TEKNOLOGISK
INSTITUT

it's all about innovation

TEKNOLOGISK INSTITUT

Højtemperaturlagring i smeltet metal

Lars Reinholdt

Køle- og varmepumpeteknik
29. november 2018

Lagring af overskuds-el

TEKNOLOGISK INSTITUT

Kort tid – mindre mængder – stor effekter

- Batterier
- …

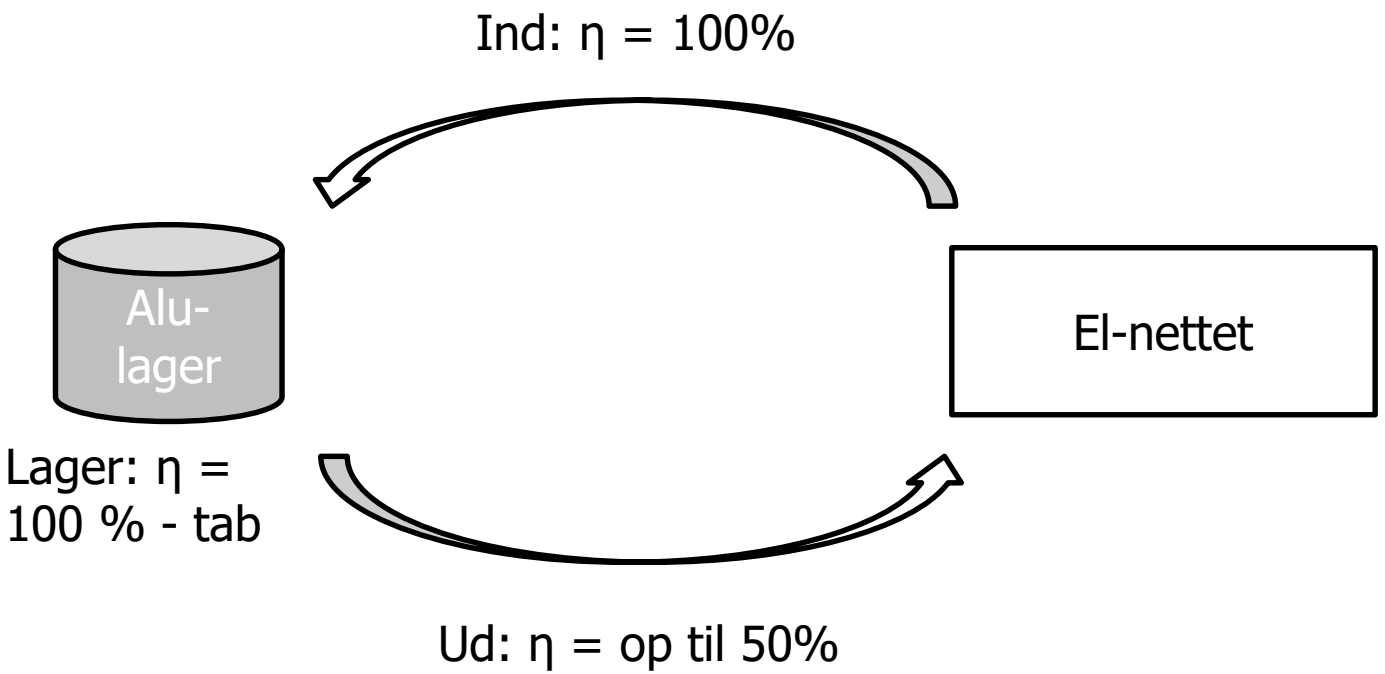
Længere tid

- Vand og højde
  - Hydro: Vandkraft og deres magasiner med/uden oppumpning
- Tryk
  - Komprimeret luft (CAES)
- Varme
  - Carnot batterier (PHES, Pumped Heat Energy Storage)
  - Direkte lagring som højtemperatur varme

Roundtrip efficiency

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

- Lagring af elektricitet som varme ved høj temperatur



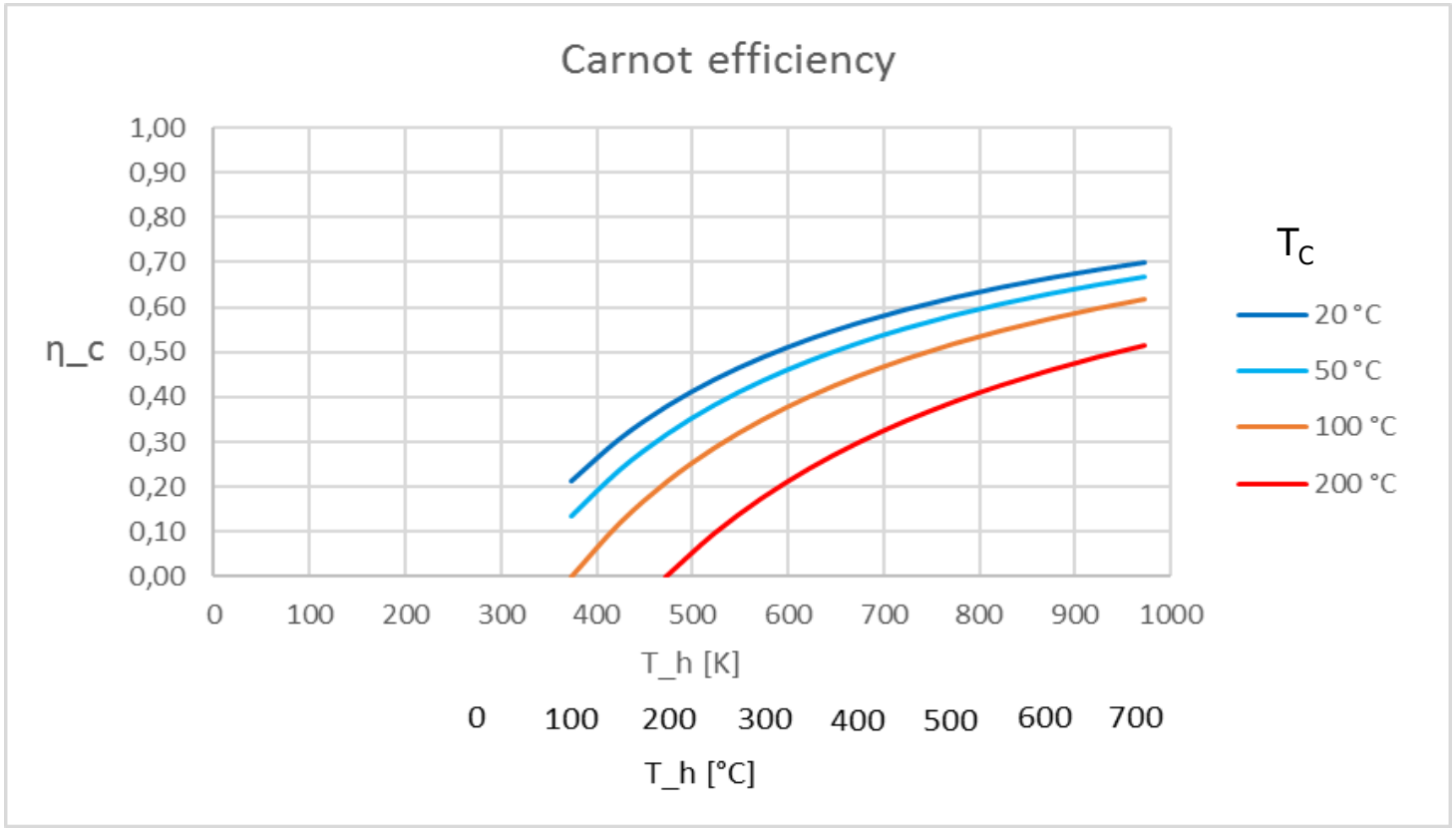
Hvorfor højtemperatur lager?

TEKNOLOGISK INSTITUT

Hvor godt kan det blive?

- Teoretisk maksimum (Carnot)

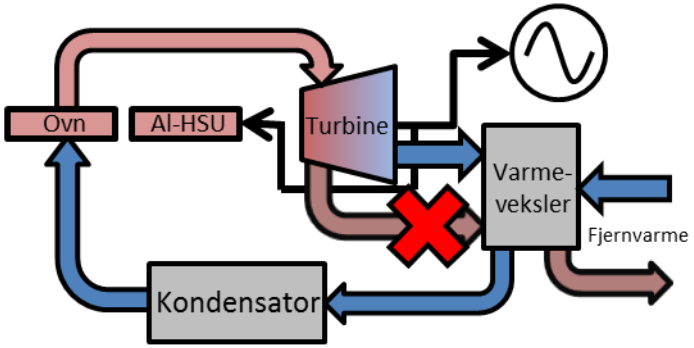
$$\eta = 1 - T_C/T_H$$ T skal være i K



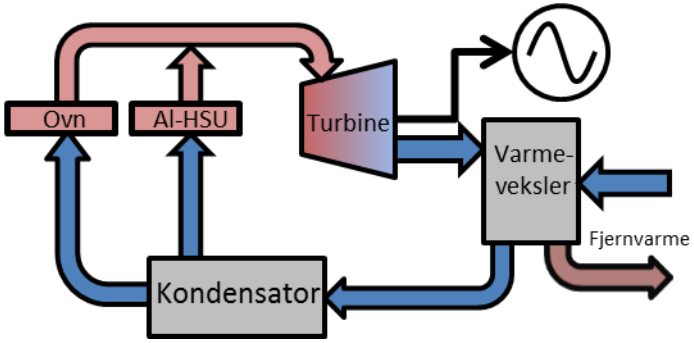
Idéen

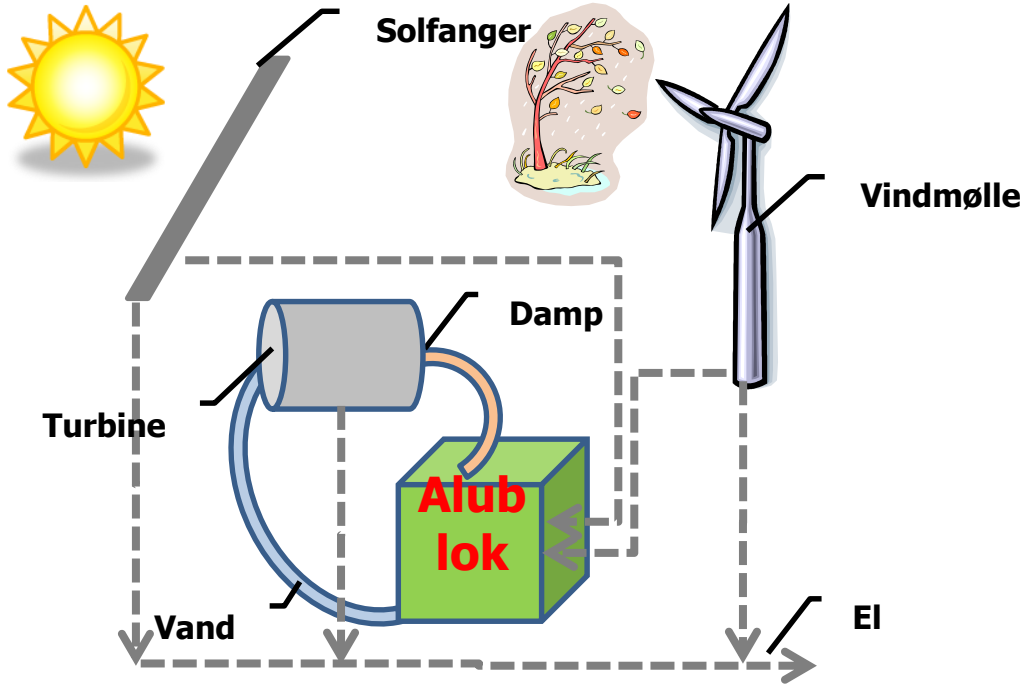
TEKNOLOGISK INSTITUT

Opladning af Al-HSU ved overproduktion



Afladning ved uønsket fald i produktion

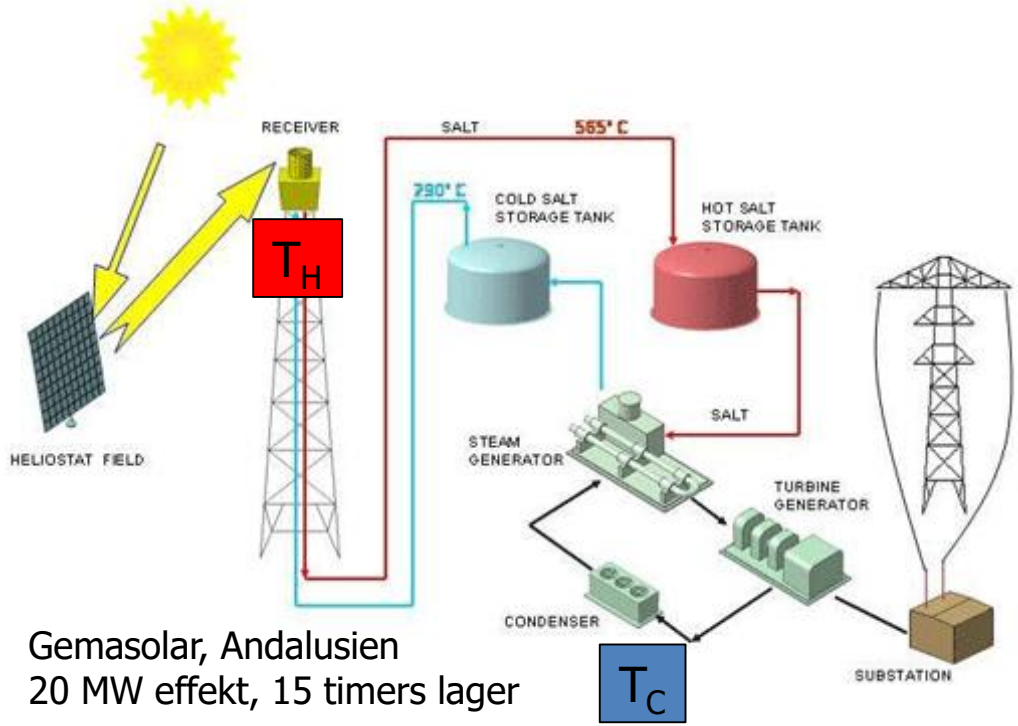




Højtemperaturlagring i dag

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

- Behov for lagring især inden for solvarme (CSP Concentrated Solar Power)
- **Sensibel** lagring – lagring ved temperaturændring i lagringsmediet - er mest udbredt, også i stor skala
- Smeltet salt: Maksimalt 520°C, dårlig varmeledning/varmeovergang



Gemasolar, Andalusien
20 MW effekt, 15 timers lager

Projektet og partnerne

TEKNOLOGISK INSTITUT

FORSK EL
F&U i fremtidens elsystem

eUDP
Energiteknologisk udvikling og demonstration

- Forprojekt fra 2014
- Støtteprogram: ForskEL
- Budget, samlet: 2,96 mio. kr.
- Kører i perioden:
  - Oktober 2015 til ultimo marts 2019

TEKNOLOGISK INSTITUT

umhvørvisstovan

JARÐFEINGI

DTU

AALBORG CSP

VERDO
energi til fremtiden

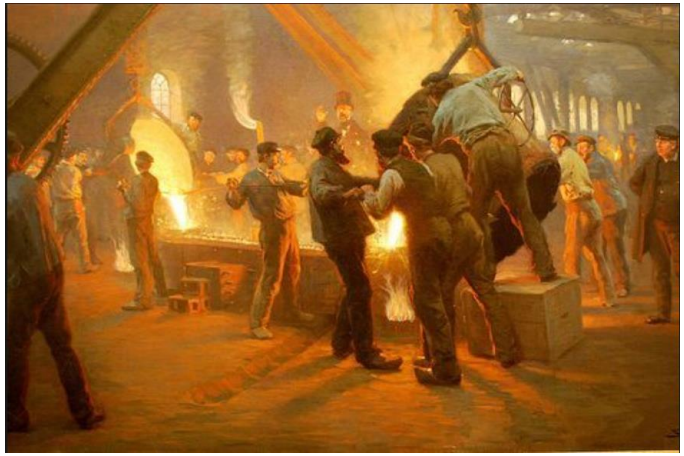
Smeltet metal

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

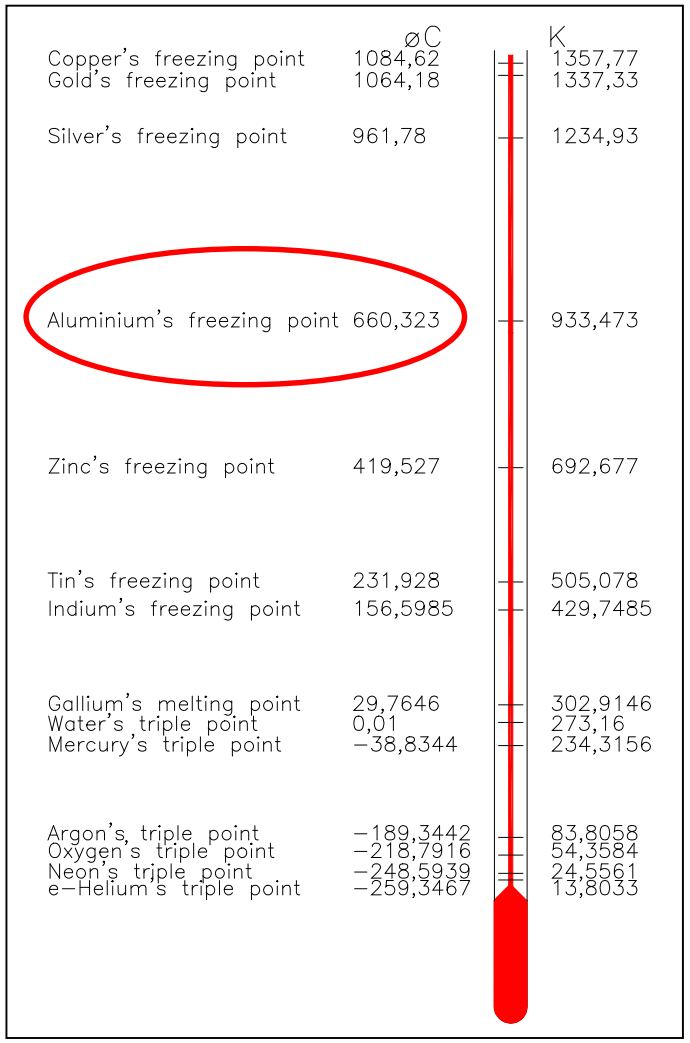
- "Kendt" teknologi
- Udnytte faseskiftet (smeltevarmen ved (næste) konstant temperatur)
- God varmeledning
- God varmeovergang

Nuværende damp-turbinekraftvæker:

Damptemperatur 500 – 600 °C



Kandidater:



Smeltekurver

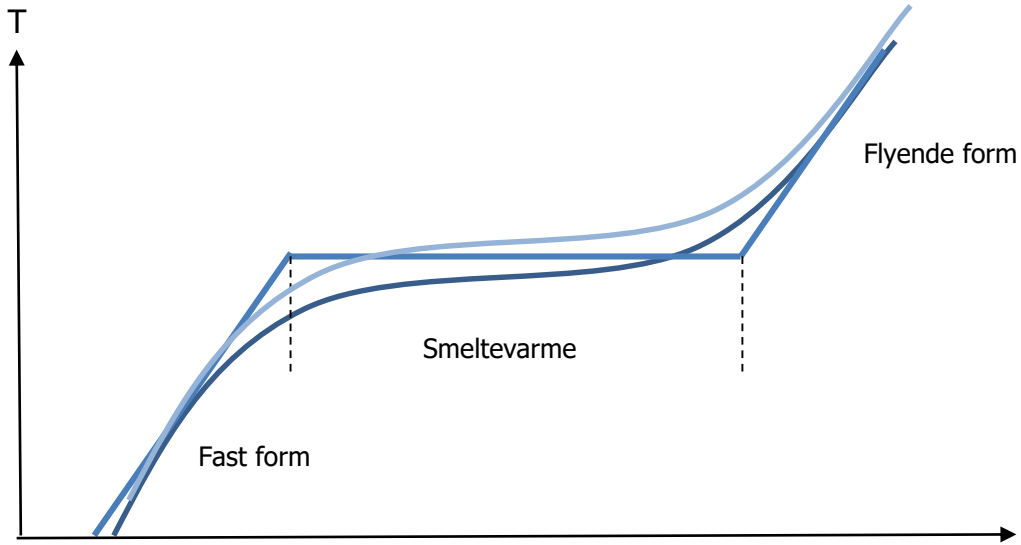
DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

100% Rent materiale

Urent materiale eller legering

Stabilitet ved gentagne cykler?

Kraftpåvirkninger ved cykler?



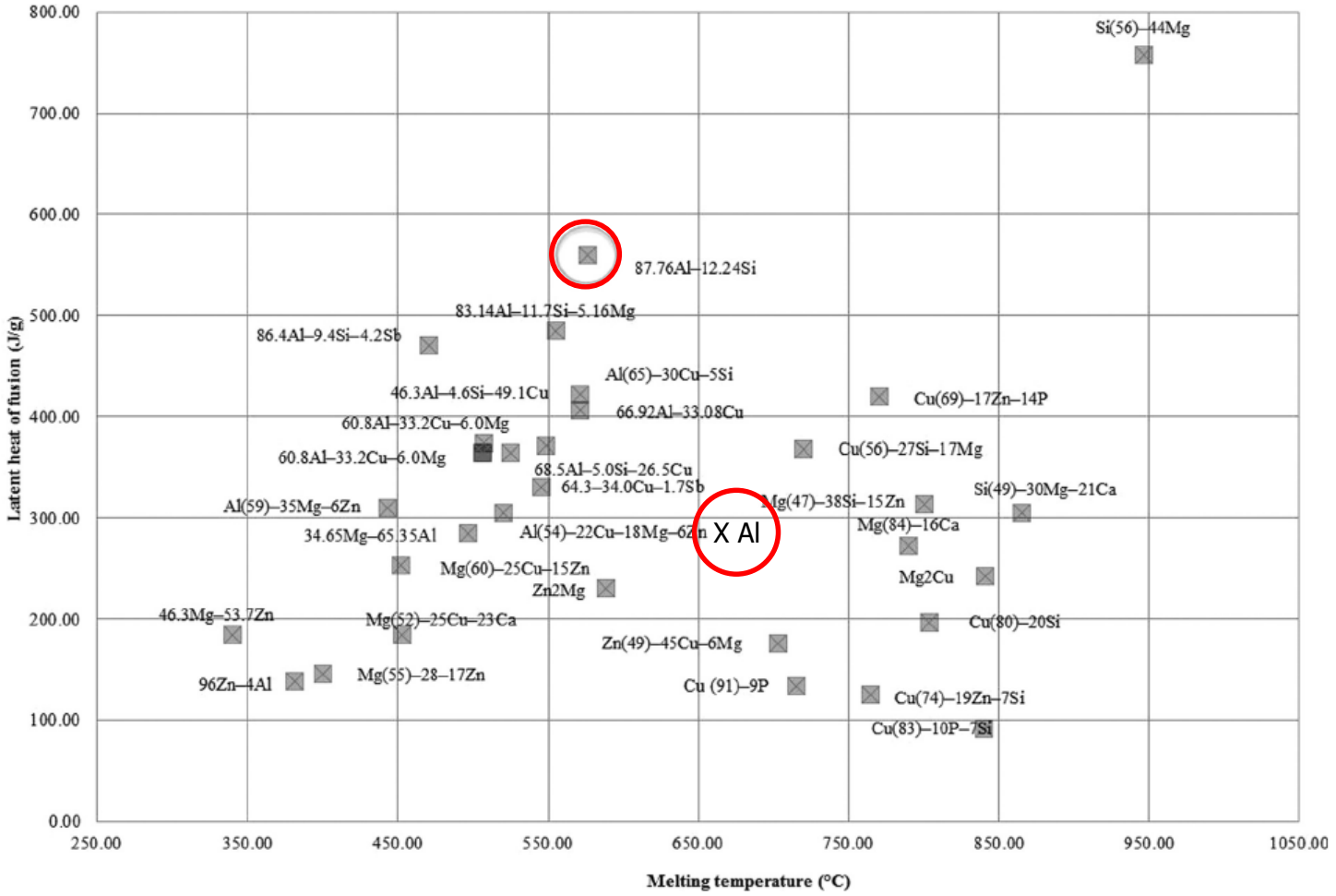
Når en digel ikke er designet til at komme langt under smelte-temperaturen.

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

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

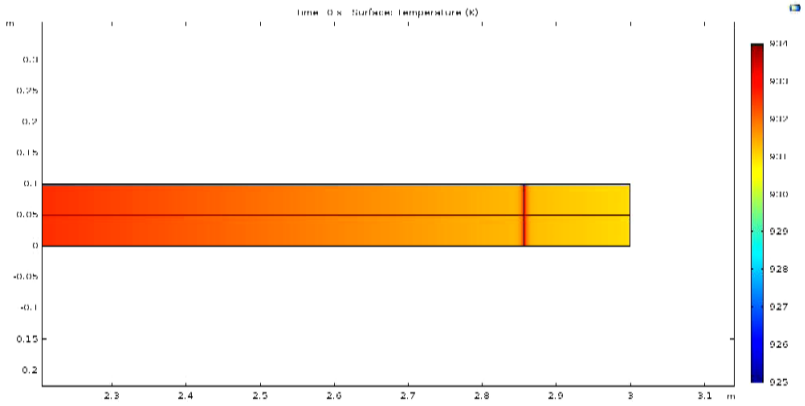
TEKNOLOGISK INSTITUT

- J. P. Kotzé, 2013

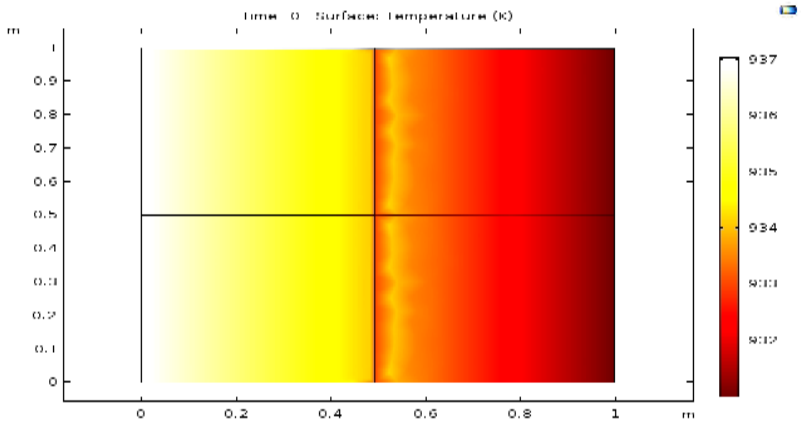


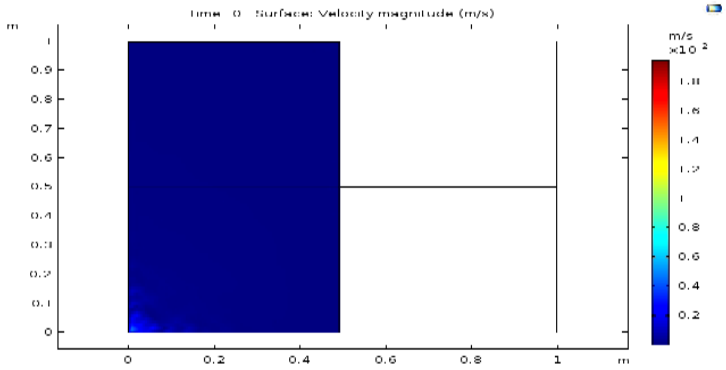
Simulering

Størkning Flux 5kW/m^2



Smeltning: Flux 5kW/m^2

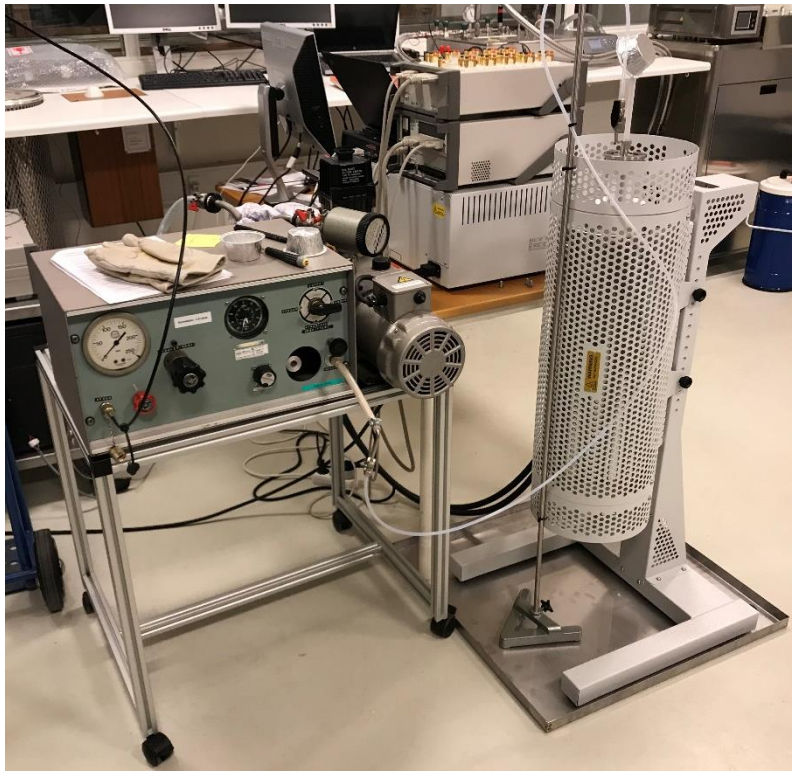


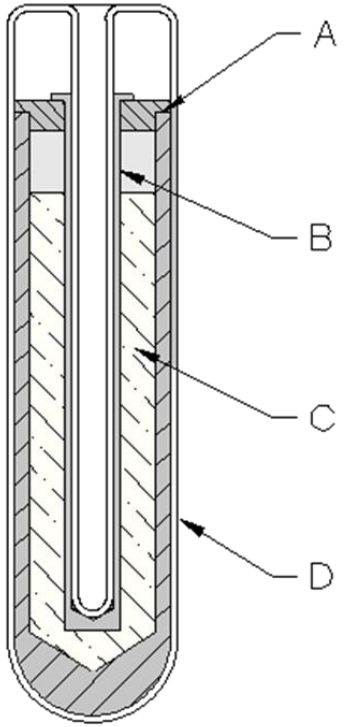


Test: Materiale

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

- Stabilitet ved gentagne cykler?

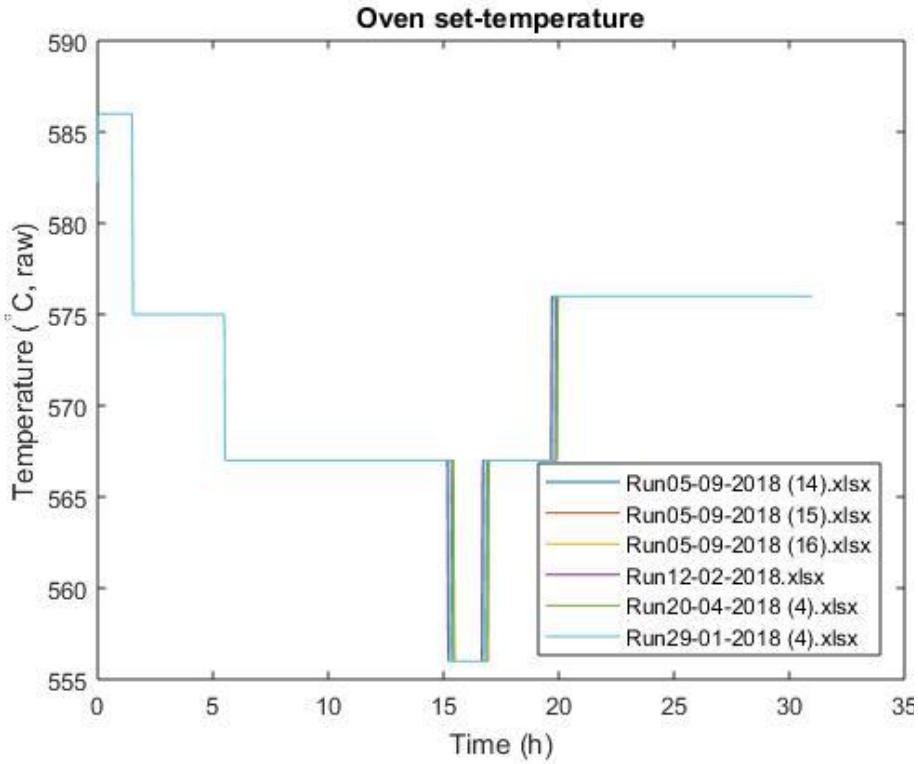


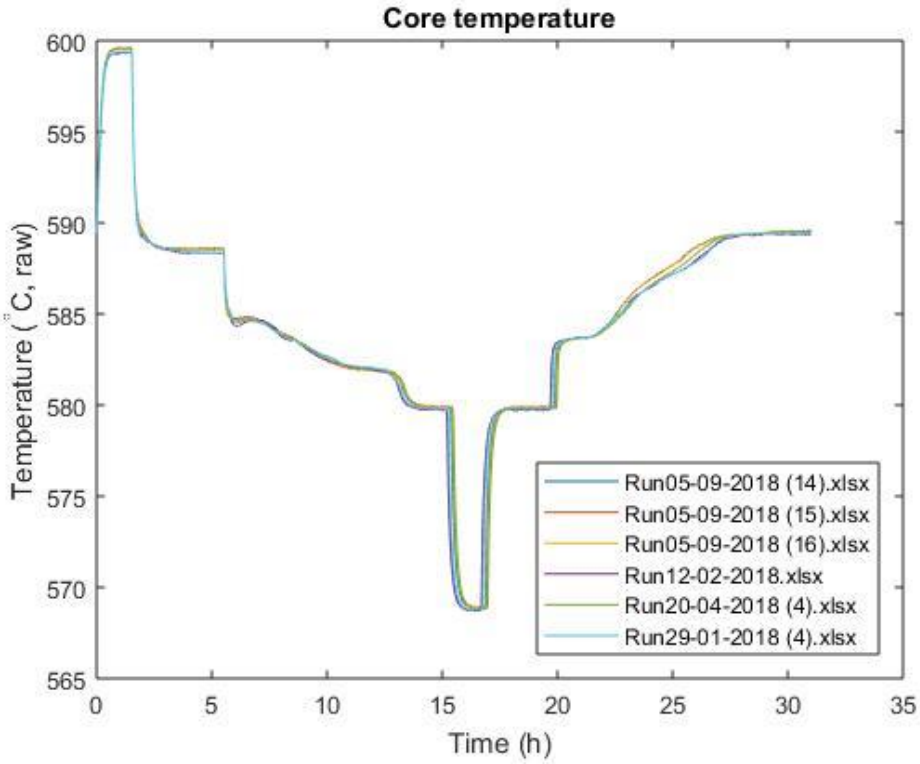


Test: Materiale

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

- Stabilitet ved gentagne cykler?

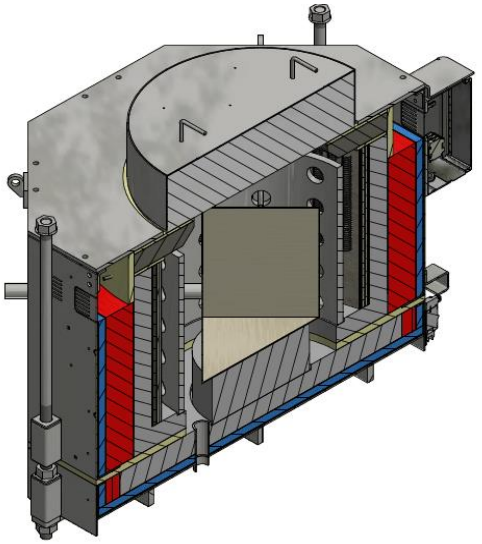


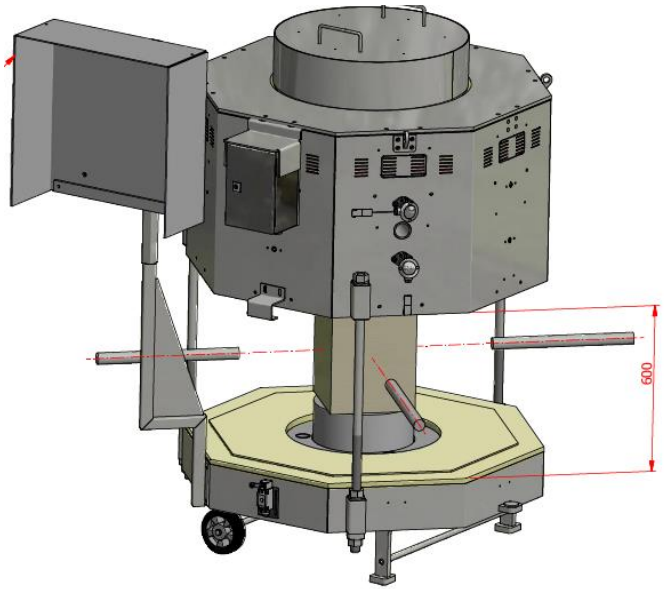


Test: Mekanisk påvirkning

DANISH TECHNOLOGICAL INSTITUTE

- Stabilitet ved gentagne cykler?



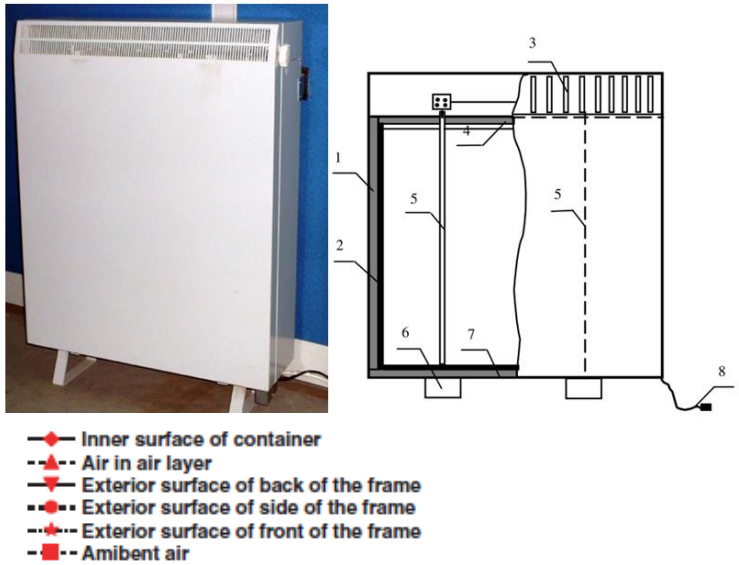


Varmelagring i metallers faseskift

TEKNOLOGISK INSTITUT

- Meget få studier/projekter omhandler lagring af varme i metallers faseskift

Radiator til opvarminng af beboelse – varme frigøres ved konvektion



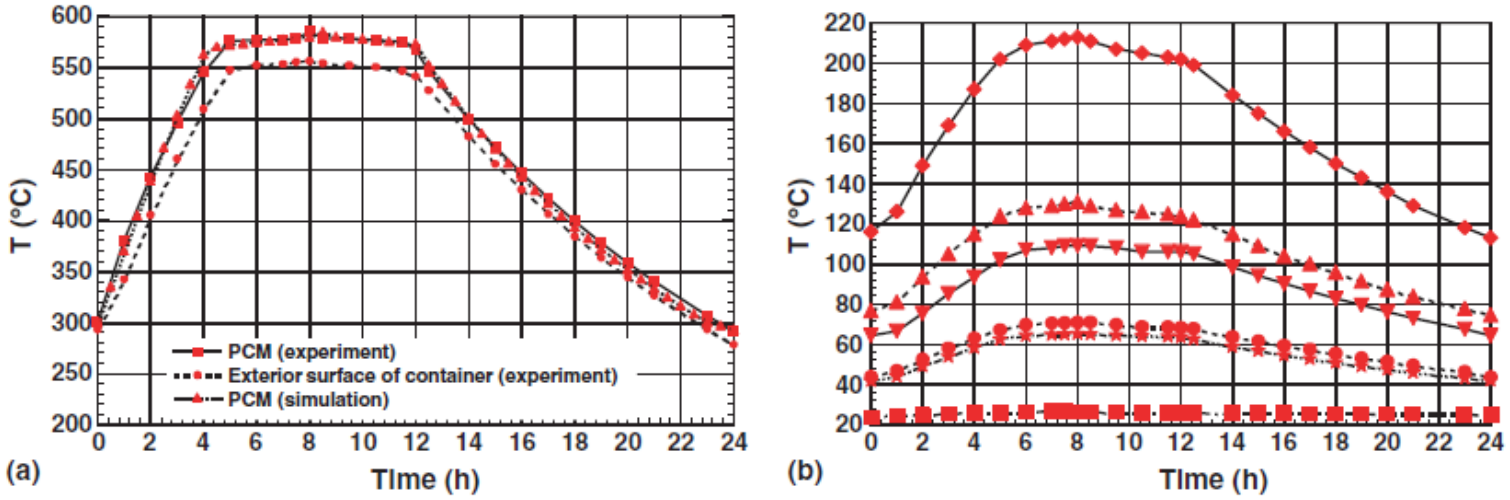


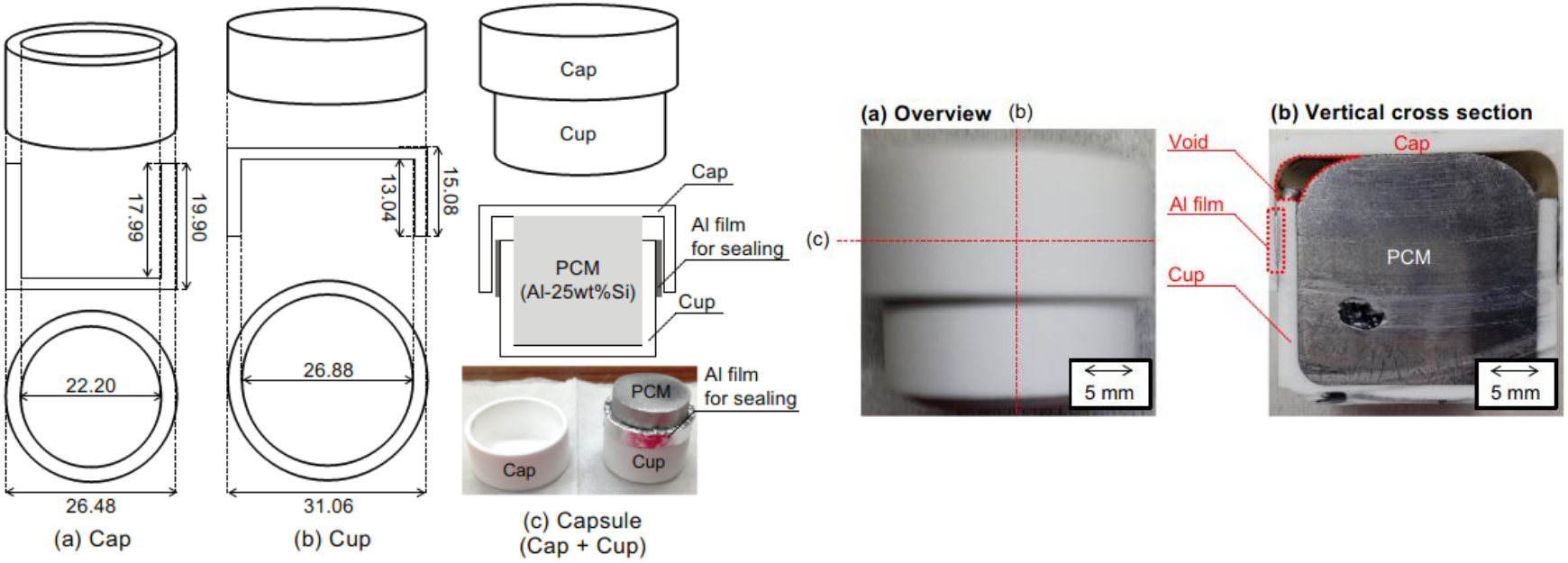
Fig. 9. Temperature curves with heating power of 1540 W.

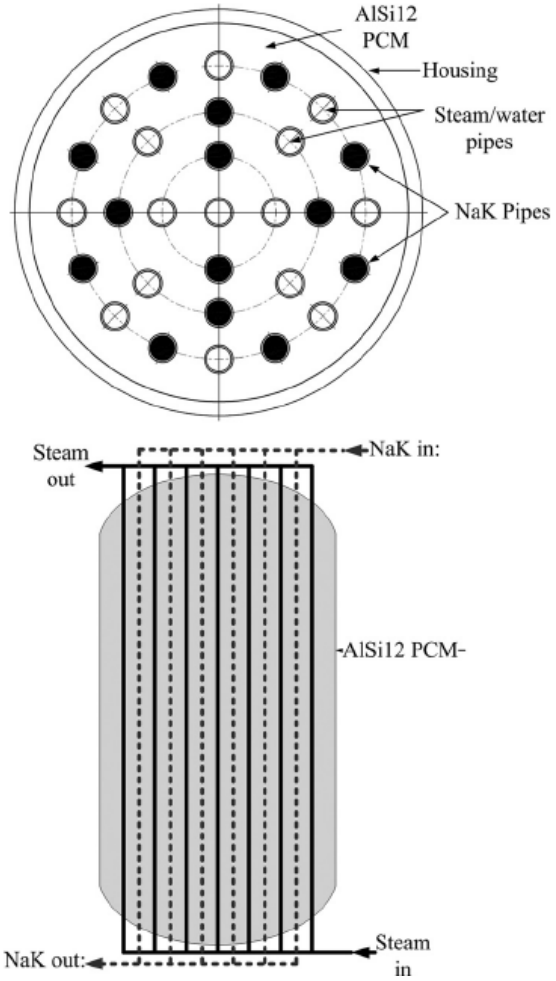
Wang et al., 2006. *Experimental research on a kind of novel high temperature phase change storage heater. Energy Conversion and Management, 47*, 2211-2222.

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

TEKNOLOGISK INSTITUT

- R. Fukahori, et al. 2016

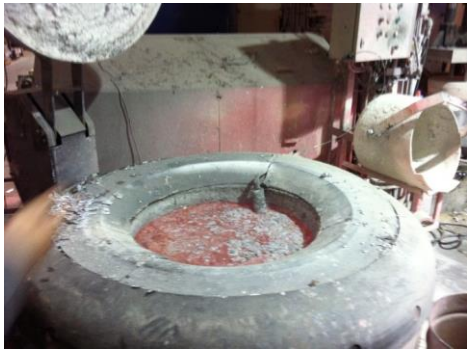



AlSi12
PCM
Housing
Steam/water
pipes
NaK Pipes
Steam
out
NaK in:
AlSi12 PCM
NaK out:
Steam
in

Aluminium som M-PCM

TEKNOLOGISK INSTITUT

- 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^3
- El effektivtet op til 50%
  + evt. fjernvarme
- Al stadig intakt ved skrotning



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

Gasfyret aluminium-smelteovn.

Ødelagt smeltedigel, materialet er grafitholdigt.

Til kabelføring, er modstandsdygtig overfor smeltet aluminium.

TEKNOLOGISK INSTITUT

Mange tak

Lars Reinholdt
Faglig leder
Køle- og varmepumpeteknik

E-mail: lre@teknologisk.dk
Tlf: 7220 1270

TEKNOLOGISK INSTITUT

II: status på IEA ECES Annex 48

Lars Reinholdt, Køle- og varmepumpeteknik

29. november 2018

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 støtte af EUDP: Projektnr. 64015-0639

Partnere: Teknologisk institut, PlanEnergi, DTU

Lagres udfordring (industri)

TEKNOLOGISK INSTITUT

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

TEKNOLOGISK INSTITUT

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

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	
	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. 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.	
SECTION ONE: PROCESS ANALYSIS	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.
SECTION TWO: TECHNICAL PARAMETERS	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.
SECTION THREE: ECONOMIC PARAMETERS	The section on economic parameters asks you to provide financial data that characterizes their storage system.
SECTION FOUR: KEY PERFORMANCE INDICATORS	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'.
SUMMARY & EXTRA INFORMATION	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.	
Contact me with questions:	
Duncan Gibb German Aerospace Center (DLR) duncan.gibb@dlr.de Tel: +49 (0) 711 6862 348	

IEA ECES Annex 30

3. KPI (Key Performance Indicators)

TEKNOLOGISK INSTITUT

- 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

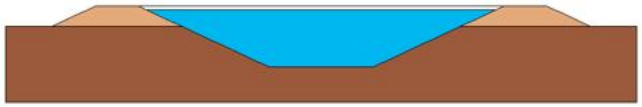
  - Bedre udnyttelse af energiproduktionsudstyr (”peak shaving”)
  - Hurtigere opstart
  - Mindre spild
  - Fjerne flaskehalse
  - …

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^3 sæsonlagre



PlanEnergi

TEKNOLOGISK
INSTITUT

Mange tak

Lars Reinholdt
Faglig leder
Køle- og varmepumpeteknik
Aarhus
E-mail: lre@teknologisk.dk
Tlf: 7220 1270