

# LOCOSTO

Low Cost Storage of Heat



**LOCOSTO**

**Auteur(s)**

**R. de Boer**

**Disclaimer**

Hoewel de informatie in dit document afkomstig is van betrouwbare bronnen en de nodige zorgvuldigheid is betracht bij de totstandkoming daarvan kan ECN geen aansprakelijkheid aanvaarden jegens de gebruiker voor fouten, onnauwkeurigheden en/of omissies, ongeacht de oorzaak daarvan, en voor schade als gevolg daarvan. Gebruik van de informatie in dit document en beslissingen van de gebruiker gebaseerd daarop zijn voor rekening en risico van de gebruiker. In geen enkel geval zijn ECN, zijn bestuurders, directeuren en/of medewerkers aansprakelijk ten aanzien van indirecte, immateriële of gevolgschade met inbegrip van gederfde winst of inkomsten en verlies van contracten of orders. Geen externe assurantie.

# Inhoudsopgave

---

<b>1. Uitgangspunten en doelstellingen van het project</b>	<b>6</b>
1.1 Achtergrond	6
1.2 Consortium	6
<b>2. Resultaten</b>	<b>7</b>
2.1 Toepassingen	7
2.2 Warmteopslag materialen	7
2.3 Warmteoverdracht, thermische modellering en tests	7
<b>3. Knelpunten en toepassingsperspectief</b>	<b>9</b>
<b>4. Bijdrage aan doelstelling van de regeling</b>	<b>10</b>
<b>5. Publicaties</b>	<b>12</b>



# 1. Uitgangspunten en doelstellingen van het project

---

## 1.1 Achtergrond

In het Energieakkoord zijn afspraken gemaakt over besparingen op het energiegebruik. Het behalen van de besparingsdoelstellingen vraagt om een flinke inspanning die op alle energiefuncties, elektriciteit, transport en warmte, betrekking heeft. In industriële processen speelt warmte de belangrijkste rol, en hergebruik van restwarmte biedt hier een goede kans om te besparen op de warmtevraag. Het tijdelijk opslaan en hergebruiken van overtollige warmte reduceert de hoeveelheid restwarmte en bespaart direct op de warmtevraag. Industriële processen vragen veelal warmte boven 100°C. Voor deze hogere temperaturen is de inzet van warmteopslag nog zeer beperkt door het ontbreken van goede materialen voor warmteopslag en door de hoge investeringskosten, en deels ook door onbekendheid bij de eindgebruikers met de mogelijkheden die warmteopslag biedt voor energiebesparing.

In het LOCOSTO (Low Cost Storage of Heat) project worden nieuwe oplossingen ontwikkeld voor industriële warmteopslag op basis van fase overgangsmaterialen (Phase Change Materials, PCM) die hun werking hebben in het temperatuurgebied tussen 100°C en 250°C, waarin veel warmtevraag in de industrie zich bevindt. PCM's kunnen, vanwege de latente warmte bij het smelten en stollen ervan, warmte op een compacte manier en bij een vrij constante temperatuur opnemen en weer afgeven. De onderzoeksvraag is gericht op de technische en economische haalbaarheid van de op PCM's gebaseerde warmteopslag technologie.

## 1.2 Consortium

Dit project is uitgevoerd met consortiumpartners DOW Benelux, Perstorp (Zweden) en EMMTEC als eindgebruikers, Industrial Energy Experts als engineering consultant, Bronswerk Heat Transfer als systeem leverancier, PCM-Technology, Nedmag en Perstorp als materiaal leveranciers en TNO en ECN (pervoerder) als kennisinstituten.

# 2. Resultaten

---

## 2.1 Toepassingen

Als eerste onderdeel van het project is een screening van warmteopslag toepassingen bij DOW, Emmtec en Perstorp gedaan. Hieruit is naar voren gekomen dat met integratie van warmteopslag een concrete besparing op de warmtevraag, in bepaalde gevallen tot 70%, en de bijbehorende energiekosten kan worden behaald. De beste condities voor inzet van warmteopslag wordt verkregen bij veelvuldige laad-ontlaad cycli, van tenminste 1 maal per dag. Deze situatie doet zich oa. voor bij batch gewijsde processen. Onder deze condities komt economische haalbaarheid van warmteopslag in industriële toepassingen binnen bereik. Verdere verbetering van de economische haalbaarheid ontstaat bij stijgende energieprijzen en hogere kosten voor CO<sub>2</sub> emissie. De bijdrage van warmteopslag aan bijvoorbeeld het vergroten van de bedrijfszekerheid van processen, het verhogen van de productiviteit, flexibiliteit en de veiligheid van processen heeft aanvullende positieve invloed op de haalbaarheid van warmteopslag.

## 2.2 Warmteopslag materialen

Een screening van potentiële PCM's in het temperatuurgebied van 100°C tot 250°C is uitgevoerd. Daarbij zijn materialen zoals magnesiumchloride (MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), nitraatzouten, hoge dichtheid polyethyleen (HDPE), suikeralcoholen, en polyalcoholen als veelbelovende PCM's geselecteerd. Deze PCM's zijn getest op hun smelt- en stolgedrag. Dit gebeurt op kleine schaal waarbij nauwkeuring de smelt- en stoltemperatuur wordt bepaald, de hoeveelheid warmte die in het materiaal kan worden opgeslagen, en de cyclische stabiliteit ervan wordt beoordeeld. De resultaten hiervan geven aan dat er voor de beoogde industriële toepassing nog aanvullende materiaalontwikkeling voor hoge temperatuur PCM's nodig is om de lange duur stabiliteit ervan te vergroten en verschijnselen van onderkoeling te verminderen.

## 2.3 Warmteoverdracht, thermische modellering en tests

Een belangrijke technische uitdaging bij de toepassing van een PCM als warmtebuffer zit in de in- en uitkoppeling van warmte tijdens het laden en ontladen van de buffer. PCM's hebben een slechte warmtegeleiding, waardoor het moeilijk is om de warmte met voldoende vermogen op te slaan en weer te onttrekken aan de buffer. Voor de ontwikkeling van PCM warmtebuffers is rekenmodel gemaakt om de optimale geometrie en het benodigde warmtewisselend oppervlak in een PCM buffer te berekenen.

Om dit rekenmodel te valideren is een testopstelling ontwikkeld en gebouwd door Bronswerk Heat Transfer (BHT). In Figuur 1 is een impressie van testopstelling getoond. Met deze opstelling is aan een volume van 100 liter PCM het thermisch vermogen en de opslagcapaciteit gemeten onder

diverse laad- en ontladcondities. Ook is het temperatuurverloop en lokale smeltgedrag van het PCM in het vat gemeten. De meetresultaten en de modelvoorspellingen vertoonden op hoofdlijnen een goede overeenkomst. Wel moet de extra bijdrage aan warmteoverdracht door 'stroming' van gesmolten PCM nog verder in het model worden opgenomen.



Figuur 1 Laboratorium testopstelling voor PCM warmteopslag (a) assemblage bij Bronswerk Heat Transfer, (b) PCM testopstelling in het lab bij ECN.

# 3. Knelpunten en toepassingsperspectief

---

De ontwikkeling van industriële warmteopslag op basis van PCM's kent belangrijke vragen op het gebied van stabiele warmteopslag materialen. De combinatie van goede thermische eigenschappen, voldoende stabiliteit en lage materiaalkosten, is nog niet beschikbaar voor de hoge temperatuur PCM's. Om deze technologie succesvol te kunnen opschalen is nog aanvullend materiaalonderzoek nodig om de vereiste stabiliteit te verkrijgen. Oplossingen daarvoor kunnen gevonden worden bij de PCM 's die nu al voor lage temperatuur commercieel worden toegepast. Deze oplossingen moeten doorontwikkeld en getest worden voor de hoge temperatuur PCM's die in de industrie gevraagd worden.

Een ander knelpunt is de economisch haalbaarheid. Bij de huidige energietarieven en CO2 prijs worden onder gunstige condities terugverdientijden berekend van net meer dan 5 jaar. Dit maakt dat de belangstelling bij industriële eindgebruikers van deze technologie nog niet groot is, waardoor er weinig momentum ontstaat voor de verdere ontwikkeling ervan en de benodigde partijen in de waardeketen ook nog niet proactief optreden.

Het toepassingsperspectief van PCM warmteopslag voor industriële processen is sterk verbonden aan de inzet bij batch processen. In deze processen kan op papier al snel meer dan 50% energiebesparing en CO2 emissiereductie behaald worden. Bij stijgende energieprijzen kan warmteopslag een interessante optie vormen voor eindgebruikers om significante besparingen op energieverbruik en de energierekening te behalen. Daarmee vormt warmteopslag één van de technologieën in het portfolio om duurzaamheidsdoelstellingen te realiseren.



# 4. Bijdrage aan doelstelling van de regeling

---

## 4.1 Verduurzaming energiehuishouding

Warmteopslag biedt de mogelijkheid om restwarmte te hergebruiken met een verschuiving in tijd en/of plaats. Daarmee kan een warmtevraag bediend worden, die normaliter met fossiele brandstoffen zou zijn opgewekt. Dit geeft een directe besparing op primair energiegebruik voor verwarming. Besparing op het gebruik van fossiele brandstof is een belangrijke component in de verduurzaming van de energiehuishouding. Aanvullend vormt warmteopslag een flexibiliteitsoptie in het energiesysteem, wat positief bijdraagt aan de integratie van een toenemende aandeel niet regelbaar duurzaam opwekkingsvermogen, wind en zon, op het elektriciteitssysteem.

## 4.2 Versterking kennispositie

In het project is samengewerkt tussen eindgebruikers, materiaalleveranciers, systeemontwikkelaars en de kennisinstututen. In deze opzet is kennis op het gebied van warmteopslag opgebouwd, onderling gedeeld vanuit de diverse invalshoeken en daarmee versterkt. De opgebouwde kennis rondom PCM warmteopslag is verzameld in de ontwikkelde rekentools voor beoordeling van de economische haalbaarheid en voor het ontwerp van PCM warmteopslag. Verder is een goed inzicht verkregen in de stand van de techniek van hoge temperatuur PCM's, de stabiliteitsvraagstukken en mogelijkheden voor verbetering. De aansluiting bij de IEA ECES Annex 30 draagt verder bij aan het overzicht van de internationale stand van zaken en ontwikkelingen voor industriële warmteopslag.

## 4.3 Spin-off binnen en buiten de sector

De toepassingsmogelijkheden voor warmteopslag reiken verder dan de in het project voornamelijk bekeken inzet voor energiebesparing bij industriële batch processen.

Warmteopslag biedt goede mogelijkheden om de flexibiliteit in het energiesysteem te vergroten. Dit kan met warmteopslag in combinatie met industriële WKK en ook bij Power-to-heat toepassingen. Verder vormt warmteopslag een goede aanvulling op industriële warmtepomptechnologie. Fluctuaties in aanbod van restwarmte en vraag naar proceswarmte kunnen door een buffer worden opgevangen, waardoor de warmtepomp meer constant en continu in bedrijf is.

PCM's zijn bieden interessante mogelijkheden voor toepassingen waarbij temperatuurstabiliteit van het proces bijdraagt een productkwaliteit en veiligheid. Als voorbeeld wordt de temperatuurregeling van batterijen voor automobielen waar PCM's voor worden ingezet.

Compacte opslag van warmte biedt verder mogelijkheden om industriële restwarmte te kunnen transporteren naar andere locaties waar deze warmte weer kan worden ingezet, bijvoorbeeld in kantoren of in stadsverwarming. Het vormt hierbij een flexibeler alternatief voor warmteleidingen, met lagere initiële investeringen.

Ook zijn toepassingen van PCM warmte opslagtechnologie in de transportsector goed mogelijk. Hogere eisen aan energie efficiency en emissies voor (vracht)auto's en in de scheepvaart leiden tot vraag naar efficiëntere oplossingen voor bijvoorbeeld klimaatbeheersing, waarbij warmte- en koudeopslag met PCM's wordt ingezet vanwege de hoge opslagdichtheid ervan.

De opgebouwde kennis en rekentools voor PCM warmteopslag zijn generiek inzetbaar voor bovengenoemde toepassingen.

# 5. Publicaties

---

Over het LOCOSTO project zijn de volgende openbare publicaties verschenen

- Industriële warmteopslag met faseovergangsmaterialen, NPT Procestechologie, 2016-04, pagina 26-27.
- Een faseovergangsmateriaal dat zich leent voor stabiele buffering, Fluids Processing, 2017 nr. 1 ,34-35.
- Opslag van Restwarmte, Milieu Magazine, 2017-04, 30-31.

Daarnaast zijn er conferentiebijdragen gemaakt:

- Development of industrial PCM heat storage prototype, Proceedings of the International Renewable Energy Storage Conference, IRES, Düsseldorf, Germany. IRES. paper contribution, March 2017, ECN-M--17-005.
- Thermal Energy Storage in Industrial Processes, presentation at the 4th international symposium on waste heat valorization in industrial processes, Universiteit Gent, Kortrijk, May 2016, ECN L16-034.

Voor vragen over het Locosto project wendt u zich tot Robert de Boer, ECN.  
[r.deboer@ecn.nl](mailto:r.deboer@ecn.nl), tel: 088 515 4871.

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland



Energy research Centre of the Netherlands

Postbus 1

1755 ZG PETTEN

Contact

088 515 4949

[info@ecn.nl](mailto:info@ecn.nl)

[www.ecn.nl](http://www.ecn.nl)