

Ontwikkeling van gebouwschillen met variabele, klimaatgestuurde eigenschappen

Climate Adaptive Building Shells

Het onderzoeksprogramma 'CABS' (Climate Adaptive Building Shells), uitgevoerd door TNO, ECN en de Universiteit van Plymouth, is gericht op het door middel van een 'inverse aanpak' ontwikkelen van klimaatgestuurde gebouwschillen waarvan opbouw en samenstelling met de seizoenen kunnen variëren. Met de binnen CABS te ontwikkelen bouwkundige constructies voor de gebouwschil en bijbehorende regelingen wordt beoogd een verdere substantiële reductie van het energieverbruik in gebouwen te realiseren. Voor een eenvoudige kantoor situatie is een voorstudie uitgevoerd met als doel het met behulp van CABS-systemen te behalen energiebesparingpotentieel voor verwarmen en koelen te illustreren. Hierbij is gebruik gemaakt van de rekenmethode NPR 2917 EPU-2006 en het dynamische simulatieprogramma TNRSYS. De resultaten van de voorstudie laten duidelijk zien dat met klimaatgestuurde gevels een substantiële reductie van het energieverbruik kan worden behaald, terwijl het thermisch comfort gewaarborgd blijft. Het belang van meer fundamenteel onderzoek naar het gewenste thermisch gedrag van de gebouwschil – en daarmee van toegepast onderzoek naar klimaatgestuurde constructies voor de gebouwschil, waarmee dit gewenste thermisch gedrag zo goed mogelijk kan worden benaderd – is hiermee aangetoond. In deze voorstudie is gebruik gemaakt van bestaande reken- en simulatietools. Ook zal beknopt worden stilgestaan bij de vraag of de huidige generatie simulatiesoftware geschikt is om het thermisch gedrag van constructies, waarvan samenstelling en opbouw klimaatafhankelijk in de tijd variëren, adequaat te simuleren.

- door ing. L.G. Bakker*, ir. B. de Boer, dr.ir. P.J.C.J. de Wilde*** en ir. M. van der Voorden***

Gevelstechniek staat al geruime tijd volop in de belangstelling. Onder de naam '2e huid gevel', 'actieve gevel', 'dynamische gevel' en 'intelligente gevel' hebben in het achterliggend decennium nieuwe gevelconcepten het licht gezien. Auteurs als [1] en [2] pogen een goede

terminologie en classificatie voor deze zich ontwikkelende concepten aan te leveren.

De werkwijze, die bij op energiebesparing gericht gevel-R&D over het algemeen wordt gevolgd, kan worden omschreven als een aanpak die is ge-



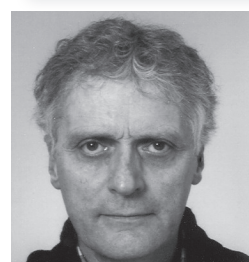
Ing. L.G. Bakker



Ir. B. de Boer



Dr.ir. P.J.C.J. de Wilde



Ir. M. van der Voorden

* TNO Bouw en Ondergrond, Delft, Nederland

** Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten, Nederland

*** University of Plymouth, Plymouth, Verenigd Koninkrijk

richt op verbetering van het thermisch gedrag van bestaande (gevel)systemen en op verbetering van de interactie tussen gevel en gebouw(installatie). Het aanbrengen van isolatie of speciale gasvullingen in spouwen en het reguleren van de hierin optredende luchtstromen worden hier als voorbeeld genoemd. Ook integratie van PV in gevel- en dakvlakken en het toepassen van warmteterugwinsystemen kunnen tot deze aanpak worden gerekend. Bij de aanpak van dit onderzoek vormen innovatieve gevelconcepten, gericht op verbetering van het thermisch gedrag van de gebouwschil, het uitgangspunt. Een parameterstudie, gericht op optimalisatie van het thermisch gedrag met behulp van gebouwsimulatietools, is veelal de belangrijkste onderzoeksinspanning. Zelfs indien na optimalisatie zou blijken dat het onderzochte gevelconcept qua energiegebruik een verbetering oplevert ten opzichte van bestaande systemen, komt dit concept in het algemeen niet in aanmerking voor het predikaat 'energetisch meest optimale gevel'. Dit omdat niet uittputtend naar alternatieve concepten is gekeken.

Het belangrijkste kenmerk van het CABS-onderzoek is dat het is gebaseerd op een 'inverse benadering'. Uitgangspunt is niet een *gegeven* gevelconcept, maar het in een gegeven ontwerpsituatie *gewenste* fysisch (thermisch, licht- of ventilatietechnisch) gedrag van een gebouwschil. Na vaststelling van het gewenste fysisch gedrag in een gegeven ontwerpsituatie zal de onderzoeksinspanning vervolgens zijn gericht op de vraag hoe een systeem, bestaande uit thermische componenten (zoals thermische weerstanden en -massa), idealiter gedurende elk van de seizoenen dient te worden samengesteld. Vervolgens zal worden onderzocht hoe een dergelijk systeem met bestaande of innovatieve bouwkundige- en installatiecomponenten kan worden gerealiseerd.

De zojuist genoemde onderzoeksinspanningen zullen per nader te definiëren seizoenen worden verricht en zullen resulteren in bouwkundige concepten voor gevels, die qua opbouw, samenstelling en thermische eigenschappen met de seizoenen kunnen variëren. Merk hierbij op dat ook wisselingen per etmaal (of op elk

andere relevant tijdsniveau) zullen worden beschouwd.

ONDERZOEKSPROGRAMMA 'CLIMATE ADAPTIVE BUILDING SHELLS'

Het CABS-onderzoek bestrijkt de onderzoekvelden 'fysica', 'gebouwoontwerp' en 'gebouwsimulatie'. Binnen het onderzoekveld 'fysica' staat allereerst het ontwikkelen van een gebouwschil met variabele, klimaatgestuurde thermische eigenschappen centraal. Doel is hierbij het realiseren van een substantiële reductie van het energiegebruik voor verwarmen, koelen, luchtverversing en verlichting en het beheersen van het (thermisch) comfort. Parallel aan genoemd onderzoek naar het gewenste thermisch gedrag is een opzet uitgewerkt voor onderzoek, dat is gericht op ontwikkeling van een gebouwschil met variabele, klimaatgestuurde openingen voor dagverlichting en uitzicht en van hierop afgestemde kunstverlichtingsystemen. Doel van deze onderzoeklijn is het realiseren van een substantiële verbetering van de visuele kwaliteit in een ruimte. In dit artikel wordt niet op deze parallelle onderzoeklijn ingegaan.

Binnen het onderzoekveld 'gebouwoontwerp' zullen de onderzoeksinspanningen zijn gericht op het in bouwtechnologisch opzicht ontwikkelen van (gevel)systemen waarvan de opbouw en samenstelling klimaatgestuurd kunnen worden gevarieerd. Uiteraard zullen de inzichten, die binnen het onderzoekveld 'fysica' zijn verkregen, hierbij als uitgangspunt worden genomen.

Duidelijk zal zijn dat het simuleren van het fysisch gedrag van (gevel)constructies, waarvan opbouw en samenstelling gedurende het jaar worden afgestemd op de seizoenen, vragen oproept over de inzetbaarheid van bestaande simulatietools. Het is te verwachten dat introductie van de hier besproken klimaatgestuurde gevels tot gevolg zal hebben, dat van bestaande computermodellen de architectuur van de daarin aanwezige rekenkernen moet worden gewijzigd. .

BESPARINGSPOTENTIEEL VAN HET CABS-CONCEPT

Om het beoogde besparingspotentieel van CABS-gevels op het energiegebruik voor verwarmen en koelen te il-

lustreren zijn berekeningen uitgevoerd met behulp van de rekenmethode NPR 2917 EPU-2006 [3] en met het dynamische simulatieprogramma TNRSYS [4]. Opgemerkt wordt dat het hierbij om een voorstudie gaat en dat momenteel nog geen concreet CABS-gevelconcept voorhanden is.

Voorbeeld 1: een eenvoudig kantoor (NPR 2917 EPU-2006)

Om het besparingspotentieel van 'reverse engineeren' van gevels te illustreren, zijn energieberekeningen uitgevoerd voor een voorbeeldkantoor. Dit is gedaan voor meerdere, niet variabele gevels met extreme thermische eigenschappen. De berekeningen zijn in eerste instantie alleen gericht op de thermische prestatie.

Aanpak

Gebruik is gemaakt van de rekenmethode NPR 2917 EPU-2006 [3]. Tevens is uitgegaan van het voorbeeldgebouw nummer 4 dat in de NPR 2917 [3] is gebruikt. Dit kantoor heeft de volgende kenmerken:

- vier bouwlagen, lengte 57,6 m, diepte 14,4 m, gebruiksoppervlakte 3.223 m²;
- radiatorverwarming met mechanische luchttoe- en afvoer met topkoeling;
- gemiddeld twee personen in een vertrek met afmetingen van 3,6 m x 5,4 m;
- U-waarde dichte delen gevels 0,32 W/m².K; U-waarde glas 1,80 W/m².K; zontoetredingsfactor g = 0,6;
- 55 % van de gevel bestaat uit beglazing;
- drieluig ventilatievoud met 25 % terugregeling in de winter;
- warmteterugwinning 70 %;
- ventilatorvermogens van 5,5 kW voor afvoer en van 7,5 kW voor toevoer van lucht;
- 50 % van het gebouw wordt elektrisch bevochtigd;
- gebouwmassa 400 kg/m²;
- opwekkingsrendement verwarming HR-100 ketel met hoog temperatuurniveau voor warmteaanvoer en compressiekoeling;
- HF-verlichting met 8,5 W/m², totaal 27,4 kW geïnstalleerd verlichtingsvermogen;
- geen daglichtafhankelijke regeling, veegpulsschakeling bij aanvang van lunchpauze en na werktijd;
- noord: geen zonwering; oost, zuid,

west: automatisch geregelde zonwering.

Voor dit kantoor zijn vier fictieve gevels met extreme U-waarden en extremen voor zoninstraling bekeken. De volgende varianten zijn doorgerekend:

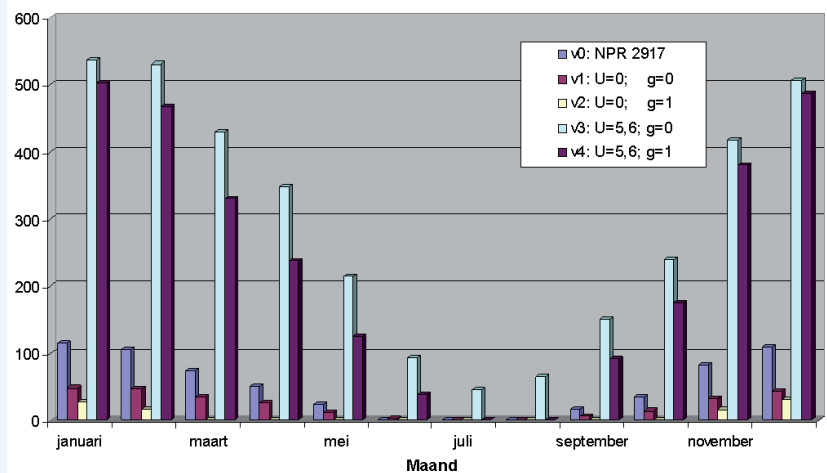
0. de referentiesituatie conform voorbeeld gebouw nummer 4 van de NPR 2917 (variant v0);
1. een adiabatische, niet lichtdoorlatende gevel (U-waarde = 0; g = 0; variant v1);
2. een isolerende gevel met een maximale zontoetreding (U-waarde = 0; g = 1; variant v2);
3. een goed geleidende dichte gevel zonder zontoetreding (U-waarde = 5,6; g = 0; variant v3);
4. een goed geleidende dichte gevel met een maximale zontoetreding (U-waarde = 5,6; g = 1; variant v4).

Om een indruk te geven welke gevel het best voldoet in een bepaald seizoen, zijn het energiegebruik voor verwarming en koeling per maand berekend. De energiebehoefte voor verwarming is grafisch weergegeven in figuur 1.

De energiebehoefte voor koeling is grafisch weergegeven in figuur 2.

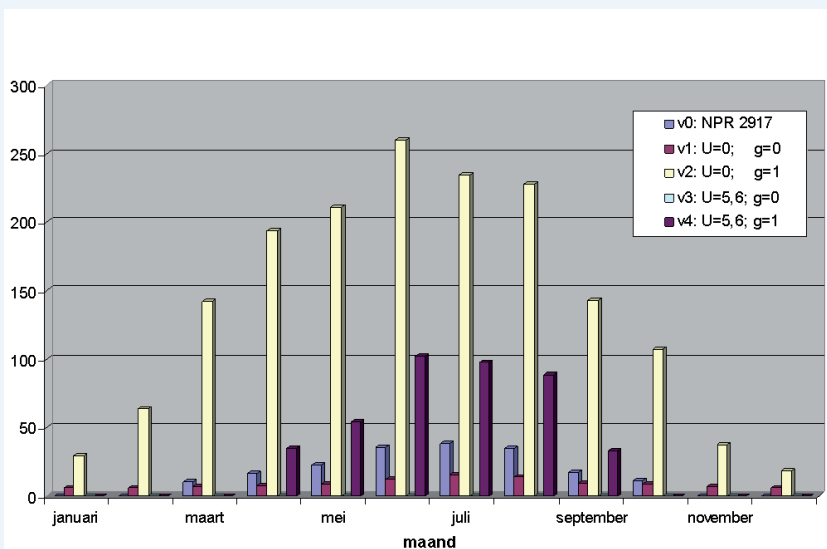
De resultaten laten duidelijk zien dat gevelconstructies, waarvan de thermische eigenschappen aan de seizoenen kunnen worden aangepast, uit oogpunt van energiegebruik zeer wenselijk zijn.

- In de winter leidt een gevel met een grote thermische weerstand (variant 1 en variant 2 versus variant 3 en 4) tot de laagste energievraag voor verwarmen waarbij de zontoetreding van minder belang is (variant 1 versus variant 2 en variant 3 versus variant 4).
- In de zomer leidt een gevel met een grote thermische weerstand bij hoge zontoetreding tot een substantieel grotere vraag naar koeling (variant 2 en variant 4 versus variant 0).
- In de zomer geven een lage zontoetreding en een lage thermische weerstand de laagste energievraag voor koeling;
- In het voorjaar en najaar dient een balans tussen verwarmen en koelen te worden gevonden en is zowel enige thermische weerstand als zon-



De warmtebehoefte per maand in GJ voor de beschouwde varianten.

- FIGUUR 1 -



De koelbehoefte per maand in GJ voor de beschouwde varianten.

- FIGUUR 2 -

toetreding wenselijk.

- Over het gehele jaar beschouwd levert de statische referentiesituatie (v0) een goede prestatie, maar indien de thermische eigenschappen van de gevel op de seizoenen zouden worden afgestemd (combinaties van variant v1, v2, v3 en v4), zou het energiegebruik worden gehalveerd.

Voorbeeld 2: een kantoorcel (TRN-SYS)

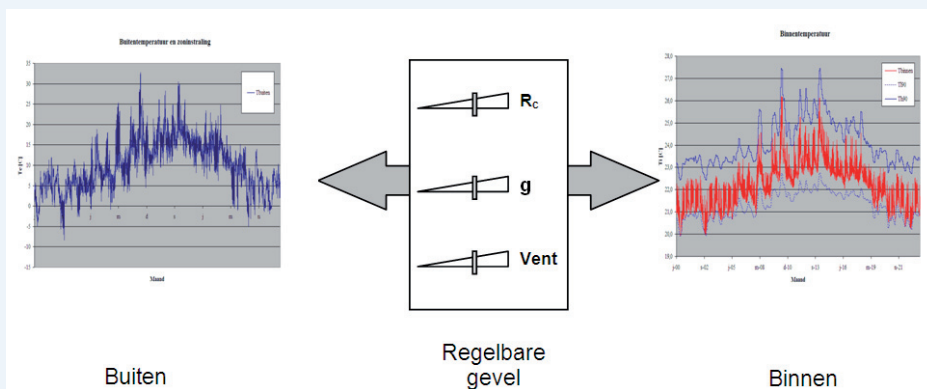
Voor het verkrijgen van een indruk van het energiebesparingpotentieel dat zou kunnen worden behaald met een gebouwschil, waarvan isolatie (R_c -waarde) en zontoetreding (g-factor) 'dynamisch' kunnen worden afgestemd op het buitenklimaat, zijn computersimulaties uitgevoerd met het dynamische programma TRNSYS [4].

In de TRNSYS-simulaties is uitgegaan van een kantoorcel van 3,6 m breed x

5,4 m diep, met een enkel geveloppervlak als verbinding tussen 'binnen' en 'buiten'. Het 'standaard testreferentie jaar' De Bilt is gebruikt voor het buitenklimaat. Verdere uitgangspunten:

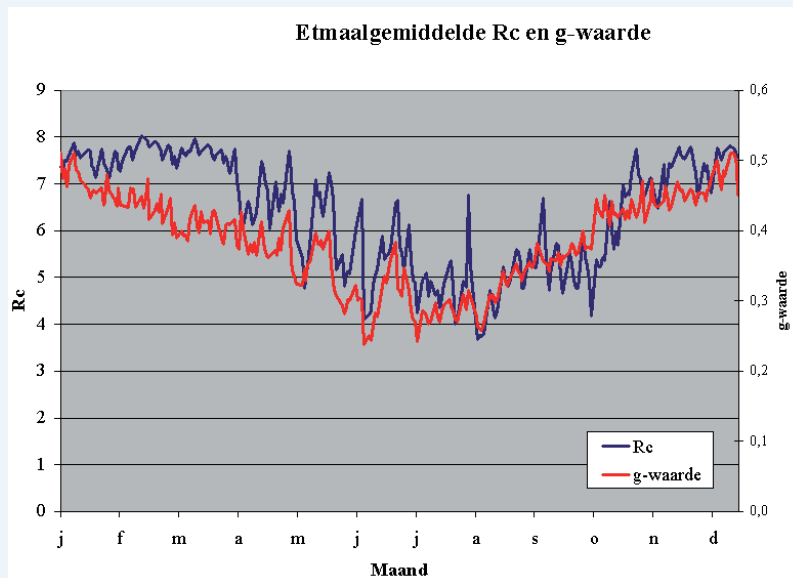
- $R_c = 10 \text{ m}^2\text{K/W}$ (dichte deel van de gevel);
- $U_r = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor het raam, g = 0,7 (geen zonwering);
- mechanische ventilatie ($n=2/\text{h}$) zonder warmteterugwinning;
- zeer goede luchtdichtheid met infiltratievoud van 0,05/h;
- oriëntatie gevel: zuid.

Om dit voorbeeld van een klimaatgestuurde gevel globaal te kunnen modelleren is gebruik gemaakt van de TRNSYS-opties voor het simuleren van zonwering 'open' of 'gesloten' (g = 0,7 of 0,05) en van de optie 'isolerende 'luiken met schakelbare thermische weerstand' ($R_c=0,9 \text{ m}^2\text{K/W}$ of $R_c=10 \text{ m}^2\text{K/W}$). De regeling van het bin-



Schematische weergave simulatie gewenste variabele eigenschappen (R_c , zontoetredingsfactor g en ventilatievoud).

- FIGUUR 3 -



In TRNSYS gesimuleerde variatie van R_c - en g -waarde over het jaar.

- FIGUUR 4 -

nenklimaat is gestuurd op de ideale binnentemperatuurlijn volgens ISSO-publicatie 74 [5].

De gebouwschil kan gezien worden als een 'black box' die door middel van dynamische aanpassing van de isolatie (R_c -waarde) en g -waarde reageert op het verschil tussen binnen- en buitentemperatuur en op het aanbod van zonnestraaling. De variabele R_c -waarde van de gebouwschil en de eveneens variabele waarde van de zontoetredingsfactor g , dienen bij een gegeven buitentemperatuur comfortlijn zo goed mogelijk te volgen. In figuur 3 is deze 'inverse ontwerpbenadering' weergegeven.

De 'etmaalgemiddelde waarden' van de gedurende een jaar gewenste R_c - en g -waarde, die met behulp van de hier besproken TRNSYS-simulatie zijn gevonden, zijn in figuur 4 weergegeven.

Naast simulaties met de genoemde

zonwering en isolerende luiken (case 1) zijn ook simulaties gedaan voor een situatie met balansventilatie (met 90 % warmteterugwinning en bypass mogelijkheid), nachtventilatie in de zomer en extra dagventilatie (case 2). De resultaten van de simulaties zijn samengevat in tabel 1 en grafisch weergegeven in figuur 5 (zie volgende pagina).

De resultaten laten zien dat met de klimaatgestuurde, schakelbare g en R_c , de warmtebehoefte van de bekeken kantoorcel in Base Case 1 van 1,21 GJ naar 0,93 GJ kan worden gereduceerd. De aanvullende maatregelen die in Base Case 2 zijn opgenomen leiden tot een verdere afname van de warmte- en koelbehoefte. Voor Base Case 2 geldt dat de warmtevraag bij toepassing van een variabele R_c plus g kan worden gereduceerd van 0,34 GJ naar 0,01 GJ. De koelvraag wordt in Base Case 1 van 3,56 GJ naar 0,43 GJ teruggebracht. Bij Base Case 2 wordt

voor de koelvraag een afname van 1,72 GJ naar 0,32 GJ bereikt. De totale primaire energievraag voor koeling en verwarming wordt door een variabele g en R_c in Base Case 1 van 4,77 GJ naar 1,36 GJ (72 %) gereduceerd. Bij uitbreiding met overige energiebesparende maatregelen (Base Case 2) zijn de effecten in verhouding nog sterker en is een verdere reductie mogelijk van 2,06 GJ naar 0,33 GJ (84 %).

Opgemerkt moet worden dat er in de voorstudie met TRNSYS (nog) geen rekening is gehouden met de extra energie, die benodigd is voor het laten draaien van de ventilatoren en voor de bediening van de luiken en zonwering. Ook is de variabele zontoetreding uitsluitend afgestemd op de thermische behoefte; daglichtbenutting en verblinding zijn buiten beschouwing gelaten.

De onderliggende TRNSYS-simulaties, meer in detail beschreven door [4], laten tevens zien dat zelfs bij deze zeer lage warmte- en koelvraag het thermisch comfort gehandhaafd blijft (geen over- of onderschrijdingsuren). Dit betekent dat voor 100 % van de tijd binnen de bandbreedte van 90 % tevredenheid voor de kantoorgebruikers kan worden gebleven.

INNOVATIE IN DE GEVELBOUW

De voor het CABS-onderzoek kenmerkende 'inverse aanpak' leidt tot een interessante, maar vooral ook complexe bouwtechnologische uitdaging. De onderzoekopgave bestaat hier uit het bedenken van bouwkundige concepten voor gevelconstructies, waarvan opbouw en samenstelling gedurende het jaar moeten kunnen veranderen. Daarnaast zal de toepasbaarheid van nieuwe materialen en van mogelijk te integreren nieuwe installatie-componenten moeten worden onderzocht.

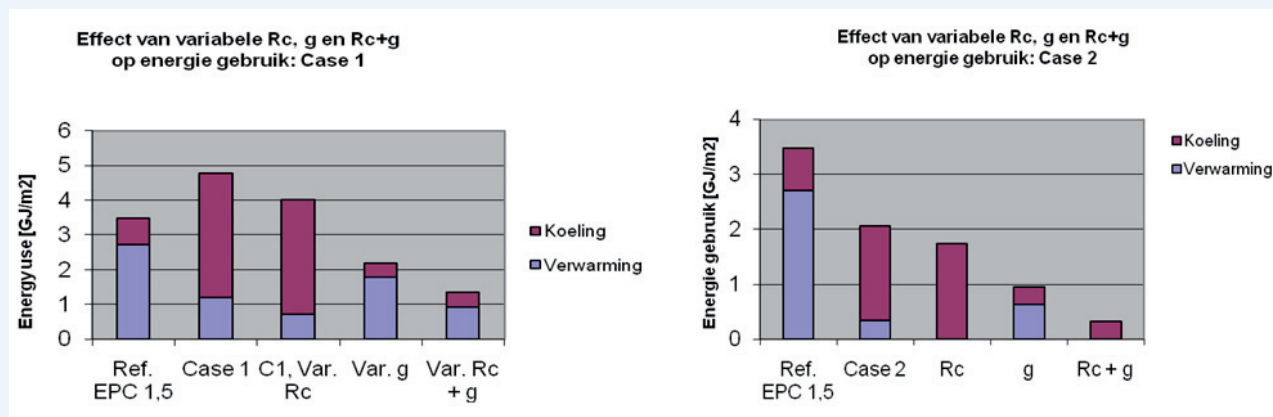
Voorbeelden waaraan voor wat betreft het variëren van de thermische weerstand van een gevel kan worden gedacht zijn:

- beïnvloeding van de fysische eigenschappen van gevelmaterialen door regeling via een elektromagnetisch veld, temperatuur, of vochtgehalte;
- toepassing van regelbare vacuümisolatie;
- verplaatsbare isolatie in de vorm van kleine isolatievlokken of korrels

Case	Maatregelen	W-vraag (GJ/jaar)	K-vraag (GJ/jaar)	W+K-vraag (GJ/jaar)
1	Base case 1: $R_c=10$; $U_r=1,1$; $g=0,7$	1,21	3,56	4,77
1.1	Regelbare R_c	0,71	3,32	4,03
1.2	Regelbare g	1,80	0,40	2,20
1.3	Regelbare R_c en g	0,93	0,43	1,36
2	Base case 2: $R_c=10$; $U_r=1,1$; $g=0,7$, WTW, ZNV, ExtraDagvent	0,34	1,72	2,06
2.1	Regelbare R_c	0,00	1,74	1,74
2.2	Regelbare g	0,64	0,31	0,95
2.2	Regelbare R_c en g	0,01	0,32	0,33

Resultaten van TRNSYS simulaties (energiebesparingpotentieel).

- TABEL 1 -



Resultaten van TRNSYS simulaties in grafiek (energiebesparingpotentieel).

- FIGUUR 5 -

(rondpompen met behulp van luchtstroming), oprolbare isolatiedekens/gordijnen;

- beweegbare composiet gevelelementen (luiken, schuifsystemen, roterende elementen).

Voor wat betreft de aanpasbaarheid van zon- en daglichttoetreding kan deels worden voortgebouwd op lopende ontwikkelingen voor bestaande traditionele gevels. In het CABS-onderzoek zal echter ook de mogelijkheid van openingen met variabele, seizoenafhankelijke lichtdoorlatende eigenschappen worden onderzocht. Gedacht kan worden aan:

- veranderlijke afmetingen, vorm en positie van openingen in de gevel;
- inpassing van statische en dynamische daglichtsystemen, variërend van traditionele lamellen tot retroreflecterende lamellen of electrochromatisch, thermochroom of thermotroop glas;
- fundamentele herbezinning op zon- en daglichttoetreding gekoppeld aan de interactie tussen opening en toegepast systeem (afweging tussen bijvoorbeeld een kleine opening zonder of een grote opening met

daglichtsysteem).

Aanpasbaarheid van de ventilatievoorzieningen volgt vanzelfsprekend R&D in het veld van de installatietechniek. Er zijn echter nieuwe bouwkundige varianten denkbaar als:

- gevelsystemen met een veranderlijke infiltratie, één en ander gekoppeld aan veranderende opbouw over de seizoenen. Eventueel kan ook worden gedacht aan het toepassen van materialen met een regelbare porositeit, zoals door het comprimeren en decomprimeren van voldoende veerkrachtige isolatiemateriaal;
- een nieuwe generatie van 'actieve gevels', waarbij naast bestaande technieken voor de regeling van ventilatievolume en luchtstroomrichting nu ook de eigenschappen van het luchtkanaal zelf kunnen wijzigen.

Aanpasbaarheid van warmteopslag/buffering in de gevel is nauw gekoppeld aan regeling van de warmteweerstand en kan via soortgelijke principes worden gerealiseerd. Daarnaast kunnen bouwkundige oplossingen worden toegepast zoals:

- warmteopslag in vloeistoffen

(nieuwe versies van de bestaande water-wand);

- toepassing van *phase change* materialen (PCMs), waarbij toepassing dusdanig dient plaats te vinden dat alleen een positieve bijdrage wordt gerealiseerd.

Tot slot zullen de mogelijkheden en wenselijkheid van energieopwekking in de gevel worden onderzocht. Dit moet breed worden bekeken en omvat onder andere:

- integratie van installatiesystemen ter verwarming en koeling in de gevelzone;
- het afbuigen van energiestromen in de gevelzone ten behoeve van warmte- of elektriciteitsproductie, zoals voorverwarming van ventilatielucht of PV in de gevelzone.

Benadrukt moet worden dat bovenstaande lijst een eerste indicatie is van systemen die mogelijk binnen CABS aan de orde kunnen komen. Het project start echter vanuit het beschrijven van een gewenst fysisch gedrag (bouwkundige probleemstelling) waarvoor vervolgens een oplossing (ontwerp) dient te worden ontwikkeld.

Dit in tegenstelling tot de vele eerdere projecten, waarin voor een bepaald interessant systeem is gekeken welke mogelijkheden dat systeem biedt. Een aparte dimensie wordt nog toegevoegd via de noodzaak na te denken hoe de diverse genoemde aanpasbare systemen concreet zullen worden geregeld en aangestuurd.

INNOVATIE IN GEBOUW PRESTATIE SIMULATIE

Uit de in dit artikel besproken voorstudies blijkt duidelijk dat de momenteel voorhanden zijnde simulatietools een aantal beperkingen kennen wanneer het gaat om het simuleren van CABS-gevelconcepten:

- in de huidige tools wordt de gevelopbouw vrijwel altijd als constant over het jaar gedefinieerd. Sommige tools hebben de optie deze beperking deels te omzeilen door functies voor het simuleren van luiken en zonwering te benutten. Dit stuit dan echter veelal op beperkingen in de regeling, die meestal op temperatuur of zonaanbod zullen zijn gestuurd en niet op datum/seizoen. Daarnaast is dit een binaire regeling (aan of uit) en voorziet dan ook niet in de eventuele wenselijkheid van traploze regelingen;
- in de mogelijkheid van het simuleren van innovatieve systemen zoals elektrochromatisch glas, vacuümisolatie, *phase-change* materialen, wordt door de huidige generatie 'gesloten simulatietools' meestal niet voorzien;
- het simuleren van specifieke regelsystemen blijkt problematisch; de meeste tools veronderstellen een *one-size-fits-all* benadering over het jaar, inclusief thermostaatinstelling, aannames voor gebruikersgedrag, etc.

Om het voorspellen van het fysisch gedrag van CABS-gevels te ondersteunen, zijn de volgende ontwikkelingen op het gebied van simulatie-tools gewenst:

- het mogelijk maken van een tijdsafhankelijke definitie van materialen en gevelgeometrie. Hierbij kan het begrip 'tijd' betrekking hebben op de vier seizoenen, maar lijkt uitbreiding naar maandelijks, wekelijks, dagelijks, uurlijkse of zelfs nog kleinere tijdstappen wenselijk;
- het uitbreiden van beschikbare regelingen tot regelingen die niet

alleen op parameters als binnentemperatuur sturen, maar ook kunnen worden beïnvloed door datum/seizoen.

SAMENVATTING EN CONCLUSIES

Dit artikel introduceert het onderzoeksprogramma 'CABS' (Climate Adaptive Building Shells). Doel van dit onderzoeksprogramma is het ontwikkelen van bouwkundige constructies voor de gebouwschil – en van hierop afgestemde installatiecomponenten en regelingen – waarmee een verdere, substantiële reductie van het energiegebruik in gebouwen kan worden gerealiseerd.

Kenmerkend voor het CABS-onderzoek zijn zowel de gekozen 'inverse aanpak' als het innovatieve eindproduct, waarnaar door deze aanpak wordt gestreefd. Namelijk: klimaatgestuurde gebouwschillen waarvan opbouw en samenstelling met de seizoenen kunnen variëren.

Bij wijze van eerste vingeroefening is door TNO-ECN – in samenwerking met de University of Plymouth – een verkenning gedaan naar het besparingspotentieel voor verwarmen en koelen van gebouwen dat met gevels, waarvan thermische weerstand en zon-toetreding klimaatgestuurd variëren, kan worden aangeboord. Hierbij is gebruik gemaakt van de "gereedschappen" NMR 2917 en TRNSYS.

De resultaten geven aan dat – met behoud van thermisch comfort – voor de hier bekeken situatie afstemming van Rc-waarde van de gevel en van de mate van zoninstraling door deze gevel aan de seizoenen (maanden), zou leiden tot energiebesparingen van ruwweg 70 tot 85 procent.

In deze voorstudie is gebruik gemaakt van bestaande reken- en simulatietools.

In het algemeen kan worden gesteld dat geen van de bestaande 'gesloten' simulatietools de mogelijkheid biedt om het energiegebruik in gebouwen, waarvan opbouw en samenstelling van de gebouwschil in de tijd variëren, te simuleren. Toepassing van de hier beschreven 'klimaatgestuurde gevels' zal dan ook leiden tot de noodzaak van nieuwe ontwikkelingen op het gebied van gebouwsimulatie.



REFERENTIES

1. Loncour, X., A. Deneyer, M. Blasco, G. Flamant, P. Wouters, 2004. *Ventilated double facades: classification & illustration of façade concepts*. Brussels: Belgian Building Research Institute.
2. Poirazis, H., 2004. *Double Skin Facades for Office Buildings*. Lund: Lund University, Division of Energy and Building Design, Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology (ISSN 1651-8128).
3. NEN 2005. NPR 2917. *Rekenprogramma energieprestatie utiliteitsbouw op CD-ROM met handboek*. Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.
4. Transsolar Energietechnik, 2001. *TRNSYS en TRNSHELL*, Version 15.2.
5. ISSO 2004. *Publicatie 74: Thermische behaaglijkheid - eisen voor de binnentemperatuur in gebouwen*. Rotterdam: Stichting ISSO, Kennisinstituut voor de installatiesector.
6. Ruijg, G.J., 2008. *Simulaties verkennend onderzoek CABS*. Interne memo ECN.