kunnen beantwoorden is een gedetailleerde dynamische gebouwsimulatie vereist. Met een dynamische simulatie kan de interactie tussen het buitenklimaat, een specifiek gebouwontwerp en een specifiek installatieontwerp worden bestudeerd. Een dynamische simulatie biedt ook de mogelijkheid de regeling van de verschillende installaties mee te nemen en de mogelijkheid verschillende toekomstige klimaatscenario's door te rekenen. Een gedetailleerde simulatie



1. Artistieke impressie van het ontwerp van de Sustainable energy office buildings.

vereist meer invoer die ook dynamisch moet zijn, dus tijdsafhankelijk is. Voor bezetting, verlichting en apparatuur kan met representatieve tijdspatronen worden gewerkt.

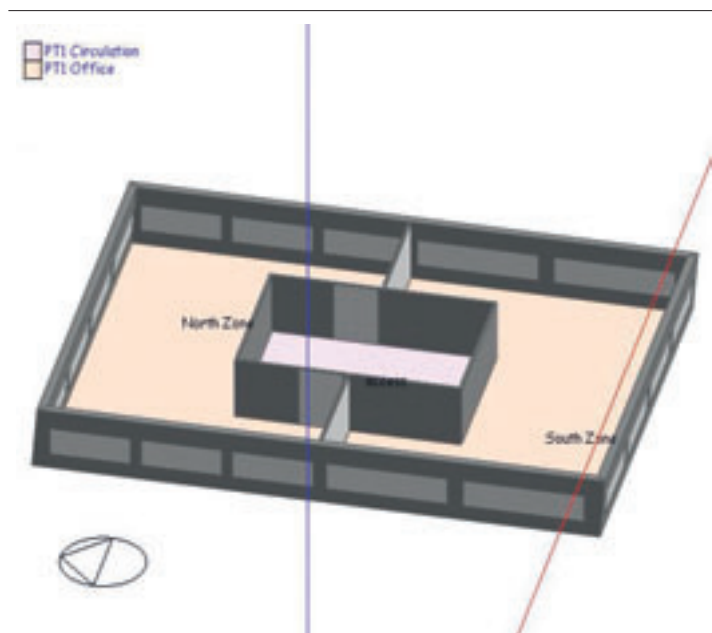
LUCHTDEBIETEN

De (maximale) bezetting is een uitgangspunt voor de benodigde (maximale) ventilatiedebieten. De (resterende) warmte- en koudevraag zijn een maat voor de benodigde (maximale) luchtdebieten al dan niet via recirculatie. Beperking van luchttransport, als dat niet is vereist uit het oogpunt van gezondheid of klimaatbeheersing, bespaart in principe energie, zelfs bij toepassing van warmteterugwinning. Anderzijds kan via lucht op een bepaald moment alvast warmte worden afgevoerd, waarvoor anders later actieve koeling nodig zou zijn. Dit is het idee achter nachtventilatie.

Het kan zelfs zo zijn dat ook dat niet gewenst is, omdat actieve of desnoods passieve koeling via de betonkernactivering kan bijdragen aan regeneratie van de bodem bij toepassing van een warmtepomp met bodemopslag. De regeneratie is noodzakelijk om de warmtebalans in de bodem te behouden. Sturing van de luchtdebieten enkel vanuit luchtverversing en (directe) klimaatbeheersing lijkt daarmee achterhaald. Controle over de luchtdebieten kan voor meer zaken van belang zijn. Bovendien hebben ze een invloed op het jaarlijkse energiegebruik. Met een dynamische simulatie kunnen de gevolgen van de ventilatiestrategie inzichtelijk worden gemaakt.

Voor een inschatting van de effecten van interne warmtelasten en van de regelstrategie voor de ventilatie, is een kantoorlaag uit het ontwerp in detail gemodelleerd (afbeelding 2). De kantoorlaag is verdeeld in drie zones: de noordzone en zuidzone (kantoren) en een kern voor voorzieningen. Het bruto vloeroppervlak van de kantoren bedraagt 546 m². De kern heeft een bruto vloeroppervlak van 103 m². De bruto verdiepingshoogte is 3,3 m.

In het model is een zogeheten centraal VAV-systeem (variabel air volume) opgenomen voor luchtverversing en luchtbehandeling. Het ventilatiesysteem is voorzien van warmteterugwinning. In elke zone is lokale naverwarming mogelijk. De maximale bezetting bedraagt 0,12 personen per m² bruto vloeroppervlak. Voor de luchtverversing wordt 35 m³/h per persoon aangehouden. Het maximale ventilatievoud uit oogpunt van gezondheid bedraagt dan 1,4 bij een netto verdiepingshoogte van 3 m. Het VAV-systeem wordt ingesteld op een minimale ventilatievoud van 1,2. Het ventilatievoud kan groter zijn indien nodig voor de warmte- of koudevraag.



2. Model van een kantoorlaag in de Sustainable energy office buildings voor een dynamische gebouwsimulatie. De driehoekige kozijnen zijn versimpeld tot rechthoekige ramen. Het kozijnpercentage is gelijk. De licht hellende noord- en zuidgevel zijn zichtbaar.

	duurzaam kantoor		normaal	
	W/m ²	KWh _e /m ²	W/m ²	KWh _e /m ²
personen (0,12/m ² ; MET 1,0)	13	-	13	-
verlichting	7	17	12	30
apparatuur	16	40	20	48
totaal	36	57	43	78

Tabel 1. Interne warmtelasten.

		conventioneel	aangepast
ventilatie	dag	100 %	100 %
	nacht	50 %	0 %
setpoints (set back)	verwarmen	21 °C (16 °C)	21 °C (21 °C)
	koelen	24 °C (28 °C)	24 °C (24 °C)
VAV-systeem	weekdag	0:00-24:00	07:00-20:00
	weekend	0:00-24:00	N/A
betonkernactivering	weekdag	0:00-24:00	20:00-07:00
	weekend	0:00-24:00	00:00-24:00
apparatuur [W/m ²]		16	16

Tabel 2. Verschillen in regelstrategie voor ventilatie, setpoints en het inzetten van de betonkernactivering.

REGELING

De verdiepingvloeren zijn voorzien van betonkernactivering. De leidingen van het systeem liggen 9 cm boven de onderzijde van de betonnen vloer. De betonkernactivering is alleen aanwezig in de kantoorzones en kan 15 KW (28 W/m²) koude of warmte leveren aan een verdieping.

Voor de energiebesparing en voor de beperking van de benodigde vermogens van de warmtepomp en de bio-wkk is gekeken naar de regeling van de klimaatinstallatie. In tabel 2 is een vergelijk gegeven tussen een conventionele en een aangepaste regeling. De conventionele regeling pretendeert niet dat het een algemeen gebruikelijke regeling is. De aangepaste regeling pretendeert niet dat het een optimale regeling is. De simulaties met beide regelingen zijn enkel bedoeld om de effecten van dit soort maatregelen in beeld te brengen.

RESULTATEN

De gevolgen van de verschillende strategieën laten zich goed illustreren aan de hand van grafieken met enerzijds het verloop van de luchttemperatuur in de zones en anderzijds de bijdragen van verwarming of koeling onderscheiden naar afgiftesysteem. Voor beide strategieën is gekeken naar een winterweek en een zomerweek.

In afbeelding 3 is een winterweek geïllustreerd voor de conventionele regeling. In de afbeelding zijn zowel temperaturen als vermogens weergegeven. De temperaturen zijn het directe gevolg van de vermogens. Uit de afbeelding kan worden afgeleid dat de installatie in staat is om tijdens kantooruren een binnentemperatuur te bereiken van 21 °C. Doordat buiten kantooruren en in het weekend de luchttemperatuur daalt tot minimaal 16 °C koelt ook de constructie af. Door de traagheid van thermische massa is de stralingstemperatuur daarom nog laag tijdens kantooruren. Het gevolg daarvan is minder comfort.

Tijdens de kantooruren is sprake van gelijktijdige verwarming door zowel het VAV-systeem, de lokale naverwarming als de betonkernactivering. Buiten kantooruren is de inzet van de verwarming beperkt door de setpoint-verlaging. Alleen de betonkernactivering komt in werking als de luchttemperatuur onder de 16 °C dreigt te komen. Door de handhaving van de ventilatie, zij het beperkt tot 50 procent, daalt de binnentemperatuur.

In afbeelding 4 is een winterweek geïllustreerd voor de aangepaste regeling. Uit deze afbeelding kan worden afgeleid dat ook nu de installatie in staat is tijdens kantooruren een binnentemperatuur te bereiken van 21 °C. Buiten kantooru-



ren en in het weekend daalt de luchttemperatuur nagenoeg niet door het ontbreken van ventilatie en door handhaving van het setpoint voor verwarming via de betonkernactivering. Daardoor blijft de stralingstemperatuur ook hoog buiten kantooruren. Het gevolg daarvan is meer comfort tijdens kantooruren.

Het centrale VAV-systeem, dat het 's ochtends weer overneemt van de betonkernactivering, is daardoor in staat met beperkt vermogen de setpoint temperatuur te handhaven. De lokale naverwarming komt alleen even in aan het begin en aan het einde van de dag en kent bovendien minder grote pieken dan bij de conventionele regeling. Het is te overwegen de lokale naverwarming achterwege te laten in dit geval.

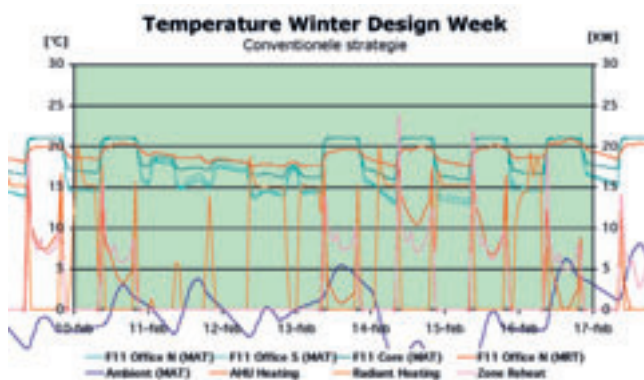
Een soortgelijk verhaal geldt voor een zomerweek. Door beperking van de ventilatie buiten de kantooruren en door geen setback temperaturen toe te passen is er iets minder vermogen nodig. Wat betreft comfort is de conventionele strategie hier enigszins in het voordeel. De stralingstemperatuur ligt in de zomer overdag namelijk circa 1 °C lager dan de binnenluchttemperatuur (maximaal 24 °C). Bij de aangepaste strategie is binnen de stralingstemperatuur ongeveer gelijk aan de luchttemperatuur in de zomer.

De verschillen tussen beide strategieën komen eveneens tot uitdrukking in de belastingduurkrommes voor verwarming en koeling.

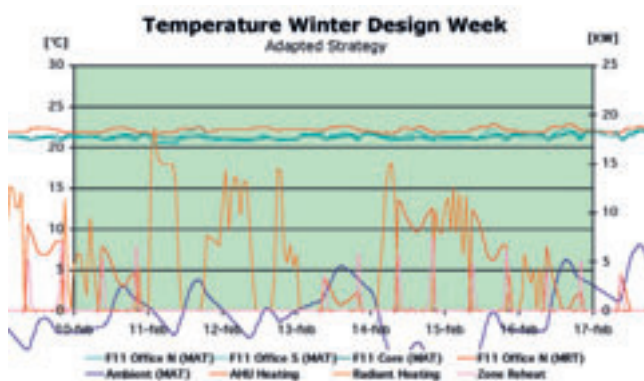
Door de nachtverlaging en de gelijktijdige beschikbaarheid van afgiftesystemen is sprake van pieken tot 50 KW bij de conventionele regeling. Bij de aangepaste regeling blijven de pieken beperkt tot 20 KW (afbeelding 6). De reden hiervan is het ontbreken van nachtventilatie, het ontbreken van nachtverlaging en doordat de verschillende afgiftesystemen niet gelijktijdig beschikbaar zijn.

De totale interne warmtelast bedroeg in de simulaties 36 W/m². Een toename van de interne warmtelasten heeft invloed op zowel de warmte- als de koudevraag. Voor beide regelingen is ook nog een verhoging van de interne warmtelast met 4 W/m² doorgevoerd om daarvan de invloed te onderzoeken.

Uiteindelijk is naast het comfort en de beperking van de benodigde vermogens voor verwarmen en koelen, ook het jaarlijkse energiegebruik van belang. In tabel 3 is een overzicht gegeven van alle resultaten. Voor de conventionele regeling is 70 procent van het piekvermogen aangehouden als installatievermogen. Voor de aangepaste regeling is 85 procent van het piekvermogen aangehouden als installatievermogen vanwege de spreiding die al in de regeling besloten ligt.



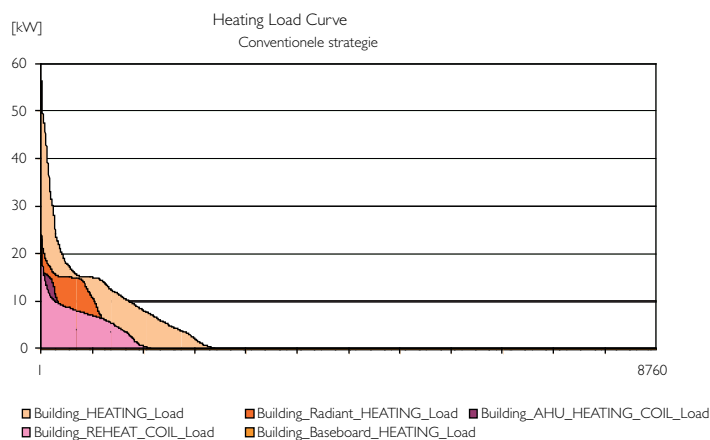
3. Temperatuurverlopen (MAT – mean air temperature en MRT – mean radiant temperature) in de verschillende zones en de bijbehorende inzet van warmte door verschillende installatieonderdelen (AHU – air handling unit en radiant heating – betonkernactivering) voor een winterweek met **conventionele** strategie.



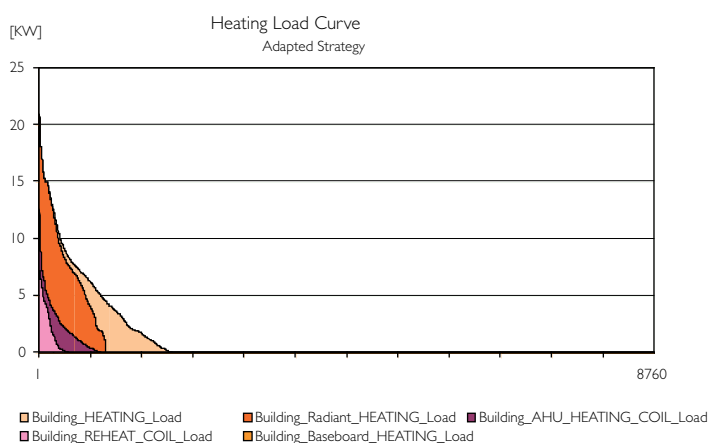
4. Temperatuurverlopen in de verschillende zones en de bijbehorende inzet van warmte door verschillende installatieonderdelen voor een winterweek met **aangepaste** strategie.

		verwarmen				koelen			
		conventioneel		aangepast		conventioneel		aangepast	
			+4		+4		+4		+4
		W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²	W/m ²
energiebehoefte	[GJ/jr]	105	99	42	40	45	53	44	48
vermogen	[kW]	40	40	17	17	31	33	35	37
	[W/m ²]	62	62	22	22	48	51	45	48
vollasturen	[-]	732	689	686	639	401	446	346	363
deellasturen	[-]	2487	2458	1906	1811	842	979	1493	1702

Tabel 3. Overzicht van de resultaten van een enkele kantoorlaag (649 m² bruto vloeroppervlak) voor beide regelingen en voor een toename van (maximaal) 4 W/m² aan interne warmtelasten.



5. Belastingduurkromme voor de warmtebehoefte bij een **conventionele** strategie in totaal (heating_load) en de verdeling over de verschillende afgiftesystemen.



6. Belastingduurkromme voor de warmtebehoefte bij een **aangepaste** strategie in totaal (heating_load) en de verdeling over de verschillende afgiftesystemen.

Het grote verschil in de energiebehoefte voor verwarming tussen de beide regelingen schuilt voornamelijk in het achterwege laten van ventilatie buiten kantooruren. De infiltratie ($q_{v,10\text{kar}} 0,4 \text{ dm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{s}$) is uiteraard ongemoeid gelaten. De interne warmtelasten ontbreken nagenoeg geheel buiten kantooruren en bovendien is dan de op te warmen buitenlucht het koudst. De vraag is of het volledig achterwege laten van ventilatie reëel is. Misschien niet helemaal, maar het mag duidelijk zijn dat het minimaliseren van de ventilatie sterk kan bijdragen aan het besparen van energie in deze situatie.

De gevolgen voor de koeling van de beide regelingen zijn gering, zowel wat betreft het energiegebruik als wat betreft

het vermogen. Een toename van de interne warmtelast heeft een groter effect op de koeling, meer voor de conventionele regeling dan voor de aangepaste regeling. De jaarlijkse warmte- en koudevraag zijn meer in balans in het geval van de aangepaste regeling.

CONCLUSIES

Een energiezuinig ontwerp van het gebouw en de klimaatinstallatie legt slechts de basis voor een energiezuinig gebouw. De daadwerkelijke energiebesparing wordt bepaald door de wijze waarop de gebruikers ermee omgaan. Gedetailleerde dynamische simulaties zijn essentieel bij het verkrijgen van inzicht in het thermisch gedrag van een specifiek ontwerp met een specifiek gebruik. Aan de hand van dynamische simulaties kan mede vorm worden gegeven aan de te implementeren regelstrategie van de klimaatinstallatie om tot een optimale energiebesparing te komen in de praktijk.

Auteurs

A. G. van de Bree,

S. Rodriguez, Ecofys, Netherlands

Copyright artist impression

KCAP Architects & Planners & 7 Arts