

Met energieopslag in de bodem

De impact van klimaatverandering op gebouwen

Klimaatverandering is in een korte tijd uitgegroeid tot een onderwerp waar iedereen over kan meepraten. In Nederland is er tot nu toe beperkt aandacht geweest voor dit onderwerp in relatie tot het ontwerpen van gebouwen, zeker als het gaat om toekomstige ontwikkelingen. In 2006 is door IBPSA, TUI en de TVVL een symposium georganiseerd met als titel 'Gebouw- en installatiesimulaties in het licht van klimaatverandering'. In het laatste meinumnummer van het TVVL Magazine verscheen een vertaling van een Engels onderzoek [4]. Voor de specifiek Nederlandse situatie is nog weinig onderzoek uitgevoerd. De nieuwe NEN 5060 geeft een update van de referentieklimaatgegevens voor de huidige situatie. In dit artikel presenteert DWA een eigen onderzoek naar de effecten van klimaatverandering op gebouwen met energieopslag in de bodem.

- door K. Spek* en dr. ir. C.J. Wisse**

Voor conventionele installaties blijft de invloed van de klimaatverandering beperkt tot de benodigde capaciteit van de installatie. Door de balans van warmte en koude zijn installaties met energieopslag in de bodem extra gevoelig voor veranderingen in het buitenklimaat. In de winter moet voldoende koude worden 'geladen' in de koudebron om in de zomer voldoende koude te leveren aan het gebouw. Dit laden van koude vindt plaats bij warmtelevering aan het gebouw enerzijds en met aanvullende voorzieningen anderzijds. Voor aanvullende voorzieningen wordt vaak gebruikgemaakt van zogenoemde 'droge koelers'. Deze droge koelers gebruiken koude buitenlucht in de winter om aanvullend koude te laden in de

koudebron. Zowel de warmtelevering aan het gebouw als de droge koelers worden beïnvloed door warmere winters. Daarbij neemt de hoeveelheid te leveren koude aan het gebouw toe bij warmere zomers.

Het doel van dit onderzoek is te weten of klimaatinstallaties met energieopslag in de toekomst voldoende klimaatrobust kunnen worden ontworpen. Hiervoor zijn vier scenario's van het KNMI voor de klimaatverandering toegepast. Het vertrekpunt voor de scenario's was het (tijdelijke) nieuwe klimaatreferentiejaar TEMPREF. Met de vier resulterende toekomstige klimaatreferentiejaren zijn energieberekeningen uitgevoerd om de invloed van klimaatverandering op de warmte-

en koudevraag van kantoorgebouwen te bepalen. Vervolgens zijn de gevolgen voor de energiebalans in de bodem onderzocht. Voor alle scenario's is berekend wat de omvang van de droge koelers moet zijn om op een nulenergiebalans in de bodem uit te komen.

HUDIGDE KLIMAAT

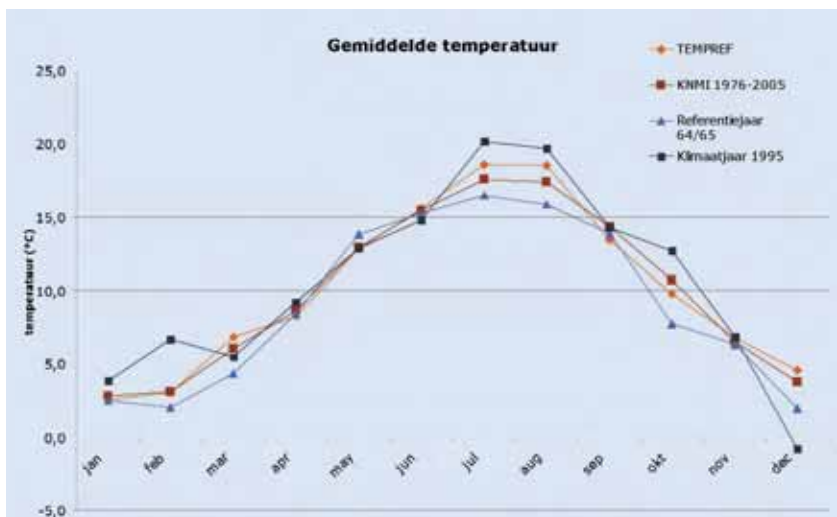
Allereerst zijn verschillende klimaatreferentiejaren vergeleken om te bepalen welk klimaatreferentiejaar kan worden gebruikt als vertrekpunt voor de KNMI-scenario's. Hierbij is een vergelijking gemaakt tussen drie verschillende klimaatreferentiejaren:

- TEMPREF – Dit is het nieuwe (tijdelijke) klimaatreferentiejaar van de ISSO. Het is een klimaatjaar, samengesteld uit gegevens tussen 1994-2003. Voor verdere informatie zie [1].
- Referentiejaar 64/65 – Dit klimaatreferentiejaar bestaat uit klimaatgegevens van 1 april 1964 – 31 maart 1965. Referentiejaar 64/65 wordt op dit moment nog veel gebruikt voor energieberekeningen, ondanks de beschikbaarheid van een nieuw referentiejaar.
- Klimaatjaar 1995 – Dit klimaatjaar wordt vaak gebruikt als co-referentie voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen met klimaatreferentiejaar 64/65 of TEMPREF.

Om te bepalen hoe representatief de

* Hogeschool Utrecht

** DWA installatie- en energieadvies



De gemiddelde temperatuur per maand.

- FIGUUR 1 -

	Zomer gemiddeld	Winter gemiddeld	Jaar gemiddeld
	°C	°C	°C
TEMPREF	17,5	3,4	10,1
KNMI 1976 – 2005	16,8	3,2	10,0
Klimaatjaar 64/65	15,9	2,2	9,1
Klimaatjaar 95	18,2	3,2	10,5

Gemiddelde zomer-, winter- en jaartemperatuur.

- TABEL 1 -

genoemde referentiejaar zijn voor het huidige klimaat, is een vergelijking gemaakt met de gemiddelde klimaatgegevens uit de periode 1976-2005 (KNMI 1976-2005). Deze gegevens zijn volgens het KNMI representatief voor ons huidige klimaat. Daarnaast gebruikt het KNMI deze gegevens ook als vertrekpunt voor de scenario's over de klimaatverandering.

De vergelijking is weergegeven in figuur 1 voor de gemiddelde maandtemperatuur.

Het verschil tussen de verschillende klimaatjaren is verder weergegeven in tabel 1. Het zomergemiddelde is hierbij de gemiddelde temperatuur van de maanden juni, juli en augustus. Het wintergemiddelde is de gemiddelde temperatuur van de maanden december, januari en februari.

Klimaatjaar 64/65 is duidelijk koeler dan de andere referentiejaar, een overigens al eerder bekend gegeven [1]. Dit effect is in bijna het hele jaar zichtbaar. TEMPREF en KNMI

1976-2005 ontwijken elkaar het hele jaar niet veel. De zomermaanden van TEMPREF zijn iets warmer dan gemiddeld. Gezien de overeenkomsten tussen TEMPREF en KNMI 1976-2005 wordt TEMPREF als vertrekpunt genomen voor de KNMI-scenario's. De scenario-referentiejaar op basis van TEMPREF zijn daarmee enkel geschikt voor het uitvoeren van energieberekeningen en niet voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen. Het toepassen van de KNMI-scenario's op de data van 1995 zou kunnen leiden tot scenario-referentiejaar die ook voor temperatuuroverschrijdingsberekeningen zouden kunnen worden toegepast. Onbekend is dan echter of de onderliggende aannames van de KNMI-scenario's dan nog geldig zijn. Dit is dan ook niet uitgevoerd.

KNMI-KLIMAATSCENARIO'S VAN NEDERLAND

De analyse voor het toekomstige klimaat is gebaseerd op de klimaatscena-

rio's van het KNMI, zoals gepubliceerd in 2006. Het KNMI heeft hierbij ook een methode gepubliceerd om historische tijdreeksen te transformeren naar toekomstige tijdreeksen.

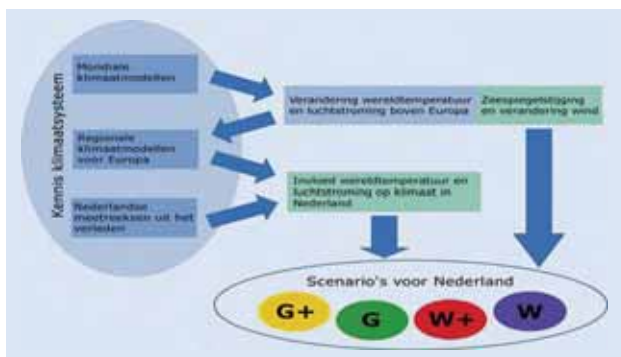
De KNMI-klimaatscenario's voor Nederland zijn in 2006 ontwikkeld op basis van wereldwijde en Europese klimaatmodellen en Nederlandse historische klimaatgegevens (figuur 2) [2].

Er is onderscheid gemaakt tussen een gematigde en een sterke wereldwijde temperatuurstijging (1 respectievelijk 2 °C in 2050). Daarnaast is rekening gehouden met de mogelijke verandering van de luchtcirculatie boven Europa. De verandering in luchtcirculatie kan leiden tot een grotere temperatuurstijging. Zo ontstaan er vier scenario's, die zich onderscheiden in temperatuur, hoeveelheid neerslag en windsnelheid en -richting. De indeling is als volgt:

- G 1 °C temperatuursverschil in 2050 ten opzichte van 1990. Geen verandering in luchtstroom.
 - G+ 1 °C temperatuursverschil in 2050 ten opzichte van 1990. Wel verandering in luchtstroom.
 - W 2 °C temperatuursverschil in 2050 ten opzichte van 1990. Geen verandering in luchtstroom.
 - W+ 2 °C temperatuursverschil in 2050 ten opzichte van 1990. Wel verandering in luchtstroom.
- Voor dit onderzoek is alleen gebruikgemaakt van de temperatuursverschillen. De scenario's van het KNMI geven geen kwantitatieve gegevens van de bewolgingsgraad. Voor de zoninstraling zijn de gegevens gelijk verondersteld aan de huidige situatie. Ditzelfde geldt voor de relatieve vochtigheid.

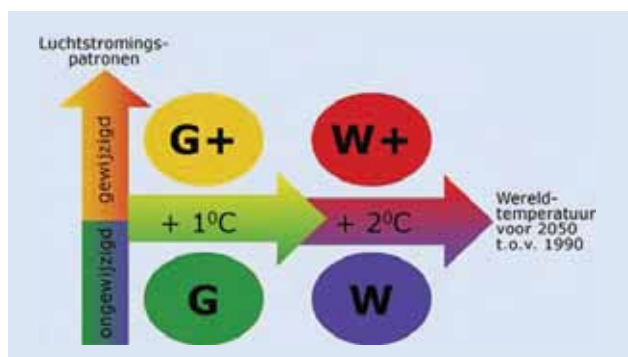
HET TRANSFORMEREN VAN TEMPREF

Het klimaatreferentiejaar TEMPREF is getransformeerd naar scenario-referentiejaar met als peiljaar 2030. Dit is uitgevoerd op de volgende manier. De tijdreeks van de temperatuur van het KNMI uit de periode 1976-2005 is getransformeerd volgens de methode, zoals beschreven in [3]. Hierbij geldt 1990 als basisjaar voor de periode 1976-2005. De getransformeerde tijdreeks heeft 2030 als basisjaar en loopt van 2016 tot en met 2045. De



Bronnen voor de scenario's [2].

- FIGUUR 2 -



De verschillende scenario's [website KNMI].

- FIGUUR 3 -

data voor een scenario-referentiejaar zijn geselecteerd uit deze getransformeerde tijdreeks. De methode illustreren we hier met een voorbeeld. De januarimaand uit TEMPREF komt uit 2003 (dertien jaar verschil met het basisjaar 1990). Voor de scenario-data worden de getransformeerde data voor de januarimaand uit 2043 genomen

(dertien jaar verschil met basisjaar 2030). Omdat de gegevens van het KNMI uit daggemiddelden bestaan, wordt er een vertaalslag gemaakt naar uurlijkse waarden. Als 10 januari 2043 een temperatuurverschil heeft van 1,9 graad ten opzichte van 10 januari 2003, dan is bij elke uurlijkse temperatuur van 10 januari 2003 1,9 graad

opgeteld om tot uurlijkse temperaturen van 10 januari 2043 te komen.

ANALYSE VAN SCENARIO'S VOOR HET TOEKOMSTIGE KLIMAAT

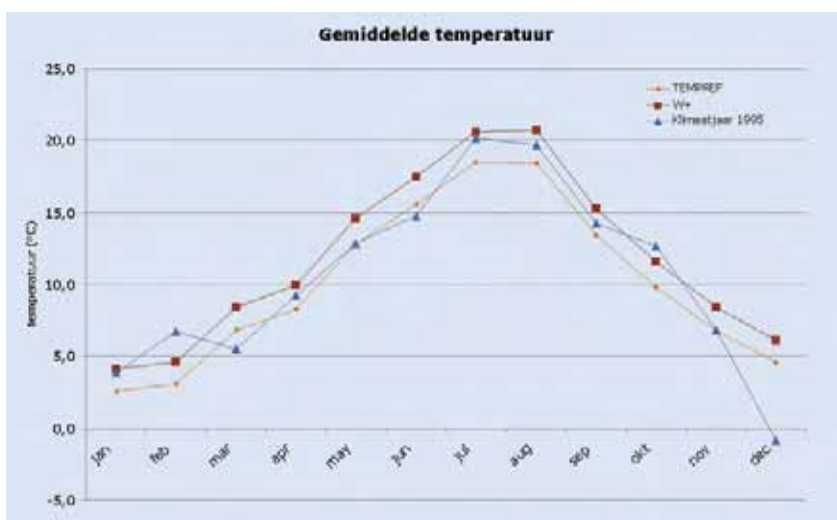
In figuur 4 is de gemiddelde temperatuur per maand weergegeven voor TEMPREF, het meest extreme scenario van het KNMI in 2030 en klimaatjaar 1995. De belangrijkste constatering is dat de extreem warme zomer van 1995 in het geval van het W+ scenario een gemiddelde zomer is geworden. Omdat het een gemiddelde temperatuur is, betekent dit dat zomers in 2030 in het W+ scenario nog warmer kunnen worden. In dat geval zal ook de zomer van 1995 onvoldoende representatief om het vermogen van de koelinstallatie te bepalen.

De resultaten met over temperatuur zijn voor alle scenario's in tabel 2 weergegeven in de vorm van zomer-, winter- en jaargemiddelden. Ten opzichte van ons huidige klimaat stijgt de jaargemiddelde temperatuur maximaal 1,7 °C. In de zomer is de stijging nog sterker.

	Zomer gemiddeld	Winter gemiddeld	Jaar gemiddeld
TEMPREF	17,5 °C	3,4 °C	10,1 °C
2030 scenario G	18,2 °C	4,0 °C	10,7 °C
2030 scenario G+	18,6 °C	4,1 °C	11,0 °C
2030 scenario W	18,8 °C	4,6 °C	11,3 °C
2030 scenario W+	19,6 °C	4,9 °C	11,8 °C
Klimaatjaar 1995	18,2 °C	3,2 °C	10,5 °C

Gemiddelde temperatuur in de zomermaanden en de wintermaanden van de verschillende referentiejaar.

- TABEL 2 -

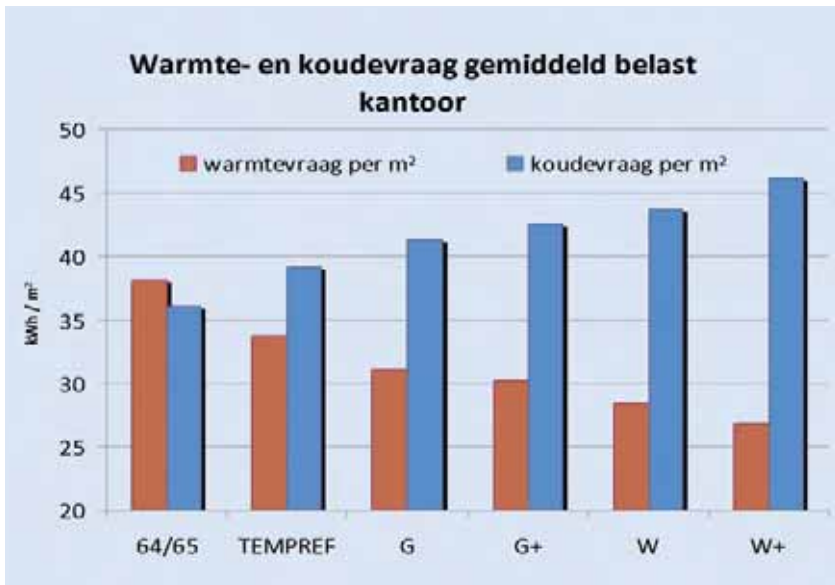


Gemiddelde temperatuur per maand van TEMPREF, klimaatjaar 1995 en klimaatscenario W+.

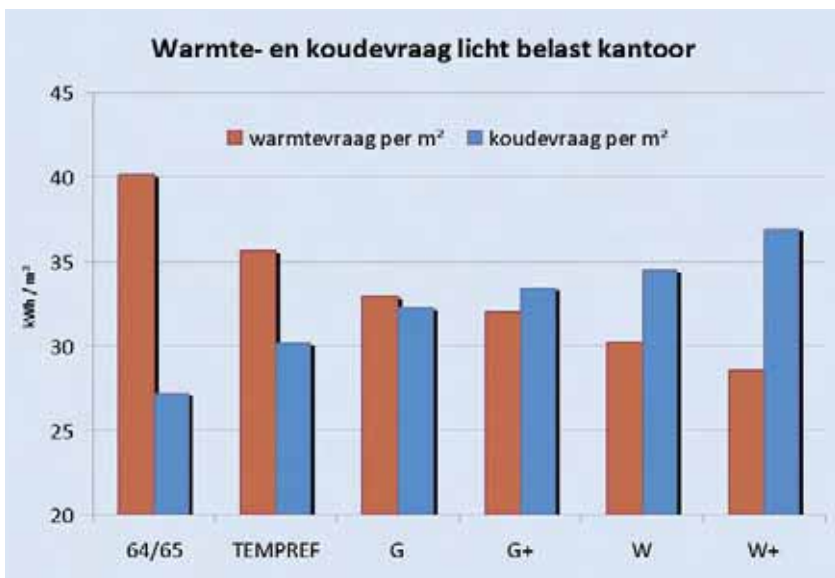
- FIGUUR 4 -

ENERGIEVRAAG VAN KANTOORGEBOUWEN IN 2030

Voor de verschillende toekomstscenario's zijn de warmte- en koudevraag berekend van een tweetal referentiekantoorgebouwen. Voor de rekenmethode wordt verwezen naar ISSO-publicatie 81 [5]. De referentiekantoren verschillen onderling alleen over de gelijktijdigheid en de hoeveelheid vermogen voor (kantoor)apparatuur. Het lichtbelaste kantoorgebouw bevat 10 W/m² aan apparatuur met 20 % gelijktijdigheid. Het gemiddeld



Warmte- en koudevraag referentiekantoor. Klimaatscenario's voor peiljaar 2030.
- FIGUUR 5 -



Warmte- en koudevraag referentiekantoor. Klimaatscenario's voor peiljaar 2030.
- FIGUUR 6 -

Samenvatting ontwerp energieopslag			
		Ontladen	Laden
Brondebiet	m³/h	107	45
Onttrekkingstemperatuur	°C	10,0	14,8
Injectietemperatuur	°C	17,5	7,5
Energiestroom koude	kWh	576.472	462.583
Condensorwarmte opslaan/extra koude laden	kWh	0	113.889

Samenvatting ontwerpparameters van een energieopslag berekend op klimaatjaar TEMPREF voor een referentiekantoor van 20.000 m².

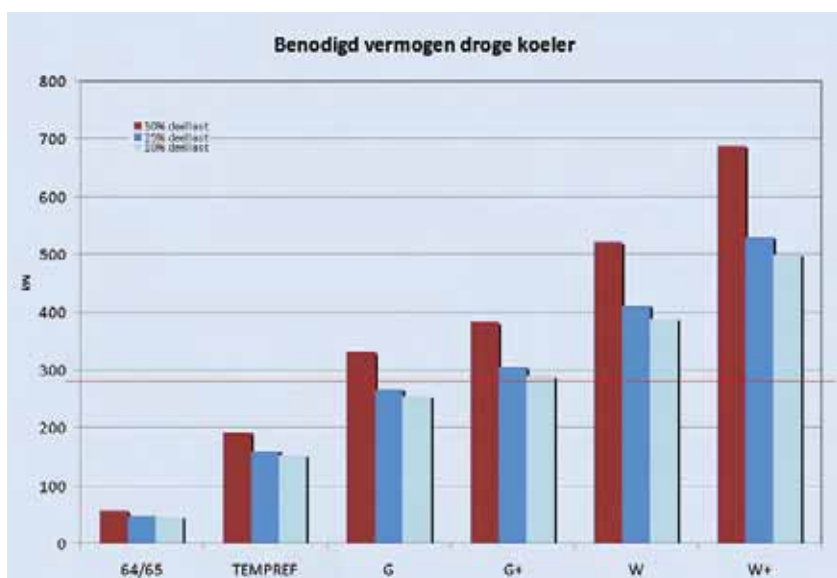
- TABEL 3 -

belaste kantoorgebouw bevat 20 W/m² aan apparatuur met 40 % gelijktijdigheid.

De resultaten voor het licht en gemiddeld belaste kantoorgebouw zijn weergegeven in respectievelijk figuur 5 en figuur 6. De belangrijkste verandering is dat - afhankelijk van het scenario - de koudevraag groter wordt dan de warmtevraag. Dit effect treedt niet alleen bij gemiddeld belaste kantoorgebouwen op, maar ook bij licht belaste kantoorgebouwen. Samenvattend kan worden gesteld dat de warmtevraag van een kantoor met 25-29 % kan afnemen en de koudevraag met 21-36 % kan toenemen (referentiescenario W+ ten opzichte van referentiejaar 64/65).

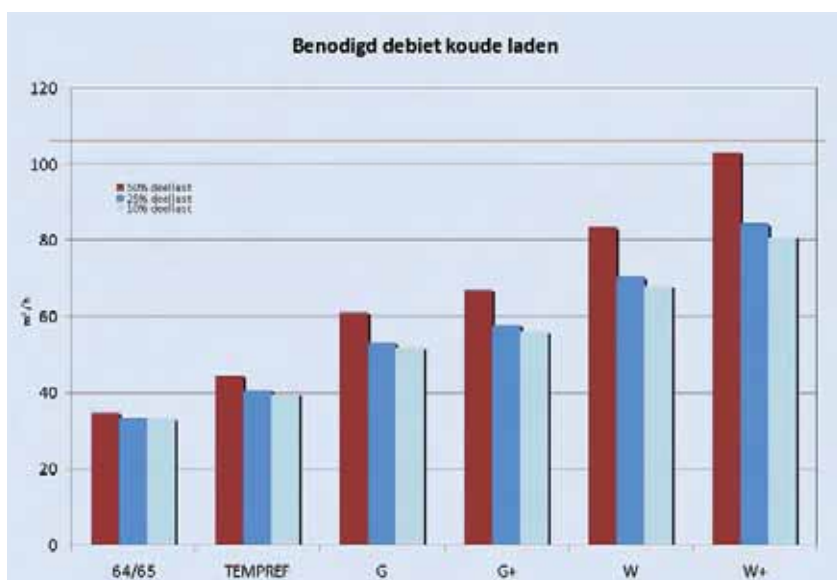
GEVOLGEN VOOR INSTALLATIES MET ENERGIEOPSLAG IN DE BODEM

De wijziging in warmte- en koudevraag kan aanzienlijke gevolgen hebben voor gebouwinstallaties met warmtepompen en energieopslag in de bodem. De verhouding van de warmte- en de koudevraag beïnvloedt namelijk sterk de energiebalans in de bodem. Deze energiebalans moet volgens de eisen van de overheid in evenwicht zijn. De exacte specificatie van de toelaatbare afwijkingen verschillen per provincie. Voor dit onderzoek is het uitgangspunt dat de balans gemiddeld over een lange periode op 0 dient uit te komen. Voor gemiddeld belaste kantoorgebouwen ontstaat vaak een tekort aan koude. De energiebalans in de bodem wordt in dat geval in evenwicht gebracht door in de winter koude te 'laden'. Een veel voorkomend systeem dat hiervoor wordt gebruikt, is toepassing van zogeheten droge koelers. Droge koelers worden ook gebruikt om in de zomer de condensorwarmte van de warmtepomp af te voeren. Het onderdeel dat het meeste vermogen vraagt (koude laden of condensorwarmte afvoeren), is leidend en bepaalt hoeveel vermogen er aan droge koelers moet worden geïnstalleerd. Om duidelijk te maken wat het effect van klimaatverandering is, is voor alle klimaatscenario's onderzocht wat de benodigde omvang van de droge koeler is om de bodem in balans te houden. Dit vermogen wordt vergeleken met het vermogen van de droge koeler



Benodigd vermogen droge koelers voor een gemiddeld belast referentiekantoor voor verschillende minimum deellastpercentages.

- FIGUUR 7 -



Benodigd debiet voor referentiekantoor voor de verschillende minimum deellastpercentages.

- FIGUUR 8 -

dat nodig is om in de zomer de condensorwarmte van de warmtepomp af te voeren. De resultaten voor een gemiddeld belast kantoor zijn weergegeven in figuur 7. Het vermogen dat vereist is om de condensorwarmte af te voeren, is weergegeven als een lijn. Bij een gelijk warmtepompvermogen is dit voor alle scenario's gelijk.

Het vermogen van de droge koeler om koude te laden neemt toe, naarmate het scenario extremer wordt. Dit komt door twee factoren. Allereerst is de benodigde hoeveelheid te laden koude groter. Deze hoeveelheid volgt uit het

verschil tussen de hoeveelheid ontladen koude en de hoeveelheid koude die kan worden geladen met de warmtepomp (zie tabel 3). De tweede reden is dat er minder tijd is om koude te laden vanwege de warmere winters.

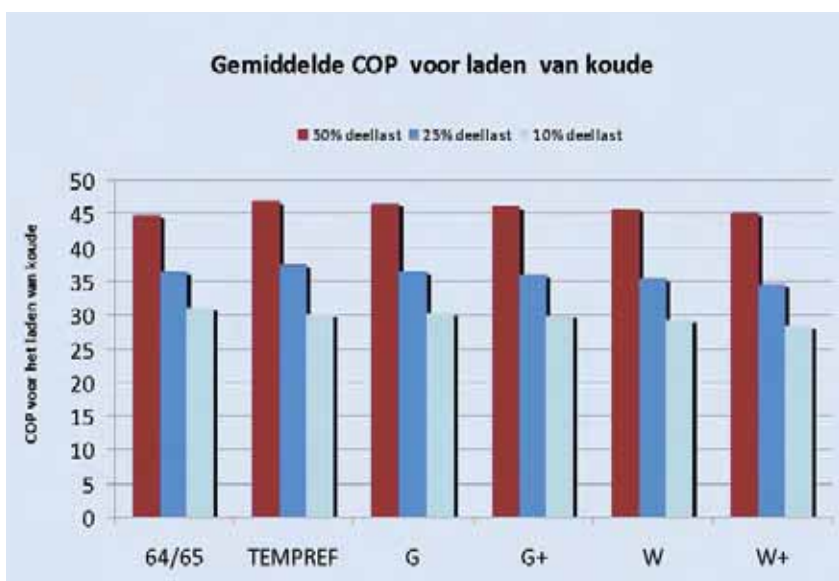
Het resultaat is dat het vermogen van de droge koeler in het geval van de toekomstscenario's niet meer wordt gedimensioneerd op het af te voeren condensorvermogen, maar op het benodigde vermogen om voldoende koude te laden. Behalve dat de capaciteit om koude te laden leidend wordt, neemt ook het benodigde debiet om

koude te laden toe. De reden hiervan is dat de droge koelers gezamenlijk een extra debiet nodig hebben om in korte tijd meer koude te laden. De stijging van het debiet is weergegeven in figuur 8. Het ontladedebiet is weergegeven door een lijn. Dit debiet is voor alle scenario's gelijk gehouden. De eventuele stijging van de benodigde koelcapaciteit is buiten beschouwing gelaten.

Op het moment dat dit debiet groter wordt dan het ontladedebiet ontstaat er een probleem: de bronnen moeten groter worden gemaakt, wat leidt tot hoge investeringen. Voor het referentiekantoor met een gemiddelde belasting wordt de grens bereikt in het scenario W+. Voor zwaarder belaste kantoren kan dit probleem wel optreden. Voor klimaatinstallaties in een zwaar belast gebouw is in het scenario W+ alleen het bijplaatsen van droge koelers dan ook niet voldoende. De droge koelers veroorzaken zoveel extra debiet dat het bronnensysteem eigenlijk groter moet zijn.

INVLOED DEELLASTBEDRIJF DROGE KOELERS

Aanpassingen aan bronnensystemen zijn erg duur en derhalve onwenselijk. De vraag komt dan ook boven of uitbreiding van het vermogen voor droge koelers kan worden vermeden door slimmer gebruik te maken van de droge koelers. Daarom is onderzocht wat het effect is van het benutten van de droge koeler bij lagere deellastpercentages. In figuur 7 en figuur 8 zijn ook de resultaten weergegeven bij een minimumdeellastpercentage van 25 % en 10 %, naast de resultaten voor een minimumdeellast van 50 %. Bij een minimumdeellastpercentage van 50 % komen de droge koelers pas in bedrijf als er minimaal 50 % van het beschikbare vermogen kan worden geleverd. Dit wordt onder andere bepaald door de buitentemperatuur en de temperatuur van de warme bron. Het meer benutten van de deellastbedrijf blijkt effectief te zijn om meer koude te kunnen laden. Het benodigde vermogen voor een nulbalans in de bodem wordt dus kleiner. Hier hangt echter wel een 'prijskaartje' aan: de benodigde elektriciteit voor de droge koeler wordt relatief hoger. Dit is onderzocht door middel van de waarde voor de C.O.P. Deze is weergege-



De gemiddelde C.O.P. van het koude laden met droge koelers in de verschillende scenario's bij verschillende minimum deellastpercentages.

- FIGUUR 9 -

ven in figuur 9. Hieruit blijkt ook dat de daling van 50 % minimumdeellast naar 25 % minimumdeellast effectiever is dan de daling van 25 % minimumdeellast naar 10 % minimumdeellast. Het rendement van de droge koeler daalt hierbij significant, terwijl het benodigde vermogen nauwelijks afneemt.

CONCLUSIES

Als de huidige trend van een warmer wordend klimaat doorzet volgens de scenario's van het KNMI, dan zal de verhouding tussen de warmte- en de koudevraag sterk veranderen. Tot 2030 kan de warmtevraag 29 % afnemen, terwijl de koudevraag met 21 – 36 % kan toenemen. De veranderingen zijn significant binnen de levenscyclus van de gebouwen die nu worden ontworpen. Voor gebouwen met energieopslag in de bodem heeft dit gevolgen voor de energiebalans in de bodem. De omvang van de droge koelers voor een 0-energiebalans kan een factor 3 – 4 variëren.

Het is belangrijk nu al rekening te houden met het bijplaatsen van extra droge koelers in de toekomst. Hierbij moet worden gedacht aan zowel de ruimte om deze droge koelers te plaatsen, als de overige infrastructuur (leidingnetwerk, bronnen et cetera). In het ontwerpproces zal een risicoafweging plaats moeten vinden in hoeverre

rekening moet worden gehouden met de geschetste klimaatscenario's. Dit geldt in het bijzonder voor de broncapaciteit van zwaarder belaste kantoren. Gemiddeld belaste kantoren kunnen klimaatrobust worden ontworpen door de infrastructuur voor te bereiden op extra droge koelers.

REFERENTIES

1. *Tijd voor een nieuw referentiejaar*, VV+ december 2006, pagina 850-853, M. van Weele.
2. *KNMI Climate Change Scenarios 2006 for the Netherlands*, KNMI, Bart van de Hurk e.a.
3. *KNMI'06 scenarios: interpolation to monthly changes*, KNMI, Geert Lenderink, September 2006.
4. *Klimaatverandering, thermisch comfort en energie*. M.J. Holmes en J.N. Hacker, TVVL Magazine mei 2008.
5. *Handboek integraal ontwerpen van warmtepompinstallaties voor utiliteitsgebouwen*. ISSO-publicatie 81, 2006.

NOTEN

- 1 De discussie over de oorzaak van de huidige stijging van de temperatuur valt buiten het kader van dit artikel (zie ook TVVL Magazine 12/2007). De KNMI-scenario's gaan uit van een verdere stijging van de temperatuur in de toe-

komst. Een eventuele daling van de temperatuur is in dit onderzoek niet meegenomen. Voor zover bekend zijn hiervoor geen kwantitatieve klimaatdata beschikbaar.

- 2 Ten tijde van het onderzoek was de definitieve versie van NEN 5060 nog niet beschikbaar.