



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

it's all about innovation





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Energilagring i Aluminiums faseovergang

Peter Reinholdt, Køle- og varmepumpeteknik

30. november 2017



# Projektet og partnerne



- Forprojekt fra 2014
- Støtteprogram: ForskEL
- Budget, samlet: 2,96 mio. kr.
- Kører i perioden:
  - Oktober 2015 til ultimo juni 2018

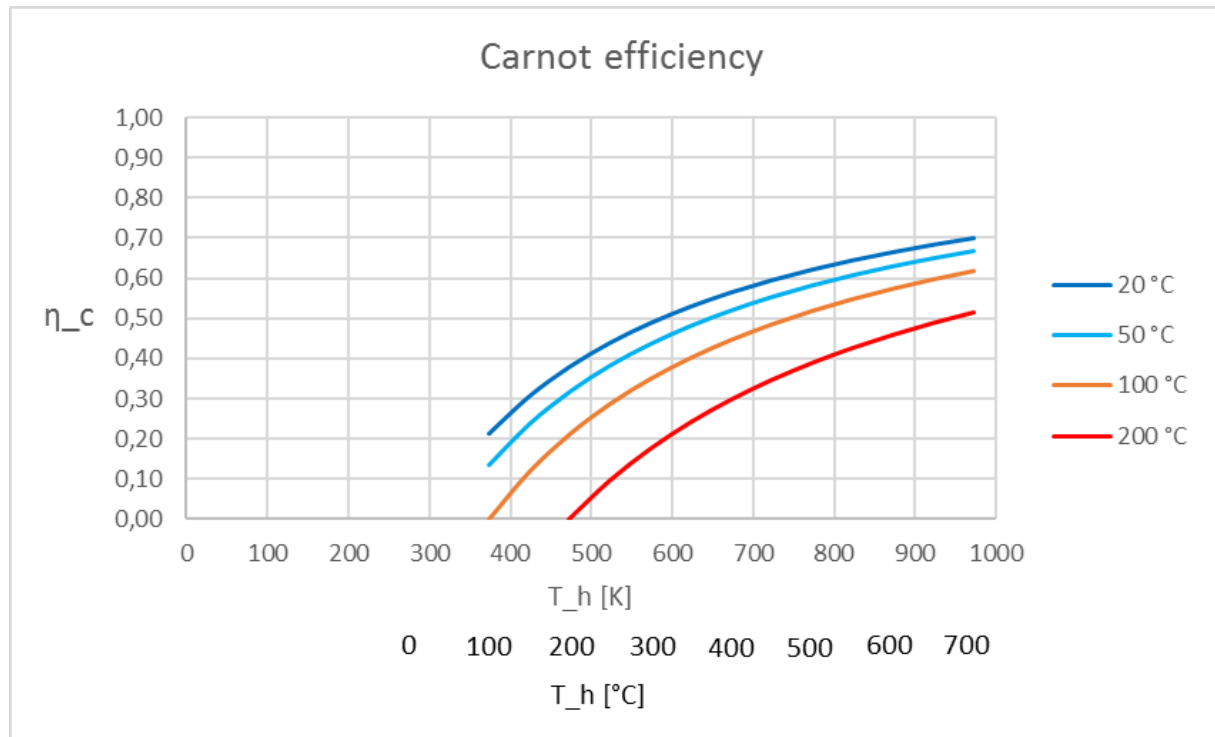


# Hvorfor højtemperatur lager?

- Teoretisk maksimum (Carnot)

$$\eta = 1 - T_C/T_H$$

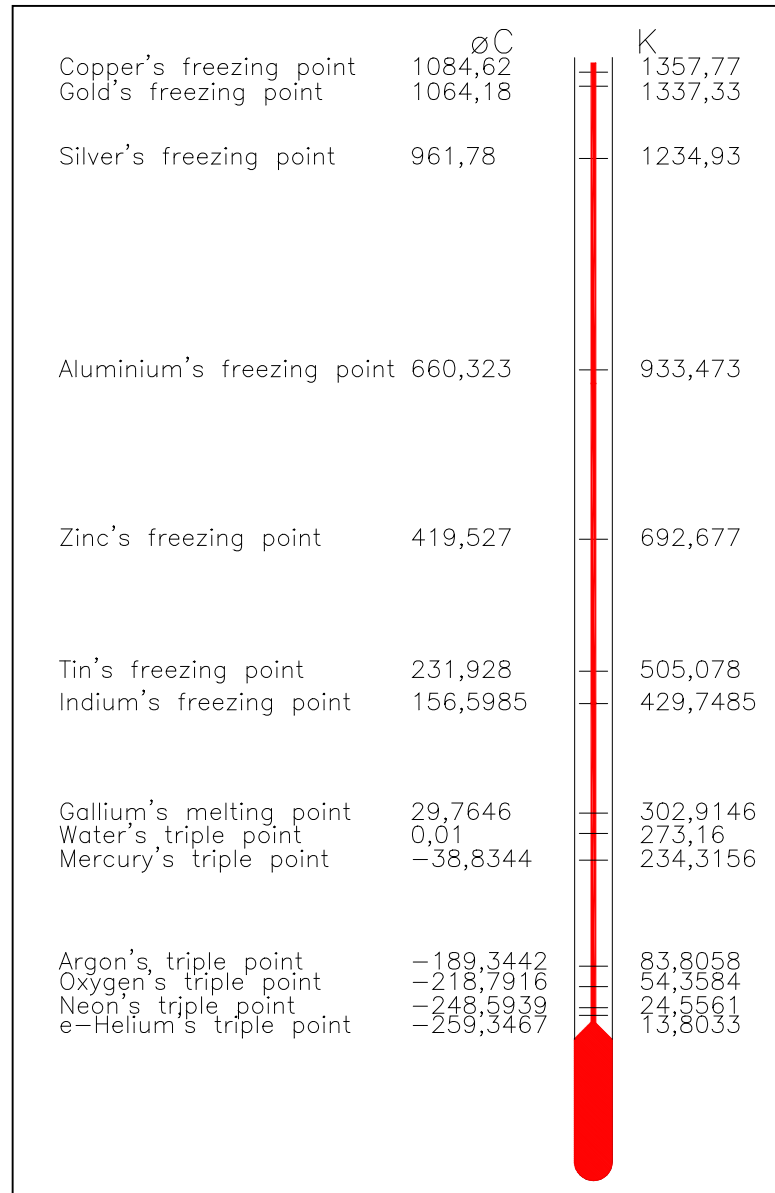
T skal være i K



# Kandidater

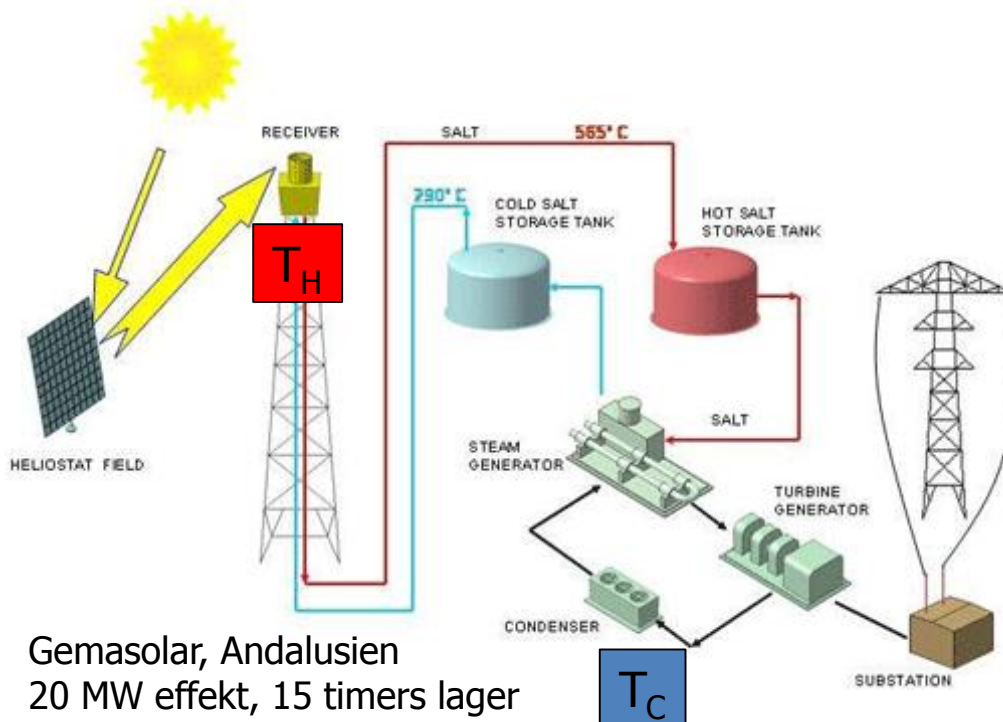


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



# Højtemperaturlagring i dag

- Behov for lagring især inden for solvarme (CSP)
- **Sensibel** lagring – lagring ved temperaturændring i lagringsmediet - er mest udbredt, også i stor skala

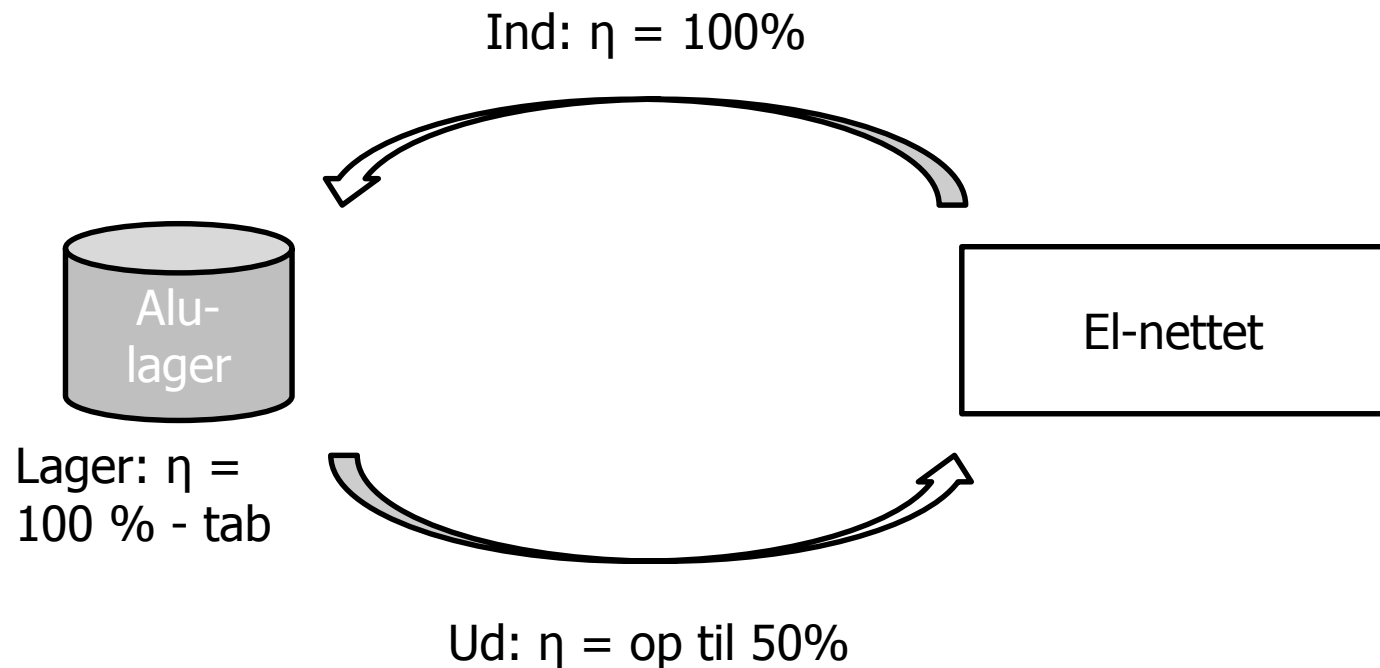


Gemasolar, Andalusien  
20 MW effekt, 15 timers lager



# Roundtrip efficiency

- Lagring af elektricitet som varme ved høj temperatur



# Målsætning i projektet

1. Prototype: Funktionsprincippet skal demonstreres
  - a. Langtidstest – effekt af mange cykler
  - b. Dokumentere størrelsen på tabene fra lageret
  - c. Dokumentere opnåede effekt samt temperatur ind/ud af lageret, samt lagerets kapacitet



# Projektaktiviteter

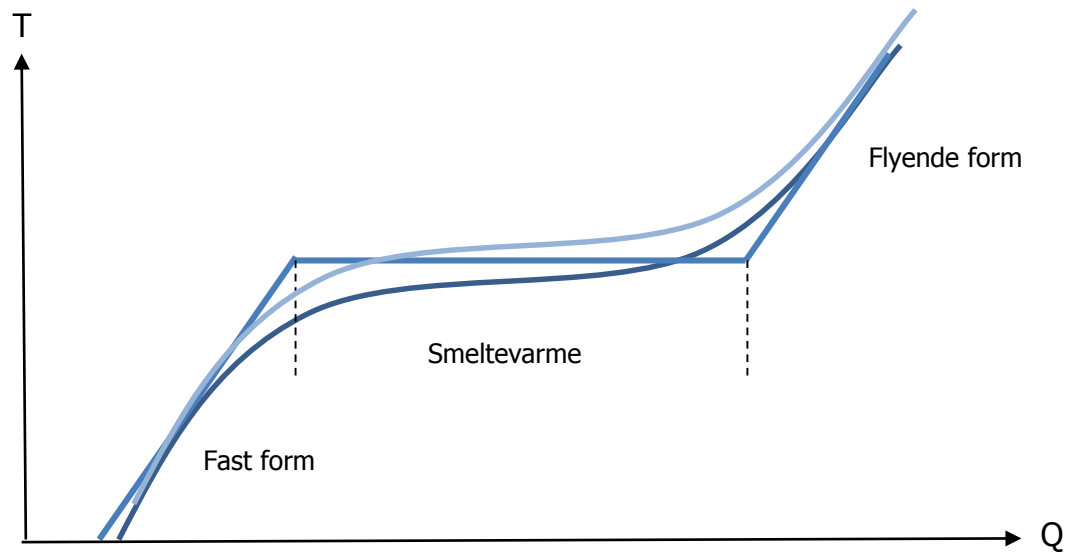
- Gennemgået lagerdesigns
- Materialeundersøgelse omkring egnede materialer
- Simuleringer af størknefront i COMSOL
- Undersøgelse af egnede legeringer, samt Al egenskaber omkring smeltetemperaturen
- Velegnede isoleringsmaterialer til højtemperatur
- Indkøb og klargøring af test med mange termiske cykler
  
- Nu:
  - Opbygning af lagerprototype
  - Opstart og kørsel af test med mange termiske cykler

# Smeltekurver

100% Rent materiale

Urent materiale eller legering

Stabilitet ved gentagne cykler



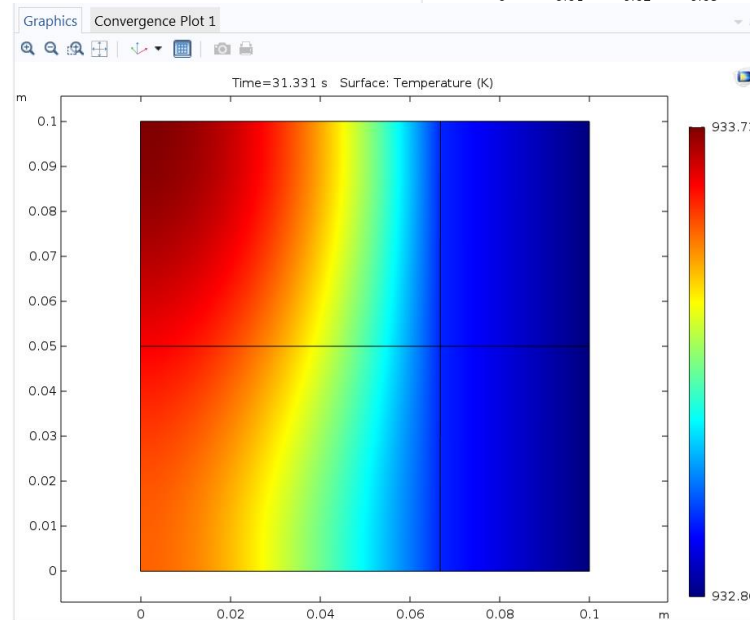
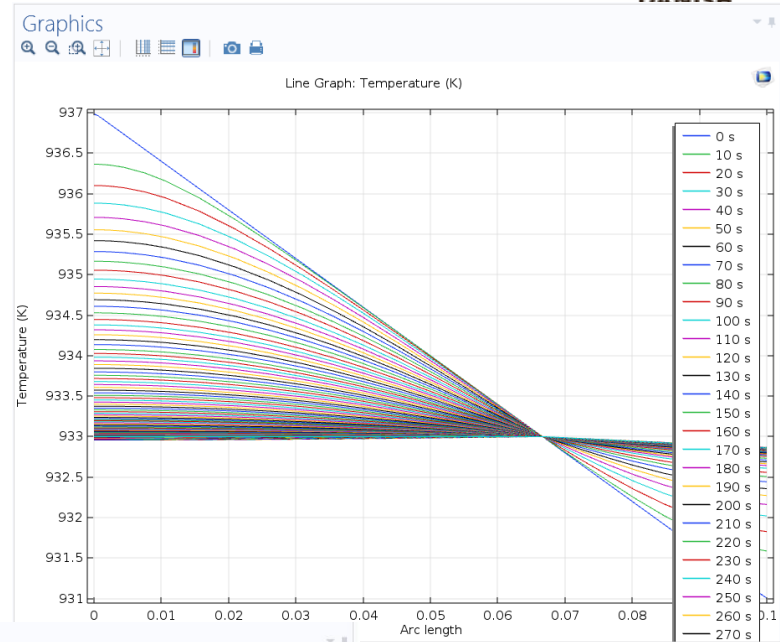
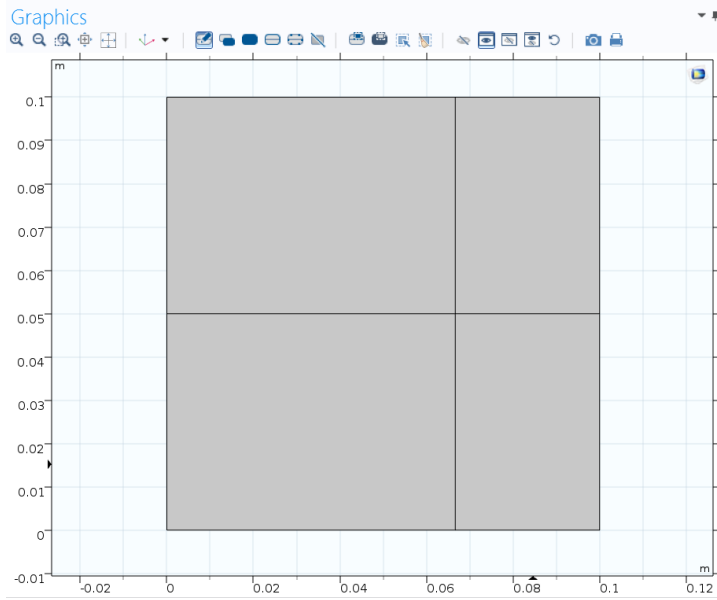
En af motivationerne for at lave test med mange gentagne termiske cykler.

# Video



DANISH

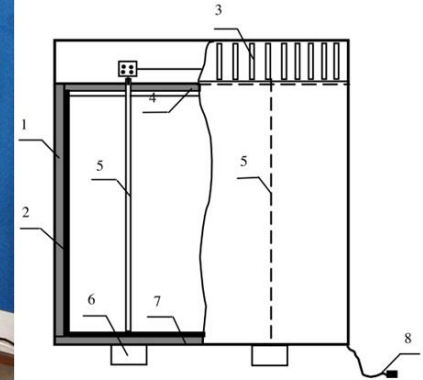
ICAL



# Varmelagring i metaller fase-skift

- Meget få studier/projekter omhandler lagring af varme i metaller fase-skift

*Radiator til opvarmning af beboelse – varme frigøres ved konvektion*



- Inner surface of container
- Air in air layer
- Exterior surface of back of the frame
- Exterior surface of side of the frame
- Exterior surface of front of the frame
- Amibent air

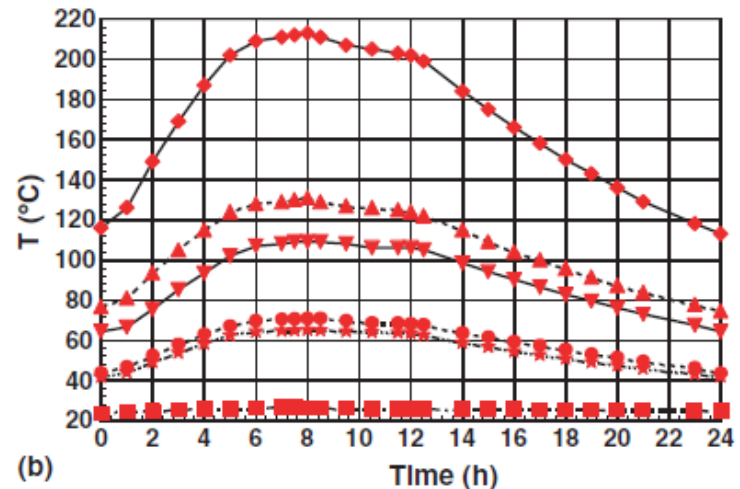
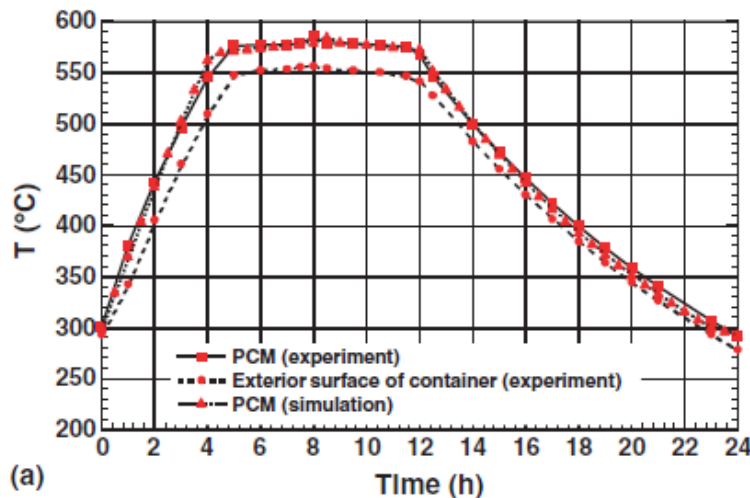
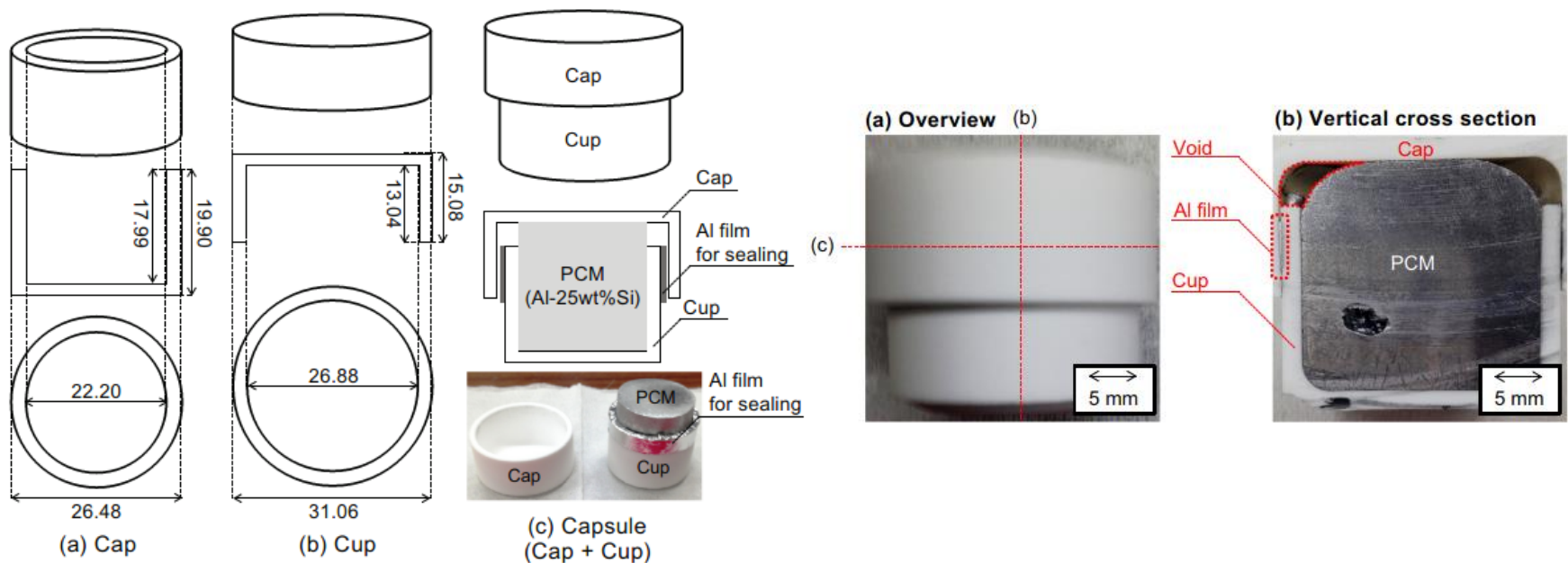


Fig. 9. Temperature curves with heating power of 1540 W.

# Macro-encapsulation of metallic phase change material using cylindrical-type ceramic containers for high-temperature thermal energy storage

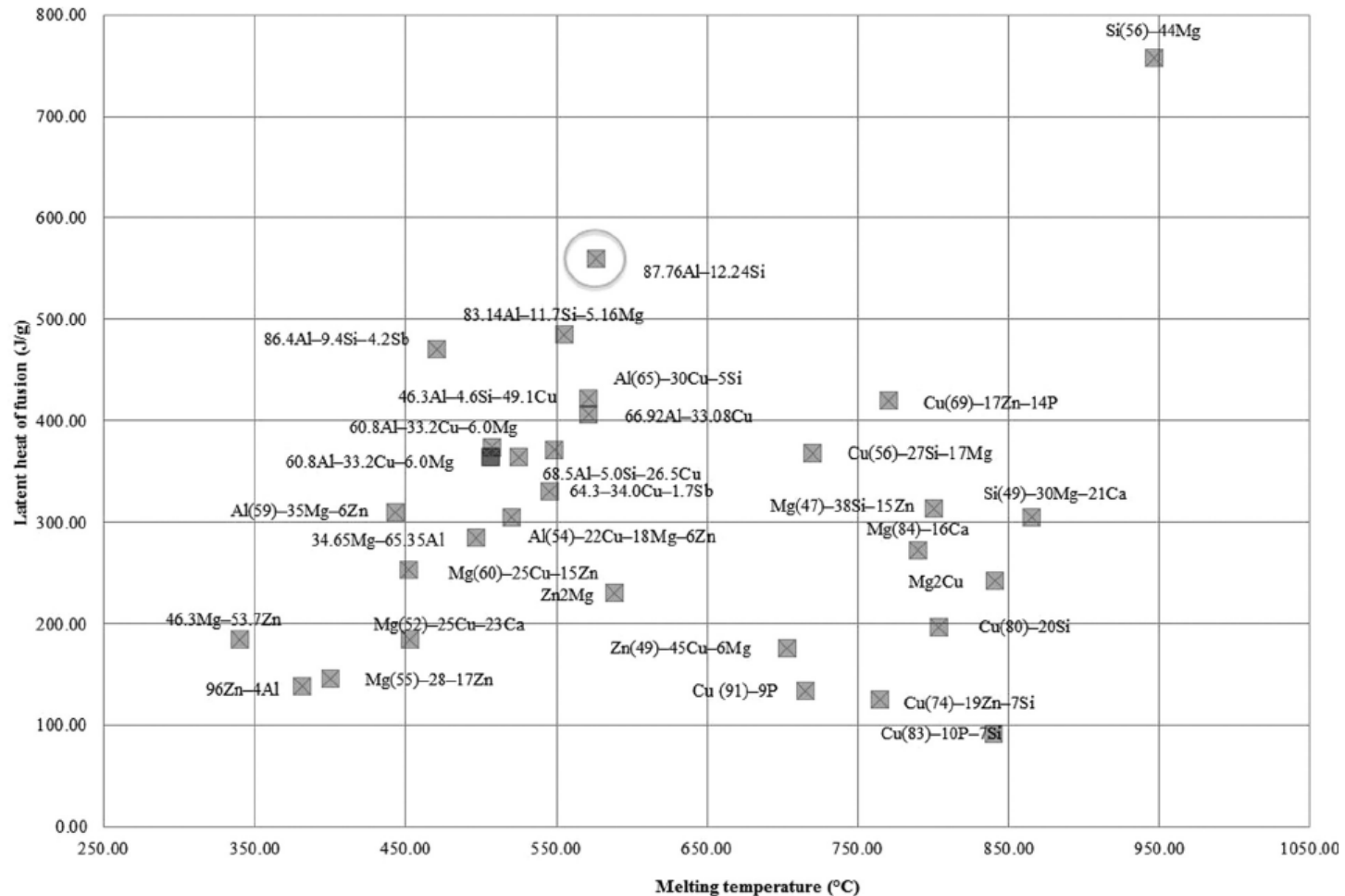
- R. Fukahori, et al. 2016

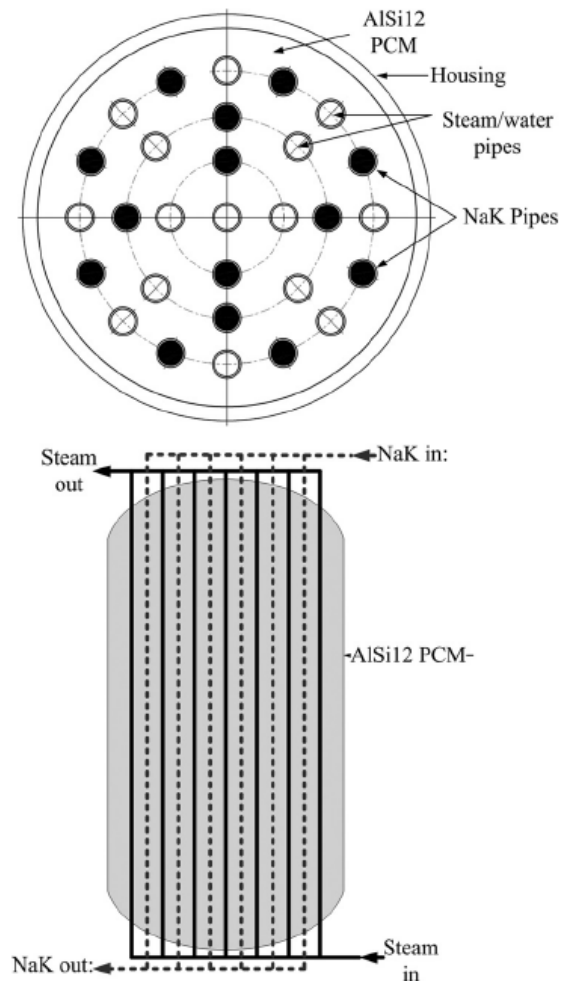


# High Temperature Thermal Energy Storage Utilizing Metallic Phase Change Materials and Metallic Heat Transfer Fluids



- J. P. Kotzé, 2013







# Aluminium som M-PCM

- Høj temperatur ved faseskift (660 °C)
  - Termodynamisk mere effektiv ved tilbagekonvertering ved høj temp.
  - Ideel til elproduktion – stabilt temperaturforløb
- Meget høj varmeledningsevne
- Relativt billig  
(13 kr/kg, svinger dog meget)  
Stor erfaring med håndtering
- Energiindhold:  
0,107 kWh/kg / 300 kWh/m<sup>3</sup>
- El effektivitet 40%  
+ evt. fjernvarme
- Al stadig intakt ved skrotning



Smeltedigel med smeltet aluminium. Røret ned i metallet indeholder en Pt100-føler.



Gasfuret aluminium-smelteovn.



Ødelagt smeltedigel, materialet er grafitholdigt.



Til kabelføring, er modstandsdygtig overfor smeltet aluminium.



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Mange tak

Peter Reinholdt

Konsulent

Køle- og varmepumpeteknik

Aarhus

E-mail: [npr@teknologisk.dk](mailto:npr@teknologisk.dk)

Tlf: 7220 1682

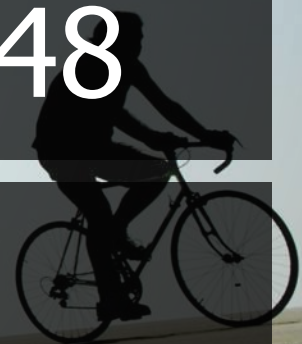


TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# II: status på IEA ECES Annex 48

Lars Reinholdt, Køle- og varmepumpeteknik

30. november 2017



# Formål med lagring

- Øge systemeffektivitet
- Større fleksibilitet i energi- eller proces system
- Øge anvendelsen af vedvarende energi

IEA ECES (Energy Conservation through Energy Storage)  
Annex 30 "Thermal Energy Storage for Cost-Effective Energy  
Management and CO2 Mitigation"

<http://www.eces-a30.org/>

Dansk deltagelse støttet af EUDP: Projektnr. 64015-0639

Partnere: Teknologisk institut, PlanEnergi, DTU

# Lagres udfordring (industri)

Lagre er (oftest)

“Nice to have”

Ikke

“Need to have”

De er oftest ikke den eneste løsning til et problem, men leverer “blot” varme/kulde på en mere hensigtsmæssig måde end alternativerne:

- Spare på primærenergi (varmegenvinding)
- Større energiandel fra bedst egnede energiproduktionsenheder
  - Solvarme, vind, varmepumper biobrændselskedler
- Billigere termisk energi
- Mere optimal samdrift af delsystemer (f.eks. varmepumper og gasmotorer)

Og/eller produktionsmæssige fordele

- Bedre udnyttelse af energiproduktionsudstyr (“peak shaving”)
- Hurtigere opstart
- Mindre spild
- Fjerne flaskehalse

# Termiske lagertyper

## Klasser

- Sensible
  - Latent (PCM, is, voks, salte, metal)
  - Kemiske (absorption, kemisk reaktion)
- 
- Stationære
  - Transportable

Flere detaljer:

Avanceret Energilagring 2016



# IEA ECES Annex 30

## Arbejdspakker

1. Kravspecifikation (Definition of requirement)
2. Effektiv lagerdensitet (Effective Storage Density)
3. KPI (Key Performance Indicators)
4. Priskalkulation (Cost Calculation)
5. Anvendelse – case-studier (Application – Case Studies)



# IEA ECES Annex 30

## Arbejdspakker

- 1. Kravspecifikation (Definition of requirement)**
2. Effektiv lagerdensitet (Effective Storage Density)
- 3. KPI (Key Performance Indicators)**
4. Priskalkulation (Cost Calculation)
- 5. Anvendelse – case-studier (Application – Case Studies)**

# IEA ECES Annex 30





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## 1. Kravspecifikation (Definition of requirement)

### Værktøj/spørgeskema (excel)

- Eksisterende lagre
- Nye projekter (< DK gruppen...)

Annex 30 Survey  
Version: August 17, 2017

Annex 30 Survey - Introduction	
 <p>This trial version of the survey has two purposes: 1) to evaluate the work of Annex 30 and 2) to collect information on participant TES systems.</p> 	
Please return all responses to Duncan Gibb by September 22, 2017	
Please provide as much information as possible in the gray boxes. If unable, feedback as to why this information is unavailable would be appreciated.	
<b>SECTION ONE: PROCESS ANALYSIS</b>	These questions provide a comprehensive overview of the process investigated and its suitability for integration of a thermal energy storage system. This tool provides a condensed version. Please consult the Process Analysis Guidelines linked on the Process Analysis sheet for more information. Given the lab-scale research work by most members in A30, it is fine if not all questions have responses.
<b>SECTION TWO: TECHNICAL PARAMETERS</b>	Here you can indicate what you consider to be the most important technical parameters of their storage system(s). Also you are asked to define the boundary of the TES system being analyzed. A sketch of the system boundary is encouraged and a detailed description is appreciated.
<b>SECTION THREE: ECONOMIC PARAMETERS</b>	The section on economic parameters asks you to provide financial data that characterizes their storage system.
<b>SECTION FOUR: KEY PERFORMANCE INDICATORS</b>	This section evaluates the benefit of the TES integration from several stakeholder perspectives. Here you can identify the 'performance indicators' of the TES system in the process, then select three stakeholder perspectives to analyze the benefit this storage brings, i.e. to identify the KPI. The KPI will not necessarily differ between some stakeholders - that is also an important result of the analysis. An example has been provided on 'KPI Example'.
<b>SUMMARY &amp; EXTRA INFORMATION</b>	This sheet compiles the responses from the previous pages and provides a compact overview of the analysis. Please complete any gray boxes that are missing information, as much as you are able.
This is a first attempt at a broad analysis of thermal energy storage integration. As such, it is a constant work in progress and feedback is welcome.	
<b>Contact me with questions:</b>	
Duncan Gibb	
German Aerospace Center (DLR)	
Duncan.gibb@dlr.de	
Tel: +49 (0) 711 6807 348	

# IEA ECES Annex 30

## 3. KPI (Key Performance Indicators)

- Mange, når der ses fra lageret og ud mod anvendelsen
- Få, når der ses fra kunden og ind på lageret (DK gruppens forslag):
  - Spare på primærenergi (varmegenvinding)
  - Større energiandel fra bedst egnede energiproduktionsenheder
    - Solvarme, vind, varmepumper biobrændselskedler
  - Billigere termisk energi
  - Mere optimal samdrift af delsystemer (f.eks. varmepumper og gasmotorer)

Og/eller produktionsmæssige fordele

- Bedre udnyttelse af energiproduktionsudstyr ("peak shaving")
- Hurtigere opstart
- Mindre spild
- Fjerne flaskehalse
- ...

# IEA ECES Annex 30

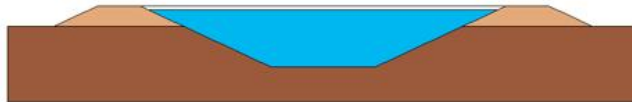


TEKNOLOGISK  
INSTITUT

## 5. Anvendelse – case-studier (App. – Case Studies)

- 19 forskellige typer, i alt 50 anlæg
- De danske bidrag: Damvarmelagre
  - 19.000 til 203.000 m<sup>3</sup> sæsonlagre

### Marstal SUNSTORE 4 PTES



PlanEnergi





TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# Mange tak

Lars Reinholdt

Faglig leder

Køle- og varmepumpeteknik

Aarhus

E-mail: [ire@teknologisk.dk](mailto:ire@teknologisk.dk)

Tlf: 7220 1270

Nyt kursus:

Få mere ud af dine energidata

11. december 2017 i Aarhus

[www.teknologisk.dk/kurser/faa-mere-ud-af-dine-energidata/k27092](http://www.teknologisk.dk/kurser/faa-mere-ud-af-dine-energidata/k27092)

Søg på Teknologisk Institut...

Teknologisk Institut > Kurser > Energi og bygget > Energitestemønstre og energirådgivning > Få mere ud af dine e

1 dags kursus

Få mere ud af dine energidata

Teknologisk Institut introducerer et nyt kursus, som giver dig mulighed for at analysere og dokumentere forbedringer og nemme tiltag ved at forstå og anvende jeres energidata bedre.

Med et afsæt i energimæssige estimater og måledata, inklusiv tolerancer, vil de største potentialer for forbedringer og de nemmest tilgængelige tiltag kunne analyseres, og deres effekt dokumenteres.