

Thermische opslagtechnieken in gebouwen

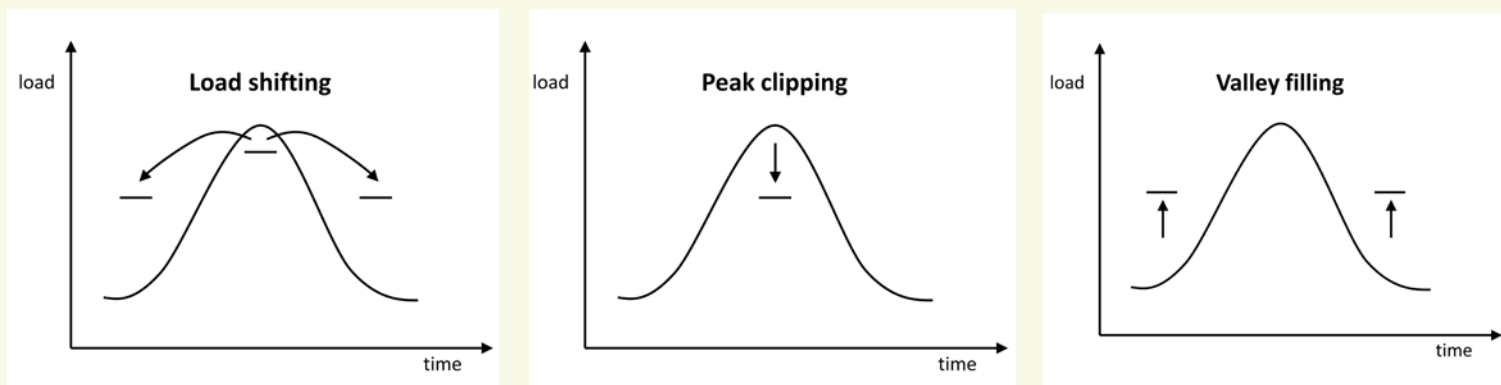
Uit de toenemende integratie van duurzame energie volgt een sterkere fluctuatie van het aanbod van energie. Uiteindelijk kan het conventionele elektriciteitsnet deze fluctuaties niet meer bijhouden, omdat de gelijktijdigheid van aanbod en behoefte te groot wordt. Het opslaan van energie kan ervoor zorgen deze onbalans wordt gecompenseerd. De behoefte aan 'demand side control' ondersteunt de integratie van energieopslag in de energievoorziening. Load shifting, peak shaving en valley filling (figuur 1) zijn hierbij de meest gebruikelijke technieken [1].

C.J. (Christian) Finck, ir. G. (Gert) Boxem; Technische Universiteit Eindhoven, Building Physics and Services onder de leiding van prof.ir. W. (Wim) Zeiler

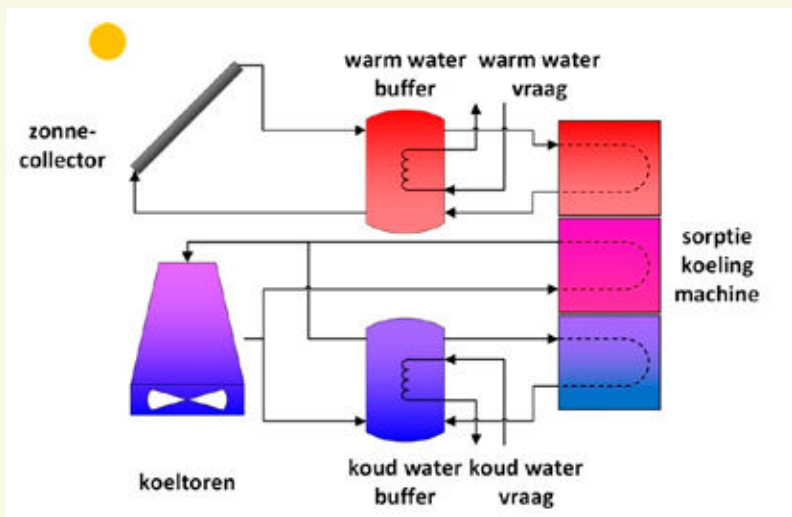
Met een warmtepomp is het mogelijk elektrische energie om te zetten in thermische energie en deze met hulp van thermische buffers op te slaan. Voor gebouwen zijn de meest belovende technieken voelbare, latente of thermochemische opslag [3]. Deze technieken zijn zowel voor het opslaan van warmte (ca. 40 – 60 °C voor ruimteverwarming en sanitaire warmwater) als koude (ca. 0 – 20 °C voor ruimtekoeling) toepasbaar. Het basisprincipe van een voelbare thermische

opslag wordt gekarakteriseerd door een verandering van de temperatuur van het materiaal. De maximale energiedichtheid van de opslag hangt af van de warmtecapaciteit van het materiaal. Uitgaande van een waterbuffer met een temperatuurverschil van 60 K, resulteert dit in een maximale energiedichtheid van de opslag van 251 kJ/kg (ca. 0.25 GJ/m³). Waterbuffers worden vooral gebruikt voor het (voor)verwarmen van het sanitaire warmwater. Vaker zijn watertanks ook te combineren

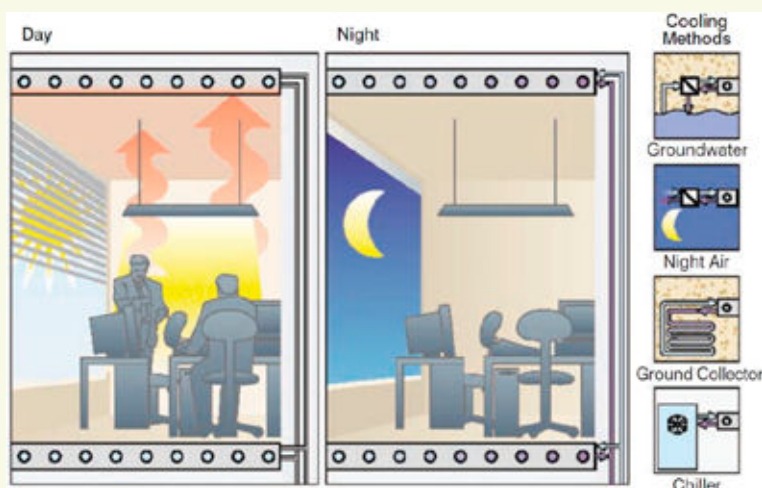
met zonnecollectoren, gasketels, elektrische verwarming [4] of sorptiekoelmachines. In het geval van sorptiekoeling zorgt de warmwaterbuffer voor de hogetemperatuurinput voor het desorptie proces van de koelingmachine [5] en in een aanvullende koudwaterbuffer wordt de koude die vrijkomt bij de verdampert aan de lagetemperatuurzijde van de koelmachine opgeslagen [6] (figuur 2). Ook multitanksystemen om tegelijk laden en ontladen mogelijk te maken voor een zonne-energiesorptiekoelma-



-Figuur 1- Basis load shaping technieken (demand side control) [1] [2]



-Figuur 2- Systeemintegratie van warm- en koudwaterbuffer



-Figuur 3- Ruimtekoeling met TABS [9]

chine [7] zijn onderzocht. Deze studie, gebaseerd op een aantal simulaties, toont aan dat er maar een marginale besparing van primaire energie en hulpwarmte mogelijk is en slechts een marginale verhoging van de efficiëntie van een zonnecollector kan worden bereikt. Verder wordt in deze studie aanbevolen de koeltoren voor de afvoer van warmte ook in te zetten om door vrije koeling de koudwaterbuffer te laden [6] (figuur 2).

■ THERMISCHE MASSA

Naast het opslaan van warmte in vloeistoffen, kunnen ook de 'vaste' materialen, zoals beton, als thermische massa worden toegepast. Uitgaand van een temperatuurverschil van 10 K voor beton (normal-weight concrete [8]) kan een energiedichtheid van ongeveer 8 kJ/kg (ca. 0,02 GJ/m³) worden bereikt. Om de totale energieopslagcapaciteit van een gebouw te benutten, is het nodig om de thermische massa te kunnen activeren. Hiervoor worden TABS (thermally activated building systems) ingezet, ook wel betonkernactivering genoemd. Bij deze systemen gaat het om de

integratie van watervoerende leidingen in te bedden in de kern of onder het oppervlak van het beton [9] [10]. TAB-systemen worden vaak in combinatie met warmtepompen, koeltoren en zonnecollectoren toegepast. De reden is dat de thermische efficiëntie hoger is dan voor een combinatie met bijvoorbeeld een elektrische boiler [11]. Figuur 3 toont een toepassing van TABS voor koeling op een typische zomerdag. In de nacht kan met een koude bron, zoals met het grondwater uit aquifers, een lage buitenluchttemperatuur of een koelmachine (laag tarief) de thermische massa van het gebouw worden afgekoeld. De volgende dag kan de thermische massa de warmte van de ruimte opnemen en de ruimte op temperatuur houden.

■ PCM

Bij latente thermische opslag wordt gebruik gemaakt van een faseovergang. Typisch voor 'phase change' materialen (PCMs) is een vast-vloeibaar faseovergang, waarbij tijdens het ontladen van de opslag de smeltwarmte als nuttige warmte of als koeling wordt gebruikt.

Voor de toepassing in gebouwen worden op momenteel twee groepen van PCMs in aanmerking genomen, organisch en anorganische materialen [12]. Organische materialen, zoals paraffine, zijn thermisch en chemisch stabiel en niet-corrosief, maar hebben een geringe enthalpieverandering bij de faseovergang van ca. 200 kJ/kg (ca. 0,13 GJ/m³) (commerciële paraffine). Anorganische materialen zoals zouthydraten hebben een hogere enthalpieverandering tot 380 kJ/kg (ca. 0,57 GJ/m³), maar hebben nadelen m.b.t. corrosie, fasescheiding en sub-cooling [12]. Sub-cooling treedt op als zouthydraten onder de stollingstemperatuur beginnen te verharderen [12]. PCMs worden vooral in passieve systemen ingezet, zoals PCM-panelen in de vloer of aan het plafond, geïmpregneerd in pleisterlagen of in gipsplaten (figuur 4, op de volgende pagina). Deze systemen kunnen het thermische comfort in gebouwen verhogen omdat ze als een aanvullende thermische buffer tussen de muur en de binnenruimte functioneren [13]. Ongeacht de bestaande PCM-technologieën, worden er ook systemen getest waarbij de PCMs zijn geïntegreerd in bakstenen, rolluiken, de zonwering of in een trombe muur [14] [15]. De conventionele trombe muren, die indirect zonnestraling opnemen, kunnen worden geheel vervangen door PCM-muren, waardoor minder massa voor de muur zou nodig zijn. De trombe muren kunnen ook draagbaar, verplaatsbaar of roterend zijn en dus mobiel [15]. De uitbreiding van de thermische massa door passieve PCM systemen kan het temperatuurverschil tussen wandoppervlak en comfortbinnentemperatuur reduceren maar de thermische inertie van de thermische massa neemt toe [13] [16], waardoor zich het binnenklimaat langzamer aan externe fluctuaties aanpast. Verdere studies [4] tonen aan dat het toevoegen van PCMs op bestaande gebouwen slechts een klein effect heeft op de gehele warmtecapaciteit van een gebouw omdat de meeste gebouwen van beton al over een hoge thermische massa beschikken.

■ COMBINATIES

Naar de combinatie van TABS met PCMs, bijvoorbeeld in actieve vloer- of plafondverwarming is tot nu toe maar weinig onderzoek gedaan [14] [4] [17]. Experimentele validatie van een TABS, bestaande uit een gekoelde plaat voor aan het plafond met een PCM-pleisterlaag van 1 tot 4 cm rond de watervoerende leidingen, heeft aangetoond dat de dagelijkse koelcapaciteit kan dalen, omdat de warmteoverdracht met een PCM laag kleiner wordt [18]. Een andere vorm van actieve PCM-opslag is een met PCM-materiaal gevulde tank. Een

warmtepomp kan gedurende laagtarief uren koude produceren en opslaan in de tank [19]. Resultaten van deze studie laten zien dat de PCM-tank, in vergelijking met een watertank met hetzelfde volume, 35.5 % meer koude kan opslaan maar een 4.5 keer langere oplaadtijd nodig heeft [19].

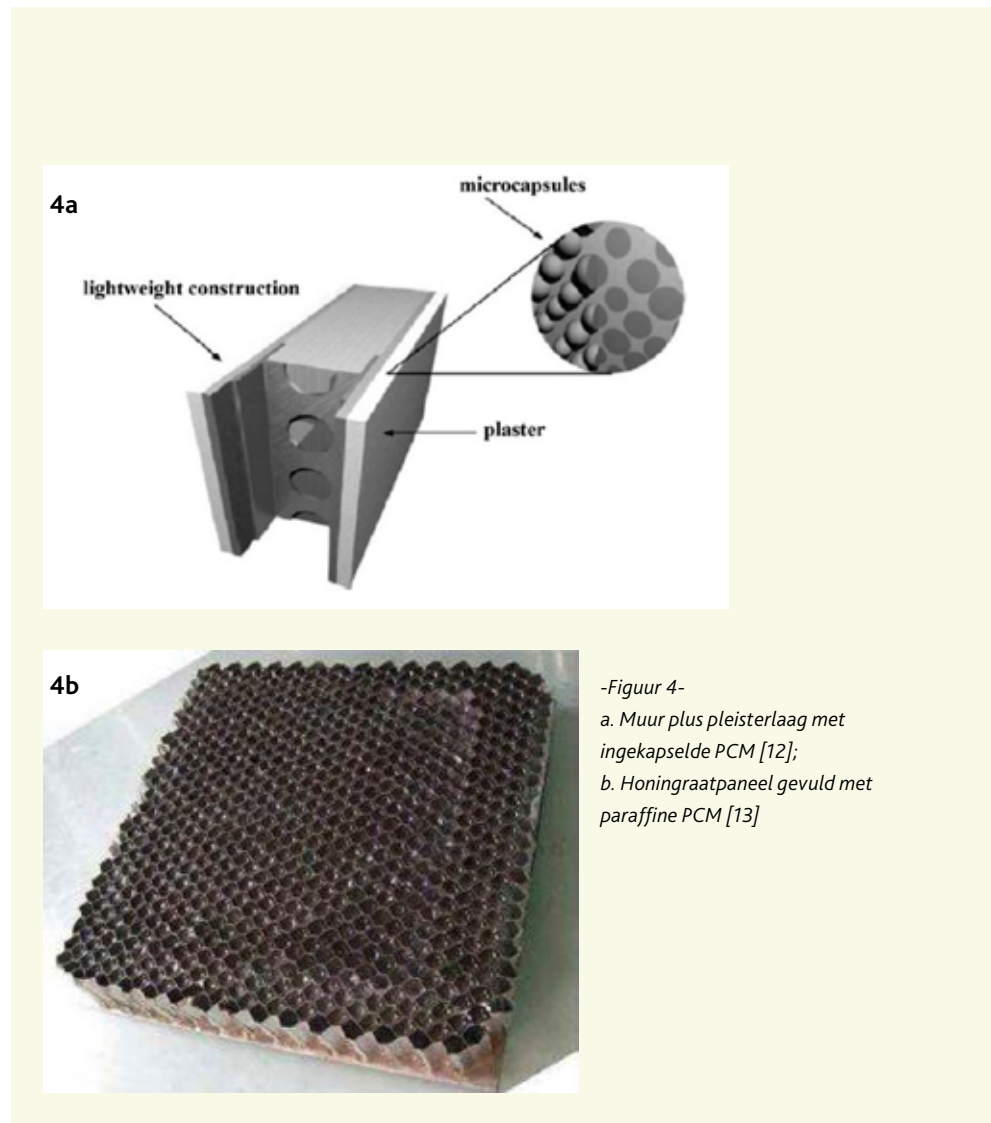
Verder werd het concept van een micro-CHP (combined heat & power) in combinatie met een PCM-tank onderzocht [20]. Hier werden verschillende strategieën voor het laden en ontladen toegepast, zoals constante ladingen en ontladingstemperatuur, constant vermogen en partiële ontlading. Deze werden vergeleken met een met water gevulde tank. De resultaten tonen een hogere energiec capaciteit van 22% tijdens het laden van de PCM-tank met PCM-capsules vergeleken met een PCM-tank met PCM-tubes en slechts een marginaal hogere energiec capaciteit van PCM-tubes vergeleken met de watertank.

IJS

Een bijzonder geval van latente thermische energieopslag, die tot nu toe in literatuur het meest is besproken, is een ijsopslag [19]. Ijsopslagsystemen worden ingedeeld in ice slurry, ice-on-coil en ice harvesting systemen [13] en geïntegreerd met een compressiekoeling [21]. In de meeste studies is de implementatie in de waterloop van conventionele airconditioningsystemen onderzocht, met als conclusie dat de afmetingen van de luchtbehandelingsunits kan worden gereduceerd [22]. Verder werd er voorgesteld om een ijsopslag ook voor super gekoelde lucht en voor ontvochtiging van lucht toe te passen. Dit kan een groot voordeel zijn in een zeer vochtig klimaat [21].

THERMOCHEMISCH

De thermochemische energieopslag is gebaseerd op een reversibele fysisch-chemische reactie. In de literatuur wordt het vaker ook gelijkgesteld met het sortieprincipe [23] [24]: $AB + \text{heat} \leftrightarrow A + B$. AB is het sortiepaar, bestaande uit een sorbens dat een vloeistof of gas heeft geabsorbeerd of geabsorbeerd. Absorptie is een fenomeen waarbij een vloeistof of gas van een vast materiaal of vloeistof wordt opgenomen. Voor de toepassing van thermochemische opslag is de absorptie van gas door een vloeistof de meest gebruikelijke vorm [23]. De meest voorkomende terminologie voor absorptie is: A = oplossing en B = koelmiddel [25]. Bij het adsorptieproces vindt een hechting van een gas of vloeistof aan de oppervlakte van een vast materiaal of poreuze media plaats. De terminologie in dit geval is: A = adsorbens en B = adsorbaat (geabsorbeerde toestand) [26]. Tijdens het



-Figuur 4-
a. Muur plus pleisterlaag met ingekapselde PCM [12];
b. Honingraatpaneel gevuld met paraffine PCM [13]

samenbrengen van A en B vindt er een reactie plaats waarbij warmte wordt vrijgegeven, ook vormingsenthalpie genoemd [27]. Tot nu toe werden vooral zeolieten en silicagels als thermochemische materialen (TCMs) gebruikt in combinatie met water als adsorbens beschouwd [28]. Dit vanwege hun hydrothermale en mechanische stabiliteit en voordelige corrosie-eigenschappen [29]. Deze materialen hebben een met water vergelijkbare energiedichtheid tot 2.218 kJ/kg (ca. 3.17 GJ/m³) kunnen bereiken [30].

Er bestaan twee verschillende typen thermochemische systemen (TCS), open en gesloten TCS [27] (figuur 5 [31]). Kenmerkend voor een gesloten systeem, is dat de TC-unit onder vacuüm werkt. Tijdens het laden van de TC-unit met een zonnecollector, wordt bij een hoge temperatuur (80 – 120 °C) het thermochemische materiaal gedroogd. In een aparte condensor wordt, bij lage temperatuur (10 – 30 °C), het afgescheiden koelmiddel (water) opgevangen. Tijdens het ontladen wordt de condensor als verdampers gebruikt. Bij het ontladen wordt een laagtemperatuurbron gebruikt voor het verdampen van het koelmiddel in de verdampers. Vaak dient de bodem

of buitenlucht als warmtebron. Het koelmiddel wordt verdampt en tegelijkertijd geabsorbeerd. De vrijkomende warmte wordt voor de ruimteverwarming of het sanitaire warmwater gebruikt (40 – 60 °C)[35][36]. In een open TC-systeem wordt, in plaats van een verdampers, het water voor het sortieproces direct met de buitenlucht uitgewisseld. Typische desorptietemperaturen zijn hoger (ca. 140 °C) dan die voor een gesloten systeem [33].

TOT SLOT

Afsluitend, alle opslagtechnieken en materialen zoals water, thermische massa van het gebouw, phase change materialen, ijs en thermochemische materialen kunnen een waardvol alternatief bieden om energie in gebouwen thermisch op te slaan en dus de integratie van duurzame energiebronnen te ondersteunen. De thermische massa van een gebouw (grotendeels van beton) is al beschikbaar. Activering met TAB-systemen is een veelbelovend mogelijkheid om een gebouw, binnen comfortgrenzen, voor te verwarmen of voor te koelen. Met behulp van warmtepompen of koeltorens kunnen lage nacht elektriciteitsstarieven energiekostenbesparingen opleveren. Het nadeel van TABS is hun lange reactietijd tegenover sterke fluctuaties van de omgeving

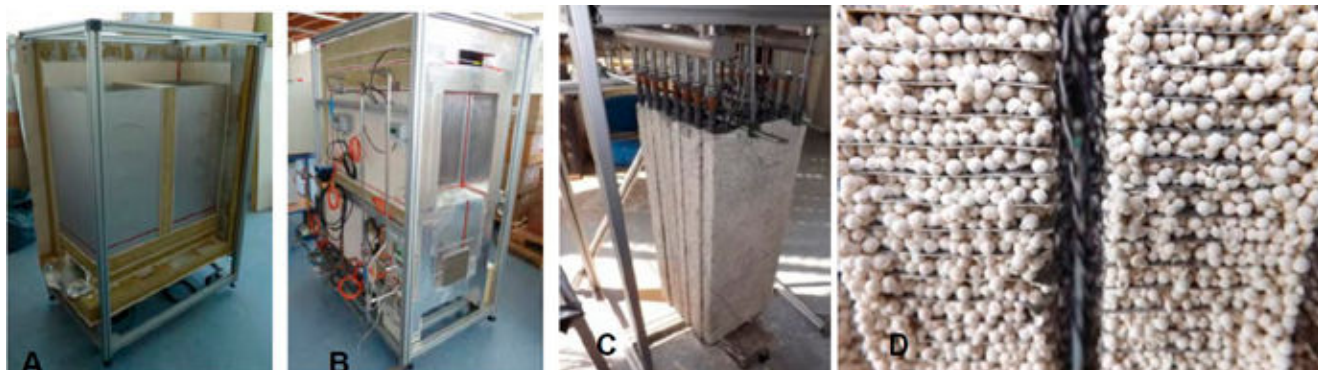
(zonnestraling, buitentemperatuur). Waterbuffers werden al lang gebruikt, beschikken over redelijke vermogens en korte reactietijden, maar hun maximale energiedichtheid is beperkt (ca. 0.25 GJ/m³). Verder is hun toepassingsgebied beperkt tot kortetermijnopslag, omdat ze tijdens de inactieve toestand (rustmodus) warmte verliezen. IJsopslag en PCM-buffer kunnen ook alleen als kortetermijnopslag (tot meerdere dagen) worden gebruikt, maar ze leveren een hogere energiedichtheid (tot 0.57 GJ/m³ voor zouthydraten). Verder beperkt de lage warm-

tegeleiding van phase change materialen de warmteoverdracht. Thermochemische materialen zijn ook beperkt in hun warmtegeleiding en dus beperkt in de warmteoverdracht. Het grootste voordeel van een TCS is dat de energie is opgeslagen in een fysisch-chemische reactie met een hoge energiedichtheid (tot 3.17 GJ/m³). Dit betekent dat er geen energieverliezen tijdens de rustmodus optreden. Dit maakt een TCS geschikt voor langetermijnopslag (dagen tot maanden). Op dit moment wordt er veel onderzoek gedaan dat zich vooral richt op materiaalont-

wikkeling van nieuwe PCMs [37] en TCMs [38], op het niveau van de ontwikkeling van thermische opslagsystemen [31] [38] [39] en hun integratie in gebouwbeheersystemen [40].

REFERENTIES

Scan voor de referenties de QR-code



-Figuur 5- Prototypes van thermochemische systemen, open (ECN [32] [33]), gesloten (TNO [34] [35]); A open TC-systeem – opslag container voor adsorbens; B open TC-systeem – luchtbehandeling systeem; C gesloten TC-systeem – adsorber/desorber unit voor afsluiting, adsorbens geïntegreerd in warmtewisselaar; D gesloten TC-systeem – ad/desorber close-up; foto's van [31]

Uw totaalleverancier

Smart ideas – more efficiency.



Wolf biedt een compleet productassortiment om de energie-efficiëntie te verhogen van bestaande en nieuwe woningen en gebouwen. Dit betekent perfect op elkaar afgestemde systemen zonder beperkingen qua selectie en systeemcombinaties – bij Wolf sluit het allemaal op elkaar aan – verwarming, koeling, zonne-energie, ventilatie en luchtbehandeling.

Wolf Energiesystemen, www.wolf-energiesystemen.nl, Tel. 038- 333 50 86, Fax 038 - 333 68 02

