

Bronsema Consult  
Prof. Boerhaaveweg 37  
2251HX Voorschoten  
T 071 561 1876  
E bronconsult@planet.nl  
I www.bronconsult.org



**Project** Earth, Wind & Fire Natuurlijke Airconditioning  
**Onderwerp** Lessen van BREEZE – EWF 2.0  
**Datum** juli 2021  
**Auteur** Ben Bronsema

## 1 Inleiding en Samenvatting

Hotel BREEZE in Amsterdam is het eerste project dat is ontworpen op basis van het EWF-concept. Het hotel is in april 2019 opgeleverd, en gedurende het eerste jaar zijn de energieprestaties van het EWF-klimaatstelsel, de warmtepompen en de opbrengsten van de PV-panelen gemonitord (Green Building Engineering 2020). De belangrijkste conclusies zijn:

1. Het EWF-systeem heeft als zodanig goed gefunctioneerd.
2. Het hart van het EWF-systeem, de klimaatcascade presteert aanzienlijk beter dan berekend.
3. Het warmtegebruik is aanzienlijk hoger dan dat van het referentiesysteem
4. Het energiegebruik van de ventilatoren is aanzienlijk lager dan van het referentiesysteem, hoewel hoger dan berekend.
5. De integrale energieprestatie (warmte + stroom) is hierdoor slechts ca. 3,5% beter dan van een traditioneel referentiesysteem. De exergieprestatie is echter ca. 55% beter dan van het referentiesysteem<sup>1</sup>
6. De COP van de warmtepompen is lager dan verwacht.
7. De energieprestatie van de PV-panelen op het dak komen goed overeen met de verwachtingen, maar de PV-panelen in de zonneshoorsteen en de BIPV-panelen op de gevels leveren aanzienlijk minder dan berekend.

Voortbordurend op de resultaten van het EWF-promotieonderzoek, dat op kantoorgebouwen betrekking had, zijn bij de planontwikkeling van BREEZE de verschillen met een hotel onvoldoende doordacht. De lessen die we van het Project BREEZE kunnen leren zijn samengevat in onderstaande verbeterpunten.

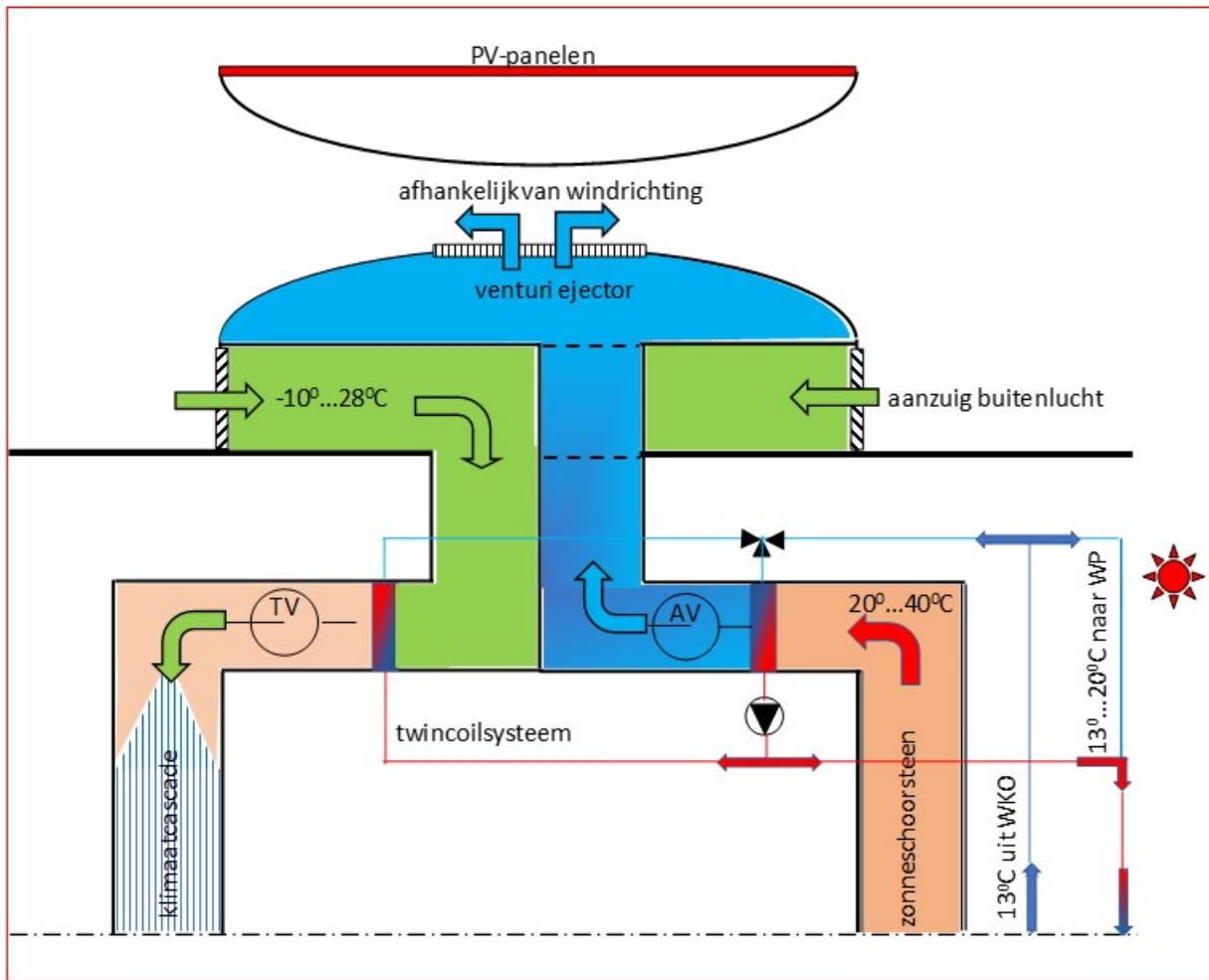
## 2 Warmteterugwinning (WTW) uit de afgezogen ventilatielucht

Om de energieprestatie te verbeteren ligt het voor de hand het EWF-systeem uit te voeren met warmteterugwinning uit de afgezogen ventilatielucht, waardoor op thermische energie wordt bespaard met behoud van het lage stroomgebruik. Een voor de hand liggend principe is WTW met een twin-coil systeem, dat bij buitentemperaturen  $< \approx 18^{\circ}\text{C}$  wordt geactiveerd-zie figuur 1, maar een lucht-op-lucht platenwisselaar behoort ook tot de mogelijkheden (Bronsema B 2021A). Het WTW-systeem zorgt er ook voor dat het sproeispectrum van de klimaatcascade te allen tijde vorstvrij is.

WTW is bij de ontwikkeling van het EWF-concept nimmer aan de orde geweest. Bij hotel BREEZE was de veronderstelling dat dit zou worden gecompenseerd door een effectieve warmteterugwinning uit de via de zonneshoorsteen afgezogen lucht. Het onderzoek maakt echter duidelijk dat deze warmte in de eerste plaats nodig is voor herstel van het thermisch evenwicht van de bodem, en maar voor een klein deel kan worden gebruikt t.b.v. het gebouw. Door het ontbreken van warmteterugwinning is in het stookseizoen een groter thermisch vermogen nodig, dat grotendeels aan de bodem wordt onttrokken en dat vervolgens in de zomerperiode aan de bodem moet worden teruggegeven.

---

<sup>1</sup> Optelling van elektrische en thermische kilowatturen geeft in feite een onjuist beeld. Beter is uit te gaan van de exergie waarde van de energiestromen. De exergie waarde van warmte is bij het onderhavige temperatuurniveau slechts ca. 3,3% van de energie waarde, berekend met de formule  $Exq = (1 - T_0/T) * Q$  waarin  $T_0$  = omgevingstemperatuur  $\approx 288$  K,  $T$  = temperatuur van de warmtestroom  $\approx 298$  K en  $Q$  = hoeveelheid warmte [W]



Figuur 1 – Warmteterugwinning met twin-coils

### 3 Vraagsturing

Een verdere verbetering van de energieprestatie is mogelijk met behulp van vraagsturing. Het EWF-concept is ontworpen als constant debietsysteem voor een kantooromgeving met min of meer vaste bezetting. Vraagsturing is hier normaliter niet direct aan de orde; buiten bedrijfsuren wordt het systeem uitgeschakeld. Voor een hotel, waar gasten niet het gehele etmaal aanwezig zijn, is vraagsturing in feite een voor de hand liggende energiebesparende optie. In plaats van de zelfregelende constant debietregelaars in elke kamer zouden hiervoor actieve regelaars nodig zijn geweest, voorzien van onder begrenzing t.b.v. de continue minimum ventilatie. Bij afwezigheid van de gast is deze regelaar semi-gesloten, waarbij 15 à 20% van de ventilatiecapaciteit wordt gerealiseerd. Bij aanwezigheid van de gast wordt de regelaar open gestuurd, waardoor de volledige ventilatiecapaciteit wordt. Een dergelijke regeling is mutatis mutandis ook van belang bij woongebouwen. Voortbordurend op de resultaten van het EWF-promotieonderzoek stond deze optie overigens ook niet op het netvlies van het ontwerp-team.

### 4 Energiegebruik ventilatoren

Enkele oorzaken van het hoge energiegebruik van de EWF-ventilatoren in hotel BREEZE zijn in het rapport van Green Building Engineering aangegeven. Bij komende projecten met EWF 2.0 moet grote aandacht worden besteed aan het voorkomen van luchtlekages.

Het energiegebruik van de EWF-ventilatoren is volgens dit rapport ca 41,6% van de ventilatoren van het referentiesysteem. In een eerdere publicatie werd een percentage van 10% genoemd (Bronsema B et al 2018). Naast de vermelde luchtlekages moet hierbij ook worden bedacht dat de fijnmazige structuur van de luchtverdeling in een hotel ook veel hogere drukverliezen met zich meebrengt dan in een kantoorgebouw.

Voor toekomstige projecten kan de ventilatorenergie verder worden verminderd door verlaging van het drukverlies van enkele componenten- zie paragraaf 5 en 6.

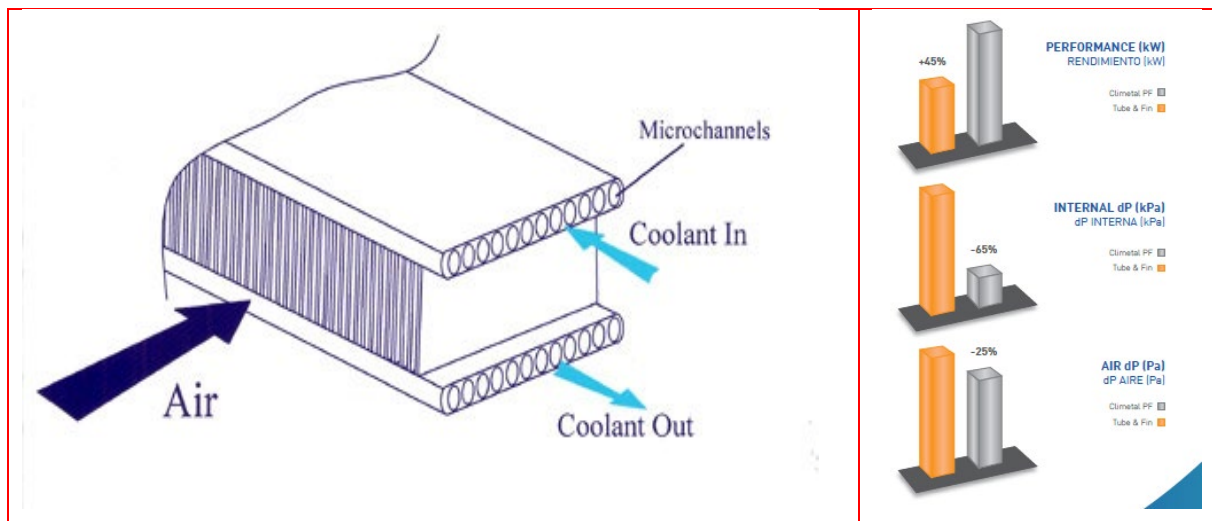
## 5 Efficiënte *mist-eliminators* i.p.v. druppelvangers

Aan de voet van de klimaatcascade wordt de lucht 180° gedraaid en van richting veranderd. CFD-simulaties hebben aan het licht gebracht dat hierbij 1 à 1,5% van het sproeiwater als aerosolen < 380 µm met de lucht wordt meegevoerd in de toevoerschacht. Omdat dit onwenselijk is moet aan de voet van de klimaatcascade een *mist eliminator* of *demister* worden aangebracht. Bij BREEZE is een traditionele druppelvangers toegepast, hoewel die in principe minder geschikt is voor dit doel, en ook een relatief grote luchtweerstand heeft.

Het lamelprofiel van de *demisters* van Koch-Glitsch is speciaal ontworpen voor de afscheiding van aerosolen. Het rendement kan worden bepaald door de keuze van de lamelafstand als functie van de luchtsnelheid. De voor EWF 2.0 geschikte demister<sup>2</sup> heeft een afscheidingsgraad van 99% bij een druppelgrootte 51 micron en een luchtsnelheid van  $\approx 3,5 \text{ m.s}^{-1}$ . Het drukverlies van dit model is  $\approx 23 \text{ Pa}$

## 6 Microkanaal warmtewisselaars<sup>3</sup>

Microkanaal Warmtewisselaars -zie figuur 3- zijn ontworpen voor de auto-industrie, waar ze al 25 jaar in gebruik zijn ter vervanging van de traditionele warmtewisselaars van koperen buis met aluminium lamellen. In de koudetechniek hebben ze ook hun intrede gedaan maar in de klimaattechniek zijn ze momenteel nog onbekend. Voor zover bekend worden ze in Nederland als eerste toegepast in het EWF-klimaatstelsel van het Multifunctioneel Onderwijsgebouw II van de Erasmus Universiteit. Door de superieure warmteoverdracht en laag drukverlies is dit type uitstekend geschikt voor toepassing in het EWF-concept voor Natuurlijke Airconditioning. De microkanaaltechnologie verhoogt de verhouding tussen het primaire en secundaire oppervlak en tevens de luchtzijdige warmteovergangscoefficient- zie ook bijlage. Verder is door de gelaste verbindingen de warmteoverdracht tussen vinnen en buizen beter.



Figuur 3 – Microkanaal – De nieuwe generatie warmtewisselaars

Naast betere prestaties worden nog andere voordelen van microkanaal warmtewisselaars genoemd ten opzichte van traditionele koper/aluminium warmtewisselaars:

- Lichter en compacter.
- Door het gladde oppervlak zijn luchtfilters in principe niet nodig.
- Eenvoudig te reinigen.
- Geen verslechtering van de warmteoverdracht door in de tijd afnemend contact tussen buis en lamellen.
- Door het *all-aluminium* concept worden galvanische stromen tussen verschillende metalen geëlimineerd waardoor de corrosieweerstand wordt verhoogd.

<sup>2</sup> Fabrikaat Koch-Glitsch, model FLEXICHEVRON®, type VIII Polypropylene, spacing 1", horizontal flow

<sup>3</sup> Microchannel Heat Exchangers MCHE - <http://climetal.com/works/microchannel-heat-exchangers>

- Laag luchtzijdig drukverlies.
- Efficiënte recycling omdat scheiding van verschillende materialen niet nodig is. Een belangrijk aspect in een circulaire economie.

## 7 Warmtepompen

Bij BREEZE is de centrale warmtepomp voor verwarming met COP ≈ 4,6 direct aangesloten op het WKO-systeem van 13°C. De warmtepomp voor de tapwaterverwarming met COP ≈ 3,8 is aangesloten op het koelcircuit van de zonneshoorsteen met een temperatuur >13°C. De centrale warmtepomp profiteert hierbij dus niet van de zonnewarmte en de daardoor potentieel hogere COP.

Bij EWF 2.0 wordt de centrale warmtepomp op het koelcircuit van de zonneshoorsteen aangesloten en wordt de tapwaterverwarming, indien aanwezig, verzorgd met een booster warmtepomp. Hierdoor wordt de COP van de centrale warmtepomp, afhankelijk van de beschikbare warmte uit de zonneshoorsteen, verhoogd, in elk geval > 4,6. De tapwaterverwarming wordt hierbij in 2 stappen gerealiseerd, van ≈ 10°C → 37,5°C door de centrale warmtepomp en van 37,5°C → 65°C door de booster warmtepomp.

## 8 Referenties

- Bronsema, B et al 2018. *Natuurlijke airconditioning: waar wachten we nog op?* TVVL Magazine 01-2018. [www.bronconsult.org](http://www.bronconsult.org)
- Bronsema, B et al 2018. *Natural Air-conditioning. What are we waiting for?* REHVA Journal April 2018. [www.bronconsult.org](http://www.bronconsult.org)
- Bronsema, B 2021A. *Warmteterugwinning in het Ventecdak.* [www.ewflab.nl](http://www.ewflab.nl)
- Green Building Engineering 2020. *BREEZE, monitoring prestatie EWF system -V2.* [www.ewflab.nl](http://www.ewflab.nl)

## Zie voor het complete rapport Breeze monitoring EWF systeem

[https://www.ewflab.nl/wp-content/uploads/2021/09/Breeze-monitoring-EWF-systeem-v2\\_201019.pdf](https://www.ewflab.nl/wp-content/uploads/2021/09/Breeze-monitoring-EWF-systeem-v2_201019.pdf)

## Bijlage.

De betere prestaties van een microkanaal warmtewisselaar ten opzichte van een traditionele Cu/Al batterij worden door de volgende factoren verklaard:

- Een hogere waterzijdige warmteoverdrachtscoëfficiënt, uitgedrukt in de formule

$$h = Nu_c \frac{k}{d}$$

Waarin $h$	= warmteoverdrachtscoëfficiënt	[W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$Nu_c$	= getal van Nusselt <sup>4</sup>	[-]
$k$	= warmtegeleidingscoëfficiënt van de vloeistof	[W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> ]
$d$	= hydraulische diameter van het kanaal	[m]

Een kleinere diameter levert bij overigens gelijke omstandigheden dus een hogere warmteoverdrachtscoëfficiënt op. Bij een kanaal van Ø 2,5 mm wordt ten opzichte van Ø 10 mm de warmteoverdrachtscoëfficiënt met een factor 4 verbeterd.

- Een groter contactoppervlak tussen vloeistof en buiswand. De doorsnede van een buis Ø 10 mm bedraagt 78,5 mm<sup>2</sup> bij een omtrek van 31,4 mm. Voor een buisje van Ø 2,5 mm zijn deze cijfers respectievelijk 4,9 mm<sup>2</sup> doorsnede en 7,85 mm omtrek. Qua doorsnede zou een buis van Ø 10 mm kunnen worden vervangen door (78,5/4,9) = 16 buisjes Ø 2,5 mm waardoor een oppervlaktevergroting wordt gerealiseerd van (16\*7,85)/31,4 = 4.