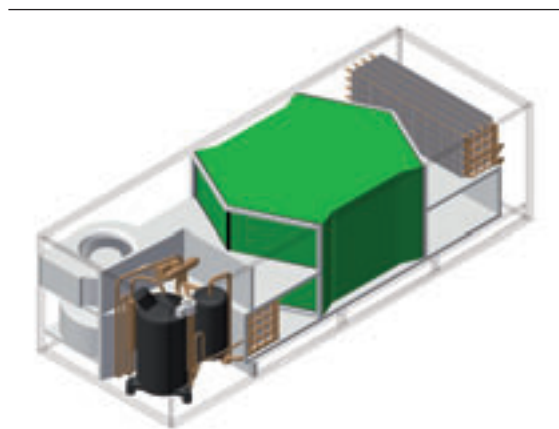


Peter Hoogendoorn,  
Bart Veltkamp,  
Bart de Boer,  
Niels Sijpheer,  
Joost Heijnis

# Smartbox voor klimaat-beheersende functies

Zo'n tachtig gevelbouwers, -adviseurs en -ontwikkelaars brachten in juni 2007 een bezoek aan ECN te Petten voor de presentatie van een innovatief gevelconcept: de Smartfaçade. Dit gevelconcept maakt gebruik van passieve en actieve zonne-energie en regelt het binnenklimaat met de gepatenteerde Smartbox, een decentrale, gevelgeïntegreerde installatie. Belangrijk onderdeel van het concept is de Smartbox.



1. De Smartbox regelt koeling, verwarming en ventilatie, met warmte- en vochtterugwinning.

De Smartfaçade, het resultaat van het Zon-WEL-project, is een gevelconcept waarbij op een slimme manier, passief en actief, gebruik wordt gemaakt van zonlicht, dat tevens het binnenklimaat reguleert.

De gevel verbetert de toelating van daglicht via retroreflecterende lamellen tussen dubbelglas, heeft uitstekend isolerende vacuümpanelen en levert duurzame elektriciteit door geïntegreerde fotonvoltaïsche zonnecelpanelen. De Smartbox, een in het knooppunt van gevel en vloer geïntegreerde unit, regelt alle klimaatbeheersende functies, zoals koeling, verwarming en ventilatie, met warmte- en vochtterugwinning. Resultaat is een gevelconcept waarmee, zonder meer-kosten, een halvering van het energiegebruik en een verhoging van het comfort kunnen worden bereikt.

## SMARTBOX

De Smartbox, een decentrale unit voor ventilatie, verwarming en koeling van kantoren, verzekert een comfortabel en gezond binnenklimaat (afbeelding 1). De individuele gebruiker van de ruimte kan de hoeveelheid verse lucht, de gewenste temperatuur en luchtvochtigheid instellen. Voelbare warmte en latente warmte (vocht) worden teruggewonnen met de gepatenteerde recair-enthalpiewisselaar met een ef-

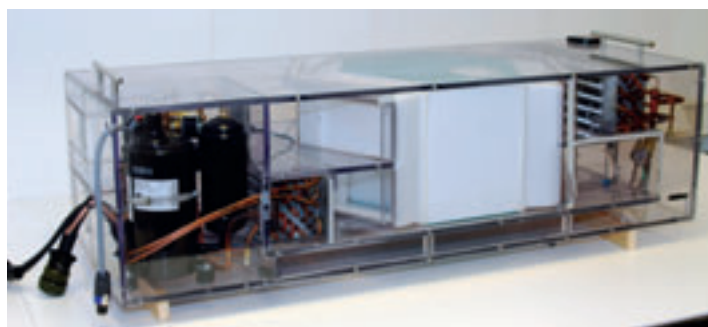
fectiviteit van 92 procent. Koeling en verwarming worden geregeld met een warmtepomp met een COP > 5. Afhankelijk van de buitencondities kan het systeem-COP > 10 zijn. Voor het Nederlandse klimaat is het gemiddelde systeem-COP ongeveer 7.

De Smartbox wordt boven het raam geplaatst tussen twee verdiepingen in. Alleen een aansluiting voor elektriciteit en een afvoer voor condens zijn nodig. Als optie kan adiabatisch worden gekoeld en dan is een aansluiting voor water nodig. Verse lucht kan zowel horizontaal aan het plafond als vertikaal aan het raam worden ingeblazen, dit wordt geregeld door de recair-enthalpiewisselaar. De Smartbox is niet in productie, wel is een prototype gemaakt voor metingen en dit prototype is van doorzichtig materiaal om de werking van het concept te verduidelijken (afbeelding 2).

De decentrale unit maakt een centrale luchtbehandeling overbodig. Er heeft geen transport van lucht door het gebouw plaats. De afwezigheid van verlaagde plafonds bespaart meer dan 10 procent aan gebouwhoogte en façade-kosten. De installatie is eenvoudig, want de unit werkt nadat het in de daarvoor bestemde ruimte in het plafond wordt geplaatst. Onderhoudskosten zijn laag, alleen filters moeten eens per jaar worden vervangen of schoongemaakt.

## RECAIR-ENTHALPIEWISSELAAR

De Smartbox bevat een warmtewisselaar waarin voelbare warmte wordt overgedragen van de afkoelende naar de op-



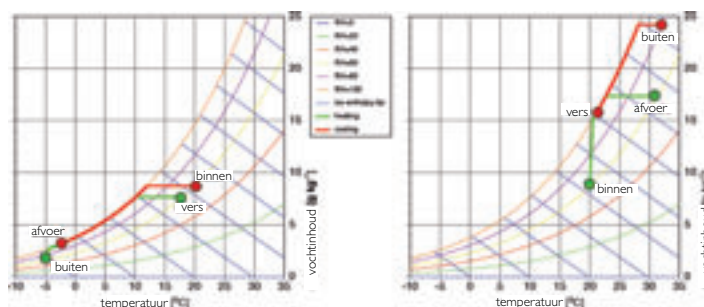
2. Het prototype van de Smartbox.

warmende lucht. Naast de voelbare speelt ook de latente warmte (vocht) een rol. Verdampen kost energie, bij condenseren komt energie vrij. Als condensatie optreedt in de afkoelende stroom, is naast voelbare, ook latente warmte beschikbaar. De opwarmende stroom kan niet warmer worden dan de hoogste ingangstemperatuur van de wisselaar. Als geen verdamping optreedt, kan niet alle warmte van de afkoelende lucht worden overgedragen naar de opwarmende lucht. In de enthalpiewisselaar wordt zowel voelbare als latente warmte overdragen. De luchtstromen kunnen cyclisch binnen de warmtewisselaar worden verwisseld door vier geïntegreerde gemotoriseerde kleppen. Na het wisselen stroomt de condenserende lucht door de kanalen waar voor het wisselen de opwarmende lucht stroomde. Gedurende de volgende cyclus verdampt het ontstane condens en sublimiert het gevormde ijs in de opwarmende stroom, tegelijkertijd ontstaat weer nieuw condens en ijs in de afkoelende stroom. De energie die nodig is voor het verdampen, wordt geleverd door het condenseren. Als terugwinning van vocht (gedeeltelijk) ongewenst is, wordt er niet gewisseld (of met een ongelijke periode). Onder koude buitencondities wordt voelbare en latente warmte teruggewonnen om een droog binnenklimaat te voorkomen. Onder warme, vochtige buitencondities wordt verse buitenlucht gekoeld en ontvochtigd. Dit vermindert de condensatie en het energiegebruik van de actieve koeling (in de Smartbox van de warmtepomp). Afhankelijk van de buitencondities kan de teruggewonnen hoeveelheid latente warmte 2,5 maal zo groot zijn als de voelbare warmte.

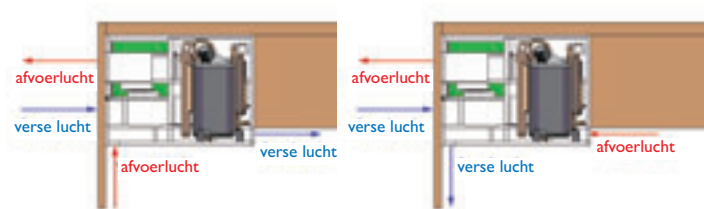
#### Psychrometrie voor de enthalpiewisselaar

Het psychrometrisch diagram wordt gebruikt om de energie-inhoud (enthalpie) van een gas-dampmix zichtbaar te maken. Enthalpie is de som van de voelbare en latente warmte. Een hogere temperatuur of hoeveelheid damp geeft een hogere enthalpie. In afbeelding 3 zijn twee voorbeelden gegeven met de condities voor en na de enthalpiewisselaar. In de afbeelding zijn de ISO enthalpieflowlijnen in blauw gegeven; voor een flow van 150 m<sup>3</sup>/h is het verschil tussen twee lijnen 500 W.

Voelbare en latente warmte wordt teruggewonnen (tabel 1). In de wintersituatie wordt 1,02 kg/h damp teruggewonnen. Dit voorkomt dichtvriezen van de wisselaar en een droog binnenklimaat. Bovenop de 92 procent teruggewonnen voelbare warmte wordt 55 procent extra aan latente warmte teruggewonnen. In de zomersituatie wordt zelfs 168 procent aan latente warmte extra teruggewonnen.



3. Psychrometrisch diagram voor een winter- (links) en een zomersituatie (rechts).



4. Veranderen van de stroomrichting.

|                        | wintersituatie<br>temperatuur<br>[°C] | vochtigheid<br>[%]         | zomersituatie<br>temperatuur<br>[°C] | vochtigheid<br>[%]         |
|------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|----------------------------|
| binnen                 | 20                                    | 60                         | 20                                   | 60                         |
| afvoer                 | -3                                    | 100                        | 31                                   | 61                         |
| buiten                 | -5                                    | 80                         | 32                                   | 80                         |
| vers                   | 18                                    | 60                         | 21                                   | 100                        |
|                        | vermogen [W]                          | damp [kg h <sup>-1</sup> ] | vermogen [W]                         | damp [kg h <sup>-1</sup> ] |
| overdracht<br>voelbaar | 1170                                  |                            | 560                                  |                            |
| overdracht latent      | 695                                   | 1,02                       | 1020                                 | 1,50                       |

Tabel 1. Condities van de situaties uit afbeelding 4.

#### Wisselen van de stromingsrichting

Als slechts twee van de vier kleppen worden aangestuurd, verwisselt de positie van de toevoer van de verse lucht in de ruimte. Verse lucht kan langs het plafond of het raam worden ingeblazen (afbeelding 4). Verdringsventilatie of mixed flowventilatie is op deze manier mogelijk voor zowel koelen als verwarmen.



## BYPASS

De unit kent twee bypassmodes. Bij de eerste (BP1) worden de kleppen zo geschakeld dat de verse lucht volledig wordt geblokkeerd. Dit maakt een 100 procent bypass mogelijk (BP1, afbeelding 5) wat effectief is voor koelen met relatieve koele buitenlucht (nachtkoeling).

Bij de tweede methode (BP2) worden de kleppen aan de buitenkant van de enthalpiewisselaar op een kier gezet. Er ontstaat dan een bypass direct van de koude lucht van buiten naar de afvoer naar buiten, via de verdamper (afbeelding 6). Gedurende verwarmen kan de koude van de verdamper direct naar buiten worden afgevoerd. Tijdens koelen verwisselen de verdamper en condenser van functie; warmte van de condenser kan dan direct naar buiten worden afgevoerd.

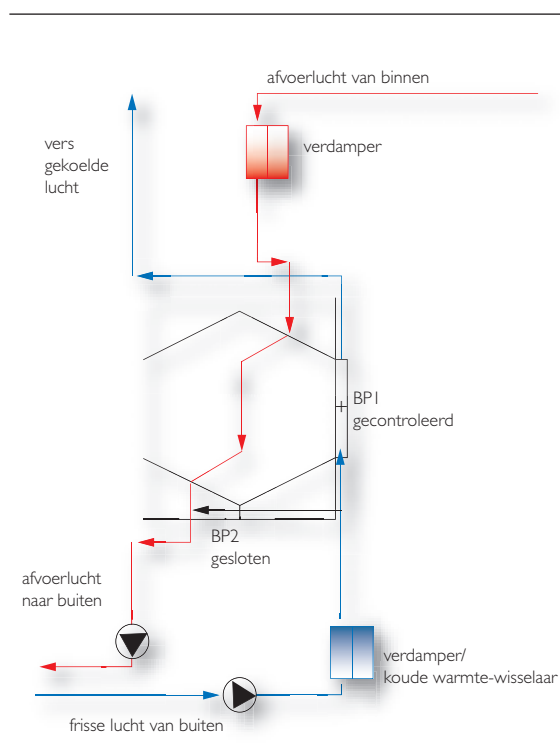
## WARMTEPOMP

De geïntegreerde warmtepomp maakt het mogelijk het aangeboden temperatuurverschil te vergroten. De warmtepomp onttrekt warmte bij de verdamper en geeft dit af, samen met het elektrische vermogen, aan de warme kant. De COP van de individuele warmtepomp is 5,5. In combinatie met de enthalpiewisselaar, en afhankelijk van de buitencondities kan

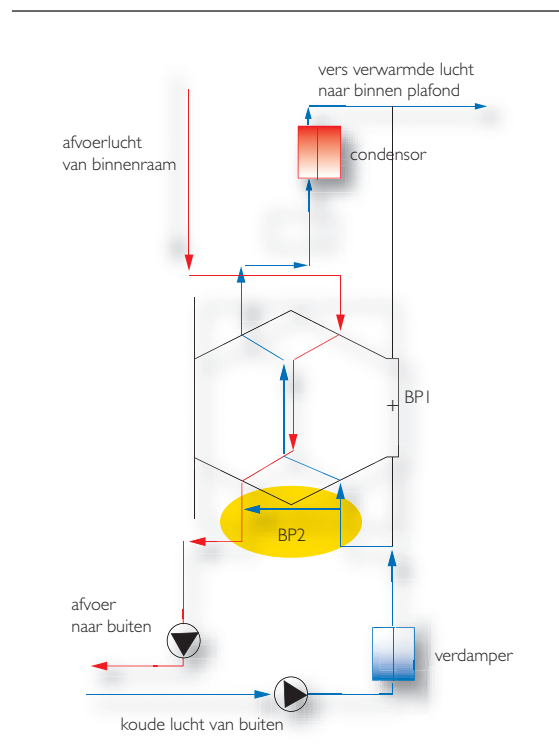
| dimensies                       |                   |                                                                               |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| breedte                         | mm                | 1120                                                                          |
| hoogte                          | mm                | 350                                                                           |
| diepte                          | mm                | 400                                                                           |
| flow                            |                   |                                                                               |
| nominaal                        | m <sup>3</sup> /h | 100                                                                           |
| maximaal                        | m <sup>3</sup> /h | 300                                                                           |
| vermogen                        |                   |                                                                               |
| koelen                          | W                 | 1900                                                                          |
| verwarmen                       | W                 | 1100                                                                          |
| effectiviteit warmtewisselaar   | %                 | 92 % bij 100 m <sup>3</sup> /h                                                |
| uitwisseling van latente warmte | -                 | tot 2,5 * de voelbare warmte afhankelijk van de condities                     |
| COP warmtepomp                  | -                 | 5,5                                                                           |
| COP systeem                     | -                 | > 10, afhankelijk van de condities gemiddeld voor het Nederlandse klimaat = 7 |

Tabel 2. Specificaties van de Smartbox.

de COP van het systeem > 10 zijn. De twee warmtewisselaars van de warmtepomp kunnen als verdamper en als condenser dienen. In combinatie met de mogelijkheid om van stromingsrichting te wisselen kan er op verschillende manieren worden verwarmd en gekoeld. Voor alle binnen- en buitencondities moet de beste manier worden gekozen.



5. Er zijn twee bypassmodes.



6. De verwarmingsmode.

## VENTILATOREN

De DC-fans zijn energie-efficiënt. De karakteristieken van de ventilatoren verzekeren gebalanceerde ventilatie, ofwel een gelijke massastroom, onafhankelijk van de drukval in het systeem.

## KOELSTAND

In afbeelding 7 en 8 is het psychrometrisch diagram en het flowschema gegeven voor een koelmode, waarbij eerst de lucht uit de ruimte wordt gekoeld. Dit is een ongebruikelijke manier van koelen, maar door de hoge effectiviteit van de enthalpiewisselaar kan juist meer warmte worden teruggevoerd. Het temperatuurverschil over de wisselaar wordt vergroot, waardoor beduidend meer latente warmte wordt uitgewisseld. In dit geval betekent dit dat de verse lucht veel verder wordt gekoeld en ontvochtigd.

## POTENTIËLE ENERGIEBESPARING

Bij verwarming, koeling en ventilatie is de Smartbox energie-efficiënt door:

- hoge effectiviteit (92 procent) van de enthalpiewisselaar;
- mogelijkheid om naast voelbare, ook latente warmte terug te winnen;
- warmtepomp met een individuele COP van 5,5;
- slim gebruik van de gemotoriseerde enthalpiekleppen;
- keuze van het beste flowschema, afhankelijk van de luchtcondities;
- mogelijkheid van een 100 procent bypass.

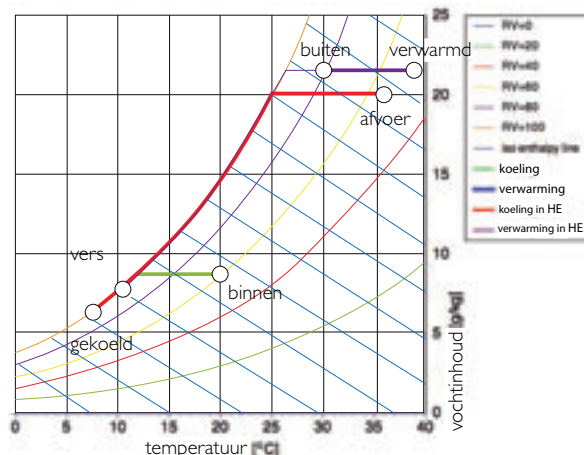
De potentiële energiebesparing is afhankelijk van het klimaat. De grootste besparingen kunnen worden gehaald in extreme klimaten. Vooral in warme en vochtige klimaten is het terugwinnen van latente warmte effectief. Een tweede voordeel is de verlaging van het maximale verwarmings- of koelvermogen. Voor een typisch kantoor in het Nederlandse gematigde klimaat is het energiegebruik voor verwarmen, koelen, be- en ontvochtigen uitgerekend en is voor dit gebruik een 'all electric' systeem zonder recuperatie vergeleken met een Smartbox. Het totale energiegebruik zonder recuperatie is 590 kW<sub>el</sub> en 352 kW<sub>el</sub> voor de Smartbox, allebei gebruikmakend van een warmtepomp met een COP van 5,5. Het maximumvermogen van het systeem zonder recuperatie is 359 W<sub>el</sub> en slechts 165 W<sub>el</sub> voor de Smartbox (afbeelding 9).

## Referentie

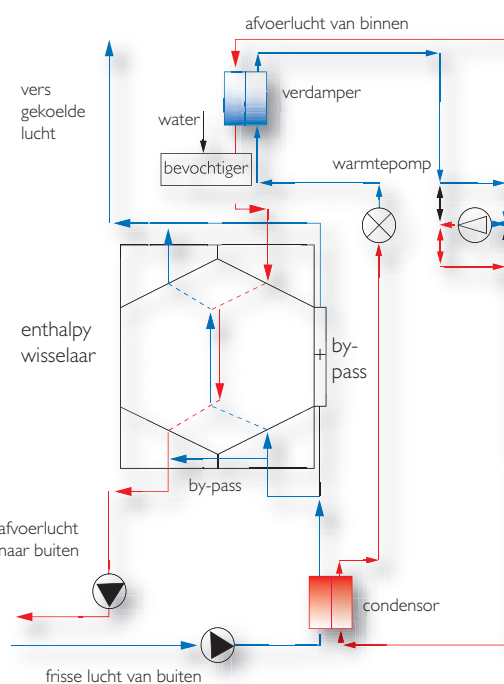
[1] 'Smartfaçade zorgt voor kosten- en energiebesparing'.

Bart de Boer, Niels Sijppeer, Joost Heijnis, Peter Hoogendoorn en Bart Veltkamp, VV+ september 2007, pag. 572.

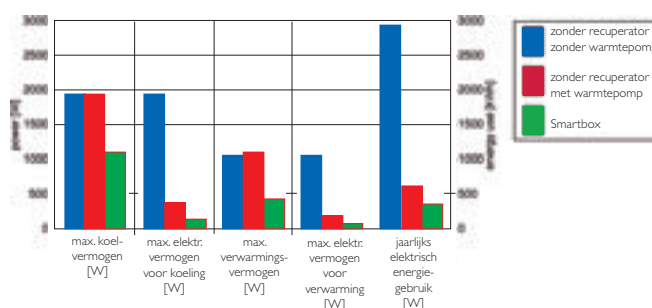
[2] Website [www.recair.com](http://www.recair.com)



7. Psychrometrie voor koelen.



8. Flowschema voor koelbedrijf.



9. Systeemprestatie voor het Nederlandse klimaat.

## Auteurs

Bart de Boer en Niels Sijppeer, Energieonderzoek Centrum Nederland;  
Joost Heijnis, Architectenbureau cepezed;  
Peter Hoogendoorn en Bart Veldkamp, Level Energy Technology.