

Publieke samenvatting; Energieopslag in vloeren

Een detail analyse voor het project Buizerdhof, in opdracht van Orange Climate.

Inleiding

Orange Climate onderzoekt in samenwerking met Bolton Bouw en BPD Bouwfonds wat de toepassing van de PCM EnergyFloor voor effect heeft op woningniveau. Verschillende uitkomsten op gebied van energie, opgesteld vermogen en installatie-concept worden met elkaar vergeleken en getoetst aan de originele uitgangspunten van het woningbouwconcept.

Opzet onderzoek

Begin 2025 start bouwbedrijf Bolton, samen met installatiebedrijf Tibo-Veen, in opdracht van BPD bouwfonds aan de realisatie van 45 grondgebonden woningen aan de Buizerdhof in Nieuwegein. Voor de gebouwsimulatie wordt het onderzoek uitgevoerd door Climetric, gebruik makend van de open-source rekenmodule genaamd Energy+. In dit onderzoek zijn een tweetal woningen in het plan onderzocht, verschillend van oriëntatie en ontwerp.

Opdracht

Om het PCM-product in combinatie met overige bouwkundige- en installatietechnische componenten te testen, zijn hiervoor uitgangspunten opgesteld, die het effect van de toevoeging van PCM moeten aantonen op het gebied van:

- Benodigd opgestelde verwarmingsvermogen
- Benodigd opgestelde koelvermogen
- Energieprestatie van de woning met en zonder PCM
- Comfortverschil met en zonder PCM
- Gevoeligheidsanalyse te openen ramen

Het beoogde resultaat zou een meer ‘natuurlijkere’ woning moeten opleveren met een natuurlijk gedrag, namelijk het leven met ramen open.

Gebouwsimulatie software

De software Energy+ is een open-source simulatieprogramma dat wordt gebruikt voor het modelleren van energiegebruik en binnenklimaat in gebouwen. Het is ontwikkeld door het Amerikaanse Department of Energy (DOE) en biedt gedetailleerde simulaties van warmte- en vochttransport, HVAC-systemen (verwarming, ventilatie en airconditioning), verlichting, en de invloed van weersomstandigheden op gebouwen.

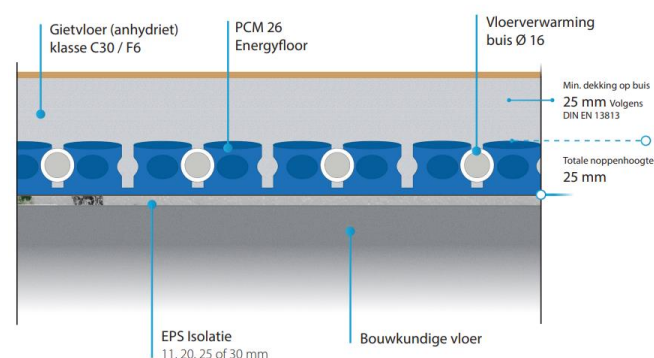
Energy+ voldoet aan de Building Energy Simulation Test, zoals gespecificeerd in ANSI/ASHRAE Standaard 140. Dit bevestigt de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de simulaties voor gebouwenergie-modellering. Door succesvolle evaluatie tegen deze standaard wordt Energy+ breed geaccepteerd voor toepassingen ASHRAE-conforme projecten.

De toepassing van de EnergyFloor (PCM)

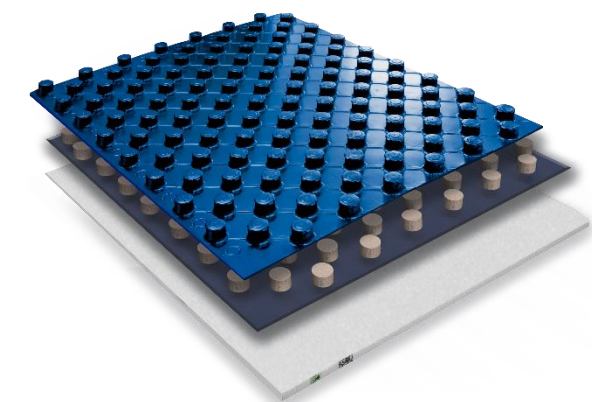
PCM

In de woningen wordt het product PCM EnergyFloor gebruikt, ontwikkeld en geproduceerd in samenwerking met Orange Climate. In de traditionele noppenvloer wordt met een nieuwe techniek het PCM in de vloer verwerkt. Deze materialen (Phase Change Materials) kunnen niet alleen warmte opnemen maar ook afgeven.

Deze innovatieve woningvloeren fungeren in feite als 'thermische batterijen' en zorgen voor een besparing bij het verwarmen en koelen van de woningen. Daarnaast bevorderen dergelijke klimaatvloeren het comfort, doordat de temperatuur in de woning stabiel blijft.



Figuur 1; Technische opbouw EnergyFloor



Figuur 2; 3D-weergave van de EnergyFloor

Hypotheses

Orange Climate heeft ruim 15 jaar ervaring met de toepassing van PCM in gebouwoplossingen en heeft hiermee verschillende gebouwen gemonitord op gebied van energiegebruik en materiaalgebruik (Whole Life Carbon).

Voor de toepassing van de EnergyFloor in deze woningen zijn de verwachtingen dat deze toepassing bijdraagt aan een reductie op energiegebruik, opgesteld vermogen en daarmee ook bijdrage levert aan de netcongestie.

Op basis van deze hypothesen is gekozen om het rapport van Climetric te kunnen toetsen op deze aannames.

Projectoplossing

Het project Buizerdhoef bestaat uit een aangepaste opzet van de Bolton Woning. In afwijking op de basis woning wordt hier geen houten kap toegepast, maar een vlak/licht schuin betondak. Tevens is de basis warmtepomp met bodembron aangepast naar een lucht-water warmtepomp.

Door toepassing van de PCM EnergyFloor zou het vermogen van de warmtepomp verkleind kunnen worden. Hierdoor is gekozen voor de toepassing van een binnen opstelling met een lager vermogen warmtepomp.

Deze warmtepomp, de Vincent van Itho Daalderop, staat volledig binnen in de woning en heeft geen buitenunit. Daarnaast maakt het gebruik van een natuurlijk koudemiddel (propan). Het voordeel daarvan is dat de woningen meer tuin tot hun beschikking hebben en geen geluidsoverlast van een buitenunit. Daarnaast draagt het bij aan verbetering van de materiaalprestatie van de woning op gebied van duurzamere materialen.

Uitgangspunten voor de gebouwsimulatie

Aanpak thermische simulatie

Er is een Digital Twin-model van het gebouw opgezet om simulaties uit te voeren en verschillende ontwerpvarianten te evalueren. Deze aanpak maakt het mogelijk om de dynamische eigenschappen van de vloer en de effecten op de warmte- en koelvraag goed in beeld te brengen. Het hele jaar is berekend in tijdstappen van 2 minuten, zodat het effect van de smeltcurve van de PCM nauwkeurig kan worden beoordeeld.

Op basis van de klimaatdata van de bouwlocatie resulteert dit tot de volgende uitkomsten:

- **Verwarming- en koelvermogen**
Benodigde verwarming- en koelvermogen per uur (voor iedere dag van het jaar) en per ruimte
- **Energieverbruik en -kosten**
Energieverbruik per uur en per ruimte, inclusief energiekosten en BENG-indicatie
- **Binnentemperatuur en comfort**
Binnentemperatuur en mogelijke overschrijding van comfortniveaus (in aantal uren en dagen per jaar conform Predictive Mean Vote EN-16798 en GTO)
- **Capaciteit warmtepomp en netaansluiting**
Benodigde capaciteit warmtepomp (incl. belastingduurkromme) en benodigde netaansluiting

Parametrisch ontwerpen

Daarnaast is er een parametrische studie uitgevoerd om tot een optimaal ontwerp te komen. Prestatie-indicatoren zoals comfort, energieverbruik, en warmtepompcapaciteit zijn geanalyseerd. De studie heeft aangetoond dat een ontwerp met PCM zowel lagere stichtingskosten als betere prestaties op het gebied van energiegebruik en netaansluiting oplevert.

Uitgangspunten woningen

Voor de analyse is gekozen om voor bouwnummer 3 en 19 het effect van PCM uit te rekenen. Woning 3 kenmerkt zich door een tussenwoning en oriëntatie van gevels op Noord-Zuid. Woning 19 is een hoekwoning, gesitueerd met de voorgevel op West en achtergevel Oost georiënteerd. Bouwkundig worden hierin de uitgangspunten meegenomen:

Constructie	Varianten	Thermisch
Wanden	a. Metselwerk b. HSB	$R_c = 4,7 \text{ m}^2\text{K/W}$
Dak	HSB	$R_c = 6,3 \text{ m}^2\text{K/W}$
B.g. vloer	Beton PCM	$R_c = 3,7 \text{ m}^2\text{K/W}$
Verdieping	a. Beton PCM b. Licht PCM	
Beglazing	a. HR++ b. HR+++ helder c. HR+++ zonw.	$U = 1,6$; ZTA 60% $U = 0,6$; ZTA 66% $U = 0,6$; ZTA 35%
Zonwering	a. Binnenzonw. b. Buitenzonw.	
PCM	a. Zonder PCM b. EnergyFloor PCM 23 c. EnergyFloor PCM 26	
PV	16 panelen, 430 W/paneel	
Ventilatie	WTW, efficiëntie 95%	
Opwekking	Warmtepomp; - verwarming sCOP 3,9 - koeling sCOP 3,0	

Voor het berekenen van het energiegebruik van de woning is uitgegaan van de volgende uitgangspunten:

Constructie	Omschrijving
Luchtdichtheid	$0,4 \text{ dm}^3/\text{s per m}^2$
Operatieve T_{winter}	$21,0 \text{ }^\circ\text{C}$ (EN-16798, cat II)
Operatieve T_{zomer}	$26,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (EN-16798, cat I)
Operatieve $T_{\text{te heet}}$	$29,5 \text{ }^\circ\text{C}$
Setpoint koelen	$24,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Setpoint verwarmen	$22,0 \text{ }^\circ\text{C}$
Personen	83 W/p.p.
Verlichting	5 W/m^2
Apparaten	25 W piek
Ventilatie, volgens Bbl	$0,9 \text{ dm}^3/\text{s.m}^2$

Resultaten van de thermische simulatie

Hypothesetoets PCM

Hypothese	Resultaat zonder PCM (*)	Resultaat met PCM en OCsmartcontrol (*)	Hypothese aangenomen?
Verbetering comfort prestatie	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Max. temperatuur **: 26.9°C ▪ Dagen te warm: 16 ▪ Dagen te heet: 0 ▪ GTO-uren: 28 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Max. temperatuur **: 26.9°C ▪ Dagen te warm: 10 ▪ Dagen te heet: 0 ▪ GTO-uren: 23 	Ja
Vermindering opgesteld vermogen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermogen verwarmen: 2.74kW ▪ Vermogen koelen: n.v.t. ▪ Draaiuren: 6319 ▪ Start/stops: 167 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vermogen verwarmen: 1.19kW ▪ Vermogen koelen: n.v.t. ▪ Draaiuren: 7185 ▪ Start/stops: 17 	Ja, alleen resulteert in meer draaiuren op lager vermogen.
Effect dynamisch vs. ISSO-51 (statisch)	Verwarmen -39%, -1.7kW	Verwarmen -73%, -3.3kW	Ja
Verlaging jaarlijkse energiekosten	€ 86,-	€ 43,-	Ja

(*) Specifieke resultaten op basis van woning 03, tussenwoning

(**) Uitgedrukt in de operationele temperatuur; een combinatie van lucht en stralingstemperatuur

Samenvatting van de bevindingen

De resultaten op basis van het optimale ontwerp zonder PCM laten zien:

- + PCM verbetert de comfort prestaties.
- + PCM kan resulteren in een kleiner vereist verwarmvermogen.
- + PCM resulteert in minder start/stops voor de warmtepomp.
- + PCM kan resulteren in een aanzienlijke besparing op de jaarlijkse energiekosten.
- PCM kan resulteren in een toename van de aantal draaiuren; echter in combinatie met een energiebesparing en aanzienlijk minder start/stops.

BENG

De BENG indicatie prestatie voor de woning is bepaald. Zonder de toepassing van thermische opslag ontstaat het risico op een energiegebruik hoger dan bewoners verwachten. Hierbij dient te worden vermeld dat het een BENG-indicatie betreft; de berekening kijkt af van de officiële BENG-methodiek, onder andere doordat er elke 2 minuten wordt gerekend in plaats van op basis van maand-gemiddelden.

Meerwaarde PCM

Uit de simulaties blijkt dat PCM zowel de warmtevraag aanzienlijk vermindert als de koellast minimaliseert.

Er is een parametrische studie uitgevoerd om tot een optimaal ontwerp te komen. Prestatie-indicatoren zoals comfort, energieverbruik, en warmtepompcapaciteit zijn geanalyseerd. De studie heeft aangetoond dat een ontwerp met PCM zowel lagere stichtingskosten als betere prestaties op het gebied van energiegebruik en netaansluiting oplevert.

Vermogens

Het verwarmvermogen is aanzienlijk kleiner en constanter bij het ontwerp met PCM vergeleken met het ontwerp zonder PCM. Ook zijn er weken waarin verwarming nodig is zonder PCM, terwijl dit met PCM niet het geval is.

Tevens is er een groot verschil op koelvermogen tussen het ontwerp met en zonder PCM. Zonder PCM is er een duidelijke koellast voor de ruimte zichtbaar, terwijl er met PCM geen koellast optreedt.

Ten opzichte van het basis ontwerp zonder PCM, reduceert een woning met PCM het elektrisch vermogen met **-33%**.

Bevindingen voor gebruiker en ontwerper

Regeling

Een van de belangrijke bevindingen in de gebouwanalyse is de regeling van de temperatuur op retourtemperatuur van de vloer. Het onderzoek heeft uiteindelijk geleid tot het toepassen van een vloerthermostaat. Het idee hierachter is dat door de PCM binnen de “comfortabele zone” te houden, de PCM beter functioneert en de vloer effectief bijdraagt aan het op temperatuur houden van de kamer.

Hoewel de kamertemperatuur over de dag zal fluctueren doordat niet direct op kamertemperatuur wordt gestuurd, blijven deze fluctuaties, mits de setpoints zorgvuldig worden gekozen, binnen de thermische comfortrange.

Energiekosten vs. bouwkosten

Aangezien er in de eerdere hypothese is bevestigd dat er een energiebesparing plaatsvindt bij het toepassen van een EnergyFloor, is dit ook uit te drukken in rendement voor de bewoner. Door het toegepaste systeem wordt energie bespaard, en daalt de energierekening voor de bewoner. Zonder het PCM wordt de rekening € 318,-/jaar voor woning 03 en zelfs € 1.291,-/jaar voor woning 19. Met de toepassing van het PCM krijgt de bewoner € 414,-/jaar terug bij woning 03, en € 51,- bij woning 19. Daarmee is het mogelijk een Nul-op-de-Meter woning te realiseren waarbij er circa 3 tot 7 zonnepanelen minder nodig zijn dan bij een gebruikelijke grondgebonden rijwoning.

In bouwkosten zien we hetzelfde effect terug. Bij toepassing van een parametrisch ontwerp, waarbij we de woning zouden ontwerpen volgens de BENG en minimale bouwkosten, zien we dat een woning met PCM EnergyFloor een besparing op de bouwkosten kan opleveren van circa **-20%**.

Gevoeligheidsanalyse

De impact van de te openen ramen op het optimale ontwerp dat gebruik maakt van een PCM EnergyFloor is getest. Hierbij is een situatie berekend in het optimale ontwerp zonder te openen ramen en met, te openen volgens de regels voor de te openen ramen volgens de GTO-methodiek. Hierbij worden de ramen maximaal 4 uur per dag geopend.

Het optimale ontwerp voor de “Altijd gesloten” en de “GTO-methodiek” is nagenoeg gelijk.

Een meer realistisch gebruik van de te openen ramen met duidelijke kaders voor binnen- en buitentemperatuur, in overeenstemming met het uitschakelen van de koeling gelijktijdig levert een besparing op **-25%** op de energiekosten van de woning.

De impact van screens (buitenzijde) op het optimale ontwerp dat gebruik maakt van een PCM EnergyFloor is getest. Uit deze analyse komen de volgende resultaten:

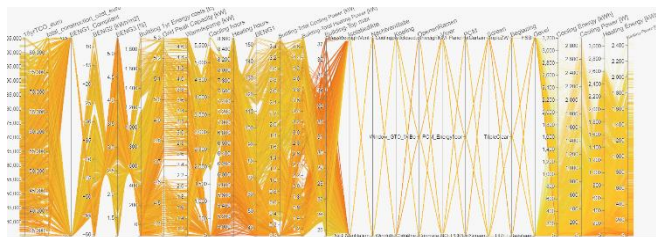
1. Er zit een verschil in het optimale ontwerp:
 - Lichtgewicht verdiepingsvloer met screens, en een betonnen verdiepingsvloer zonder screens.
 - Triple Clear (helder) beglazing met screens, en Triple Zonwerend glas zonder screens.
 - Geen koeling vereist met screens, wel koeling in het optimale ontwerp zonder screen.
2. Het toepassen van screens resulteert in een besparing op energiekosten en reductie van het aantal start/stops, echter zorgt het voor een toename van de initiële bouwkosten.

Evaluatie

Inzicht

Als gevolg van de studie hebben de bouwpartners en Orange Climate meer inzicht verkregen in de mogelijkheden van de toepassing van een PCM EnergyFloor. Daarbij is het niet alleen van belang om het materiaal in de vloer te installeren, maar is het des te meer van belang wat je er mee doet.

De parametrische studie toont tevens aan dat bouwen op een andere manier met gebruik van een PCM-materialen mogelijk is en resultaat oplevert. Hierdoor kunnen andere keuzes gemaakt worden in relatie tot het toepassen van duurzamere materialen met minder impact op het milieu en levert dit een directe bijdrage aan een verminderde CO₂-uitstoot van de woning.



Figuur 3; Parallel Coordinates Graph met 3456 varianten voor een woning

Whole Life Carbon (WLC)

Strengere eisen op het gebied van materiaalgebruik en energie spelen een steeds belangrijkere rol, waardoor het afwegingskader voor het optimale ontwerp van woningen verandert. Met deze studie kan de Total Cost of Ownership (TCO) over een periode van 15 jaar inzichtelijk gemaakt worden en de woning dus worden gemodelleerd op basis van de specifieke wensen van de klant of gebruiker.

Het is niet vanzelfsprekend dat een betonnen gebouw slechter presteert op het gebied van Whole Life Carbon. Uit deze studie blijkt dat de toepassing van Phase Change Materials (PCM) kan bijdragen aan een lagere TCO over 15 jaar. Daarnaast biedt het gebruik van duurzame, lichtere bouwmaterialen mogelijkheden om de totale bouwkosten te verlagen.

In de praktijk

Om de resultaten van het onderzoek ook in de praktijk zichtbaar te maken, zullen we woningen ook tijdens de realisatie en gebruik gemonitord gaan worden. Met behulp van de inzichten uit deze studie zal de warmtepomp en thermostaat worden afgesteld op de juiste waarden. Het werkelijke energiegebruik zal naar verwachting over 2 jaar na publicatiedatum beschikbaar zijn.

Orange Climate zal zich in de tussentijd blijven inzetten om samen met bouwpartners op zoek te gaan naar beter betaalbare woningen en gebouwen met een lager energiegebruik, goed voor de gebruiker en ons klimaat.