

1 Een heldere uiteenzetting van de mogelijke besparingen

"Crystal Climate Ceilings" (kortweg C₃-klimaatplafonds) verdubbelen het vermogen van uw huidige koelmachine. Ze vereisen een 50% kleinere koelmachine en/of verwarmingsketel (denk bij verwarmingsketels ook aan de SCIOS-eisen) of zelfs helemaal geen koelmachine.

Er is geen koelleidingwerk nodig in uw pand en het benodigde onderhoud is zeer beperkt. Besparingen drukken wij uit in koelenergie (kWh), gasverbruik (m³h.gas) en besparing op CO₂-uitstoot. Wij kunnen voor u de relevante waarden voor uw gebouw exact simuleren en berekenen.



1.1 Rekenen aan energie en besparing

Eerlijk zijn over energiebesparing is een kwestie van het vergelijken van "appels met appels". Een energiebesparing moet berekend worden ten opzichte van een scenario dat hetzelfde comfort weet te leveren. In een vereenvoudigd theoretisch voorbeeld is de energiebesparing als volgt te bepalen.

Scenario	Koelmachine	C3 PCM (80% dekking door opslag koude in PCM)	Totaal geïnstalleerd vermogen	Bedrijfsuren per dag	Energie Verbruik per dag	Verschil B : C3
	kW	kW	kW	h	kWh	
A	100	-	100	10	1000	
B	200	-	200	10	2000	
C ₃	100	110	210	6	600	70%

- In scenario 'A' is het gebouw voorzien van een koelmachine met een koelvermogen van 100 kW.
Deze machine maakt 10 bedrijfsuren per dag. Het energieverbruik bedraagt dan 1000 kWh/dag. Het gebouw is voorzien van topkoeling, zonder naregelingen. In de zomer wordt het regelmatig boven de 25 °C. De in dit voorbeeld geïnstalleerde capaciteit zou eigenlijk 200 kW moeten bedragen zijn om aan dezelfde comforteisen te voldoen.
- In scenario 'B' heeft de koelmachine een koelcapaciteit van 200 kW en verbruikt dus 2000 kWh in 10 bedrijfsuren. Het gebouw blijft goed op temperatuur. Om een nauwkeurige regeling mogelijk te maken zijn naregelingen geïnstalleerd: gekoeld water, pompen, inductie-units of fancoils of een klimaatplafond, etcetera.
- In scenario 'C₃' is de koelmachine met een capaciteit van 100 kW groot genoeg. De koeling wordt in het gebouw uitgebreid met een C₃-klimaatplafond dat is samengesteld uit tegels, voorzien van faseovergangsmateriaal. Dit materiaal wordt 's nachts 'geladen' met koude en neemt overdag de warmte op. De koelmachine staat veel minder aan.
De geïnstalleerde koelcapaciteit bedraagt nu 200 kW, maar het energiegebruik bedraagt slechts 100 kW x 5 uur = 500 kWh. Om 's nachts de koude te laden is ook wat extra ventilatorenergie nodig; dat brengt dit voorbeeld op 600 kWh.

Wij realiseren dus een mogelijke besparing van 70% op het energieverbruik ten opzichte van vergelijkbaar scenario B, en een besparing van 50% op het geïnstalleerde koelvermogen. Financieel veel belangrijker is het voorkomen van naregelingen.

1.2 Energiebesparing in de praktijk

Geen enkel gebouw en technische installatie is echter identiek en elk C₃-klimaatplafond verlangt wel enig maatwerk. De mate van plafondbedekking met faseovergangsmateriaal wijkt in de praktijk vaak iets af van de theorie, bijvoorbeeld door een andere bezetting of meer of minder ventilatiedebiet. Belangrijke beïnvloedende factoren zijn: oriëntatie van het gebouw, de thermische belasting door de zon en natuurlijk uw eigen wensen.

De gemiddelde ervaringsgetallen uit gerealiseerde projecten zijn:

- Een gerealiseerde besparing van **50%** op geïnstalleerde koelcapaciteit
- Een gemiddelde **reductie** van de toepassing van **koudemiddelen van 50%** dit is een besparing van meer dan 0,001 (kg.HFK/m².kantooroppervlak)
- Een gerealiseerde besparing van **50%** op koelenergie.
Uitgedrukt in **kWh** dit is 15 - 50 (kWh/m².kantooroppervlak)
- Minder installaties vragen ook minder onderhoud. En een langere levensduur vraagt om minder vervanging.

Wij beschikken over bewezen haalbare praktijkgegevens in de vorm van ervaringsgetallen.

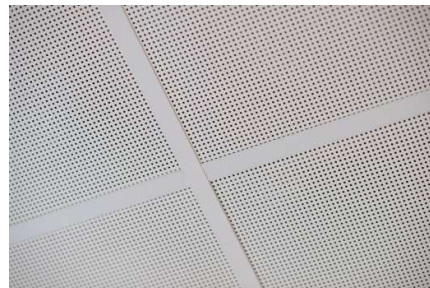
1.3 Waarom kiezen voor een "Crystal Climate Ceiling"?

C₃-klimaatplafonds kunnen warmte opslaan en hierdoor gebouwen koelen (maar ook verwarmen) met behulp van de opgeslagen thermische energie in een faseovergangsmateriaal. De nachtelijke koude kan - door die als thermische energie in een faseovergangsmateriaal op te slaan - overdag het gebouw koelen. Bij het afslaan van thermische energie smelt het faseovergangsmateriaal en loopt de thermische buffer dus als het ware langzaam leeg. U kiest voor PCM in een plafondsysteem omdat u een gebouw: wilt verduurzamen, energetisch efficiënter wilt maken, kiest voor comfort en gezondheid om de uitstraling van het interieur te verbeteren. Een besluit om een "Crystal Climate Ceiling" te installeren kunt u toetsen aan een aantal overwegingen:

- **Mooi:** de ruimte krijgt - dankzij het stalen plafond een chique uitstraling
- **Eenvoudig:** opgeslagen warmte wordt gebruikt om mee te koelen, zodat u minder technische installaties nodig hebt.
- **Stabilisering van de ruimtetemperatuur** dankzij de aangebrachte thermische massa,
- **Besparing van energie** voor koelen (kWh) en verwarmen (m³.gas) en verlaging van de uitstoot van broeikasgas **CO₂**
- **Minder energie** nodig om te koelen (bijvoorbeeld koelmachine) of te verwarmen (bijvoorbeeld verwarmingsketel).
- **Bestaande systemen blijven behouden** en in het verleden gedane investeringen gaan niet verloren. U kunt veelal gebruik blijven maken van bestaande technische installatie en plafonddrasters.
- **Onderhoudsarm** Een "Crystal Climate Ceiling" vergt geen onderhoud.
- **Gezondheid:** het stalen plafond is emissievrij!
Er is dus geen uitstoot van vluchtige organische stoffen naar de omgeving of het milieu.
- **De terugverdientijd** van de investering kan zeer **gunstig** zijn.
- Onze eigen mensen **monteren snel** en **zonder overlast** (desgewenst in ruimten die in bedrijf blijven)
- Een klimaatplafond past volledig in de **Cradle to Cradle (C2C)**-denkwijze.
- Er is een **fiscale stimuleringsregel** in de vorm van de regeling Energie-investeringsaftrek (EIA) van toepassing.

2 Het klimatiseren van een gebouw met "Crystal Climate Ceilings"

Het klimatiseren en het stabiliseren van de luchtcondities in een ruimte met behulp van een C₃-klimaatplafond is niet voor iedereen dagelijkse praktijk. Daarom enige toelichting. De afkorting C₃ staat voor "Crystal Climate Ceiling", een compleet gemonteerd klimaatplafond dat gebruikt maakt van warmteopslag in faseovergangsmateriaal (PCM). Het systeem transformeert een gebouw met een beperkte klimaatinstallatie zeer eenvoudig naar volledig volautomatische klimaatbeheersing. De voordelen zijn: laag energieverbruik, weinig technische voorzieningen en nauwelijks extra onderhoud.

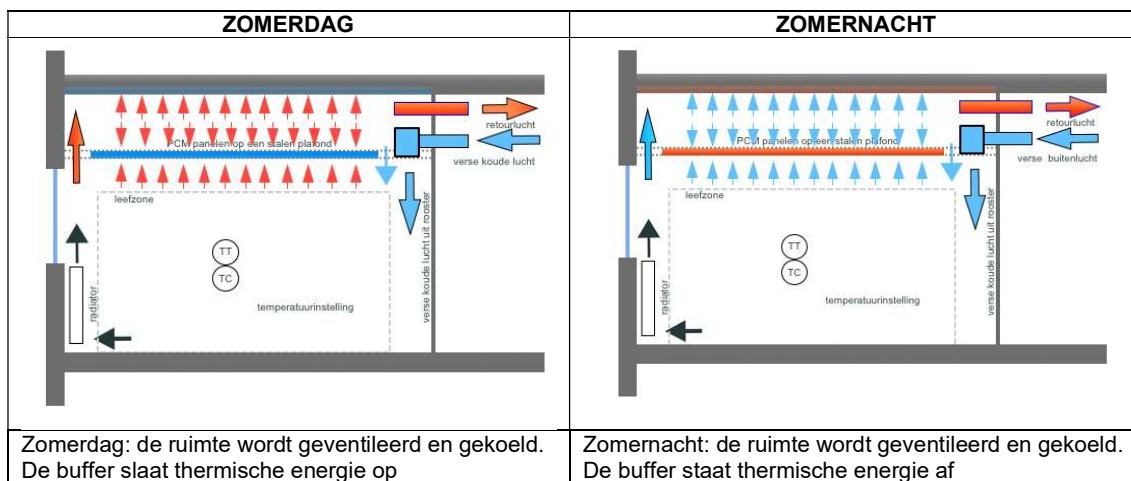


Wij maken hiervoor gebruik van stalen plafondtegels en (on)zichtbare roosters om ventilatielucht en thermische energie te transporteren naar het in kunststofpanelen verpakte faseovergangsmateriaal. Op die manier kunnen wij een gebouw duurzaam op temperatuur houden.

2.1 De werking van een "Crystal Climate Ceiling"

Het faseovergangsmateriaal in de stalen tegels, dat de thermische buffer vormt, kan warmte opnemen en afstaan. Hierdoor kan een gebouw worden gekoeld en verwarmd onder aansturing van de centrale luchtbehandeling. Goed om te weten is dat er bij C₃-klimaatplafonds sprake is van een verschil in werking tussen dag en nacht en tussenzomer- en winterperiode.

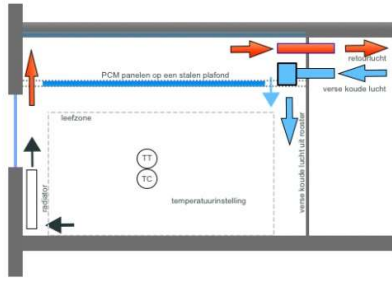
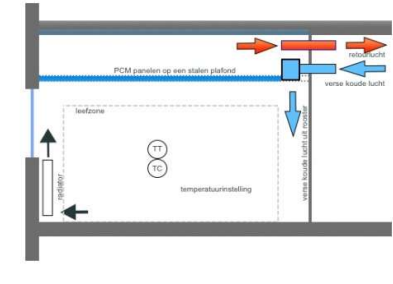
Schematisch gezien is de werking als volgt:



Door overdag te ventileren kan de thermische PCM-buffer warmte uit de ruimte opslaan en dus de ruimte koelen. De PCM-buffer kan deze warmte 's nacht via vrije koeling (ook wel de optimaliserende nachtverlaging genoemd) weer afstaan. Mits er sprake is van een balans tussen opslaan en afstaan van thermische energie, zal voldoende thermische energie beschikbaar zijn om te kunnen koelen.

2.2 "Crystal Climate Ceilings": open of gesloten

Voor de uitvoering in de praktijk onderscheiden wij een 'open' of een 'gesloten' klimaatplafond. Een 'open' klimaatplafond maakt gebruik van extra luchtcirculatie door delen van het geperforeerde plafond. Als vuistregel gaan wij in de praktijk uit van de toepassing van een open plafond. Het risico op 'kortsluiting' door deze open strook is minimaal, doordat de koude lucht altijd zal vallen uit en naast het rooster. Bij renovatie kan de 'gesloten' uitvoering praktischer realiseerbaar blijken. De verschillen tussen de beide uitvoeringen en de schematische werking ervan ziet u in de onderstaande figuren. N.B. de eindgebruiker zal geen verschil kunnen zien.

C ₃ bij een OPEN klimaatplafond	C ₃ bij een GESLOTEN klimaatplafond
	
De OPEN uitvoering maakt gebruik van extra luchtstroom door perforatie van de stalen tegels	De GESLOTEN uitvoering kent geen extra luchtstroom

2.3 Uw systeemplafond vernieuwen, renoveren, modernisering... wat is wanneer van toepassing?

De keuze voor renoveren, vernieuwen of moderniseren van een systeemplafond is afhankelijk van uw situatie. Die keuze willen wij graag toelichten aan de hand van de verscheidene soorten plafonds die u in de praktijk kunt tegenkomen:

- De meeste toegepaste standaardplafondsystemen hebben een raster van bijvoorbeeld 600 x 600 mm of 1200 x 600 mm waarin tegels van mineraal wol materiaal worden aangebracht. Gebruikelijk worden zulke tegels in roosters gelegd om de ruimte met lucht te kunnen ventileren.
- De stalen plafondtegels zijn een variant op de tegel van minerale wol. De stalen tegel is verkrijgbaar in de maat 600 x 600 mm of in stroken van bijvoorbeeld 300 x 1200 mm.
- Speciale klimaatplafonds bestaan uit stalen tegels waarin een leidingstelsel voor het transport van gekoeld en/of verwarmd water is opgenomen. Vaak zijn er ook en nog roosters voor de ventilatie van de ruimte.

Het C₃-systeem is toepasbaar in elke kantoortuin, kantine, aula of soortgelijke grote ruimten: dus eigenlijk overal waar u een standaardstelselplafond ziet, kunt u ook een C₃-klimaatplafond aanbrengen. Dat brengt ons meteen op het volgende aandachtspunt: Een klimaatplafond, voorzien van faseovergangsmateriaal is optimaal toepasbaar als het om renovatie van het interieur van een gebouw gaat. Het toepassingsgebied van een "Crystal Climate Ceiling" omvat dus zowel renoveren, (ver)nieuwbouw als moderniseren.

- Renovatie van het huidige plafondsysteem op basis van minerale wol:**
Het huidige plafond is met behoud van het huidige rastersysteem naar C₃ te renoveren. Met deze oplossing vernieuwt u alleen de minerale wol materiaal tegels, maar u bent nog wel gebonden aan bepaalde tegelafmetingen.

2. **Nieuw plafondsysteem:**
U kunt een volledig nieuw klimaatplafond met kristallijn faseovergangsmateriaal toepassen waarbij u volledig vrij bent in ontwerp en uiterlijk van het uiteindelijke plafond
3. **Modernisering van het huidige stalen plafondsysteem:**
Het huidige stalen plafondsysteem wordt gemoderniseerd tot een C₃-systeem.
De uitstraling van het plafond blijft hierdoor exact hetzelfde.
4. **"Plug en play"-klimaatteilden met faseovergangsmateriaal.**
In deze situatie moet u het aanwezige plafond laten wegnemen en complete klimaatteilden van faseovergangsmateriaal laten monteren. Zulke klimaatteilden zijn een maatwerkproduct en voldoen qua afwerking volledig aan uw eisen en wensen, zoals randafwerking en ventilatie, LED-verlichting en sensoren.

Het prijsverschil tussen de eerste drie varianten is in de praktijk meestal verwaarloosbaar. De hoeveelheid faseovergangsmateriaal, het aantal stalen tegels en de te verrichten arbeid is vaak bepalend. De besparing op nieuwe stalen tegels bij een modernisering weegt vaak niet op tegen de besparing op arbeid op locatie. Een bezoek aan uw locatie geeft vaak een goed eerste inzicht in de feitelijke mogelijkheden.

2.4 Akoestiek

Een aantal van onze veel toegepaste C₃-standaardoplossingen is getest door adviesbureau Peutz onder rapportnummer A 3086-1-RA-001. De oplossingen voldoen aan nieuwbouweisen voor akoestiek. De resultaten van de beproevingen, zoals de NRC- en α W-waarden zijn bij ons verkrijgbaar.

2.5 Brandveiligheid

Om te bepalen of een bouwproduct valt in Euroklasse B, C of D zijn twee testen nodig, de SBI test en de Ignitability of Small Flame test. Een brandveiligheid classificatie vindt plaats conform EN 13501-1. Hierbij wordt op basis van de uitkomsten van de ontvlambaarheidstest en de in de SBI test bepaalde waarden voor de brandgroei en totale warmteproductie bepaald. De brandklasse voor onze CSP panelen en het C₃ PCM klimaat plafond is : brandklasse (**B**), rookklasse (**s1**) druppelklasse (**d0**).

2.6 Een klasse in klimaat, volgens NEN 7730

Onze C₃ PCM klimaatplafonds in combinatie met de "onzichtbare" OLP roosters voldoen aan de NEN 7730. Bij de grenswaarden aan de ruimtetemperatuur zomer en winter vallen wij voor kantoren in een klimaatklasse A. Voor de grenswaarden luchtsnelheid ter beperking tocht risico vallen wij onder een klimaatklasse B, klimaatklasse A is ook realiseerbaar.

2.7 Basisvoorwaarden, te stellen aan uw gebouw en uw klimaatinstallatie

Een faseovergangsmateriaal volgt het ritme van dag en nacht voor het opslaan en afstaan van thermische energie in een "thermisch buffer". Om deze buffer te kunnen benutten moet deze dus worden 'geladen' en 'ontladen'. Hiervoor gebruiken wij de basissystemen die in elk gebouw aanwezig zijn. Om succesvol een "Crystal Climate Ceiling" toe te passen zijn er wel een aantal voorwaarden waaraan het gebouw en het daarin opgenomen klimaatsysteem moeten voldoen.

Gaat u een pand volledig renoveren? Dan kunnen wij samen met u, uw adviseur/installateur en uw interieurontwerper een nieuw ontwerp maken. Is het gebouw echter al voorzien van een bestaand (klimaat)systeem? Dan moeten wij dat systeem zo goed mogelijk afstemmen op uw nieuwe wensen en de voorwaarden op een klimaatregelsysteem met faseovergangsmateriaal.

De uitgangspunten voor een gebouw met een PCM-oplossing zijn:

1. Een basis ventilatiesysteem met luchtbehandeling (bij voorkeur met warmteterugwinning) en luchtkanalen.
2. Geen koeling of een basiskoelinstallatie (dus ook topkoeling).
3. Een basis verwarmingsbron en warmte-afgifte (bijvoorbeeld radiatoren of vloerverwarming).
4. Een programmeerbare meet- en regelinstallatie voor optimaliserende afgifte van thermische energie in de nacht (zie ook ons aparte hoofdstuk Regeltechniek).

N.B. dit zijn systemen die in nagenoeg elk gangbaar utiliteitsgebouw aanwezig zijn.

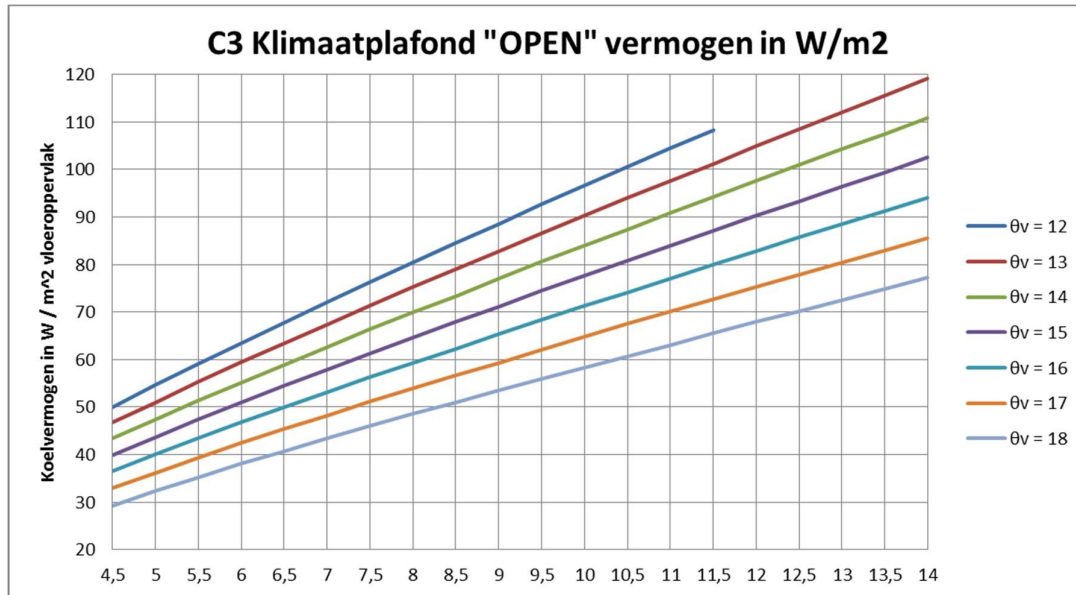
2.8 Het mag ook mooi zijn: onzichtbare roosters

Een stalen plafond geeft een ruimte een zeer luxe uitstraling. Interieurontwerpers passen hier dan ook graag zoveel mogelijk onopvallende armaturen en lichtroosters toe. Omdat wij veel samenwerken met interieurarchitecten hebben wij samen met ons zusterbedrijf Waterloo een speciaal onzichtbaar rooster voor het toevoeren en afvoeren van ventilatorlucht ontwikkeld. Dit is gebruikelijk voor een "Crystal Climate Ceiling", maar wij adviseren u graag aan de hand van uw unieke situatie. Deze onzichtbare luchtverdeeltechniek onderbreekt het bestaande lijnenspel van plafond en armaturen niet.

Een zichtbaar toevoerrooster	Een onzichtbaar toevoerrooster
	
Zichtbaar rooster, type Waterloo WID voor luchttoevoer of luchtafvoer	Onzichtbaar rooster, type Waterloo OLP voor luchttoevoer of luchtafvoer

2.9 Uw gebouw, een gebouw, gemiddeld, selectie en prestatie.

Om de eerste selectie van een C₃-klimaatplafond te vereenvoudigen hebben wij een snel raadpleegbare selectiegrafiek gemaakt. Deze grafiek geeft inzicht in de prestaties van een klimaatplafond met faseovergangsmateriaal bij de gemiddelde voorwaarden die wij aan de basisinstallatie in een gebouw stellen. Een dergelijke grafiek geeft nooit een volledig inzicht in de situatie voor uw specifieke gebouw. Wij beschikken zelf over een mathematisch simulatiemodel waarmee wij uw unieke object kunnen simuleren. Die selectiegrafiek vindt u in hieronder.



Legenda:

- Verticale as : koelvermogen in (W/m²)
- Horizontale as : het ventilatiedebiet uitgedrukt in (m³/h.m².vloeroppervlakte)

3 Regelen van binnenklimaat en faseovergangsmateriaal

De regeling van faseovergangsmateriaal (PCM, Phase Changing Material) kan worden toegelicht aan de hand van een samenstel van drie jaargetijden, te weten: zomer, winter en tussenseizoenen. De strategie in die verschillende seizoenen is:

1. Zomer: koelen, overdag thermische energie afstaan (PCM smelt), 's nachts thermische energie opslaan (PCM stolt).
2. Winter: verwarmen, overdag thermische energie afstaan (PCM stolt), 's nacht thermische energie opslaan (PCM smelt)
3. Tussenseizoen: koelen of verwarmen, de thermische buffer met faseovergangsmateriaal is vast en vloeibaar.

De regeling is gebaseerd op de in de norm NEN15251 gestelde eisen.

3.1 Regelstrategie tijdens de zomer

De definitie van zomer is in een land als Nederland met een gemiddelde temperatuur van 11 °C een ruim begrip. Het is beter te spreken over een periode waarbij de buitentemperatuur hoger is dan de gemiddelde temperatuur en waarin de binnentemperatuur comfortabel moet zijn.

Als een C₃-klimaatplafond moet koelen, dan moet de klimaatinstallatie tijdens de normale kantooruren tussen 08.00 uur en 18.00 uur over voldoende koelende capaciteit beschikken om de ruimten minstens zo goed als een conventioneel systeem te kunnen koelen. Een belangrijke voorwaarde is dat het faseovergangsmateriaal gedurende de avond- en nachtperiode van 18.00 uur tot 08.00 uur zijn thermische energie weer kan afstaan. Dit vindt bij voorkeur plaats door middel van vrije koeling volgens de optimaliserende nachtverlaging.

Deze nachtverlaging verlangt een buitentemperatuur die lager dan de toegepaste temperatuur in het

faseovergangsmateriaal. Het afstaan van thermische energie via buitenlucht vereist elektrische energie voor aandrijving van de ventilatoren (kWh) in de luchtbehandelende voorziening. Eventueel kan het faseovergangsmateriaal de opgeslagen thermische energie via een koelmachine afstaan. In Nederland zijn echter de nachttemperaturen gebruikelijk voldoende laag om het faseovergangsmateriaal de erin opgeslagen thermische energie te kunnen laten afstaan.

3.1.1 Verdeling in zones

Door een gebouw in zones op te delen is een ontladstrategie toepasbaar met het daadwerkelijk benodigde luchtdebiet. Denk bij een zonering wel aan de minimale luchthoeveelheid die de luchtbehandelingskast voorziening (bijvoorbeeld een centrale luchtbehandelingskast) en zijn ventilator efficiënt kan verplaatsen. Kies indien mogelijk voor zowel een zoneregeling per verdieping als voor regeling op basis van de geografische oriëntatie van de verdieping, zoals noord, oost, zuid of west.

3.1.2 Regelen in een zone met ruimtes

Voor het kunnen regelen van het opslaan en afstaan van thermische energie uit faseovergangsmateriaal moet in elke zone een temperatuurvoeler worden opgenomen. Daarbij geeft een aantal voelers een nauwkeuriger inzicht in de te volgen strategie. Wordt in een ruimte gedurende de dag een temperatuur gemeten van bijvoorbeeld $\geq 25^\circ\text{C}$, dan moet er na kantoortijd thermische energie worden opgeslagen. Dit is met vrije koeling tijdens het ventileren in een zomernacht mogelijk. Elke buitentemperatuur onder de toegepaste faseovergangstemperatuur is toepasbaar om thermische energie weer door het buffermateriaal te laten afstaan: hoe groter het verschil met de faseovergangstemperatuur is, des te sneller de thermische energie weer vrijkomt. Bij een faseovergangspunt van $\approx 23^\circ\text{C}$ ontstaat een ideale situatie bij nachttemperaturen van $\leq 19^\circ\text{C}$. Wij kunnen u de regelvoorwaarden verstrekken, die gelden voor elke moderne eenvoudige ruimteregelaar en gebouwbeheersysteem (GBS).

3.1.3 Een hittegolfscenario

Is de luchtbehandelingskast voorziening uitgerust met een koelsysteem voor minimale luchttoevoertemperatuur van $+16^\circ\text{C}$ en daalt in warme zomernachten de nachttemperatuur buiten niet onder de 20°C ? Dan moet een koelmachine helpen de gebufferde thermische energie te laten vrijkomen. Wij adviseren dan het faseovergangspunt te verstellen naar een lagere luchttoevoertemperatuur en/of het luchtdebiet te verhogen.

3.1.4 Stopcriterium voor afstaan van thermische energie

Het aanbevolen stopcriterium voor het 's nachts laten afstaan van thermische energie met behulp van zomernachtventilatie en het hittegolfscenario is als een gemeten ruimtetemperatuur van bijvoorbeeld $\leq 20^\circ\text{C}$ of 21°C wordt bereikt.

3.2 Regelstrategie in de winter

In de winter neemt het faseovergangsmateriaal gedurende de dag de warmte op die het gebouw zelf, de daarin aangebrachte verlichting, de geplaatste apparaten en de bewoners produceren. Deze opgeslagen thermische energie zal 's nachts geleidelijk weer aan het gebouw worden afgegeven. Het gebouw koelt minder uit, wat ervoor zorgt dat het minder nodig is om het gebouw 's ochtends weer op te warmen.

Om hier goed gebruik van te maken wordt geadviseerd overdag met een zogenaamde glijdende temperatuurschaal te werken. Bijvoorbeeld: om 7:00 uur gaat de thermostaat naar 20°C , en om 10:00 uur gaat het gebouw naar 21°C voor de verblijfsruimtes. Voor nagenoeg alle kantoormedewerkers is een temperatuur bij aankomst van 20°C voldoende, maar in het verloop van de dag, doordat mensen in rust achter een bureau gaan zitten, ontstaat een warmtebehoefte. Het gebouw slaat deze warmte

op, en het zal heel licht opwarmen. Met deze strategie weet het PCM in de meest voorkomende gevallen te voorkomen dat de warmte-opwekking aangeschakeld wordt.

3.3 De regelstrategie in het tussenseizoen

In het seizoen tussen zomer en winter moet de regelinstallatie op basis van de gemeten temperaturen binnen en buiten een keuze maken voor de te volgen strategie voor het gebouw en ook voor het aangebrachte faseovergangsmateriaal.

3.4 Ventilatiesystemen op basis van variabel volume (VAV) of constant volume (CAV)

Toepassing van een ventilatiesysteem, werkend met constant luchtvolume (CAV) past het best bij het opslaan van thermische energie in faseovergangsmateriaal. Wilt u een ventilatiesysteem toepassen, dat met een variabel luchtvolume werkt en waarbij het gehalte aan kooldioxide (CO₂) een sturende factor is? Dan is tevens temperatuursturing vereist. De VAV-klep stuurt dan niet alleen op CO₂, maar gaat ook verder open wanneer de ruimte verder opwarmt. En; de klep blijft openstaan bij nachtontlading, en gaat weer dicht als de ruimte en het PCM uitgekoeld is.

Het voordeel van het toepassen van een VAV-klep is dat een betere naregeling per ruimte of zone te bereiken is. Een voorbeeld: als de thermostaat, die de VAV-klep aanstuurt, ingesteld wordt op koelen tot 21 °C, dan zal deze de voorgekoelde lucht toe gaan voeren zodra de ruimte begint met opwarmen, en zal de ruimte thermisch zowel door het PCM als door de voorgekoelde lucht gekoeld worden. Bij nachtontlading zal de ruimte en het PCM uitkoelen tot 21 °C, waardoor de ruimte 's ochtends weer op deze zelfde temperatuur is, en de hele dag in de buurt van dit setpoint blijft. Als een hogere temperatuur gewenst is, bijvoorbeeld 23 °C op een kamer van een zorgcomplex, dan zal de voorgekoelde lucht meer beschikbaar komen boven deze temperatuur, en stopt het uitkoelen van de kamer en het PCM 's nachts pas weer op deze temperatuur. Deze kamer zal gedurende de dag dus op een hoger temperatuurgebied blijven dan de eerder genoemde ruimte.

Een ruimte waar geen mensen zijn geweest heeft een lage concentratie CO₂-concentratie, maar kan wel een te hoge ruimtetemperatuur krijgen. In dat geval wordt dus de CO₂-sturing genegeerd en prevaleert de temperatuurregeling. Let – als u VAV wilt toepassen – altijd op een juiste kalibratie en inregeling, het minimumdebiet en op mogelijke grote luchtlekken.

4 Onze manier van werken

Autarkis is een volledig Nederlands bedrijf met eigen ontwikkelingsafdeling en productiemogelijkheden in Nederland. Wij streven naar duurzame klimaatbeheersing, reductie van geïnstalleerd elektrisch vermogen en energiebesparing in gebouwen. Wij doen dat door faseovergangsmaterialen toe te passen.

Autarkis is door eigen onderzoek en ontwikkeling van faseovergangsmaterialen en de bijbehorende producten en diensten een Nederlands kennisinstituut op dit aandachtsgebied geworden. De kennis die wij hebben opgebouwd heeft ons laten uitgroeien tot een innovator op wereldniveau.

Wij bieden onze producten en diensten aan als samenhangend pakket diensten. Dit betekent dat wij zelf in staat zijn voor uw unieke project een advies uit te brengen. Daarnaast kunnen wij onze producten in eigen beheer bij u op locatie installeren, in bedrijf stellen en een langdurige goede werking garanderen. Hiervoor werkt Autarkis samen met zuster- en partnerbedrijven, waaronder specialisten op het gebied van advisering, installatieontwerp, interieurontwerp, interieurbouw, regeltechniek, verduurzaming, energielevering en afbouw en montage.

5 Faseovergangsmaterialen



Faseovergangsmaterialen of "Phase Change Materials" lijken in de 21^{ste} eeuw een relatief nieuwe ontwikkeling een binnenklimaat in gebouwen, woningen te regelen. Toch stamt het eerste technische ontwerp voor het gebruik maken van energie uit faseovergang, uit het einde van de 19e eeuw.

Destijds gebruikte men verpakt ijs om producten langer te kunnen bewaren.

Autarkis is erin geslaagd een faseovergang slim toe te passen zodat het nu mogelijk elke (binnen)temperatuur te *stabiliseren* en het voor verwarmen en koelen benodigde vermogen aanzienlijk te verkleinen.

Hierdoor ontstaat altijd energiebesparing, een lagere CO₂-uitstoot en minder onderhoud aan de klimaatinstallatie. De toepassingen van deze "nieuwe en oude" techniek vinden onder andere toepassing bij het renoveren of (ver)nieuwbouwen van gebouwen.

5.1 Wat zijn faseovergangsmaterialen eigenlijk?

Een faseovergangsmateriaal is een materiaal met een hoge latente warmte-inhoud. Daarbij stolt of smelt het materiaal bij een gekozen temperatuur. Hierdoor kan het materiaal een grote hoeveelheid thermische energie opslaan en afstaan en kunnen zodoende de nabije omgevingstemperatuur beïnvloeden. Op die manier fungeert het materiaal als latente "*thermische buffer*" om te kunnen koelen en/of te kunnen verwarmen. De door Autarkis toegepaste faseovergangsmaterialen zijn uniek in hun soort en worden speciaal voor ons samengesteld.

5.2 Welke faseovergangsmaterialen zijn er dan allemaal?

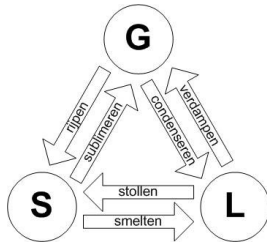


Het bekendste faseovergangsmateriaal is water, met de zeer bekende faseovergang van vast naar vloeibaar bij 0 °C.

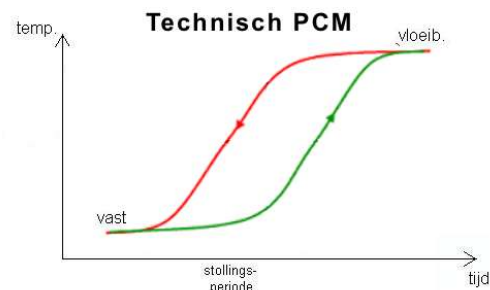
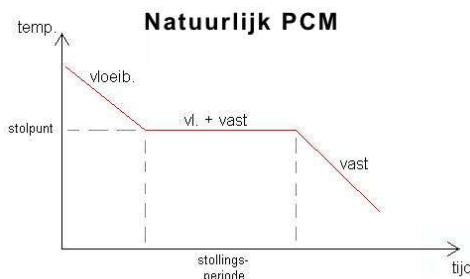
Paraffine is eveneens een bekend faseovergangsmateriaal, maar is door brandbaarheid ervan (kaarsen worden van paraffine gemaakt) minder goed bruikbaar in gebouwen.

Het exclusieve technische faseovergangsmateriaal dat Autarkis veelvuldig toepast is gebaseerd op een water/zout-mengsel. Dergelijke oplossingen kunnen wij bij elke gewenste temperatuur – uiteraard binnen een zeker bereik - laten smelten en stollen.

5.3 Een natuurlijk en technisch faseovergangsmateriaal... hoe werkt dat dan?



Het belangrijkste verschil tussen water en onze technische zoutoplossing is dat water (ijs) een faseovergangspunt heeft. Bij een faseovergangstemperatuur van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ stolt water naar zijn vaste vorm: ijs. Belangrijk om hierbij te onthouden is dat water een smeltpunt heeft. Ijs is dus een faseovergangsmateriaal met een PCM-waarde van '0' (nul). De door ons toegepaste technische zoutoplossing heeft echter een verschillend smelt- en een stoltraject, ook wel een hysteresis genoemd. Daar hebt u in de praktijk absoluut geen last van, maar het betekent wel dat Autarkis de gekozen zoutoplossing goed rond de gewenste maximale ruimtetemperatuur moet dimensioneren. Hierdoor kunnen wij dus producten met daarin een bijvoorbeeld een PCM-waarde van ≈ 23 of ≈ 28 samenstellen, waarbij de toegepaste faseovergangstemperatuur afhankelijk is van het beoogde en gewenste effect op de omgeving.



Hieronder treft u nog enkele verschillen aan tussen een natuurlijk en kunstmatig, technisch faseovergangsmateriaal:

- PCM-waarde = 0 betreft een natuurlijk faseovergangsmateriaal met smelt/stolpunt bij $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; de soortelijke massa bedraagt 1000 kg/m^3 .
- PCM-waarde ≈ 23 betreft een kunstmatig faseovergangsmateriaal met smelt/stoltraject rond de $23\text{ }^{\circ}\text{C}$; de soortelijke massa bedraagt 1480 kg/m^3 .
- PCM-waarde ≈ 28 betreft een kunstmatig faseovergangsmateriaal met een smelt/stoltraject rond de $28\text{ }^{\circ}\text{C}$; de soortelijke massa bedraagt $\approx 1250\text{ kg/m}^3$.

5.4 Hoeveel thermische energie kan ik dan opslaan?

De hoeveelheid thermische energie, of de warmtecapaciteit dat een faseovergangsmateriaal kan opslaan is volledig afhankelijk van het soort faseovergangsmateriaal, de hoeveelheid (in kg), de zuiverheid van de samenstelling, het uitwisselend oppervlak, het transportmedium (zoals lucht en water) en de warmteoverdracht die tijdens opslaan in, en afgeven van thermische energie door het faseovergangsmateriaal kan plaatsvinden.

De opslagcapaciteit van een faseovergangsmateriaal wordt uitgedrukt in kJ/kg.

Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat niet alleen de verpakking maar ook uiteindelijk het smeltende faseovergangsmateriaal invloed heeft op de warmteoverdracht. De allerbelangrijkste factor is echter de omgeving. Hiermee bedoelen wij dat verschillende omgevingen zoals een kantoor, een woonkamer, een datacentrum en de eisen die u daar aan het binnenklimaat stelt, echt van elkaar verschillen.

U zult begrijpen dat wij in een datacentrum (computers, apparatuur) een faseovergangsmateriaal met andere eigenschappen toepassen dan in een kantooromgeving (mensen).

De hoeveelheid thermische energie die kan worden opgeslagen verschilt per faseovergangsmateriaal. Hieronder ziet u de verschillen tussen een kunstmatig faseovergangsmateriaal en gewoon water:

- PCM-waarde = 0 betreft een natuurlijk faseovergangsmateriaal met een warmtecapaciteit van 334 (kJ/kg)
- PCM-waarde $\approx$ 23 betreft een kunstmatig faseovergangsmateriaal met een warmtecapaciteit van 165 (kJ/kg)
- PCM-waarde $\approx$ 28 betreft een kunstmatig faseovergangsmateriaal met een warmtecapaciteit van 175 (kJ/kg)

5.5 Een thermisch buffer van faseovergangsmateriaal

U weet nu dat faseovergangsmaterialen warmte als thermische energie kunnen opslaan. Deze warmte moet wel worden overgedragen van de ruimte naar het verpakte faseovergangsmateriaal en omgekeerd. Belangrijk is dat de warmteoverdracht zodanig is dat het materiaal beheersbaar kan overgaan van de vaste naar de vloeibare aggregatietoestand.

Hiervoor hebben wij een geheel eigen faseovergangsmateriaal, verpakking en vulproces ontwikkeld. Ons faseovergangsmateriaal wordt verpakt in panelen van polyetheen met hoge dichtheid (HDPE). Een dergelijk paneel noemen wij een Crystal Storage Panel (afgekort CSP). Om de snelheid van het opslaan en afstaan van de thermische energie in een bufferpaneel te kunnen bepalen, hebben wij eigen rekenkundige modellen ontwikkeld. Deze modellen zijn in samenwerking met het Duitse kennisplatform voor faseovergangs-materiaal "[RAL-Gütegemeinschaft](#)" nagemeten in onze eigen meetkamer in Holten.



Door deze CSPs tot een 'warmtewisselaar' te assembleren krijgen wij onze unieke en geotrooieerde thermische buffers, die op gebruik van faseovergangsmateriaal zijn gebaseerd.

Wij bieden thans twee soorten Crystal Storage Panels aan:

1. CSP 146: afmetingen (h x b x d) 198 x 570 x 15 mm, geschikt voor ca. 1,0 kg faseovergangsmateriaal.
2. CSP 198: afmetingen (h x b x d) 198 x 570 x 15 mm, geschikt voor ca. 1,2 kg faseovergangsmateriaal.
3. CSP 275: afmetingen (h x b x d) 275 x 570 x 15 mm, geschikt voor 1,8 kg faseovergangsmateriaal.

Deze panelen passen wij toe in al onze producten zoals de CBM (een plafondstrook met faseovergangsmateriaal), het C₃ (een koelplafond op basis van faseovergangsmateriaal), de PDC (een koelsysteem voor een datacentrum op basis van faseovergangsmateriaal) en het C₂F (een systeem voor vloerverwarming met faseovergangsmateriaal).

5.6 Capaciteit, energie en vermogen

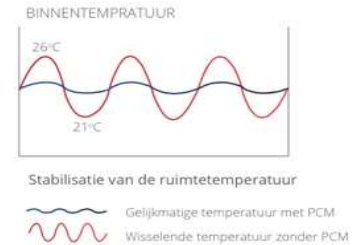
Het dimensioneren van een thermische buffer op basis van een faseovergangsmateriaal verloopt anders dan het berekenen van bijvoorbeeld het vermogen voor een koelmachine of een verwarmingsketel. Deze apparaten hebben immers een groot vermogen (kW), dat maar een beperkt aantal uren hoeft te worden ingezet. Uiteindelijk is het energieverbruik gelijk aan de capaciteit (P) vermenigvuldigd met de tijd (h) uitgedrukt in opgenomen vermogen (kWh). Een 'warmtewisselaar', gemaakt van faseovergangsmateriaal, moet worden gedimensioneerd op een piekcapaciteit gedurende een bepaalde tijd. Als de thermische buffer met faseovergangsmateriaal voldoende energie heeft om een groot warmteaanbod in zeer korte tijd te kunnen opslaan en dan ook nog over voldoende energie beschikt om ook nog gedurende de overige gebruikstijd goed te functioneren, dan voldoet deze aan onze eisen. Dat brengt ons op het volgende belangrijke aandachtspunt voor de thermische buffers, namelijk het opslaan en afstaan van thermische energie binnen een dag-/nachtritme.

5.7 Bouwkundige massa en thermische massa

De term thermische massa is voor faseovergangsmateriaal zeer zeker van toepassing.

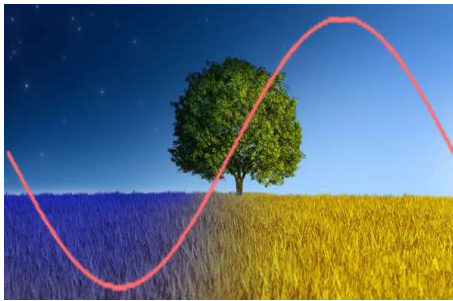
Eén kilogram faseovergangsmateriaal vertegenwoordigt rekenkundig ongeveer 20 ... 30 kg beton. Hierdoor gaat elke ruimte met faseovergangsmateriaal zich qua temperatuurgedrag traag gedragen ten opzichte van de buitentemperatuur.

De nevenstaande grafiek toont het normale gedrag van een ruimte (rood) en het gedrag met faseovergangsmateriaal (blauw).



Het beste praktijkvoorbeeld is een oude Romaanse kerk die in de zomer altijd koel blijft door de aanwezige bouwkundige massa. Faseovergangsmateriaal bereikt hetzelfde, maar dan met minder torens en klokken en met veel minder bouwkundige massa.

5.8 De energiedrager en de dag en nachtcyclus



Een thermisch buffer op basis van faseovergangsmateriaal moet thermische energie kunnen opslaan en afstaan. Hiervoor maken wij gebruik van een temperatuurverschil tussen dag- en nachttemperatuur. Hoe groter het verschil, hoe eenvoudiger. Wat bedoelen wij daarmee?

Als een faseovergangsmateriaal in de nacht eenvoudig thermische energie met een lage buitentemperatuur kan uitwisselen, dan slaat de thermische buffer snel warmte op. Nu kan overdag bij hogere omgevingstemperaturen deze warmte weer vrijkomen en koelt dus de omgeving

die aan het faseovergangsmateriaal grenst.

Een voorbeeld:

Het is in Nederland een warme dag, de buitentemperatuur loopt overdag op van +20 °C naar +30 °C gedurende een aantal uren en 's avonds koelt de temperatuur weer af naar +24 °C en bereikt uiteindelijk bij de ochtendschemering weer een waarde van +18 °C.

In ons voorbeeld moet een PCM-waarde van $\cong 23$ °C ervoor zorgen dat een ruimte niet warmer wordt dan $22 + 4$ °C. De thermische buffer is gedimensioneerd om dit gemakkelijk tien uur te kunnen volhouden. Dan is er 's nachts 14 uur ter beschikking om het faseovergangsmateriaal te regenereren. In de regel is het in de nacht al snel koeler dan +20 °C. Door de thermische buffer met faseovergangsmateriaal ook nu ook nog te ruim te dimensioneren gebruiken wij binnen een dag nimmer alle opgeslagen thermische energie.

Ritme van dag en nacht in een kantoorgebouw als voorbeeld:

08.00–18.00 h Tien uur lang thermische energie opslaan, het faseovergangsmateriaal in de thermische buffer smelt en gebruikt energie

- 08.00 h Buitentemperatuur 20 °C; een buffer met PCM-waarde = 23 doet niets.
 12.00 h Buitentemperatuur 30 °C; het faseovergangsmateriaal in de warmtewisselaar neemt thermische energie op en houdt de ruimte op een gewenste temperatuur.
 18.00h Buitentemperatuur 26 °C; het faseovergangsmateriaal in de warmtewisselaar stolt en houdt de ruimte op temperatuur tot maximaal 22+4 °C aan het einde van de werkdag.

18.00–08.00 h Veertien uur lang thermische energie afstaan, de thermische buffer stolt en slaat energie op

- 19.00 h Buitentemperatuur 24 °C; het faseovergangsmateriaal in de warmtewisselaar smelt.
 00.00 h Buitentemperatuur 20 °C; het faseovergangsmateriaal in de warmtewisselaar stolt.
 08.00 h Buitentemperatuur 18 °C; de buffer is ergens tussen 00.00 h en 08.00 h weer volledig thermisch geladen en gereed voor een volgende dag.

5.9 Maar wat als er geen temperatuurverschil is tussen dag/ en nachttemperatuur?

Dat is in vooralsnog op onze planeet echt onmogelijk. Immers de zijde van de aarde die naar de zon is gericht, is altijd warmer dan de zijde van de aarde die naar het heelal is gericht. Er is dus op aarde overal een temperatuurverschil tussen dag en nacht. Alleen zal het temperatuurverschil en een mogelijk toepasbare faseovergangsmateriaal natuurlijk niet overal gelijk zijn. De tropen hebben een ander ritme dan de Sahara en een zeeklimaat verschilt van een landklimaat. Wij kunnen met onze rekenmodellen elke mogelijke toepassing en soort faseovergangsmateriaal simuleren.

5.10 Dimensioneren en ontwerpen van de (PCM) klimaatinstallatie

De meeste traditionele rekenkundige modellen voor het berekenen en/of simuleren van een klimaatinstallatie in een gebouw zijn statisch of quasi dynamisch. Met statisch bedoelen wij dat ze uit van één situatie uitgaan die dan voor 24 uur wordt doorgerekend of een quasi dynamisch situatie waarin extra variabelen zoals de gemiddelde invloed van de zonbelasting op het gebouw worden meegerekend.

Deze manier van rekenen gaat ervan uit dat er altijd een overmaat aan vermogen is geïnstalleerd. Het toepassen van faseovergangsmateriaal als buffer voor thermische energie in gebouwen vereist een volledig dynamisch rekenmodel. Daarbij rekenen wij zo goed mogelijk de werkelijke situatie door.



Hiervoor heeft Autarkis een eigen mathematisch model ontwikkeld. Wij kunnen dit model voor uw unieke situatie toepassen als eigen adviesberekening of wij kunnen een standaardberekening (van uw adviseur of installateur) eenvoudig toetsen aan ons rekenmodel dat is toegesneden op het gebruik van faseovergangsmateriaal. In beide situaties ontvangt u een goed en gedegen advies over de mogelijkheden van een klimaatinstallatie, dat gebaseerd is op het gebruik van faseovergangsmateriaal.

6 Garantie en de levensduur van een technisch faseovergangsmateriaal

6.1 De levensduur en faseovergang

Een vaak gestelde vraag: „Welke garanties krijg ik dan op de werking van een faseovergangs-materiaal?” Deze vraag is gekoppeld aan de nuttige levensduur van een faseovergangsmateriaal.

U zult begrijpen dat de levensduur van water voorlopig nog wel gegarandeerd is. Om de vraag technisch beter te kunnen beantwoorden conformeren wij ons aan een manier van kwaliteitsborging.

Deze is gedefinieerd als een test gedurende 10.000 cycli, opgesteld door [RAL-Gütegemeinschaft](#). In het kort komt het erop neer dat een goed faseovergangsmateriaal na 10.000 keer volledig van fase te zijn gewisseld nog voor 90% goed moet functioneren.



Wij houden hier met het dimensioneren van onze thermische buffers al rekening mee door feitelijk een overmaat aan faseovergangsmateriaal toe te passen. De levensduur van 10.000 cycli vangt dus als het ware aan met 110% aan faseovergangsmateriaal. Onze eigen rekenmodellen en testen hebben aangetoond dat bij normale toepassing van fase-overgangsmateriaal in kantoren de 10.000 cycli pas na ca. 25 jaar wordt bereikt. Die levensduur ligt voor datacentra op meer dan 100 jaar. Ook onze garantieverklaring is afgestemd op de parameters en eisen die in deze 10.000 cyclitest zijn gedefinieerd.

En na die 10.000 cycli is eenmaal goed onderkoelen voldoende om weer een thermische buffer met de oorspronkelijke capaciteit van 110% te verkrijgen.

6.2 Cradle2Cradle

Autarkis heeft als allereerste in de wereld een Cradle to Cradle certificering™ Zilver voor zijn PCM verpakt in een HDPE paneel behaald. Met de Cradle to Cradle certificering™ op Zilver niveau tonen we aan wat we al jarenlang weten: de fase overgangsmaterialen van Autarkis zijn duurzaam en verantwoord. We lopen voorop op het gebied van circulariteit en renovatie van de gebouwde omgeving en laten zo aan onze klanten zien dat de PCM oplossingen voor vloer en plafond volledig duurzaam en milieubewust zijn opgezet.”



Om tot de Cradle to Cradle certificering™ te komen is het gehele productieproces gecontroleerd op gezondheid en herbruikbaarheid van materiaal, het gebruik van groene energie binnen het productieproces, het watergebruik en de sociale rechtvaardigheid voor bijvoorbeeld omwonenden en medewerkers. Omdat de CSP PCM panelen oneindig gerecycled kunnen worden, past het perfect bij de Cradle to Cradle circulaire gedachte. Het Cradle to Cradle Certified™ Zilver merk is een bevestiging van het DNA van OC Autarkis.

7 BREEAM en PCM

Regelmatig wordt ons gevraagd hoe faseovergangsmateriaal in BREEAM is toe te passen. BREEAM is een instrument om integraal de duurzaamheid van nieuwe gebouwen, bestaande gebouwen, gebieden en sloopprojecten te meten en te beoordelen.

Voor de beoordeling van de toepassing van faseovergangsmateriaal in het model van BREEAM-NL kunnen wij u in samenwerking met kennispartner Sparkling Projects de volgende richtlijnen geven:

HEA = Gezondheid (binnenklimaat). Faseovergangsmaterialen dragen positief bij aan

- HEA 5: regelen van klimaatcondities.
Omdat het om duurzame warmte en koude handelt, is ook openen van ramen geen probleem
- HEA 28: regelen van ventileerdebielen
- HEA 106: thermisch comfort

ENE = energie

- ENE 1 EPC verhoging / energiebesparing via een verklaring van gelijkwaardigheid

MAT = materiaal

- MAT 002: onderhoudsbeleid is buitengewoon eenvoudig met faseovergangsmaterialen.
- MAT 007: faseovergangsmateriaal leent zich tevens voor andere gebruiksfuncties.
- MAT 102, het materiaal heeft een lage milieubelasting.

POL = vervuiling

- POL007: alternatief voor Cfk's en HCfk's
- POL008: koudemiddelen (geen koudemiddelen dus 10 bonuspunten)
- POL009: verlaagd NOx
- POL10: GWP<5

Hebt u voor uw gebouw een maatwerkoplossing nodig of meer advies?
Neem dan contact met ons op.