

## Eerste gebruikservaringen

# Klimaatscenario's in gebouwsimulatie- programma's

*Bij het ontwerpen van gebouwen wordt gebruik gemaakt van gebouwsimulatieprogramma's om prestaties op het gebied van comfort en energiegebruik te voorspellen. Het buitenklimaat wordt in deze simulaties meestal gerepresenteerd door klimaatbestanden met uurlijkse waarden voor de weergegevens. Tot op heden werden hiervoor de historische gegevens van De Bilt gebruikt van het jaar 1964-1965, omdat dit werd gezien als een gemiddeld jaar met voldoende extremen. De vraag rees of dit bestand na 40 jaar nog geschikt is om te gebruiken. Een NEN-commissie is vervolgens gaan werken aan nieuwe referentiebestanden, gebaseerd op gemeten weergegevens van de laatste 20 jaar, 1986 tot 2005 [1]. Het resultaat, vastgelegd in de ontwerp-norm NEN 5060:2008, bevat vier verschillende referentie jaren voor verschillende toepassingen.*

*- door mw. J. Evers\*, C. Struck\*, prof.dr.ir. J. Hensen\*,  
A. Wijsman\*\*, ir. W. Plokker\*\* en R. van Herpen\*\*\**

**D**e vier referentie jaren van NEN 5060:2008 (ontw.) representeren het klimaat op dit moment. Bij het ontwerpen van gebouwinstallaties gaan adviseurs er echter vanuit dat het systeem 15 tot 30 jaar zal blijven functioneren [2]. De verwachte levensduur van de gebouwconstructie is nog langer. Ontwerpbeslissingen worden gebaseerd op gegevens uit het verleden, maar de condities kunnen veranderen in de toekomst. Als de gebruikscondities afwijken van de ontwerpcondities, bestaat het gevaar dat het gebouw en de installatie niet meer kunnen voldoen aan de verwachtingen. Het vermogen van een gebouw of gebouw-

concept om aan de gewenste prestatie-eisen te voldoen, ook als de gebruikscondities verschillen van de ontwerpcondities, wordt de "robustheid" genoemd. Om een indruk te krijgen van de toekomstige gebouwprestaties en dus van de robustheid, zijn daarom toekomstige klimaatjaren gemaakt voor gebruik met het gebouwsimulatieprogramma VA114 [12]. Deze zijn gebaseerd op NEN 5060:2008 (ontw.) en de toekomstige klimaatscenario's van het KNMI. In dit artikel wordt beschreven op welke manier deze bestanden tot stand zijn gekomen en de eerste ervaringen met het gebruik ervan worden toegelicht aan de hand van een case studie. De invloed van



Mw. J. Evers



C. Struck



Prof.dr.ir. J. Hensen



A. Wijsman



Ir. W. Plokker\*



R. van Herpen

het veranderende klimaat op het energiegebruik en het comfort van een veel gebruikt klimatiseringsconcept, topkoeling, wordt gedemonstreerd.

### METHODOLOGIE

De toekomstige klimaatbestanden zijn tot stand gekomen in een samenwerking tussen de Technische Universiteit Eindhoven en Vabi Software BV. Ze worden gebruikt in de studie van een

\* Unit BPS, Technische Universiteit Eindhoven, Nederland

\*\* Vabi Software BV, Delft, Nederland

\*\*\* Adviesburo Nieman, Utrecht, Nederland

tussenverdieping van een kantoorgebouw, die bestaat uit acht vertrekken en een centrale kern (zie figuur 2). De vertrekken worden geklimatiseerd met behulp van een topkoelingsconcept, waarvan wordt verwacht dat het weinig robuust is voor klimaatverandering. De prestatie van dit concept wordt geëvalueerd met behulp van gebouwsimulatie. Het simulatieprogramma VA114 [12] wordt daarvoor gebruikt.

Vier KNMI-klimaatscenario's en vier NEN-klimaatbestanden worden beschouwd in drie tijdstappen: heden (de originele NEN 5060-bestanden), over 15 jaar en over 30 jaar. Het klimaatbestand met historische weergegevens van De Bilt uit 1964-1965, hierna 'De Bilt 64/65' genoemd, wordt gebruikt als referentiebestand. In totaal zijn er 37 simulaties doorgevoerd. In deze studie wordt alleen de zomer (het koelseizoen) gesimuleerd, omdat dit de meest kritische periode lijkt voor de prestatie van het gekozen systeem. De periode april t/m oktober wordt aangehouden, omdat die overeenkomt met het koelseizoen volgens NEN 5060:2008 (ontw.). De volgende prestatie-indicatoren worden bekeken: het totale energiegebruik voor koeling en de maximale koellast voor de hele verdieping en per vertrek het aantal overschrijdingsuren (TO) van 25 °C en de gewogen temperatuuroverschrijdingsuren (GTO). De warmtelast in de zomer bleek voor deze case en de gebruikte klimaatbestanden verwaarloosbaar te zijn en is daarom niet verder bekeken.

Vanwege de 'ontwerpstatus en de recente verschijningsdatum van de norm NEN 5060:2008 zijn er nauwelijks ervaringen beschikbaar met het gebruik van de nieuwe klimaatbestanden. Daarom is ervoor gekozen eerst de gebouwprestaties te vergelijken bij gebruik van het oude klimaatbestand 'De Bilt 64/65' en de nieuwe NEN 5060 klimaatbestanden. Daarna zijn de gecombineerde bestanden van NEN 5060:2008 (ontw.) en de KNMI toekomstscenario's doorgerekend en met de eerste resultaten vergeleken.

#### KLIMAATBESTANDEN VOOR GEBOUWSIMULATIE IN NEDERLAND

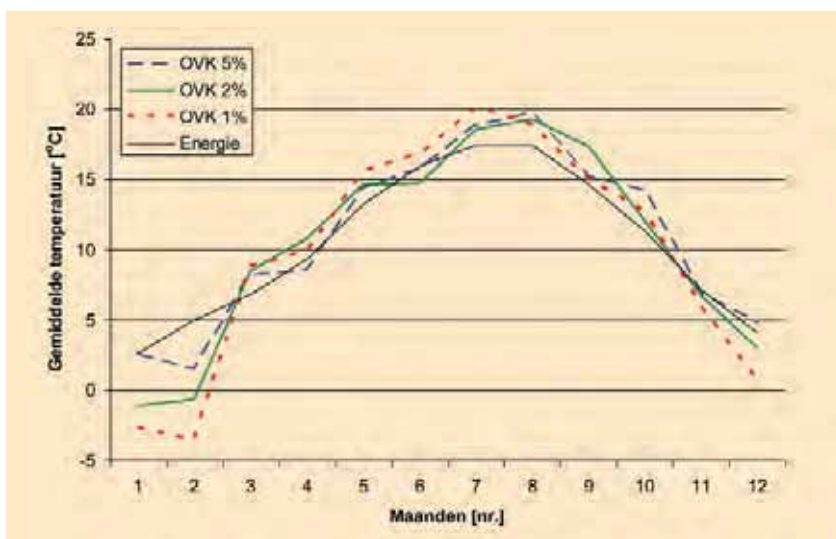
In Nederland wordt tot op heden het klimaatjaar 'De Bilt 64/65' gebruikt voor voorspellingen van comfortindicatoren als temperatuuroverschrijdingsuren (TO) en gewogen temperatuuroverschrijdingsuren (GTO). De periode die het jaar omvat is van 1 april 1964 t/m 31 maart 1965. Dit jaar wordt beschouwd als een jaar met een "gemiddelde" zomer [5]. Al eerder werd vastgesteld dat dit referentiejaar niet meer de trend van de klimaatontwikkeling representeert [3,7]. Verder was er een Test Reference Year voor jaarlijkse energieberekeningen beschikbaar, gebaseerd op de jaren 1971-1980. Dit is in juni 2005 na het verschijnen van de internationale normenreeks NEN-EN-ISO 15927 vervangen [4]. Deel 4 van deze reeks beschrijft een methode om een referentiejaar samen te stellen uit een

bestand van gemeten weergegevens met een lengte van ten minste 10 aaneengesloten jaren. Een referentiejaar samengesteld op basis van deze methode is alleen inzetbaar voor het berekenen van het jaarlijkse energiegebruik voor verwarming en koeling.

#### NEN 5060:2008 (ontw.)

Begin 2008 werd NEN 5060:2008 (ontw.) gepubliceerd. Met deze nieuwe norm worden de tot op heden gebruikte referentie-klimaatjaren voor de voorspelling van energiegebruik en comfort geactualiseerd. De norm maakt gebruik van statistische procedures uit NEN-EN-ISO 15927. De methode in deel 4 van deze internationale normenreeks wordt gebruikt om klimaatbestanden voor de berekening van energiebehoefte op te stellen. In NEN-EN-ISO 15927 ontbreekt echter een methode om klimaatbestanden voor comfortberekeningen te genereren. Daarom wordt in de nieuwe norm NEN 5060:2008 (ontw.) daarvoor een selectieprocedure voorgesteld die is gebaseerd op NEN-EN-ISO 15927-2 en NEN-EN-ISO 15927-5.

NEN 5060:2008 (ontw.) beschrijft een statistische analyse van 20 jaar historische weergegevens (1986-2005) van het meetstation De Bilt. De statistische analyse wordt gebruikt om twaalf maanden te selecteren die samen het referentiejaar vormen. Er wordt onderscheid gemaakt in vier typen referentiejaren. Het eerste referentiejaar representeert een gemiddeld jaar en is bedoeld voor de berekening van de jaarlijkse energiebehoefte en de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). De methode is gebaseerd op deel 4 van NEN-EN-ISO 15927. De overige drie referentiejaren bevatten meer extremen en zijn onder andere bedoeld voor het beoordelen van comfort. Net als in NEN-EN-ISO 15927-2 en NEN-EN-ISO 15927-5 wordt er een frequentieverdeling opgesteld van vijfdaagse gemiddelde temperaturen. Op basis daarvan worden de maanden gekozen, behorende bij de 5 %, 2 % resp. 1 % overschrijdingskans voor de zomer of onderscheidingskans voor het stookseizoen. De geselecteerde maanden worden samengevoegd tot het referentiejaar met resp. 5 %, 2 % of 1 % over-/ onderschrijdingskans. De referentie-klimaatgegevens worden over vijf jaar weer herzien en zo nodig



Vergelijking van maandgemiddelde temperaturen voor de vier klimaatbestanden uit NEN 5060:2008 (ontw.).

- FIGUUR 1 -

vernieuwd. In figuur 1 zijn ter illustratie de maandgemiddelde temperaturen voor de vier bestanden weergegeven.

### **KNMI klimaatveranderingsscenario's**

Het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) stelt klimaatscenario's op voor de wereldwijde klimaatverandering, gebaseerd op emissiescenario's. Dit zijn aannames over de uitstoot van broeikasgassen, die weer zijn gebaseerd op modellen voor de ontwikkeling van de wereldbevolking, de economie, de technologie en dergelijke. De klimaatscenario's van het IPCC geven vooral informatie over de wereldwijde opwarming en zeespiegelstijging. De mondiale scenario's, gebaseerd op Global Circulation Models (GCM), zijn gedetailleerd met behulp van Regional Circulation Models (RCM) om de effecten van klimaatverandering in een kleiner gebied, Nederland, te bepalen. De klimaatverandering in Nederland is vooral afhankelijk van de wereldwijde temperatuurstijging en van veranderingen in de luchtstromingspatronen boven West-Europa. De indeling van de scenario's is daarom op deze twee aspecten gebaseerd [6].

Er wordt onderscheid gemaakt in een wereldwijde temperatuurstijging van 1 °C of 2 °C in de periode van 1990 tot 2050. Bij het gematigde scenario (G) hoort 1 °C stijging en bij het warme scenario (W) 2 °C. Van beide scenario's is een scenario met en zonder verandering in luchtstromingspatronen opgesteld. Een gewijzigd luchtstromingspatroon betekent meer westenwind in de winter en meer oostenwind in de zomer. De winters worden zachter en natter en de zomers warmer en droger. Wijziging in de luchtstroming wordt aangegeven met een plus (G+ en W+). Met de huidige kennis is het niet mogelijk om aan te geven welk van de vier scenario's het meest waarschijnlijk is. Ze zijn alle vier aannemelijk en worden daarom voor de simulaties in dit artikel als gelijkwaardig beschouwd [8].

Om een indruk te krijgen wat deze klimaatscenario's betekenen voor de veranderingen in temperatuur en neerslag, is het mogelijk om op de website van het KNMI, tijdreeksen van temperatuur- of neerslaggegevens te laten transformeren tot projecties voor de toekomst. Standaard gebruikt de website hiervoor de gegevens van 1976-

2005 (30 jaar), maar het is ook mogelijk om zelf gegevens in te laden. Voor een gekozen scenario en tijdpad worden 30 jaar aan daggemiddelde temperatuur- of neerslaggegevens gegenereerd, die samen het klimaat op het gekozen moment in de toekomst representeren. Het zijn projecties en geen voorspellingen voor een bepaald tijdstip in de toekomst.

### **Toekomstige klimaatbestanden voor gebouwsimulaties**

De getransformeerde gegevens die beschikbaar zijn op de website van het KNMI hebben een formaat van 30 jaar daggemiddelden. Voor simulaties met VA114 zijn echter uurlijkse waarden nodig. Ook is het handiger om 1 jaar door te rekenen in plaats van 30 jaar om de rekentijd te verkorten. Om dit te bereiken is een combinatie gemaakt van de referentiebestanden van NEN 5060:2008 (ontw.) (met uurlijkse waarden) en de getransformeerde tijdreeksen. Er wordt hierbij alleen gekeken naar temperatuurveranderingen in de toekomst, de overige parameters worden gelijk gehouden. Ook de globale zonnestraling, de tweede meest belangrijke parameter voor energiegebruik- en comfortberekeningen [10,11], wordt dus gelijk gehouden. Er wordt aangenomen dat de bewolgingsgraad, als belangrijke invloedparameter op de globale straling, niet verandert [9]. Nederland ligt namelijk in het overgangsgedebied tussen Noord-Europa, waar de bewolgingsgraad toeneemt, en Zuid-Europa,

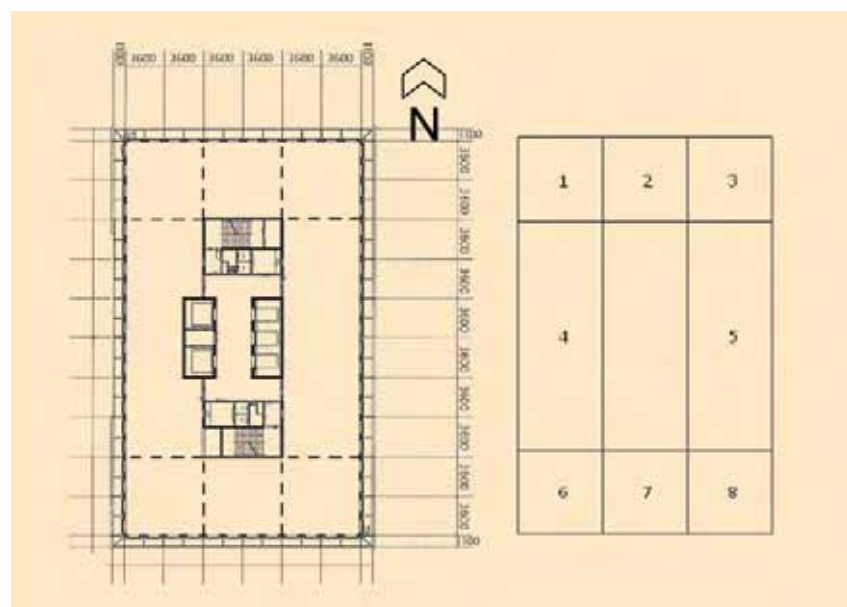
waar de bewolgingsgraad afneemt. NEN 5060:2008 (ontw.) is gebaseerd op de periode 1986-2005. Standaard gebruikt het KNMI de tijdreeks 1976-2005, die dus de periode van de norm omvat. Er zijn transformaties uitgevoerd met deze standaard tijdreeks voor de vier klimaatscenario's met een tijdpad van 30 jaar. Het resultaat bevat daggemiddelde temperaturen. Voor de geselecteerde maanden van NEN 5060:2008 (ontw.) is per dag gekeken wat de verhoging na 30 jaar is. Deze wordt vervolgens bij elke uurlijkse waarde opgeteld. Er zijn ook bestanden gemaakt voor een tijdpad van 15 jaar door deze verhoging te halveren. Het resultaat zijn 36 klimaatbestanden: de vier originele van NEN 5060:2008 (ontw.), plus vier klimaatscenario's maal twee tijdpaden (15 en 30 jaar) maal vier types referentiebestanden. De nieuwe klimaatbestanden worden in dit artikel 'toekomstige klimaatbestanden' genoemd.

### **Case studie**

Om eerste ervaringen op te doen met het toepassen van de toekomstige klimaatbestanden wordt gebruik gemaakt van een case studie.

[subkop] Beschrijving case kantoorverdieping

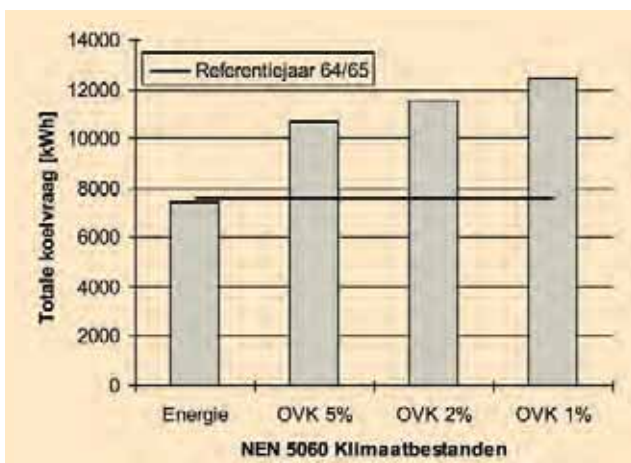
De gebruikte case is gebaseerd op het kantoorgebouw 'La tour' in Apeldoorn. Het gebouw bestaat uit vrij indeelbare kantoorverdiepingen met een centrale kern (zie figuur 2). Het gebouw wordt gekoeld met een topkoelingsconcept. Dat houdt in, dat de



Plattegrond van het model (hoogte: 3,4 m) en vertreknummering.

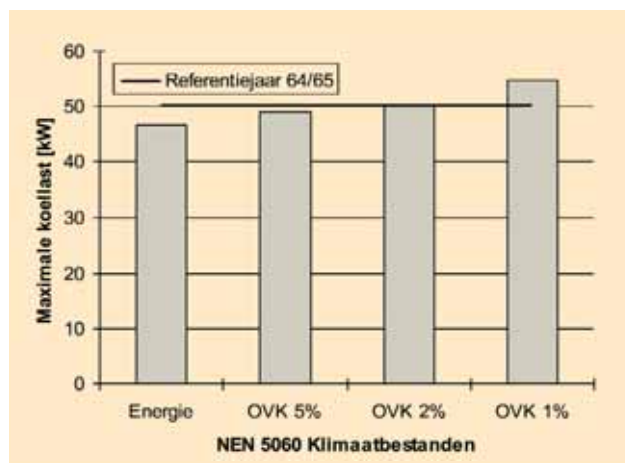
- FIGUUR 2 -





**Totale energievraag voor koeling, originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden, hele verdieping.**

- FIGUUR 3 -



**Maximale koellast, originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden, hele verdieping.**

- FIGUUR 4 -

lucht centraal wordt gekoeld en door middel van kanalen wordt gedistribueerd over de verdiepingen en vertrekken. De koelingsenergie wordt daarbij vrijwel uitsluitend gebruikt om de luchttemperatuur te verlagen en niet om de lucht te ontvochtigen, waardoor de benodigde koelcapaciteit beperkt blijft. Naar verwachting is dit een kritisch concept in relatie tot klimaatverandering.

Er is gekozen voor het simuleren van een tussenverdieping. De ruimte rond de kern is verdeeld in hoek- en tussenvertrekken. Er is geen rekening gehouden met gangen en toegangsdeuren om het model zo eenvoudig mogelijk te houden. De kern is omsloten door een betonnen brandmuur van 200 mm. De hoek- en tussenvertrekken zijn gescheiden door lichte systeemwanden. In de gevel is een glaspercentage aanwezig van 27 % met een lage transmissiefactor ( $ZTA = 0,30$ ), daarnaast zijn de oost-, zuid- en westgevel voorzien van een overstek. Tijdens de gebruikperiode worden de kantoren op 20 °C en de kern op 18 °C verwarmd. Een uitgebreide beschrijving van het model is te vinden in bijlage A.

## RESULTATEN

Vanwege de recente verschijningsdatum en de ontwerpstatus van de norm zijn er geen literatuurbronnen bekend over ervaringen met de referentiebestanden van NEN 5060:2008 (ontw.) en evenmin met de toekomstige klimaatbestanden. Er is daarom gekozen om eerst de resultaten van de vier originele NEN 5060:2008 (ontw.) referentiebestanden te vergelijken met het

oude klimaatbestand 'De Bilt 64/65' en met elkaar. De bevindingen hiervan worden vervolgens gebruikt bij de analyse van de resultaten voor de toekomstige klimaatbestanden.

In de norm wordt aangegeven, dat het energiebestand is gemaakt voor gebruik in energieberekeningen, zoals de jaarlijkse energiebehoefte en de energieprestatiecoëfficiënt (EPC). De 5 %, 2 % en 1 %-bestanden zijn bedoeld voor simulatieberekeningen, zoals temperatuuroverschrijdingen. Er is gekozen om de prestatie-indicatoren totale energiegebruik voor koeling en maximale koellast te bepalen voor ieder klimaatbestand van de originele NEN 5060:2008 (ontw.), zodat de verschillende resultaten kunnen worden vergeleken. De TO-uren en de GTO-uren worden bepaald voor het 5 %, 2 % en 1 %-bestand, zoals in de norm is aangegeven.

### Resultaten - originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden

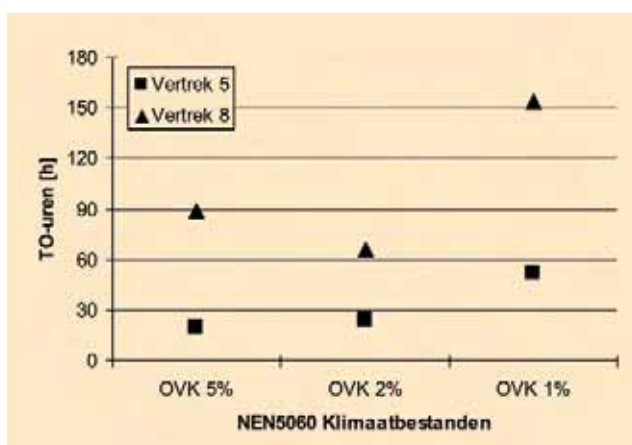
In figuur 3 en 4 zijn de resultaten weergegeven van de totale energievraag voor koeling resp. de maximale koellast. De klimaatbestanden van NEN 5060:2008 (ontw.) staan in de verwachte volgorde van minst naar meest extreem. De totale energievraag voor koeling berekend met het klimaatbestand 'De Bilt 64/65', komt goed overeen met de resultaten voor het NEN 5060-energiebestand (zie figuur 3). Het verschil is kleiner dan 2 %. De klimaatbestanden voor 5 %, 2 % en 1 % overschrijdingskans geven resp. 42 %, 53 % en 66 % hogere waarden, tegenover het referentiejaar 64/65.

Voor de maximale koellast komen de resultaten van het referentiebestand 'De Bilt 64/65' overeen met het 2 %-bestand van NEN 5060:2008 (ontw.) (zie figuur 4). De resultaten voor het 1 %-bestand liggen 9 % hoger en die voor het 5 %- en het energiebestand liggen resp. 2 % en 7 % lager dan 'De Bilt 64/65'. De verschillen bij deze prestatie-indicator zijn dus veel minder groot dan bij de totale energievraag.

Als prestatie-indicatoren voor comfort worden hier de overschrijdingsuren van 25° C (TO) en de gewogen overschrijdingsuren (GTO) gepresenteerd. Deze zijn bepaald voor ieder vertrek afzonderlijk (zie bijlage B). Voor beide comfort-indicatoren worden voor de hoekvertrekken (1, 3, 6 en 8) aanmerkelijk hogere waarden gevonden dan voor de tussenvertrekken (2, 4, 5 en 7). Verder is te zien, dat aan de oostzijde de temperatuur vaker wordt overschreden dan aan de westzijde.

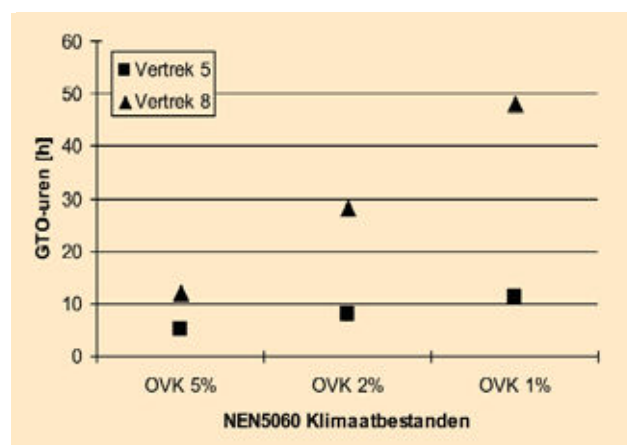
Dit wordt veroorzaakt door een asymmetrie in de gekozen gebruikperiode, maandag t/m vrijdag 8.00 uur – 17.00 uur, waarin de zon haar hoogste punt rond 13.00 uur bereikt tijdens de zomertijd.

Voor een verdere analyse worden de vertrekken 5 en 8 weergegeven als representatief voorbeeld (zie figuur 5 en 6). De resultaten voor 'De Bilt 64/65' zijn niet weergegeven, omdat deze voor beide prestatie-indicatoren en beide vertrekken nul zijn. Vertrek 8 is een hoekvertrek en vertrek 5 is een tussenvertrek (zie figuur 1). Volgens NEN 5060:2008 (ontw.) is het energiebestand het meest gemiddeld en daarna volgen resp. het 5 % en het 2 %-bestand. Het 1 %-bestand is het



Overschrijdingsuren van 25 °C, originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden, vertrek 5 en 8.

- FIGUUR 5 -



Gewogen overschrijdingsuren, originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden, vertrek 5 en 8

- FIGUUR 6 -

meest extreme bestand. De resultaten blijken hiermee voor ieder ruimte niet overeen te komen. De overschrijdingsuren van 25 °C in vertrek 8 zijn voor het 2 % - bestand lager dan voor het 5 % - bestand. Het 1 % - bestand laat het hoogste aantal overschrijdingsuren zien. Voor vertrek 5 zijn de onderlinge verschillen minder groot als voor vertrek 8 en de overschrijdingsuren voor 1 % liggen hoger dan 2 % en 2 % boven 5 %.

Het effect voor vertrek 8, dat het 5 % - bestand meer overschrijdingsuren geeft dan het 2 % - bestand, is niet te zien bij gewogen temperatuuroverschrijdingen (GTO) als comfort indicator (zie figuur 6). Zoals verwacht stijgt het aantal GTO-uren met afnemende kans op overschrijding. Hoekvertrek 8 laat weer een hoger aantal overschrijdingen zien dan tussenvertrek 5.

#### Discussie - originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden

Volgens de norm NEN 5060:2008 (ontw.) dient het totale energiegebruik over een periode te worden bepaald aan de hand van het energiebestand, een gemiddeld jaar. Om de resultaten onderling te kunnen vergelijken is de prestatie-indicator 'totale energievraag voor koeling van de hele verdieping' echter bepaald voor alle vier de referentiebestanden van NEN 5060:2008 (ontw.) en voor 'De Bilt 64/65'. Tussen de totale koelvraag berekend met 'De Bilt 64/65' en met het energiebestand is een verschil gevonden van slechts 2 %. NEN 5060:2008 (ontw.) en 'De Bilt 64/65' zijn dus ongeveer even streng voor de beoordeling van

het energiegebruik voor koeling van deze kantoorverdieping. De resultaten voor de 5 %, 2 % en 1 %-bestanden liggen aanmerkelijk hoger, resp. 42 %, 53 % en 66 %. Het totale energiegebruik in een periode met meer extremen kan dus aanzienlijk afwijken van een gemiddeld jaar. Dit ligt in de lijn der verwachtingen.

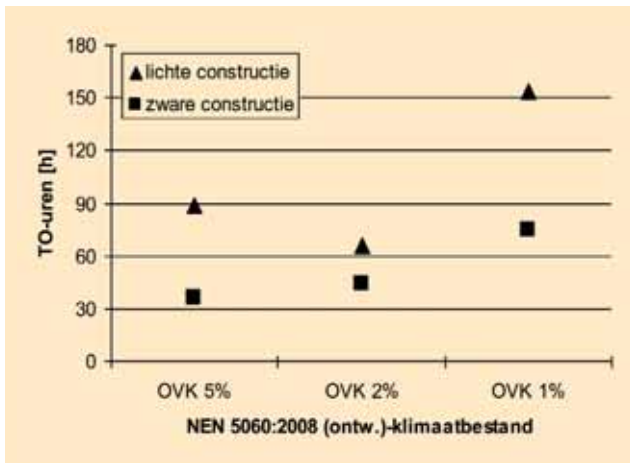
De maximale koellast is een belangrijke prestatie-indicator voor het dimensioneren van een installatie. Het is hierbij niet zinvol alleen om de prestaties van een gemiddeld jaar te bepalen, omdat dit risico bestaat dat de installatie wordt onder-gedimensioneerd. De resultaten voor de maximale koellast liggen dicht bij elkaar. Ten opzichte van het referentiebestand 'De Bilt 64/65' liggen de andere resultaten binnen een range van 10 % naar boven en naar beneden. Daarbij komen de resultaten voor het 2 %-bestand overeen met 'De Bilt 64/65'.

Er dient te worden opgemerkt, dat naast een hoger energiegebruik en een hogere maximale koellast, de 5 %, 2 % en 1 %-bestanden bestanden ook een hoger aantal overschrijdingsuren geven dan 'De Bilt 64/65', dus minder comfort. Dit is een belangrijk punt bij de beoordeling van de robuustheid van een klimatiseringsconcept.

Voor de comfort-indicatoren overschrijdingsuren van 25 °C (TO) en gewogen overschrijdingsuren (GTO) worden voor de hoekvertrekken aanmerkelijk hogere waarden gevonden dan voor de tussenvertrekken. Dit kan worden verklaard doordat in de hoekvertrekken een twee keer zo grote glasoppervlak aanwezig is in verhouding tot het vloeroppervlak dan in de tussenvertrekken. De scheidingswand

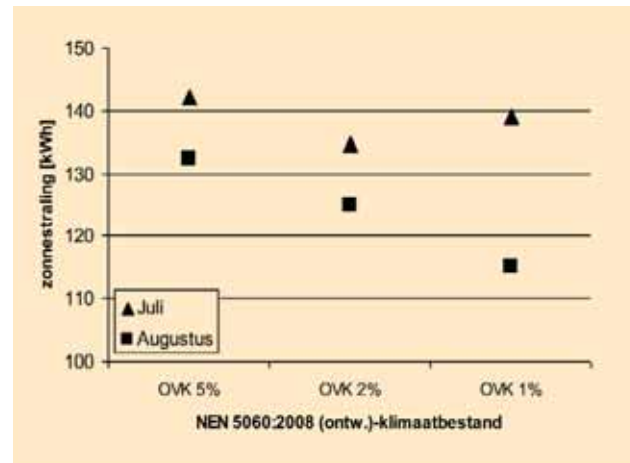
tussen de centrale kern en de kantoren heeft een bufferende werking, vanwege de hoge thermische massa van het materiaal beton. De lichte scheidingswanden tussen de kantoorvertrekken onderling hebben deze eigenschap veel minder. In figuur 7 is een vergelijking te zien van de temperatuur-overschrijdingsuren voor de constructies zoals die zijn gekozen voor de case en wanneer de scheidingswanden tussen de kantoorvertrekken onderling vervangen worden door dezelfde betonnen constructie als bij de centrale kern.

Een beoordeling van het comfort volgens NEN 5060:2008 (ontw.) met het 1 % - bestand zou naar verwachting strenger moeten zijn dan een beoordeling met het 2 % - bestand en die zou dan weer strenger moeten zijn dan het 5 % - bestand. Uit de simulaties blijkt dat dit niet voor iedere ruimte en voor iedere comfort-indicator geldt. De selectiemethode van NEN 5060:2008 (ontw.) voor de 5 %, 2 % en 1 %-bestanden is gebaseerd op de frequentieverdeling van de vijfdaagse gemiddelde temperatuur van de buitenlucht. De zonnestraling heeft een ondergeschikte rol in de selectiemethode, maar is een belangrijke factor bij oververhitting in gebouwen, in het bijzonder in vertrekken met een groot glasoppervlak en een kleine thermische massa. In figuur 8 zijn voor vertrek 8 de interne warmtelasten door zoninstraling te zien voor de maanden waarin de temperatuuroverschrijdingen optreden: juli en augustus. De waarden voor het 5 %-bestand liggen hoger dan die voor het 2 % en 1 %-bestand. Voor de maand augustus ligt ook de waarde voor het 2 %-bestand



Overschrijdingsuren van 25 °C, originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden, vertrek 8, vergelijking invloed zware en lichte constructie.

- FIGUUR 7 -



Warmtelast door zonninstraling voor de maanden juli en augustus, originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden, vertrek 8.

- FIGUUR 8 -

boven die van het 1 %-bestand. Door hun verschillende wijze van berekening kunnen TO-uren en GTO-uren niet met elkaar worden vergeleken. 'TO-uren' is het werkelijke aantal uren in een periode dat een temperatuurgrens (in dit geval 25 °C) wordt overschreden. Bij 'GTO-uren' is de grens een PMV van 0.5 bij een variabele temperatuur. Verder wordt er een wegingsfactor gehanteerd, gebaseerd op de PPD. Deze wegingsfactor en de verschillende temperatuurgrenzen zijn de verklaring, waarom het effect bij vertrek 8, dat het 5 %-bestand meer overschrijdingsuren geeft dan het 2 %-bestand, niet optreedt voor de GTO-uren.

### Resultaten - toekomstige klimaatbestanden

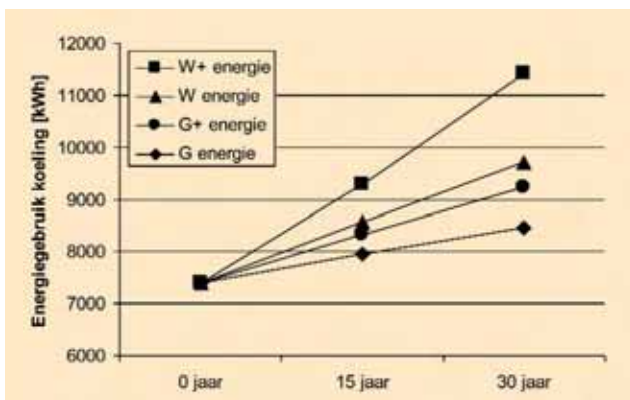
Nadat is gesimuleerd met de originele bestanden van NEN 5060:2008 (ontw.) en met 'De Bilt 64-65', zijn de 32 toekomstige klimaatbestanden doorgerekend. Het totale energiegebruik voor koeling van de hele verdie-

ping, berekend met de energiebestanden, is weergegeven in figuur 9. Het energiegebruik vertoont een lijn zoals ook zou worden verwacht. De waarden worden hoger als je verder in de tijd vooruit kijkt (15 of 30 jaar) en als het klimaatscenario extremer wordt. Na 30 jaar zijn de stijgingen voor het G, G+, W en W+-scenario resp. 14 %, 25 %, 31 % en 54 % ten opzichte van het oorspronkelijke bestand. Het G+ en het W-scenario liggen dicht bij elkaar, waarbij het W-scenario na 30 jaar een 5 % hogere waarde blijkt te geven.

De maximale koellast is bepaald voor de 5 %, 2 % en 1 %-klimaatbestanden. Als voorbeeld zijn de resultaten voor het W+-scenario weergegeven in figuur 10. De andere scenario's vertonen een vergelijkbaar beeld, hoewel minder extreem. De waarden voor de maximale koellast worden hoger als je verder vooruit kijkt in de tijd. Bij de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden geeft het 1 %-bestand

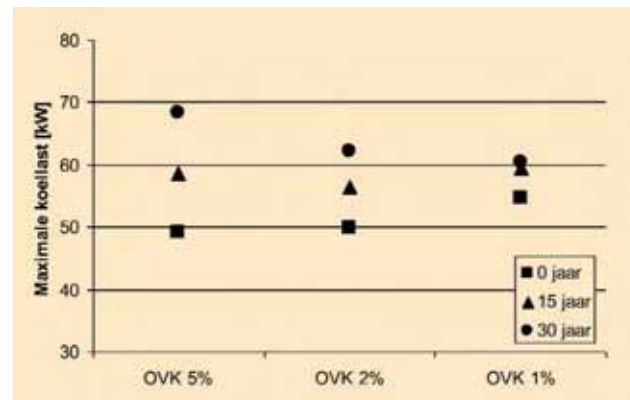
hogere waarden dan het 2 %-bestand en ligt het 5 %-bestand hier weer onder. Na 30 jaar blijkt het 5 %-bestand de grootste stijging te krijgen, zodat hier de hoogste waarde wordt gevonden, gevolgd door het 2 %-bestand. Het 1 %-bestand heeft dan de laagste waarde.

Net als bij de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden zijn bij de bepaling van de comfortindicatoren de ruimtes afzonderlijk bekeken. In figuur 11 en 12 zijn de resultaten van de overschrijdingsuren van 25 °C resp. de gewogen temperatuuroverschrijdingen weergegeven van ruimte 8 voor het W+-scenario. Net als bij de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden al het geval was, blijven de waarden voor de TO-uren van de 5 %-bestanden tussen de lijnen van 1 % en 2 % in liggen. Verder is voor alle bestanden een duidelijk stijgende lijn in de tijd te zien. Na 30 jaar geven de TO-uren voor het 1 %, 2 % en 5 % bestand resp. een 2, 3 en 2.5 maal hogere waarde. Voor de GTO-uren



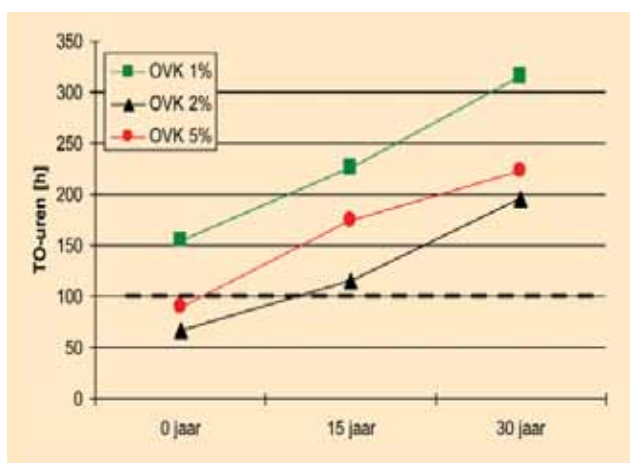
Totale energiegebruik voor koeling, hele verdieping, toekomstig klimaat.

- FIGUUR 9 -



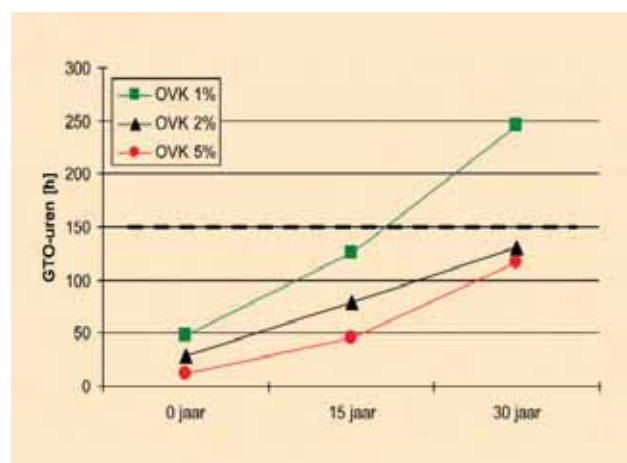
Maximale koellast W+-scenario, hele verdieping, W+ scenario.

- FIGUUR 10 -



Overschrijdingsuren van comforttemperatuur 25 °C, vertrek 8, toekomstige klimaatbestanden W+.

- FIGUUR 11 -



Gewogen temperatuuroverschrijding, vertrek 8, toekomstige klimaatbestanden W+.

- FIGUUR 12 -

liggen de waarden resp. 5,1; 4,7 en 9,7 maal zo hoog. Wat opvalt, is dat de stijging niet strikt lineair verloopt, maar dat bij 15 jaar een knik in de lijn zit, die soms naar boven en soms naar beneden buigt.

### Robuustheid

De robuustheid van een klimatiseringsconcept is gedefinieerd als het vermogen om te voldoen aan de gewenste prestatie-eisen, ook als de gebruikscondities verschillen van de ontwerpcondities. Om de prestaties van het klimatiseringsconcept 'topkoeling' te kunnen vergelijken onder de condities van de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden en de toekomstige klimaatbestanden, is onderstaande aanpak gevolgd. Eerst zijn de prestatie-indicatoren 'overschrijdingsuren van 25 °C' en 'gewogen temperatuuroverschrijding' bekeken. Hierbij zijn de gebruikelijke criteria gehanteerd: een maximum van 100 uur dat 25 °C overschreden mag worden en een maximaal aantal gewogen overschrijdingsuren van 150. In figuur 11 en 12 is te zien, dat beide criteria niet tot dezelfde conclusie leiden. Voor het W+-scenario wordt al na 15 jaar voor geen van de drie

beschouwde bestanden meer aan het criterium voor TO-uren voldaan. Het criterium voor GTO-uren wordt echter pas na 30 jaar uitsluitend door het 1 %-bestand overschreden. Dit verschil komt overeen met de conclusie in ISSO publicatie 74 [5], dat de GTO-eis voor zware gebouwen met koeling minder streng is dan de TO-eis.

Daarna is de maximale koellast beoordeeld. Wanneer de resultaten van de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden en van de bestanden met de verschillende klimaatscenario's worden vergeleken, blijken de overschrijdingsuren en het energiegebruik beide toe te nemen. Om een goede vergelijking te kunnen maken moet één van beide gelijk worden gehouden. Er is gekozen voor de GTO-uren. Door verhoging van het ventilatievoud in de kantoren is het aantal GTO-uren teruggebracht tot het niveau van het originele bestand. De maximale koelenergie die hiervoor nodig is, wordt vervolgens vergeleken. In tabel 1 is als voorbeeld het 1 %-bestand en het W+-scenario weergegeven.

Het ventilatievoud in de kantoren moet worden verhoogd van 4 naar 6,7 (167,5 %) om de GTO-uren in het vertrek (regelvertrek) te verlagen van

246 naar 48. De maximale koellast stijgt daarmee tot 92,2 kW ten opzichte van 54,7 kW voor het originele bestand, een stijging met 69 %. Bij het dimensioneren van een installatie wordt uitgegaan van de maximaal benodigde koellast en wordt daarop een marge gehanteerd. In de praktijk wordt daarvoor vaak 10-25 % genomen terwijl in dit geval 69 % nodig is. De hoge ventilatievoud eist ook een groter vloeroppervlak voor de luchtbehandelinginstallatie in de techniekruimte. Bijkomend nadeel is, dat een hoog ventilatievoud van 6,7 in de praktijk het risico op comfortklachten verhoogt door te hoge luchtsnelheden van de toevoerlucht.

### CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

#### Conclusies

In de norm NEN 5060:2008 (ontw.) worden drie klimaatbestanden gepresenteerd voor de bepaling van comfort-indicatoren zoals overschrijdingsuren. Dit roept de vraag op hoe deze presteren bij toepassing op een case studie. De bestanden zijn vervolgens gecombineerd met de KNMI '06-klimaatveranderingsscenario's om een indruk te krijgen hoe het gebouw presteert onder toekomstige condities. De bestudeerde case is een kantoorgebouw, geklimatiseerd met een topkoeling-systeem. De prestatie tijdens de zomerperiode wordt bekeken.

#### Originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden

- De totale energievraag voor koeling berekend met het klimaatbestand 'De Bilt 64/65', komt goed overeen met de resultaten voor het NEN

klimaat-bestand	ventilatie- voud [h <sup>-1</sup> ]	GTO-uren [h]	Maximale koellast [kW]
NEN 5060:2008 (ontw.), origineel, 1 %	4	48	54,7
W+-scenario, 30 jaar, 1 %	4	246	60,4
W+-scenario, 30 jaar, 1 %	6,7	48	92,2

Vergelijking van prestatie-indicatoren, 1 %-bestand en W+-scenario.

- TABEL 1 -



5060:2008 (ontw.)-energiebestand. Het verschil is kleiner dan 2 %. De extremere klimaatbestanden met een overschrijdingskans van 5 %, 2 % en 1 % geven veel hogere waarden, tegenover het referentiejaar 64/65, met een toename van resp. 42 %, 53 % en 65 %.

- De resultaten voor de maximale koellast liggen dicht bij elkaar. Ten opzichte van het referentiebestand 'De Bilt 64/65' liggen de andere resultaten binnen een range van 10 % naar boven en naar beneden. Daarbij komt het 2 %-bestand overeen met 'De Bilt 64/65'.
- De verwachting is, dat de beoordeling van het comfort volgens NEN 5060:2008 (ontw.) met het 1 %-bestand strenger is dan een beoordeling met het 2 %-bestand en deze weer strenger dan het 5 %-bestand. Dit blijkt niet altijd zo te zijn. De resultaten laten zien dat er een afhankelijkheid bestaat tussen de klimaatbestanden, het type vertrek en de gekozen comfort-indicator. Een ruimte met een hoge thermische massa en matige warmtelast door zoninstraling (zoals vertrek 5) presteert volgens verwachting. De TO - uren en de GTO - uren stijgen met dalende kans op overschrijding van de buitentemperatuur. Echter, in ruimtes met een lage thermische massa en hoge warmtelasten door zoninstraling (zoals vertrek 8) worden voor het 2 %-bestand lagere waarden gevonden voor de TO-uren dan voor het 5 %-bestand. Bij toepassing van GTO-uren als comfort-indicator volgen de vertrekprestaties de verwachtingen.

#### **Toekomstige klimaatbestanden**

- De fenomenen die optreden bij de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden en hiervoor zijn besproken, worden ook bij de toekomstige klimaatbestanden waargenomen.
- Volgens verwachting worden de waarden voor het totale energiegebruik hoger als je verder in de tijd vooruit kijkt (15 of 30 jaar) en als het klimaatscenario extremer wordt. Het G+ en het W-scenario liggen dicht bij elkaar, maar het W-scenario blijkt een iets hogere waarde te geven.
- De waarden voor de maximale koellast worden hoger als je verder vooruit kijkt in de tijd en ook worden


hogere waarden gevonden voor extremere klimaatscenario's. Bij de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden geeft het 1 %-bestand hogere waarden dan het 2 %-bestand en ligt het 5 %-bestand hier weer onder, zoals verwacht. Na 30 jaar blijkt het 5 %-bestand echter de grootste stijging te krijgen, zodat hier de hoogste waarde wordt gevonden, gevolgd door het 2 %-bestand. Het 1 %-bestand heeft dan de laagste waarde.

- Voor de comfort-indicatoren (TO en GTO) geldt ook, dat de waarden hoger liggen als je verder vooruit kijkt in de tijd of het klimaatscenario extremer wordt. Daarnaast blijven de onderlinge verhoudingen tussen het 5 %, 2 % en 1 %-bestand hetzelfde als voor de originele NEN 5060:2008 (ontw.)-bestanden.

#### **Robuustheid**

- Uit de analyse van de simulatieresultaten blijkt dat het topkoeling-concept een kritisch klimatiseringsconcept is voor klimaatverandering. Bij het W+-scenario is een 69 % hogere maximale koellast nodig om na 30 jaar een vergelijkbaar comfort voor het 1 %-bestand tegenover het referentiebestand te bereiken. In de praktijk worden marges van een dergelijke omvang niet in het ontwerp meegenomen.

#### **Aanbevelingen voor verder onderzoek**

- In dit artikel wordt alleen het koel-seizoen bekeken. Meer aandacht moet worden besteed om de invloed van de nieuwe klimaatbestanden op de gebouwprestatie tijdens de winter en tijdens het overgangsseizoen te bepalen.
- Hier zijn traditionele prestatie eisen (100 TO-uren en 150-GTO-uren) gebruikt voor het vaststellen van de robuustheid van het systeem. Meer werk is nodig om te evalueren of deze prestatie eisen voor de nieuwe klimaatbestanden toepasselijk zijn. 

#### **REFERENTIES**

1. Ontwerp NEN 5060:2008 *Hygrothermische Eigenschappen Van Gebouwen – Referentieklimaatgegevens*. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI).

2. Seiders, D., Ahluwalia, G., Melman, S., Quint, R., Chaluvadi, A., Liang, M., Silverberg, A. & Bechler, C. (2007) *Study Of Life Expectancy Of Home Components*. In Jackson, J. (Ed.), National Association Of Home Builders, Bank Of America Home Equity.
3. Weele, A. M. van (2005). *Rotterdam, Instituut Voor Studie En Stimulering Van Onderzoek Op Het Gebied Van Gebouwinstallaties (ISSO)*.
4. ISO (2005) NEN-EN-ISO 15927 *Hygrothermal Performance of Buildings – Calculation And Presentation Of Climatic Data – Part 4: Hourly Data For Assessing The Annual Energy Use For Heating And Cooling*. International Organization For Standardization (ISO).
5. ISSO (2004) ISSO Publicatie 74: *Thermische Behaaglijkheid - Eisen Voor De Binnentemperatuur In Gebouwen*. Rotterdam, Instituut Voor Studie En Stimulering Van Onderzoek Op Het Gebied Van Gebouwinstallaties (ISSO).
6. [www.knmi.nl/klimaatscenario](http://www.knmi.nl/klimaatscenario), last accessed 24 July 2008
7. Schijndel, H. M. & Zeiler, W. (2006) *Referentiejaar Bij Gebouwsimulaties*. Nederlands Technische Vereniging Voor Installaties In Gebouwen (TVVL). Oktober 2006 Ed.
8. <http://www.knmi.nl/klimaatscenario/knmi06/intro/index.html>, last accessed 24 July 2008
9. KNMI (2008) KNMI' 06 *Toelichting Getransformeerde Tijdreeksen*. De Bilt, Netherlands, Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI).
10. Hong, T. & Jiang, Y. (1995) *Stochastic Weather Model For Building HVAC Systems*. Building And Environment, 30, 521-532.
11. Haarhoff, J. & Mathews, E. H. (2006) *A Monte Carlo Method For Thermal Building Simulation*. *Energy And Buildings*, 38, 1395-1399.

#### **GEBOUWSIMULATIEPROGRAMMA**

12. VA114, *Vabi Software BV*, Delft, [www.vabi.nl](http://www.vabi.nl)



## BIJLAGE A: BESCHRIJVING MODEL

Algemeen	
Gebruikswijze gebouw en teluren:	maandag t/m vrijdag 8.00 uur – 17.00 uur
Zomer:	1 april t/m 31 oktober (214 dagen)
Winter:	1 november t/m 31 maart (151 dagen)
1 januari 1964-1965:	1 jan 1964 = woensdag; 1 jan 1965 = vrijdag
1 januari andere klimaatbestanden:	maandag
Setpoints verwarming:	kantoren: 20 °C dag, 16 °C nacht
	centrale kern: 18 °C dag, 16 °C nacht
Infiltratie:	kantoren: 0,1 h <sup>-1</sup>
	centrale kern: 0 h <sup>-1</sup>

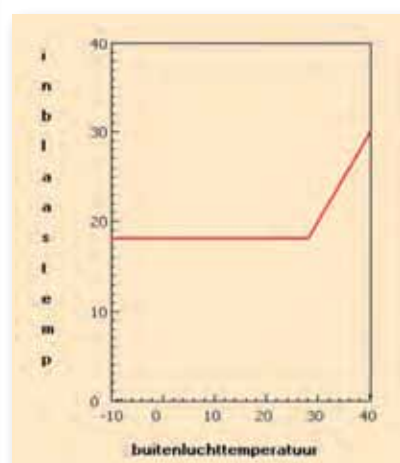
Interne warmteproductie	
Armaturen:	12 W/m <sup>2</sup>
	convectief deel: 0,68
	gebruiksperiode: maandag t/m vrijdag 8.00 uur – 18.00 uur
	afzuiging via plenum
	niet schakelend
Personen:	8 W/m <sup>2</sup>
	convectief deel 0,5
	gebruiksperiode: maandag t/m vrijdag 8.00 uur – 17.00 uur
	voelbaar deel 100 %
	alleen kantoren
Apparaten:	15 W/m <sup>2</sup>
	convectief deel 1,0
	gebruiksperiode: maandag t/m vrijdag 8.00 uur – 17.00 uur
	voelbaar deel 100 %
	alleen kantoren

Constructie-opbouw
Dikte (d) mm
Warmtegeleidingscoëfficiënt ( $\lambda$ )
W/m.K
Dichtheid ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>
Soortelijke warmte (c) J/kg.K
Dampdiffusieweerstandsgetal ( $\mu$ )

Bijlage bij tabel MATERIAAL.

Beglazing
Warmtedoorgangscoefficiënt (U)
W/m <sup>2</sup> .K
Lichttoetredingsfactor (LTA) -
Zontoetredingsfactor (ZTA) -

Bijlage bij tabel NAAM, OPP %, ETC.



Stoeklijn lucht.

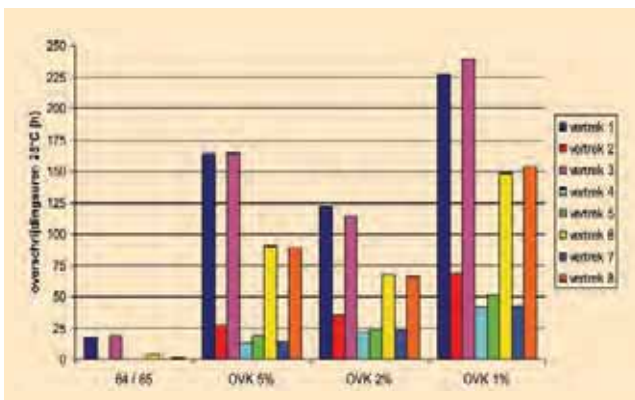
- BIJLAGE A - FIGUUR 1 -

Materiaal	d	$\lambda$	$\rho$	c	$\mu$
<b>Vloeren:</b>					
afwerklaag	10	1,3	2.000	840	20
grindbeton verdicht gewapend binnen	200	1,9	2.500	840	28
spouw horizontaal	470	0,182	1	1.000	1
plafond	20	0,04	35	840	2
<b>Gevel:</b>					
grindbeton verdicht ongewapend binnen	200	1,7	2.400	840	28
minerale wol	100	0,035	35	840	2
spouw verticaal	38	0,169	1	1.000	1
gevelklinker buiten	12	1,3	2.100	840	13
<b>Betonnen kern:</b>					
grindbeton verdicht gewapend binnen	200	1,9	2.500	840	28
<b>Systeemwanden:</b>					
gipsplaat	12	0,23	800	840	6
minerale wol	46	0,035	35	840	2
gipsplaat	12	0,23	800	840	6

Naam	Opp %	aantal glasl.	U	ZTA	LTA	noord	overig
SKN165 (Saint Gobain Cool-lite)	27	2	1,1	0,30	0,60	geen overstek	1,10 m overstek

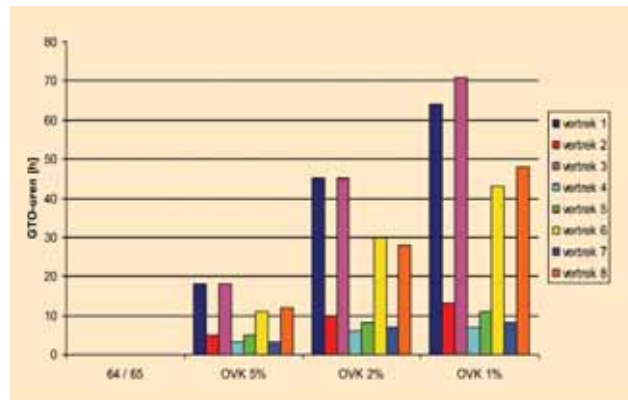
Installatie	
Luchtdebiet zomer:	7.490 m <sup>3</sup> /h (kantoren 4-voudig, centrale kern 2-voudig)
Luchtdebiet winter:	4.200 m <sup>3</sup> /h (2-voudig)
Dagbedrijf:	maandag t/m vrijdag 8.00 uur – 18.00 uur
Voorwaarden nachtcooling:	Aan: $T_{\text{binnen}} > 24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ Uit: $T_{\text{binnen}} < 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ of $T_{\text{buiten}} < 14 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{binnen}} - T_{\text{buiten}} > 3\text{K}$
Verwarmingsbatterij:	vermogen 99.999 kW aanvoer 90 °C (water) retour 70 °C (water) ingang luchttemperatuur 0 °C uitgang luchttemperatuur 16 °C
Koelbatterij:	vermogen 99.999 kW aanvoer 6 °C (water) retour 12 °C (water) ingang luchttemperatuur 28 °C, RV 55 % uitgang luchttemperatuur 16 °C, RV 90 %
Radiatoren:	vermogen 9.999 W aanvoer 90 °C retour 70 °C convectie 70 %
Warmteterugwinning:	keramisch warmtewiel rendement 0,7
Stooklijn lucht:	als $T_{\text{buiten}} < 28 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{\text{inblaas}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$ als $T_{\text{buiten}} > 28 \text{ }^{\circ}\text{C} \rightarrow T_{\text{inblaas}} = T_{\text{buiten}} - 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ opwarming kanalen ed. 2 °C

## BIJLAGE B: Overschrijdingsuren voor alle vertrekken



Overschrijdingsuren van comforttemperatuur 25 °C, originele NEN 5060:2008 (ontw.-)bestanden, alle vertrekken.

- BIJLAGE B - FIGUUR 1 -



Gewogen temperatuuroverschrijdingsuren, originele NEN 5060:2008 (ontw.-)bestanden, alle vertrekken.

- BIJLAGE B - FIGUUR 2 -