



## Webbinarium

**Så kan energilagring bidra till  
mer förnybar energi**

---

**Torsdag 8 juni 2023**

# Agenda & Talare



## Moderator:

**Emil Berg-Lundfeldt** - Energimyndigheten



**Smält saltlagring i kraftvärmeverk**  
**Fredric Ottermo**, Högskolan i Halmstad



**Utveckling av kombinerat energilager-värmeväxlare för PCM med luft som värmebärare**  
**Viktoria Martin**, KTH



**Förnybar energi och termisk energilagring för vinterunderhåll av transportinfrastruktur**  
**Signhild Gehlin**, Svenskt Geoenergicentrum

# Integration av el och värme via högtempererade värmelager

Fredric Ottermo, Mei Gong

Halmstad University

2023-06-08

# Projektet

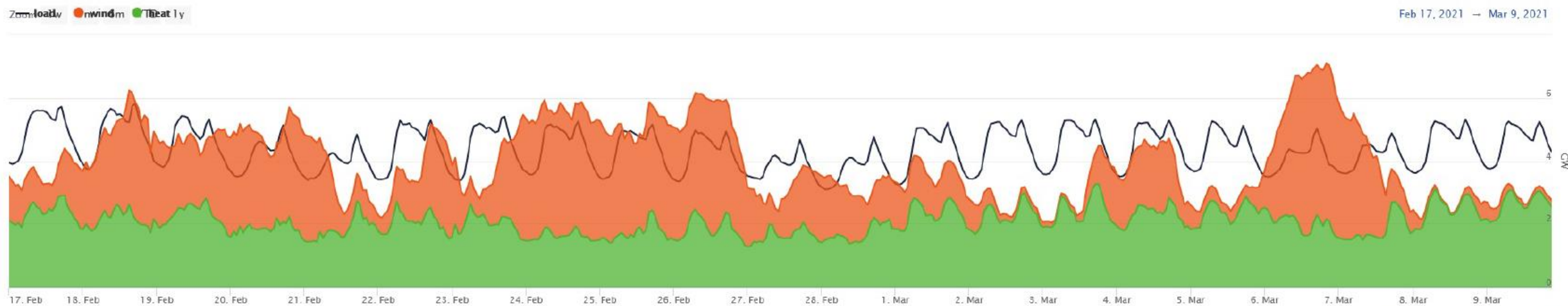
- ▶ Anslag från Energimyndigheten, TERMO-programmet.
- ▶ Titel: Integration av el och värme via högtempererade värmelager
- ▶ Period: ht 2019 – vt 2021
- ▶ Parter:
  - ▶ Högskolan i Halmstad:
    - Mei Gong (projektledare)
    - Fredric Ottermo
  - ▶ Kraftringen AB, Lund
    - Peter Ottosson



# Bakgrund

Ökat behov av balansering av kraftproduktion i framtiden.

Danmarks elförsörjning:



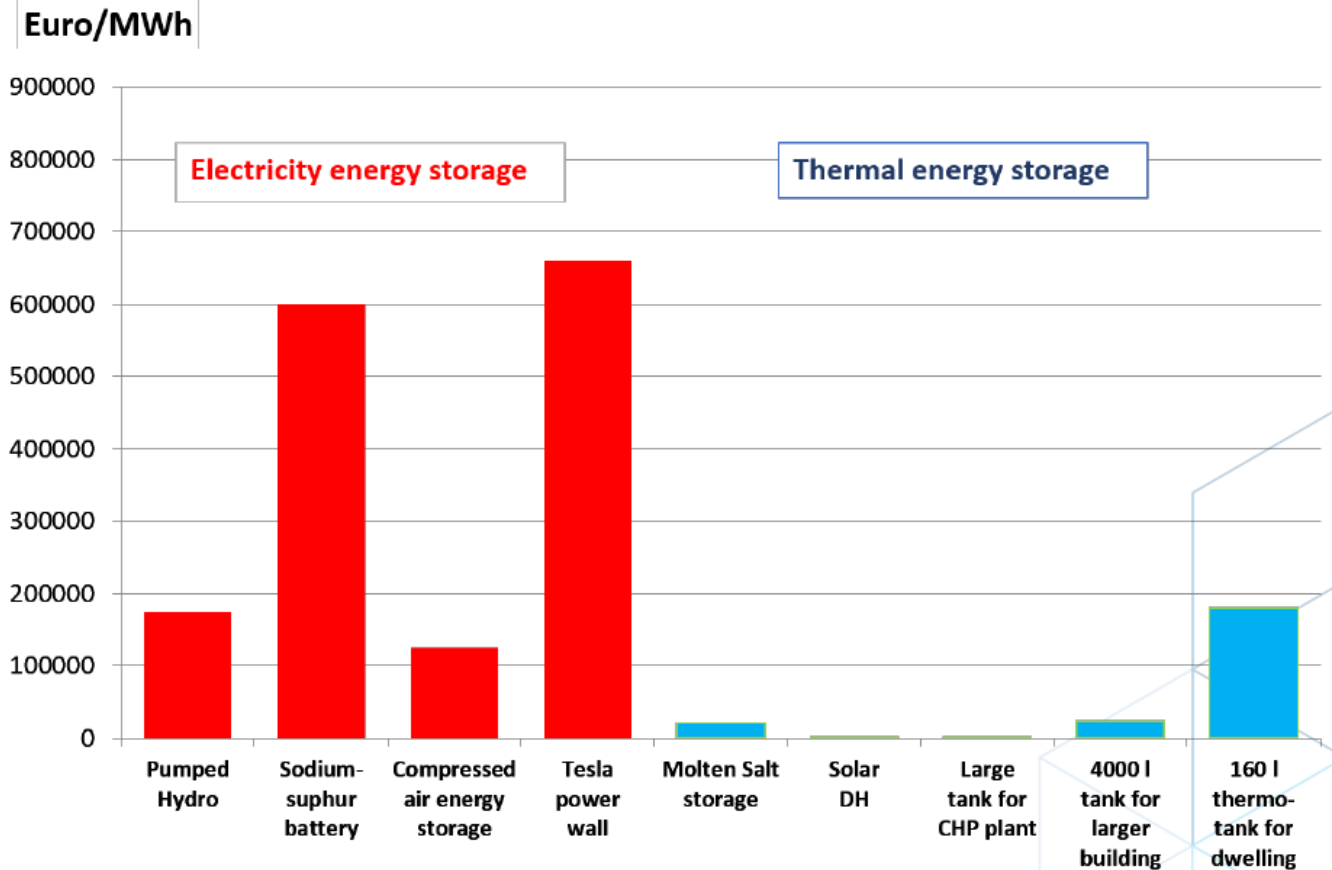
(Källa: elstatistik.se)



# Bakgrund

Möjliga åtgärder:

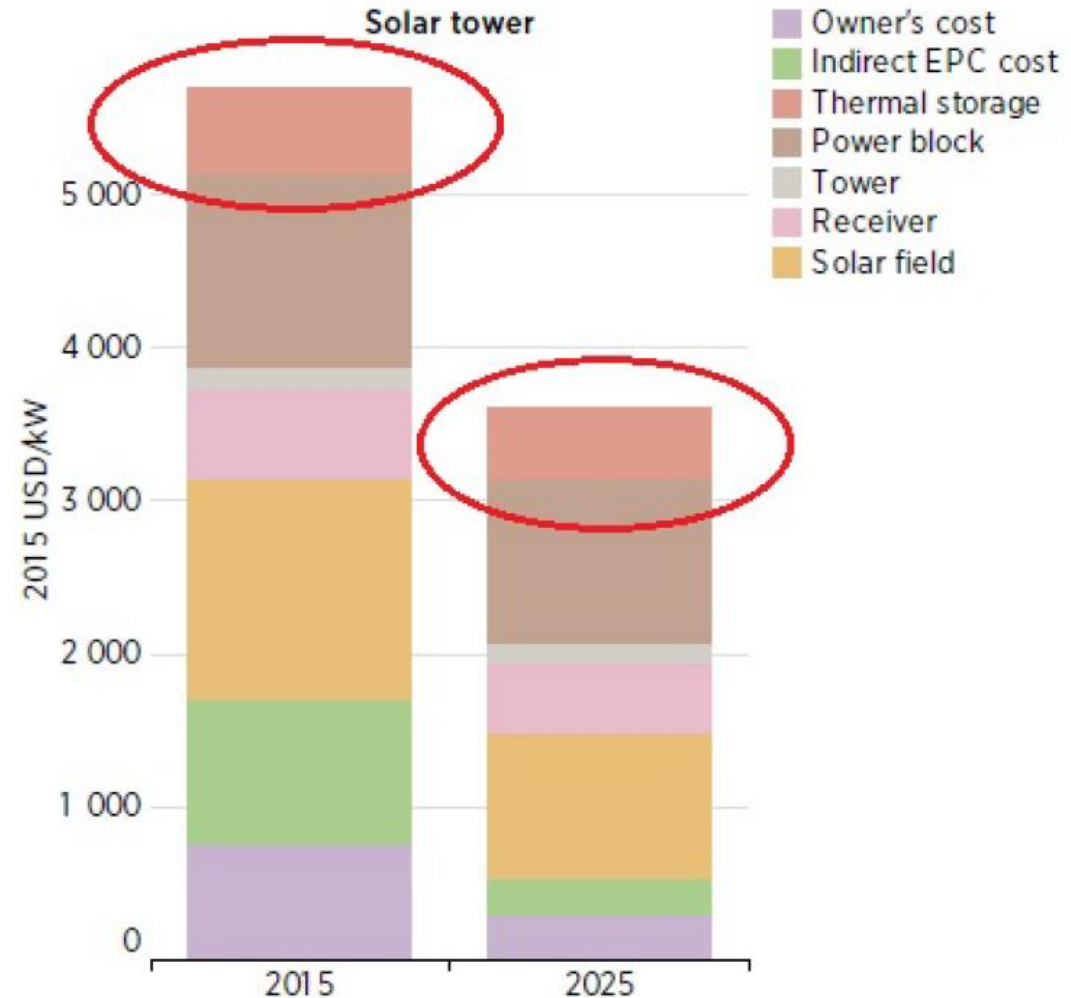
- ▶ Smart elkonsumention
- ▶ Effekthöjning i vattenkraften
- ▶ Renodlad ellagring:
  - ▶ Batterier (dyrt)
  - ▶ Pumpkraft
- ▶ Vätgas
- ▶ Integration mot värmesektorn
  - ▶ Lågtempererade värmelager
  - ▶ Högtempererade värmelager – t ex smält salt



# Bakgrund

## Smält salt:

- ▶ Etablerad teknik i termisk solkraft
- ▶ Temperaturer: 290 °C – 565 °C
- ▶ Relativt liten del av kostnaden i solkraftverk
- ▶ Lång livslängd (30+ år)



Source: IRENA and DLR, 2016.

# Exempel: Noor III, Marocko

- ▶ I bruk sedan 2019
- ▶ Turbineffekt: 150 MW<sub>el</sub>
- ▶ Värmeflöde mottagare: 600 MW
- ▶ Tornhöjd: 250 m
- ▶ Smält saltlagring:
  - ▶ 7.5 h
  - ▶ 2800 MWh
  - ▶ Cistern: Diameter 30 m, höjd 20 m (exempel)



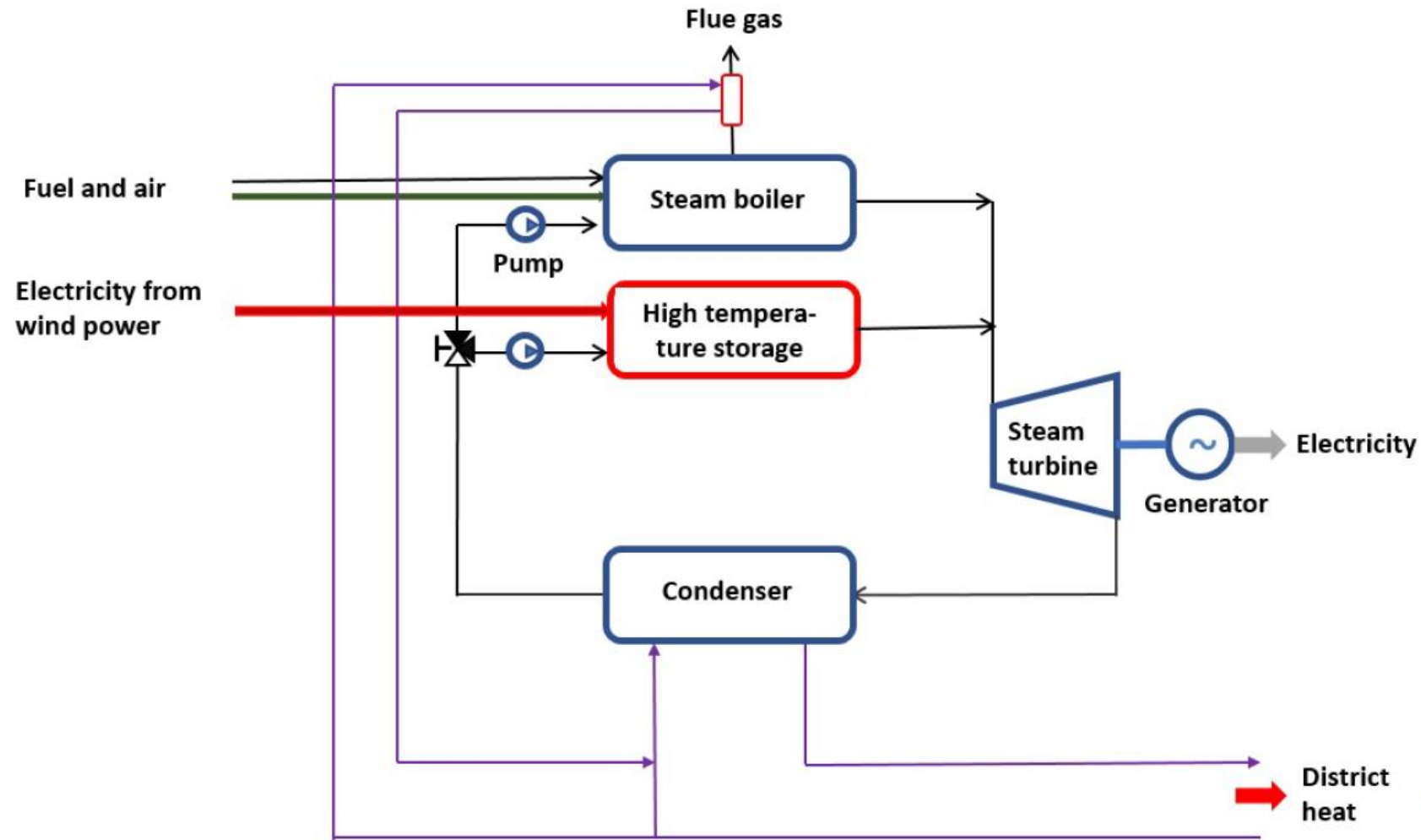
(Bild: Wikieliuser, CC-BY-SA-4.0)



# Integrera med kraftvärme?



# Integrera med kraftvärme?

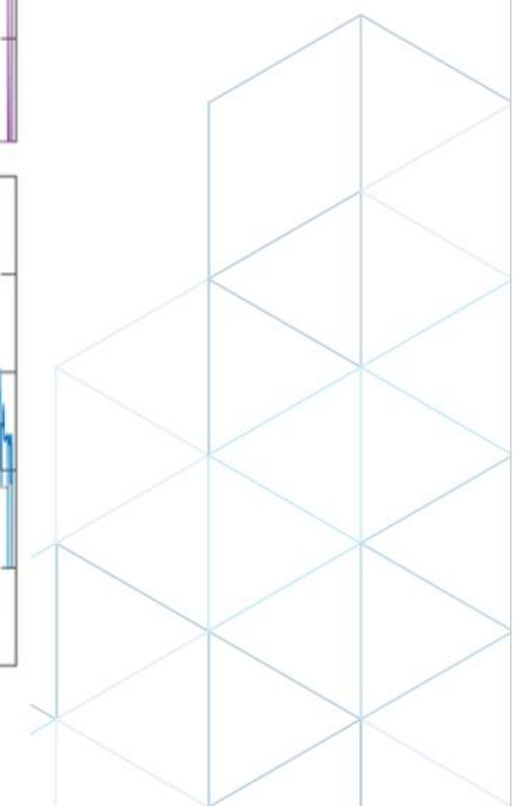
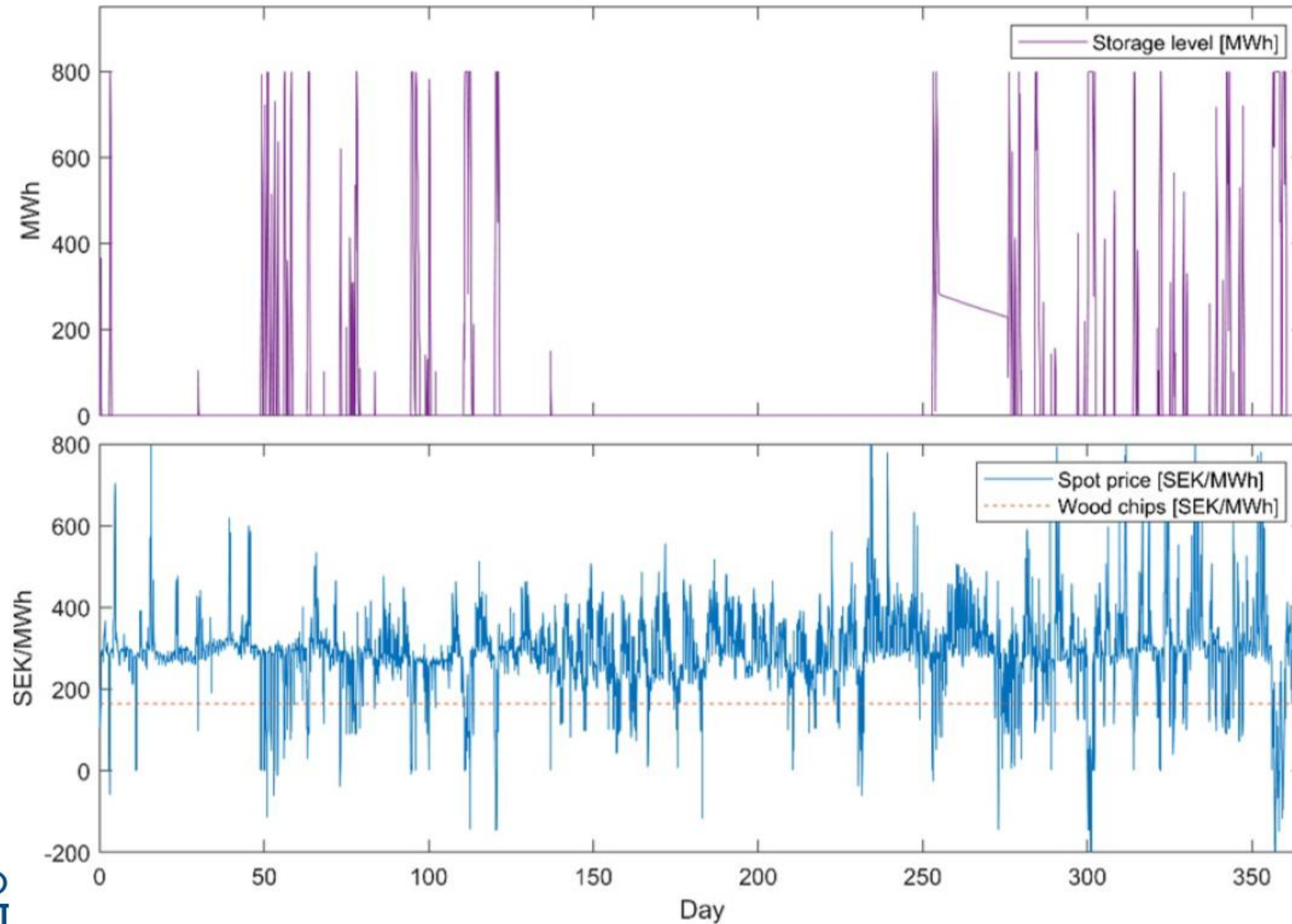


# Simulering av enskilt kraftvärmeverk

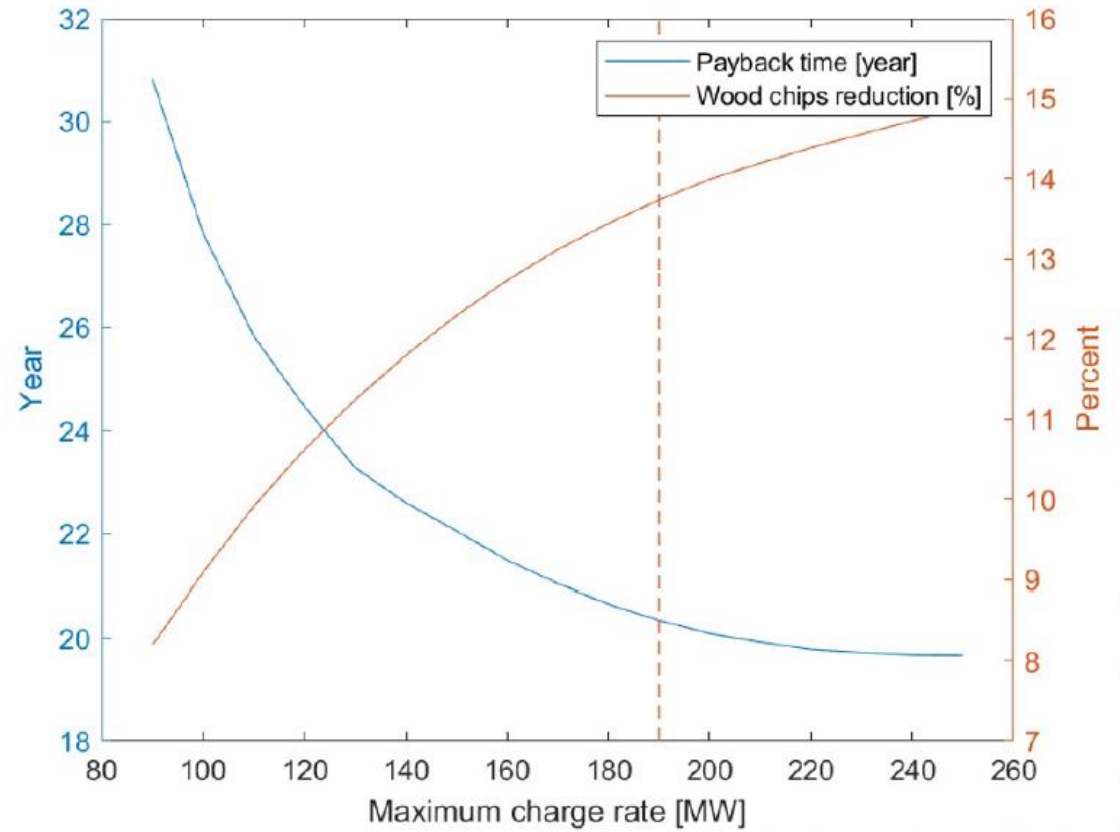
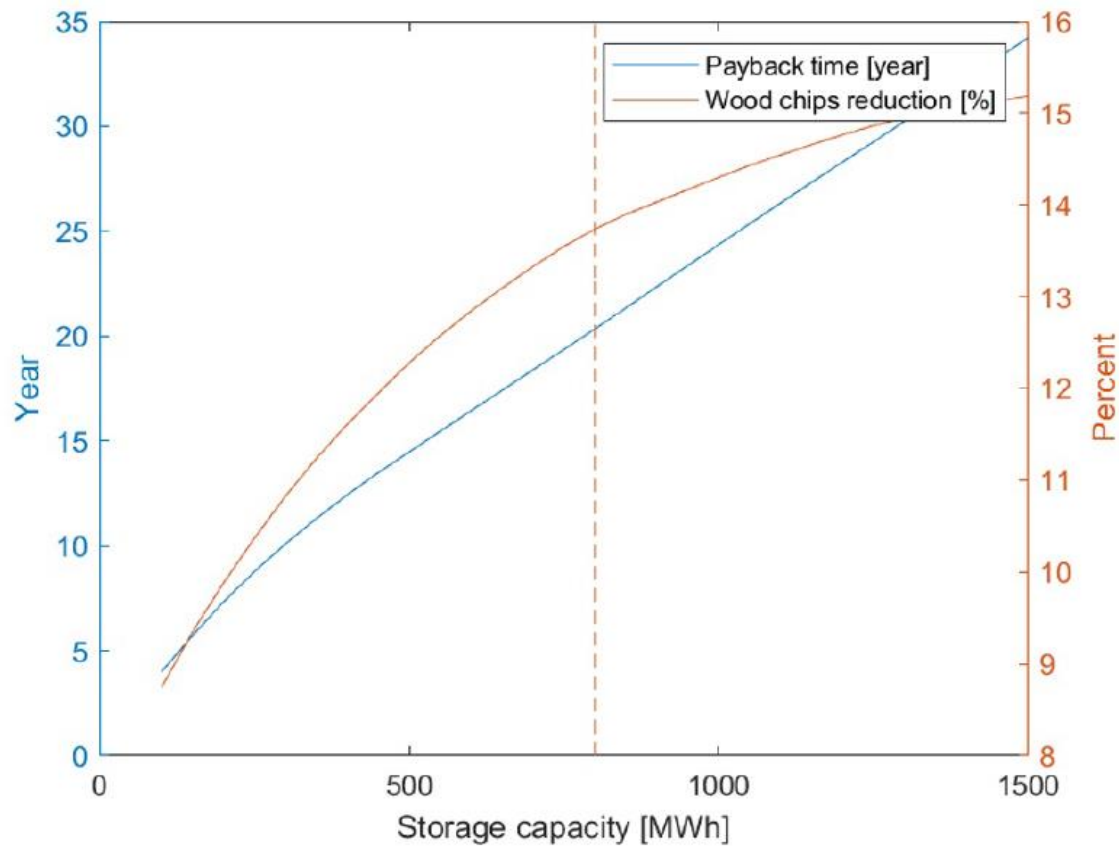
- ▶ Driftdata från Örtofta, år 2017
- ▶ Elpriser Danmark resp Sverige, 2017
- ▶ Rimliga antaganden om bränslepriser, kapitalkostnad för lagringen osv
- ▶ Driftstrategi:
  - ▶ Ladda lagret när elpriset är lägre än ekvivalenta bränslepriset
  - ▶ Använd därefter lagret genast för att ersätta bränsle
  - ▶ El- och värmeproduktionen lämnas oförändrad
- ▶ Lönsamt?



# Exempel – nyttjande av lagret



# Lönsamhet vs kapacitet



# Simulering av enskilt kraftvärmeverk

För Örtofta ( $123 \text{ MW}_{\text{bränsle}}$ ,  $38 \text{ MW}_{\text{el}}$ ):

- ▶ Lämplig storlek: 800 MWh, dvs ca 9 timmar
- ▶ Lämplig laddningskapacitet: 190 MW
- ▶ Spara ca 14% bränsle
- ▶ Återbetalningstid, danskt elpris: ca 20 år (grovt!)

Utökad drift (kondens) under sommaren:

- ▶ Förbättrar inte kalkylen
- ▶ Skulle kräva kyltorn

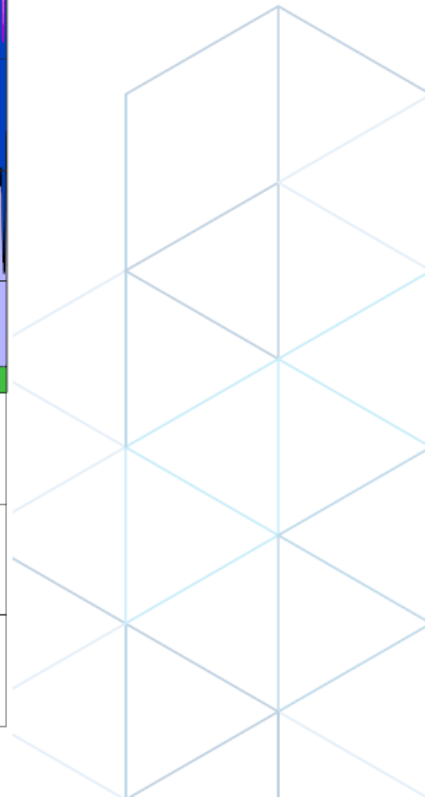
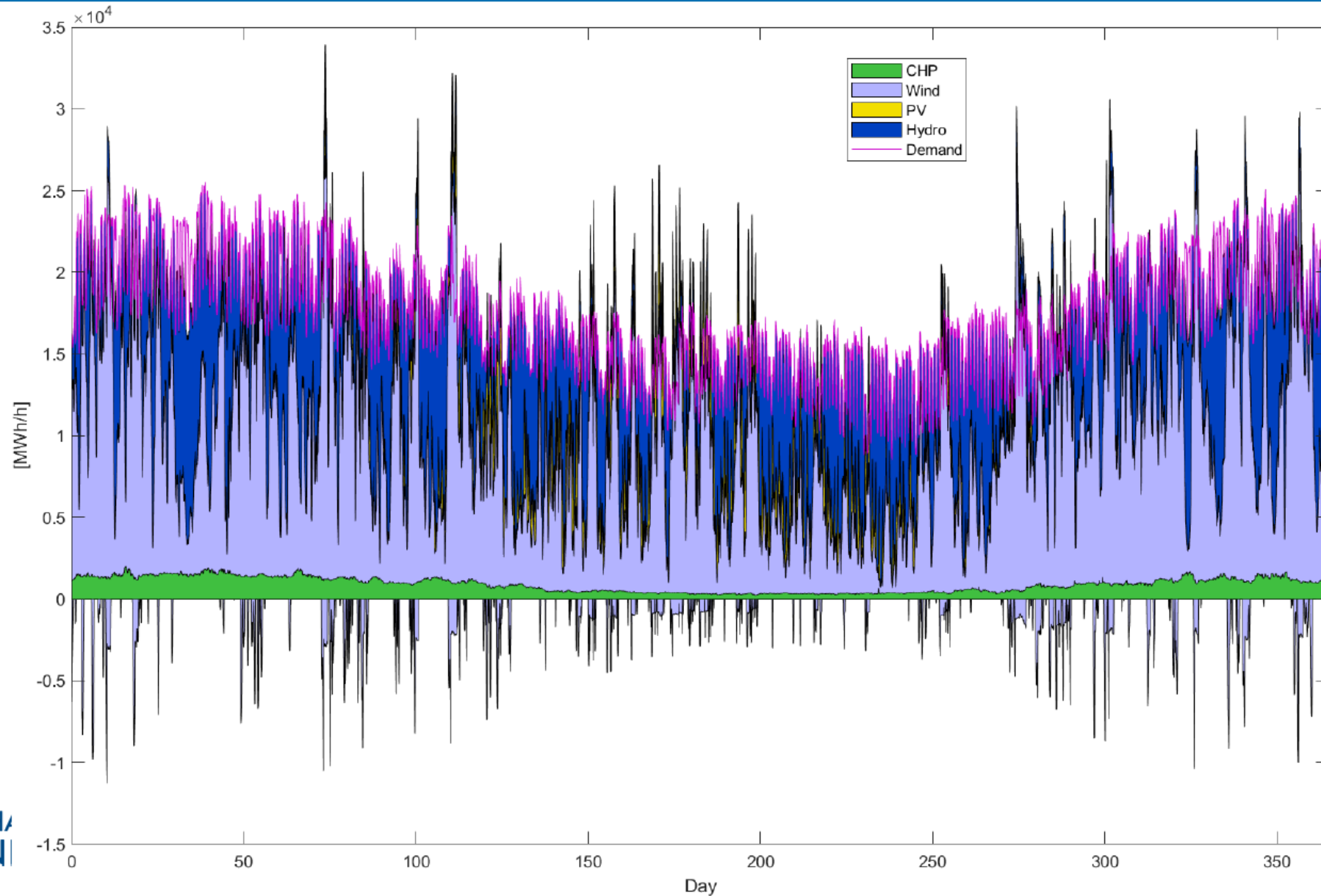


# Simulering av bred implementering

- ▶ Antag: Smält saltlagring vid all svensk kraftvärme (3500 MW<sub>el</sub>)
- ▶ Dimensioneringen för Örtofta som grund
- ▶ Elproduktionsdata från 2017, men:
  - ▶ Nedlagt kärnkraft
  - ▶ Kraftigt expanderad vind- och solkraft (88 TWh resp 7.5 TWh)
  - ▶ Vattenkraften reglerar maximalt
  - ▶ Saltlagringen körs när vattenkraften nått minimum
- ▶ Lönsamhetskalkyl ej möjlig – dock säkerligen ej lönsamt
- ▶ Kan beräknas:
  - ▶ Nödvändig höjning av elpriset för att täcka investeringen
  - ▶ Sparad mängd bränsle

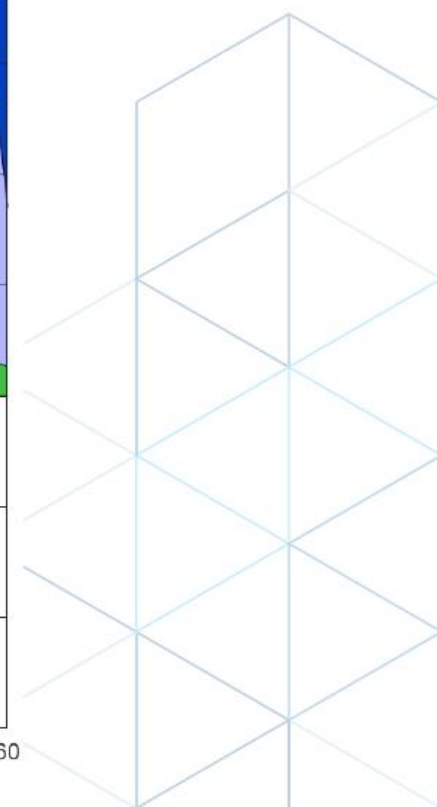
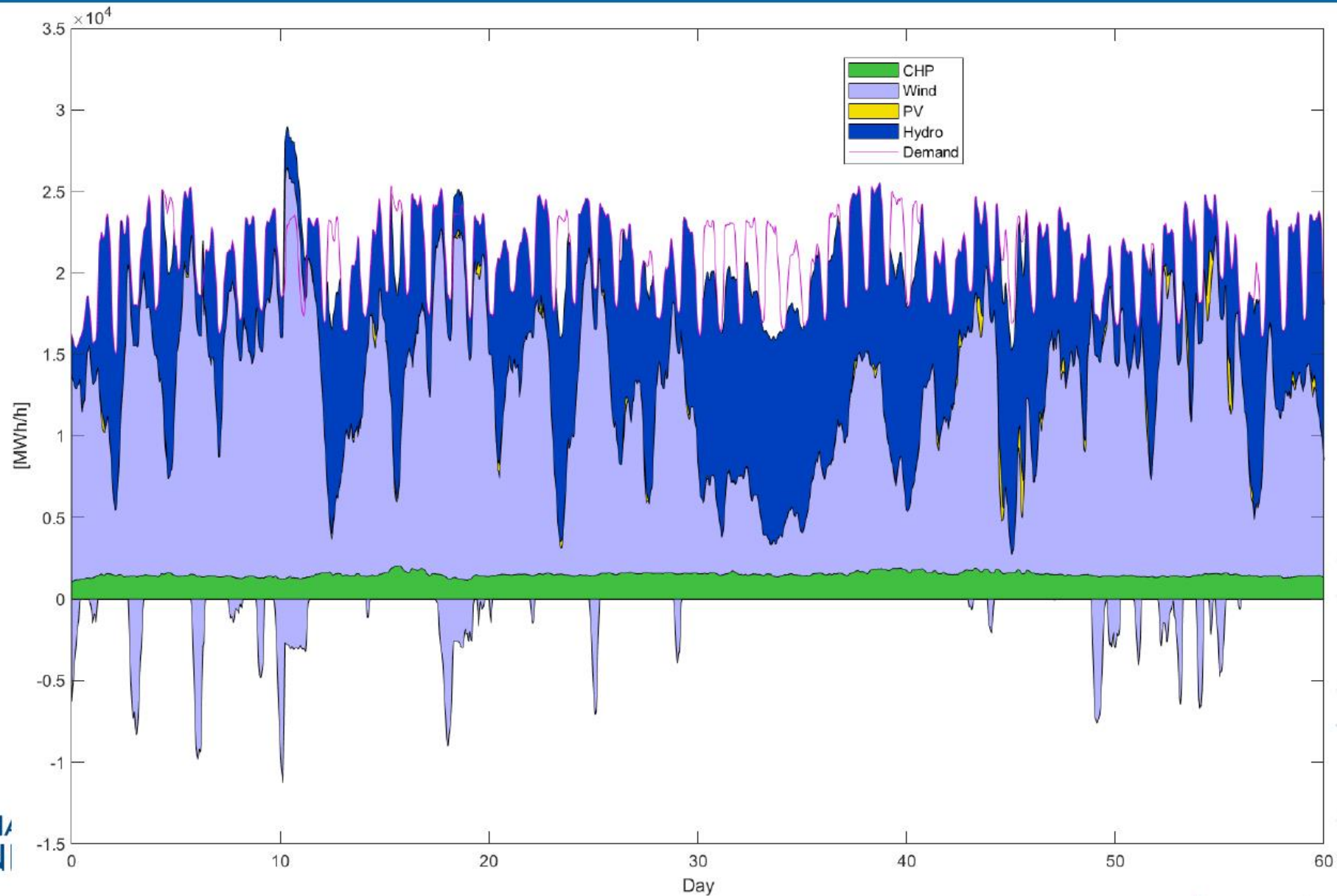


# Bred implementing

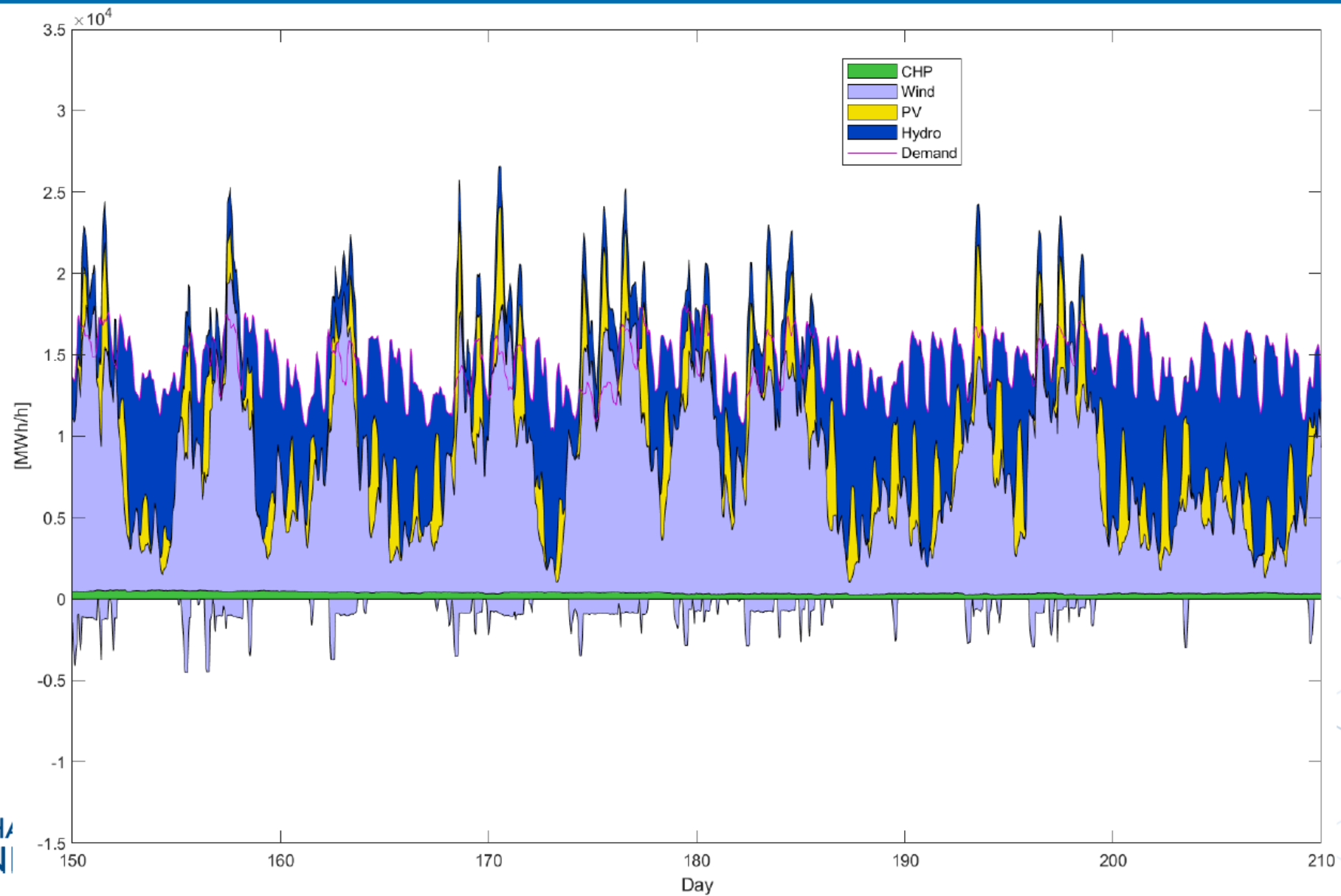




# Vinter



# Sommar



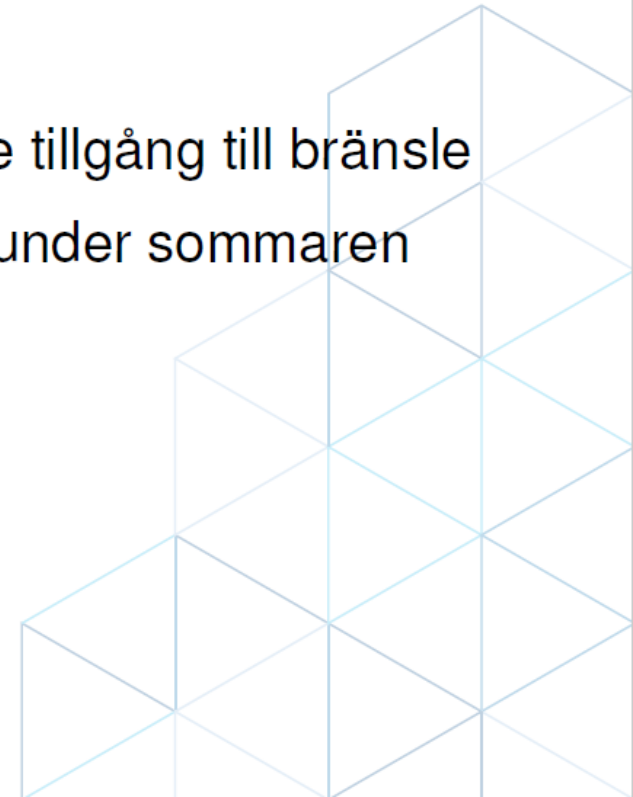
# Simulering av bred implementering

## Resultat:

- ▶ 21% av bränslet ersätts
- ▶ 53% av överproduktionen tas om hand
- ▶ 0.5 öre/kWh tillägg på elpriset skulle täcka investeringen.

## Anmärkningar:

- ▶ Ger möjlighet att driva vidare befintlig kraftvärme vid framtida sämre tillgång till bränsle
- ▶ Hanterar inte underproduktion – men skulle potentiellt kunna bidra under sommaren (kondensdrift)
- ▶ Avfallsförbränning: Problematiskt med dynamisk lagring av avfallet.



# Slutsatser

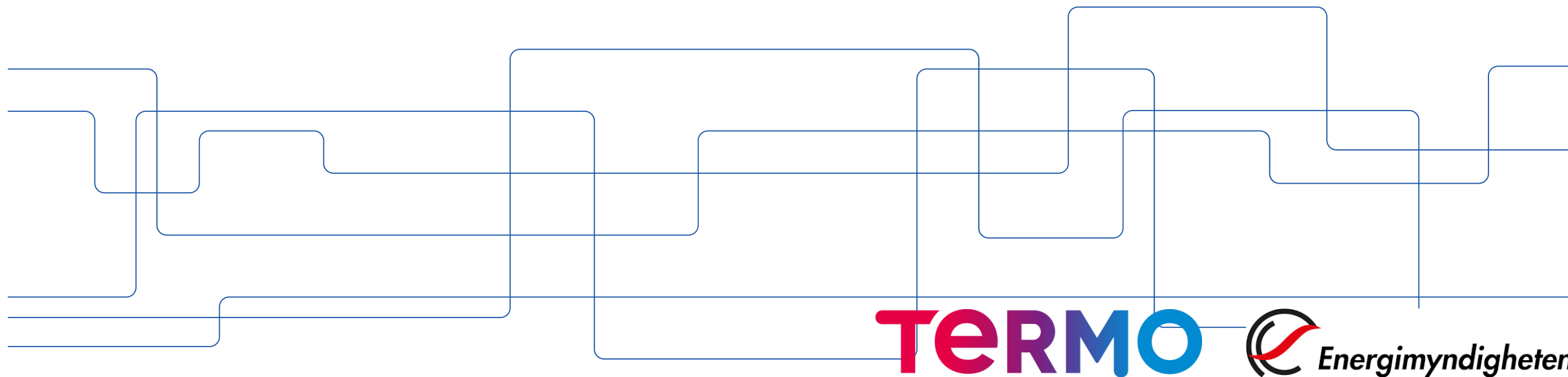
- ▶ Enskilt kraftvärmeverk:
  - ▶ Rimlig storlek ca 9 timmars lagring
  - ▶ Potentiellt lönsamt med 2017 års **danska** elpriser
- ▶ Bred implementering:
  - ▶ Stor potential att hantera överproduktion, till rimlig kostnad
  - ▶ Andra lösningar krävs vid underproduktion



# Ett kylbatteri med fasändringsmaterial

*Så kan energilagring bidra till mer förnybar energi*

Professor Viktoria Martin



# Vad? Hur? Varför?

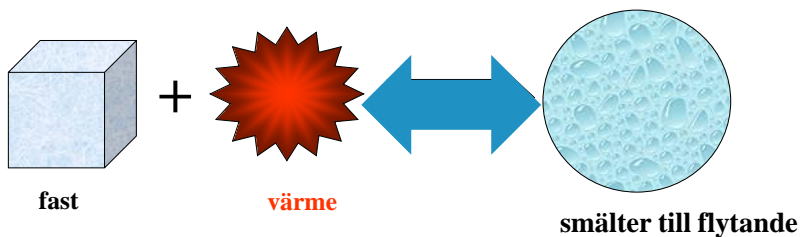
- Batteri?



- Kylbatteri?



- Fasändringsmaterial?

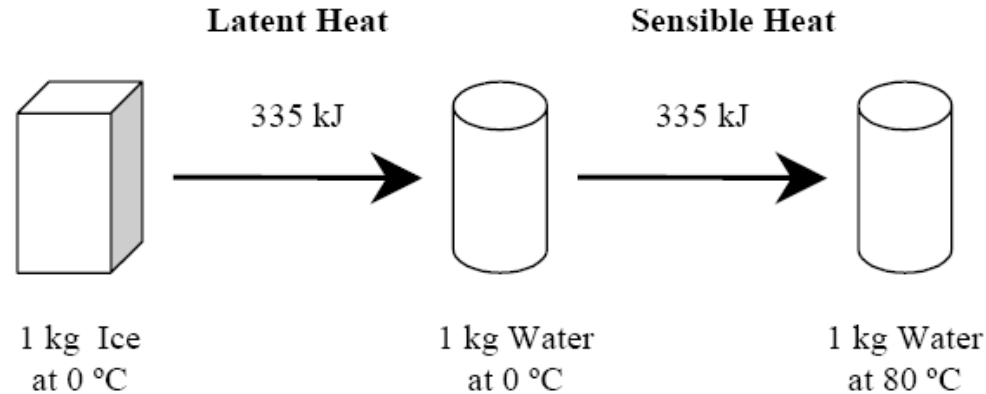


- vatten/is
- salter (glaubersalt)
- paraffiner, sockeralkoholer, oljor

- Kunskapsläget – insikter från tester med prototyp

# Fasändringsmaterial -- PCM

- Termisk energilagring (lagring av värme och kyla) med hjälp av fasändring

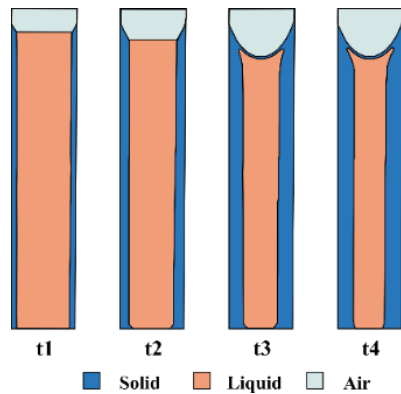


- Vi lagrar mycket energi under fasändringen – “latent” värme → hög energitäthet
  - [kWh/m<sup>3</sup>] och [kWh/ton]
- Dålig värmeledning i materialen (paraffiner och “gelade” saltblandningar) → låg effekt
  - “effekt” bortom “eleffekt”, [kW/m<sup>3</sup>].
  - Jfr vattenlager där effekten, dvs laddning/urladdning av energi per tidsenhet, endast beror vattenflödet till/från lagret.

# Hur förbättrar vi effektegenskaperna?

## Mekanismer som vi kan påverka

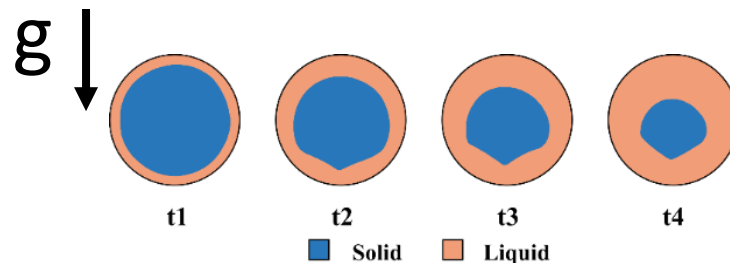
- Stelning i vertikalcyllinder (“rods”)



- Konduktion/värmeledning dominerar

- Smältning (PCM hindras att sjunka till botten)

- Konduktion såväl som naturlig konvektion inblandad



## Vanliga åtgärder

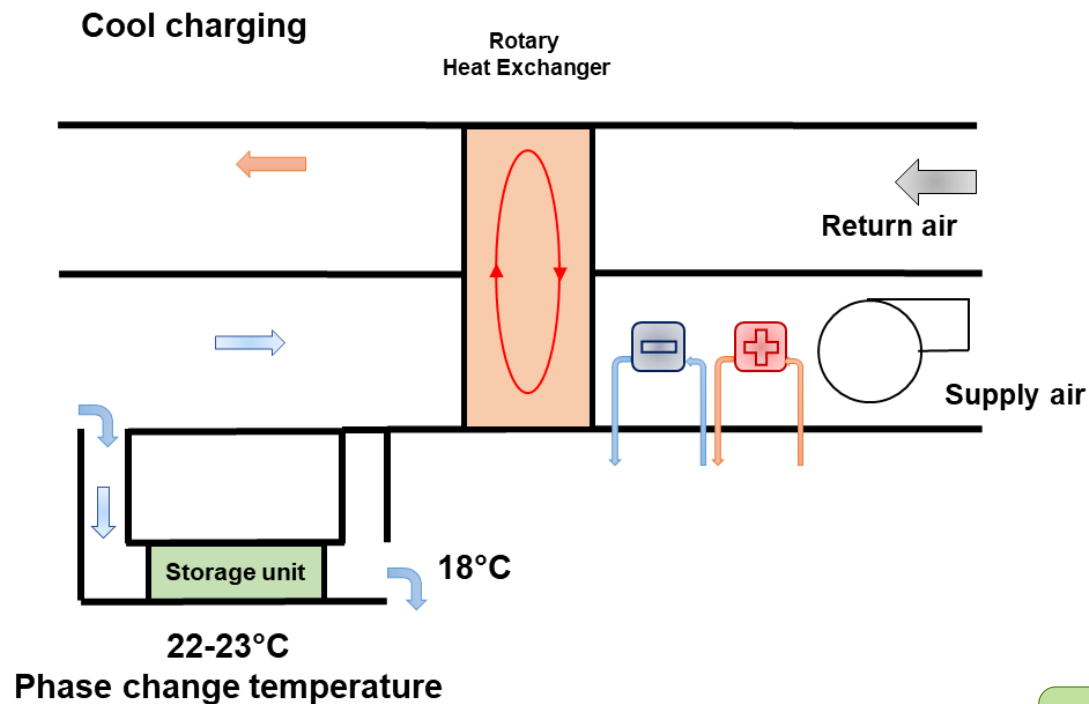
- Utöka ytan för värmeöverföring
- Förbättra värmeledningen genom
  - Blandning med metallskum
  - Inblandning av grafit
  - Inblandning av nano-partiklar (aluminium)

- Dämpar naturlig konvektion
- Minskar energidensiteten
- Avvägnigar att göra!



# 3D-printat kylbatteri med PCM 1(3)

- För tillämpningar där luft är värmebärare, t ex ventilationssystem med integrerad frikyla



PCM-sidan: högre area/volymförhållande  
Luft-sidan: högre värmeöverföringskoefficient

Samma volym, men större yta för värmeöverföring



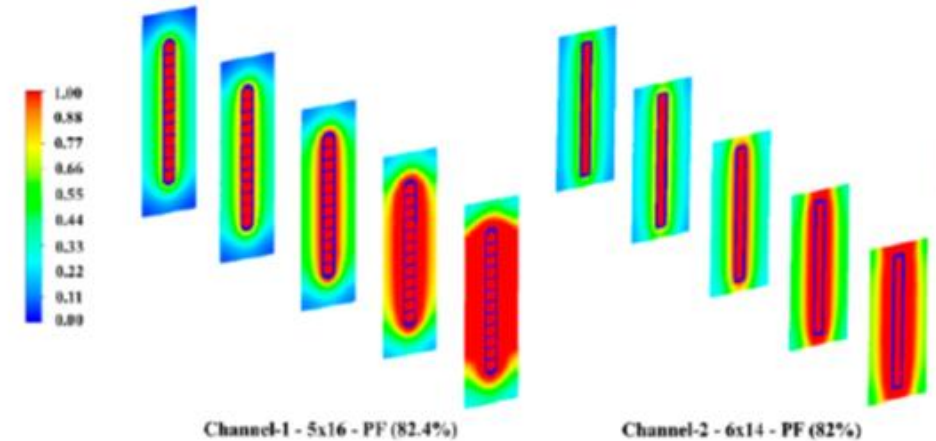
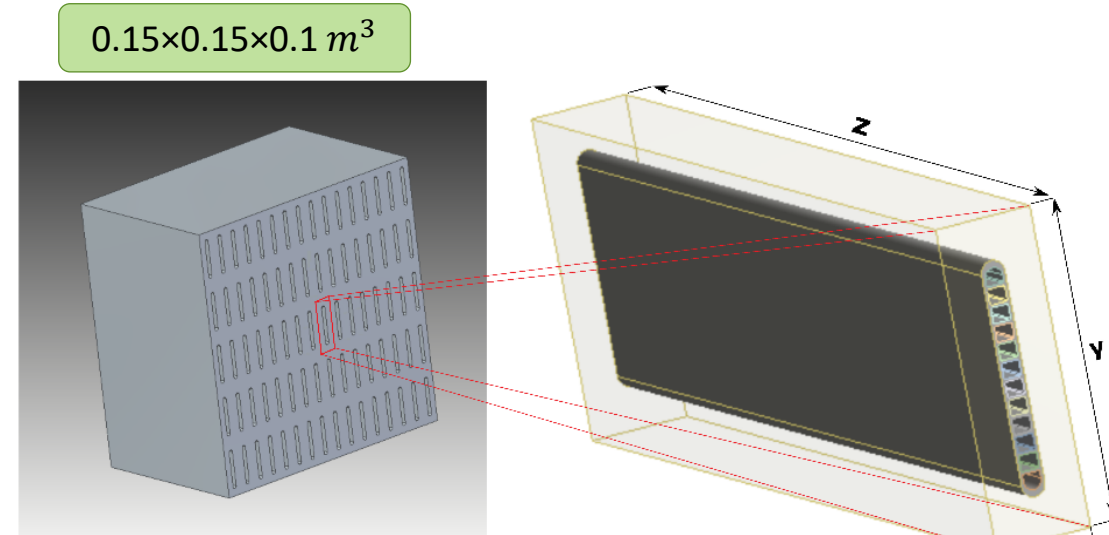
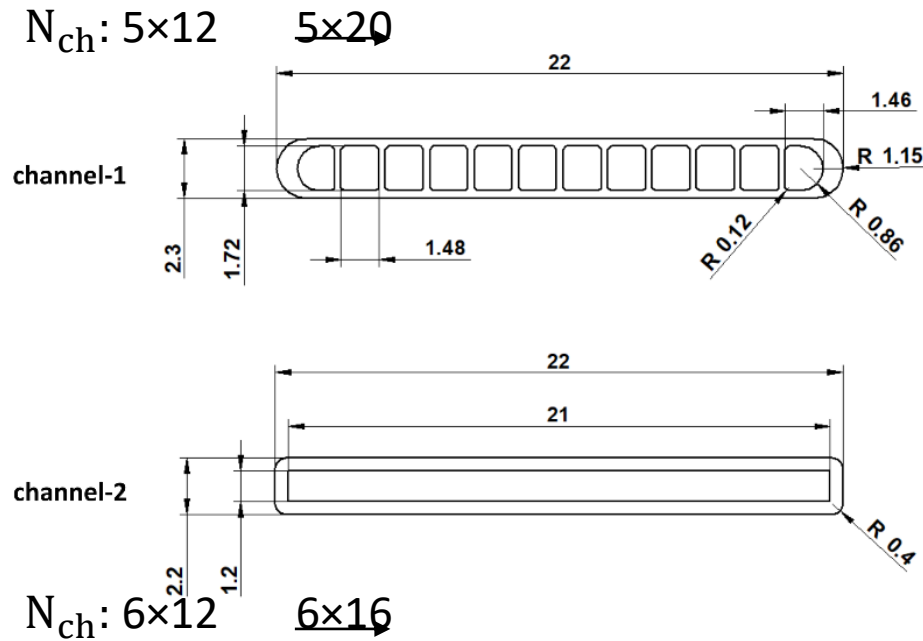
Circular tube



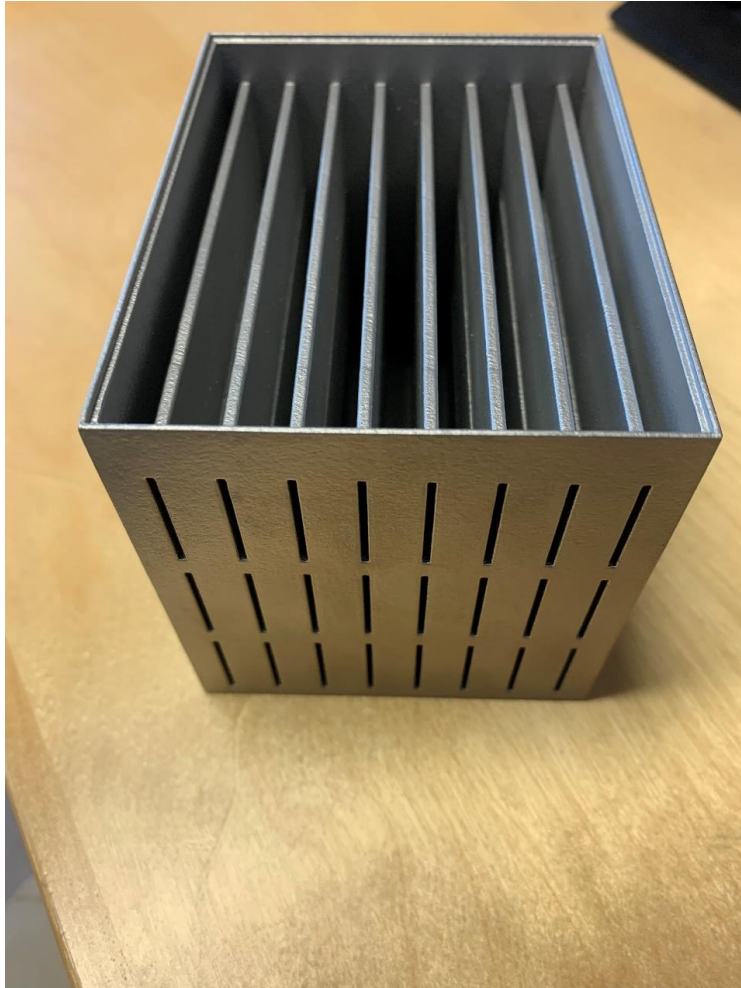
Flat mini-channel

# 3D-printat kylbatteri med PCM 2(3)

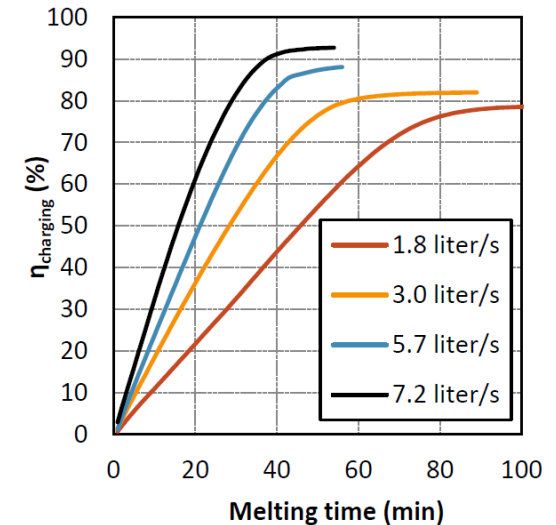
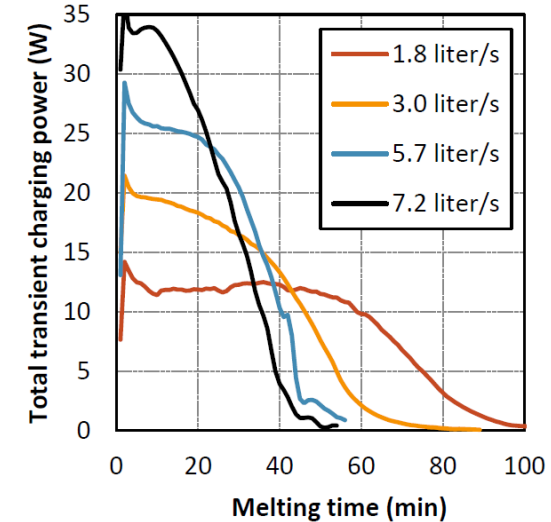
- Befintlig design – Hydro Extrusions
  - Channel-1: extrusion
- Konceptuell design
  - Channel-2: 3D printad



# 3D-printat kylabatteri med PCM 3(3)



- Effektiv uppmätt energidensitet  $\sim 40$  kWh/m<sup>3</sup>
- Medeleffekt, beroende på luftflöde 17-26 kW/m<sup>3</sup>
  - Tryckfall en avvägning – 300 Pa vid 6 l/s.
  - Förhållande mellan erhållen effekt och tryckfall ett nyckeltal?
- Additiv tillverkning medger flexibla anpassade batterier med potential för kostnadseffektiva lösningar.



*“Imagine a ventilation system with heat exchangers, charging overnight with cold air and providing cooling during the day...”*  
@Energy at KTH

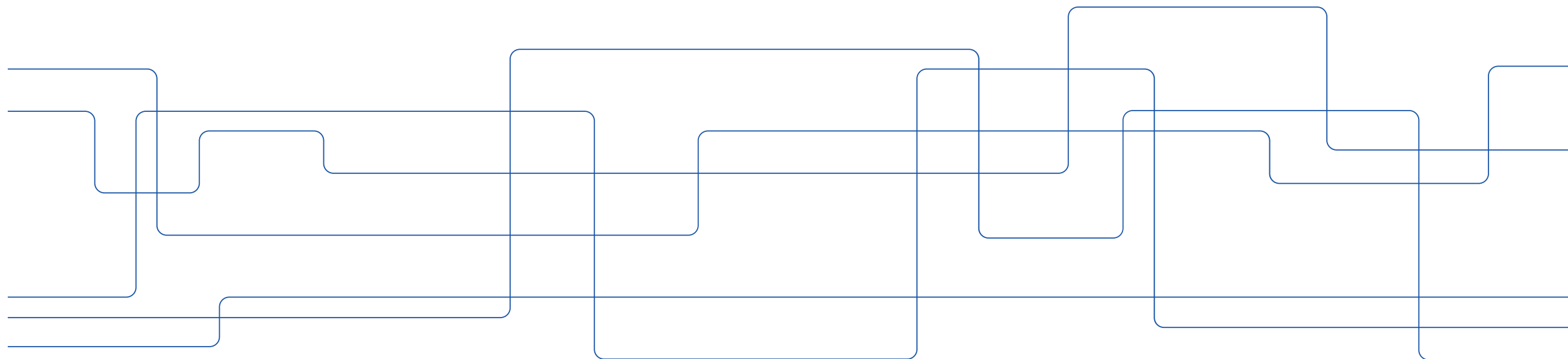
- Värme och kyla står för nära hälften av vår energianvändning.
- Förnybar elektrifiering av värme/kyla får direkt inverkan på flera av FNs delmål för hållbarhet.
- Att diversifiera synen på energilagring till en blandning av elektrokemiska batterier OCH termisk lagring ger ett bra utgångsläge för att utjämna lasterna på behovssidan, matcha tillgång på sol och vind, och hållbar utveckling
- Vårt PCM-baserat kylbatteri är EN lovande komponent som nu är redo för pilotskaleförsök, dvs såväl produktion, som utvärdering i större skala.





# Frågor? -- kontakta oss!

[vmartin@kth.se](mailto:vmartin@kth.se)



IEA ES Task 38 – Is- och halkfri infrastruktur med geoenergi  
*Ground source de-icing and snow melting systems for infrastructure*

TERMO Webbinarium den 8 juni 2023

## IEA ES Task 38

### – Isfri (transport)infrastruktur med geoenergi

- Internationellt samverkansprojekt 2021-2024
- *Sverige, Turkiet*, Tyskland, Belgien, Italien, (UK)
- Sveriges medverkan är finansierad av Energimyndighetens TERMO-program
- Fyra Subtasks
  - **WP1 – State-of-the-Art & marknadsanalys (SE leder)**
  - *WP2 – Modeller och simulering*
  - *WP3 – Fallstudier och komponenter*
  - *WP4 – Råd och rekommendationer*

# SERSO-projektet i Därlingen, Schweiz



Olyckdrabbat vägavsnitt  
Mellan två bergstunlar  
Intill en sjö

1990-talet  
91 borrhål i sandsten  
1300 kvm uppvärmd vägyta





Snöfritt



Mekanisk

Isfritt



Kemisk

Halkfritt



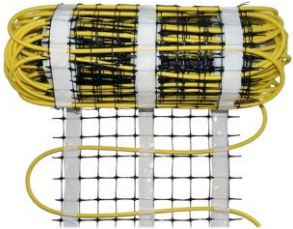
Friktion

Ca 20-50 MSEK per år av kommunala budgeten

~~Termisk snö- och is- och halkhantering~~

~~Elektrisk~~

Vattenburen



Fjärrvärmeretur

Geoenergi

~~Gasolja~~

## Fördelar med termiska lösningar jämfört med salt och sand

- Minskar risken för grundvattenförorening
- Mindre påverkan på biologin i sjöar och vattendrag
- Mindre korrosionsrisk på metallrör och fordon
- Mindre trafikolyckor med saltslickande renar i norra Sverige
- Mindre behov av krossat berg, naturgrus och sand
- Mindre långa och tunga transporter
- Mindre behov av att sopa efter vintern
- Geoenergi kyler ytan på sommaren => ökad livslängd

Vägavsnitt  
Backar  
Broar  
Tunnelmynningar  
etc

Gångvägar  
Cykelvägar  
Uppfarter  
Trappor

Entrér  
Parkeringsytor  
Busshållsplatser  
Lastplatser

Ramper  
Flygplans-  
uppställning  
Helikopterplattor

Järnvägsväxlar  
Perronger  
etc

(Fotbollsplaner)  
(Arenor)  
(Golfanläggningar)  
etc

# Allmänna tillämpningar av markvärme

## Stadskärnor

- Gångator
- Trottoarer
- Busshållplatser
- Entréer etc

Vattenburna > 3000 kvm

Största i Västerås, 180 000 kvm

Finns i minst 22 stadskärnor

Totalt > 586 500 kvm

Medelstorlek 27 000 kvm

~300-350 kWh/kvm,år

## Vägavsnitt

Endast ett exempel i Sverige

Göteborgsbacken, Jönköping

Installerad 2007

1 500 m lång backe

30 km slangar

Fjärrvärmeretur

Ett körfält (4,4 m brett)

6 600 kvm

~125-250 kWh/kvm,år

## Fotbollsplaner

- Arenor
- Träningsplaner

Bara konstgräsplaner

Även några andra sportanläggningar

83 st i Sverige

Totalt > 580 000 kvm

Medelstorlek 7000 kvm

~200-250 kWh/kvm, år



Foto: Borås Energi, 2021

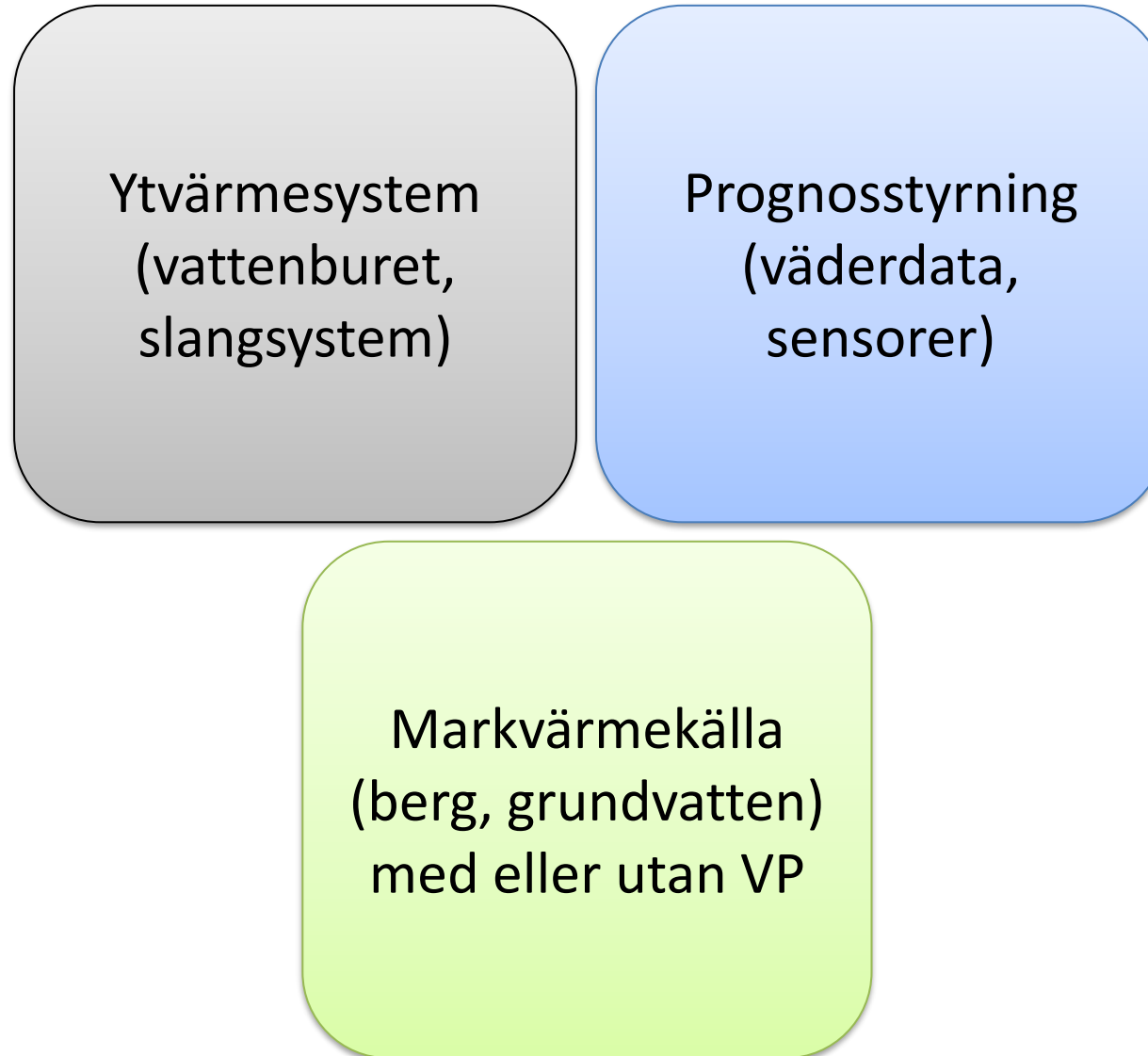


"Göteborgsbacken" prior to installation of the HHP system



Uppvärmad fotbollsplan i norra Sverige (Lappsport AB)

# Systemprincip med geoenergi



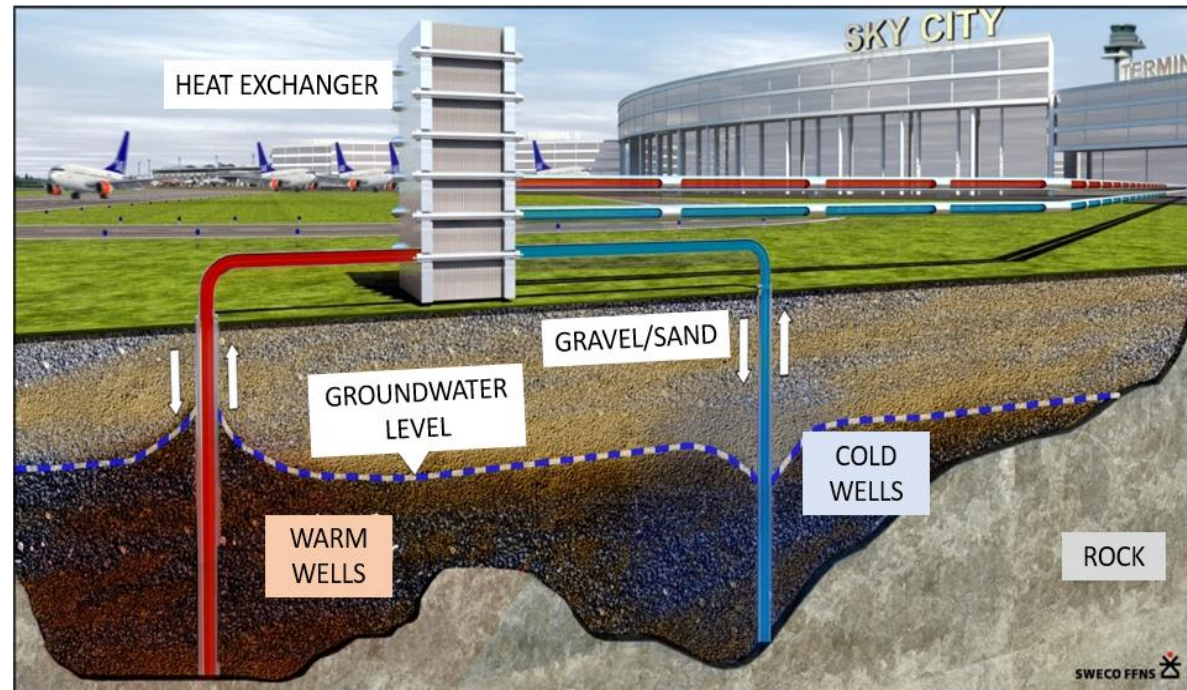
Alla delsystem är kommersiella – det är kombinationen som är kruxet

# Exempel 1 – Geoenergi (ATES)

## Stockholm Arlanda Flygplats Akviferlager (ATES)

- Akviferlager (grundvatten) i rullstensås
- Förvärmning av ventilation och snösmältning vid pir vintertid
- Luftkonditionering sommartid

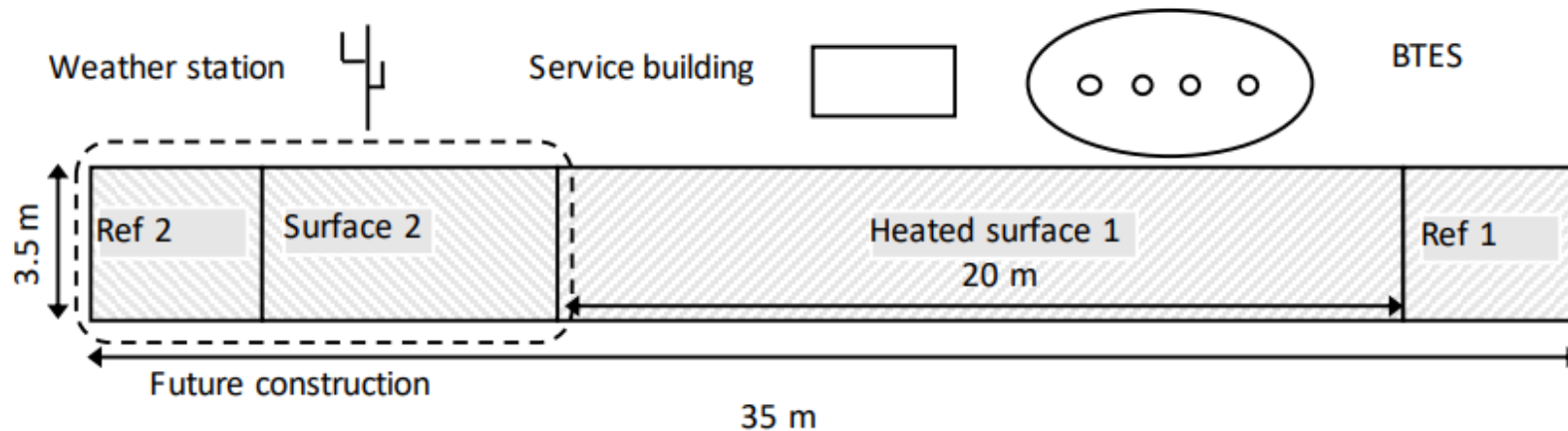
- Effekt 10 MW  
värme/kyla
- 40 000 kvm
- 240 kWh/kvm,år



# Exempel 2 – Geoenergi (borrhål)

HERO testyta utanför Östersund

Mindre testanläggning för verifiering av simuleringsmodell utvecklad inom svenskt forskningsprojekt (Josef Johnsson 2019, Chalmers)



Anlagd 2017

70 kvm värmd yta

Fyra borrhål till 210 m med 10 m avstånd

Mer solvärme kan lagras under sommaren än vad som behövdes under vintern.

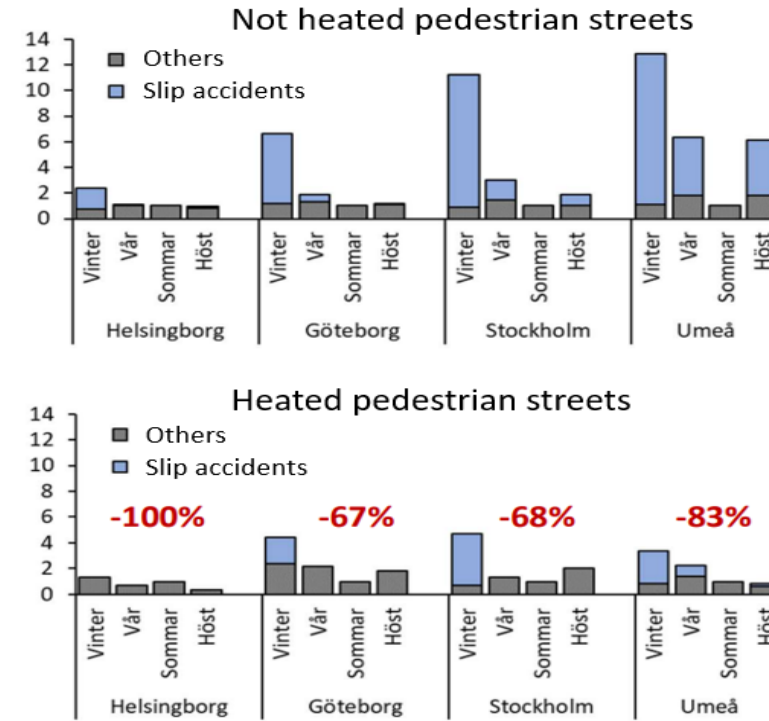
Dock kom bara hälften av den använda energin från borrhålen p g a att temperaturen från borrhålen var lägre än önskat (7°C).

# Avslutningsvis

- Snö- och issmältningssystem har använts under flera decennier
- Förebygger halkskador hos fordon och fotgängare
- Huvudsakligen tillämpat i städers centrala delar
- De konventionella värmekällorna är fjärrvärmeretur eller elkabel
- Flera leverantörer för markvärmeslingor finns på marknaden
- Geoenergi som värmekälla är än så länge ovanligt
- Lovande marknadspotential för geoenergi pga låg energikostnad och miljöfördelar



# Fallskadeprevention



- 3-4 ggr fler dödsfall från fall än från trafikolyckor
- 70 000 pers/år sjukhusvårdas pga fallskador
- Fallskador ca 24 miljarder SEK/år
- Fallskadeprevention ca 3.4 miljarder SEK/år

Projektet är finansierat genom deltagarnas arbetsgivare tillsammans med Energimyndigheten (TERMO-projekt 51491-1).

Detta arbete är del av IEA ES Task 38,  
Ground Source De-Icing and Snow Melting Systems for Infrastructure.

Tack!

# TERMO

THE FUTURE OF HEATING AND COOLING



*Energimyndigheten*

# Tack!



*Energimyndigheten*

# TERMO

THE FUTURE OF HEATING AND COOLING

[www.termoinnovation.se](http://www.termoinnovation.se)