

Gem sommerens varme i flydende salt

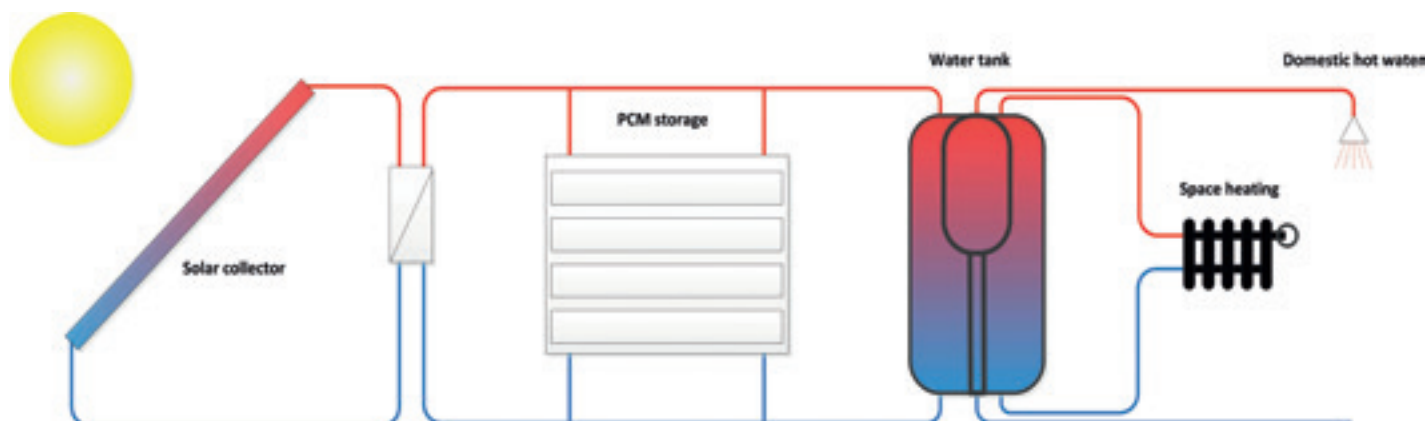
Underafkølet natriumacetat trihydrat udnyttes til at gemme varme fra sommer til opvarmning af boliger om vinteren i forskningsprojekt.

Af Mark Dannemand, Danmarks Tekniske Universitet, Institut for Byggeri og Anlæg

Et sæsonvarmelager skal sikre boliger uden for fjernvarmesystemet varme fra grøn solenergi om vinteren. Med nutidens teknologi kan man udvinde energi fra vedvarende energikilder som sol og vind. Problemet er bare, at behovet for energi ikke

Fra håndvarmerne er det kendt, at varme kan lagres over lange perioder - i hvert fald i mindre mængder. Muligheden for at opskalere konceptet til en størrelse stor nok til at opvarme et enfamilieshus er blevet undersøgt i en ph.d.-afhandling og i et EU-finansieret forskningsprojekt på DTU Byg.

Ideen er at udnytte varme fra solen om sommeren til at smelte saltet og herefter gemme det til opvarmning af huse



Principdiagram over solvarmeanlæg med sæsonvarmelager.

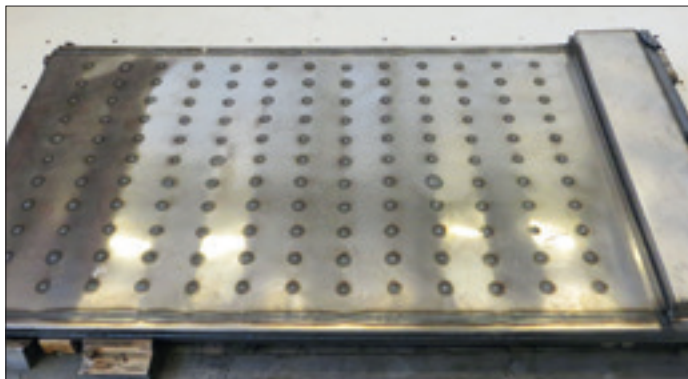
altid falder sammen med, hvornår solen skinner, og vinden blæser. Lagring af energi er derfor af central betydning, hvis et samfund uden fossile brændsler skal realiseres. Forskere på DTU har testet prototyper af varmelagre og bygget et fuldskala pilot-anlæg, hvor varme fra sommersolen gemmes i flydende salt til om vinteren.

Baseret på kendt princip

Princippet, hvorved varmen kan lagres over lange perioder, kendes fra de små håndvarmere, som kan holde fingrene varme på en kold ski- eller jagttur. Natriumacetat trihydrat varmes op, og ved 58°C bliver det flydende. Ved smeltingen optages en betydelig mængde energi. Når saltet er helt smeltet, kan det køle ned til omgivelsernes temperatur, uden at det størkner igen. I denne såkaldte underafkølede tilstand lagres smeltevarmen. For at få saltet til at krystallisere og dermed frigive smeltevarmen, skal der ske en påvirkning af det underafkølede salt. Dette kan for eksempel være at tilføje et saltkrystal til det underafkølede salhydrat, hvorfra krystalliseringen vil starte. Når først krystalliseringen er begyndt, vil den spredes til resten af saltet. Ved at udnytte underafkøling er det muligt at lagre varme over lange perioder uden varmetab.



Forsøgsopstilling af fire varmelagerenheder, vandlager og monitorering.

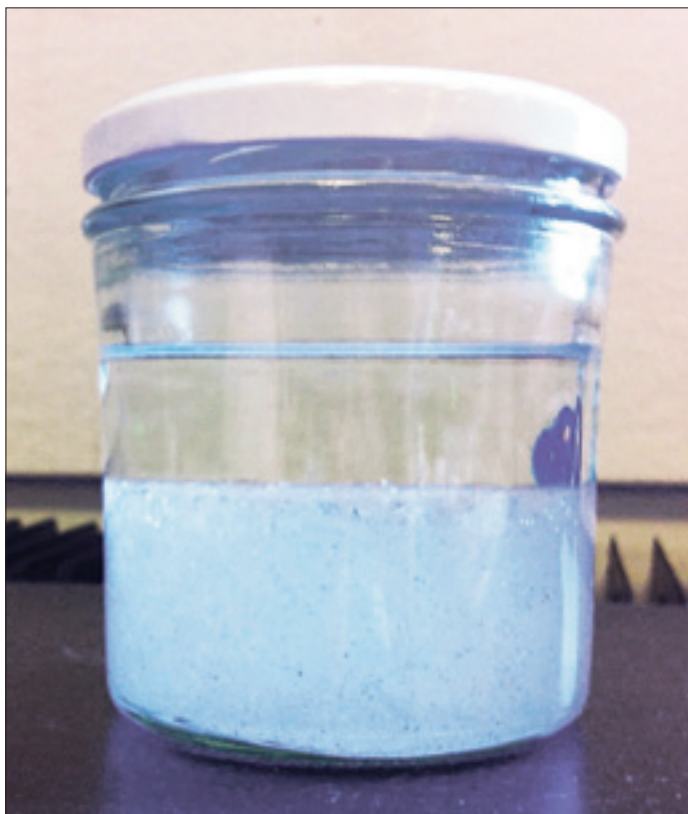


Prototype af sæsonvarmelager i stål til 220 kg saltblanding.

om vinteren. Solvarmen opfanges ved hjælp af solfangere og overføres til saltlageret ved hjælp af varmevekslere. Saltlageret er opbygget af en række enheder, som hver især kan opvarmes og aflades individuelt. Når lageret aflades, overføres varme til husets varmesystem, for eksempel et gulvvarmesystem.

Stabil underafkøling

Den største udfordring har været at opnå en stabil underafkøling af salthydratet i store mængder over lange perioder. Der skal kun en lille forstyrrelse i et hjørne af lageret til at starte størkningsen, som dernæst vil spredes til resten af tanken. Derfor skal lageret designes omhyggeligt. Udefrakommende påvirkninger kan nemlig nemt igangsætte størkningsprocessen. Saltet kan derfor forblive mest stabilt underafkølet i en lukket beholder. I første omgang har beholderne til saltet været lavet af stål på grund af dets høje varmeledningsevne, hvilket har hjulpet til at kunne opvarme og afkøle lageret med en høj effekt. I en lukket stiv konstruktion af stål opstår der dog et problem, fordi saltet udvider sig ca. 10% ved smeltningen. Der opbygges dermed et overtryk i tanken, hvilket har forstyrret underaf-



Prøve af natriumacetat trihydrat med lagdeling.

kølingen og dermed muligheden for langtidslagringen. Dette problem er blevet løst ved at integrere en ekspansionsbeholder, hvilket gør, at saltet kan trække sig sammen og udvide sig ved størkningen og smeltningen uden at opbygge tryk i beholderen. Hermed kan saltet forblive stabilt i underafkølet tilstand.

Lagdelling af saltblandingen

Et andet centralt område har været at maksimere og stabilisere energiindholdet af saltet over gentagende opvarmninger og afkølinger.

Der opstår en slags lagdeling i saltet i en beholder, hvor koncentration af vand fra det smeltede salthydrat stiger i toppen af beholderen og falder i bunden af beholderen. Når dette sker, kan der ikke længere ske en fuld krystallisering af alt saltet i beholderen, og den fulde mængde lagrede smeltevarme frigives ikke. Forskellige metoder til at løse dette problem har været undersøgt. Blandt andet at fortynde blandingen med ekstra vand eller øge opløseligheden af saltet ved at tilsætte forskellige polymerer. En anden forsøgt metode til at bevare et højt energiindhold har været at tilsætte et fortykkelsesmiddel til salthydratet. Det har vist sig, at en meget lille andel af et passende tilsætningsstof kan ændre viskositeten af saltblandingen nok til at undgå lagdelingen. Med en fortykket saltblanding kan det fulde potentiale for at lagre smeltevarmen, udnyttes.

Saltblandinger med tilsætningsstoffer

Anvendelse af tilsætningsstoffer, som fortykker saltblandingen, har til gengæld en negativ effekt for overførsel af varme til og fra lageret. Varmen overføres hurtigst til saltet ved konvektion, hvor den smeltede saltblanding bevæger sig inde i beholderen. ▶



Apodan Nordic
PHARMAPACKAGING
COMPLIANCE IN PACKAGING

ApodanNordic PharmaPackaging A/S
Kigkurren 8M · 2300 Copenhagen S · Denmark
+45 3297 1555 · Fax: +45 3331 2994
packaging@apodanpharma.dk · www.apodanpharma.dk
Established in 1962



Prøver af saltblandinger med grafitflager og forskellig koncentration af fortykkelsesmiddel.

Når materialet er blevet fortykket, sker der ikke længere konvektion, men varmen overføres udelukkende ved varmeledning, hvilket går betydeligt langsommere end ved konvektion. For at modvirke denne negative effekt på varmeoverførslen er det blevet forsøgt at tilsætte grafitflager i blandingen. Grafit har en varmeledningsevne mange gange højere end saltet, så få procent grafit iblandet har vist sig nemt at kunne fordoble saltets varmeledning. Samtidig har fortykkelsesmidlet i denne sammenhæng den gavnlige effekt, at det medvirker til at holde den tilsatte grafit jævnt fordelt i blandingen.

Forskningsprojekterne

En række fuldskala varmelagermoduler, som tilsammen udgør et varmelager, blev opbygget og testet i laboratoriet. Lageret er opbygget af individuelle moduler, som kan oplades og aflades individuelt med en passende effekt. De testede moduler indeholdt hver op til 220 kg saltblandinger, hvilket kan lagre energi nok til at opvarme et hus med lavt energiforbrug et par dage.

Det blev vist, at det er muligt at opnå stabil underafkøling af forskellige saltblandinger ved brug af varme fra solen opfanget med solfangere. Lageret er dog ikke helt færdigudviklet, og der mangler stadig noget, før et færdigt lager er klart til at blive installeret i huse.

Fremtidige udfordringer

Under forsøgene har det vist sig, at saltet skulle opvarmes til over 80°C for at opnå stabil underafkøling. Dette gør, at effektiviteten af et solvarmeanlæg med saltlageret vil være lavere, end hvis underafkølingen kunne opnås efter opvarmning til smeltepunktet på 58°C. En bedre forståelse af hvad der kemisk sker i saltet ved smeltning og krystallisering, kan muligvis klarlægge om tilsætningsstoffer kan betyde, at minimumstemperaturen for at opnå stabil underafkøling kan sænkes.

Samtidig skal der fokuseres på at gøre lageret billigere. Ingen af komponenterne eller materialerne, som bruges til saltlageret, er dyre. Så muligheden for at udvikle et økonomisk attraktivt langtidsvarmelager er til stede.

E-mail:

Mark Dannemand: markd@byg.dtu.dk

Kilder

1. Dannemand, M., Schultz, J.M., Johansen, J.B. & Furbo, S. Long term thermal energy storage with stable supercooled sodium acetate trihydrate. *Appl. Therm. Eng.* 91, 671-678 (2015).
2. Dannemand, M., Johansen, J.B. & Furbo, S. Solidification Behavior and Thermal Conductivity of Bulk Sodium Acetate Trihydrate Composites with Thickening Agents and Graphite. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 145, 287-295 (2016).



Håndvarmer.

3. Dannemand, M. et al. Experimental investigations on prototype heat storage units utilizing stable supercooling of sodium acetate trihydrate mixtures. *Appl. Energy* 169, 72-80 (2016).
4. Johansen, J.B. et al. Laboratory Testing of Solar Combi System with Compact Long Term PCM Heat Storage. *Energy Procedia* (2015).
5. Dannemand, M., Fan, J., Furbo, S. & Reddi, J. Validation of a CFD model simulating charge and discharge of a small heat storage test module based on a sodium acetate water mixture. in *Energy Procedia* 00, 2451-2460 (Elsevier B.V., 2013).

Ph.d.-afhandling:

“Compact seasonal PCM heat storage for solar heating systems”

Authors: Dannemand, Mark

Affiliations: Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Section for Building Energy, Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark

Year: 2015

Type: Thesis

Publisher: Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering ISBN: 9788778774354

Hjemmeside for EU forskningsprojektet:

<http://comtes-storage.eu/comtes-project/development-lines/development-line-c/>