

Store langtids- og sæsonvarmelagre Typer, erfaringer og muligheder

Niels From, PlanEnergi



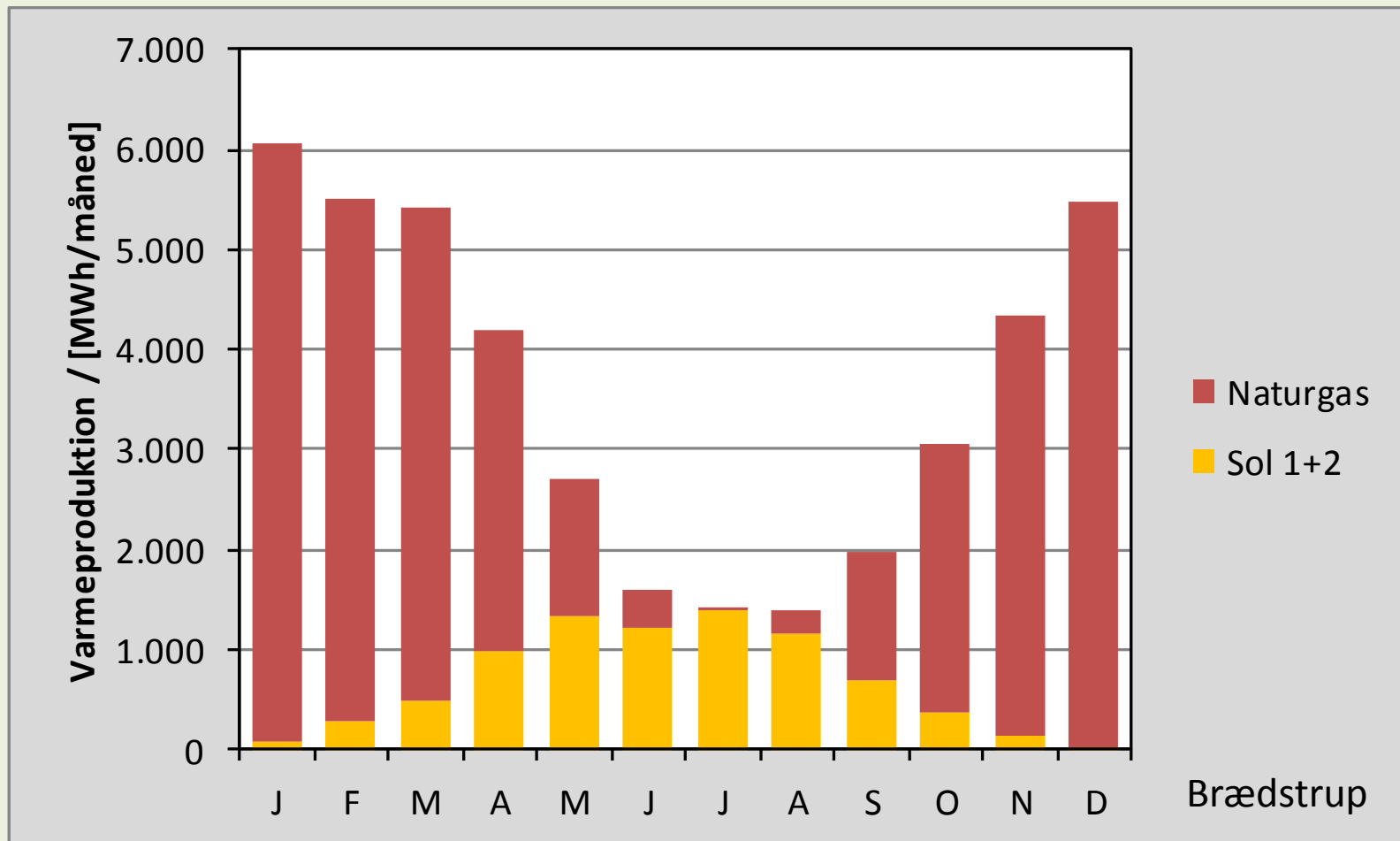
PlanEnergi

- Rådgivende ingeniørfirma
 - > 30 år med VE
 - 30 medarbejdere
 - Kontorer i
 - Skørping
 - Aarhus
 - København
 - www.planenergi.dk
- Fjernvarme
 - Solvarme
 - Sæsonlagre
 - Varmepumper
 - m.m.
 - Energiplanlægning
 - Biogas
 - Vindmølle VVM

Hvorfor lagre varme?

- For at reducere de samlede omkostninger til opvarmning
 - Lagre billig varme til senere brug, hvor den kan erstatte dyrere varme
- For at reducere andelen af fossile brændsler til opvarmning
 - F.eks. ved at lagre solvarme fra dag til nat, eller fra sommer til vinter (sæsonlagring)

Fjernvarmebehov vs. solvarmeproduktion



Hvad koster det at lagre varme?

- $Q_{ud} = Q_{ind} - Q_{tab}$
- $Q_{ind} = C_{lager} N_{cykler} = \rho V_{lager} c_p \Delta T N_{cykler}$
- Specifik investering: $SI = \text{Investering} / V_{lager}$
- Samlede omkostninger: $SO = Q_{ind}^* \text{ varmeproduktionspris (VPP) + investering + renter + D\&V}$
- Varmepris ab lager: $VAL = SO / Q_{ud}$

Eksempel med korttidslager

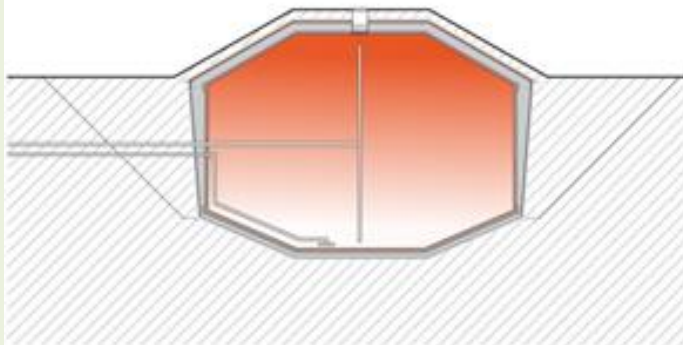
- Forudsætninger
 - Vandlager ($\rho = 980 \text{ kg/m}^3$ og $c_p = 4,19 \text{ kJ/kgK}$)
 - $\Delta T = 50 \text{ K}$
 - Ingen varmetab ($Q_{\text{tab}} = 0$)
 - $N_{\text{cykler}} = 50 / \text{år} * 20 \text{ år} = 1.000$
 - VPP = 200 kr./MWh
 - SI = 1.000 kr./m³ (svejst ståltank)
 - Ingen renter
 - Ingen D&V
- $Q_{\text{ind}} = \rho V_{\text{lager}} c_p \Delta T N_{\text{cykler}} = 57 \text{ MWh/m}^3 * V_{\text{lager}}$
- **VAL = SO / $Q_{\text{ud}} = (Q_{\text{ind}} * 200 \text{ kr./MWh} + V_{\text{lager}} * 1.000 \text{ kr./m}^3) / Q_{\text{ind}}$**
= 200 kr./MWh + 18 kr./MWh

Eksempel med sæsonlager

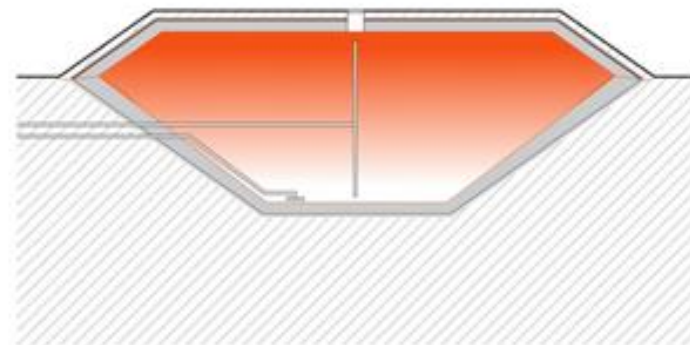
- Forudsætninger
 - Vandlager ($\rho = 980 \text{ kg/m}^3$ og $c_p = 4,19 \text{ kJ/kgK}$)
 - $\Delta T = 50 \text{ K}$
 - Ingen varmetab ($Q_{\text{tab}} = 0$)
 - $N_{\text{cykler}} = 1 / \text{år} * 20 \text{ år} = 20$
 - VPP = 200 kr./MWh
 - $SI = 250 \text{ kr./m}^3$ (damvarmelager)
 - Ingen renter
 - Ingen D&V
- $Q_{\text{ind}} = \rho V_{\text{lager}} c_p \Delta T N_{\text{cykler}} = 1,14 \text{ MWh/m}^3 * V_{\text{lager}}$
- **VAL** = $SO / Q_{\text{ud}} = (Q_{\text{ind}} * 200 \text{ kr./MWh} + V_{\text{lager}} * 250 \text{ kr./m}^3) / Q_{\text{ind}}$
= 200 kr./MWh + 219 kr./MWh

Varmelagertyper (Kilde: SOLITES)

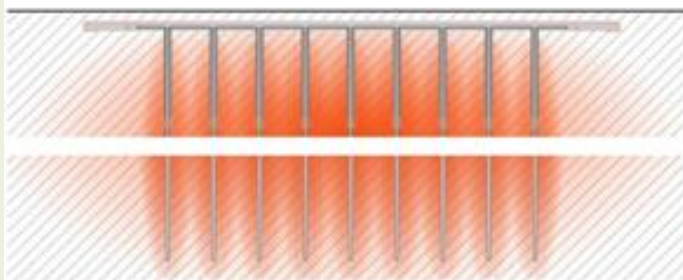
Tank thermal energy storage (TTES)
(60 to 80 kWh/m³)



Pit thermal energy storage (PTES)
(30 to 80 kWh/m³)



Borehole thermal energy storage
(BTES)
(15 to 30 kWh/m³)



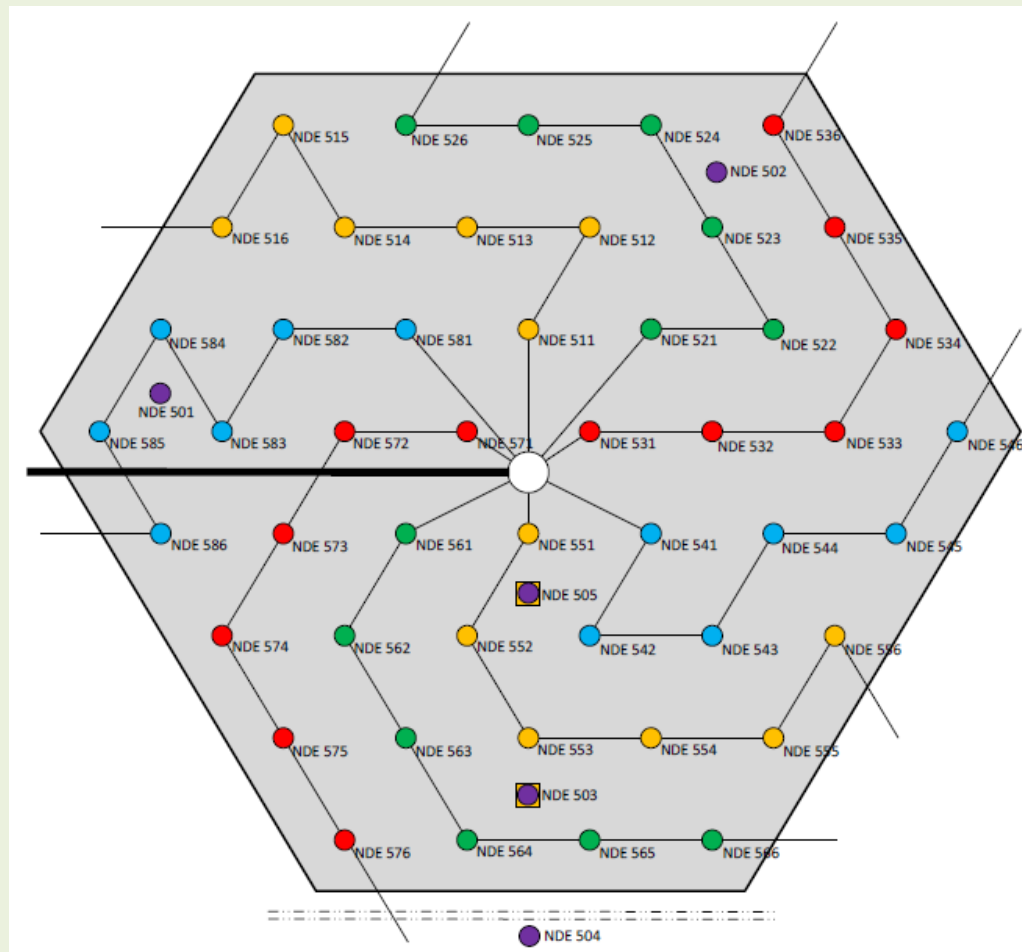
Aquifer thermal energy storage
(ATES)
(30 to 40 kWh/m³)



Pilot-borehulslager

i Brædstrup

BTES med 48 borehuller – Jordvolumen ca. 19.200 m³



Borehullerne etableres



BTES samlebrønd og isolering



Færdigt borehulslager



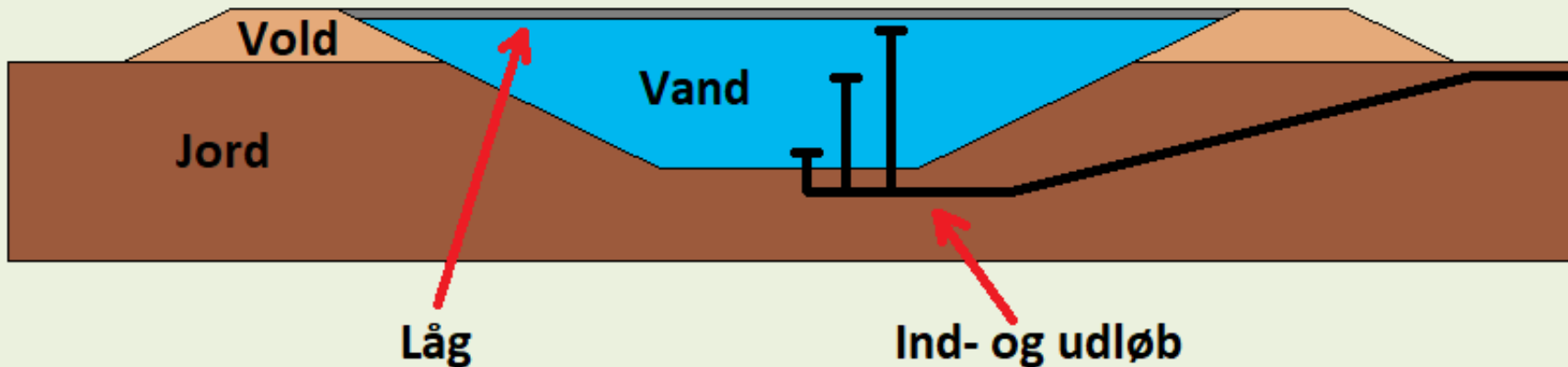
BTES – Målinger og simuleringer



Figure 8: Comparison of measured and simulated values for 2014 and 2015. Brown = measured flow [m^3/h], blue = measured and orange = simulated outlet temperatures [$^{\circ}\text{C}$], lower pink = measured and green = simulated storage temperatures [$^{\circ}\text{C}$], and grey = measured and upper pink = simulated accumulated charging and discharging [MWh]. The first month is used for preheating the model, and is therefore not a part of the comparison.

Damvarmelagre

Koncept for damvarmelagre

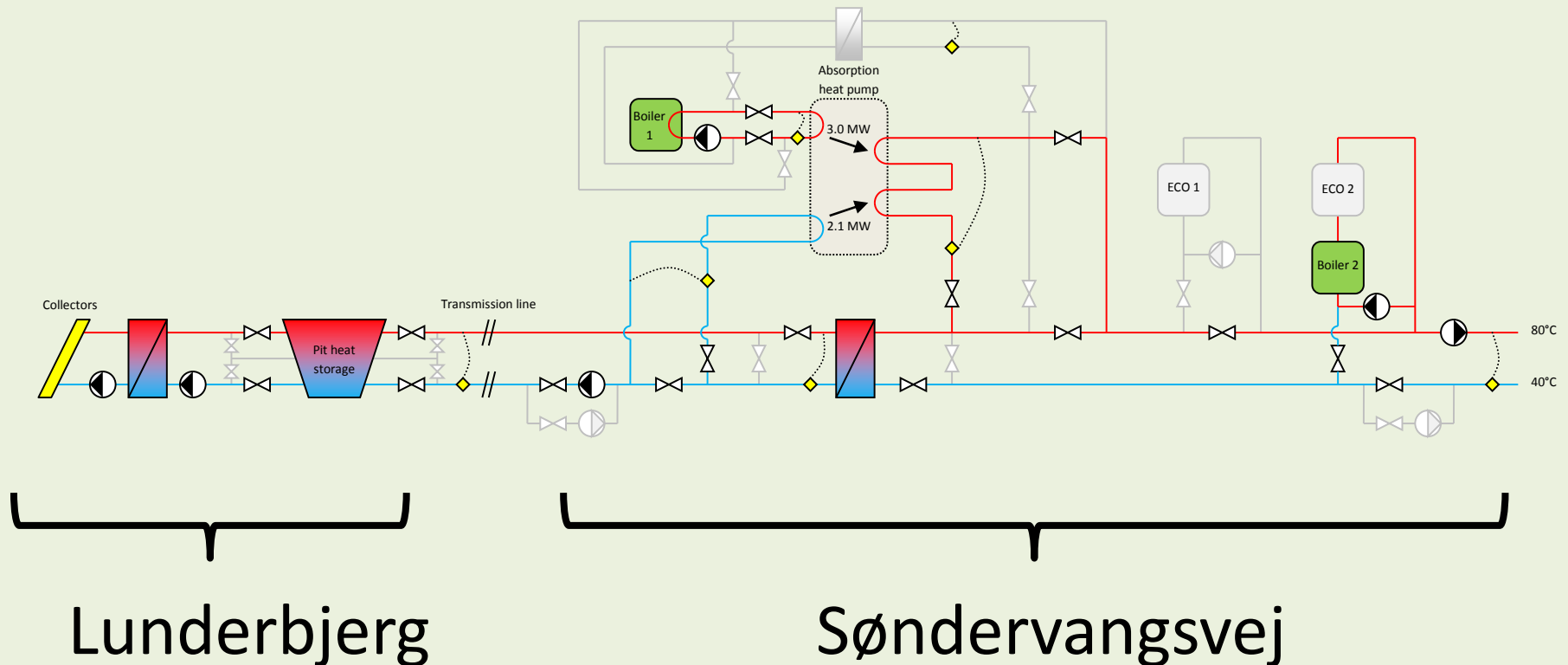


- **Jordbalance**, dvs. at den opgravede jord genindbygges i en vold omkring hullet.
- **Flydende låg** med isolering.
- Lageret anvendes på samme måde som en traditionel, vandfyldt ståltank.

Damvarmelagre i DK (og i Verden!)

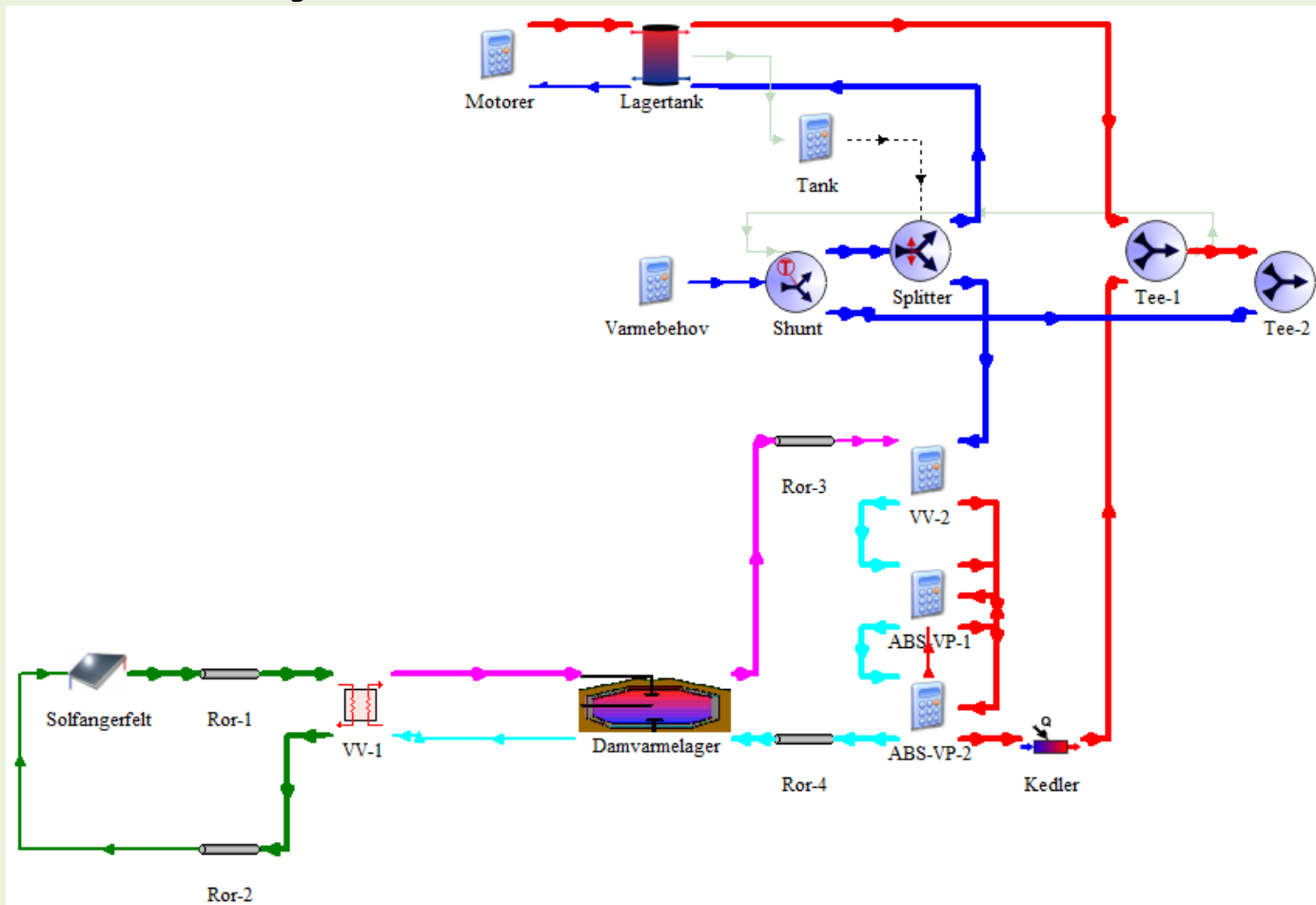
Sted	Vandvolumen	Idriftsat
Ottrupgaard	1,500 m ³	1995
Marstal, SUNSTORE 2	10,000 m ³	2003
Marstal, SUNSTORE 4	75,000 m ³	2012
Dronninglund, SUNSTORE 3	60,000 m ³	2013
Vojens	203,000 m ³	2015
Gram	122,000 m ³	2015
Toftlund	70,000 m ³	2017

Dronninglund – Principdiagram

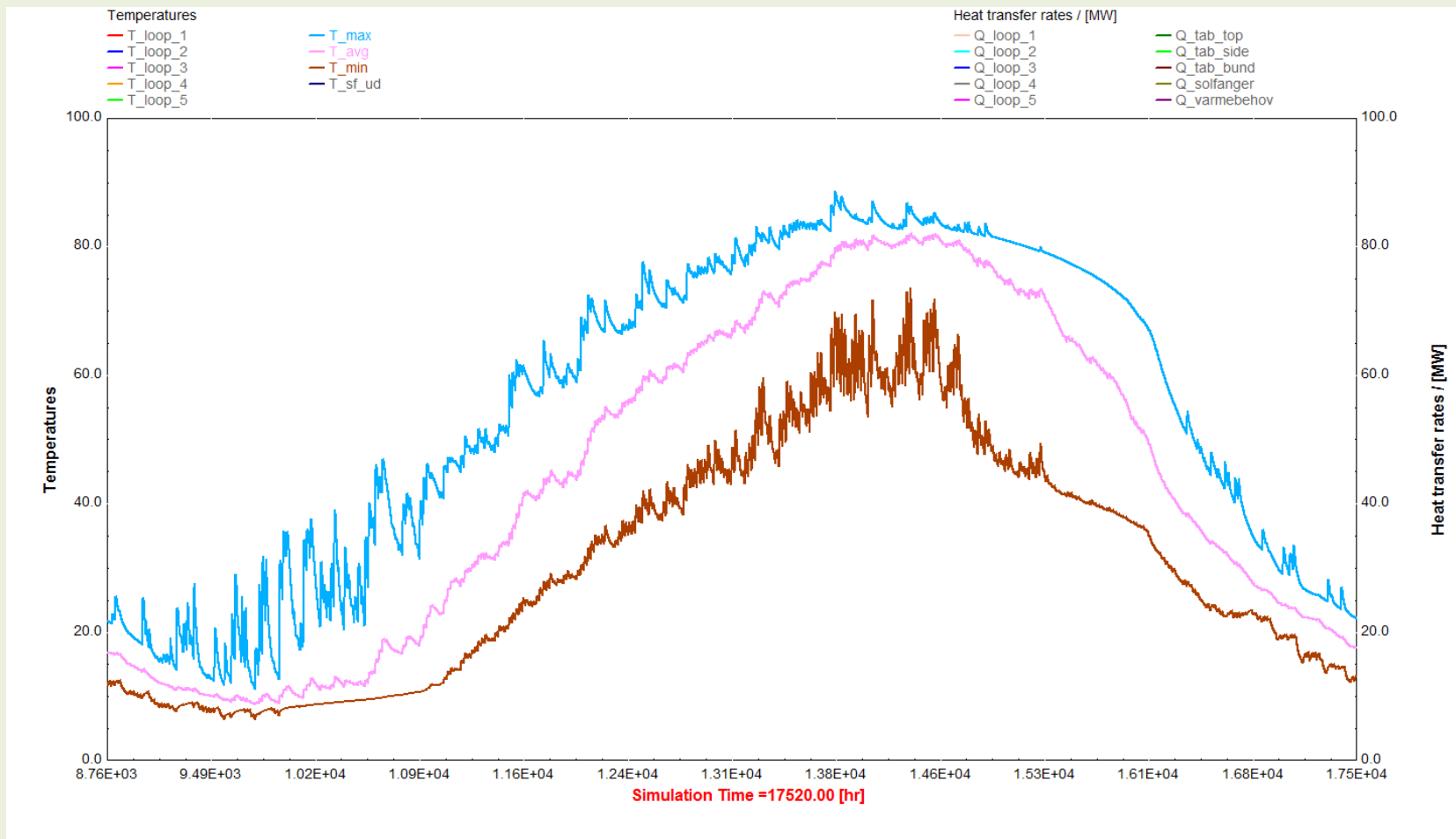


Dynamisk simuleringsmodel i TRNSYS

GUI af de hydrauliske forbindelser i modellen



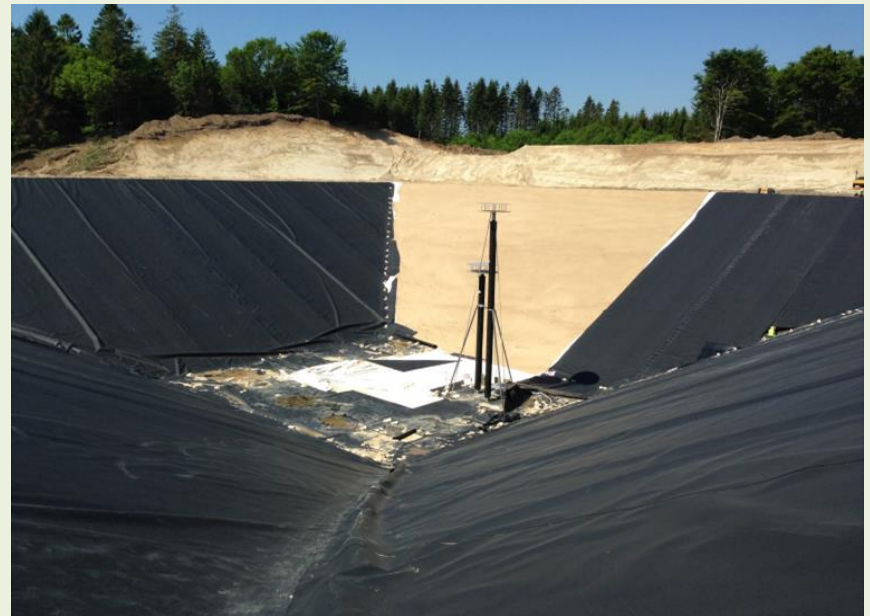
Beregnede lagertemperaturer (år 2)



Etablering af PTES i Dronninglund



Udgravning afsluttet.
Ind- og udløb etableret



Etablering af linere
i bund og sider

Etablering af PTES i Dronninglund



Lager næsten fyldt med vand

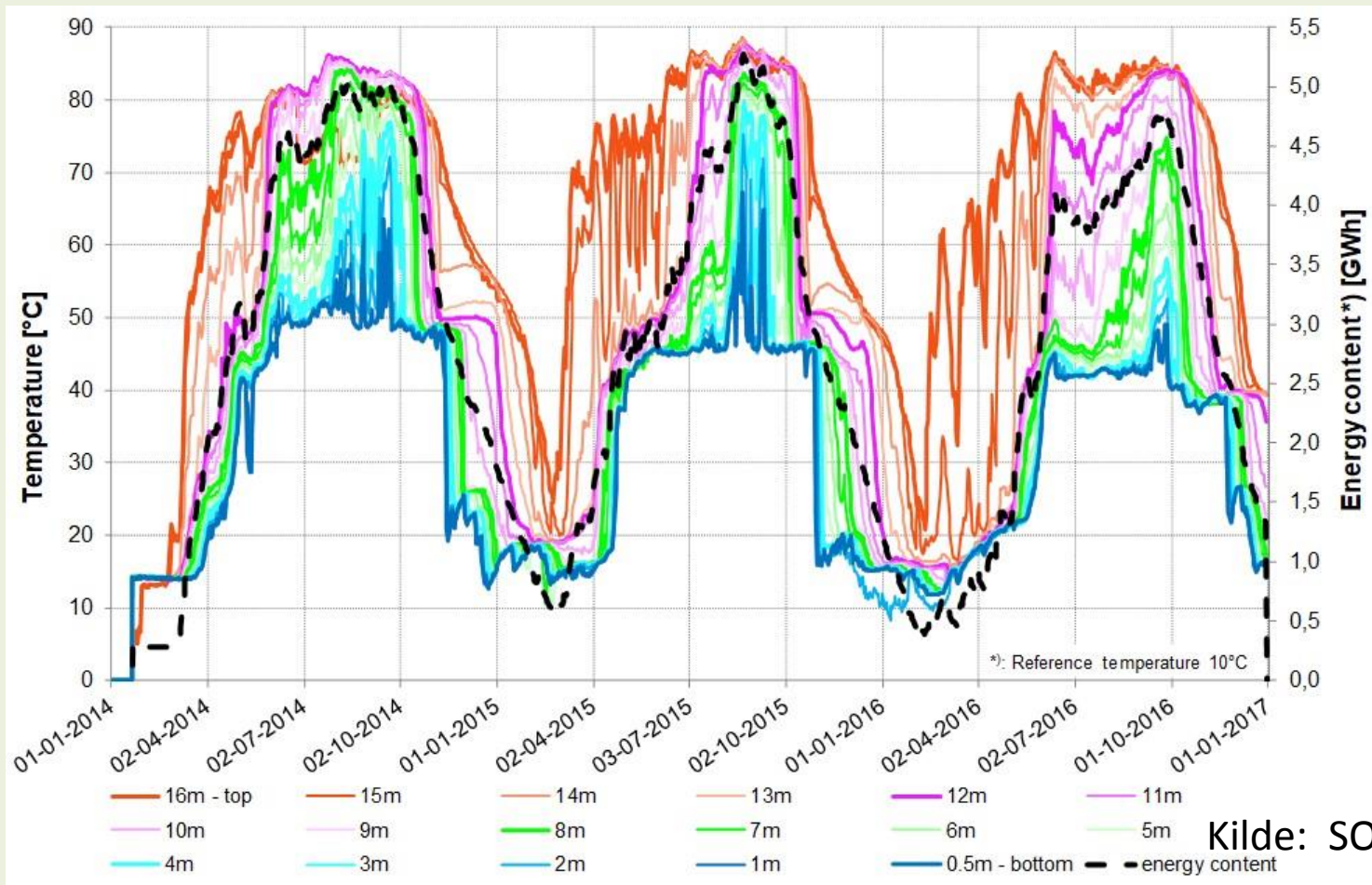


Låget næsten færdigt

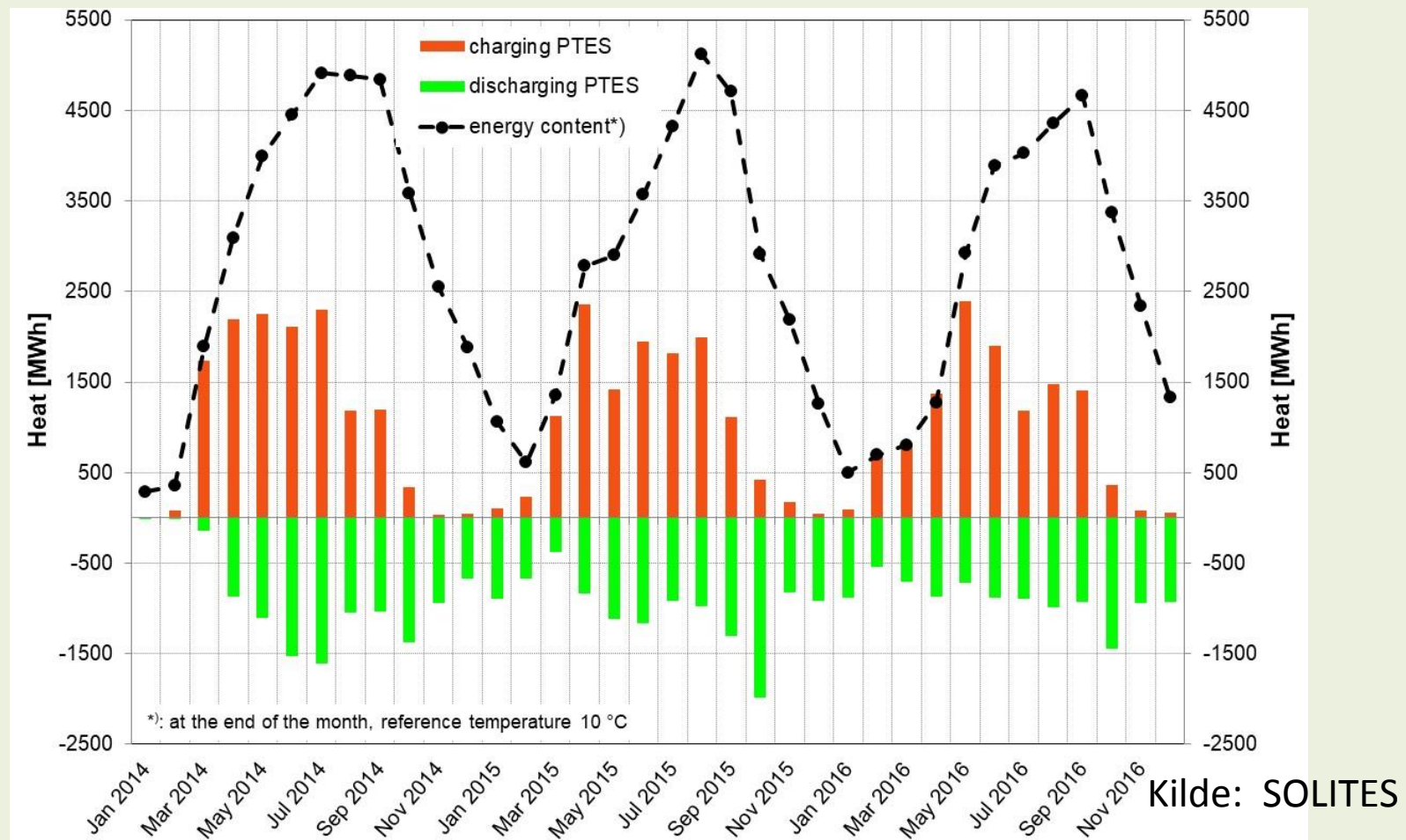
Færdigt lager i Dronninglund



Målte lagertemperaturer i Dronninglund



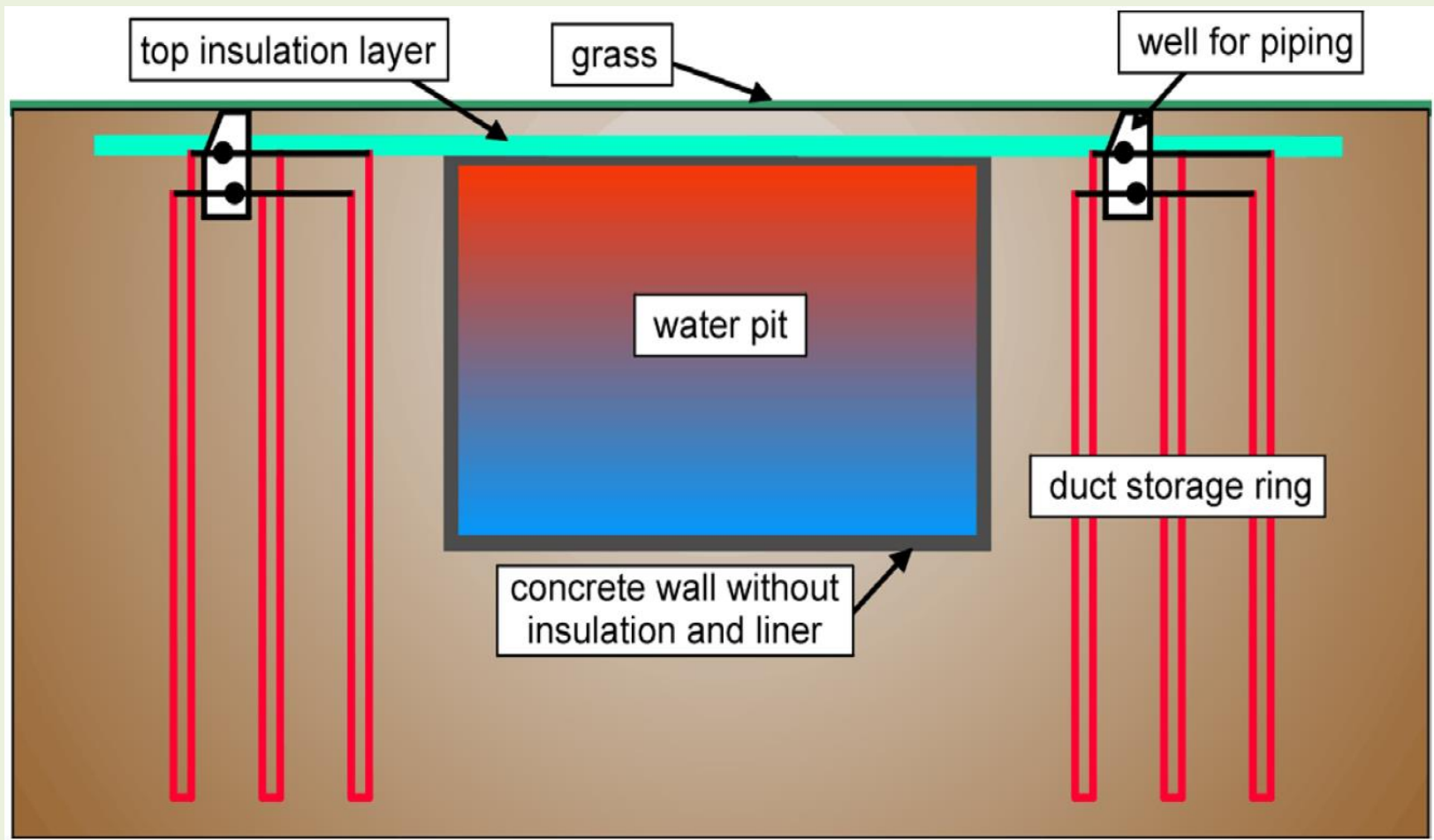
Målte energiflow i Dronninglund



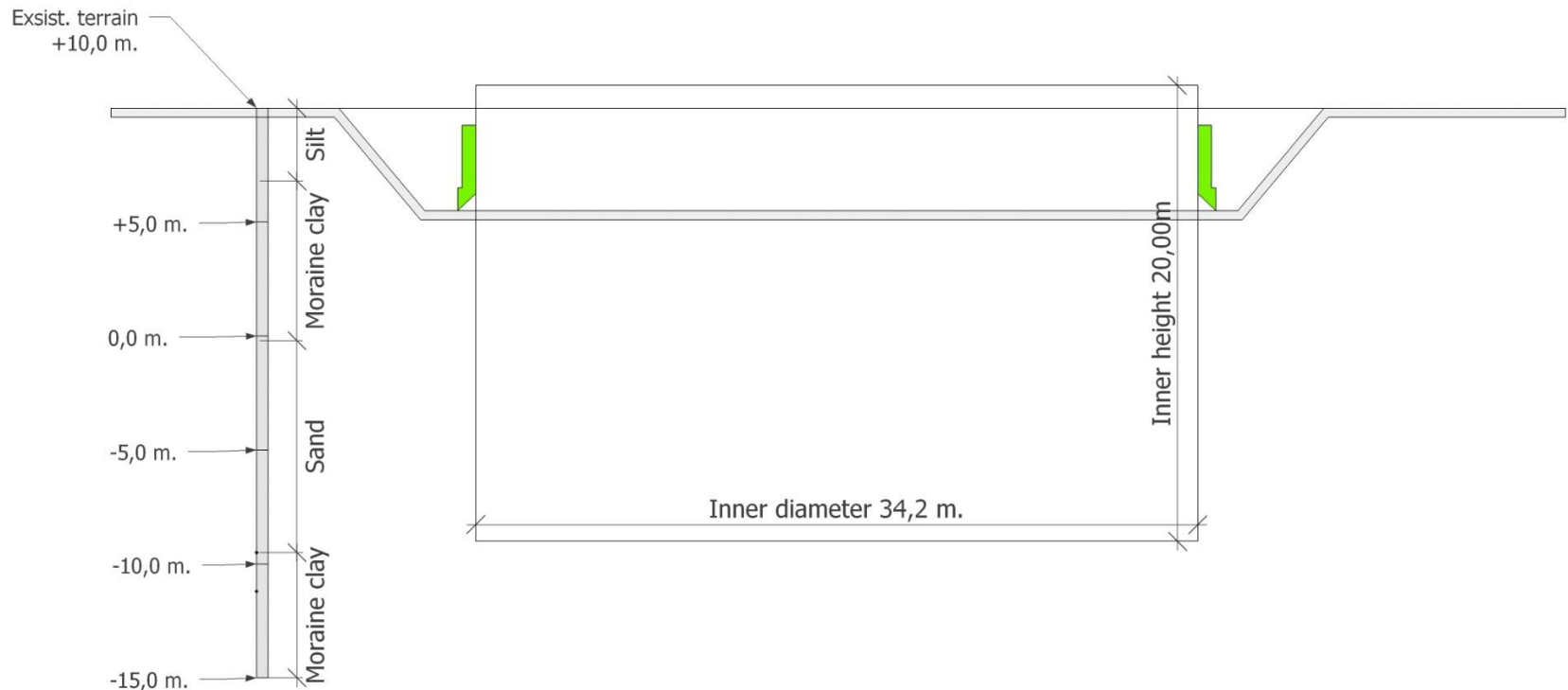
Hybridlager

Anlægsvært søges!

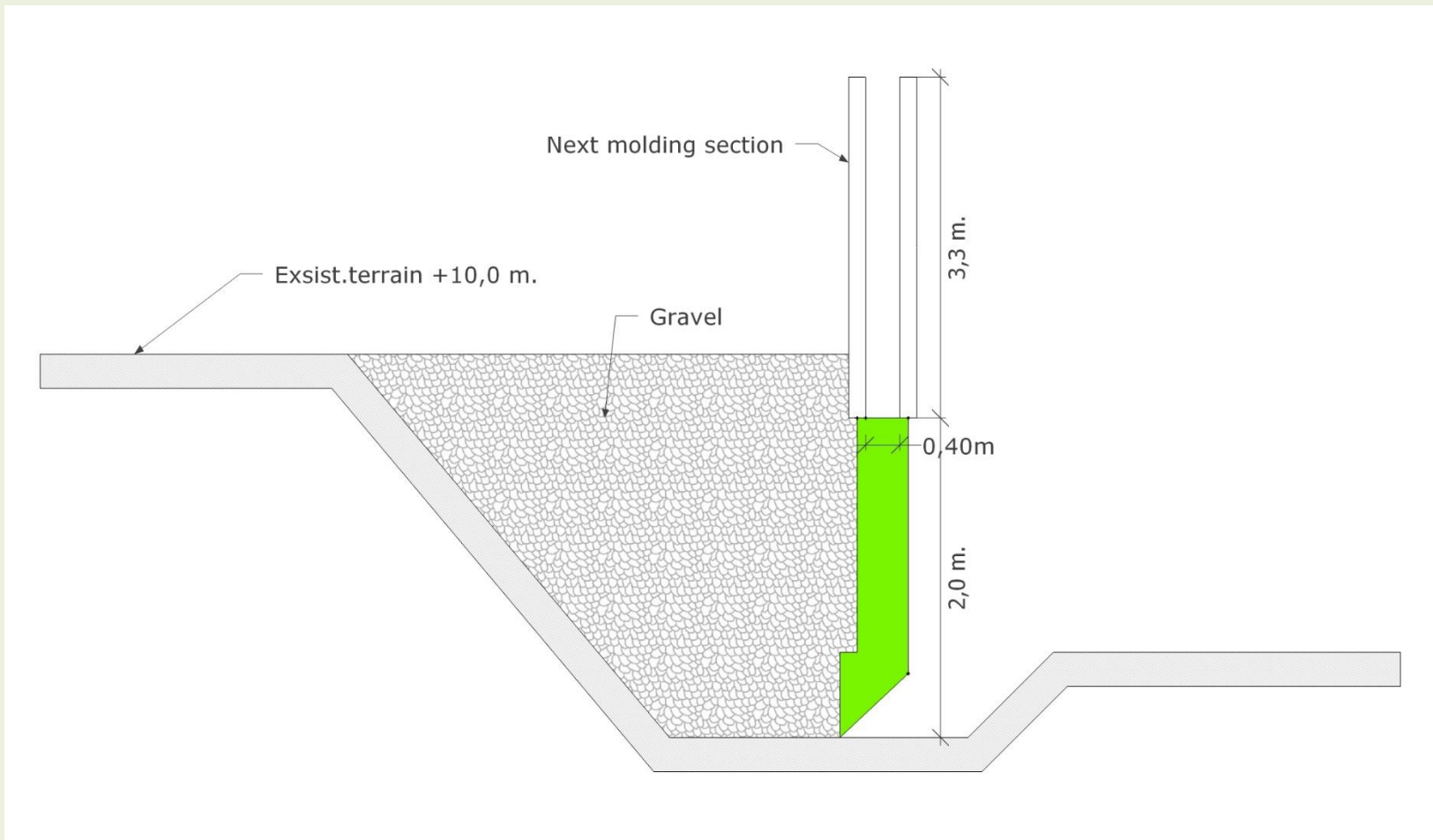
Hybridlager (Kilde: ZAE Bayern)



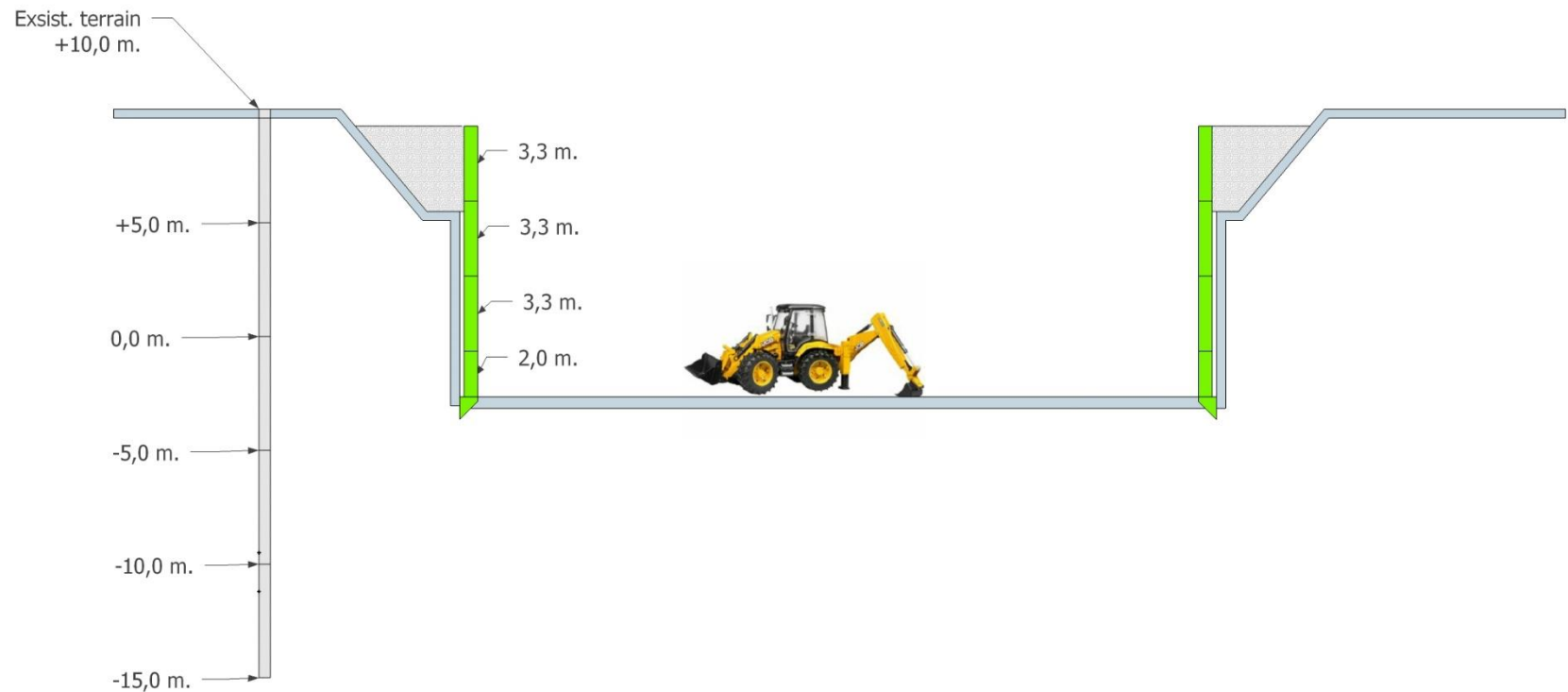
Nedgravet betontank – 1



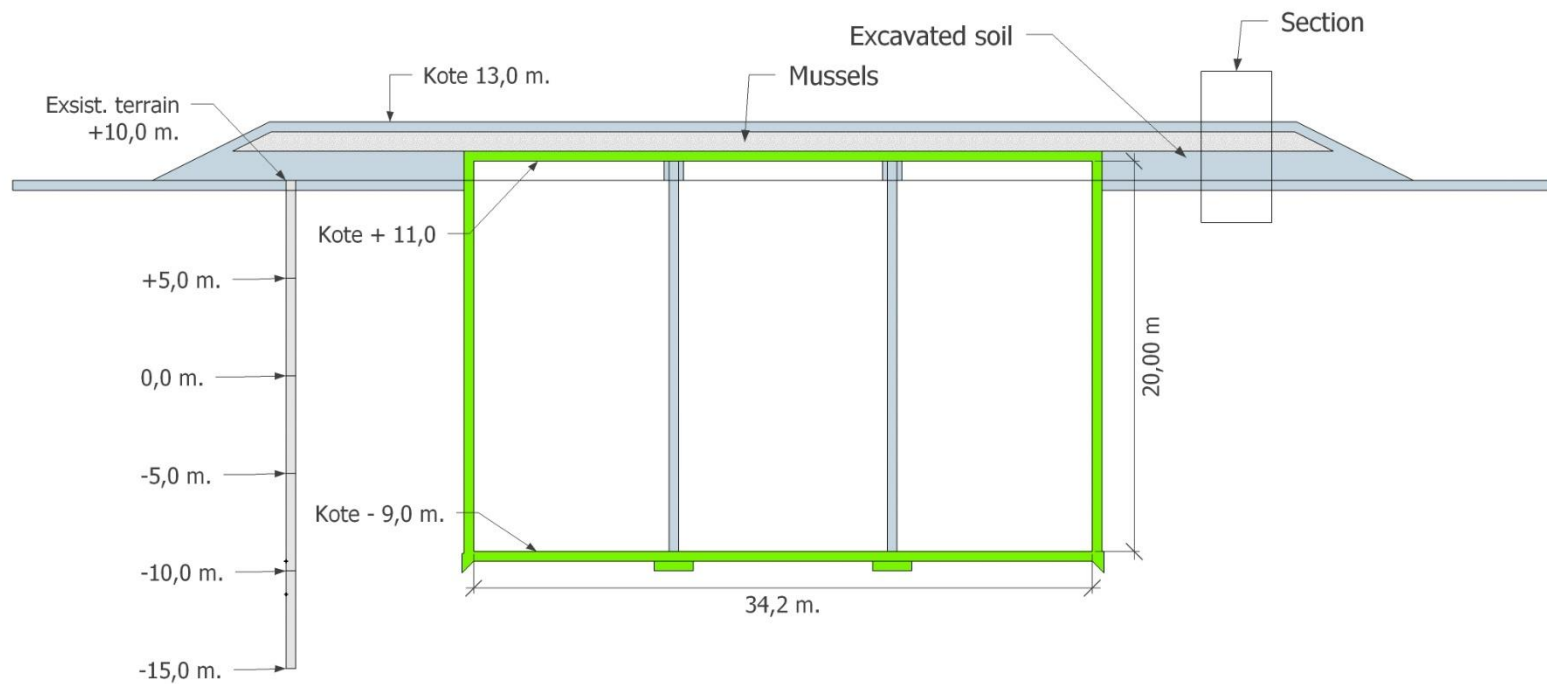
Nedgravet betontank – 2



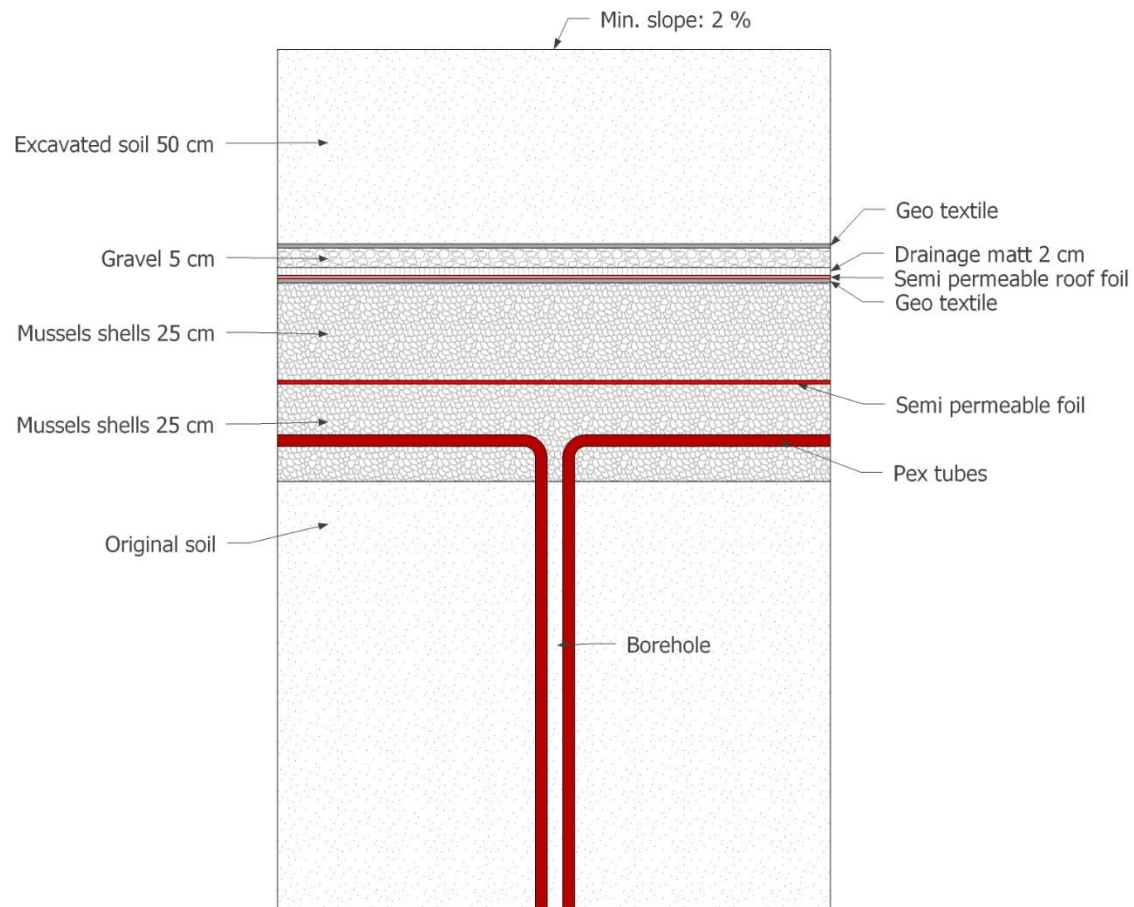
Nedgravet betontank – 3



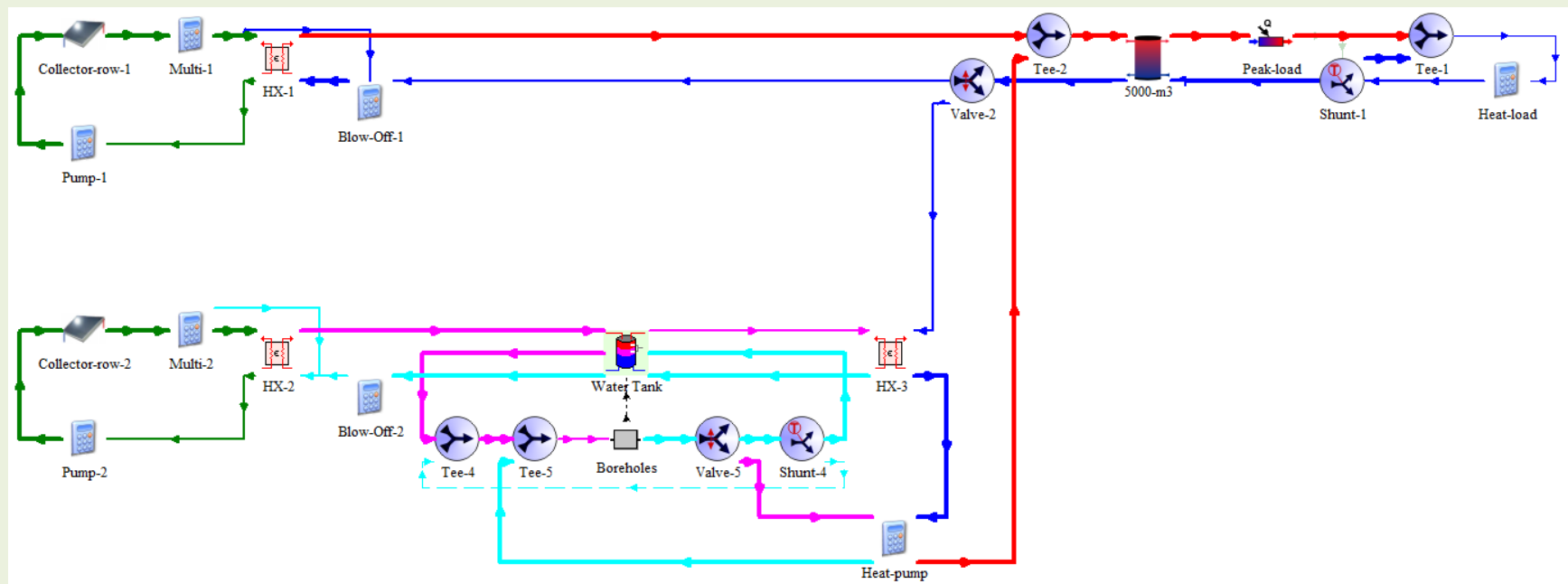
Nedgravet betontank – 4



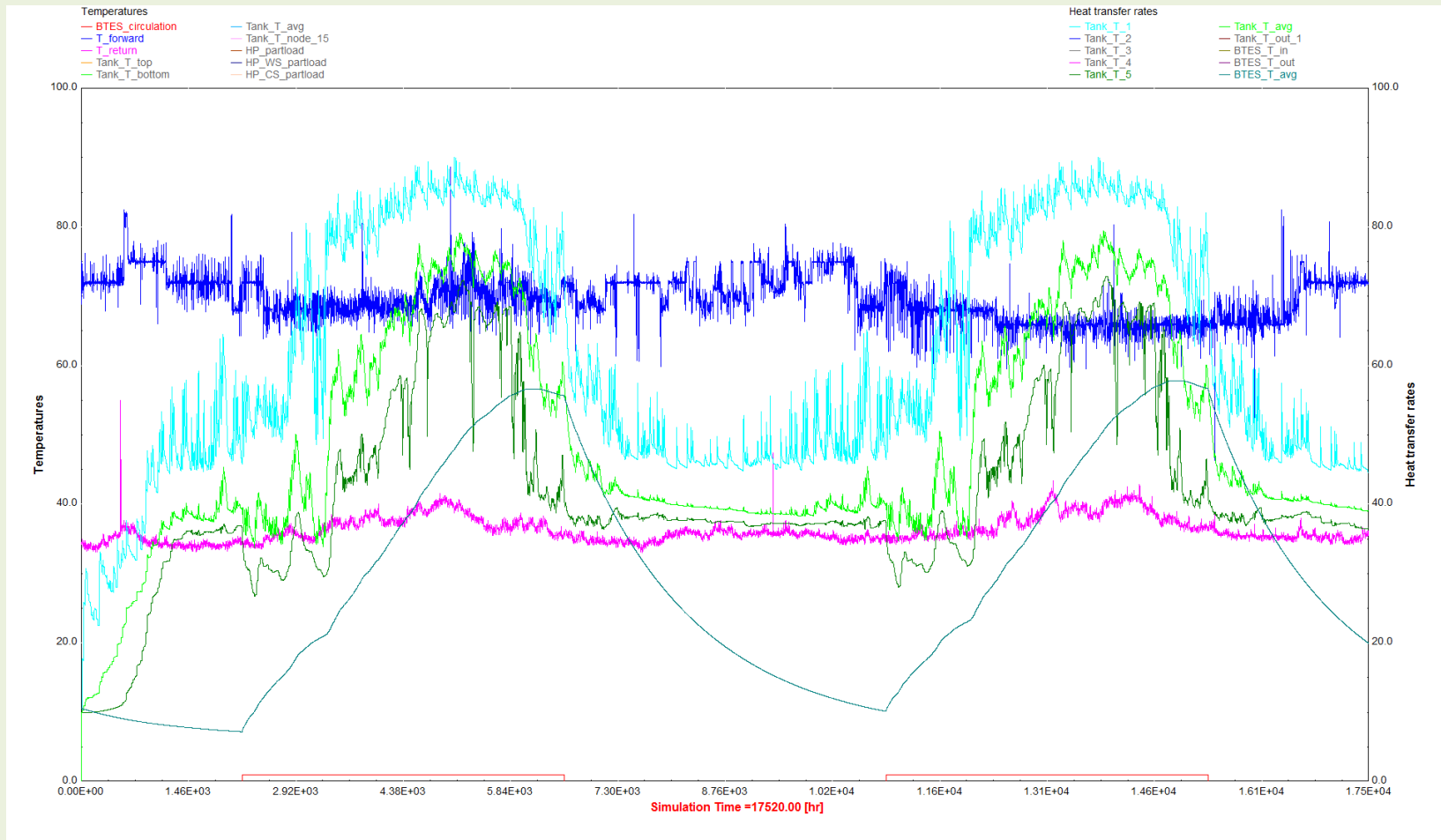
Borehulslager omkring betontanken



Hydrauliske forbindelser i TRNSYS-model

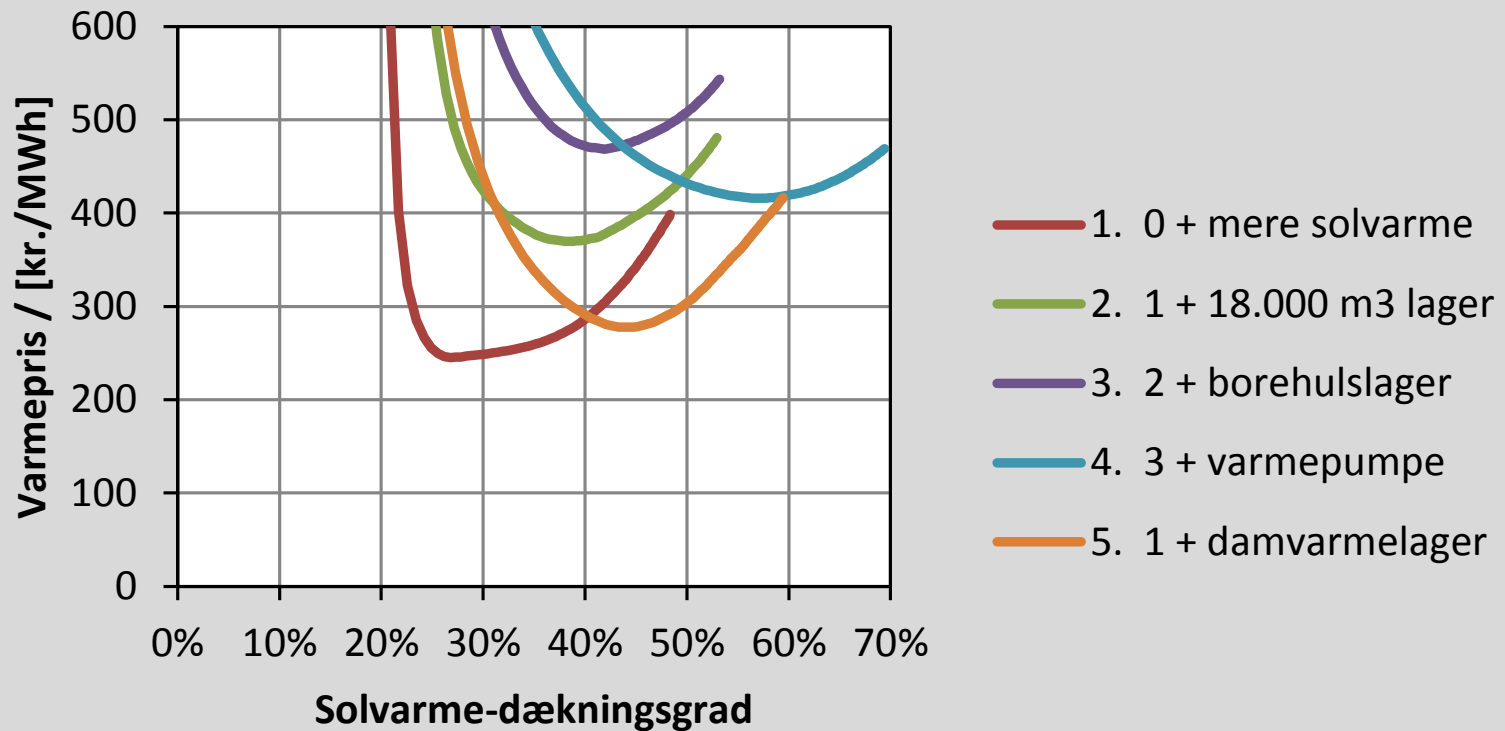


Beregnete lagertemperaturer



Varmepriser

Uden støtte - 25 år



CHESTER

Horizon 2020-projekt

CHESTER

- Compressed **H**eat **E**nergy **S**torage for **E**nergy from **R**enewable sources

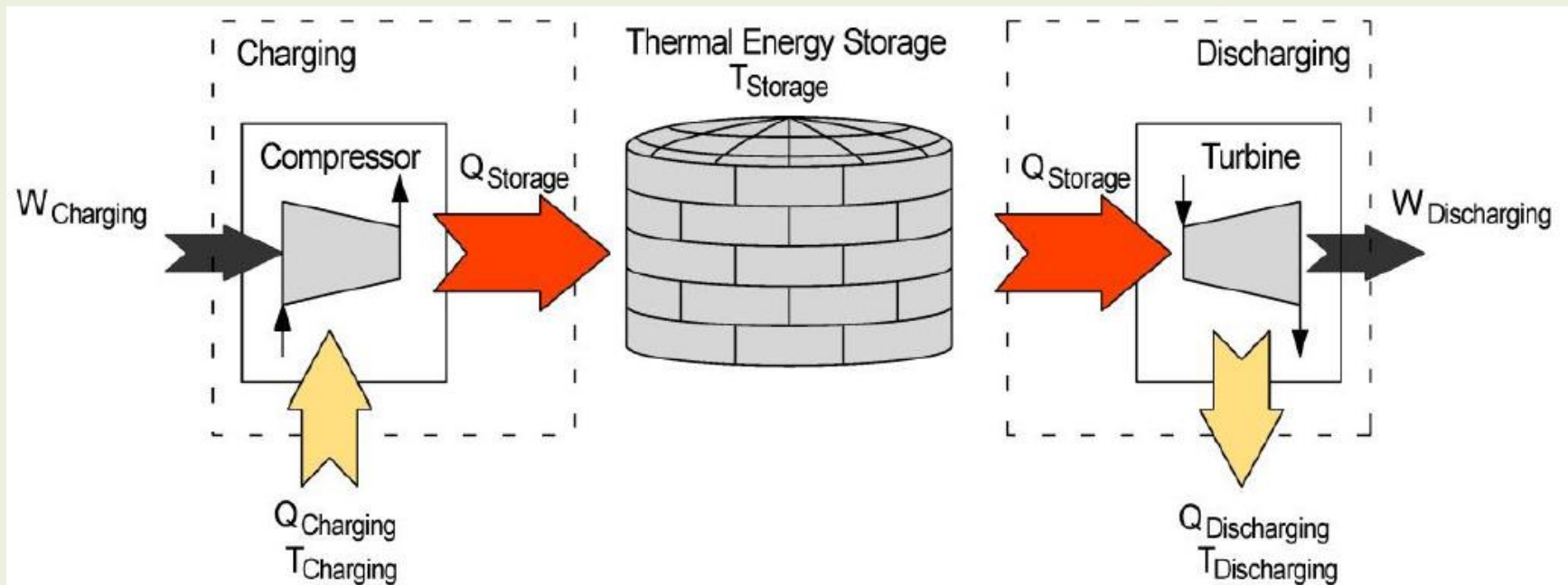
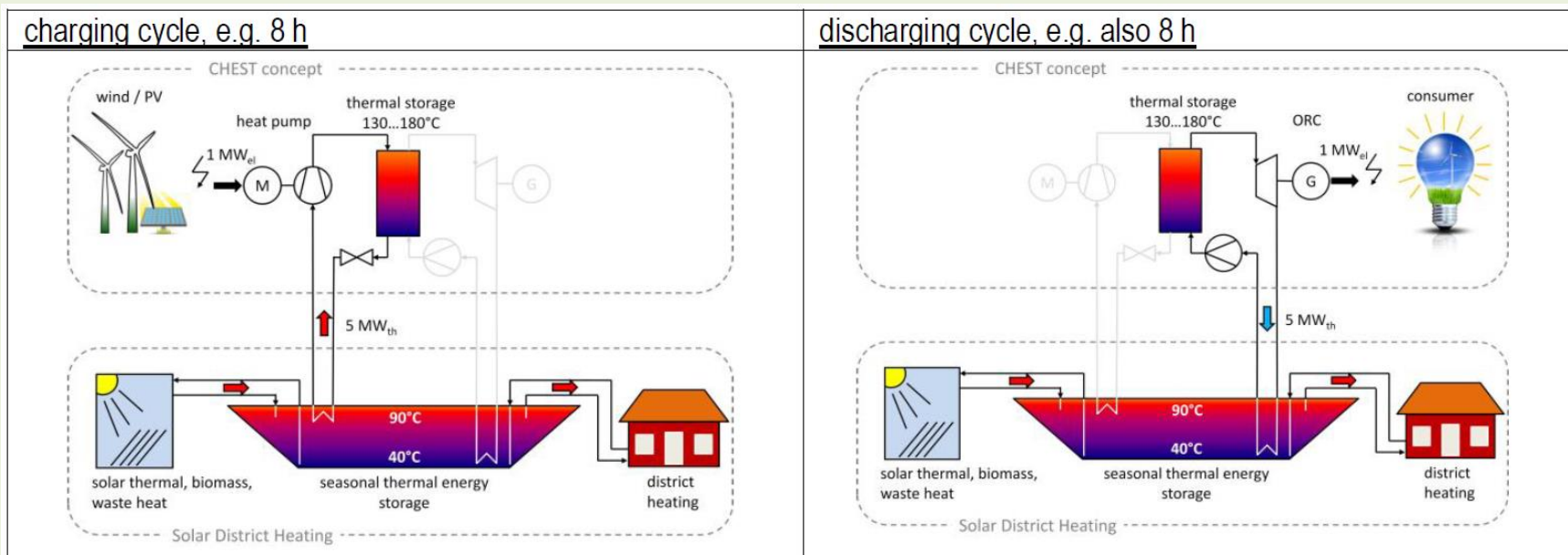


Figure 2: Basic concept of thermo-mechanical energy storage

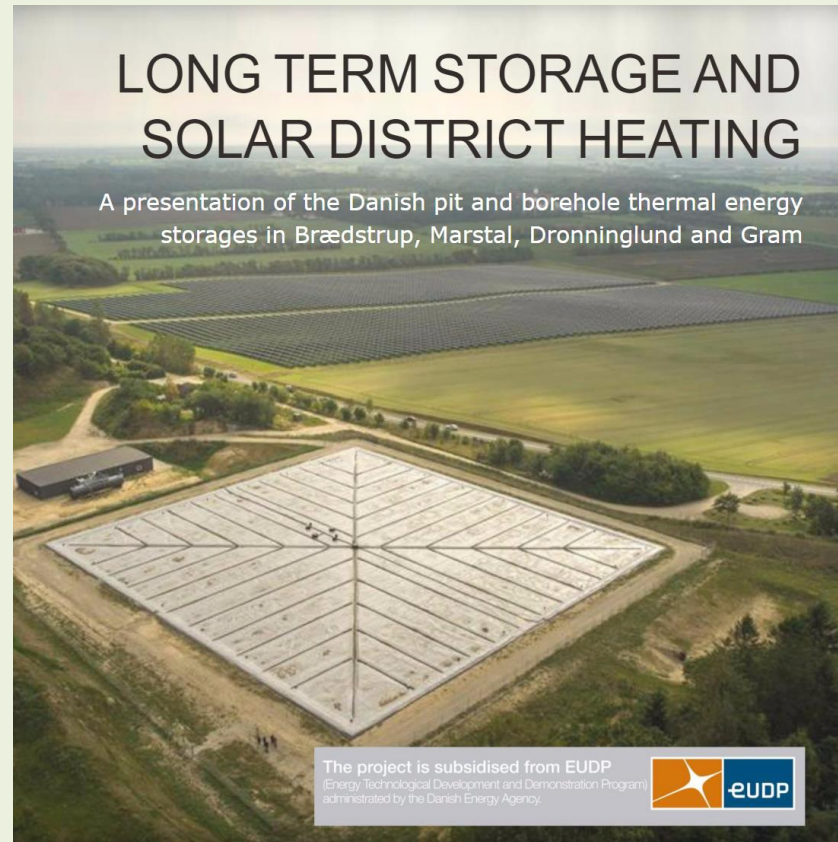
CHESTER

- Op- og afladning



- Cycle trip efficiency (P2P) op til 100% (eller mere)

TES brochure



- https://issuu.com/planenergi.dk/docs/sol_til_fjernvarme_brochure_oplag_2



Tak for opmærksomheden

nf@planenergi.dk M +45 2064 6084

www.planenergi.dk T +45 9682 0400