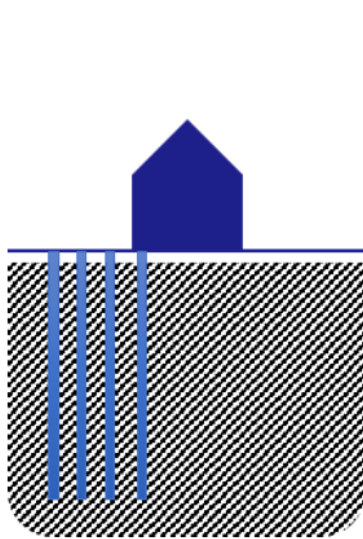
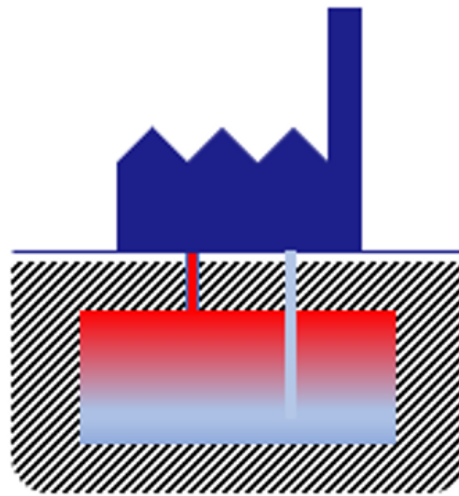


# Analys av utvalda lagertekniker



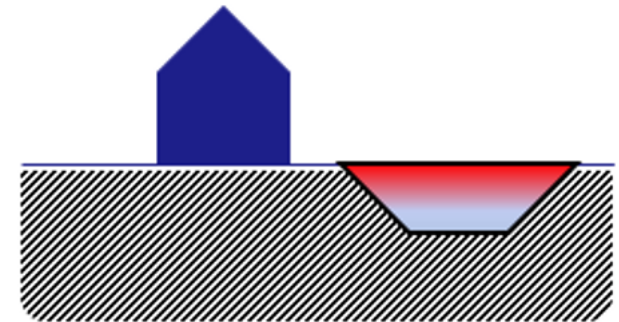
**BTES**

Borrhål i berg



**CTES**

Bergrum



**PTES**

Grop

# HT-BTES – Erfarenheter



Luleå 1983-1989 120 bh, depth 65 m

- DH seasonal, surplus heat from steel plant

Anneberg 2001 99 bh, depth 65 m

- Solar seasonal

Emmaboda 2010- 144 bh, depth 150 m

- Surplus heat from foundry
- Changed to discharge with heat pump

Drammen 2020- 100 bh, depth 50 m

- Seasonal, Charged with solar and PV-driven ASHP

Kolbotn 2022- 60 bh, depth 100 m

- Soccer field heating, Charged with solar and PV-driven ASHP

*Advanced feasibility studies:*

Linköping 1500 bh, depth 250-300 m

Helsingborg 1500 bh, depth 120 m

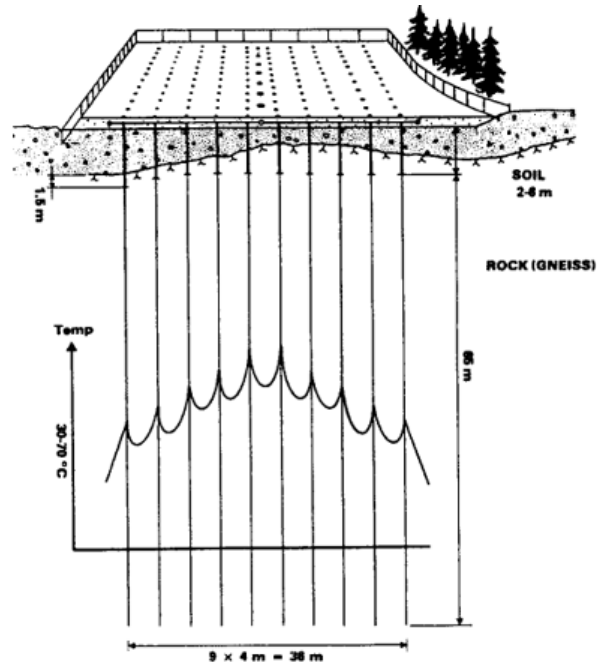
Furuset 450 bh, depth 180 m

Typical borehole spacing 4-5 m

# HT-BTES - Erfarenheter

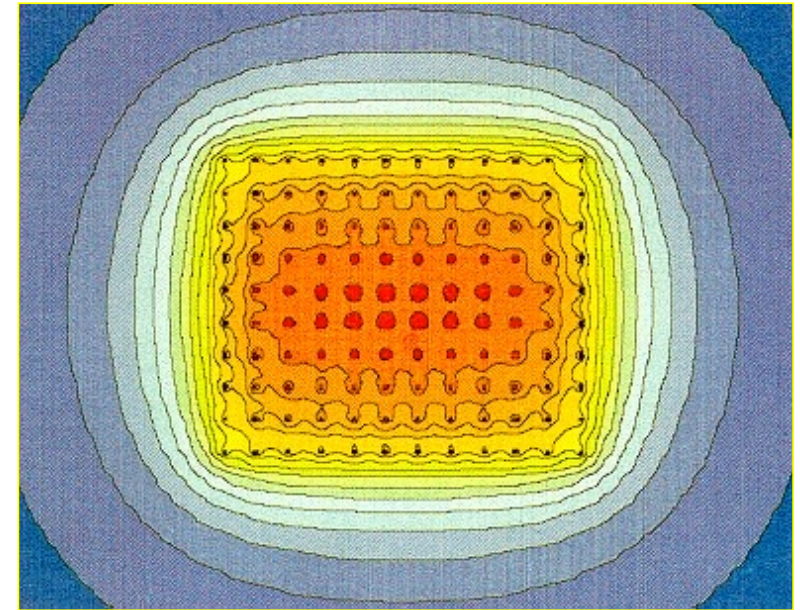
Country	Location	Energy source	Application	Start of operation	No. of boreholes	Borehole depth (m)	Max. Temp. (°C)	Tubes	Storage volume (1000 m <sup>3</sup> )	Estimated capacity (MWh)	Storage efficiency	Soil type
Canada	Drake Landing	Solar	Domestic (52 homes)	2008	144	35	80	U-tubes	34	780	0,5	Sand silty, clayey
Sweden	Luleå	Industrial	n/a	1983	120	65	65	Open	115	2000	45-55%	Crystalline rock
	Emmaboda	Industrial	Office buildings	2010	141	149	45	Coaxial	323	3800	n/a	Crystalline rock
	Anneberg	Solar	Domestic (50 homes)	2002	99	65	45	n/a	59	1467	0,46	Crystalline rock
Czech Republic	Paskov	CHP	Test site	2011	16	60	78	Double U-tubes	n/a	555	n/a	Clay/miocene rocks
Germany	Neckarsulm	Solar	Domestic (300 homes, shops)	1997	528	30	65	Double U-tubes	63	1000	n/a	Clay
	Crailsheim	Solar	School buildings	2008	80	55	65	Double U-tubes	38	1135	n/a	Mudstone/ Limestone
	Attenkirchen	Solar+ hybrid	Domestic (30 homes)	2002	90	30	n/a	Double U-tubes	10	77	n/a	n/a
Denmark	Brædstrup	Solar	District heating	2013	48	45	70	U-tubes	19	616	0,61	Clay/till
Belgium	Mol	Wast heat	Building	2002	144	30	82	U-tubes	16	130	n/a	Sand saturated
Netherlands	Groningen	Solar	Domestic (96 homes)	1985	20	20	50	U-tubes	23	595	n/a	Sand, clayey
Finland	Kerava	Solar+ hybrid	Domestic (44 homes)	1983	54	25	50	U-tubes	11	n/a	n/a	Soil and bedrock

# HT-BTES - Luleå



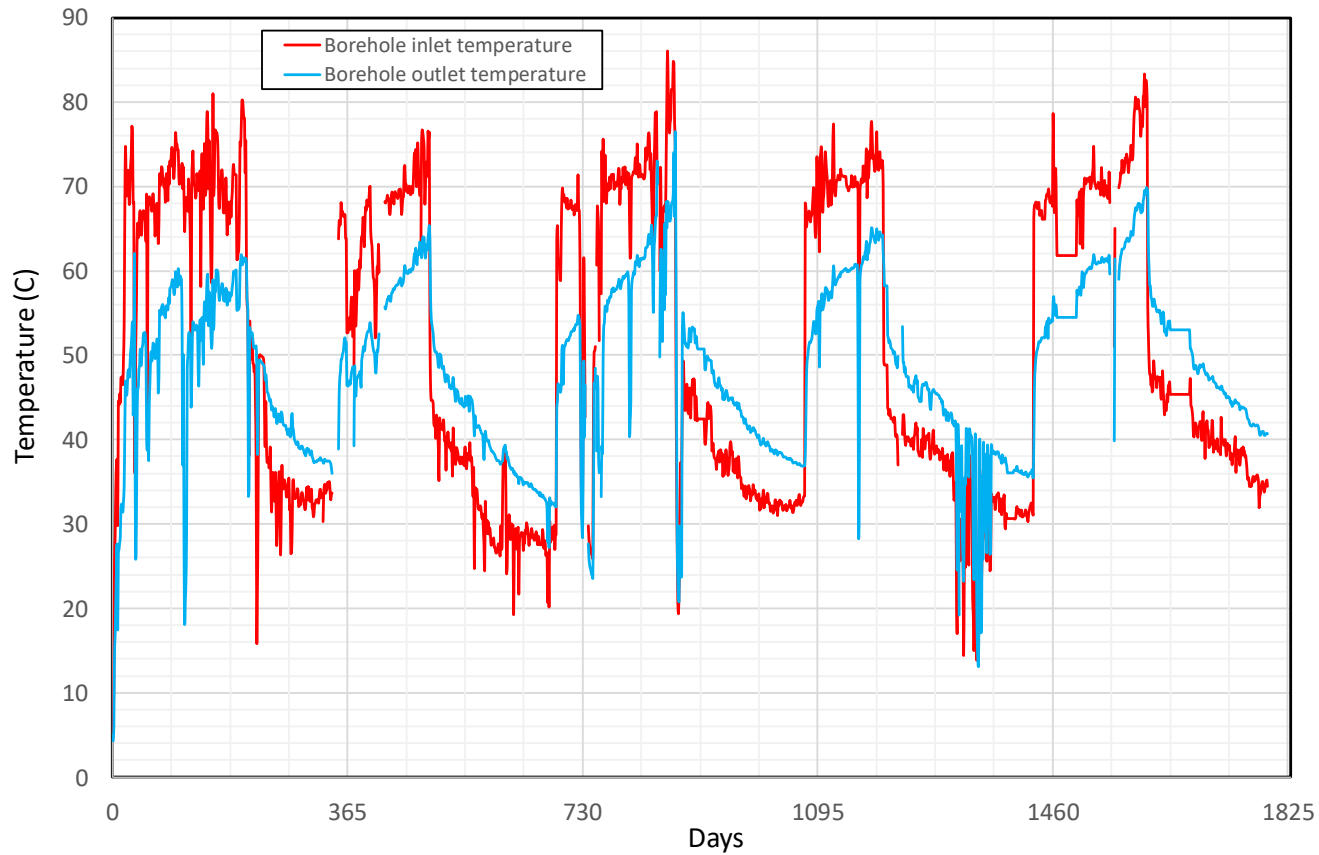
120 borrhål till 65 m djup. Borrhålsavstånd 4 m.

- Sommar: Spillvärme från SSAB's stålverk (ca 2 GWh max 82 °C)
- Vinter: Direktuppvärmning av universitetsbyggnad (ca 1,2 GWh)
- I drift 1983 - 1989

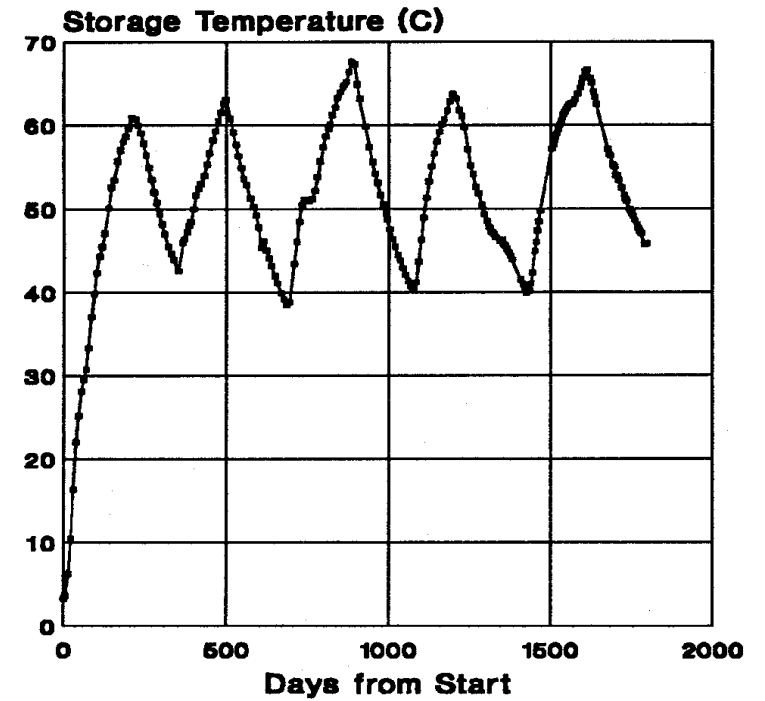


Simulerad temperatur i berget när lagret är fulladdat

# HT-BTES - Luleå



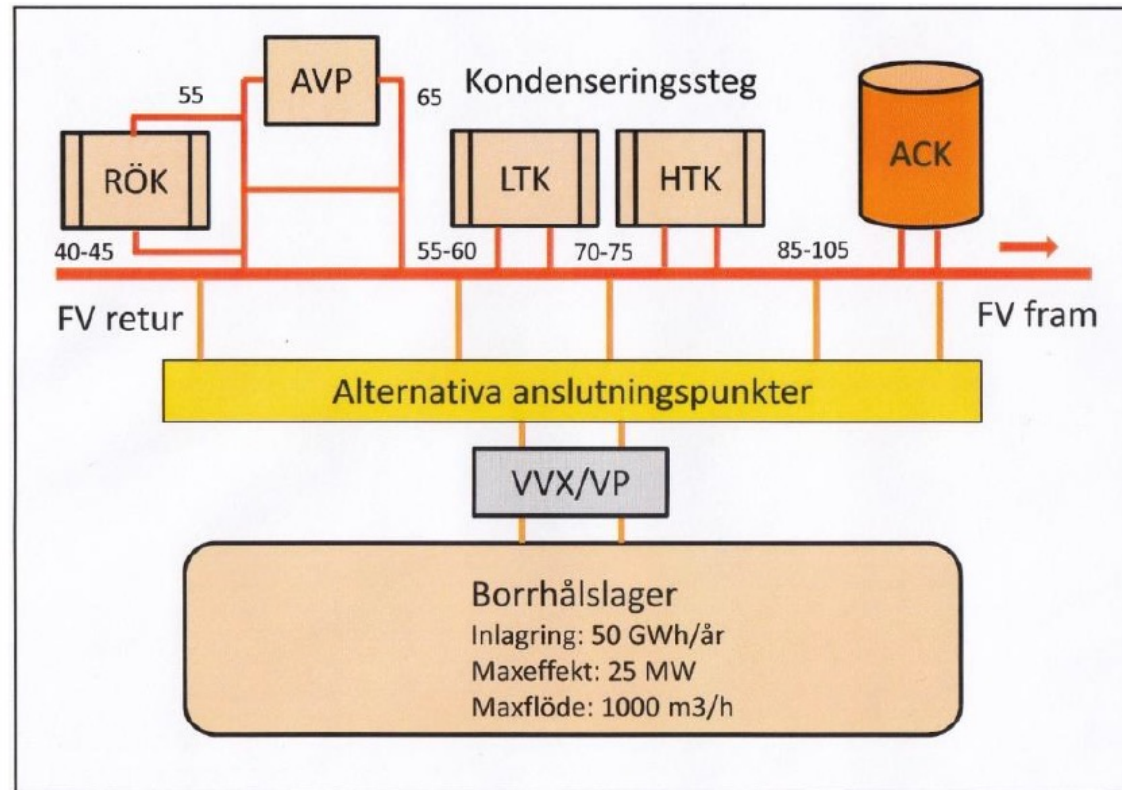
Uppmätt fluidtemperatur 1983-1988



Beräknad medeltemperatur i lagret 1983-1988



# HT-BTES – Helsingborg (Öresundskraft)

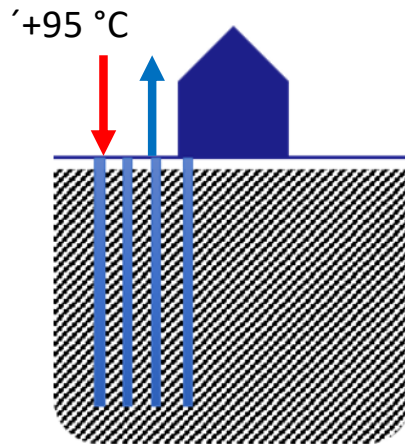


Värmelager vid avfallsförbränningensanläggning

Sommar – överskott till värmelager, Vinter – förvärmning av retur/ev värmepump

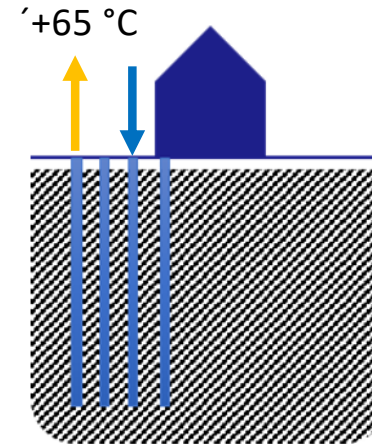
# HT-BTES – Furuset, Oslo (Celsio) Pilotprojekt

SOMMAR



Laddning av  
överskottsvärme från  
avfallsförbränning via  
fjärrvärmens stamnät

VINTER



Värmetillförsel till lokalt  
termiskt lågtemperaturnät (4G)

# HT-BTES

## **Materialkrav för borrhålsvärmväxlare:**

- PEX klarar maximalt +95 °C
- Nya material under test som förväntas klara ca +100 °C
- Billigare material kan användas upp till ca +70-75 °C

## **Geologi:**

- Lämpligt berg för borrhning
- Relativt tätt berg för att begränsa värmeförluster pga grundvattenströmning

## **Placering:**

- Kräver viss markyta (ytan kan användas som till exempel parkering, idrottsplats o.d.)



# CTES - Erfarenheter



Avesta 1979- 15,000 m<sup>3</sup>

- DH weekly

Lyckebo 1982- 105,000 m<sup>3</sup>

- Solar seasonal / DH short-term

Oxelösund 1988-1992 200,000 m<sup>3</sup>

- DH seasonal, Surplus heat from steel plant, Converted
- Cost about 30 % of new-built

Oulu 1989- 190,000 m<sup>3</sup>

- DH seasonal, Two converted oil caverns

Hornsberg 2009-

- DC diurnal, Cold storage

Hudiksvall 2018- 95,000 m<sup>3</sup>

- DH seasonal, Two converted oil caverns

Vaasa 2020- 150,000 m<sup>3</sup>

- DH seasonal, Converted oil cavern

Helsinki/Mustikkamaa 2021- 260,000 m<sup>3</sup>

- DH seasonal, Two converted oil caverns

*Planned:*

Västerås 2022- 300,000 m<sup>3</sup>

# Tekniska data för CTES i Finland

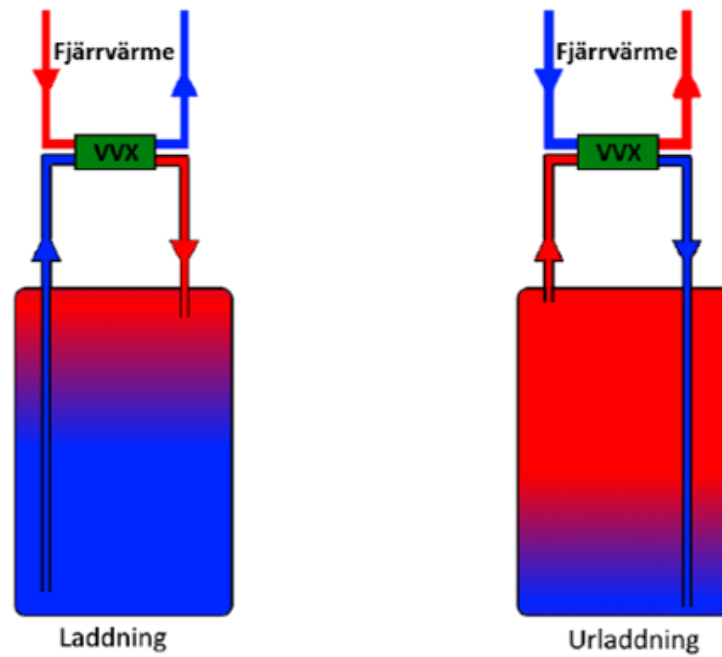
Technical comparison of rock cavern thermal energy storage system by site						
Technical parameters		Helsinki		Vaasa	Vantaa	Oulu
Parameter	Unit	Kruunuvuorenranta	Mustikkamaa	Vaskiluoto	Kuusikonmäki	Oulu
Amount of thermal energy storages	n	2	2	1	3	-
Total volume	$m^3$	300 000	320 000	210 000	960 000	-
Effective water volume	$m^3$	300 000	260 000	150 000	900 000	-
Expansion space	$m^3$	no information	60 000	60 000	60 000	-
Capacity	<i>GWh</i>	-	11,6	7 – 9	90	-
Power (discharging/charging)	<i>MW</i>	3 ( <i>discharging</i> )	120	100	200	-
Annual yield	<i>GWh</i>	6 – 7	140	-	-	-
Depth (seiling/bottom)	<i>m</i>	20/50	50/80	30/60	60/100	-
Aspect ratio	-	1,67/1,88	dimensions?	1,50	2,05	-
Operating temperature	°C	2 – 24	45 – 100	45 – 95	35 – 140	-
Reduction of carbon dioxide emissions	ton/y	-	21 000	-	65 000	-
Reduction of coal usage	%	-	-	30	-	-
Year of commissioning	-	2030 (estimated)?	2021	2020	2026 (estimated)	-

Hög effektkapacitet: upptill 100-200 MW (beroende på extern värmväxlare och pump)

Hög lagringstemperatur: upp till 140 °C (beroende på trycksättning och lagrets djup)

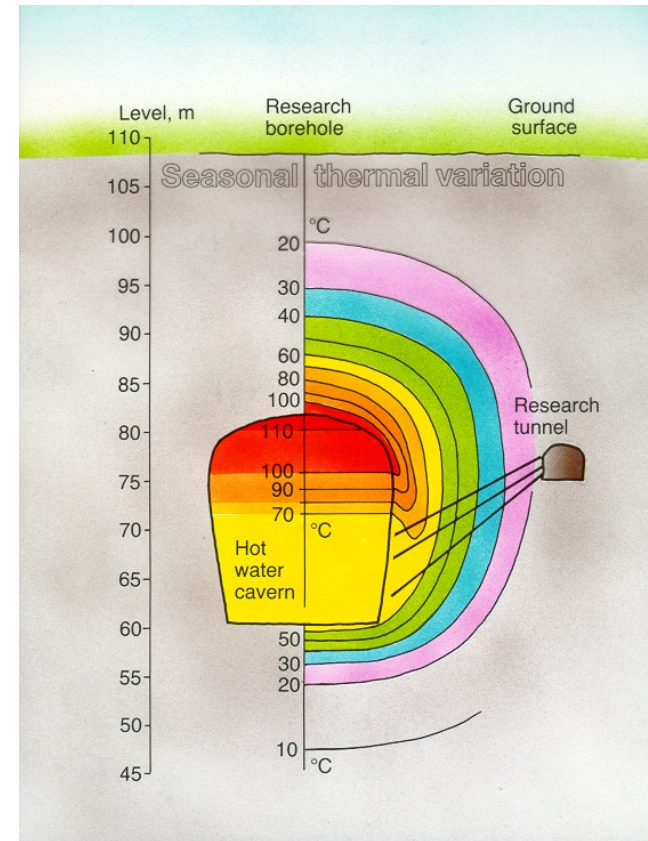
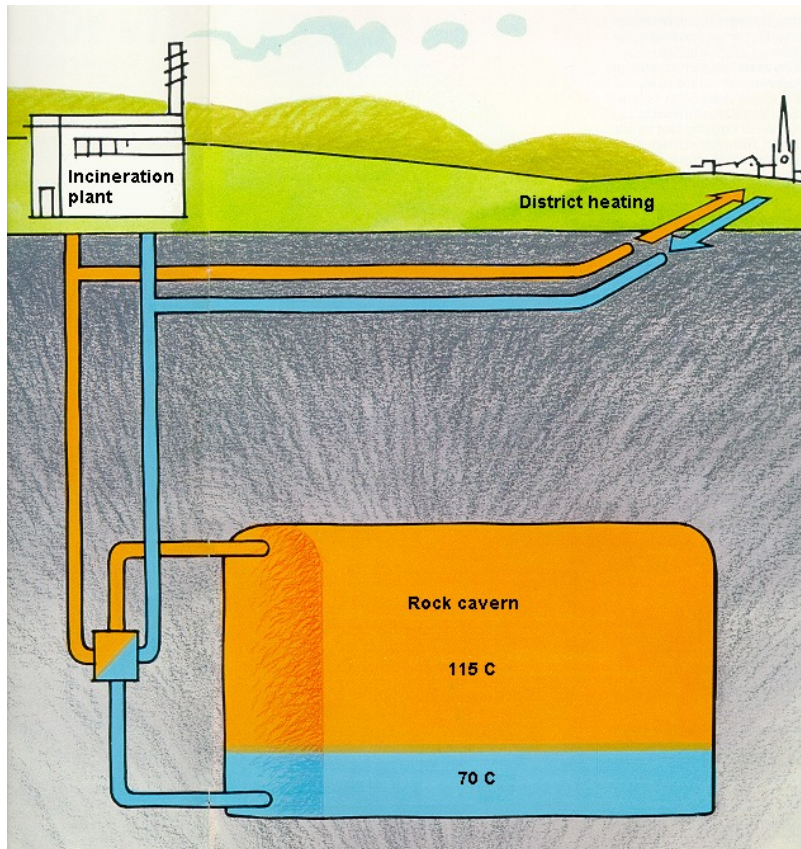
Lagrets värmekapacitet kan omsättas många gånger per år (jfr lagringstank)

# CTES - Lagringscykel



Schematisk bild av laddning och urladdning av ett bergumslager

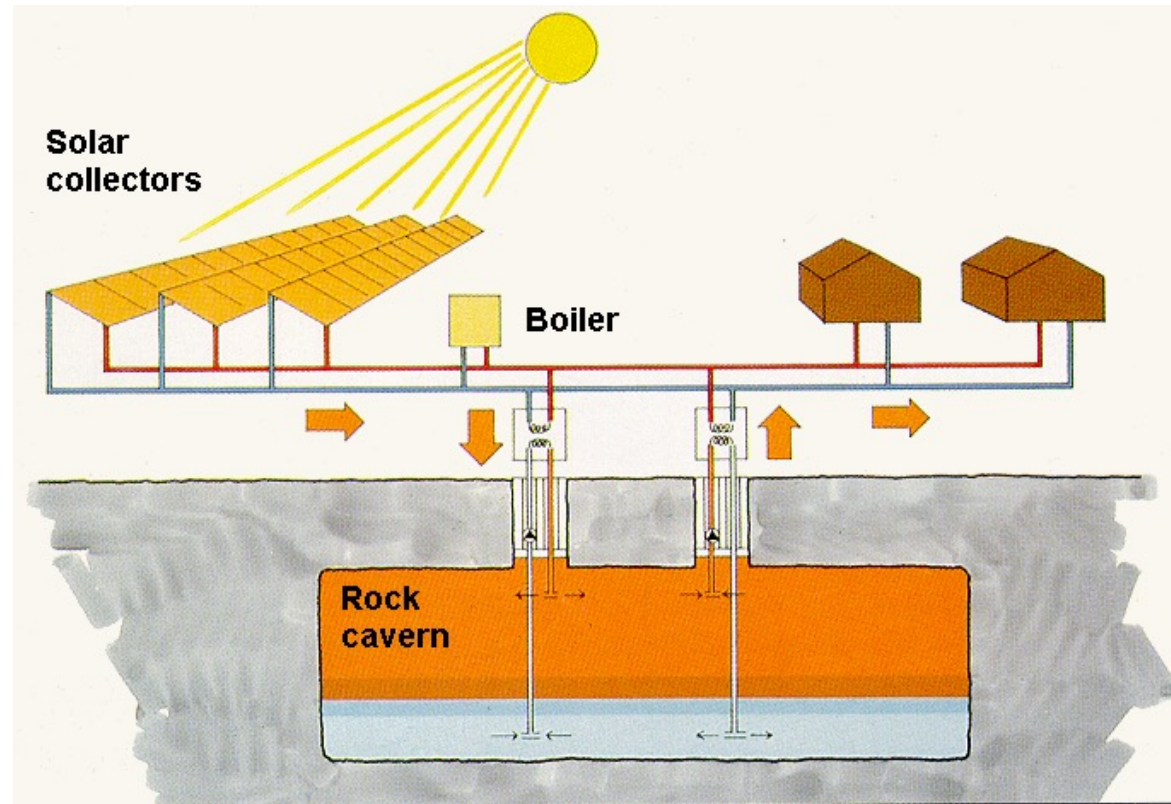
# HT-CTES - Avesta



Avesta fjärrvärme (1979). 15,000 m<sup>3</sup>, 115 °C laddning, veckolagring (1979) → dygnslagring (2022)

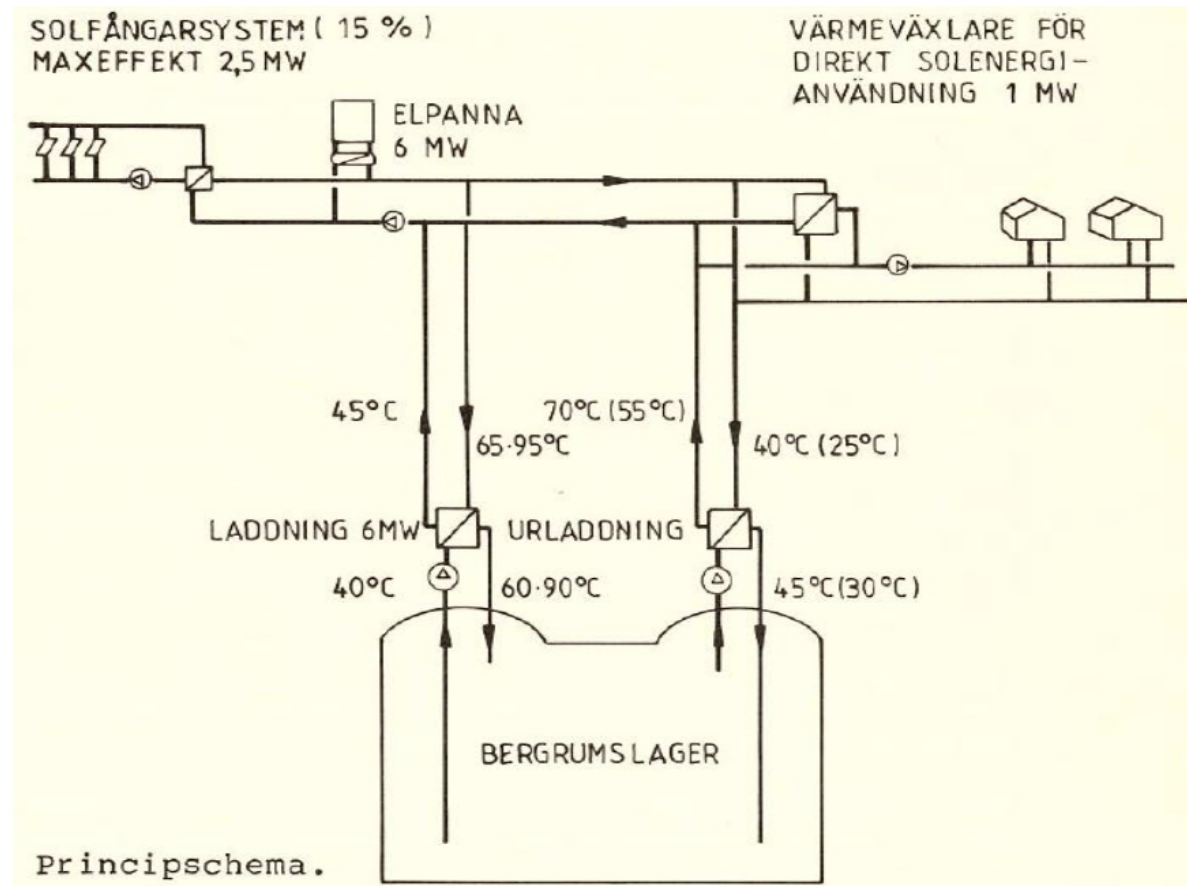


# HT-CTES - Lyckebo, Uppsala



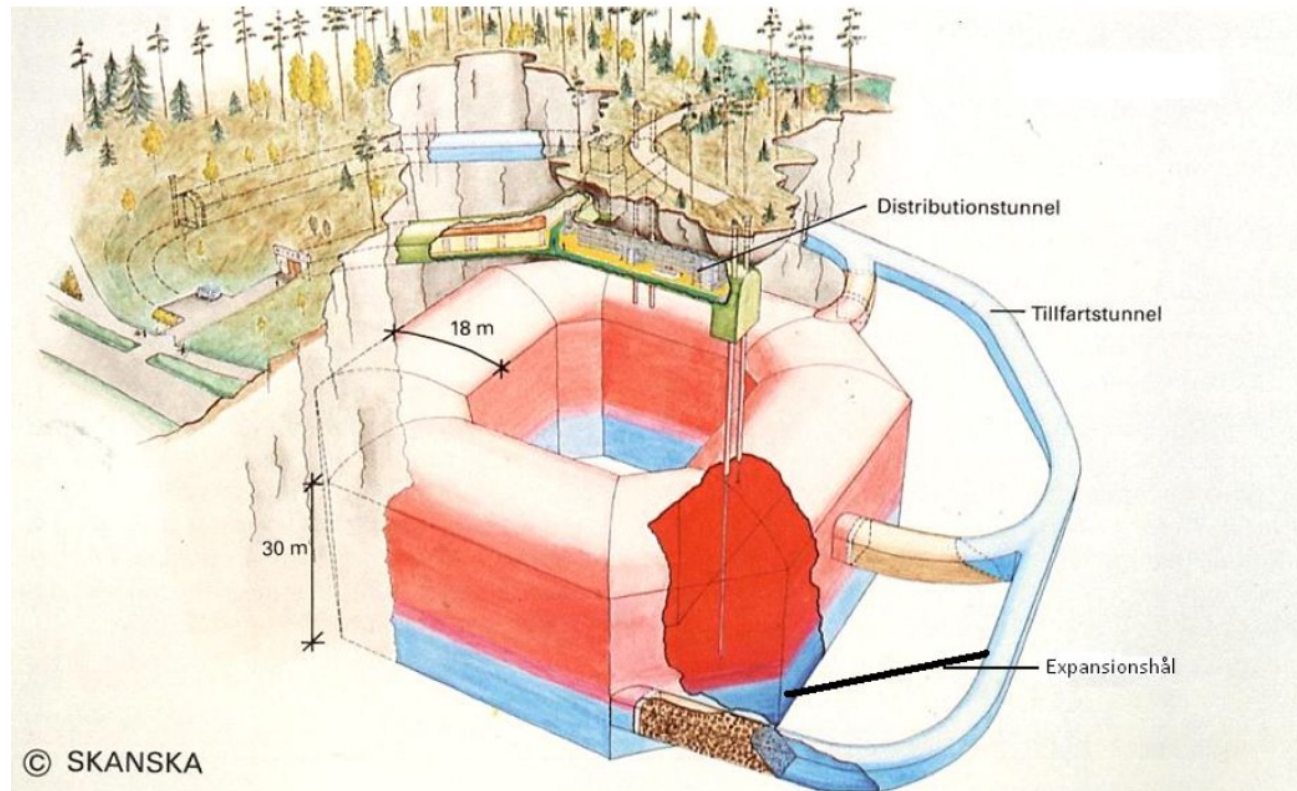
Lyckebo (1982). 105,000 m<sup>3</sup>, 95 °C laddning, säsongslagring av solvärme i lokalt termiskt nät (1982) → effektlager (2022)

# HT-CTES - Lyckebo, Uppsala



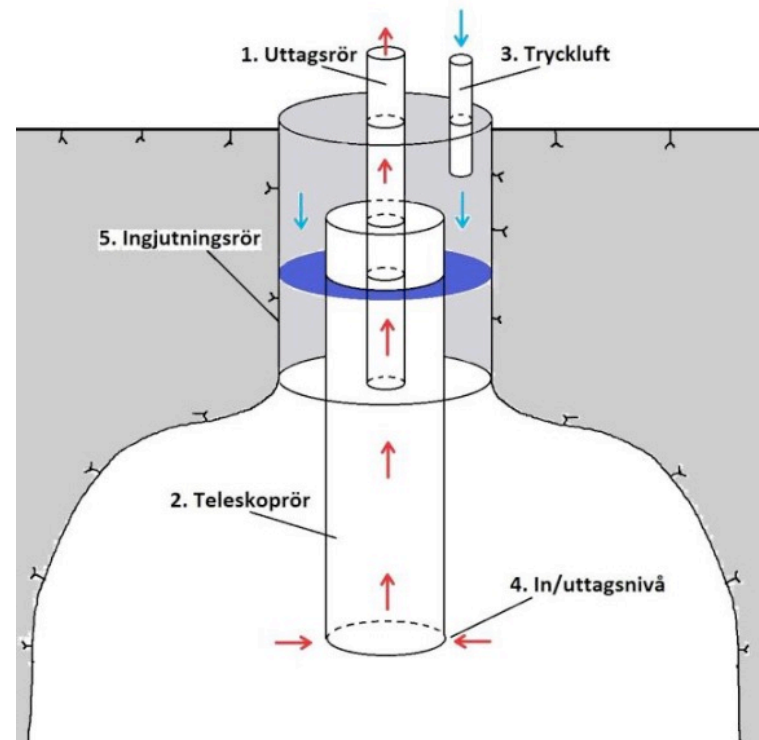


# HT-CTES - Lyckebo, Uppsala



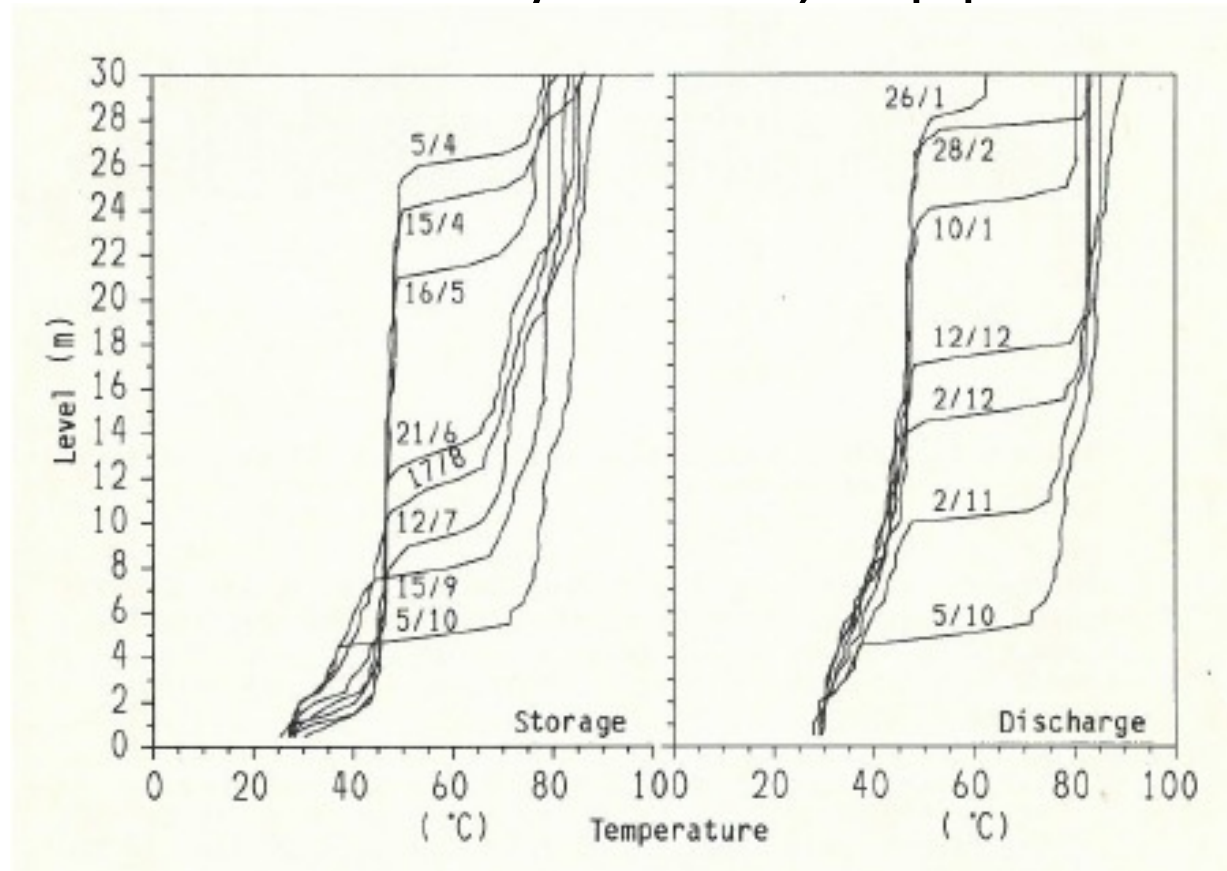
Lagrets utformning (cylinderformat för minimera värmeförluster)

# HT-CTES - Lyckebo, Uppsala



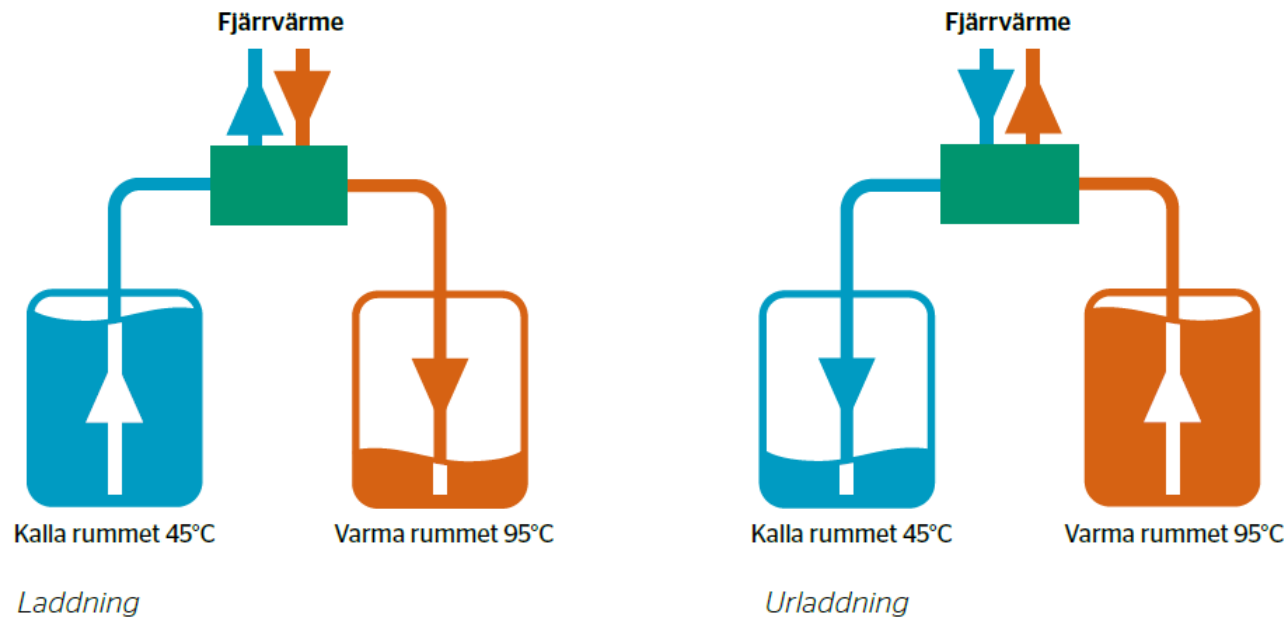
Uttag och tillförsel av vatten på vald nivå via teleskoprör för att vidmakthålla god temperaturstratifiering

# HT-CTES - Lyckebo, Uppsala



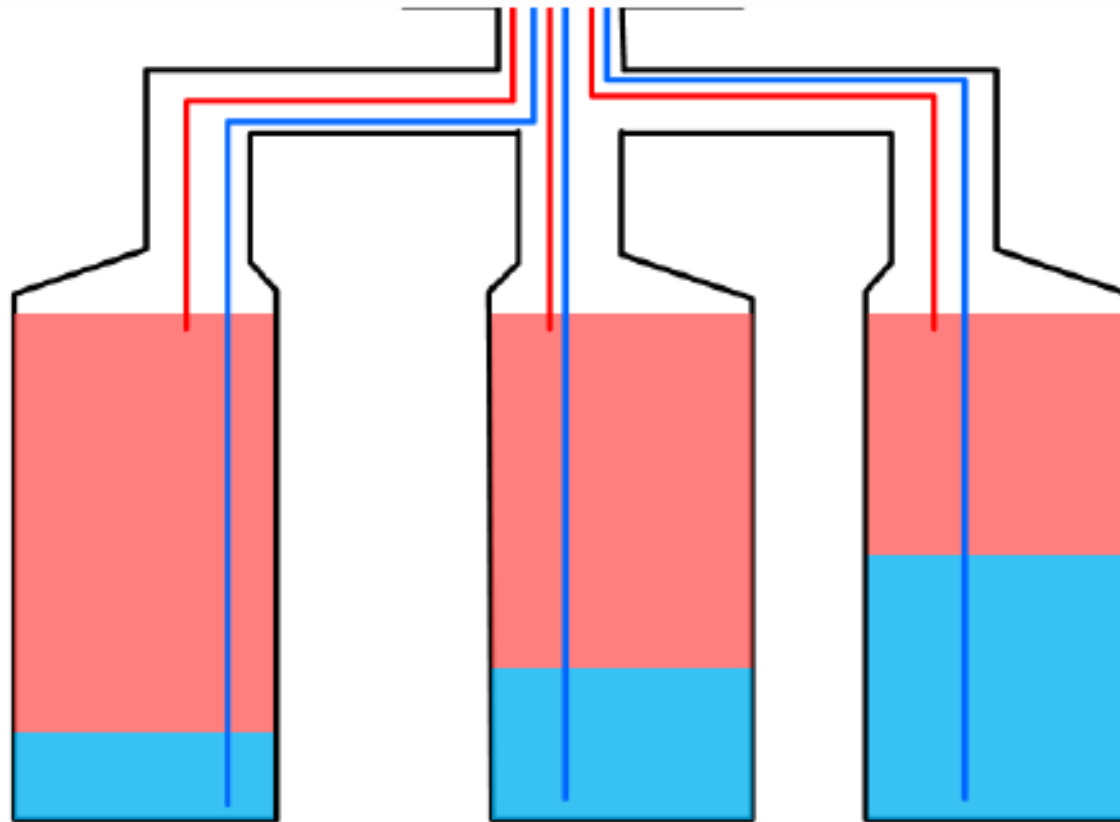
Uppmätt temperaturstratifiering vid laddning (t.v.) och uttag (t.h.)

# HT-CTES - Hudiksvall



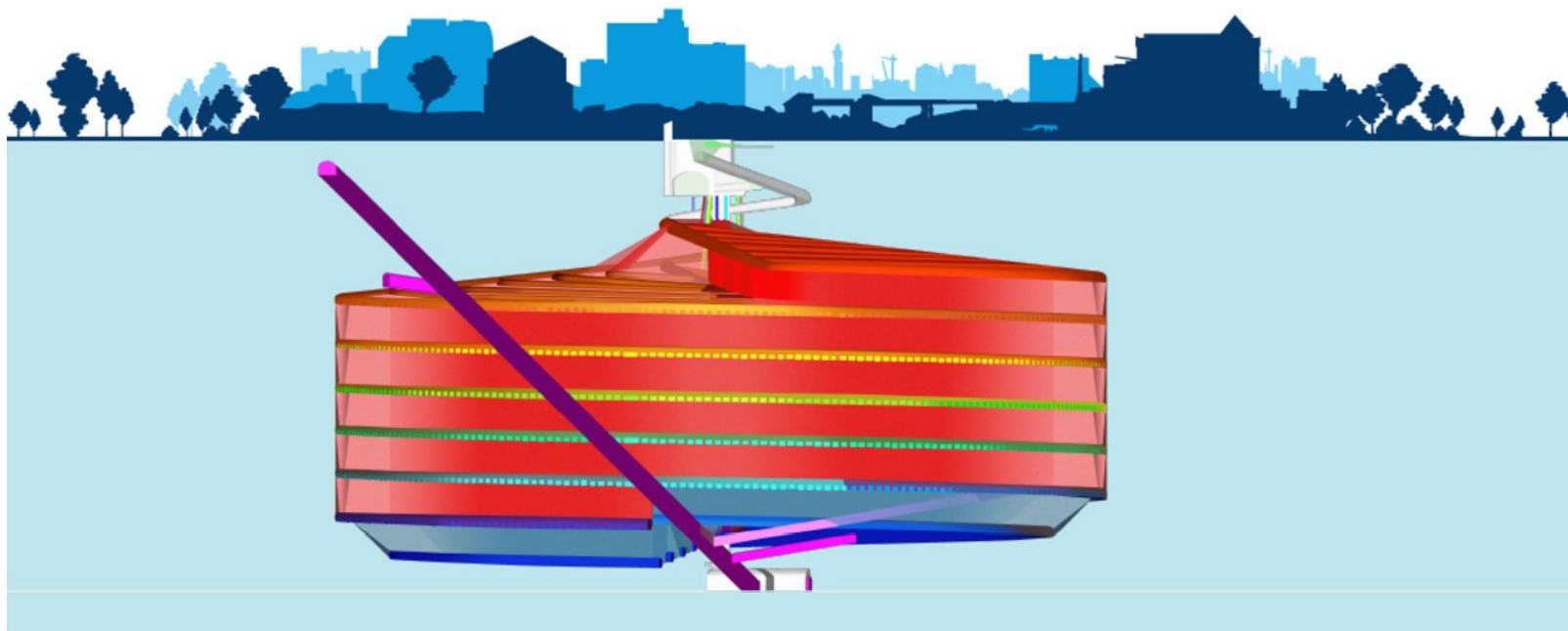
Hudiksvall (2018): Systemlösning med två konverterade oljebergum

# HT-CTES - Västerås



Västerås (2022, under byggnad): Tre konverterade bergrum (3 x 100,000 m<sup>3</sup>). Effektkapacitet 3 x 30 MW)

# Kombinationslager BTES/CTES – SKANSKA TES



**90 % BTES    10 % CTES**



# HT-CTES

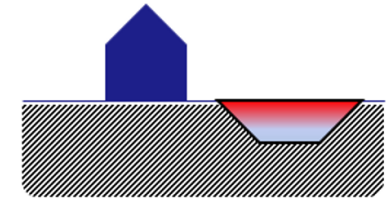
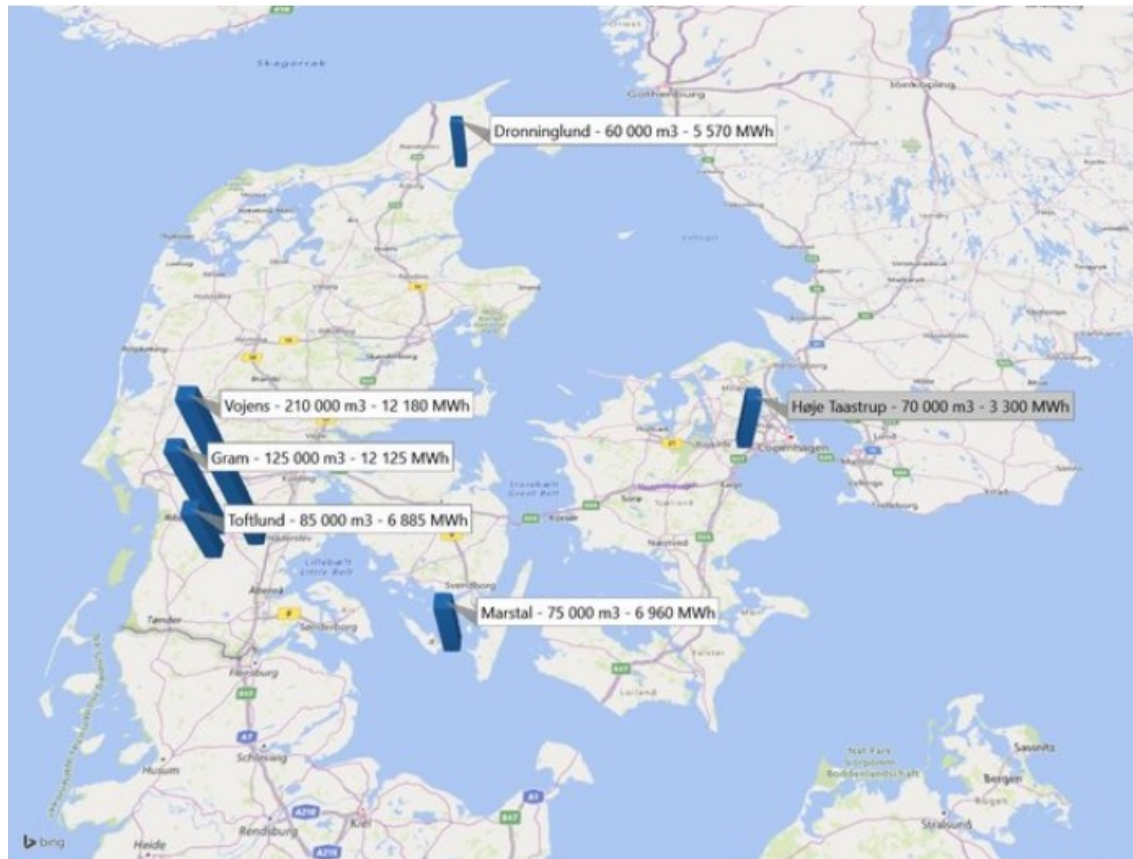
## **Geologi:**

- Lämpligt berg för bergrum
- Relativt tätt berg för att begränsa värmeförluster pga grundvattenströmning

Bergrum anläggningskostnad ca 1000 kr/m<sup>3</sup>

Konventionellt utförande (typ oljebergrum mest ekonomiskt)

# PTES - Erfarenheter



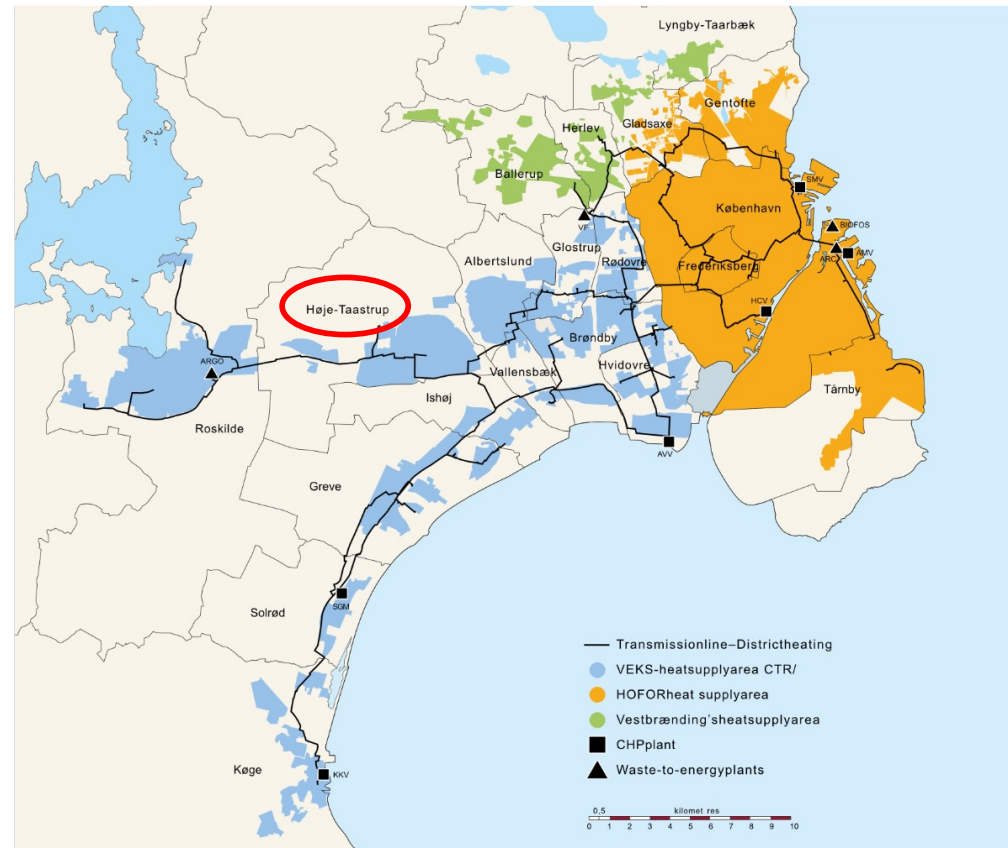
Danmark 2019

# Tekniska data för PTES i Danmark

	År	Volym m <sup>3</sup>	Kostnad MEUR	EUR/m <sup>3</sup>	Temp °C	Lagring kapacitet MWh	Effekt uttag MW	Uppskattad värmeförlust MWh/år	Uppskattad värmeförlust %
Ottrupgård	1993-1995	1500	0,23	153	35-60	43,5	0,4	85	22
Marstal	2003	10000	0,67	67	35-90	638	6,5	402	6
Dronninglund	2013	60000	2,28	38	10-89	5400	26,1	1602	6
Marstal 2	2011-2012	75000	2,67	36	17-88	6000	10,5	2475	24
Vojens	2014-2015	210000	5,01	24	40-90	12180	38,5	5500	14
Gram	2014-2015	125000	4,32	35	20-90	12125	30,0	4024	13
Toftlund	2016-2017	85000	4,11	48	20-90	6885	22,0	1900	9
Höje Taastrup	2022	70000			50-90	3300	30,0	270	9

Flera av dessa avser säsongslagring av solvärme

# HT-PTES – Høje Taastrup



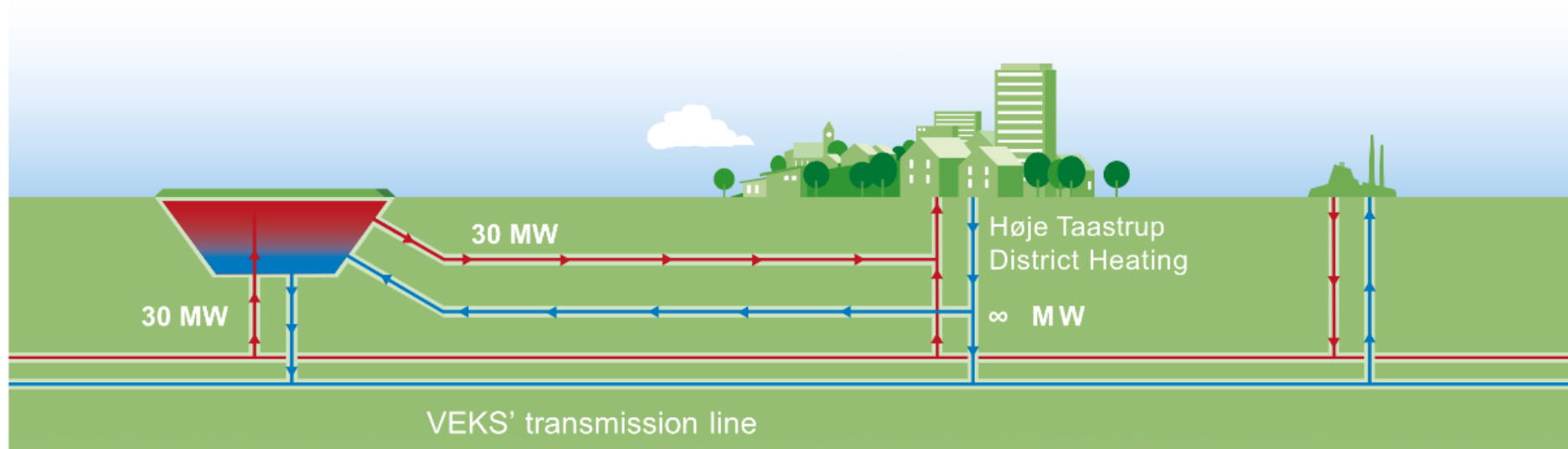
Lagret är placerat i Høje Taastrup och ingår i Köpenhamns fjärrvärmenät

# HT-PTES – Höje Taastrup



Volym 70,000 m<sup>3</sup>. Djup 14,5 m, längd 180 m och bredd 52-72 m.  
Värmelagringskapacitet 3,300 MWh. Maximal effekt 30 MW.

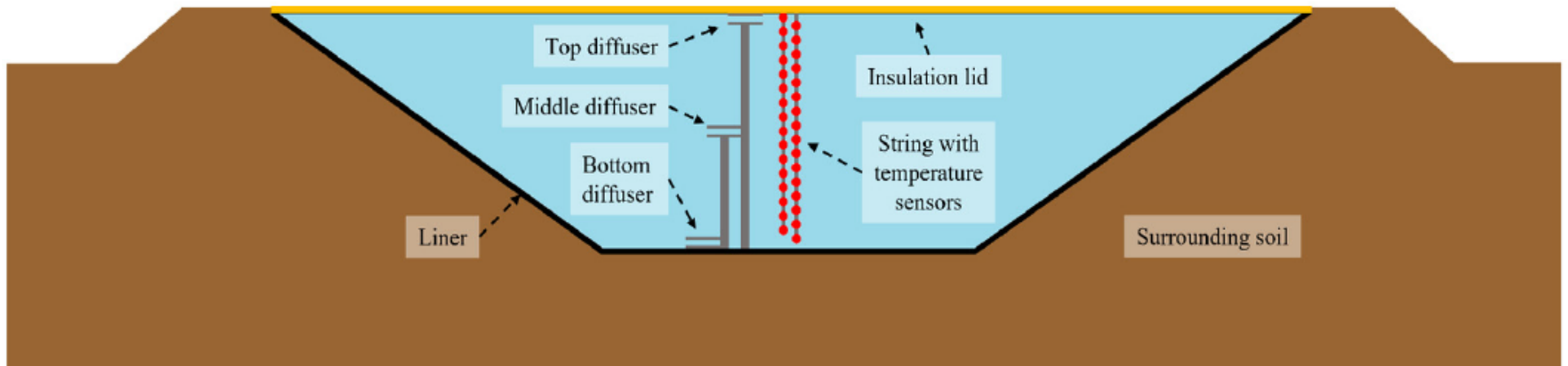
# HT-PTES – Høje Taastrup



Principiell systemlösning för groplagret (PTES) i Høje Taastrup  
Temperaturstratifierat lager med liknande funktion som CTES och tank.

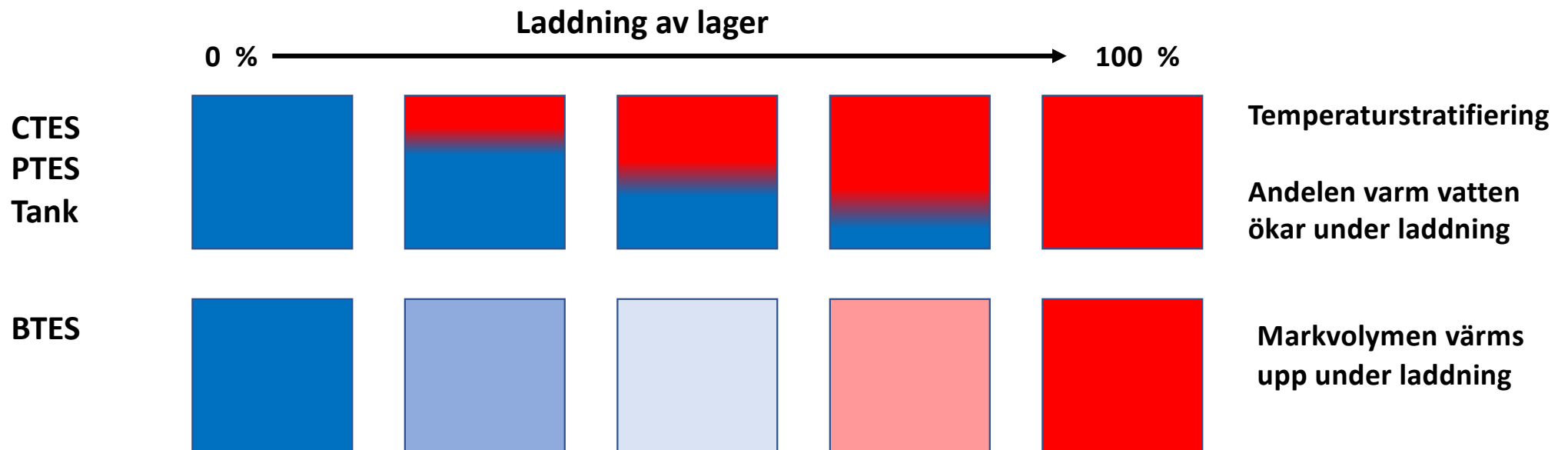


# HT-PTES – Dronninglund



Vatten tillförs lagret genom s.k. diffusers för att vidmakthålla god temperaturstratifiering

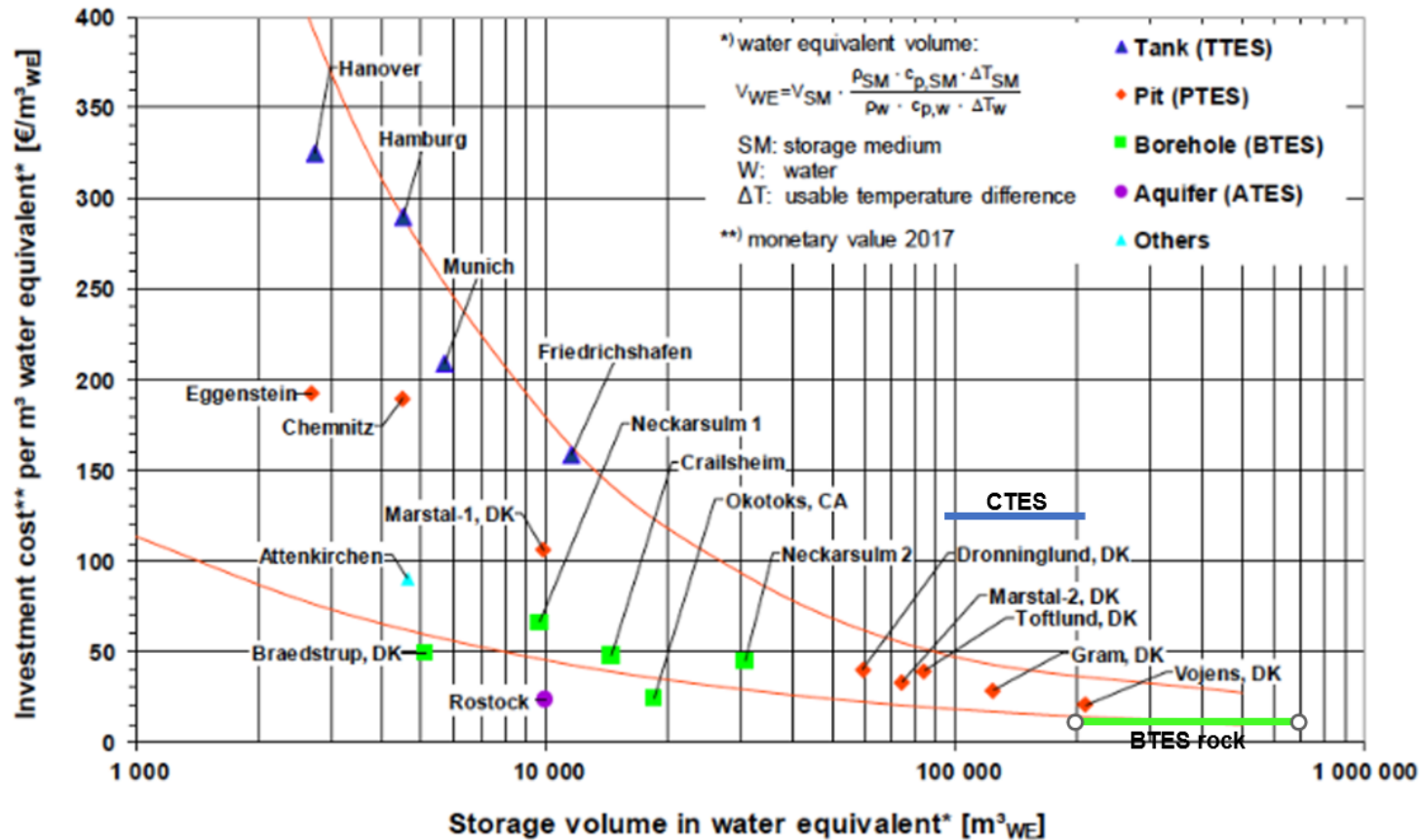
# CTES/PTES/Tank jämfört med BTES



## Effektkapacitet

- CTES, PTES, tank - Dimensionering av extern värmeväxlare och pump
- BTES – Dimensionering av borrhållsvärmewäxlare (totalt antal aktiva bormeter)

# Ekonomi



Anläggningskostnad för olika värmelagringstyper (baserat på genomförda projekt och trend) (2019)

# Ekonomi

	Max temperatur	Kostnad	Kostnad	
	°C	EUR/m <sup>3</sup> WE	EUR/kW uttagseffekt	
<b>BTES</b>	95	15	600	Kräver markyta med möjlig alternativ användning
<b>CTES</b>	115	120	180-300	Under mark
<b>PTES</b>	95	30	100-150	Ca 15 m djup, kräver dedikerad markyta
m <sup>3</sup> WE	vattenekvivalent volym kompenseras även för utnyttjandegrad av tillgänglig temperaturdifferens (max-min)			

Möjligt att kombinera BTES (energilagring) med CTES/PTES (effektlager)