

Mw.ir. J.E.J. (Janneke) Verkerk-Evers, TU Eindhoven, Adviesburo Nieman BV
Dipl.-Ing. C. (Christian) Struck (FH), TU Eindhoven
Ir. R.A.P. (Ruud) van Herpen, Adviesburo Nieman BV
Prof.dr.ir. J.L.M. (Jan) Hensen, TU Eindhoven
Ir. A.J.Th.M. (Aad) Wijsman, VABI Software BV
Ir. W. (Wim) Plokker, VABI Software BV

ROBUUSTHEID VOOR KLIMAATVARIATIES een vergelijking van klimatiseringsconcepten met behulp van gebouwsimulatie

Bij het ontwerpen van gebouwen worden beslissingen vaak gebaseerd op gegevens uit het verleden. Het risico bestaat dan dat het gebouw niet aan de verwachtingen kan voldoen als de omstandigheden veranderen, oftewel dat het ontwerp niet "robuust" is. In dit onderzoek wordt een methode voorgesteld om de robuustheid voor variaties in het buitenklimaat te beoordelen m.b.v. gebouwprestatiesimulatie. In een case studie worden drie verschillende klimatiseringsconcepten met elkaar vergeleken: topkoeling met radiatoren, traditionele 4p-fancoilunits en vloerkoeling / -verwarming. Hiervoor worden nieuw ontwikkelde klimaatbestanden gebruikt, gebaseerd op de norm NEN 5060:2008 en de toekomstscenario's voor klimaatverandering van het KNMI.

ONDERZOEKSOPZET

Bij het ontwerpen van gebouwen wordt steeds meer gebruik gemaakt van gebouwsimulatieprogramma's om prestaties op het gebied van comfort en energiegebruik te voorspellen. Het buitenklimaat wordt in deze programma's meestal gerepresenteerd door klimaatbestanden met uurlijkse waarden voor de relevante weerparameters, gebaseerd op gemeten gegevens uit het verleden. De historische gegevens van De Bilt voor de periode 1 april 1964 t/m 31 maart 1965, hierna 'De Bilt 64-65' genoemd, worden bijvoorbeeld in de praktijk gebruikt als standaard voor een gemiddeld jaar.

Men gaat ervan uit dat een ontworpen klimaatinstallatie 15 tot 30 jaar zal blijven functioneren. De verwachte levensduur van de gebouwconstructie is nog veel langer. Het risico bestaat echter, dat een installatie die is ontworpen en gedimensioneerd op basis van gegevens uit het verleden niet aan de verwachtingen kan blijven voldoen onder veranderende omstandigheden in de toekomst.

Het vermogen van een gebouw of gebouwconcept om aan de gewenste prestatie-eisen te voldoen, ook als de gebruikscondities verschillen van de ontwerpcondities, wordt de "robuustheid" genoemd. In deze studie wordt onderzocht op welke manier de robuustheid voor klimaatvariaties beoordeeld kan worden. Er wordt daarbij gebruik gemaakt van de nieuwe norm NEN 5060:2008 [1], die 'De Bilt 64-65' als referentiebestand moet gaan vervangen, en de toekomstscenario's voor klimaatverandering van het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) [2].

Om de gebouwprestaties onder toekomstige klimaatomstandigheden te voorspellen zijn nieuwe klimaatbestanden ontwikkeld. Daarbij zijn de klimaatscenario's van het KNMI toegepast op de referentie-klimaatbestanden van NEN 5060:2008. Ze worden gebruikt in de studie van een tussenverdieping van een kantoorgebouw, die bestaat uit acht vertrekken en een centrale kern (zie fig. 1 en 2). De verdieping wordt geklimatiseerd met behulp van drie verschillende klimatiseringsconcepten: topkoeling met radiatoren, traditionele 4-pijps fancoilunits en vloerkoeling/ -verwarming. De prestaties van deze concepten worden geëvalueerd met behulp van gebouwsimulaties met het programma VA114 van Vabi Software BV [3].



Fig. 1: Kantoorgebouw 'La Tour' in Apeldoorn

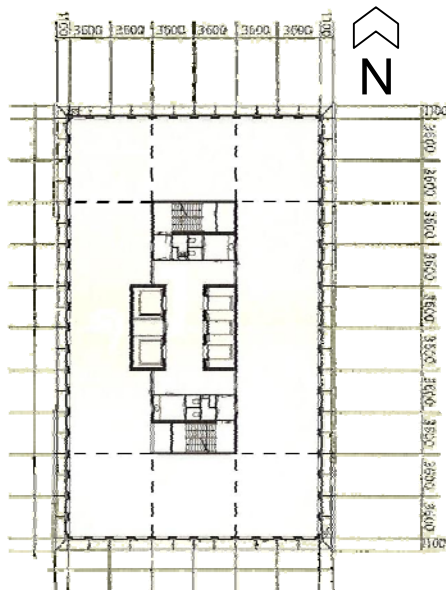


Fig. 2: Plattegrond (vertrekhoogte: 3,4 m)

Het klimaatbestand 'De Bilt 64/65' wordt gebruikt als referentiebestand. In deze studie wordt alleen de zomer (het koelseizoen) gesimuleerd, omdat dit de meest kritische periode lijkt voor de prestaties in de toekomst. In overeenstemming met het koelseizoen volgens NEN 5060:2008 wordt hiervoor de periode april t/m oktober aangehouden. Als prestatie-indicatoren voor het thermische comfort worden het aantal overschrijdingsuren (TO) van comforttemperatuur 25°C, de gewogen temperatuuroverschrijdingsuren (GTO) en de Adaptieve Temperatuur Grenzen (ATG) behorende bij klasse B gebruikt en daarnaast wordt de totale afgegeven koelenergie bekeken.

Vanwege de recente verschijningsdatum van de norm NEN 5060:2008 zijn er nauwelijks ervaringen bekend met deze klimaatbestanden. Daarom worden eerst de gebouwprestaties bij gebruik van het oude klimaatbestand 'De Bilt 64/65' vergeleken met de nieuwe NEN 5060-klimaatbestanden. Daarna worden de resultaten voor de KNMI toekomstscenario's besproken.

GEBRUIKTE KLIMAATBESTANDEN

NEN 5060:2008

Begin 2008 is de nieuwe versie van NEN 5060 gepubliceerd. Deze norm is een update van de tot op heden gebruikte referentie-klimaatjaren voor de voorspelling van energiegebruik en comfort. De norm maakt gebruik van statistische procedures uit de internationale normenreeks NEN-EN-ISO 15927 [4], die worden toegepast op 20 jaar historische weergegevens (1986-2005) van het meetstation De Bilt. Uit deze gegevens worden 12 losse maanden geselecteerd die samen een referentiebestand vormen. De referentie-klimaatgegevens worden over vijf jaar weer herzien en zo nodig vernieuwd.

Er zijn vier verschillende referentiebestanden. Het eerste bestand is bedoeld voor het maken van energieberekeningen, zoals de energieprestatiecoëfficiënt (EPC), en representeert een gemiddeld jaar. De overige drie bestanden bevatten meer extremen en zijn bedoeld voor simulatieberekeningen, zoals de voorspelling van het thermische comfort. In NEN-EN-ISO 15927 ontbreekt een methode om klimaatbestanden voor comfortberekeningen te genereren. Daarom wordt een selectiemethode voor ontwerpdagen (voor de bepaling van koellast en warmtevermogen) toegepast.

Er wordt een frequentieverdeling opgesteld van vijfdagse gemiddelde temperaturen. Op basis daarvan worden de maanden gekozen, behorende bij de 5%, 2% resp. 1% overschrijdingskansen voor het koelseizoen of onderscheidingskansen voor het stookseizoen. De geselecteerde maanden worden samengevoegd tot het referentiebestand met resp. 5%, 2% of 1% over-/ onderschrijdingskansen. Dit betekent dat het 1%-bestand de meest extreme waarden bevat, gevolgd door het 2% en daarna het 5%-bestand. In figuur 3 zijn ter illustratie de maandgemiddelde temperaturen voor de vier bestanden weergegeven.

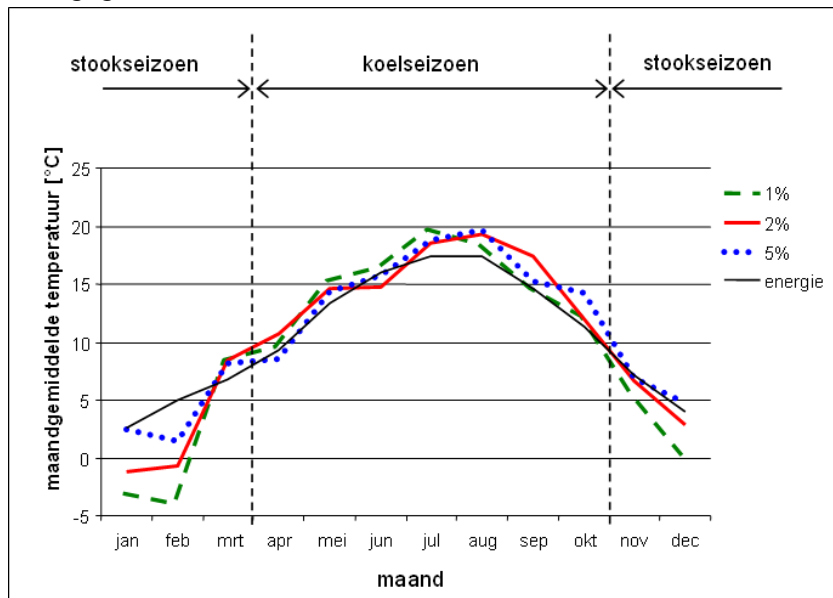
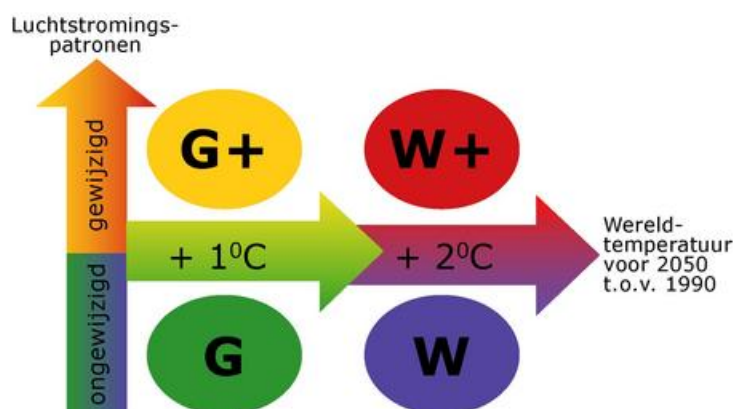


Fig. 3: Vergelijking van maandgemiddelde temperaturen voor de vier klimaatbestanden uit NEN 5060:2008

Toekomstscenario's van het KNMI

Door het KNMI zijn toekomstscenario's opgesteld voor de klimaatverandering. In Nederland wordt deze vooral beïnvloed door een wereldwijde temperatuurstijging en door veranderingen in de luchtstromingspatronen boven West-Europa. De indeling van de scenario's is daarom op deze twee aspecten gebaseerd (zie fig. 4). Er wordt onderscheid gemaakt in een wereldwijde temperatuurstijging van 1°C of 2°C in de periode van 1990

tot 2050. Het gematigde scenario (G) staat voor een temperatuurstijging van 1°C en het warme scenario (W) voor een stijging van 2°C.



Code	Toelichting
G	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 t.o.v. 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen West-Europa
G+	1°C temperatuurstijging op aarde in 2050 t.o.v. 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind
W	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 t.o.v. 1990 geen verandering in luchtstromingspatronen West-Europa
W+	2°C temperatuurstijging op aarde in 2050 t.o.v. 1990 + winters zachter en natter door meer westenwind + zomers warmer en droger door meer oostenwind

Fig. 4: Schematische weergave van klimaatscenario's KNMI en toelichting

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 onderzoek als gelijkwaardig beschouwd.

Nieuw ontwikkelde klimaatbestanden

In een samenwerking tussen de Technische Universiteit Eindhoven en Vabi Software BV zijn de toekomstscenario's van het KNMI toegepast op de vier referentiebestanden van NEN 5060:2008. Er is hierbij gebruik gemaakt van klimaatgegevens die beschikbaar worden gesteld op de website van het KNMI [2]. Alleen temperatuursveranderingen worden meegenomen. De overige weerparameters (zoals zonnestraling) worden gelijk gehouden, conform de verwachtingen van het KNMI. De bestanden geven de toekomstverwachtingen over 30 jaar weer, volgens de vier klimaatscenario's. Daarnaast zijn bestanden met een tijdpad van 15 jaar gemaakt door lineair te interpoleren. Er worden dus drie tijdstappen beschouwd: nu (de originele NEN 5060-bestanden), over 15

jaar en over 30 jaar. De nieuwe klimaatbestanden worden in dit onderzoek "klimaatbestanden voor de toekomst" genoemd.

PRESTATIE-INDICATOREN

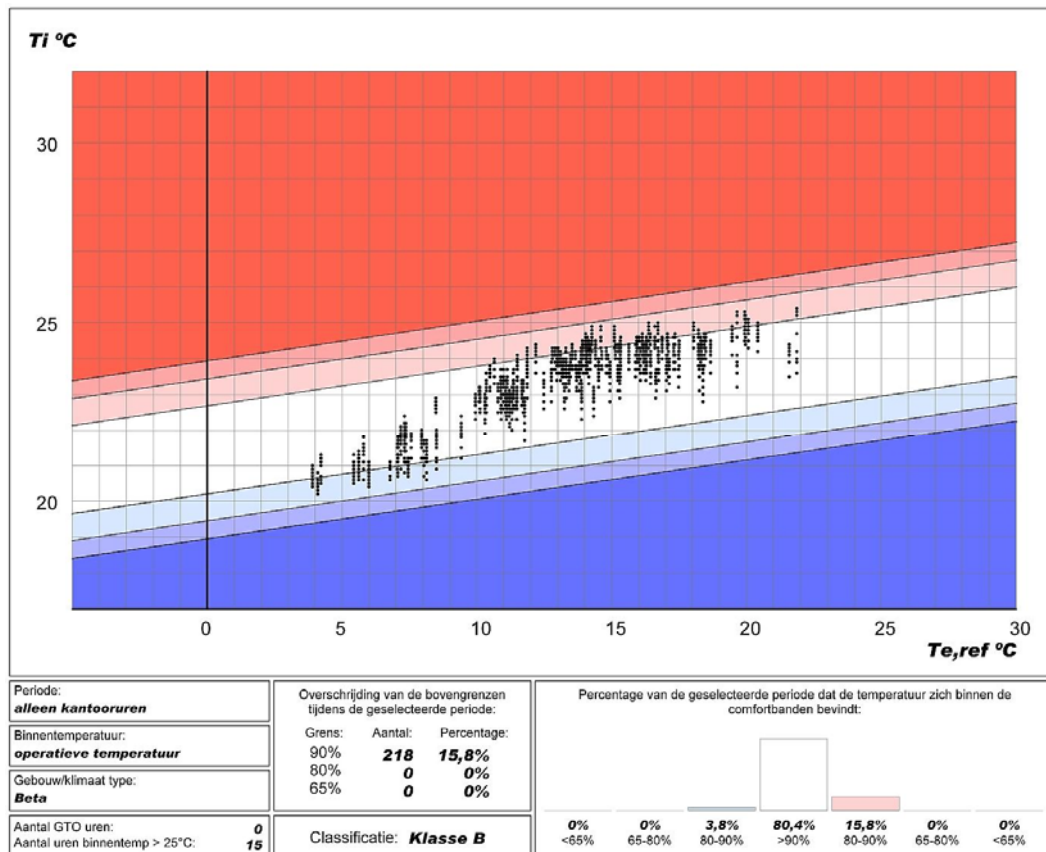
Thermisch comfort

In het afstudeeronderzoek worden drie verschillende prestatie-indicatoren voor thermisch comfort gebruikt: TO, GTO en ATG. De eerste twee zijn afkomstig uit richtlijnen van de Rijksgebouwendienst (Rgd) en worden veel gebruikt in de adviespraktijk. De derde is recent ontwikkeld op basis van nieuwe inzichten. Ze worden hier kort besproken (voor meer informatie zie [5]).

In de jaren '70 van de vorige eeuw werden door de Rgd in Nederland de eerste richtlijnen voor het thermische binnenklimaat in de zomer opgesteld. Gebaseerd op het werk van Fanger kwam men tot de volgende richtlijnen voor temperatuuroverschrijdingen (TO): een temperatuur van 25°C mag gedurende maximaal 100 uur van de arbeidstijd worden overschreden en een temperatuur van 28°C gedurende maximaal 20 uur, waarbij als referentiebestand 'De Bilt 64-65' wordt gebruikt.

Na verloop van tijd bleek bij een gelijk aantal overschrijdingsuren de thermische behaaglijkheid in een, thermisch gezien, licht gebouw over het algemeen slechter te zijn dan in een thermisch zwaar gebouw. Dit heeft geleid tot een nieuw criterium, gebaseerd op Gewogen Temperatuur Overschrijdingsuren (GTO). In de GTO-beoordelingsmethode worden niet alleen de uren geteld dat een bepaalde grens wordt overschreden, maar wordt ook de mate van overschrijding meegenomen. Het criterium voor een goed binnenklimaat is vastgesteld op 150 GTO-uren.

Gebaseerd op het werk van De Dear en Brager is sinds kort een nieuwe comfort-indicator beschikbaar, de Adaptieve Temperatuur Grenzen (ATG). Hierbij wordt de psychologische adaptatie meegenomen die vooral optreedt in gebouwen met te openen ramen en een grote individuele beïnvloedbaarheid van het binnenklimaat door de gebruiker. Bij langere perioden met hoge buitentemperaturen vindt de gebruiker ook hogere binnentemperaturen acceptabel. In figuur 5 is te zien, dat de grenzen voor een acceptabele binnentemperatuur oplopen met een hogere referentie-buitemperatuur ($T_{e,ref}$). De drie kwaliteitsklassen A, B en C geven een acceptatie van het binnenklimaat door de gebruiker van resp. 90%, 80% en 65%, waarbij klasse B de standaard voor nieuwbouw is. Om te voldoen aan een klasse mogen géén overschrijdingen van de grenzen plaatsvinden. Er wordt een onderscheid gemaakt in alpha- en bèta-gebouwen naar de beïnvloedbaarheid van het binnenklimaat door de gebruiker.



$$T_{e,ref} = \frac{T_{vandaag} + 0,8 \cdot T_{gisteren} + 0,4 \cdot T_{eergisteren} + 0,2 \cdot T_{eer-eergisteren}}{2,4}$$

Fig. 5: Grafische weergave van de adaptieve temperatuurgrenzen (ATG) voor een bèta-type gebouw.

Energiegebruik

Het simulatieprogramma VA114 is ontwikkeld voor het voorspellen van thermisch comfort in gebouwen. Daarnaast berekent het programma ook de hoeveelheid energie die nodig is om dit comfortniveau te bereiken, de 'totale afgegeven verwarmings- of koelenergie'. Strikt genomen is het energiegebruik dan ook geen prestatie-indicator, maar geeft het de 'kosten' weer om een bepaalde comfortprestatie te realiseren.

De waarde die het programma bepaalt, geeft een beperkt beeld van het totale energiegebruik. Distributieverliezen en opwekkingsrendement worden bijvoorbeeld niet meegenomen. Het is de hoeveelheid energie die door het transportmedium wordt afgegeven aan de ruimtelucht of aan de constructie. Het vergelijken van deze waarde voor de drie concepten kan daarom een vertekend beeld geven.

In dit onderzoek is ervoor gekozen om het energiegebruik volgens VA114 niet te gebruiken voor een vergelijking in absolute zin, maar uitsluitend voor een relatieve vergelijking. Dit betekent dat de 'totale afgegeven koelenergie' onder 'De Bilt 64-65' voor ieder klimatiseringsconcept afzonderlijk als referentie wordt genomen. De waarde bij de andere klimaatbestanden wordt uitgedrukt in een percentage boven of onder deze waarde.

CASE STUDIE

De gebruikte case is gebaseerd op het kantoorgebouw 'La tour' in Apeldoorn. Het gebouw bestaat uit vrij indeelbare kantoorverdiepingen met een centrale kern (zie fig. 1 en 2). 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 wand van 200 mm en de hoek- en tussenvertrekken zijn gescheiden door lichte systeemwanden. In de gevel is een glaspercentage aanwezig van 20% met een lage transmissiefactor ($ZTA = 0,30$) en de oost-, zuid- en westgevel zijn voorzien van een overstek.

Tijdens de gebruiksperiode is de setpoint voor de kantoren en de kern 24°C . Omdat in deze studie alleen de koelperiode wordt bekeken, is het verwarmingsgedeelte van de installaties buiten beschouwing gelaten. Het heeft een capaciteit van 'nul' gekregen om te voorkomen dat onder bepaalde condities, in bijvoorbeeld de overgangsseizoenen, de koeling en verwarming elkaar gaan tegenwerken.

Vanwege de hoogte van het gebouw vindt de ventilatie van de kantoren mechanisch plaats. Alleen bij het topkoelingsconcept wordt de lucht centraal gekoeld vóór deze wordt ingeblazen. Tijdens de nachten voorafgaand aan een werkdag vindt viervoudige voorwaardelijke nachtkoeling plaats.

Concept 1: topkoeling

Het eerste klimatiseringsconcept dat wordt toegepast, is gebaseerd op de wijze waarop het werkelijke gebouw wordt geklimatiseerd: topkoeling met radiatoren. Dat houdt in, dat de 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. De inblaastemperatuur van de lucht is constant 18°C tot een buitenluchttemperatuur hoger dan 28°C . Daarboven gaat de inblaastemperatuur mee oplopen, zodat het verschil tussen buitenluchttemperatuur en inblaastemperatuur nooit meer dan 10°C bedraagt (zie fig. 6).

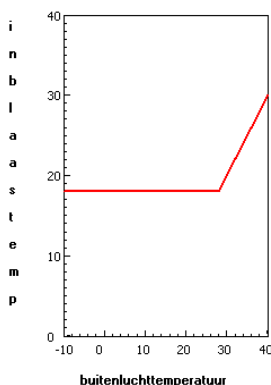


Fig. 6: De relatie tussen buitenluchttemperatuur en inblaastemperatuur bij topkoeling

Concept 2: 4p-fancoil

Het tweede klimatiseringsconcept betreft traditionele 'airconditioning'. In ieder afzonderlijk vertrek is een vierpijps-fancoilunit geplaatst, ook wel ventilator-convectoren genoemd. Het apparaat zet de lucht in beweging en geeft warmte of koude af aan de lucht. Een vierpijps-systeem heeft, in tegenstelling tot een tweepijps-systeem, voor verwarmen en koelen apart een aanvoer en retour. Als temperatuur van het aanvoerwater wordt bij koeling 6°C aangehouden.

Concept 3: vloerkoeling

Het derde klimatiseringsconcept dat wordt toegepast is vloerkoeling en –verwarming. Het is een systeem waarbij in de dekvloer buizen zijn aangebracht, waardoor water stroomt met een bepaalde temperatuur en zo de ruimte wordt gekoeld of verwarmd. De temperatuur van het water ligt doorgaans dichterbij de ruimtetemperatuur dan bij traditionele koeling of verwarming (bij koeling bijvoorbeeld 17°C). Dit heeft een aantal voordelen zoals lagere distributieverliezen en de mogelijkheid voor het gebruik van regeneratieve energiebronnen als warmtepompen en warmte- en koudeopslag. Nadelen van het systeem zijn, dat het traag reageert op veranderingen van de omgevingstemperatuur.

BESPREKING NEN 5060:2008

In de simulatieresultaten met de klimaatbestanden van NEN 5060:2008 treden enkele fenomenen op die niet overeenkomen met de verwachtingen. Hier volgt een korte bespreking van zaken die optreden en mogelijke oorzaken. (Zie referenties [6] en [7] voor meer informatie.)

Voor simulatieberekeningen zoals de voorspelling van het thermische comfort zijn drie bestanden beschikbaar met een over-/ onderschrijdingskans van resp. 1%, 2% en 5%, waarvan het 1%-bestand, volgens de definitie, de meest extreme waarden bevat en het 5%-bestand de minst extreme waarden. Bij een klimaatbestand met meer extreme waarden, wordt een slechter thermisch comfort (meer overschrijdingsuren) en/of een hoger energiegebruik verwacht. De resultaten blijken daar echter niet voor iedere prestatie-indicator mee overeen te komen. In overeenstemming met de verwachtingen geeft het 1%-bestand het hoogste aantal overschrijdingsuren van ATG-klasse B, gevolgd door het 2%-bestand en daarna het 5%-bestand. Bij de comfort-indicator GTO-uren geven het 2%-bestand en het 5%-bestand echter vrijwel gelijke waarden en bij de TO-uren liggen de resultaten met het 5%-bestand zelfs boven het 2%-bestand.

De resultaten kunnen voor een gedeelte verklaard worden door de selectiemethode van de norm. De 'comfort'-bestanden worden namelijk uitsluitend samengesteld op basis van de klimaatgrootte temperatuur, terwijl zonnestraling ook een belangrijke invloed heeft op de prestaties van een gebouw. De gemiddelde zonnestralingsintensiteit op het horizontale vlak over de maanden juli en augustus (de maanden waarin de temperatuuroverschrijdingen plaatsvinden) is voor het 5%-bestand het hoogste, terwijl dit bestand de minst extreme waarden voor de buitenluchttemperatuur bevat. Ook het 2%-bestand bevat meer zonnestraling dan het 1%-bestand (zie fig. 7).

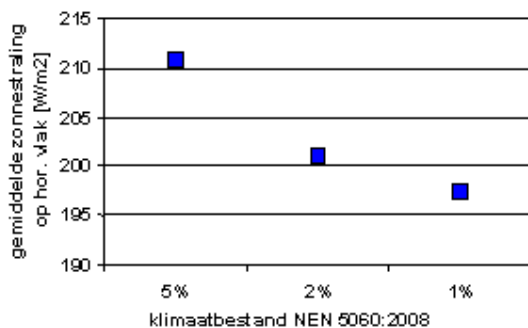


Fig. 7: Gemiddelde zonnestralingsintensiteit op het horizontale vlak in de maanden juli-augustus van de klimaatbestanden voor comfortberekeningen van NEN 5060:2008

Bij gebrek aan een methode voor het samenstellen van klimaatbestanden voor comfortberekeningen in de internationale normenreeks NEN-EN-ISO 15927, is in NEN 5060:2008 een methode toegepast, gebaseerd op de selectie van ontwerpdagen voor koellast- en warmtevermogen-berekeningen. In plaats van ontwerpdagen worden echter hele

maanden geselecteerd, die de 5%, 2% of 1% over-/ onderschrijdingskans het beste benaderen. Binnen een maand zijn veel meer variaties mogelijk dan binnen een dag, dus de kans is groter dat wordt afgeweken van de exacte over-/ onderschrijdingskans. In figuur 3 is te zien dat de maandgemiddelde temperaturen van de klimaatbestanden in volgorde wisselen.

De voorgaande punten geven aanwijzingen waarom de fenomenen optreden, maar geven nog geen verklaring voor de verschillen tussen de comfortindicatoren. Hiervoor is een verdere analyse van de specifieke bepalingsmethoden nodig in relatie tot de waarden in de klimaatbestanden. Wel is duidelijk dat voorzichtigheid geboden is bij de interpretatie van simulatieresultaten.

BESPREKING KNMI TOEKOMSTSCENARIO'S

De simulaties met de "klimaatbestanden voor de toekomst" laten een stijgende trend in de tijd zien, wat betreft overschrijdingsuren (fig. 8) en energiegebruik (fig. 9). Zoals verwacht is de stijging groter bij een meer extreem toekomstscenario. Het W-scenario geeft daarbij hogere waarden dan het G+-scenario. Het W-scenario na 15 jaar geeft een vergelijkbare waarde als het G-scenario na 30 jaar. Dit komt overeen met het feit dat de mondiale temperatuurstijging bij het W-scenario tweemaal zo hoog is als bij het G-scenario. Voor het W+-scenario geldt hetzelfde ten opzichte van het G+-scenario. Deze resultaten komen dus overeen met de verwachtingen.

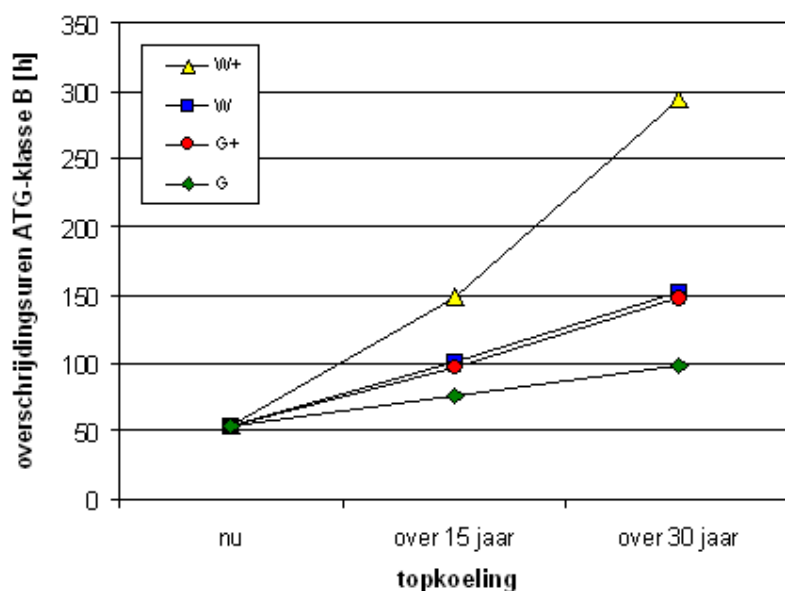


Fig. 8: Topkoelingsconcept: overschrijdingsuren van ATG-klasse B, NEN 5060:2008 klimaatbestand voor comfortberekeningen met 1% over-/ onderschrijdingskans, KNMI klimaatscenario's na 15 en na 30 jaar

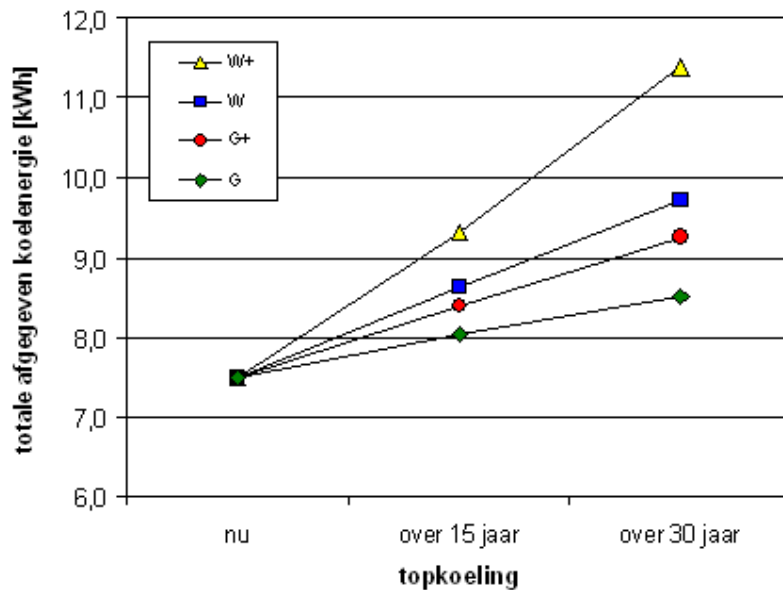


Fig. 9: Topkoelingsconcept: totale afgegeven koelenergie, NEN 5060:2008 klimaatbestand voor energieberekeningen, KNMI klimaatscenario's na 15 en na 30 jaar

ROBUUSTHEID

Om de klimatiseringsconcepten met elkaar te kunnen vergelijken worden ze gekalibreerd, zodat ze in de uitgangssituatie gelijk scoren op de comfort-indicatoren. Voor de uitgangssituatie wordt het tot op heden gebruikte klimaatbestand 'De Bilt 64-65' gebruikt. Het maximale vermogen van de installatie wordt beperkt, zodat exact aan de comfortcriteria van 100 TO-uren, 150 GTO-uren of ATG-klasse B wordt voldaan, wanneer de waarden van de acht vertrekken worden gemiddeld. Vervolgens worden simulaties uitgevoerd met de klimaatbestanden van NEN 5060:2008 en met de 'klimaatbestanden voor de toekomst', waarbij de spreiding in de resultaten een maat is voor de robuustheid van het klimatiseringsconcept.

De voorgestelde bepaling van de robuustheid komt overeen met de praktijk, waar ook de installatie wordt gedimensioneerd, zodat deze voldoet aan een bepaald comfort-criterium bij het referentie-klimaatbestand. Een nadeel van de voorgestelde methode is, dat bij simulatie met andere klimaatbestanden het thermische comfort en het energiegebruik beide wijzigen. Voor een simpele vergelijking zou één van beide gelijk moeten blijven. In deze studie is de beoordeling van het thermische comfort het hoofddoel. Het energiegebruik stelt de 'kosten' voor om dat comfortniveau te bereiken. In die zin wordt het energiegebruik vooral gebruikt om een beslissing te ondersteunen, wanneer twee klimatiseringsconcepten gelijk scoren wat betreft comfortprestatie.

In deze case studie blijkt het vloerkoeling-concept het meest robuust te zijn voor klimaatvariaties, wat betreft overschrijdingsuren van ATG-klasse B met het 1%-bestand van NEN 5060:2008 (fig. 10). Deze conclusie wordt ook getrokken op basis van de andere comfortindicatoren en de andere klimaatbestanden [7]. Tussen topkoeling en het 4p-fancoil-concept is het verschil klein en niet doorslaggevend. Wat betreft energiegebruik (fig. 11) is het topkoeling-concept echter veel minder robuust dan 4p-fancoilunits. Door combinatie van beide inzichten worden de klimatiseringsconcepten als volgt gerangschikt in volgorde van meest naar minst robuust:

1. vloerkoeling
2. 4p-fancoil

3. topkoeling

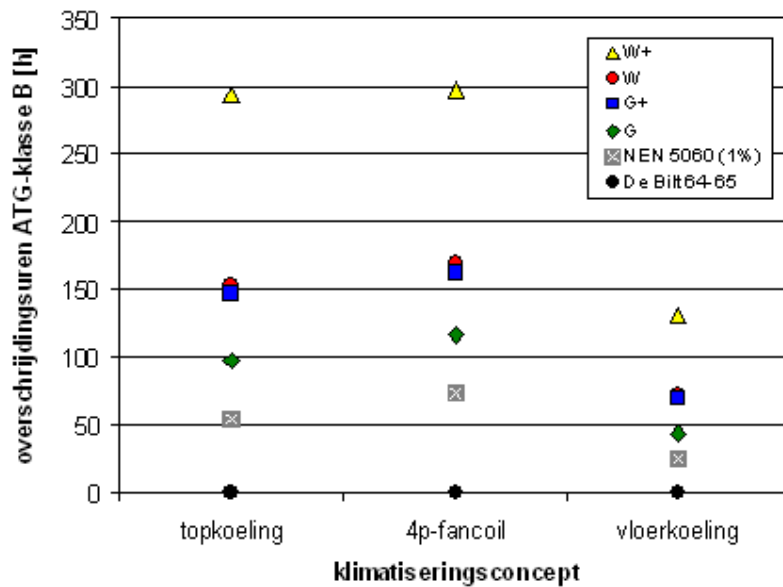


Fig. 10: Vergelijking van 3 klimatiseringsconcepten: overschrijdingsuren van ATG-klasse B, NEN 5060:2008 klimaatbestand voor comfortberekeningen met 1% over-/ onderschrijdingskans, KNMI klimaatscenario's na 30 jaar, referentie: 'De Bilt 64-65'

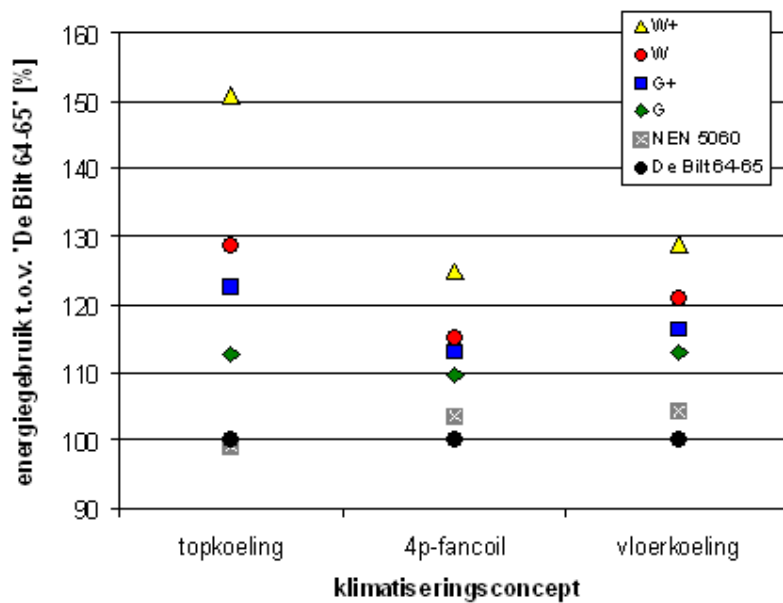


Fig. 11: Vergelijking van 3 klimatiseringsconcepten: totale afgegeven koelenergie, NEN 5060:2008 klimaatbestand voor energieberekeningen, KNMI klimaatscenario's na 30 jaar, referentie: 'De Bilt 64-65'

Het topkoeling-concept is het minst robuust. Het vermogen van de installatie kan verhoogd worden, maar er is een maximum gesteld aan de hoeveelheid lucht die kan worden ingeblazen in de vertrekken. Dit heeft te maken met het voorkomen van tochtklachten door te hoge lichtsnelheden. Een hoger vermogen verlaagt de temperatuur in de vertrekken niet meer, omdat er niet genoeg lucht beschikbaar is om de energie af te geven. Door het verlagen van de inblaasttemperatuur van de lucht kan

meer energie afgegeven worden, maar dit is niet wenselijk omdat het ook comfortklachten veroorzaakt.

Het vloerkoeling-concept is het meest robuust. Wanneer het systeem eenmaal is geïnstalleerd biedt het nog maar beperkte mogelijkheden voor aanpassing, omdat de constructieopbouw vastligt en de aanvoertemperatuur van het water binnen bepaalde grenzen moet blijven om condensatie en stralingsasymmetrie te voorkomen. Deze aanpassingen zijn echter niet snel nodig door de grote robuustheid van het systeem. Fancoilunits zijn het gemakkelijkst aan te passen. De capaciteit is vrij eenvoudig te verhogen door het bijplaatsen of vervangen van units. Het energiegebruik gaat hierbij echter omhoog.

REFERENTIES

- [1]: NEN 5060:2008 Hygrothermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens. Nederlands Normalisatie-Instituut (NNI).
- [2]: www.knmi.nl/klimaatscenario's, voor het laatst bezocht in februari 2009
- [3]: www.vabi.nl, voor het laatst bezocht in februari 2009
- [4]: ISO (2005) NEN-EN-ISO 15927 Hygrothermal Performance of Buildings – Calculation And Presentation Of Climatic Data. 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]: Evers, J.E.J., Struck, C., Hensen, J.L.M., Wijsman, A.J.Th.M., Plokker, W., Van Herpen, R.A.P. (2008) Klimaatscenario's in gebouwsimulatieprogramma's - eerste gebruikservaringen. TVVL Magazine 11, blz. 18-27.
- [7]: Evers, J.E.J. (2009) Robuustheid voor klimaatvariaties – vergelijking van klimatiseringsconcepten met behulp van gebouwsimulatie. Afstudeerverslag Technische Universiteit Eindhoven.