

De betrekkelijkheid van actieve gevels

Gebouwen met veel glas in de gevel komen in Nederland en in Europa steeds meer voor.

Het overvloedige gebruik van glas dragen bij aan een hightech imago en de transparantie geeft de gebouwen een prestigieus karakter.

Het vele glas leidt in perioden met veel zonnestraling echter wel tot problemen. Wanneer er bouwkundig onvoldoende rekening is gehouden met deze mogelijke problemen, kan het thermische comfort alleen aanvaardbaar worden gehouden door middel van gebouwinstallaties. Dit leidt tot een hoge koellast en dus een hoog energiegebruik. Eén van de mogelijke bouwkundige maatregelen is het aanbrengen van voorzieningen in de gevelzone ter beperking van de toetreding van zonnestraling. Hierbij worden actieve gevels als een doeltreffende en architectonische fraaie oplossing gezien.

Actieve gevels zijn daarom vooral onder architecten populair. Zonder twijfel worden daarbij tegenover de opdrachtgever allerlei bouwfysische en installatietechnische voordelen naar voren gebracht.

Het is echter waarschijnlijk dat architecten voor actieve gevels kiezen omdat je er heel mooie transparante gebouwen mee kunt maken. Let wel: kunt, want het gaat nogal eens mis en ook de voordelen vallen soms tegen.

-door prof. ir. Nico Hendriks*

Een actieve gevel is in principe opgebouwd uit twee aparte beglazingen met daartussen een spouw, waarin lucht stroomt. Deze spouw is meestal voorzien van een zonwering. In de winter moet de spouw

als klimatologische buffer werken en in de zomer moet hierdoor de koellast worden verminderd door de opgewarmde spouwlucht door ventilatie af te voeren.

Figuur 1 toont een aantal mogelijkhe-

den voor de luchtstromen. Op grond hiervan kunnen actieve gevelsystemen worden onderverdeeld aan de hand van het werkingsprincipe. Zo komt men tot de volgende drie concepten:

1. luchtgordijngevel (afbeelding 1.1 en afbeelding 1.2)

De lucht verlaat de actieve gevel aan dezelfde kant waar deze de gevel binnenkomt. Hierbij kan sprake zijn van buitenlucht (tweede-huidgevel) of binnenlucht (conventionele klimaatgevel) die door de spouw stroomt;

2. toevoergevel (afbeelding 1.3)

De buitenlucht wordt via de actieve gevel in het gebouw gebracht;

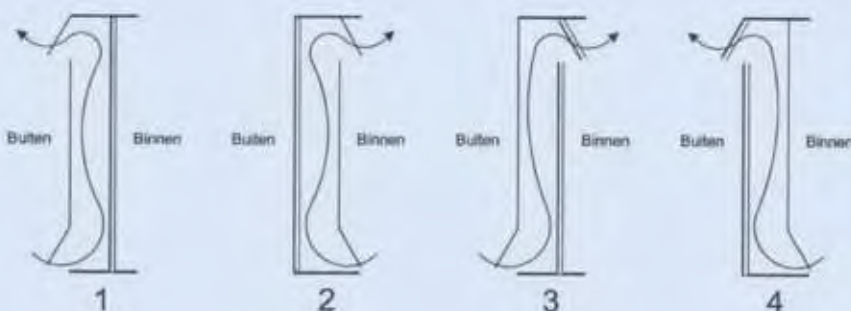
3. afvoergevel (afbeelding 1.4)

De binnenlucht wordt door de actieve gevel naar buiten afgevoerd.

De oorsprong van de lucht bepaalt in grote mate de uiteindelijke spouwluchttemperatuur. Hierbij speelt ook nog een rol welke drijvende krachten de luchtstroom veroorzaken. Deze kunnen worden opgewekt door mechanische ventilatie, door thermische trek of winddrukverschillen en combinaties daarvan. Ten slotte moet nog worden opgemerkt dat ook de onderverdeling van de gevel van belang kan zijn. Men spreekt in dat geval wel van ramen en boxen. Uiteindelijk kunnen ongeveer 40 varianten worden beschreven. In dit artikel wordt allereerst de tweede-huidgevel besproken en wordt vervolgens in het kort ingegaan op wat men de nieuwe generatie klimaatgevels zou kunnen noemen, bekend als de screen-doek klimaatgevel en ook wel aangeduid als de Hollandse klimaatgevel.

TWEEDEHUIDGEVEL

De tweedehuidgevel, sinds de boeken van Just Renckens ook wel tweedehuid-façade genoemd, is eind jaren tachtig ontwikkeld. Het - meestal thermisch



Oorsprong van de lucht in actieve gevels.

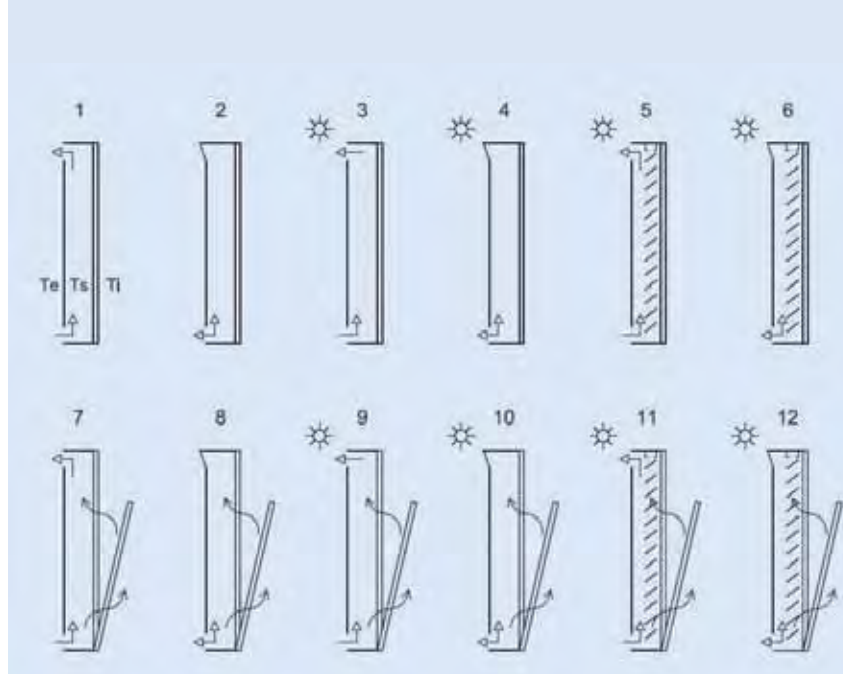
- FIGUUR 1 -

*BDA Geveladvies B.V. en TU/e Bouwkunde

voorgespannen - enkelglas bevindt zich aan de buitenzijde en het isolatieglas en/of een andere gevelconstructie aan de binnenzijde. Men kan dit deel van de tweedehuidgevel nog het beste de binnengevel noemen. Wat de positie van de glasbladen betreft is deze net andersom als bij de klimaatgevel, waar het isolatieglas buiten zit en het enkelglas binnen. In de spouw bevindt zich, net als bij de klimaatgevel, de zonwering, die helaas vaak ook als lichtregeling wordt gebruikt. Helaas, omdat de behoefte aan zonwering lang niet altijd gelijk op gaat met die aan lichtregeling. Maar ja, het is natuurlijk wel goedkoper. Bijna altijd zijn in de binnengevel opengaande ramen opgenomen. De gedachte hierachter was en bij vele architecten is dat spijtig genoeg nog zo, dat hierdoor 'natuurlijke ventilatie' mogelijk zou zijn. Tegelijkertijd kwam de gedachte op, dat met een tweedehuidgevel optimaal gebruik zou kunnen worden gemaakt van drukvereffening, door de voegen tussen de enkelglasbladen (gedeeltelijk) open te houden. Een andere mogelijkheid daartoe is het gebruik van te openen spouwkleppen. Die combinatie, opengaande ramen en drukvereffening, is al menige tweedehuidgevel gevel fataal geworden. Om dit te begrijpen volgt nu eerst een toelichting op een aantal begrippen.

INSTELMOGELIJKHEDEN EN COMPARTIMENTERING

De instelmogelijkheden van tweedehuidgevels zijn legio. Afbeelding 2 toont twaalf verschillende instellingen, afhankelijk van wel of geen zonbelasting, raam open of dicht, zonwering op of neer en spouwkleppen open of dicht. Dit aantal is zeker niet het maximum, denk maar aan aparte lichtregeling en het al of niet onderling verbinden van verdiepingscompartimenten. Het compartimenteren van de spouw is tegenwoordig meer regel dan uitzondering. Meestal gebeurt dit per verdieping, maar ook grotere compartimenten komen voor. De eerste tweedehuidgevels hadden een doorgaande spouw over de volle gebouwhoogte. Dit leidde tot ernstige opwarming van de spouwvlucht dat vooral problemen gaf bij de bovenste verdiepingen. Een bekend voorbeeld is een kantoorgebouw van Norman Foster, te zien in afbeelding 3. Als gevolg van de hoge temperaturen bovenin sprongen de



Verschillende instellingen van een tweedehuidgevel, afhankelijk van wel of geen zon, open of dicht raam, zonwering op of neer en spouwklep open of dicht.

· FIGUUR 2·



Kantoorgebouw van Norman Foster met een van de eerste tweedehuidgevels. Door het ontbreken van compartimentering ontstonden boven in de spouw dermate hoge temperaturen dat er glaspanelen uit hun rubbers sprongen.

· FIGUUR 3·

glasplaten uit hun rubbers. Toch komen (goedkope) doorgaande spouwen nog steeds voor. Om opwarming te voorkomen wordt de spouw aan boven en onderzijde in verbinding gebracht met buitenlucht of worden de voegen open gehouden. Beide oplossingen kunnen echter tot ernstige problemen leiden, zoals hierna nog duidelijk zal worden.

DRUKVEREFFENING

Drukvereffening houdt in, dat wanneer er een drukverschil heerst over een scheidingsconstructie (gevel of dak), het effect daarvan kan worden geminimaliseerd door drukvereffening. Voorwaarde is dat zich in de constructie een spouw bevindt die in verbinding staat

met de buitenlucht, terwijl de scheiding naar de binnenruimte (vrijwel) luchtdicht is. De mate (eigenlijk de snelheid) van drukvereffening hangt onder meer af van de perforatiegraad van de scheiding naar de buitenlucht. De precieze modellering is onderwerp van promotieonderzoek aan de TU Eindhoven. Bij een goede drukvereffening is er bij een gecombineerde regen-windaanval op de scheidingsconstructie vrijwel geen drijvende kracht die het regenwater in de constructie perst. Daarmee wordt de basis gelegd voor een betrouwbare waterdichtheid. Bovendien biedt drukvereffening de mogelijkheid de windbelasting beter te verdelen over de buiten- en binnenschaal van de gevelconstruc-



Schade aan de spouwisolatie in proefopstelling.

- FIGUUR 4-

tie. Bij wanden met een spouw is er een scheiding van functies: de buitenschaal fungeert als regenkering, de binnenschaal als winddichting. De spouw heeft meerdere taken. De verbinding met buitenlucht heft het luchtdrukverschil over het buitenblad op en de spouw zorgt voor de afvoer van de eventueel nog kleine hoeveelheid binnengedrongen water. Doordat het binnenblad droog of nagenoeg droog blijft, is de enige maar wel essentiële functie daarvan het afdichten tegen wind die het luchtdrukverschil veroorzaakt. Drukvereffening werkt alleen wanneer de binnendichting (vrijwel) luchtdicht is. Hieruit volgt dat het toepassen van drukvereffening in een tweedehuidgevel in combinatie met opengaande ramen in de binnengevel eenvoudig niet kan werken.

SCHADE AAN SPOUWISOLATIE

Afgezien van de vele instelmogelijkheden van de spouwruimte is een tweedehuidgevel in feite een normale warme gevel, waarvoor een extra huid van enkel glas wordt aangebracht. Dit betekent dat de binnengevel aan vrijwel alle prestaties moet voldoen. Bij diverse gerealiseerde projecten wil de architect echter de opbouw van de constructie laten zien. Ter plaatse van de blinde geveldelen is de isolatie dan niet afgewerkt en door de buitengevel zichtbaar. Dit heeft bij een aantal projecten ernstige problemen opgeleverd. Want een onafgewerkte spouwisolatie voldoet niet aan alle eisen die men aan een normale warme gevel moet stellen. Bij een van de projecten kon op tekening al worden gezien dat de luchtsnelheden groot kunnen zijn doordat de spouwruimte zowel aan de onderzijde van de gevel als aan de achterzijde van de dakrand geheel open is. Bij winddruk op de gevel is aan de achterzijde van de dakrand de windsnelheid



Schade aan de spouwisolatie als gevolg van hoge luchtsnelheden in de spouw.

- FIGUUR 5-



Losse steenwoldeeltjes tegen het glas van de tweede huid van het Vaktechnisch Lyceum in Utrecht.

- FIGUUR 6-

het hoogst waardoor het drukverschil over de boven- en onderzijde van de gevel groot is. De lucht wordt aan de onderzijde van de gevel ingeblazen (overdruk) en aan de bovenzijde van de gevel afgezogen (onderdruk). Bij het schadeonderzoek is aan de hand van een proefmodel onderzocht bij welke windsnelheid er schade aan het isolatiemateriaal optreedt. Dit blijkt al het geval te zijn bij windsnelheden van af 2 m.s^{-1} , zie ook afbeelding 4. Voor een correct beeld zijn er vervolgens metingen in het werk verricht. Zoals op theoretische gronden al verwacht, werd vastgesteld dat onder bepaalde omstandigheden de luchtsnelheden in de spouw zelfs hoger zijn dan de windsnelheid buiten. Bij wind loodrecht op de gevel met een snelheid van 6 m.s^{-1} (ongeveer windkracht 4) werd in de spouw op bepaalde plaatsen een lucht-

snelheid gemeten van ruim 9 m.s^{-1} . Geen wonder dat de spouwisolatie al kort na de oplevering ernstige schade vertoonde, zoals te zien op de foto van afbeelding 5.

MEERDERE MISLUKKINGEN

Een berucht voorbeeld van een mislukte tweedehuidgevel is die van het Vaktechnisch Lyceum in Utrecht. De problemen waren velerlei. Het meest in het oog springend was de ernstige verwerking van de steenwolisolatie achter de tweedehuid van (niet voorgespannen) enkelglas (afbeelding 6). De architect was ervan uitgegaan dat het isolatiemateriaal mooi zou vergrijzen als gevolg van 'een gracieus verouderingsproces'. In werkelijkheid verveert het materiaal door wind en vocht waardoor het oppervlak losser wordt.

Dit gebeurt onregelmatig, hoewel er een relatie is met de horizontale open voegen tussen de glaspanelen. Bovendien hechten de losgekomen steenwolvezeltjes zich onder meer op de ramen van het binnenblad. Die vervuilen daardoor snel, vooral ook omdat ze nooit worden berekend. De gebruikers van het gebouw maakten zich ernstig zorgen over zwevende steenwoldeeltjes. Ze hielden hun ramen potdicht om te voorkomen dat ze de vezeltjes zouden inademen. Hierdoor ontstond binnen een ondraaglijk klimaat, want de ontwerpers hadden gerekend op natuurlijke ventilatie via openstaande ramen. Met de tweedehuid zelf ging het ook niet zo goed. Na een aantal jaar vielen er herhaaldelijk glasplaten uit, als gevolg van inferieure bevestiging. Het is duidelijk dat alleen een rigoureuze aanpak soelaas zou kunnen bieden. Het glazen buitenblad is gedemonteerd en de aangetaste steenwol is afgewerkt met een mechanisch beves-

tigde kunststof dakbedekking. De tweedehuid is vervolgens op een meer betrouwbare manier bevestigd.

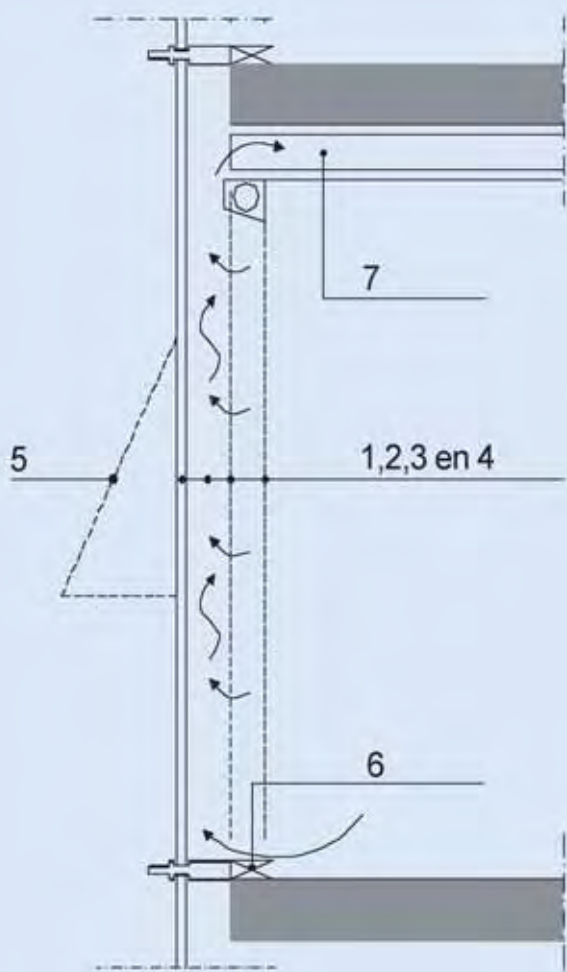
EISEN AAN BINNENGEVEL

Uit het voorgaande volgt dat de binnengevel van een tweedehuidgevel aan alle eisen moet voldoen die gelden voor een enkelschalige gevel. Bouwtechnisch is de tweedehuid niets anders dan een vaak tochtige regenjas. Dit uitgangspunt is trouwens ook erg belangrijk voor de uitvoeringsfase, wanneer de binnengevel soms geruime tijd wordt blootgesteld aan weer en wind. Bij het fameuze glazen hoofdkantoor van de ING in Amsterdam, met bijnamen als 'klapschaats' en 'kruimeldief', heeft de gedeeltelijk van (weinig duurzaam) hout vervaardigde binnengevel bijna een halfjaar 'buiten' gestaan. Er zijn aanwijzingen dat dit tot houtrot heeft geleid, ook al omdat in de huidige spouw vaak hoge relatieve vochtigheden heersen.

KLIMAATGEVEL

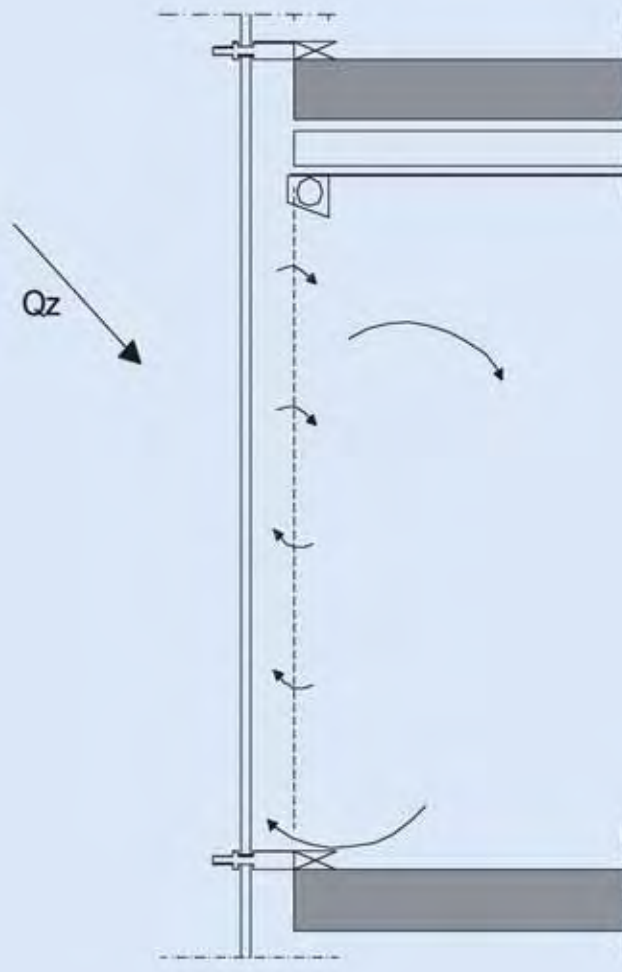
Een gewone klimaatgevel bestaat uit een buitenblad van isolerende beglazing, een vrij ruime luchtspouw (100 à 200 mm) en een binnenblad van enkel glas. In de spouw is een vrijhangende (lamellen) zonwering opgenomen. Deze dient vaak ook als helderheidsregeling van dag- en zonlicht. De binnenvallende zonnearmte wordt direct in de spouw afgezogen.

Bij directe zonbelasting is de uiteindelijke efficiëntie van de klimaatgevel, vooral bij erg koud of erg warm weer afhankelijk van het goede gebruik van de zonwering. Dat kan perfect met een automatische regeling, maar dat is niet meer van deze tijd. De gebruiker moet zijn eigen comfort kunnen regelen en dus ook de instelling van de zonwering. Dus is het gedrag van de gebruiker van grote betekenis. Voor zijn thermische comfort moet deze de zonwering voornamelijk als energiescherm gebruiken en niet voor het regelen van de helderheid. Dat kan



Opbouw van de Hollandse Klimaatgevel.

- FIGUUR 7-



Terugstroming van warme lucht door screendoek.

- FIGUUR 8-

beter met een aparte voorziening, anders gaat het één ten koste van het ander.

SCREENDOEK KLIMAATGEVEL

Voor het bedrijfsverzamelgebouw Mercator I, van het Mercator Technology & Science Park in Nijmegen is een goedkope versie van de klimaatgevel ontwikkeld, inmiddels bekend als 'screendoek klimaatgevel'. Het glazen binnenblad en de lamellenzonwering samen zijn vervangen door een oplosbaar screendoek. De architect heeft daarbij gekozen voor maximaal behoud van het uitzicht, dus voor de grootste lichtdoorlatendheid. Al spoedig bleek dat vooral aan de zuidgevel het werken aan computerschermen onmogelijk was door te hoge lichttoetreding. De huurders protesteerden, onder andere door papier tegen het glas te plakken. Dat hielp in zoverre dat de eigenaar een extra binnenzonwering van horizontale lamellen liet aanbrengen. Beide zonweringen zijn handbediend (goedkoop!) met als gevolg dat de zonwering in de praktijk onvoldoende als energiescherm wordt ingezet, wat zoals gezegd essentieel is voor een klimaatgevel. Bij zonnig weer resulteert dat in een te hoge koellast, die de klimaatinstallatie niet aan kan. Men heeft

getracht dit te op te lossen door de spouwventilatie te verbeteren, maar dit bood onvoldoende soelaas. In een uitgebreid onderzoek is geëxperimenteerd met allerlei verbeteropties. Wat daar de resultaten van zijn is voor zover bekend, nog niet gepubliceerd.

HOLLANDSE KLIMAATGEVEL

Naar aanleiding van de problemen met de screendoekgevel van het Mercator gebouw is bij de faculteit Bouwkunde van de TU/e een onderzoek uitgevoerd om tot een simulatiemodel te komen. Dit model is gevalideerd door middel van metingen.

De principe-opbouw van de Hollandse klimaatgevel is, van buiten naar binnen beschouwd, als volgt (zie ook afbeelding 7):

1. dubbele isolerende/ zonwerende beglazing in een aluminium vliesgevelsysteem;
2. luchtspouw, mechanisch afgezogen (luchtstroom meestal naar boven gericht);
3. een transparant oplosbare binnenzonwering;
4. eventueel een helderheidswerende voorziening;
5. eventueel te openen ramen en/of ventilatieopeningen;
6. eventueel een verwarmingselement

in de gevelzone;
7. mechanische afzuiging.

Omdat de binnenzonwering permeabel is, kan bij zonnestraling op de gevel, terugstroming van warme lucht uit de spouw door de binnenzonwering naar de achterliggende ruimte plaatsvinden (zie afbeelding 8). Dit zorgt voor veel zonnewarmtetoetreding naar de achterliggende ruimte. Deze terugstroming van warme lucht uit de spouw hoeft echter niet altijd op te treden. Terugstroming van warme lucht uit de spouw zal namelijk niet optreden als de mechanische afzuiging de overheersende factor is in de spouw. Of de mechanische afzuiging de overheersende factor is, is afhankelijk van de volgende parameters:

- de zonnestraling op de gevel;
- de grootte van het luchtdebiet van de mechanische afzuiging;
- bouwkundige afmetingen (spouwhoogte en spouwdiepte);
- spectrale eigenschappen van het glas en binnenzonwering;
- de permeabiliteit van de binnenzonwering.

Voor het inschatten van de g-waarde en de convectiefactor van de Hollandse klimaatgevel is gebruik gemaakt van een simulatiemodel, dat is geleverd

Ventilatievoud	SGG Cool-lite 165B (zonwerend)			SGG Planitherm Futur N (HR ⁺⁺ -glas)	
	Type 816	Silverscreen	Multifilm	Type 816	Silverscreen
1,66 (24,9 m ³ /(h.m))	0,2659	-	0,1579	0,4165	0,2691
1,89 (28,4 m ³ /(h.m))	-	0,1623	-	-	-
3,46 (51,9 m ³ /(h.m))	0,2184	0,1414	0,1204	0,3772	-
4,05 (60,8 m ³ /(h.m))	-	-	-	-	0,2026

Resultaten van de g-waarden van de doorgemeten Hollandse klimaatgevels.

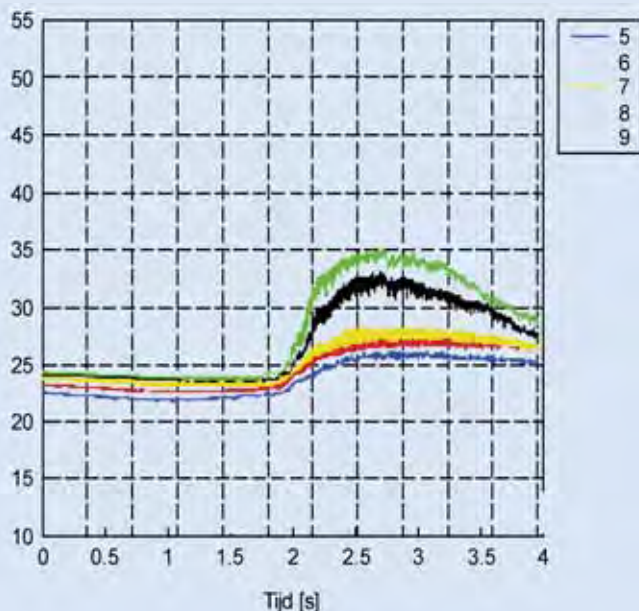
- TABEL 1 -

Ventilatievoud	SGG Cool-lite 165B (zonwerend)			SGG Planitherm Futur N (HR ⁺⁺ -glas)	
	Type 816	Silverscreen	Multifilm	Type 816	Silverscreen
1,66 (24,9m ³ /(h.m))	0,4643	-	0,4585	0,4753	0,5860
1,89 (28,4 m ³ /(h.m))	-	0,5703	-	-	-
3,46 (51,9 m ³ /(h.m))	0,3818	0,5563	0,5172	0,4429	-
4,05 (60,8 m ³ /(h.m))	-	-	-	-	0,4870

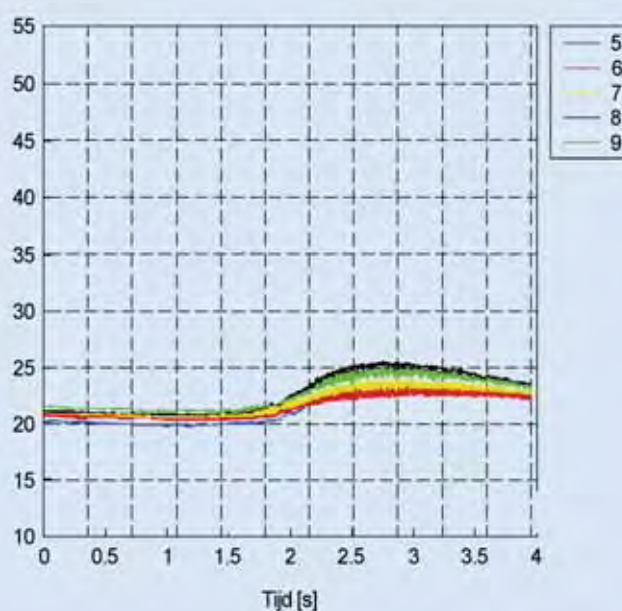
Resultaten van de convectiefactoren van de doorgemeten Hollandse klimaatgevel.

- TABEL 2 -

Verosol type 816



Verosol type Silverscreen



Verschillen in prestaties van screendoeken.

- FIGUUR 9 -

met praktijkmetingen. Voor het onderzoek waren twee kamers beschikbaar, waarin twee Hollandse klimaatgevels met een hoogte van 2,20 meter zijn nagebouwd. De spouwdiepte (afstand tussen het glas en de binnenzonwering) was ingesteld op 100 mm. In de meetopstelling zijn de volgende parameters onderzocht:

- de grootte van het luchtdebiet van de mechanische afzuiging (instelbaar tot +/- $60 \text{ m}^3 \cdot (\text{h} \cdot \text{m})^{-1}$);
- type binnenzonwering (van Verosol en Multifilm);
- type beglazing (zonwerende en HR⁺⁺-beglazing).

Uit de verificatie is gebleken dat met het ontwikkelde simulatiemodel de warmtehuishouding in de Hollandse klimaatgevel over het algemeen goed kan worden ingeschat. De gesimuleerde luchtsnelheden in de spouw blijken minder goed overeen te komen met de praktijk.

In tabel 1 en tabel 2 zijn de resultaten van de g-waarde en de convectiefactor voor verschillende doorgemeten varianten van de Hollandse klimaatgevel weergegeven. Hierbij is gevarieerd in de bovenstaande parameters. Zowel de g-waarden als de convectiefactoren zijn berekend aan de hand van het simulatiemodel. Uit de resultaten blijkt dat zowel de g-waarde als de convectiefactor van dit gevelconcept erg hoog kan oplopen.

Afbeelding 9 laat zien dat de prestaties van de twee onderzochte screendoeken

nogal verschillen.

Uit het onderzoek is duidelijk naar voren gekomen dat de Hollandse klimaatgevel wel kan werken, maar ook dat het onmogelijk is thermisch goed functioneren te combineren met een goed uitzicht en lichtregeling. Compromissen blijven nodig. Uiteindelijk speelt ook het gebruikersgedrag een doorslaggevende rol. Laten we hopen dat architecten dat ook zullen inzien.

BRONNEN

1. Renckens, J.L.M.: 'Technologie en organisatie van alu-glasfaçades', proefschrift, TU Delft 1997.
2. Willems, M.: 'Hollandse klimaatgevel – Simulatiemodel voor thermische eigenschappen in zomercondities', afstudeerverslag, faculteit Bouwkunde TU/e, unit Building Physics and Systems (voorheen FAGO), november 2006.
3. Hendriks, N.A.: 'Zin en onzin van tweedehuidgevels', BouwIQ, februari 2006.
4. Hendriks, N.A.: 'Het belang van drukvereffening bij dubbelfaçades', syllabus symposium 'Actieve en Interactieve dubbelschalige gevels – praktijkervaringen', TU Delft, 10 mei 2004.
5. Hendriks, N.A.: 'Frankenstein revisited: Vaktechnisch Lyceum in Utrecht', Detail in Architectuur, juni 2004.
6. Hendriks, N.A.: 'Form fails function', Bouwwereld 100 nr.15, September 2004.

7. Meulenkamp, B: 'Kijk op 2^e huidgevels', presentatie op afscheidsymposium Bart Meulenkamp, 10 november 2005.