

Afgifte – Lucht – Energetische en Bouwfysische Optimalisatie

Kenniskbank Bouwfysica

Auteurs: dr.ir. Peter van den Engel, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijsscher, ir. John van der Vliet

1 Inleiding

Ingegaan wordt op energiebesparende en comfortverbeterende maatregelen bij gevels.

2 Bouwkundige klimaatregelende voorzieningen

2.1 Mogelijkheden en beperkingen

Met bouwkundige voorzieningen kan het klimaat in gebouwen op “natuurlijke” wijze worden beïnvloed. Vaak is toepassing in combinatie met installatietechnische voorzieningen mogelijk. In het algemeen geldt dat bouwkundige voorzieningen robuuster zijn dan installaties en dat ze minder vaak disfunctioneren omdat ze niet afhankelijk zijn van draaiende delen, zoals pompen en ventilatoren. Ze hebben ook nadelen, zoals het niet constante effect door variërende invloeden van wind, buitentemperatuur en gebouwmassa. Het ontbreken van elektrische aandrijving heeft in beginsel een gunstige invloed op het energiegebruik. Er zijn echter ook voorbeelden waarbij elektrische aandrijving juist tot beperking van het energiegebruik leidt, zoals bij warmteterugwinning of lange termijn warmteopslag in de bodem. Vaak is het de combinatie van bouwkundige en installatietechnische voorzieningen die tot een optimum leidt.

2.2 Te openen ramen

Met te openen ramen kunnen ruimten op een natuurlijke wijze worden geventileerd en gekoeld.

De lucht in verblijfruimten is via te openen ramen te verversen als:

- Het ventilatievoud*) voor luchtverversing niet meer is dan 2 (anders ontstaan tochtklachten bij buitentemperaturen lager dan 12 °C).
- De van buiten komende lucht door een radiator, convector of luchtstroom tot ten minste 18 °C wordt verwarmd.
- De ruimte niet dieper is dan 2 maal de hoogte van de ruimte.
- Open ramen geen onaanvaardbare geluidsbelasting of verontreiniging van de ruimtelucht (door verkeer of industrie) tot gevolg hebben.

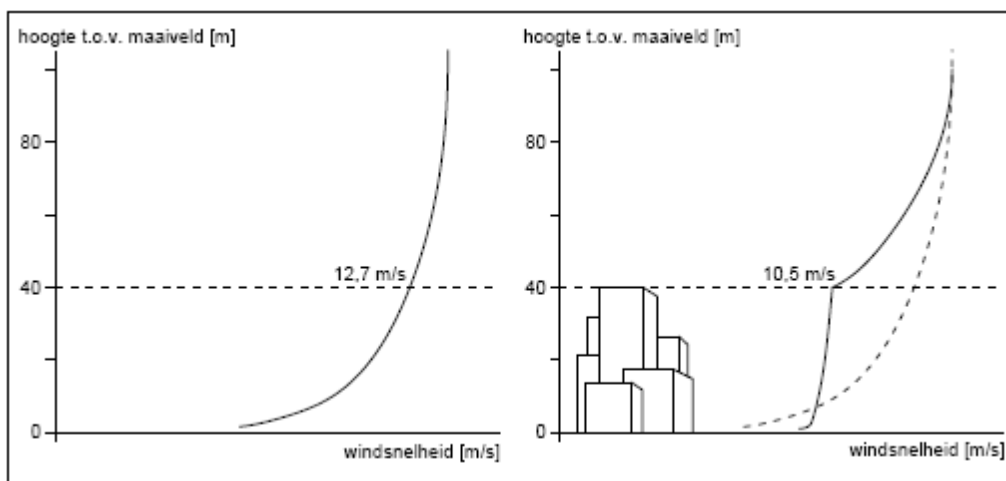
*) "Ventilatievoud" is een aanduiding voor de mate waarin ruimten worden geventileerd. "Ventilatiefrequentie" en "luchtwisselingen per uur" betekenen hetzelfde. De dimensie is: m³ lucht per uur per m³ ruimte (m³/h.m³ = h⁻¹). "Circulatievoud" wordt wel gebruikt om aan te geven dat de lucht waarmee wordt geventileerd (voor een deel) geen verse buitenlucht is. Dit boek maakt dit onderscheid niet omdat apart wordt vermeld als het om luchtverversing gaat.

Omdat de buitentemperatuur in Nederland gemiddeld 10 °C is [1] kunnen gebouwen een groot deel van de tijd op natuurlijke wijze met buitenlucht worden gekoeld.

Bij buitentemperaturen boven 18 °C kunnen verblijfruimten via te openen ramen op natuurlijke wijze 10-voudig worden geventileerd en dus ook op natuurlijke wijze worden gekoeld. Als vuistregel voor verblijfruimten geldt dat natuurlijke koeling kan volstaan als de binnentemperatuur niet meer dan 3°C hoger wordt dan de buitentemperatuur. Hieruit volgt dat verblijfruimten natuurlijk worden gekoeld als hun koelbehoefte niet meer is dan **25 à 30 W/m²** vloeroppervlakte. Bij ruimten voor kortdurend verblijf, zoals sportzalen en verkeersruimten, zijn grotere ventilatievouden mogelijk en worden grotere temperatuurverschillen toegestaan zodat bij dergelijke ruimten met natuurlijke koeling aan grotere koelbehoefte is te voldoen.

Vaak worden te openen ramen toegepast in combinatie met mechanische afvoer en toevoerroosters in de gevel. De te openen ramen dienen dan alleen voor koeling of extra ventilatie na intensief gebruik van de ruimte. Om de kans op tocht te beperken moet het sluitmechanisme van de ramen een goede dosering van de ventilatie mogelijk maken. Dit is vooral van belang bij ramen die aan hoge winddrukken worden blootgesteld. Het is overigens een misvatting dat te openen ramen niet op grote hoogte zijn toe te passen. Voorbeelden uit de Verenigde Staten en Azië tonen dit aan. De China Bank in Hong Kong is 365 m hoog en heeft te openen ramen. Gevelbouwer Gartner tekende voor de detaillering van de ramen.

De winddruk op gevels is afhankelijk van de windsnelheid en turbulenties. Figuur 1 toont de windsnelheid in het vrije veld bij verschillende hoogten.

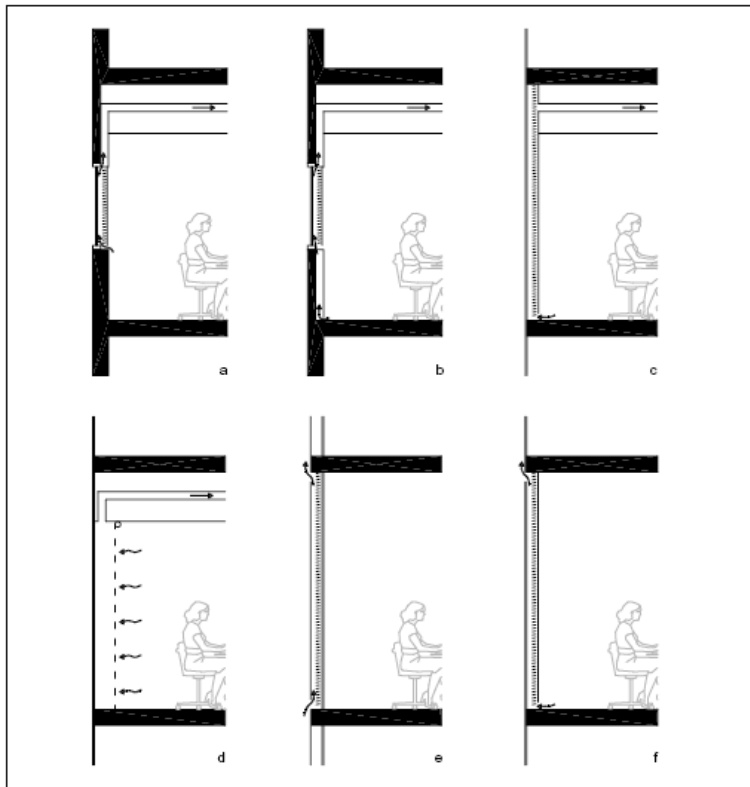


Figuur 1 Windsnelheid boven het maaiveld in het open veld en met bebouwing

In een bebouwde omgeving is de windsnelheid boven het maaiveld lager en neemt boven de bebouwing sterker toe. Bij een gebouw van 200 m benadert de windsnelheid op een hoogte van 25 m reeds de waarde van de snelheid op 200 m. Met andere woorden: als op de 7^e verdieping te openen ramen kunnen zitten dan kan dat op de 60^e verdieping ook. Hetzelfde geldt voor zonwering. Het gebouw van Bouwkunde heeft 14 verdiepingen en is voorzien van te openen ramen. Aan de NO-zijde van Bouwkunde staat een gebouw van Rijkswaterstaat. Het is 45 m hoog en heeft op alle verdiepingen te openen ramen en buitenzonwering.

2.3 Klimatramen

Klimatramen hebben dubbel glas aan de buitenzijde, een geventileerde spouw - met daarin regelbare zonwering - en enkel glas aan de binnenzijde (figuur 2a).



Figuur 2 Verschillende typen klimaatramen en -gevels

Klimaatramen kunnen zonnewarmte bijna even goed weren ($ZTA \approx 0,15$ à $0,20$) als dubbel glas met buitenzonwering. Bij lage buitentemperaturen zijn klimaatramen eveneens gunstig omdat de spouw met lucht uit het vertrek wordt geventileerd waardoor de glastemperatuur aan de binnenzijde bijna even hoog wordt als de vertrektemperatuur. Hierdoor blijven de "koudestraling" en "koudeval" beperkt. Ook de warmtedoorgangscoefficiënt is laag ($U \approx 1,2$ W/m^2K bij toepassing van helder glas).

Het "oorspronkelijke" klimaatraam heeft blank dubbel glas aan de buitenzijde, een geventileerde spouw (met daarin beweegbare zonwering) en enkel blank glas aan de binnenzijde, zie figuur 2a.

Klimaatramen hebben gunstige eigenschappen voor omstandigheden met een hoge buitentemperatuur in combinatie met een hoge zonbelasting, maar ook voor omstandigheden met een lage buitentemperatuur zonder zonbelasting. Tabel 1 laat zien dat de ZTA-waarde van een klimaatraam afhankelijk is van het type zonwering in de spouw en van de spouwventilatie. Deze tabel geldt voor klimaatramen met een hoogte van 1 tot 2 m en spouwdiepten van 0,06 tot 0,2 m.

Tabel 1 ZTA-waarde van klimaatramen, afhankelijk van de via spouw afgezogen luchthoeveelheid

zonwering	luchthoeveelheid ($m^3/h.m^1$ raambreedte)			
	20	40	60	80
geen	0,53	0,51	0,50	0,48
doek	0,23	0,19	0,18	0,17

lamel/licht	0,15	0,12	0,10	0,09
lamel/donker	0,20	0,15	0,13	0,11

Doordat de spouw van het klimaatraam wordt geventileerd met lucht uit het vertrek, benadert de temperatuur van het glas de vertrektemperatuur en blijft het warmteverlies via dit glasvlak beperkt. Dit blijkt uit de lage warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van het klimaatraam, die afhankelijk blijkt te zijn van de raamhoogte en de spouwventilatie, zie tabel 2.

Tabel 2 U-waarde van klimaatramen, afhankelijk van de via spouw afgezogen luchthoeveelheid

raamhoogte m	luchthoeveelheid (m ³ /h.m ¹ raambreedte)			
	20	40	60	80
1,0	1,10	0,85	0,65	0,6
1,5	1,25	0,95	0,85	0,7
2,0	1,35	1,10	0,90	0,8

Om een effectieve spouwventilatie te bereiken mag de spouwdiepte niet te groot zijn. Bovendien moeten de luchttoevoer- en afvoeropeningen goed gedimensioneerd zijn, zie tabel 3.

Tabel 3 Diverse afmetingen van klimaatramen

lucht- hoeveelheid m ³ /h.m ¹	maximale spouwdiepte mm	maximale spleetbreedte mm	afvoer- openingen cm ² /m ¹
20	60	4	10
40	110	7	20
60	170	11	30
80	200	15	40

De gegevens uit de tabellen zijn ontleend aan [2]. De lucht wordt per raam afgevoerd. Extrapolatie van de tabelgegevens naar klimaatramen met een grotere hoogte dan 2 m of ramen waarvan de spouw over meerdere verdiepingen doorloopt, leidt tot verkeerde conclusies. Bovendien kunnen ongewenst hoge temperaturen in de spouw en - daardoor - warmteschade aan de constructie ontstaan.

2.4. Klimaatgevels

Het transparante deel van klimaatgevels heeft een opbouw als klimaatraam. De spouwhoogte is gelijk aan de vertrekhoogte (figuur 2b). De gevel kan ook geheel transparant zijn (figuur 2c). De klimaatgevel wordt mechanisch geventileerd met lucht uit het vertrek die via een spleet aan de onderzijde de spouw instroomt en aan de bovenzijde de spouw weer verlaat. De stroming kan ook van boven naar beneden gericht zijn. Om in dat geval de interne circulatie te beperken mag de luchtsnelheid in de spouw niet lager zijn dan 0,1 m/s. Stroming van boven naar beneden heeft als voordeel dat in het vertrek een gelijkmatiger temperatuur ontstaat omdat lucht hoog uit de ruimte wordt afgevoerd, bovendien vervuult de spouw minder. Voor het berekenen van de benodigde spouwventilatie en de temperatuurtoename in de spouw kan

een warmtebalans worden gebruikt. Zie [3] voor de afleiding van een vereenvoudigde warmtebalans en rekenvoorbeelden.

Voor effectieve afvoer van warmte moet lucht hoog uit de ruimte worden afgevoerd, bij voorbeeld via de verlichtingsarmaturen.

Een zelfde luchthoeveelheid moet samen met de hoeveelheid die via de spouw wordt afgevoerd ook aan de ruimte worden toegevoerd. Een rekenvoorbeeld in [3] laat zien dat voor een temperatuurverhoging van 20 °C in de spouw een spouwventilatie nodig is van 82 m³/h per strekkende meter gevel. Bij een vertrekdiepte 5,4 m en luchtafvoer via de armaturen van 3 m³/h per m² vloeroppervlakte (enkelvoud) moet per meter gevel $82 + 5,4 \times 3 = 98,2$ m³/h lucht worden toegevoerd. Dat komt neer op ruim 6-voudige ventilatie, veel meer dan de 2-voud die meestal bij “lucht/water”-systemen (inductieapparaten, ventilatorconvectoren) of “lucht+water”-systemen (VAV in combinatie met een koelplafond) wordt toegepast. Met andere woorden: klimaatgevels en “lucht/water”- of “lucht+water”-systemen zijn geen voor de hand liggende combinatie. Wordt de combinatie wel toegepast, moet rekening worden gehouden met een hogere ZTA-waarde, een hogere spouwtemperatuur en een reële kans op warmteschade aan de gevelconstructie. Of er moet meer lucht worden toegevoerd dan gebruikelijk is bij “lucht/water”- en “lucht+water”-systemen. De belangrijkste voordelen van deze systemen - geringe luchttoevoer en kleine luchtkanalen - vervallen daardoor.

2.5. Vereenvoudigde klimaatgevel

TU-Eindhoven experimenteerde met een klimaatgevel waarvan de binnenruit en de zonwering tot één element zijn gecombineerd [4] (zie figuur 4.43d). Voor dit element nam men licht- en lucht-doorlatend doek. Voor een goede werking van de gevel moet dit doek altijd aanwezig zijn en daarom goed doorzicht geven. Geëxperimenteerd werd met doek met verlopende doorzichtigheid. De spouw tussen het doek en de beglazing wordt geventileerd door mechanisch afvoer. De lucht stroomt via het doek vanuit het vertrek naar de spouw. Zie bijlage 6 voor meer gegevens. De praktijk laat zien dat mensen het vervelend vinden om via het doek naar buiten te kijken, ze draaien het doek om die reden vaak omhoog. De gevel heeft dan niet meer de gunstige U- en ZTA-waarde en daardoor ook niet het lage energiegebruik en de hoge energieprestatie zoals bedoeld. De vereenvoudigde gevels zijn - kijkend naar de tekenzalen/ateliers bij Bouwkunde - niet nieuw. Ook hier zorgt een doek achter de gevel voor de vorming van een spouw en wordt lucht aan de bovenzijde afgezogen. Het verschil is dat het doek bij Bouwkunde vrij dik is waardoor het geen doorzicht biedt. Omdat het doek de hoogte van de gevel over twee verdiepingen beslaat kan, als het doek naar beneden is, alleen op de even verdiepingen onder het doek door naar buiten worden gekeken.

2.6 Vereenvoudigde klimaatgevel

Bij TU Eindhoven werd geëxperimenteerd met een klimaatgevel waarvan het binnenraam en de zonwering tot één element zijn gecombineerd [4], zie figuur 2d. Voor dit element nam men licht- en luchtdoorlatend screendoek. Voor een goede werking van de gevel moet het doek altijd aanwezig zijn en om die reden goed doorzicht bieden. Geëxperimenteerd werd met oprolbaar screendoek met een verlopende doorzichtigheid. Bij bewolkt weer kan het deel met de grootste doorzichtigheid worden gekozen. De spouw tussen het screendoek en de beglazing wordt geventileerd door middel van mechanisch afvoer. De lucht stroomt via het doek vanuit het vertrek in de spouw.

De zonweringsfactor (ZTA) en de equivalente U-waarde van deze constructie zijn in tabel 4 en 5 samengevat. Uit deze tabellen blijkt dat de raamhoogte vrijwel geen invloed heeft op deze waarden.

Tabel 4 ZTA-waarde vereenvoudigde klimaatgevel, afhankelijk van via de spouw afgezogen luchthoeveelheid

raamhoogte m	luchthoeveelheid (m ³ /h.m ¹ raambreedte)					
	20	40	60	80	100	120
1,0	0,165	0,146	0,136	0,131	0,126	0,123
2,0				0,132		
3,0				0,132		

Tabel 5 U-waarde vereenvoudigde klimaatgevel, afhankelijk van via de spouw afgezogen luchthoeveelheid

raamhoogte m	luchthoeveelheid (m ³ /h.m ¹ raambreedte)					
	20	40	60	80	100	120
1,0	0,409	0,264	0,231	0,207	0,189	0,173
2,0				0,203		
3,0				0,198		

In de tabellen 4 en 5 zijn voor andere luchthoeveelheden dan 80 m³/h.m¹ raambreedte geen waarden aangegeven bij raamhoogten van 2,0 en 3,0 m omdat de invloed van de raamhoogte net zo gering is als bij 80 m³/h.m¹.

2.7 Tweede-huid façades

Tweede-huid façades worden vaak “klimaatgevel” genoemd of als variant daarvan gezien. Overeenkomst is de geventileerde spouw met daarin de regelbare zonwering. Verder is het een andere constructie met andere eigenschappen en andere toepassingen. Bij tweede-huid façades (figuur 2e) bevindt het dubbele glas zich aan de vertrekzijde en het enkele glas aan de buitenzijde. Hiermee wordt condens van binnenlucht op het glas voorkomen.

De spouw wordt via openingen in het buitenspouwblad op natuurlijke wijze met buitenlucht geventileerd. Tweede-huid façades hebben - in vergelijking met klimaatgevels - als voordeel de eenvoudiger constructie en het ontbreken van mechanische ventilatie van de spouw. Het laatste is ook een nadeel omdat de in de spouw geabsorbeerde warmte niet kan worden gebruikt, bij voorbeeld voor lange termijn energieopslag of warmteterugwinning. Voor het globaal dimensioneren van de instroom- en uitstroomopeningen van de tweede-huid façade kan een warmtebalans worden gebruikt. Zie [3] voor de afleiding van een vereenvoudigde warmtebalans en rekenvoorbeelden.

Tweede-huid façades hebben een energiebesparend effect door opwarming van lucht in de spouw bij ventilatie via de spouw. Zelfs bij bewolkt weer zorgt hemelstraling voor temperatuurverhoging.

Er wordt vooral op verwarmingsenergie bespaard als een tweede-huid façade **met** ventilatie via de spouw wordt vergeleken met een tweede-huid façade **zonder** die ventilatie.

Enkelvoudige gevels - waarbij zonnewarmte direct via isolatieglas tot het vertrek toetreedt – zijn vergelijkbaar van kwaliteit wat besparing op transmissiewarmte betreft als de U-waarde gelijk is.

Een belangrijk voordeel van tweede-huid façades is daarnaast de geringere kans op tocht door de hogere temperatuur van de lucht als die vanuit de spouw in de ruimte stroomt en door de beperking van de windinvloeden. Gebruikers kunnen daardoor een aanzienlijk deel van het jaar hun werkruimte – aanvullend - natuurlijk ventileren.

Met de in de spouw van een tweede-huid façade opgewarmde buitenlucht kan in principe minder worden gekoeld dan met buitenlucht die rechtstreeks via ramen naar binnen stroomt omdat de spouwluchttemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur. Door de minder grote invloed van de wind en regen kan daarentegen wel langer met buitenlucht worden gekoeld (ook in de nacht).

Is natuurlijke koeling niet toereikend - wat bij kantoren al gauw het geval is - dan is mechanische koeling nodig. Anders gezegd: tweede-huid façades leiden niet tot minder, kleinere of geen installaties voor de klimaatregeling.

Met een tweede-huid façade kan een strak gevelbeeld kan worden gecreëerd terwijl de kosten weinig hoger hoeven te zijn dan van een enkelvoudige gevel met vergelijkbare thermische eigenschappen. Zo kan in de spouw een veel lichtere en goedkopere zonwering worden toegepast die bovendien eenvoudig is schoon te maken en te vervangen.

Installaties bieden de mogelijkheid om het klimaat in ruimten met een tweede-huid façade comfortabel te regelen. Bij zeer transparante façades is voor de klimaatregeling meestal een koelplafond nodig. Net als bij “gewone” enkelvoudige gevels moeten de ventilatieopeningen gesloten blijven om te voorkomen dat condensatie op het koelplafond ontstaat, tenzij het vermogen van het koelplafond bij condensatierisico's wordt verkleind d.m.v. een dauwpuntsregeling.

2.8. Hybride gevels

Er zijn ook hybride vormen van klimaatgevels en tweede-huid façades. Een voorbeeld is een klimaatgevel waarbij de lucht uit de ruimte via de spouw naar buiten wordt afgevoerd (figuur 2f). Het werkt alleen - zoals bedoeld - als de luchtdruk in de ruimte hoger is dan de druk op de gevel. Bevindt de gevel zich aan de loefzijde van het gebouw, dan stroomt buitenlucht via de spouw naar binnen. Dit kan zeer ongewenst zijn, zoals bij zonbelasting en hoge buitentemperaturen.

Het naar binnen stromen van lucht kan worden beperkt of voorkomen door:

- De ruimte met mechanische ventilatie op overdruk te houden.
- Lage gebouwen in beschutte bouwlocaties (minder last van de wind) als uitgangspunt te nemen.
- Het aanbrengen van een terugslagklep in de spouw.
- Het boven het dak laten uitmonden van de spouw, bij voorbeeld met een doorlopende spouw of met een kanaal, waardoor de spouw ten opzichte van de ruimte nooit op overdruk komt te staan. Met een speciale constructie is het zelfs mogelijk de spouw ten opzichte van de ruimte permanent op onderdruk te houden (figuur 3 en 4).



figuur 3 windvaan of “gek”; de kappen draaien met de windrichting mee zodat er altijd onderdruk heerst

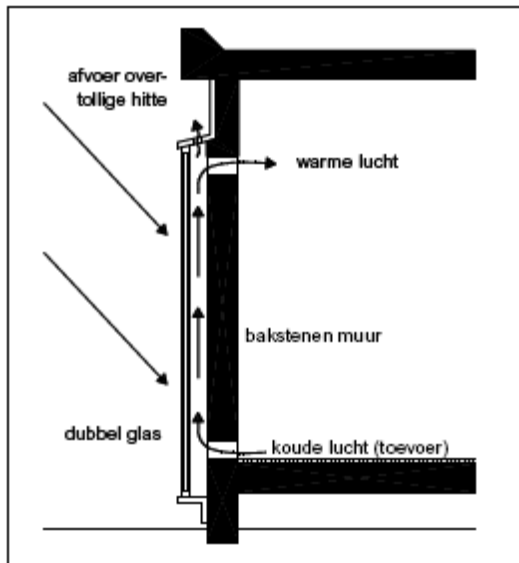


figuur 4 deze ventilatiekappen zijn ongevoelig voor de windrichting

De “overdruk”-gevel is een mogelijke oplossing bij hergebruik van monumentale gebouwen. Het bestaande raam blijft daarbij vrijwel intact en aan de binnenzijde wordt extra glas aangebracht. De oppervlaktetemperatuur van het glas stijgt waardoor koudeval wordt voorkomen.

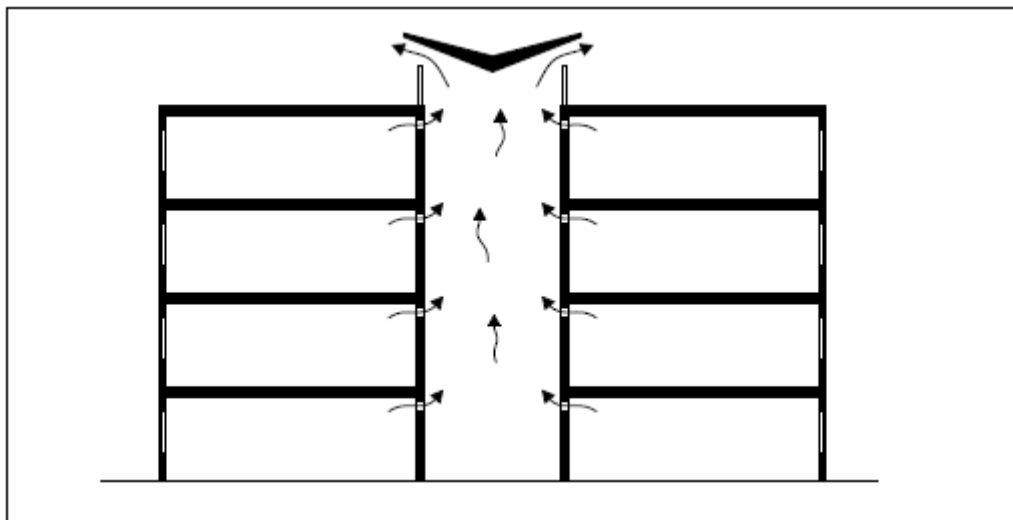
Er zijn ook constructies te bedenken die de klimaatgevel of tweede-huid façade als toe- en afvoerluchtkanaal gebruiken, afhankelijk van de stand van kleppen en in- of uitgeschakelde ventilatoren die de stroming en de stromingsrichting in de constructie bepalen. Bij dergelijke constructies moet het buitenspouwblad bij voorkeur uit isolerende beglazing bestaan om te voorkomen dat bij lage buitentemperaturen condensatie van warme vochtige binnenlucht in de spouw optreedt.

Zonnecollectoren zijn wel voor ruimteverwarming te gebruiken, bij voorbeeld met lucht als transportmedium. Een “Trombewand” is zo’n toepassing (zie figuur 5).



figuur 5 trombewand

Een ander voorbeeld is een zonneschoorsteen waarmee onderdruk in een gebouw wordt gecreëerd en het effect van natuurlijke ventilatie wordt versterkt (zie figuur 6).



figuur 6 principe werking schoorsteen gebaseerd op gebruik van thermische trek

Bij een zonneschoorsteen wordt ook zonnewarmte in de nok van de schoorsteen of aan de wand van de schoorsteen (als deze zich aan een gevel bevindt) benut om de trek te versterken. Benutting van thermische trek en wind kan ook worden gecombineerd.

3 Literatuur

1. KNMI. Klimatologische gegevens van Nederlandse weerstations - Normalen en extreme waarden van de 15 hoofdstations, tijdvak 1961-1990. De Bilt 1992.
2. NOVEM. Toepassingsmogelijkheden voor klimaatgevels en klimaatramen. Sittard, juli 1989.
3. Schalkoort TAJ. Modelleren van warmte-, vocht-, lucht- en lichtstromen. TU-Delft, Faculteit Bouwkunde, voorlopige uitgave oktober 2001.
4. Leijendekkers, P.H.H., "De GEO-testsite van de TU-Eindhoven", In P.G. Luscuere, syll. Themadag "De integratie van technische voorzieningen in gebouwen op systeem-, bouwtechnologisch- en architectonisch niveau", Vakgroep Bouwtechnologie, Faculteit der Bouwkunde, TU-Delft, 12 maart 1998.