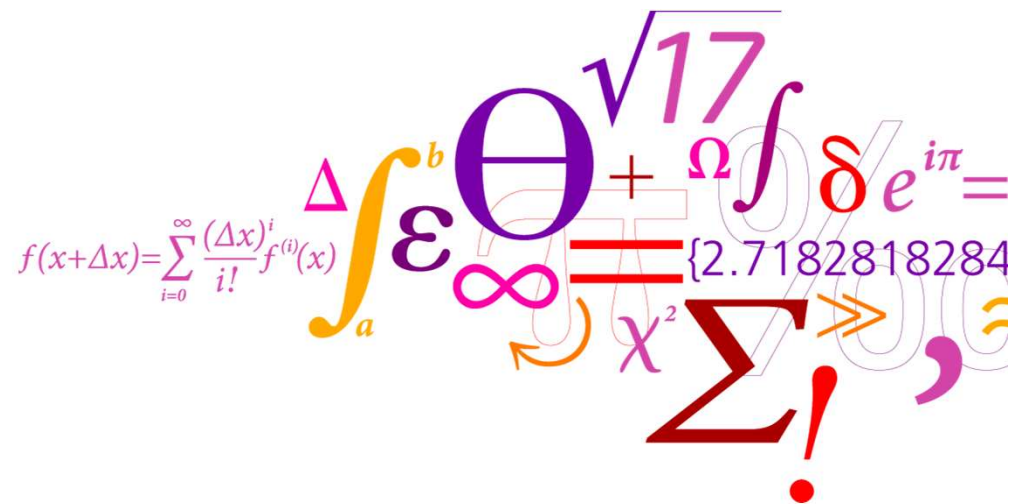


Solvarmeanlæg med smeltevarmelagre

Simon Furbo
DTU Byg
Danmarks Tekniske Universitet
Bygning 118, Brovej
2800 Kgs. Lyngby
sf@byg.dtu.dk





IEA Task 58 projekt: Material and component development for thermal storage systems

Periode: Januar 2017 - December 2019

Formål:

- Deltagelse i IEA SHC Programme Task 58 projekt med bidrag til **komponentudvikling, anvendelsesområder og numeriske beregningsmodeller**
- Udvikle attraktive kompakte langtidsvarmelagre
- Klarlægge smeltevarmelagres egnethed til forskellige anvendelser



IEA Task 58 projekt: Material and component development for thermal storage systems

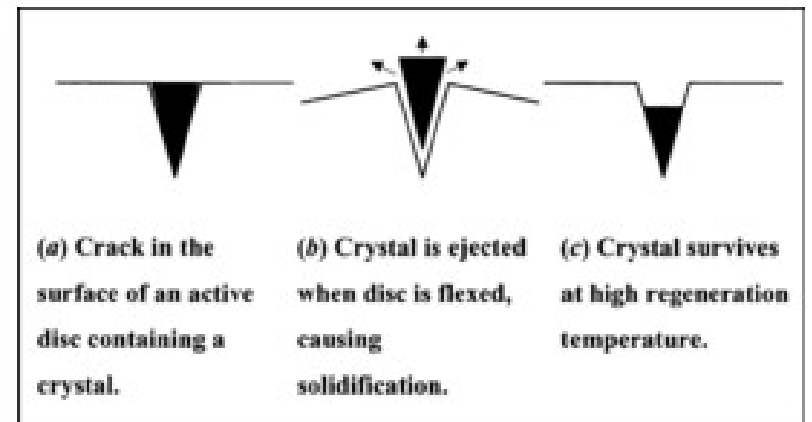
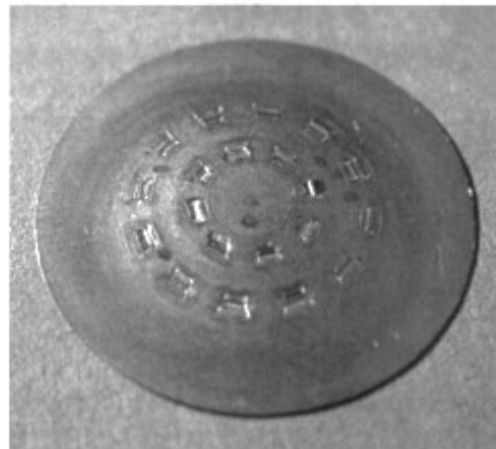
Aktiviteter:

- Deltagelse i Task 58 projektets ekspertmøder
- Eksperimentelle undersøgelser af langtidsvarmelagre baseret på natriumacetat trihydrat
- Optimering af solvarmeanlæg med langtidsvarmelagre
- Undersøgelse af solvarme-/varmepumpeanlæg med smeltevarmelager

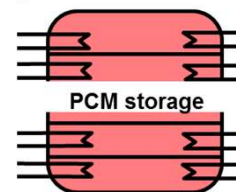
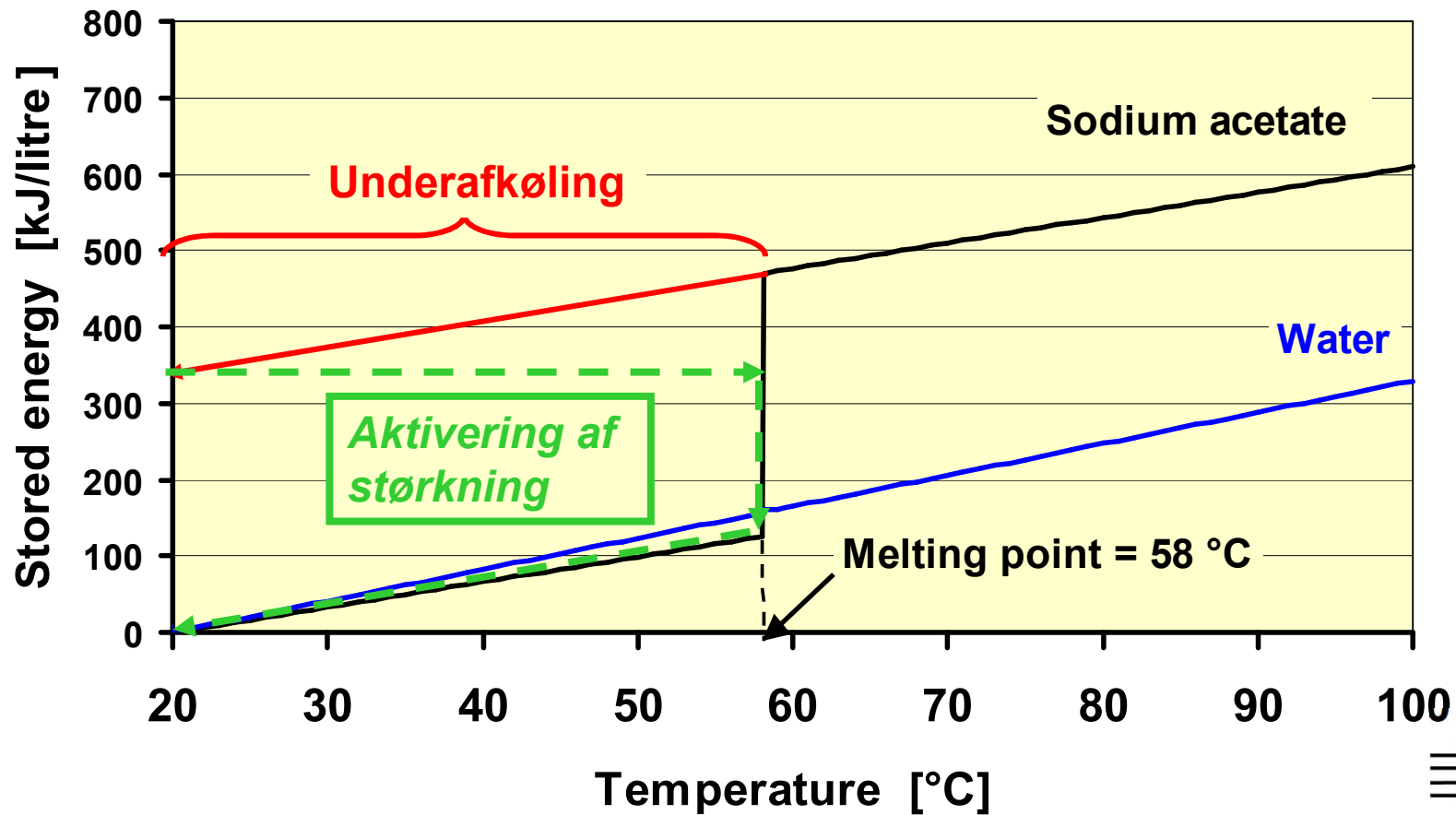


Heat pack håndvarmer

- Kog i 10 minutter
- Put i tasken - gå en tur
- Bøj metalskive - varm hænderne



Smeltevarmelagringsmateriale med underafkøling varmeindhold af natriumacetat trihydrat



Natriumacetat trihydrat



60% natriumacetat + 40% H₂O

Inkongruent smeltning - faseseparation

Ekstra vand princippet

58% natriumacetat + 42% H₂O

Tilsætningsstoffer

- Carboxymethylcellulose, CMC
- Xanthangummi, X-Gum
- Etylen diamin tetra eddikesyre, EDTA



Underafkølet natriumacetat trihydrat



Underafkølet natriumacetat trihydrat tilsat vand



Underafkølet natriumacetat + CMC



For 5 år siden: Start



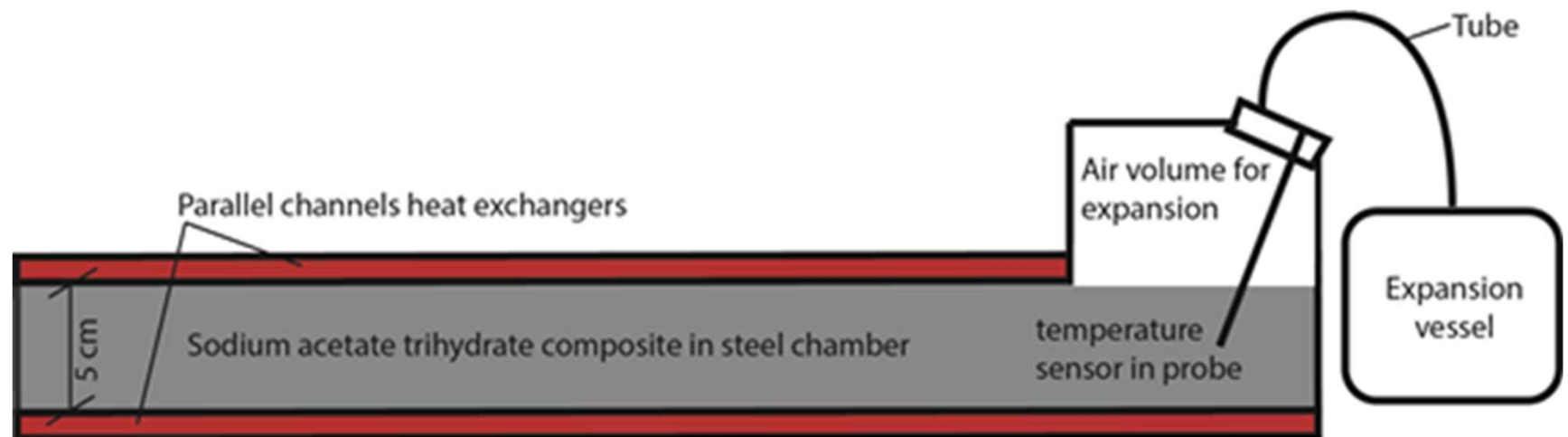
Formål: Demonstration af fuldskala solvarmeanlæg med langtidslagring



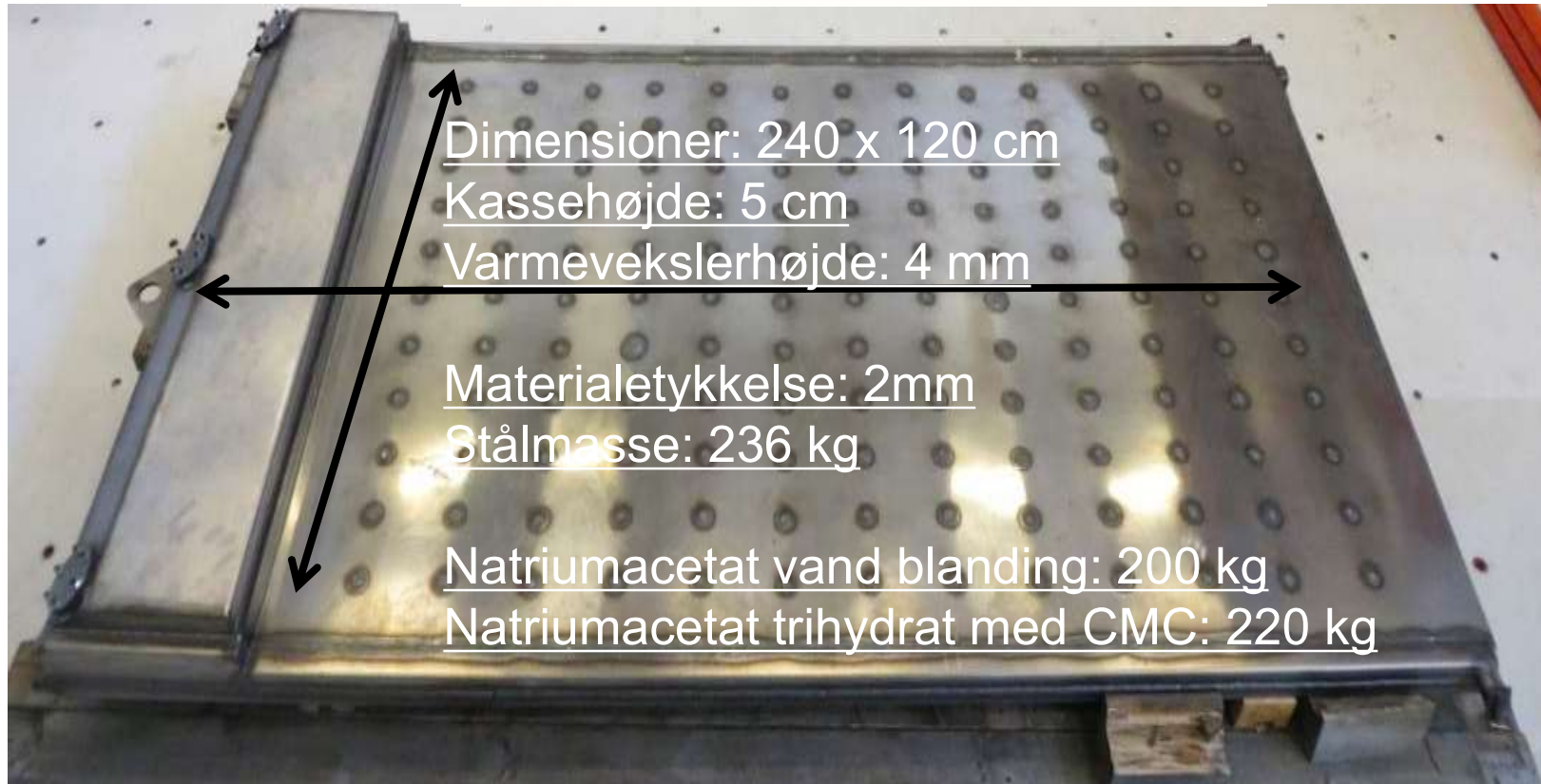
Sandwich varmelagermodul med natriumacetat trihydrat

Fordele:

- Reduceret risiko for fase separation
- Store varmeoverførende arealer
- Reduceret risiko for salhydratkrystaller efter smeltning
- Lukket kasse uden revner til salhydrat
- Internt og eksternt ekspansionsvolumen for salhydratet - lavt tryk i kassen
- Reduceret risiko for mislykket underafkøling



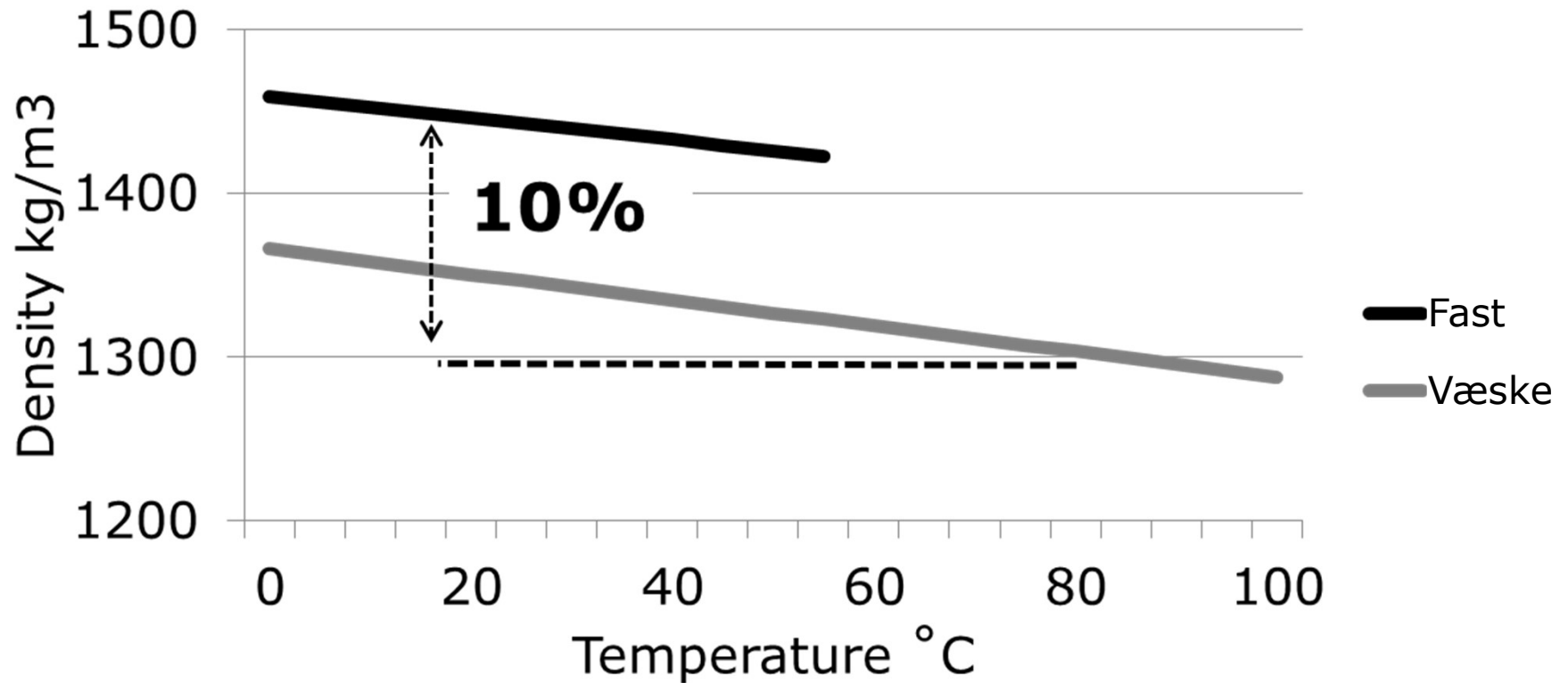
Varmelagermodul sandwich design



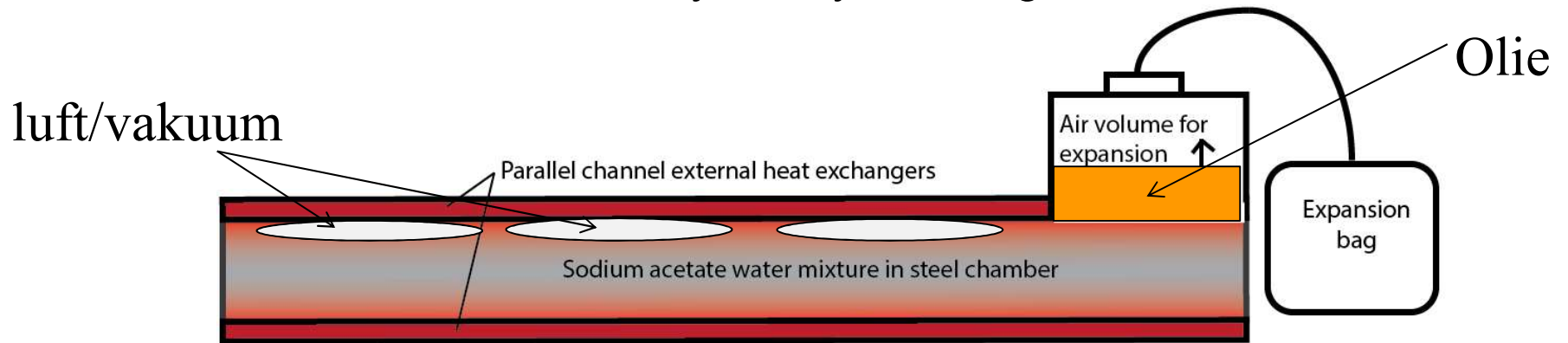
Udfordringer

- Stabil underafkøling
- Tilstrækkelig høj varmeoverføringsevne
- Højt varmeindhold af varmelagermodul
- Varmelageret skal fungere stabilt med højt varmeindhold i lang tid
- Pålidelig aktivering af storkning

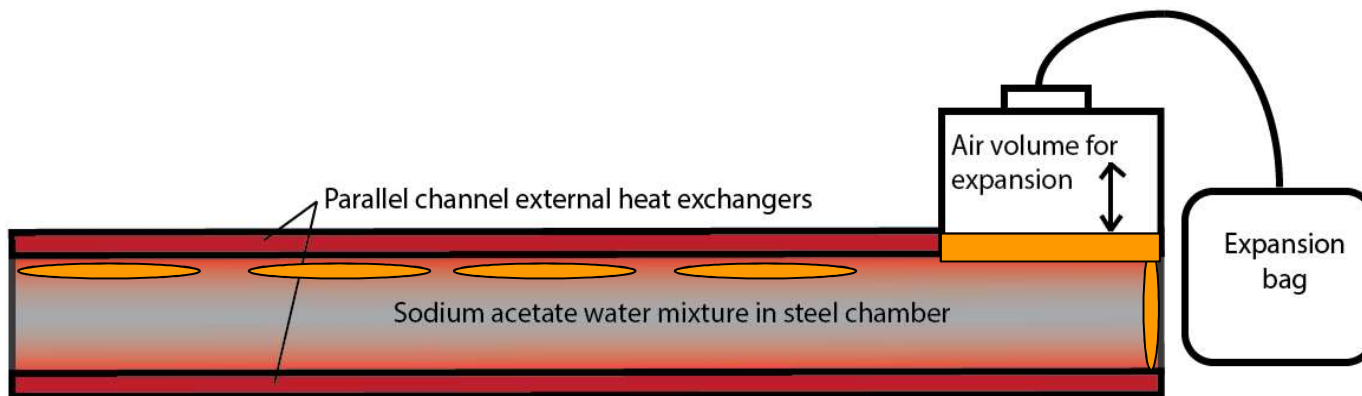
Massefylde af natriumacetat trihydrat



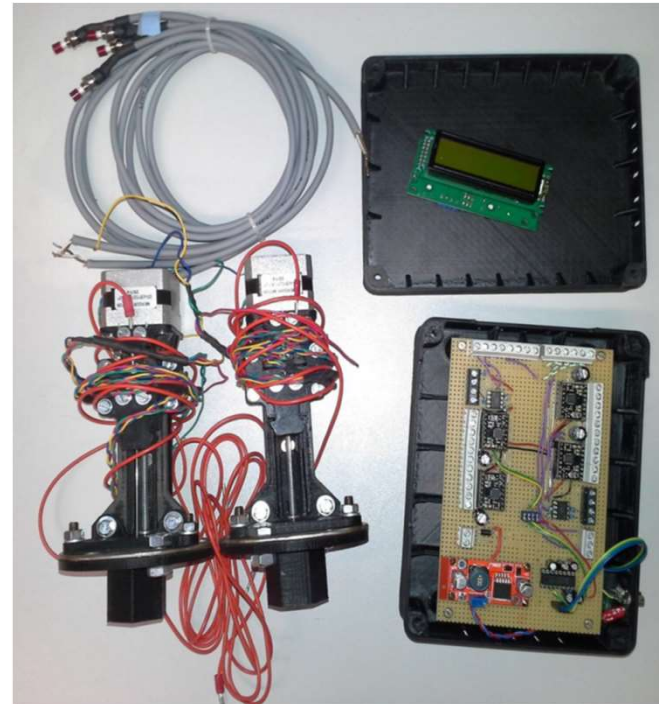
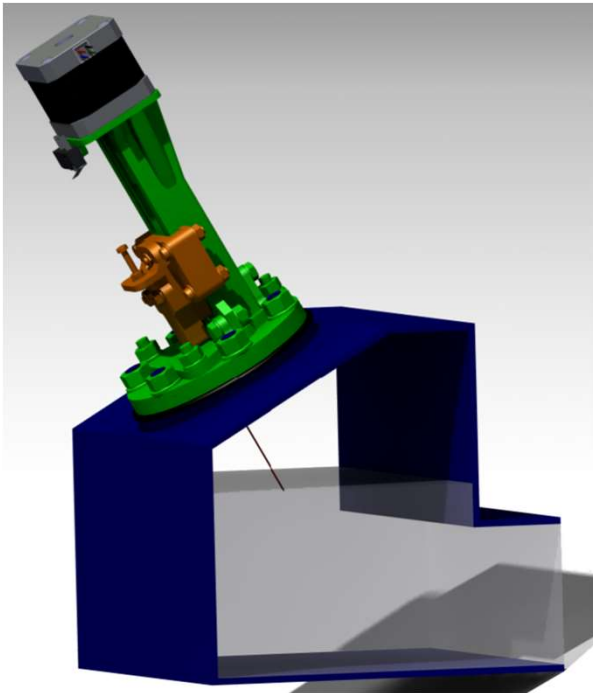
Problem: Luftlommer mellem salhydratkrystaller og varmevekslere



Løsning: Forøgelse af varmetransport mellem salhydratkrystaller og varmeveksler ved at tilføre olie, som suges ned i luftlommerne

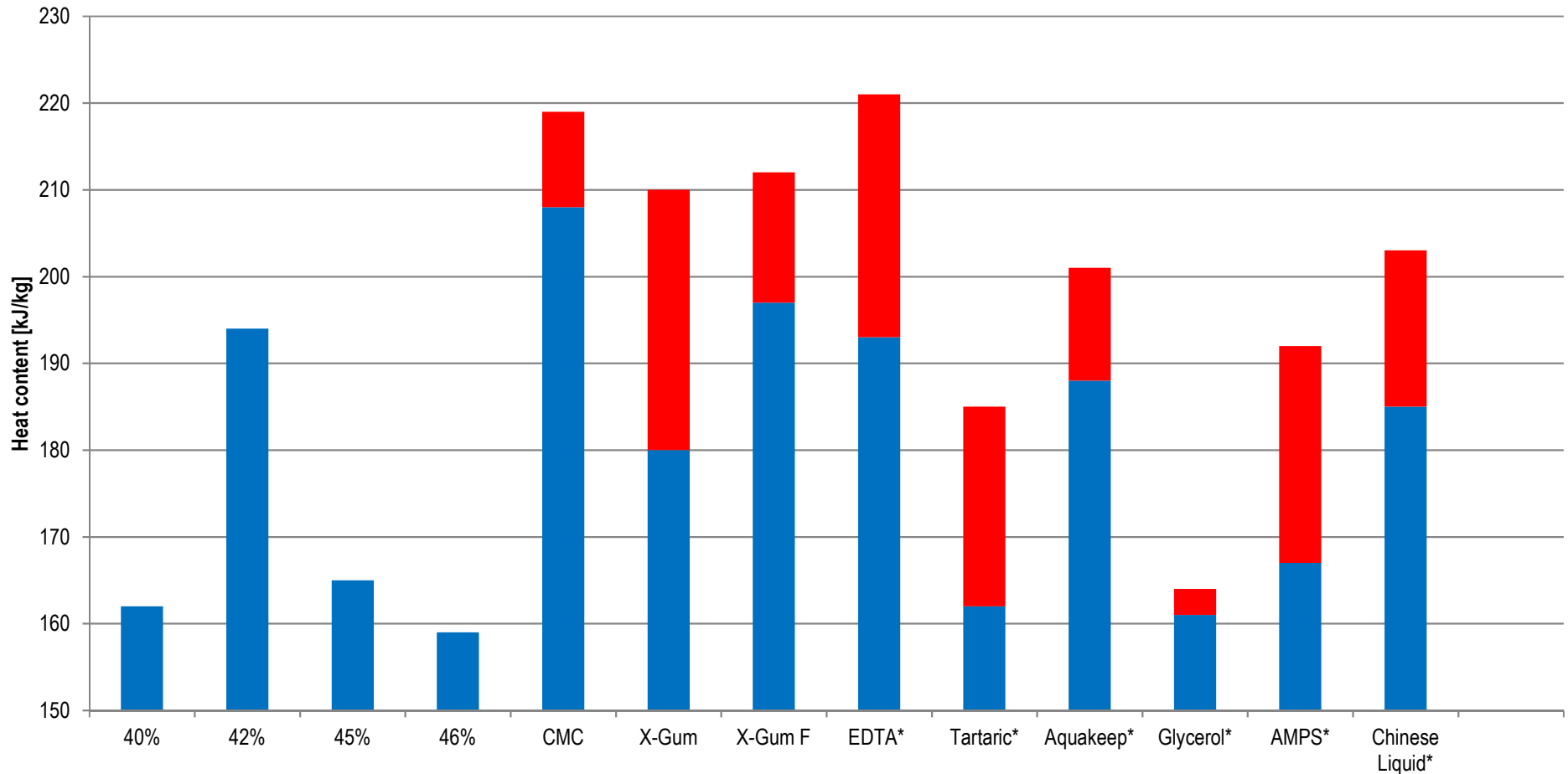


Start af størkning med nål



Småskalaforsøg

varmeindhold af natriumacetat trihydrat inklusive tilsætningsstoffer



* Nogle blandinger indeholder ekstra vand



Erfaringer



Underafkøling

- ☺ Stabil underafkøling opnås både i moduler af stål og rustfrit stål
- ☺ Stabil underafkøling opnås hvis **alle** dele af materialet opvarmes til **mere end 83° C**
- ☺ Stabil underafkøling opnås med ekstern ekspansionsbeholder
- ☹ Med tiden kan salt i slangen mellem salthydratkassen og ekspansionsbeholderen resultere i mislykket underafkøling
- ☺ Tilsætning af olie reducerer fordampning fra salthydratet til slangen til ekspansionsbeholderen

Aktivering af størkning pålidelig med

- ☺ CO₂ aktiveringsprincip til køling
- ☺ Peltier element til køling
- ☺ Nål med krystaller

Erfaringer fortsat

Varmeoverføringsevne

- ☹ Lav varmeoverføringsevne både for opvarmning og afkøling
- ☹ Målt varmeoverføringsevne mindre end beregnet
- ☺ Olie forøger varmeoverføringsevne under afkøling
- ☺ Grafit pulver forøger varmetransport

Varmeindhold

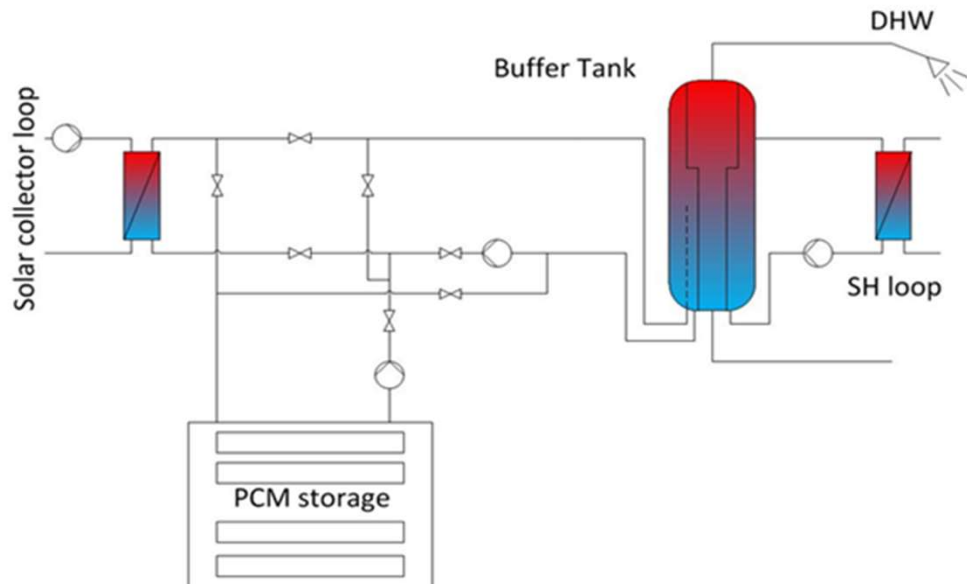
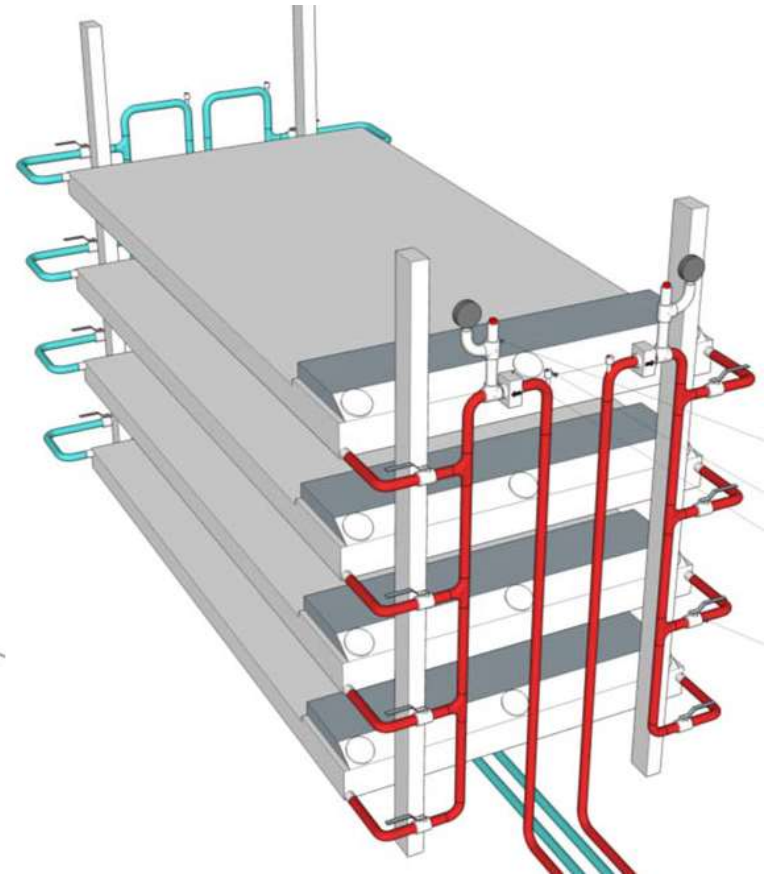
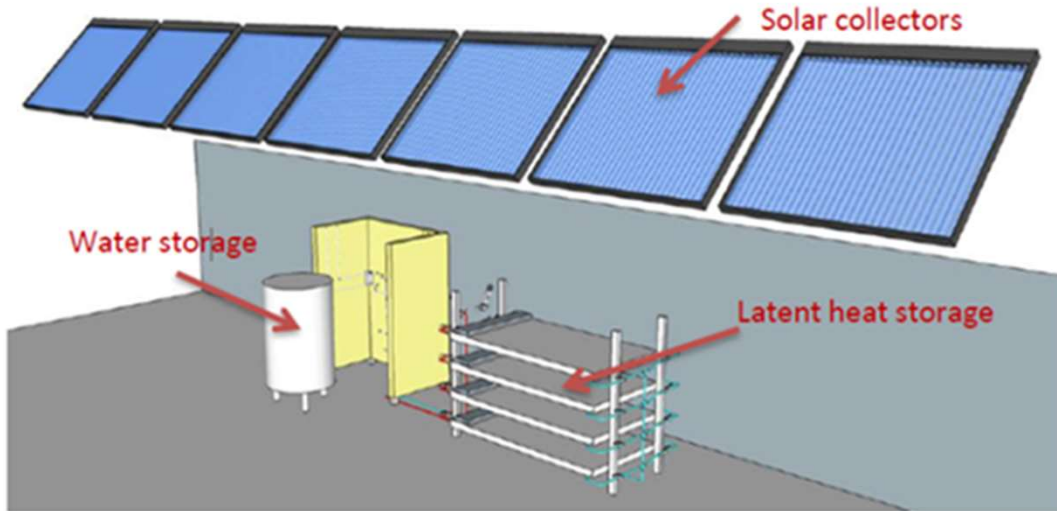
- ☹ Varmeindhold reduceres med tiden for natriumacetat/vand blandinger
- ☺ Varmeindhold konstant med tilsætningsstoffer → Faseseparation forhindres, selv i høje varmelagre
- ☺ Målt varmeindhold tæt på teoretisk beregnet varmeindhold
- ☺ Forøget varmeindhold og aktivt temperaturniveau med tilsætningsstoffer i stedet for ekstra vand

Langtidsstabilitet

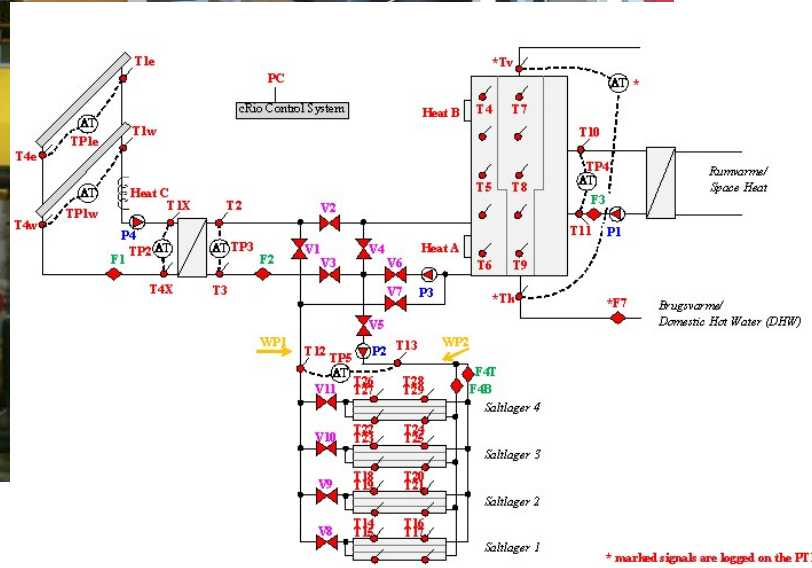
- ☺ Varmelagermodul stabilt med lavt tryk i varmevekslerne

Demonstrationsanlæg

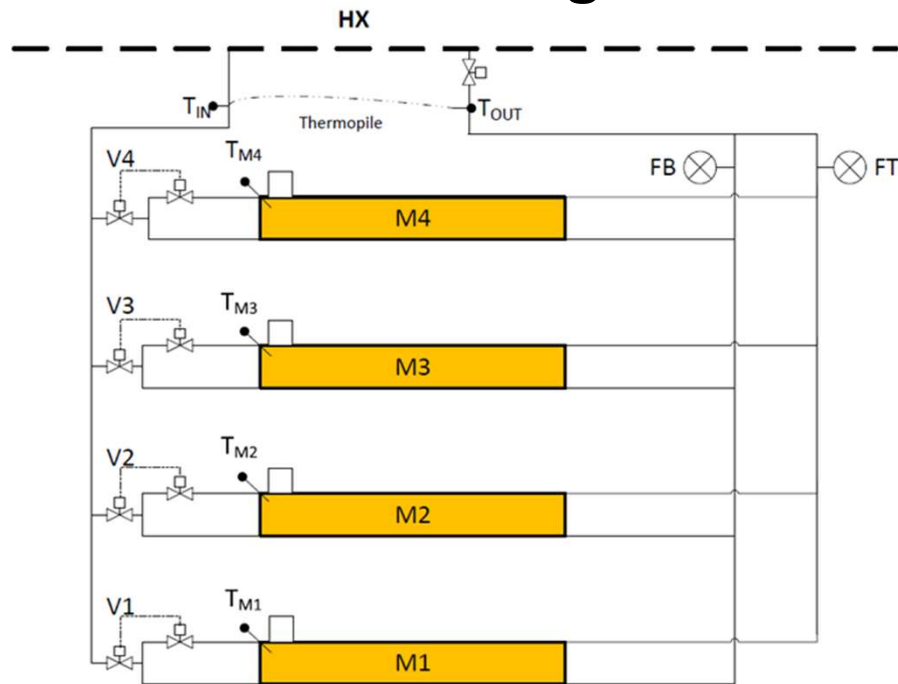
Forsøgsareal for solvarme på DTU Byg



Demonstrationsanlæg



Smeltevarmelager for demonstrationsanlæg



	Module 1	Module 2	Module 3	Module 4
Tank material:	Carbon steel	Stainless steel	Carbon steel	Stainless steel
PCM composite:	SAT + 1% CMC + 2% C + 5l Oil	SAT + 1% CMC	SAT + 1% H ₂ O + 1% EDTA	SAT + 2 % EDTA
PCM mass:	202 kg	220 kg	202 kg	158 kg

SAT: Natriumacetat trihydrat

Erfaringer

- ☺ Anlægget fungerer
 - ☺ Solfangerne kan smelte varmelagermodulerne
 - ☺ Underafkølingen fungerer for 3 moduler
 - ☺ Smeltevarme anvendes til dækning af varmebehov
- og:
- ☺ Høje varmelagermoduler fungerer stabilt med tilsætningsstoffer

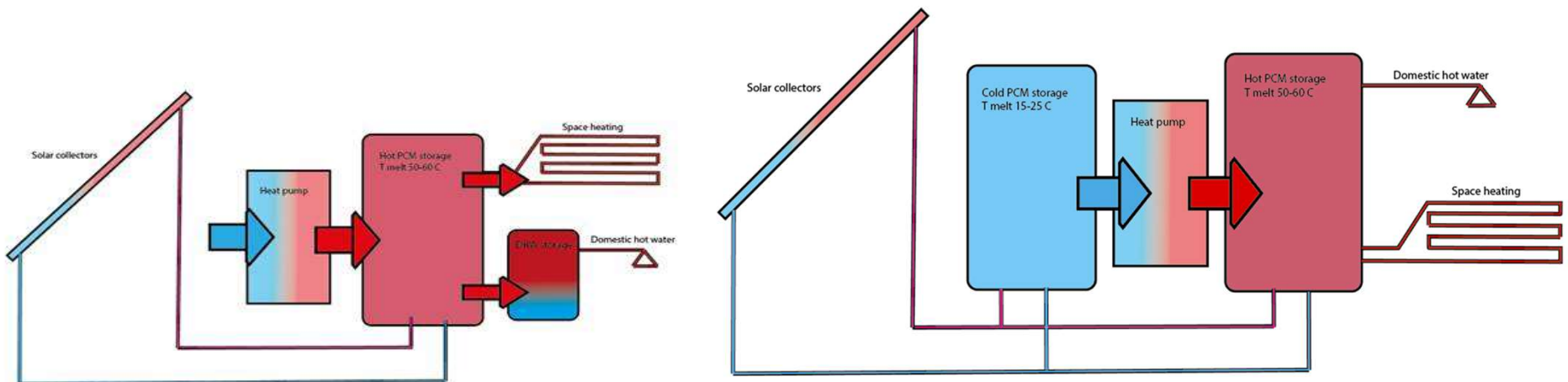


Udfordring

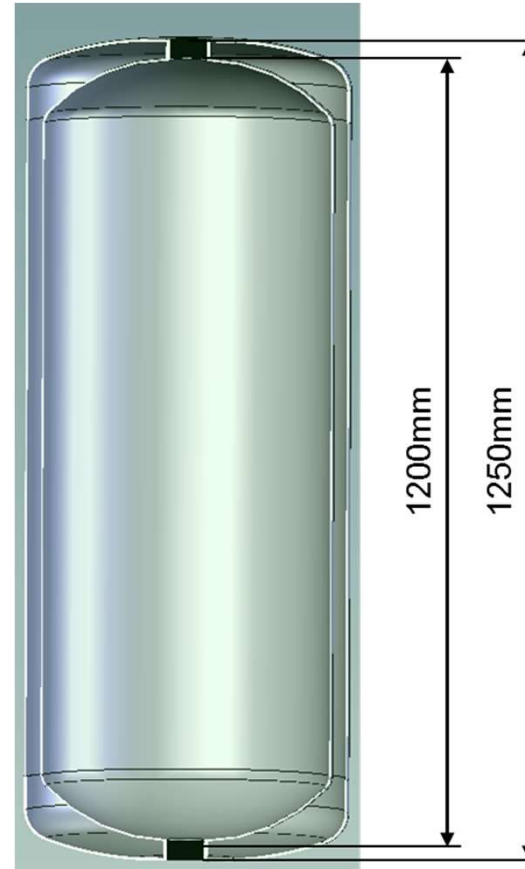
Der er lang vej til attraktive langtidsvarmelagre til markedet

Videreudvikling

- Reducere pris
 - billigere tankmateriale, -design, -produktion
 - bedste tilsætningsstof
 - Optimal udformning af anlæg inklusive buffertank til forskellige huse
- Identificere attraktive løsninger til energisystemet
 - Solvarmeanlæg med udnyttelse af billig el
 - Varmepumpeanlæg
 - Forbedrede driftsbetingelser, øget COP
 - Forskydning af elforbrug ift. varmebehov



Cylinderformet modul afprøvet



Natriumacetat trihydrat: 200 kg (160 l)
Vand: 60 kg
Stål: 140 kg

Erfaringer:

- Lavere modulpris end for sandwich modulerne
- Højt stabilt varmeindhold - ingen faseseparation!
- Kappevolumen fungerer som buffer
- Lav varmeoverføringsevne for varmevekslerspiral
- Underafkøling ikke altid stabil



Igangværende projekter

- Udvikling af langtidsvarmelager i samarbejde med H.M. Heizkörper, Tyskland
- Gerald Englmairs Ph.D. studium om langtidsvarmelagring ved hjælp af natriumacetat trihydrat
- EUDP projekt ELEC-TO-HEAT med Suntherm ApS og TI om udvikling og demonstration af varmepumpe/smeltevarmelager unit til enfamiliehuse

10 LOT moduler til solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning med natriumacetat trihydrat i kappe under afprøvning i laboratoriet

- Hvor stabil er underafkølingen?



<http://hm-heizkoerper.de/die-thermobatterie/#section-systeme>

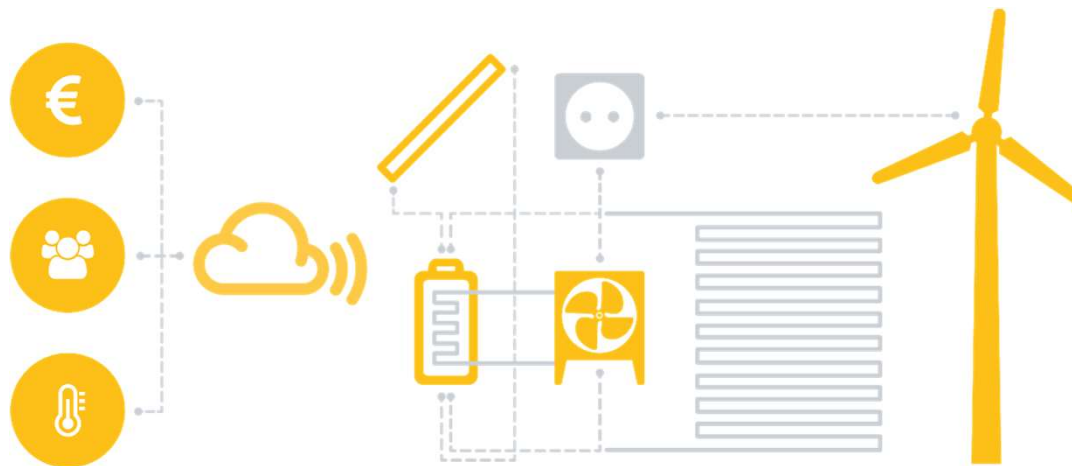




<http://www.suntherm.dk>

EUDP projekt: ELEC-TO-HEAT

Smeltelager i kombination med varmepumpe, solfangere og/eller solceller - intelligent styring



- Hvilke smeltevarmelagringsmateriale er bedst?
- Simuleringsmodel
- Laboratorieafprøvninger af varmepumpeanlæg med smeltevarmelager
- Afprøvning af varmepumpeanlæg med smeltevarmelager i enfamiliehuse

25kWh Thermal Storage Up to 25 hours of heat displacement Tiny Physical footprint (60x60x200cm)

Intelligent forecasting with Cloud Connected Monitoring and Management