

## Auteurs

Dr.ir. P.J.W. (Peter) van den Engel<sup>1</sup>, ir. S. (Stefan) Hoekstra<sup>1</sup>, dr.ir. R.J.W. (Regina) Bokel<sup>1</sup>, ing. J. (Jan) Knijnenburg<sup>2</sup>, ing. B. (Bert) van Dorp<sup>3</sup>, ir. ing. J.P. (Jorrit) de Vries<sup>4</sup>.

- 1) TU-Delft
- 2) Priva BV
- 3) Orange Climate BV
- 4) CRUX Engineering BV

## Acapulco: zoeken naar voorkomen van netcongestie

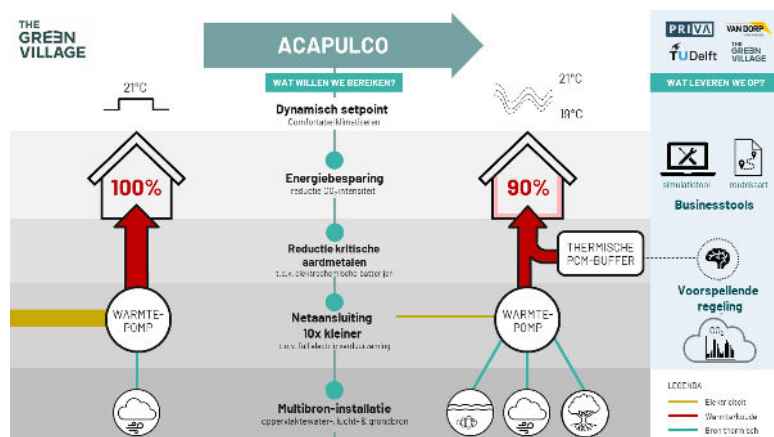
*Doel van het Acapulco-onderzoeksproject is het realiseren van een reductie van 90 % van de piekbelasting door het gebouw op het elektriciteitsnet, vooral door middel van buffering van thermische energie en verder beperken van de energievraag.*

*In dit artikel wordt de opzet en enkele tussenresultaten van dit project besproken. Onderzocht wordt het Co-Creation Centre op The Green Village, waaraan nu nieuwe elementen bij dit onderzoeksproject zijn toegevoegd. Dit zijn energiepalen, PCM-buffers en een energiedamwand in het oppervlaktewater. Tevens wordt in dit onderzoek aandacht gegeven aan energiezuinig adaptief comfort in combinatie met een intelligente licht- en zonweringsregeling. Er is bewust naar thermische buffers gekeken omdat elektrische batterijen een hogere milieubelasting hebben dan thermische buffers. De invloed van thermische buffers op de grond en het oppervlaktewater wordt weliswaar onderzocht, maar hier nog niet verder besproken.*

In een eerder artikel in het TVVL-magazine [1] is al een beschrijving gegeven van voorafgaand onderzoek genaamd Converge. Zowel het Converge- als Acapulco-project zijn TKI-projecten gefinancierd door RVO. Het samenwerkend consortium voor de ontwikkeling van dit project bestaat uit Priva, Van Dorp en de TU-Delft.

### Componenten die het energiegebruik bepalen

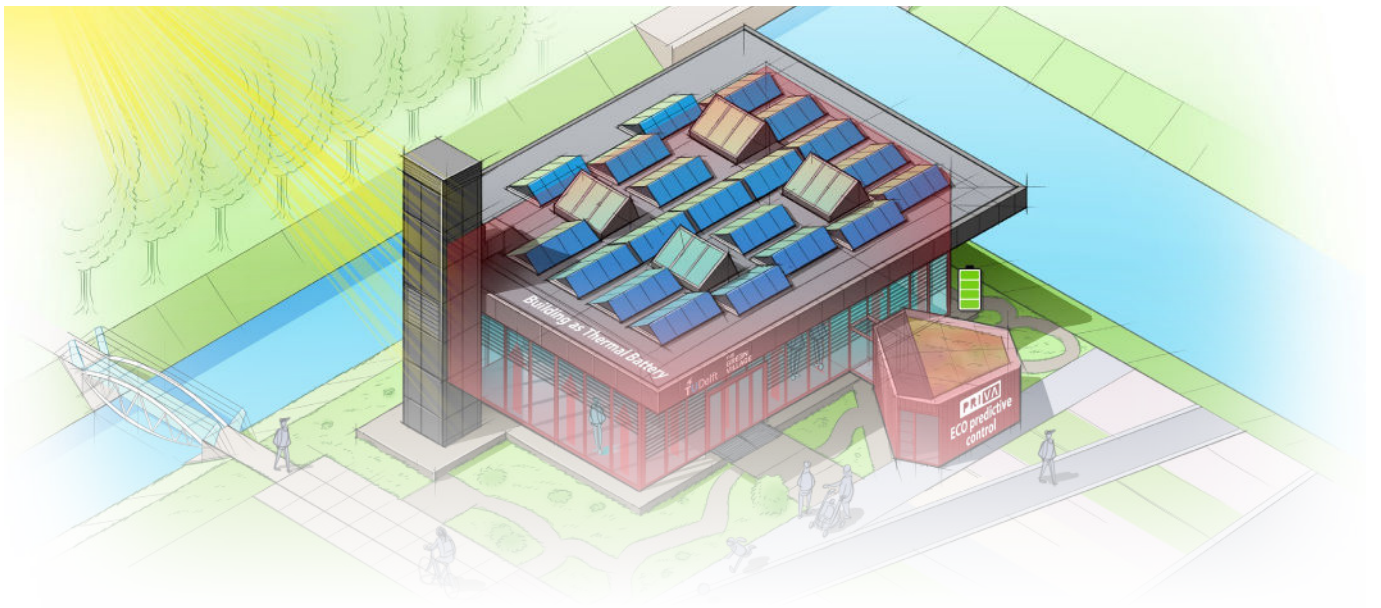
Er zijn verschillende manieren om de piekbelasting te verminderen. Ten eerste kan de energievraag verminderd worden door de juiste bouwparameters en zuinige installaties te kiezen, ten tweede kan er energie opwekt worden, ten derde kan er een slimmere regeling toegepast worden en ten vierde kan de energie thermisch opgeslagen worden.



Figuur 1: Schema van het Acapulco project met de doelstellingen en toegepaste oplossingen.



Foto 1: Co-Creation Centre in de zomer.



### Vermindering energievraag

Bij verduurzaming is een eerste logische stap om alle mogelijkheden te benutten om de energievraag te verminderen door passieve, organisatorische en actieve middelen. Een belangrijke doelstelling is het passief/actief reguleren van warmte en koude om mechanische opwekking van thermische energie te beperken. Het gebouwgebonden elektrisch energiegebruik is momenteel circa 40 kWh per m<sup>2</sup>. Dit ligt al onder de ontwerpdoelstelling van 50 kWh per m<sup>2</sup>, maar het doel is om dit verder te verlagen.

Energie bepalende parameters zijn:

- 1. Goede isolatie.** Omdat het Co-Creation Centre grotendeels van glas is, is de isolatie ondanks de aanwezigheid van driedubbel glas evenwel beperkt. Het glas-vloeroppervlak percentage is heel hoog met circa 120%. De meeste energie vraagt daardoor de verwarming: 13.000 – 16.000 kWh thermische energie volgens DesignBuilder. Dit is zonder PCM-buffer en hangt af van het gebruik van buitenzonwering [2]. De COP en energievraag van de warmtepomp bepaalt hoe groot elektrische energiepost wordt. Momenteel is het gemeten elektrisch energiegebruik voor verwarming circa 12.000 kWh. De gemeten COP van de lucht-lucht warmtepomp met condensor is meestal 2, maar wordt door het voorkomen van bevrozing van condensor en warmtewisselaar effectief lager. Des te meer reden om naar andere warmtebronnen of buffers over te gaan.
- 2. Goede buitenzonwering.** Hierdoor is de koelbehoefte veel lager dan de warmtebehoefte (factor 30), ondanks de aanwezigheid van veel glas. Direct rond het gebouw is ook een groenvoorziening (figuur 2). Het gebouw heeft daarbuiten een verhard oppervlak waar veel testten met regenwater worden gedaan.

**Figuur 2:** Het gebouw zelf is de meest economische buffer door zonnewarmte op te slaan; vanuit comfortmodellen wordt bepaald binnen welke bandbreedte gedurende het seizoen de ruimtetemperatuur mag blijven. Illustratie: Stephan Timmers.

### 3. Aanpassen ventilatie aan behoefte.

### 4. Lage druk ventilatie zo veel als mogelijk, liefst onder de 200 Pascal.

### 5. Natuurlijke ventilatie: via dakramen en deuren.

**6. Passieve zonne-energie met intelligente zonwering,** reagerend op tegengaan van verblinding, het beperken van kunstlichtgebruik en beperken van koeling. De maximale besparing aan verwarming is volgens DesignBuilder 3.000 kWh = circa 20%. De mate van eventuele verblinding en het gebruik bepalen de besparing.

**7. Een adaptief comfortmodel dat ook passieve warmte in het stookseizoen benut.** In de winter en voor- en naseizoen mogen de temperaturen oplopen tot een voor het comfort acceptabele waarde. Dit is een aanpassing van het ISSO 74-model, zoals ook in VABI wordt gebruikt.

### 8. Buffers: a. PCM, b. energiepalen en c. oppervlaktewater met de energiedamwand.

### 9. Warmteterugwinning.

### 10. Warmtepomp.

### 11. PV-panelen.

### Componenten die het energiegebruik bepalen

Het gaat hierbij om een AI-gestuurd gebouwbeheersysteem (PrivaEco en andere modellen). PrivaEco maakt gebruik van een simulatie van het gebouw op basis van het weer, gebruik en bouw fysische eigenschappen. Het is zelflerende software. De meeste van de hieronder genoemde actieve elementen worden al door deze 'dual twin' aangestuurd. Om een volledig AI-gestuurd software te ontwikkelen met zo veel verschillende elementen is evenwel meer tijd nodig. Verdere optimalisatie van het gebruik van PV en lage nettarieven is bijvoorbeeld een vrij nieuwe ontwikkeling, die bij het gebruik van batterijen in gang is gezet. Inzicht van de gebouwbeheerder blijft bovendien nodig om het systeem te verbeteren, vooral bij onverwachte systeemstoringen. Het gebouw kan ook in een Matlab-model worden gesimuleerd en aangestuurd [3]. Hieruit is al gebleken dat meer dan 50% van het energiegebruik op actief/passieve wijze kan worden bespaard. Het gaat om het gebruik van de PCM-luchtbuffer, passieve zonne-energie en vrije koeling met te openen ramen of luchtbehandeling. Op dit moment ontwikkelt zonweringsexpert Wouter Beck samen met lichtexpert Eleonora Brembilla een rekenmodel voor intelligente zonwering dat met PrivaEco software communiceert, aangestuurd door xml-files. Daarnaast ontwikkelt Regina Bokel een nieuw adaptief comfortmodel dat PrivaEco aanstuurt. Behalve deze dual-twin modellen wordt parallel DesignBuilder gebruikt om de gemeten en berekende waarden te toetsen.

### Elektrisch duurzame opwekking

Tegen de klimaattoren en op het dak zijn PV-panelen aangebracht.

### Buffers

De volgende buffers zijn aanwezig:

- PCM-luchtbuffer
- PCM-waterbuffers
- Energiepalen: funderingspalen onder het gebouw waarin watervoerende buizen zijn opgenomen.

De volgende elementen spelen ook een rol maar zijn strikt genomen niet altijd buffers:

- Oppervlaktewater met de energiedamwand
- Buitenlucht
- Binnenlucht

De warmtepomp kan via het Priva-GBS kiezen welke buffer op welk moment het meest gunstig is voor verwarmen of koelen.

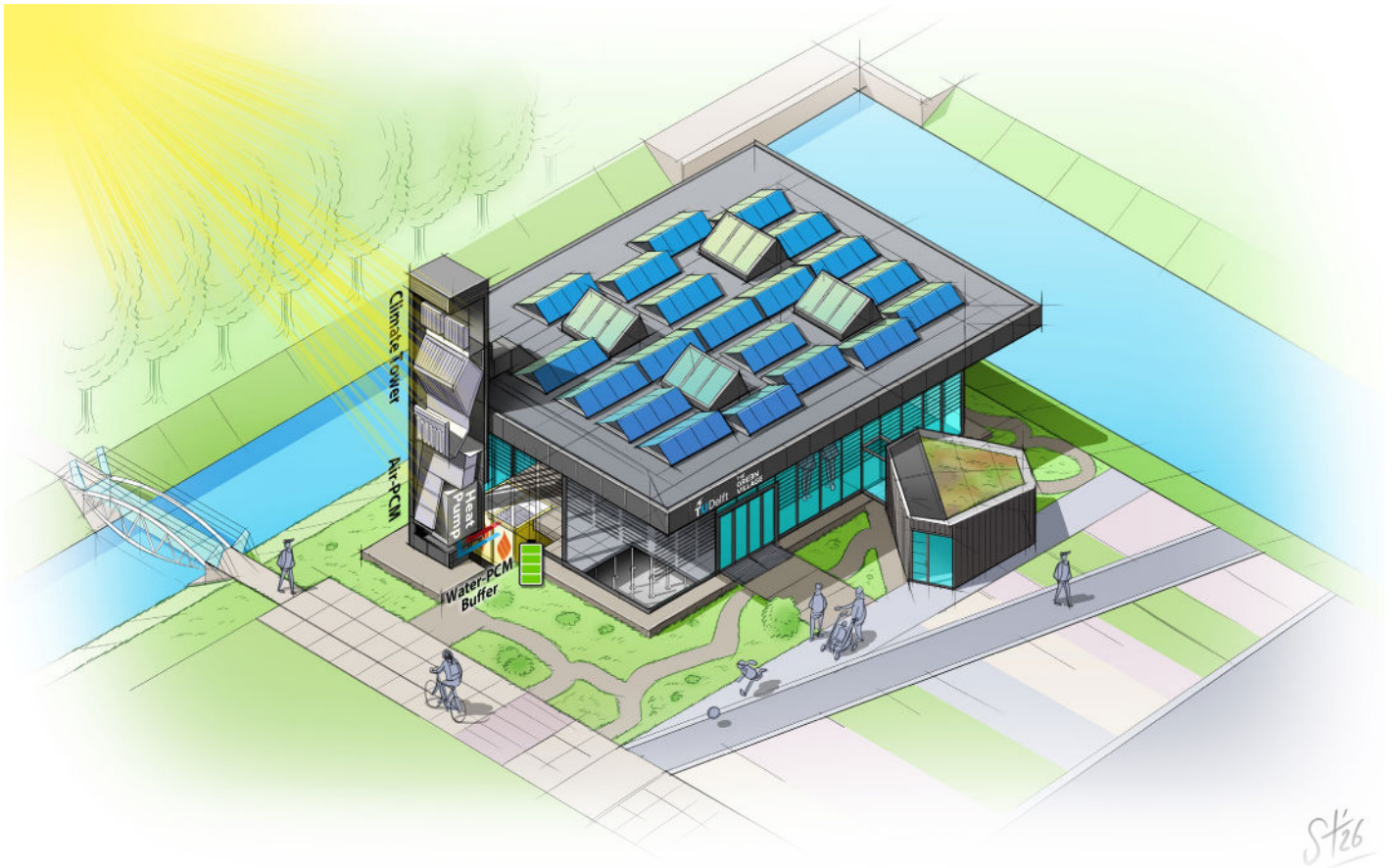
### PCM-luchtbuffer

De PCM-luchtbuffer heeft een thermische opslagcapaciteit van circa 120 kWh, voor PCM-temperaturen tussen de 17 en 23 °C. Eenzelfde buffer is inmiddels toegepast in het naastgelegen Office Lab met een capaciteit van circa 60 kWh. Met de buffer in het Co-Creation Centre wordt meer dan 30% energie bespaard. De buffer in het Office lab is de helft zo groot, maar ruim tweemaal zo effectief. Dit komt omdat de bouw fysische randvoorwaarden aldaar veel beter zijn: een veel lager glas-vloeroppervlakpercentage van 35% in plaats van 120%. De fluctuaties tussen dag- en nachttemperaturen kunnen in dat gebouw daardoor veel beter worden opgevangen. Zowel koelen als verwarmen kan in het Office Lab voor een groot deel van het jaar met de PCM-buffer gebeuren. Op deze wijze wordt beter voorkomen dat gelijktijdig wordt verwarmd en gekoeld.

### PCM-waterbuffer

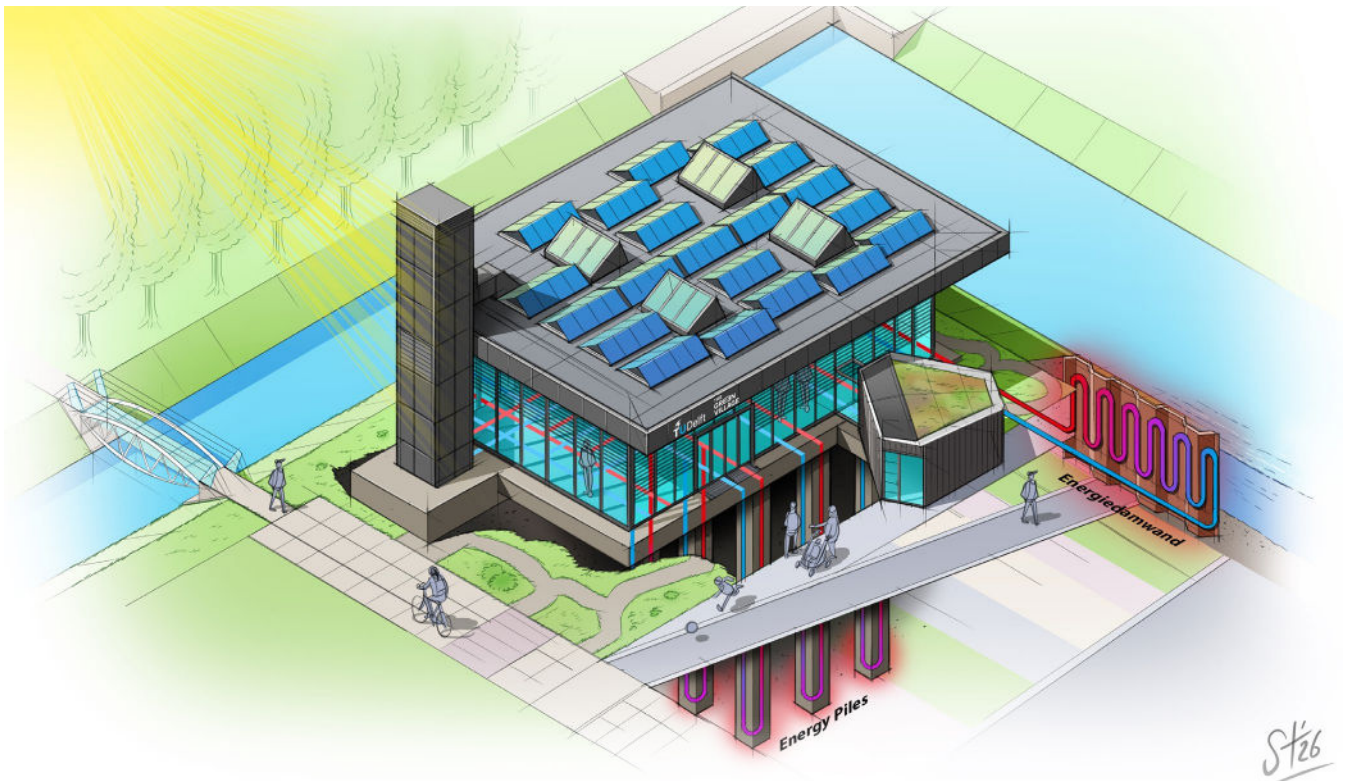
Om piekvragen in de warmtebehoefte op te vangen zijn twee PCM-waterbuffers van 10 kWh in de kruipruimte onder het gebouw toegepast. Deze zijn via een warmtewisselaar verbonden met het circulatiesysteem voor warm water, waarmee de opslagcapaciteit wordt vergroot. De temperatuur waarmee de buffers worden geladen is maximaal circa 50 °C. Het PCM heeft een fasetraject (stollen/smelten) tussen de 48 en 43 °C. In het stookseizoen kunnen deze buffers tweemaal per dag worden geladen. Overdag is er vaak voldoende PV-energie beschikbaar en in de nacht is het tarief om te laden lager. Inmiddels is door metingen gebleken dat de buffers via de warmtepomp bij een langzaam oplopende watertemperatuur in anderhalf uur vrijwel volledig kunnen worden geladen. CFD-simulaties in Phoenix laten zien dat dit met continu 50 °C ook in een half uur kan. Het systeem is daarmee erg flexibel.

Hoewel voorkomen van netcongestie het hoofddoel van deze buffers is, is het ook goed om te weten of de buffers zich binnen redelijke tijd kunnen terugverdienen [4]. Dit hangt af van de prijs per kWh van de buffer en van het net. Het onderzoek is op het congres Mat Science 2025 gepresenteerd. De modulaire buffers zijn inmiddels binnen en buiten het laboratorium van Orange Climate uitvoerig getest en er is aangetoond dat zij voldoende robuust zijn. In figuur 5 is weergegeven hoe de twee buffers aan het warmwatercirculatiesysteem zijn gekoppeld.



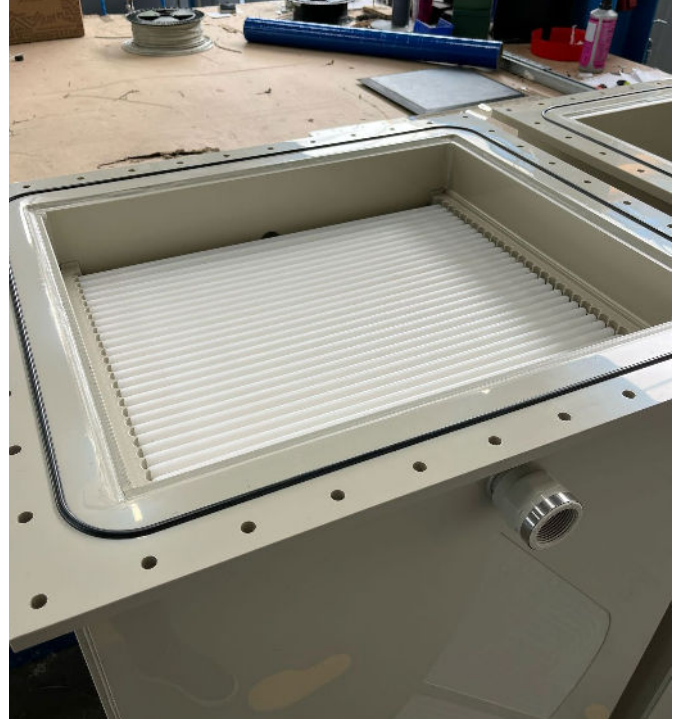
St26

Figuur 3: PV-panelen bevinden zich op de klimaattoren en het dak. Tevens zijn de PCM-buffers aangegeven. Illustratie: Stephan Timmers.



St26

Figuur 4: Weergave energiepalen en de energiedamwand. Illustratie: Stephan Timmers.



Foto's 2-4: Weergave modulaire PCM-buffers. De buffers bij Orange Climate (a, b). Plaatsing van de buffers onder de vloer (c).

### Energiepalen (energy piles)

De grond onder het Co-Creation Centre kan via buizen in de funderingspalen worden opgewarmd door warmwater dat in de zomer door de warmtepomp tijdens het koelen of door vrije koeling wordt geproduceerd. Gebruikmaken van PV-panelen als er een energieoverschot is, is wellicht economisch. Als de bodem onvoldoende met de combinatie PV en warmtepomp is geladen, kan in het najaar de warmte van het oppervlaktewater via de Energiedamwand ook worden benut. Opname van warmte in het stookseizoen kan kortdurend, in enkele dagen of een week of gedurende een langere tijd. In hoeverre dit mogelijk is vraagt om nader onderzoek. Wanneer de bodem het beste kan verwarmen of koelen, maakt daarvan ook deel uit.

### Energiedamwand

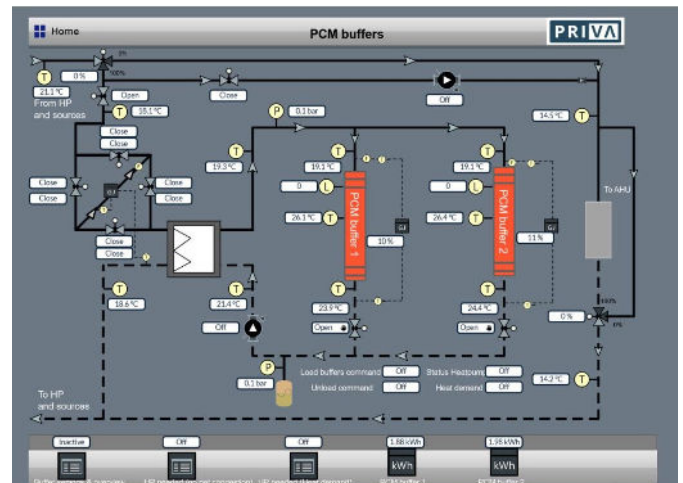
Naast het gebouw is oppervlaktewater aanwezig waarin een warmtewisselaar van 10 kW is opgenomen. De energiedamwand is een damwand die als warmtewisselaar functioneert, doordat er stalen leidingen aan de damwand zijn gelast. Door de relatief hoge watertemperatuur in de winter en de continue verversing van het water langs de damwand, is het oppervlaktewater een hele efficiënte bron. In combinatie met de lange toe- en afvoerleiding door het water en het gebouw is het vermogen van het systeem nog groter. In figuur 7 is weergegeven hoe de damwand en de 'energy piles' zijn gekoppeld aan het circulatiesysteem van het gebouw:

### Vervolg

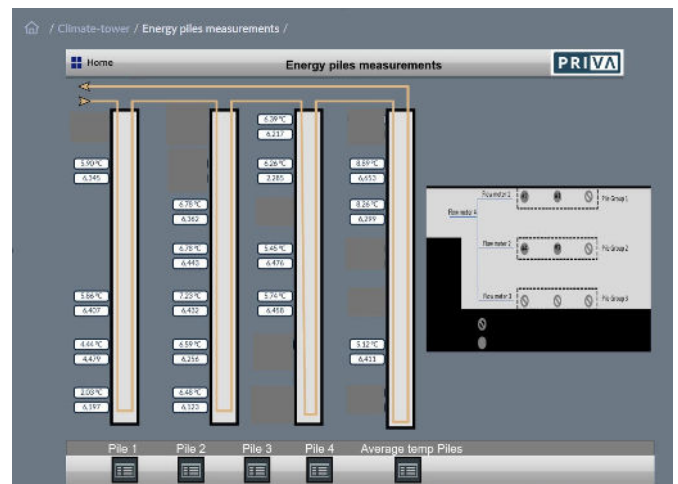
Dit artikel geeft een overzicht van technieken die kunnen worden gebruikt om tot een lagere piekbelasting van het net en een lager energiegebruik te komen. Sommige technieken en regelingen zijn ook in bestaande gebouwen relatief eenvoudig inpasbaar. In dit stadium van het onderzoek is het helaas nog niet mogelijk om de strategieën kwantitatief verder te onderbouwen ten opzichte van een conventionele installatie. Nadat de metingen en analyses aan het eind van dit jaar zijn afgerond wordt in een vervolgartikel meer over de resultaten gemeld.

### Referenties

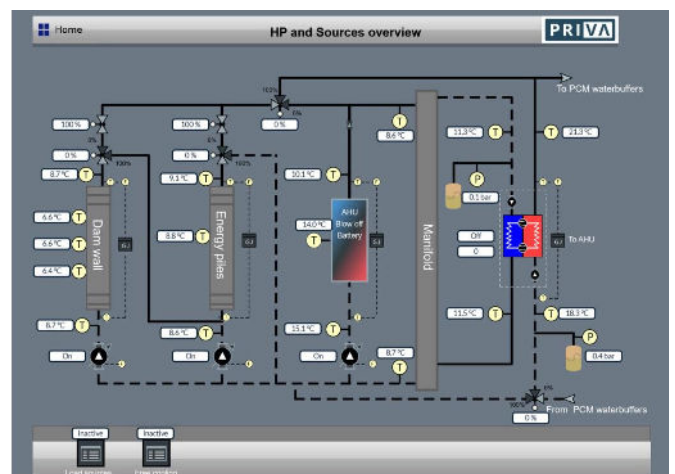
1. Dr.ir. P.J.W. (Peter) van den Engel, ir. W. (Wouter) Beck. Converge: op zoek naar de grenzen van transparantie. TVVL-magazine 5, 2022.
2. Peter van den Engel, Regina Bokel, Eleonora Brembilla, Luigi de Araujo Passos, Peter Luscuere. CONVERGE: low energy with active passiveness in a transparent highly occupied building. CLIMA2022. REHVA 14th HVAC World Congress.
3. Araujo Passos LA de, Engel P van den, Baldi S, De Schutter B. Dynamic optimization for minimal HVAC demand with latent heat storage, heat recovery, natural ventilation, and solar shadings. Energy Conversion and Management 276, 2023.
4. Peter van den Engel, Bert van Dorp, Koen Hamers. Opportunities of Air- and Water-to-PCM batteries in buildings. Journal of Material Science & Manufacturing Research, ISSN: 2754-4915 Volume 6(3). 2025.



Figuur 5: Weergave GBS met de PCM-buffers.



Figuur 6: GBS-afbeelding van de energiepalen met bodemtemperaturen.



Figuur 7: GBS-afbeelding met energiedamwand en energy piles