

Auteurs J.M. (Johan) van der Steen, MSc (Sweco) V.I.(Ivette) Calixto Aguirre, MSc (TU/e)

Passieve koeling bij renovatie zorgcomplex Hoogstaete Zuyderland te Sittard

Zorginstellingen staan voor de opgave om het binnenklimaat in woon-zorggebouwen toekomstbestendig te maken, terwijl energieverbruik en CO₂-uitstoot juist moeten afnemen.

Zuyderland heeft duurzaamheid verankerd in haar beleid en streeft naar een gezonde, comfortabele en energiezuinige zorgomgeving voor bewoners, patiënten en medewerkers [1].

Bij woon-zorgcomplex Hoogstaete is als onderdeel van het integrale verduurzamingsproject gezocht naar een duurzame vorm van gebouwkoeling. Door inzet van phase change materials (PCM) in combinatie met indirect adiabatische koeling in de luchtbehandeling wordt bijgedragen aan het realiseren van deze ambitie.

Zuyderland heeft duurzaamheid als structureel uitgangspunt opgenomen in haar organisatie- en vastgoedstrategie. Zuyderland gaat in haar duurzaamheidsbeleid verder dan wet- en regelgeving vereist. De organisatie koppelt energie- en grondstoffenbesparing structureel aan haar zorgopgave en kiest expliciet voor preventie, circulariteit en CO₂-reductie als leidende principes. Zo investeert Zuyderland niet alleen in verduurzaming van gebouwen en installaties, maar ook in duurzame inkoop, afvalreductie, mobiliteit en bewustwording van medewerkers. Deze ambitie sluit aan bij de

Highlights

- Praktijktoeepassing van passieve koeling in renovatie van zorgvastgoed
- Combinatie van phase change materials (PCM) en indirect adiabatische koeling
- Een robuust, energiezuinig koelconcept dat temperatuuroverschrijdingen dempt, piekbelastingen reduceert en het elektriciteitsverbruik beperkt.
- Aandachtspunten bij ontwerp, uitvoering en beheer

Green Deal Duurzame Zorg [2] en vormt een leidend kader bij zowel nieuwbouw- als renovatieprojecten.

Voor vastgoed en installaties betekent dit dat bij nieuwbouw én renovatie nadrukkelijk wordt gestuurd op energiezuinige en robuuste oplossingen, met aandacht voor comfort, beheerbaarheid en levensduur. Door Zuyderland Zorgcentra zijn deze uitgangspunten vertaald naar concrete eisen voor onder meer thermische schil verbetering, ventilatie, koeling en regeltechniek, waarbij energie-efficiëntie en comfort als gelijkwaardige randvoorwaarden worden beschouwd.



Ontwerp- en bouwteam

- **Zuyderland Zorgcentra**

Opdrachtgever en eindgebruiker. Verantwoordelijk voor de functionele uitgangspunten, comfort- en zorginhoudelijke eisen, besluitvorming en borging van continuïteit van de zorg tijdens ontwerp en uitvoering

- **Exeades Bouwrealisten**

Projectmanagement en bouwteamcoördinatie. Verantwoordelijk voor de projectleiding van de verduurzamingsopgave namens Zuyderland Care.

- **Sweco (business unit Volantis)**

Adviseur installatietechniek. Verantwoordelijk voor de haalbaarheidsstudies van de verduurzaming, conceptontwikkeling (waaronder het koelconcept met PCM en indirecte adiabatische koeling), systeemspecificaties en ondersteuning bij technische keuzes en toetsing.

- **Equans**

Installateur werktuigbouwkundige, elektrotechnische en regeltechnische installaties. Verantwoordelijk voor de technische uitwerking, prefabricage, montage en inbedrijfstelling van de installaties, inclusief afstemming met de uitvoering in bewoonde toestand.

- **Orange Climate**

Specialist en leverancier van PCM-oplossingen. Verantwoordelijk voor de levering, integratie en technische ondersteuning van de PCM-modules, inclusief input voor regelstrategie en prestatieverwachtingen.

- **Technische universiteit Eindhoven**

De Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) is binnen het Interreg-project Duurzaam Zomercomfort [3] betrokken als kennispartner. TU/e levert wetenschappelijke ondersteuning bij het onderbouwen van het concept, het opzetten van meet- en monitoringsstrategieën en het analyseren van de prestaties op het gebied van thermisch comfort, energiegebruik en systeemeffectiviteit.

Specifieke situatie locatie Hoogstaete

Hoogstaete is een bestaand woon-zorgcomplex van Zuyderland in Sittard, waar intramurale zorg wordt geleverd aan een kwetsbare doelgroep. In het kader van de verduurzamingsopgave van Zuyderland is Hoogstaete aangewezen als één van de locaties waar gerichte verbeteringen aan het gebouw en de installaties worden doorgevoerd. De opgave betreft een verbetering van de dakisolatie,

toepassing van gebalanceerde ventilatie met warmteterugwinning, energiezuinige ventilatoren, zonnepanelen, aanpassing van de meet- en regeltechniek en duurzame koeling.

Hitteproblematiek in (zorg)woningen

De toenemende frequentie en intensiteit van warme zomers leidt in bestaande zorggebouwen steeds vaker tot overschrijding van comfortgrenzen. Bewoners van woon-zorgcomplexen zijn extra gevoelig voor extreem hoge binnentemperaturen, wat risico's met zich meebrengt voor gezondheid en welzijn. Tegelijkertijd kent het zorggebouw twee verschillende gebruikerstypen met uiteenlopende comfortbehoeften. Bewoners hebben over het algemeen behoefte aan hogere ruimtetemperaturen dan het zorgpersoneel. Dit hangt samen met het feit dat bewoners veelal ouderen zijn die een groot deel van de tijd rustend verblijven, terwijl het zorgpersoneel een fysiek actief en belastend beroep uitoefent.

Gebouwvoorzieningen voor renovatie

Hoogstaete is voorzien van een conventioneel installatieconcept dat dateert uit de oorspronkelijke bouwperiode (2007). De warmtevoorziening vindt plaats via een aansluiting op het stadsverwarmingsnet Het Groene Net. Deze warmte wordt ingezet voor zowel ruimteverwarming als de bereiding van warm tapwater. Voor koeling is het gebouw uitgerust met meerdere, van elkaar gescheiden systemen. De ventilatielucht van de gemeenschappelijke functies en de zorgwoningen wordt centraal gekoeld door middel van een koelmachine. De woonappartementen zelf beschikken niet over actieve ruimtekoeeling. Hierbij wordt geventileerd door middel van natuurlijke toevoer en mechanische afzuiging. De woningen zijn wel reeds uitgevoerd met zonwering en te openen ramen om opwarming van de woningen te beperken.

Ontwerpoverwegingen

In het voortraject van de verduurzaming van Hoogstaete hebben Exeades (projectleiding verduurzaming Zuyderland), Sweco (adviseur installatietechniek) en Zuyderland gezamenlijk uitgangspunten vastgesteld voor het renovatieproject. Een belangrijke randvoorwaarde daarbij was het beperken van het energiegebruik en de CO₂-uitstoot. Slechts 32% van de ventilatieretourlucht werd benut voor warmteterugwinning via een WTW. Daarom is gekozen om het ventilatiesysteem te herzien en volledig uit te voeren als een gebalanceerd systeem met WTW. Daarnaast hadden de koelmachine en de regeltechniek het einde van hun technische levensduur bereikt en waren deze toe aan renovatie. In een vroeg stadium is besloten om geen conventionele actieve koeling toe te passen, zoals koelmachines of decentrale splitunits.

Hoewel dergelijke systemen effectief zijn in het realiseren van lage ruimtetemperaturen, leiden zij tot een structurele toename van het elektriciteitsverbruik en hogere piekbelastingen, wat niet past binnen de duurzaamheidsdoelstellingen van Zuyderland Zorgcentra. In samenwerking met bouwteampartner Equans is onderzocht of passieve koeling via warmte-koudeopslag (WKO) in de bodem toepasbaar is. De bodemopbouw ter plaatse wordt gekenmerkt door de aanwezigheid van de Brunssumklei, die het watervoerend pakket hydraulisch begrenst en de uitwisseling van grondwater beperkt. In combinatie met geldende boorrestricties, waardoor boringen niet dieper dan circa 30 meter onder maaiveld kunnen worden uitgevoerd en bronfilters nabij de redoxovergang zouden liggen, leidt dit tot een beperkte energetische benutbaarheid en verminderde bedrijfszekerheid van een open bodemenergiesysteem. Op basis hiervan is geconcludeerd dat toepassing van WKO op deze locatie geen robuuste en doelmatige oplossing vormt.

Alternatieve koeltechnieken

Vervolgens zijn alternatieve energiezuinige koeltechnieken onderzocht. Hierbij is Orange Climate betrokken als specialist van passieve koeltechnieken. In eerste instantie zijn phase change materials (PCM) en indirecte adiabatistische koeling afzonderlijk beschouwd. Beide technieken bieden mogelijkheden voor passieve koeling, maar kennen beperkingen wanneer zij zelfstandig worden toegepast.

Bij PCM-toepassing is de koelcapaciteit afhankelijk van voldoende regeneratie tijdens koelere perioden, voornamelijk gedurende de nacht periode. Tijdens langdurige warme zomers en hittegolven neemt de beschikbare regeneratietijd af, waardoor de hoeveelheid beschikbare koelenergie beperkt is op momenten dat de koelvraag juist toeneemt. Hierdoor bestaat het risico dat het systeem tijdens piekperioden onvoldoende bijdraagt aan het beperken van temperatuuroverschrijdingen. Indirecte adiabatistische koeling is daarentegen in principe continu inzetbaar en minder afhankelijk van nachtelijke afkoeling. De techniek maakt gebruik van verdampingskoeling om de toevoerlucht indirect te koelen, zonder verhoging van de luchtvochtigheid in de verblijfsruimten. De haalbare koelcapaciteit was echter onvoldoende om het gewenste comfortniveau gedurende warme perioden te garanderen. Hoewel beide technieken afzonderlijk tekortkomingen kennen, bleek dat zij elkaar in combinatie functioneel kunnen versterken. Indirecte adiabatistische koeling kan aanvullende koude genereren, ook wanneer de buitencondities ongunstig zijn voor PCM-regeneratie. De PCM-modules kunnen deze koude vervolgens bufferen en beschikbaar stellen tijdens piekmomenten in de koelvraag. Door deze combinatie ontstaat een stabiel en robuuster koelconcept, dat beter in staat is temperatuurschommelingen te dempen zonder inzet van actieve koelmachines. De luchtbehandelingskast is in deze

uitvoering aanzienlijk groter en langer. Op het dak was voldoende ruimte beschikbaar om een grotere luchtbehandelingskast te plaatsen, waardoor de combinatie van PCM en indirecte adiabatistische koeling hier technisch en ruimtelijk inpasbaar was.

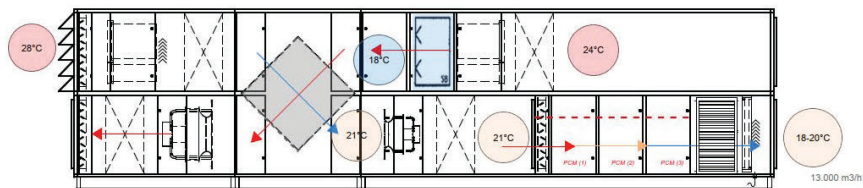
Werkingsprincipe Phase Change Materials (PCM)

Phase change materials (PCM) worden in de luchtbehandelingskast toegepast als een thermische batterij voor de toevoerlucht. Het toegepaste faseovergang materiaal bestaat voornamelijk uit anorganisch zout (Calciumchloride) en is zodanig gekozen dat het bij een vooraf bepaalde temperatuur smelt en stolt. Tijdens deze faseovergang kan het PCM grote hoeveelheden warmte opnemen of afgeven zonder dat de temperatuur van het materiaal significant verandert. Hierdoor wordt de temperatuur van de passerende lucht gestabiliseerd en worden pieken in de koel- of warmtevraag afgevlakt. In koelbedrijf neemt het PCM warmte op uit de toevoerlucht wanneer deze warmer is dan de faseovergangstemperatuur. De lucht wordt daardoor afgekoeld zonder inzet van actieve koeling. Zodra het PCM volledig is gesmolten, neemt de koelcapaciteit af. Regeneratie van het PCM vindt plaats wanneer koelere lucht beschikbaar is, bijvoorbeeld tijdens de nacht. Door middel van een regelbare bypass en een specifieke nachtontladingsstand wordt het PCM dan opnieuw afgekoeld, zodat het de volgende dag weer inzetbaar is. De regeling van de PCM-sectie is gebaseerd op meerdere temperatuursensoren in het PCM-pakket, waarvan een gemiddelde waarde wordt gebruikt om de laad- en ontladtoestand van het materiaal te bepalen. Hiermee kan het systeem anticiperen op de beschikbare buffercapaciteit en wordt het PCM zo efficiënt mogelijk benut.

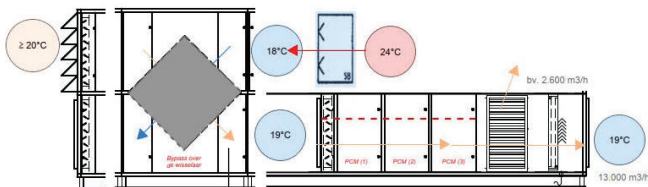
Continu bewoond

Een extra uitdaging bij de toepassing van PCM is dat het gebouw continu bewoond en in gebruik is. Dit betekent dat ook tijdens de nacht, wanneer de PCM-modules worden geregenereerd, het binnenklimaat comfortabel moet blijven. Tijdens dit regeneratieproces kan juist warmte vrijkomen. Om te voorkomen dat deze warmte via de ventilatielucht het gebouw binnenkomt, is het systeem voorzien van meerdere by-passvoorzieningen. De eerste by-pass maakt het mogelijk om de PCM-module geheel of gedeeltelijk te omzeilen, zodat de toevoerlucht direct naar het gebouw kan worden geleid zonder door de PCM-sectie te stromen. Direct na de PCM-module is daarnaast een afblaasklep naar buiten aangebracht. Hiermee kan lucht die tijdens regeneratie te warm wordt, volledig of gedeeltelijk naar buiten worden afgevoerd. Na de PCM-module kunnen de koudere lucht uit de by-pass en de warmere lucht uit de PCM-sectie gecontroleerd worden gemengd. Op deze

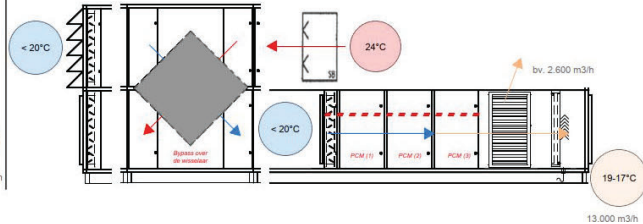
Zomerbedrijf



Regeneratiebedrijf ($T \geq 20^\circ\text{C}$)



Regeneratiebedrijf ($T < 20^\circ\text{C}$)



Figuur 1: Bedrijfsstanden LBK uitgevoerd met PCM en indirect adiabatische koeling (Orange Climate).

manier wordt steeds de gewenste inblaastemperatuur gerealiseerd, terwijl het regeneratieproces van de PCM kan plaatsvinden zonder nadelige gevolgen voor het thermisch comfort in het gebouw. In het ontwerp van het passieve koelsysteem is bewust rekening gehouden met klimaatadaptatie en toekomstige temperatuurstijgingen. In de basis zijn drie lengtesecties voorzien van PCM-modules. In basis worden deze uitgevoerd met een smelttemperatuur van 20°C , waarmee bij een regeneratietemperatuur van circa 17°C een uittredetemperatuur van ongeveer $18\text{--}19^\circ\text{C}$ kan worden gerealiseerd. Echter is ervoor gekozen om één lengtesectie uit te voeren met PCM-modules met een hogere smelttemperatuur van 23°C . Hoewel deze sectie minder lang een lage uittredetemperatuur kan handhaven, maakt zij regeneratie mogelijk bij hogere nachttemperaturen en kan daardoor ook tijdens warmere perioden koeling blijven leveren met een inblaastemperatuur van circa 22°C . Hiermee wordt de totale koelperiode verlengd en wordt het systeem robuuster en toekomstbestendiger ontworpen onder veranderende klimaatomstandigheden. Mocht door klimaatverandering in de toekomst een ander temperatuurtraject gewenst zijn, dan kunnen de PCM's in de betreffende secties eenvoudig worden vervangen door varianten met een passend smelt- en stolpunt. Gezien de lange levensduur en de beperkte degradatie van het materiaal kunnen de vervangen PCM's elders opnieuw worden toegepast.

Werkingsprincipe indirect adiabatische koeling

Indirecte adiabatische koeling maakt gebruik van verdampingskoeling aan de afvoerluchtzijde van de luchtbehandelingskast. Water wordt verneveld in de retourluchstroom, waar het verdampt en warmte

onttrekt aan deze lucht. Hierdoor daalt de temperatuur van de afvoerlucht. Deze afgekoelde lucht stroomt vervolgens door een warmtewisselaar, waar deze warmte onttrekt aan de gescheiden toevoerluchstroom. Omdat het water niet in contact komt met de toevoerlucht, is het risico op verspreiding van legionella via de binnenlucht zeer laag tot verwaarloosbaar.

Doordat het water uitsluitend in de afvoerlucht wordt ingebracht, blijft de toevoerlucht vrij van extra vocht. Dit voorkomt ongewenste verhoging van de relatieve luchtvochtigheid in de verblijfsruimten. De mate van koeling is afhankelijk van onder andere de temperatuur en vochtigheid van de afvoerlucht en de effectiviteit van de warmtewisselaar. In goed ontworpen systemen kan de afvoerlucht tot dicht bij het verzadigingspunt worden gekoeld, wat resulteert in een aanzienlijke temperatuurdaling van de toevoerlucht. Indirecte adiabatische koeling is vooral geschikt voor het leveren van voelbare koeling met een zeer laag elektriciteitsverbruik, beperkt tot ventilatoren en waterpompen. De techniek is koudemiddelvrij en levert juist tijdens warme perioden een relatief hoog koeffect. Het systeem maakt gebruik van drinkwater voor indirecte adiabatische koeling. Het waterverbruik bedraagt tijdens normaal bedrijf circa $40\text{--}45\text{ l/h}$, wat neerkomt op een jaarlijks drinkwaterverbruik van circa 60 m^3 , uitgaande van maximale inzet van het systeem.

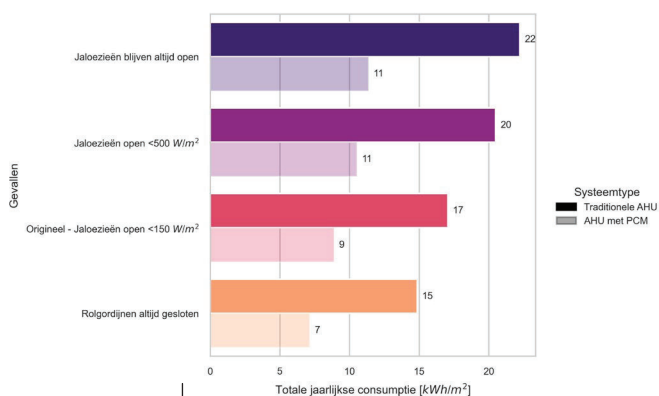
Synergie van beide systemen

Hoewel PCM en indirecte adiabatische koeling ieder afzonderlijk beperkingen kennen, versterken zij elkaar in combinatie. Het leidende regelprincipe is dat eerst de passieve koelcapaciteit van het PCM wordt benut. Zolang het PCM voldoende koelvermogen beschikbaar heeft, wordt de toevoerlucht langs de PCM-sectie geleid. Pas wanneer deze capaciteit onvoldoende is om de gewenste inblaastemperatuur te realiseren, wordt de indirecte adiabatische koeling ingeschakeld. De indirecte adiabatische koeling kan extra koude genereren, onafhankelijk van de regeneratietoestand van

het PCM. Hierdoor wordt de beschikbare buffercapaciteit vergroot en kan de koelenergie worden verschoven in de tijd. Met name tijdens piekbelastingen overdag kan hierdoor langer gebruik worden gemaakt van passieve koeling, zonder inzet van actieve koelmachines. Tijdens het zomernachtbedrijf wordt deze synergie verder versterkt. Koelere buitenlucht wordt gebruikt om het PCM actief te regenereren, eventueel ondersteund door indirecte adiabatische koeling. Op deze manier wordt de thermische batterij optimaal voorbereid op de volgende dag.

Voor de toegepaste PCM-energieopslag is een categorie-1 milieuproduktverklaring beschikbaar in de Nationale Milieudatabase (NMD). Het Orange Climate energieopslagelement met PCM-technologie (nmd_202080) heeft een MKI-waarde van € 0,298 per element bij een representatieve levensduur van 50 jaar. De functionele eenheid bedraagt 310 kJ thermische opslag per element. Daarmee is de materiaalgebonden milieu-impact van PCM-opslag transparant en toetsbaar vastgelegd.

Indirect adiabatische koeling kent geen afzonderlijke milieukaart als 'koeltechniek'. De milieu-impact bestaat uit enerzijds een beperkte toename van materiaalgebruik (warmtewisselaar, bevochtiger en hulponderdelen) en anderzijds een reductie van het elektriciteitsgebruik voor mechanische koeling. Met name dit laatste bepaalt de milieuprestatie van indirect adiabatische systemen.



Figuur 2. Jaarlijks energie verbruik per m².

In de hier toegepaste luchtbehandelingskast zijn indirect adiabatische koeling en PCM-opslag gecombineerd. De indirect adiabatische koeling levert een significante reductie van de koelvraag, terwijl de PCM-sectie deze koude tijdelijk opslaat en beschikbaar maakt buiten de directe werkingsperiode van het adiabatische proces. Hierdoor is er geen mechanische koeling. De combinatie resulteert in een beperkte extra materiaalimpact met een lange levensduur, tegenover een structurele reductie van het elektriciteitsgebruik voor koeling gedurende de exploitatiefase. Vanuit milieu-oogpunt is daarmee sprake van een duidelijke verschuiving van energie-intensieve koeling naar materiaal-efficiënte

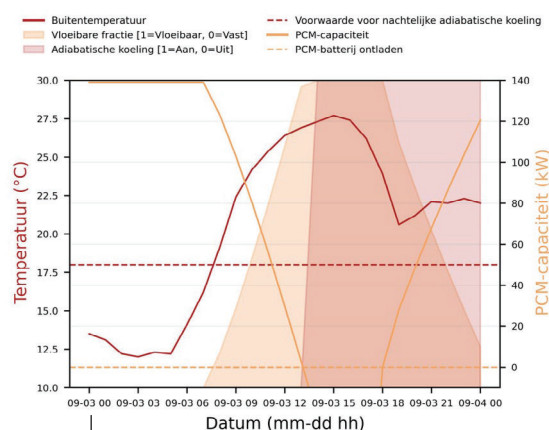
oplossingen. Door de combinatie van beide technieken ontstaat een robuust, energiezuinig koelconcept dat temperatuuroverschrijdingen dempt, piekbelastingen reduceert en het elektriciteitsverbruik beperkt.

Kamer	Comfort Klasse	Jaloeziën altijd open	Jaloeziën open < 500 W/m²	Jaloeziën open < 150 W/m²	Jaloeziën altijd gesloten
K503_ZO	Klasse A	11.31%	0.23%	0.00%	0.00%
K503_ZO	Klasse B	11.31%	0.23%	0.00%	0.00%
K512_NW	Klasse A	1.66%	0.49%	0.00%	0.00%
K512_NW	Klasse B	1.66%	0.49%	0.00%	0.00%

Figuur 3. Oververhittingsuren voor twee ruimtes met verschillende oriëntaties, weergegeven voor zowel comfortklasse A als comfortklasse B.

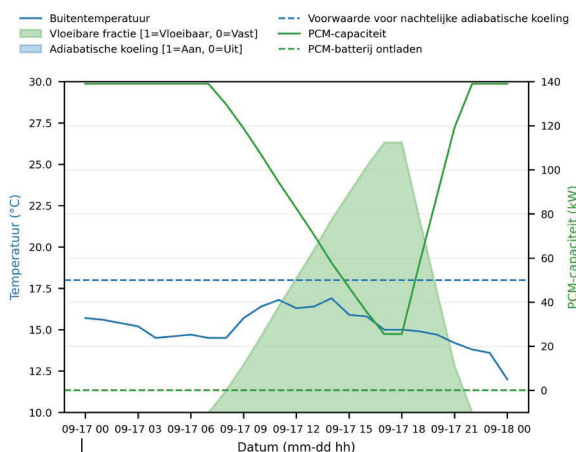
Analyse van Technische Universiteit Eindhoven

De Technische Universiteit Eindhoven (TU/e) vervult binnen het Interreg-project Duurzaam Zomercomfort de rol van onafhankelijke kennis- en onderzoekspartner. In deze hoedanigheid richt de TU/e zich op het objectief beoordelen van het thermisch comfort en de comfortbeleving van de gebruikers, zowel vóór als na de renovatie. Voorafgaand aan de renovatie heeft de TU/e comfortmetingen en bijbehorende analyses uitgevoerd om het uitgangsniveau van het binnenklimaat vast te stellen. Deze nulmeting vormt de referentie voor het beoordelen van de effectiviteit van de toegepaste maatregelen. Na afronding van de renovatie worden opnieuw



Figuur 4. Scenario waarin het adiabatische koelsysteem gedurende de hele nacht nodig is om de PCM-capaciteit te regenereren.

comfortmetingen en analyses uitgevoerd, waarmee inzicht wordt verkregen in de impact van de toegepaste technieken, waaronder PCM en indirecte adiabatische koeling, op het gerealiseerde zomercomfort. Naast het fysisch gemeten binnenklimaat besteedt de TU/e expliciet aandacht aan de subjectieve comfortbeleving en het gebruikersgedrag. Daarbij wordt onderzocht in hoeverre zonwering strategieën invloed hebben op het functioneren en de effectiviteit van de passieve koelinstallaties. Hiervoor wordt het bestaande zonweringssysteem geanalyseerd, omdat deze reeds



Figuur 5. Scenario waarin het adiabatische koelsysteem niet in bedrijf is, waarbij het PCM gedurende de nacht volledig regenerereert uitsluitend op basis van de buitentemperatuur.

voorzien is. De zonwering wordt centraal gestuurd op basis van zonsterkte. Alternatieve vormen van zonwering, zoals beschaduwingsbomen of andere externe ingrepen, zijn daarbij niet meegenomen, omdat het onderzoek zich richt op de optimalisatie en het effect van de aanwezige zonwering en installatietechnische maatregelen binnen de bestaande gebouwconfiguratie. Uit alle onderzochte scenario's blijkt dat een luchtbehandelingskast (LBK) met PCM en indirecte adiabatische koeling het energiegebruik met circa 48–52% reduceert ten opzichte van een traditionele LBK. Deze traditionele LBK betreft hetzelfde luchtbehandelingssysteem, maar is uitgevoerd met een koelmachine in plaats van PCM en indirecte adiabatische koeling.

Daarnaast laat de analyse zien dat de PCM-LBK in alle gevallen een lager energiegebruik per vierkante meter realiseert. Zelfs in het ongunstigste scenario, waarbij de zonwering permanent geopend is, presteert de PCM-LBK beter dan de traditionele LBK in het meest gunstige scenario, waarbij de zonwering continu gesloten is. Wat betreft het thermisch comfort laten de resultaten zien dat het inzetten van zonwering voorkomt dat oververhittingsuren aan zowel de noord- als zuidgeoriënteerde gevels te hoog zijn. Dit geldt zelfs bij toetsing aan de strengere comfortklassen A en B volgens ISO 74,

die relevant zijn voor seniorenhuisvesting.

Daartegenover laat het scenario met permanent geopende zonwering een duidelijk verschil zien tussen de oriëntaties. Aan de zuid oostgevel treedt thermisch ongemak op gedurende 11% van de bezette uren, terwijl dit voor de noordwestgevel beperkt blijft tot 1%. In samenhang met de resultaten voor het energiegebruik onderstrepen deze bevindingen het belang van gebruikersgedrag. Een overgang van de oorspronkelijke zonweringsstrategie naar een instralingsafhankelijke regeling, waarbij de zonwering alleen sluit bij een instraling boven 500 W/m², leidt tot een duidelijke toename van het energieverbruik, terwijl het thermisch comfort vrijwel ongewijzigd blijft. Figuur 4 illustreert een zomerdag waarin de buitentemperatuur gedurende de nacht hoger blijft dan 18 °C, de temperatuur waarbij het PCM kan stollen. Aan het begin van de dag is het PCM volledig "geladen" (volledig bevroren) en levert het voldoende koelcapaciteit tot circa 13.00 uur. Vanaf dat moment neemt de koelvraag verder toe en wordt deze overgenomen door het adiabatische koelsysteem.

In de loop van de middag neemt de koelvraag geleidelijk af, totdat deze rond 18.00 uur volledig verdwijnt. Tijdens de daaropvolgende nacht blijft de buitentemperatuur boven de drempelwaarde die nodig is om het PCM zelfstandig te laten stollen. Hierdoor blijft het adiabatische koelsysteem gedurende de nacht in bedrijf om de benodigde energie te leveren voor het opnieuw stollen van het PCM. Op deze wijze wordt het PCM volledig geregenereerd en is het de volgende dag opnieuw beschikbaar om koelcapaciteit te leveren.

Figuur 5 toont een zomerdag waarop het adiabatische koelsysteem niet als back-up is geactiveerd. Gedurende de dag blijft de buitentemperatuur onder de 18 °C. Hierdoor smelt het faseveranderingsmateriaal (PCM) gedeeltelijk om de geklimatiseerde ruimtes te koelen.

Na 19:00 uur daalt de buitentemperatuur onder de drempel die nodig is voor PCM-regeneratie. De koelere omgevingslucht zorgt er dan voor dat het PCM volledig stolt, waardoor het volledig geregenereerd is en de volgende dag weer kan koelen.

Uitboering renovatieproject Hoogstaete

De uitvoering van het project heeft plaatsgevonden terwijl het gebouw volledig bewoond en in gebruik bleef. Dit vroeg om een zorgvuldige planning en uitvoering, met als belangrijkste uitgangspunt het beperken van overlast voor de bewoners. Waar mogelijk zijn werkzaamheden in de woningen zelf vermeden. Hiervoor heeft Equans intensief contact gehad met de gebouwbeheerder en zorgteam van Zuyderland Hoogstaete om dit goed te coördineren. De aanleg van de installaties is gefaseerd uitgevoerd. Per verdieping zijn eerst de distributieluchtkanalen in de gangzones aangebracht. Pas nadat de hoofdverdeling per verdieping gereed was, zijn de individuele woningen aangesloten. Hierdoor was

elke woning slechts een korte periode niet gebruiken. Vervolgens is de luchtbehandelingskast op het dak geplaatst. Voor deze werkzaamheden waren gedurende één dag hijswerkzaamheden noodzakelijk. In verband met het formaat en het takelgewicht van de luchtbehandelingskast is uit veiligheidsoverwegingen besloten om de direct onderliggende woningen tijdelijk te ontruimen tijdens het hijsen. Na plaatsing van de luchtbehandelingskast is het volledige systeem aangesloten, ingeregeld en in bedrijf gesteld. Door de gekozen fasering en voorbereiding konden de werkzaamheden binnen de gestelde tijd worden afgerond, met beperkte en goed voorspelbare overlast voor de bewoners.

Samenvatting

Binnen dit project is de toepassing van een PCM-uitgeruste luchtbehandelingskast (LBK), in combinatie met indirecte adiabatische koeling, onderzocht met als doel het realiseren van duurzaam zomercomfort in een bestaand zorggebouw. Door middel van simulaties, metingen en analyses is inzicht verkregen in zowel het energiegebruik als het thermisch comfort, waarbij ook de invloed van zonwering strategieën expliciet is meegenomen.

De resultaten tonen aan dat de PCM-LBK leidt tot een substantiële reductie van het energiegebruik ten opzichte van een traditionele LBK met koelmachine, met besparingen van 48–52%. Hoewel de zonwering invloed heeft op zowel energiegebruik als comfort, blijft het energiegebruik per vierkante meter bij de PCM-LBK in alle scenario's lager dan bij de traditionele installatie.

Op het gebied van thermisch comfort laten de analyses zien dat in de meeste scenario's geen sprake is van oververhitting. Alleen bij permanent geopende zonwering ontstaan duidelijke verschillen tussen geveloriëntaties, wat het belang van een passende zonweringstrategie onderstreept.

Conclusie

De combinatie van PCM en indirecte adiabatische koeling biedt een energie-efficiënt alternatief voor traditionele mechanische koeling en leidt tot een substantiële reductie van het elektriciteitsgebruik en de bijbehorende CO₂-emissies. Daartegenover staan een verhoogd waterverbruik en een beperkte extra materiaalimpact door de toepassing van PCM. Deze effecten blijven echter beperkt in verhouding tot de structurele energiebesparing over de levensduur van het systeem. Per saldo resulteert dit in een lagere totale milieubelasting en een robuuste oplossing voor het realiseren van duurzaam zomercomfort in zorggebouwen.

Dankwoord

De activiteiten in Hoogstaete binnen het project Duurzaam Zomercomfort worden medegefinancierd door: Europese Unie, Provincie Limburg en Ministerie Economie Zaken.



Foto. Johan van der Steen

Referenties

1. Zuyderland Medisch Centrum, Duurzaamheid, <https://zuyderland.nl/duurzaamheid/>, geraadpleegd op 27 maart 2026.
2. Ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS), Green Deal Duurzame Zorg 3.0: Samen werken aan duurzame zorg, Rijksoverheid, Den Haag, 2022, <https://www.greendealduurzamezorg.nl>, geraadpleegd op 27 maart 2026
3. Interreg Vlaanderen-Nederland, 2024, Duurzaam Zomercomfort – Over ons, <https://interregvland.nl/duurzaam-zomercomfort/over-ons>, geraadpleegd op 8 april 2026.

Interreg
Vlaanderen-Nederland



Gefinancierd door
de Europese Unie

Duurzaam Zomercomfort