

Analyse meetdata ICECUBE – Dutch Climate Systems

November 13, 2024



Colofon

Title	. Analyse meetdata ICECUBE – Dutch Climate Systems
Client	.
Status	. Final Report
Date	. November 13, 2024
Project number	.
Project team	. Jaap de Boer – TDD expert Hans Scholten – TDD expert
Contact	. www.energy-watch.nl

Disclaimer

Report: No rights can be derived from this report. The authors are not responsible for possible errors or consequences. Additions or corrections are welcome at info@energy-watch.nl

Inhoudsopgave

1	Samenvatting	3
2	Introductie	4
3	Product en techniek.....	5
3.1	Product ICECUBE	6
3.1.1	ICECUBE V500.....	6
3.2	Beschrijving van de meetsituatie	6
3.2.1	De ICECUBEs in het klaslokaal van de Pinksterbloem	6
4	Analyse meetgegevens	7
4.1	Metingen	7
4.2	Berekening energie-efficiëntie.....	8
5	Resultaten.....	10
5.1	Energieprestatie van de ICECUBE o.b.v. de metingen	10
5.2	Energieprestatie van de ICECUBE over een geheel jaar.....	12
6	Referenties.....	14
7	Bijlage.....	16
7.1	Programma van Eisen Frisse Scholen.....	16
7.2	Uurverdeling per temperatuurniveau tijdens koelseizoen ter bepaling van de SEER	17

1

Samenvatting

DCS heeft in een demonstratieproject twee ICECUBE V500 koelunits geïnstalleerd in een klaslokaal van de 4^e Montessorischool De Pinksterbloem in Amsterdam om de klimatisering van het klaslokaal te verbeteren. Het doel van de analyse in dit rapport is om de meetdata uit dit project te analyseren en interpreteren om daarmee de energieprestaties van het systeem vast te stellen.

De energieprestatie (EvaCOP) van beide ICECUBES is in eerste instantie berekend op basis van het totale opgenomen vermogen van alle ventilatoren. Een belangrijk punt van aandacht is echter dat de ICECUBE twee functies in zich verenigt (namelijk ventilatie en koeling). Dit is een wezenlijk verschil ten opzichte van concurrerende klimaatoplossingen voor scholen die alleen ventilatie met warmteuitwisseling bieden en waarbij de koeling over het algemeen verzorgd wordt door een aparte airco-unit.

Als het verbruikte vermogen wordt gecorrigeerd voor de debietfractie van ventilatie die alleen voor dauwpuntkoeling wordt benut ($\approx 1/3$ van het totale ventilator vermogen) en de EvaCOP opnieuw wordt bepaald volgens formule [1], dan bedraagt de EvaCOP van beide ICECUBES ruim 33 [W/W]. Ter vergelijking: airconditioners op basis van een compressiecyclus (warmtepomptechnologie) hebben vaak een veel lagere gemeten COP (EER) tussen de 2,9 en 3,8 [W/W].

Op basis van de hoge energieprestatie-coëfficiënt van ruim 33 [W/W] van de ICECUBES in de gemeten omstandigheden is het aannemelijk dat gedurende een geheel seizoen (zomer) waarin koeling noodzakelijk is, het systeem ruimschoots voldoet aan de kwaliteitseisen van klasse A en B, zoals gesteld in het Programma van Eisen Frisse Scholen.

Het totale samengestelde energieverbruik van beide opgestelde ICECUBES in dauwpuntkoelingsmodus (≈ 300 W) is bescheiden ten opzichte van het opgenomen vermogen van concurrerende ventilatieoplossingen specifiek gericht op scholen. Daarbij onderscheiden de ICECUBES zich van de andere aanbieders doordat het totale energieverbruik niet alleen benut wordt voor ventilatie, maar ook voor koeling.

De resultaten van de analyse laten zien dat het gemiddeld bereikte koelvermogen van de ICECUBES in dauwpuntkoelingsmodus onder de gegeven weersomstandigheden aanzienlijk kan zijn, namelijk ≈ 1750 W per ICECUBE.

2 Introductie

Dutch Climate Systems (DCS) levert koelunits op basis van indirecte verdamping van water. Met deze technologie kan in principe veel energie bespaard worden in vergelijking met conventionele airco's. DCS richt zich met name op koeling van grotere gebouwen, zoals kantoren, scholen en ziekenhuizen.

DCS heeft in een demonstratieproject twee ICECUBE V500 koelunits geïnstalleerd in een klaslokaal van de 4^e Montessorischool De Pinksterbloem in Amsterdam om de klimatisering van het klaslokaal te verbeteren. De ICECUBE is een decentrale klimaatunit voor het ventileren en koelen en zou specifiek voor koeling zo'n 80% energie kunnen besparen ten opzichte van een conventionele airconditioner.

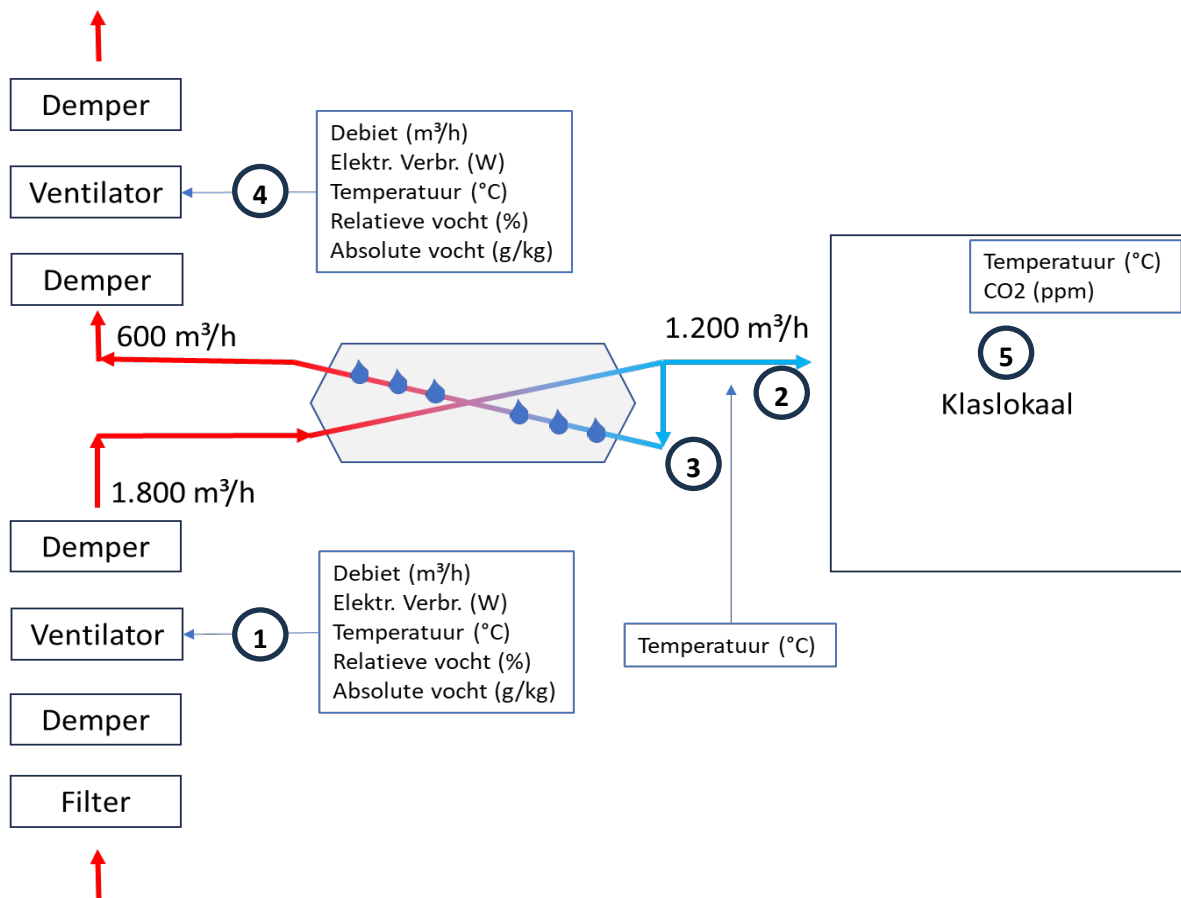
Het doel van dit voorbeeldproject is om in de praktijk aan te tonen hoeveel energie er bespaard kan worden met de ICECUBE. Energy Watch is gevraagd om de meetdata uit dit project te analyseren en interpreteren en om de energieprestaties van het systeem vast te stellen. In dit rapport wordt het resultaat hiervan weergegeven. De analyse is gebaseerd op de door DCS beschikbaar gestelde informatie en meetgegevens. Daarnaast zijn openbare bronnen en artikelen geraadpleegd.

Dit rapport is opgemaakt in opdracht van Actienetwerk Gasterug en Dutch Climate Systems.

3 Product en techniek

De koelunits van DCS maken gebruik van dauwpuntkoeling, een vorm van indirecte verdampingskoeling. Het werkingsprincipe is als volgt: De warme lucht wordt langs een nat oppervlak geleid, waardoor er water verdampt. Verdamping van water onttrekt warmte uit de omgeving, waardoor de lucht koeler wordt. Door de verdamping van water wordt de lucht ook vochtiger. Om te voorkomen dat de gebruikslucht te vochtig wordt, wordt de gekoelde lucht niet rechtstreeks gebruikt, maar via een warmtewisselaar geleid, om warmte op te nemen uit de gebruikslucht (ventilatielucht). Dit wordt “indirecte verdampingskoeling” genoemd. De laagste temperatuur die gehaald kan worden, wordt bepaald door het dauwpunt. Als de luchtvochtigheid relatief hoog is, is het dauwpunt ook relatief hoog, en is de koelcapaciteit beperkt.

Een schematisch overzicht van het systeem en de beschreven luchtstromen is gegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Schematisch overzicht van de luchtstromen, meetpunten en gemeten parameters

3.1 Product ICECUBE

De koelunit van DCS wordt op de markt gebracht onder de naam ICECUBE. Deze is zoveel mogelijk modulair opgebouwd en is leverbaar in verschillende varianten [1]. Alle varianten zijn modulair opgebouwd en leverbaar in verschillende afmetingen, met gekoelde lucht variërend van 400 tot 1600 m³/hr. Meer details zijn te vinden in de brochure van de ICECUBE V500, zie [2] en het datablad met specificaties, zie [3]. In de technische beschrijving wordt dieper op de toegepaste techniek ingegaan, zie [4].

3.1.1 ICECUBE V500

Dit ICECUBE V500 is in feite een warmte-terugwin-unit voor ventilatie waarin een koelfunctie is geïntegreerd. In de winter wordt warmte teruggewonnen en in de zomer wordt er gekoeld.

In koelbedrijf wordt de uitgaande lucht bevochtigd, waardoor de ingaande lucht wordt gekoeld. De laagst mogelijke temperatuur wordt bepaald door het dauwpunt. Deze unit heeft relatief veel ventilatiecapaciteit.

DCS geeft aan dat deze unit een volwaardige WTW-unit is, en dus ook concurreert met andere WTW-systemen. De mogelijkheid om te koelen wordt als een belangrijk concurrentie-voordeel gezien.

3.2 Beschrijving van de meetsituatie

De ICECUBE is toegepast in een klaslokaal van de 4^e Montessorischool De Pinksterbloem aan de Weesperzijde 57 in Amsterdam. Dit klaslokaal bevindt zich op de bovenste verdieping in de Westelijke hoek van het gebouw.

3.2.1 De ICECUBEs in het klaslokaal van de Pinksterbloem

De ICECUBE voor dit klaslokaal is een decentrale klimaatunit voor ventilatie en koeling. De primaire functie van deze ICECUBE is ventilatie. In koudere buitenomstandigheden vindt er ventilatie met warmteterugwinning plaats. In warmere buitenomstandigheden ventilatie met dauwpuntkoeling.

Voor dit lokaal zijn twee stuks ICECUBE Zelfstandige klimaatunit V500 toegepast. De ICECUBEs zijn net buiten het klaslokaal geplaatst. De ventilatorboxen met dempers en filter zijn op het dak geplaatst. De inblaas vindt hoog in het klaslokaal plaats middels een spirobuis met inblaasopeningen.

In de ruimte is een CO₂ en temperatuur opnemer geplaatst van de fabrikant Thermokon, welke is aangesloten op de regelaar van de ICECUBEs. De regelaar van de ICECUBEs logt deze metingen en ook andere metingen die in en rondom de ICECUBE worden gedaan.

Tezamen leveren de ICECUBEs in de ventilatiestand 1.000 m³/h geventileerde lucht voor het lokaal. In koelbedrijf kunnen ze tezamen tot maximaal 1.200 m³/h gekoelde lucht leveren.

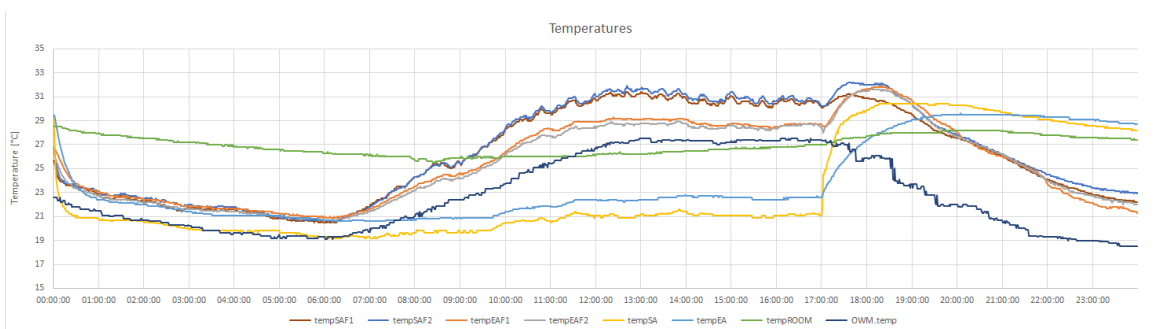
4 Analyse meetgegevens

4.1 Metingen

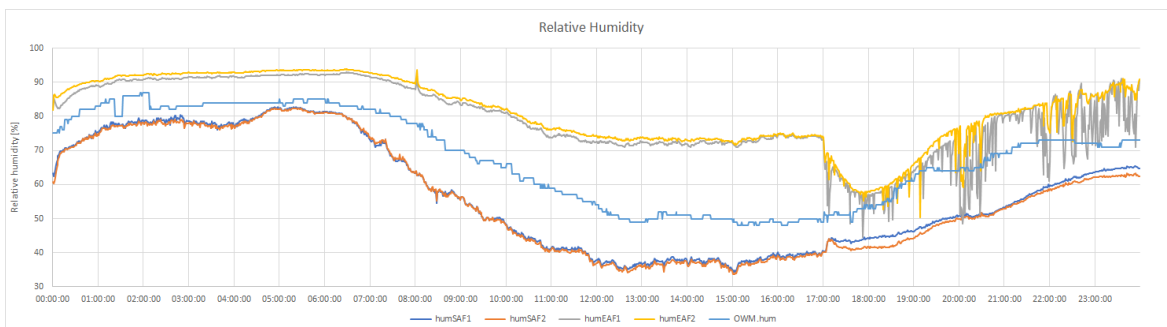
DCS heeft een dataset aan metingen (verricht op 27 juni 2024) van beide ICECUBE's in het klaslokaal ter beschikking gesteld. De meetdata zijn in een Excel rekenblad opgeslagen, zie [5]. Ook is een legenda bij de metingen toegevoegd, zodat duidelijk wordt welke parameters gemeten zijn en op welk punt gemeten is, zie Figuur 1. Daarbij zijn de volgende opmerkingen te maken:

- De metingen van de parameters zoals weergegeven in Figuur 1 zijn op minuutbasis.
- De Supply Air Fan (SAF) is de ventilator die buitenlucht aanzuigt en deze persend door de primaire zijde van de ICECUBE inbrengt.
- De Extract Air Fan (EAF) is de afvoerventilator die zuigend de lucht uit de secundaire zijde van de ICECUBE haalt en deze persend naar buiten brengt.
- De temperatuurwaardes voor de Supply Air (SA) en Extract Air (EA) worden gemeten in punt 2 van Figuur 1. Deze zijn gelijk aan de waardes in punt 3.
- Er hangen twee ICECUBES die ieder een eigen regelaar hebben. Voor de gemeten dag zijn er dus twee datasets voorhanden.
- Per ICECUBE zijn er voor de aanvoer twee ventilatoren en voor de afvoer twee ventilatoren. Dat betekent dat de gemeten luchthoeveelheid van een enkele ventilator moet worden verdubbeld om te weten hoeveel een ICECUBE in totaal doet.
 - Staat er “measured.flowSAF1” met waarde 375 m³/h, dan is totale debiet van die ICECUBE dus $2 \times 375 = 750$ m³/h aan aanzuiglucht van buiten.
 - Er zijn twee ICECUBES, dus wordt er dan in totaal 1.500 m³/h aangezogen.
- De absolute vochtigheid van de aangezogen buitenlucht wordt niet gemeten, maar wordt berekend op basis van de gemeten temperatuur en gemeten relatieve vochtigheid.
- De absolute luchtvochtigheid in punt 2 en punt 3 (van Figuur 1) zijn gelijk aan de berekende luchtvochtigheid in punt 1, omdat de warmtewisselaar wel warmte uitwisselt met de toegevoerde ventilatielucht, maar geen vocht.

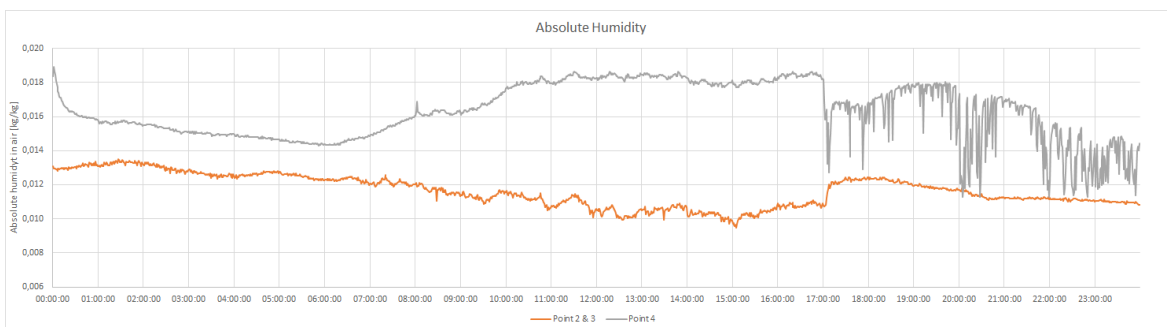
In de onderstaande figuren is het verloop van de gemeten parameters weergegeven. Te zien is dat de ICECUBES in de periode middernacht tot in de ochtend (00:00 tot 08:00) in de ventilatiestand staan (nachtventilatie). In de periode 08:00 tot 17:00 staan de ICECUBES in dauwpuntkoelingsmodus. Na 17:00 staan de ICECUBES uit en is er geen geforceerde ventilatie.



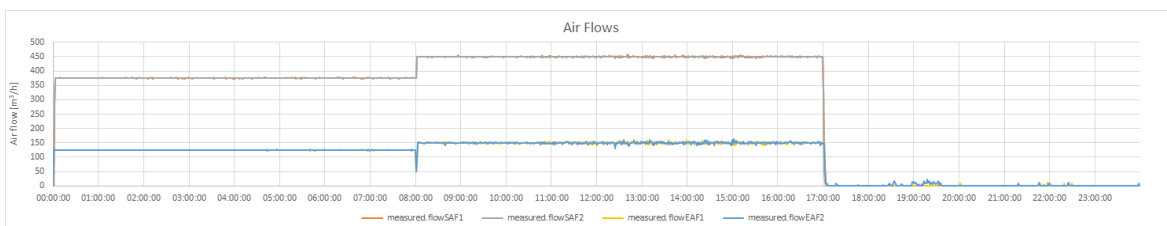
Figuur 2: Gemeten temperaturen in de ICECUBES, het lokaal en dichtstbijzijnd weerstation



Figuur 3: Gemeten luchtvochtigheden in de ICECUBES, het lokaal en dichtstbijzijnd weerstation



Figuur 4: Berekende absolute luchtvochtigheden in de ICECUBES en het lokaal



Figuur 5: Gemeten luchtdebieten in de ICECUBES, het lokaal en dichtstbijzijnd weerstation

4.2 Berekening energie-efficiëntie

De energie-efficiëntie van conventionele koelsystemen (airco's) gebaseerd op een warmtepomp met een compressie- en verdampingscyclus wordt gewoonlijk uitgedrukt in de Energie-Efficiëntie-Ratio (EER). Bij conventionele airconditioningapparatuur wordt echter zowel de voelbare als de latente warmte verminderd.

Voor verdampingskoeling, waarbij het doel uitsluitend is om de voelbare warmte te verminderen is het eenduidiger om de EvaCOP als definitie te gebruiken, zie [6]. Om de relatie met verdampingskoeling te leggen wordt een specifiek kental toegepast (EvaCOP) wat een acroniem is

voor “*Evaporative System Coefficient of Performance*”. De efficiëntie van de verdampingskoeler is als volgt eenvoudig te berekenen:

$$EvaCOP = \frac{Q_{voelbaar}}{P_{systeem}} \quad [1]$$

$$Q_{voelbaar} = \dot{V} \cdot \rho \cdot C_p \cdot \Delta T \quad [2]$$

Hierbij is:

\dot{V} = luchtstroom / debiet [m^3/h];

ρ = dichtheid lucht [kg/m^3];

C_p = soortelijke warmtecapaciteit lucht [$W/kg \cdot ^\circ C$];

ΔT = Voelbaar temperatuurverschil, gebaseerd op de droge bol luchttemperatuur bij de luchtinlaat minus de inblaastemperatuur uit het koelsysteem [$^\circ C$];

$P_{systeem}$ = Totaal opgenomen vermogen van alle elektrische voorzieningen in het systeem; bijv. ventilatoren en pompen [W].

Op basis van de meetgegevens kan voor elk punt in het systeem (zie punt 1-5 in Figuur 1) de relevante (psychrometrische) parameters berekend worden die de toestand beschrijven van vochtige lucht, bijvoorbeeld de natteboltemperatuur, de verzadigingsdampdruk van waterdamp in lucht, de absolute luchtvochtigheid, de voelbare warmte, de latente warmte, de enthalpie, de dichtheid van lucht en de massastroom.

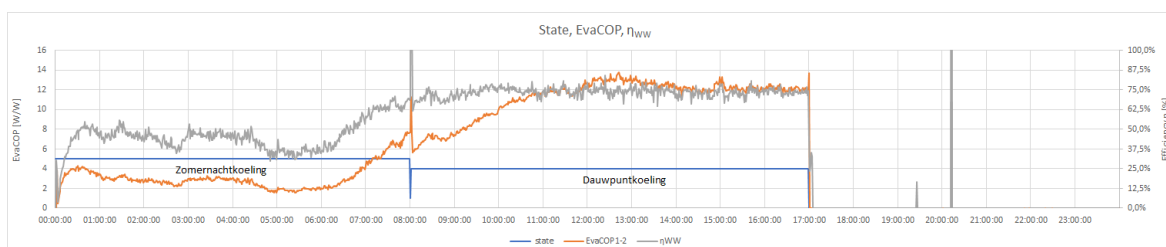
Voor de toegepaste psychrometrische berekeningen en formules, zie [7], [8], [9]. De resultaten van de berekeningen zijn gecontroleerd door de meetgegevens van diverse werkpunten in te voeren in een interactieve online Mollier-diagram (Online Interactive Psychrometric Chart, zie [10]).

Voor de analyse van de meetgegevens op minuutbasis heeft Energy Watch een Excel rekenblad gemaakt (zie [11]) waarin de hierboven beschreven psychrometrische parameters voor elk punt in het systeem en voor elke minuut bepaald zijn. Met de resultaten van deze berekeningen zijn ook de variabelen bekend van de bovenstaande formules [1] en [2].

5 Resultaten

5.1 Energieprestatie van de ICECUBE o.b.v. de metingen

De resultaten van de berekeningen van de energieprestaties van beide ICECUBES zijn weergegeven in Figuur 6 en Tabel 1. In de grafiek zijn de periodes te zien waarin de ICECUBES in de zomernachtkoelings-modus (ventilatie) staan (van 00:00 tot 08:00) en in dauwpuntkoeling-bedrijf (van 08:00 tot 17:00). Tenslotte is ook de berekende efficiëntie van de warmtewisselaar (0-100% rechter as) met het verloop in de tijd weergegeven.



Figuur 6: Verloop van COP en efficiëntie warmtewisselaar gedurende de ventilatiestand en koelstand

In Tabel 1 staat de gemiddelde energieprestatie-coëfficiënt van de ICECUBES over de periode zomernachtkoeling (ventilatie) en dauwpuntkoeling. In de tabel staat ook het koelvermogen (P_{1-2}) en het opgenomen vermogen ($P_{\text{totaal fans}}$), voor beide ICECUBES, in de werkstanden ventilatie (stand 5) en koeling (stand 4). Ook de totale gerealiseerde koelenergie (E_{1-2}) en het opgenomen vermogen ($E_{\text{totaal fans}}$) is per werkstand gegeven.

ICECUBE 1			
Cooling energy		E_{1-2}	E_{fans}
Operation mode		[kWh]	[kWh]
5	ventilation cooling	-2,548	0,815
4	dewpoint cooling	-15,633	1,395

ICECUBE 2			
Cooling energy		E_{1-2}	E_{fans}
Operation mode		[kWh]	[kWh]
5	ventilation cooling	-2,746	0,789
4	dewpoint cooling	-16,052	1,338

ICECUBE 1					
Average power and COP		V_2	P_{1-2}	$P_{\text{total fans}}$	EvaCOP ₁₋₂
Operation mode		[m ³ /h]	[W]	[W]	[W/W]
5	ventilation cooling	497	-319,2	102,3	3,12
4	dewpoint cooling	601	-1740,2	155,3	11,20

ICECUBE 2					
Average power and COP		V_2	P_{1-2}	$P_{\text{total fans}}$	EvaCOP ₁₋₂
Operation mode		[m ³ /h]	[W]	[W]	[W/W]
5	ventilation cooling	497	-344,0	99,0	3,47
4	dewpoint cooling	600	-1786,8	149,0	11,99

Tabel 1: Berekeningsresultaten voor energieverbruik, vermogen en COP voor ICECUBES 1 en 2

De energieprestatie (EvaCOP) in de bovenstaande tabellen voor ICECUBE 1 (11,2 W/W) en ICECUBE 2 (11,99 W/W) is in eerste instantie berekend op basis van het totale opgenomen vermogen van alle ventilatoren. Een belangrijk punt van aandacht is echter dat de ICECUBE twee functies in zich verenigt (namelijk ventilatie en koeling). Dit is een wezenlijk verschil ten opzichte van concurrerende klimaatoplossingen voor scholen die alleen ventilatie met warmteuitwisseling bieden en waarbij de koeling over het algemeen verzorgd wordt door een aparte airco-unit.

Een groot gedeelte van de verbruikte energie in de ICECUBE is namelijk benodigd om het vereiste ventilatiedebiet van 1000 m³/uur te behalen, wat nodig is om aan de Klasse B (goed) eis te kunnen voldoen binnen het Programma van Eisen Frisse Scholen, zie de bijlage in hoofdstuk 7.

Om de daadwerkelijk energiestaat (EvaCOP) van de ICECUBES te bepalen tijdens dauwpuntkoelingsbedrijf moet feitelijk alleen het energieverbruik worden gebruikt wat toe te rekenen is aan het realiseren van de verdampingskoeling. Het energieverbruik is te berekenen naar rato van de debietfractie aan lucht die voor de beide functies ventilatie en koeling worden benut, zie Figuur 1:

- De debietfractie die in principe aan ventilatie toe te kennen is: $1200/1800 \text{ [m}^3/\text{h}] = 2/3 \text{ [-]}$
- De debietfractie die aan dauwpuntkoeling toe te kennen is: $600/1800 \text{ [m}^3/\text{h}] = 1/3 \text{ [-]}$

Als het verbruikte vermogen wordt gecorrigeerd voor de debietfractie die alleen voor dauwpuntkoeling wordt benut (= 1/3 van het totale ventilator vermogen) en de EvaCOP opnieuw wordt bepaald volgens formule [1], dan verbetert de EvaCOP van de ICECUBES naar een waarde van ruim 33 [W/W], zie de onderstaande Tabel 2.

ICECUBE 1

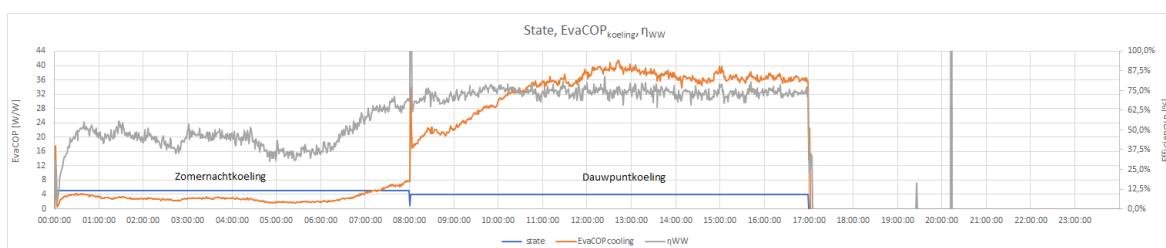
Ventilator vermogen voor ventilatie	103,5	[W]
Ventilator vermogen voor DP koeling	51,8	[W]
EvaCOP op basis van dauwpuntkoeling	33,61	[W/W]

ICECUBE 2

Ventilator vermogen voor ventilatie	99,3	[W]
Ventilator vermogen voor DP koeling	49,7	[W]
EvaCOP op basis van dauwpuntkoeling	35,98	[W/W]

Tabel 2: EvaCOP van ICECUBE 1 en 2 o.b.v. gecorrigeerd ventilatorvermogen

In Figuur 7 is de werkelijke EvaCOP van ICECUBES 1 en 2 op basis van het gecorrigeerd ventilatorvermogen weergegeven.



Figuur 7: Verloop van EvaCOP en efficiëntie warmtewisselaar gedurende ventilatiestand en koelstand

Deze resultaten laten zich goed vergelijken met de bevindingen ten aanzien van de energiestaat van verdampingskoelers, zoals die gevonden kunnen worden in recente literatuur, zie [6].

Ter vergelijking: airconditioners op basis van een compressiecyclus (warmtepomptechnologie) hebben vaak een veel lagere gemeten COP (EER) tussen de 2,9 en 3,8 [W/W].

Het totale samengestelde energieverbruik van beide opgestelde ICECUBES in dauwpuntkoelingsmodus ($\approx 300 \text{ W}$) is bescheiden ten opzichte van het opgenomen vermogen van

concurrerende ventilatieoplossingen specifiek gericht op scholen. Er zijn meer dan 10 aanbieders van ventilatieconcepten met warmteterugwinning die zich specifiek richten op Nederlandse scholen. Het energieverbruik ligt voor de meeste van die units boven de 350 W. Daarbij onderscheiden de ICECUBES zich van de andere aanbieders doordat het totale energieverbruik niet alleen benut wordt voor ventilatie, maar ook voor koeling.

De resultaten van de analyse laten zien dat het gemiddeld bereikte koelvermogen van de ICECUBES in dauwpuntkoelingsmodus onder de gegeven weersomstandigheden aanzienlijk kan zijn, namelijk ≈ 1750 W per ICECUBE.

5.2 Energieprestatie van de ICECUBE over een geheel jaar

Op basis van de analyse van de meetgegevens over deze enkele dag kan geen definitieve uitspraak worden gedaan over de prestatie van de ICECUBE systemen over een geheel jaar. Wel is het mogelijk om een indicatieve uitspraak te doen over de verwachte systeemprestaties in het seizoen waarin koeling van toepassing is.

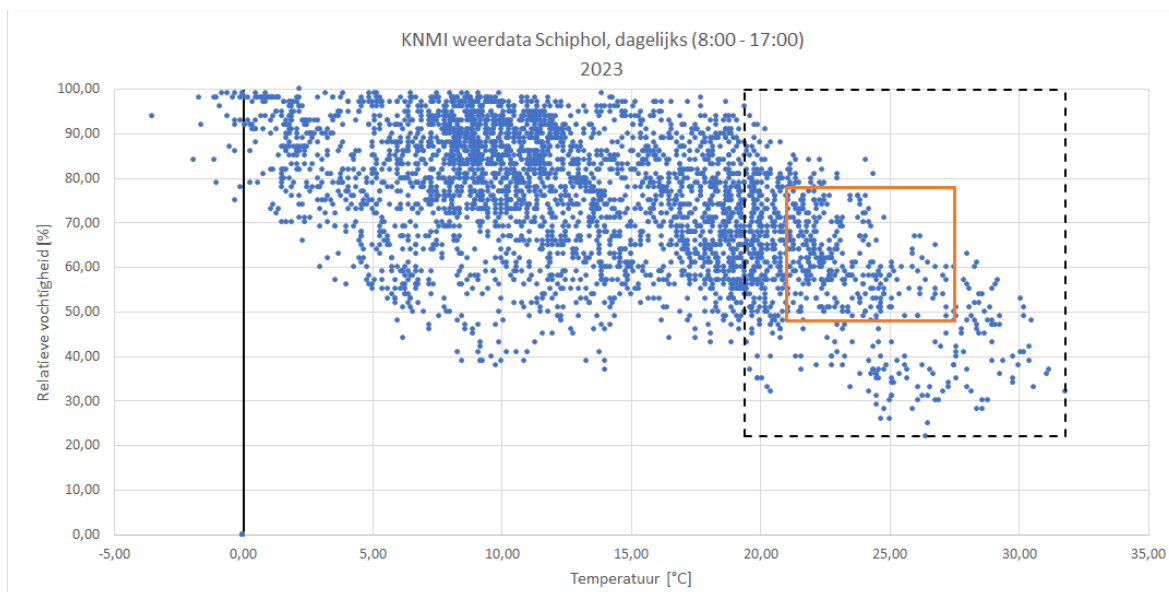
Analyse van de meteogegevens van het nabijgelegen weerstation geeft aan dat tijdens de periode waarin de ICECUBE in dauwpuntkoeling modus werkt (tussen 8:00 en 17:00), de gemeten buitentemperatuur en luchtvochtigheid zich bevonden in het bereik zoals aangegeven in onderstaande Tabel 3:

	Min	Max	
OWM.temp	21	27,5	[°C]
OWM.hum	48	78	[%]

Tabel 3: Spreiding in T en RH tussen 8:00 en 17:00

Op basis van analyse van KNMI data van het meest dichtbij gelegen weerstation Schiphol, zie [12], is het aantal uren geteld in het jaar waarbij de temperatuur tussen de 21 en 27,5°C was en de luchtvochtigheid tegelijkertijd tussen de 48% en 78% lag. Voor 2023, kwamen die weersomstandigheden in de dagperiode tussen 8:00 en 17:00 (=3650 uur per jaar), 315 uur voor.

In de onderstaande spreidingsgrafiek voor gecorreleerde temperatuur en luchtvochtigheid (Figuur 8) is het bemeten gebied met oranje grenzen aangegeven. Dergelijke omstandigheden kwamen in 2023 dus gedurende 8,6% van de tijd voor gerekend over de dagperiode van 8:00 in de ochtend tot 17:00 in de middag.



Figuur 8: Spreidingsgrafiek van gecorrleerde temperatuur en luchtvochtigheidsmetingen KNMI meetpunt Schiphol

Zoals in de bovenstaande spreidingsgrafiek voor gecorrleerde temperatuur en luchtvochtigheid ook is te zien, zijn er een significant aantal uren buiten het bemeten (oranje) gebied waarin de temperatuur juist hoger ligt of de luchtvochtigheid juist lager. Het is de verwachting dat de ICECUBE in deze gevallen ook goed (of zelfs beter) zal presteren. De weersomstandigheden binnen dat grotere gebied kwamen gedurende 456 uur voor in 2023, ofwel in 12,5% van de tijd gerekend over een periode van 8:00 in de ochtend tot 17:00 in de middag. Het is duidelijk dat het hier juist de warme dagen betreft, waarbij koeling juist aan de orde is.

Binnen het Programma van Eisen Frisse Scholen worden voor de kwaliteitsklassen A en B eisen gesteld aan de minimale energie-efficiëntie van koeling, indien aanwezig. Hiervoor wordt gesteld dat de mechanische koeling een minimale “Seasonal Energy Efficiency Rating” (SEER) van 15,4 [-] moet hebben volgens de AHRI 210/240 standaard, zie [13]. In de berekeningsmethodiek van de AHRI210/240 (zie [14]) wordt de SEER bepaald aan de hand van de gemeten systeemprestaties gedurende de uren die gerekend worden tot het koelseizoen. Het koelseizoen wordt gedefinieerd als het seizoen waarin de buitentemperatuur hoger is dan 19,4°C en lager dan 38,9°C, zie Tabel 5 in Bijlage 7. Dit gebied is in Figuur 8 aangegeven met zwarte stippellijnen. De in dit rapport berekende waarde EvaCOP laat zich rechtstreeks vergelijken met de SEER waarde aangezien de berekeningsgrondslag dezelfde is.

Op basis van de hoge energieprestatie-coëfficiënt van ruim 33 [W/W] van de ICECUBES in het gemeten gebied (oranje gebied in Figuur 8) is het aannemelijk dat gedurende het gehele seizoen waarin koeling noodzakelijk is, het systeem ruimschoots een energieprestatie-coëfficiënt van 15,4 [W/W] zal behalen en dus voldoet aan de kwaliteitseisen gesteld in het Programma van Eisen Frisse Scholen.

Om een definitieve uitspraak te doen over de prestaties van de ICECUBE in omstandigheden waarin de temperatuur juist lager en/of de luchtvochtigheid hoger ligt dan in het bemeten gebied, is het wel noodzakelijk om meer metingen te verzamelen in het werkbereik van die specifieke weersomstandigheden.



Referenties

- [1] Dutch Climate Systems, "Biobased airconditioning voor een gezond klimaat," [Online]. Available: <https://dcs.cool/>. [Accessed 7 11 2024].
- [2] Dutch Climate Systems, "Brochure-ICECUBE-Zelfstandige-klimaatunit.pdf," 2024. [Online]. Available: <https://dcs.cool/wp-content/uploads/Brochure-ICECUBE-Zelfstandige-klimaatunit.pdf>.
- [3] Dutch Climate Systems, "Specificaties ICECUBE-Zelfstandige-klimaatunit-V500.pdf," 2024. [Online]. Available: <https://dcs.cool/wp-content/uploads/ICECUBE-Zelfstandige-klimaatunit-V500.pdf>.
- [4] Dutch Climate Systems, "Icecube_techische_beschrijving.pdf," 2024. [Online]. Available: https://dcs.cool/wp-content/uploads/icecube_techische_beschrijving.pdf.
- [5] Dutch Climate Systems, Excel bestand "Analyse 27-6 11.xlsx" met meetdata van DCS19 lokatie Pinksterbloem, DCS, 2024.
- [6] A. F. Santos, P. D. Gaspar and H. J. L. Souza, "Measuring the Energy Efficiency of Evaporative Systems through a New Index - EvaCOP," *Energies*, vol. 14, no. 9, p. 2689, 2021.
- [7] Wikipedia contributors, "Vapour pressure of water," Wikipedia, The Free Encyclopedia, October 2024. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Vapour_pressure_of_water.
- [8] Wikipedia contributors, "Latent heat," Wikipedia, The Free Encyclopedia, October 2024. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Latent_heat.
- [9] Wikipedia contributors, "Density of air," Wikipedia, The Free Encyclopedia, October 2024. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Density_of_air.
- [10] FlyCarpet Inc, "Online Interactive Psychrometric Chart," FlyCarpet Inc, 2024. [Online]. Available: <https://www.flycarpet.net/en/psyonline>.
- [11] Energy Watch, Analyse meetgegevens DCS ICECUBE 27-6-2024.xlsx, Holten: Hans Scholten, 2024.

- [12] Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI), "Uurwaarnemingen Weerstations in Nederland," [Online]. Available: <https://www.daggegevens.knmi.nl/klimatologie/uurgegevens>. [Accessed 31 10 2024].
- [13] Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), "Het Programma van Eisen – Frisse Scholen, Maatregel Binnentemperatuur in de zomer verlagen," 2021. [Online]. Available: <https://infographics.rvo.nl/frisse-scholen/documents/7.%20Maatregel%20Binnentemperatuur%20in%20de%20zomer%20verlagen.pdf>.
- [14] Air-conditioning, Heating & Refrigeration Institute (AHRI), "AHRI Standard 210/240 - 2023 (2020) Standard for Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment," AHRI, Arlington, United States, May 2020.

7 Bijlage

7.1 Programma van Eisen Frisse Scholen

Een belangrijke markt voor de ICECUBE van DCS is toepassing in scholen. De eisen die gesteld worden aan ventilatie staan beschreven in het Programma van Eisen Frisse Scholen¹. Hierin worden drie niveaus weergegeven:

- Klasse C (Voldoende)
- Klasse B (Goed)
- Klasse A (Uitstekend)

De normen die voor het ventilatiesysteem dan relevant zijn, zijn weergegeven in onderstaande tabel. Deze normen dienen tenminste 95% van de gebruikstijd te worden gehaald.

	Klasse C (voldoende)	Klasse B (goed)	Klasse A (uitstekend)
Energiezuinige ventilator	Met IE3-elektromotor of beter, met toerenregeling	Idem	Idem
Regeling	Tenminste o.b.v. week-programma, overwerktimer en zomernachtventilatie.	Idem	Idem
Rendement van warmte-terugwinning	Minimaal 73%	Minimaal 75%	Minimaal 80%
CO ₂ -concentratie	Maximaal 1200 ppm	Maximaal 950 ppm	Maximaal 800 ppm
Ventilatie-debiet			
- Per persoon	Tenminste 21,6 m ³ /u	Tenminste 30,6 m ³ /u	Tenminste 43,2 m ³ /u
- Voor 32 personen	Tenminste 691,2 m ³ /u	Tenminste 979,2 m ³ /u	Tenminste 1382,4 m ³ /u
Afstand van vloer tot plafond	Tenminste 2,6 m	Tenminste 2,8 m	Tenminste 3,2 m
Onderhoud	Hygiënisch onderhoud mogelijk. Componenten toegankelijk en demontabel.	Idem	Idem

¹ Programma van Eisen Frisse Scholen 2021, RVO. Bron: www.rvo.nl/frissescholen

Fijnstoffilter in mechanische ventilatiesystemen	Rendement ePM1 tenminste 70%, voor belaste locaties tenminste 80%.	Idem	Rendement ePM1 tenminste 80%, voor belaste locaties tenminste 90%.
Installatiegeluid	Max. 35 dB(A)	Max. 33 dB(A)	Max. 30 dB(A)

Tabel 4: Programma van Eisen Frisse Scholen

7.2 Uurverdeling per temperatuurniveau tijdens koelseizoen ter bepaling van de SEER

Tabel 13, blz. 48 uit de AHRI Standard 210/240 for Performance Rating of Unitary Air-conditioning & Air-source Heat Pump Equipment, zie [14].

Fractional Bin Hours to Be Used in Calculation of SEER2			
Bin Number (j)	Bin Temperature (tj), °F	Bin Temperature (tj), °C	Fractional Bin Hours (nj)
1	67	19,4	21,4%
2	72	22,2	23,1%
3	77	25,0	21,6%
4	82	27,8	16,1%
5	87	30,6	10,4%
6	92	33,3	5,2%
7	97	36,1	1,8%
8	102	38,9	0,4%

Tabel 5: Uurverdeling per temperatuurniveau tijdens koelseizoen ter bepaling van de SEER