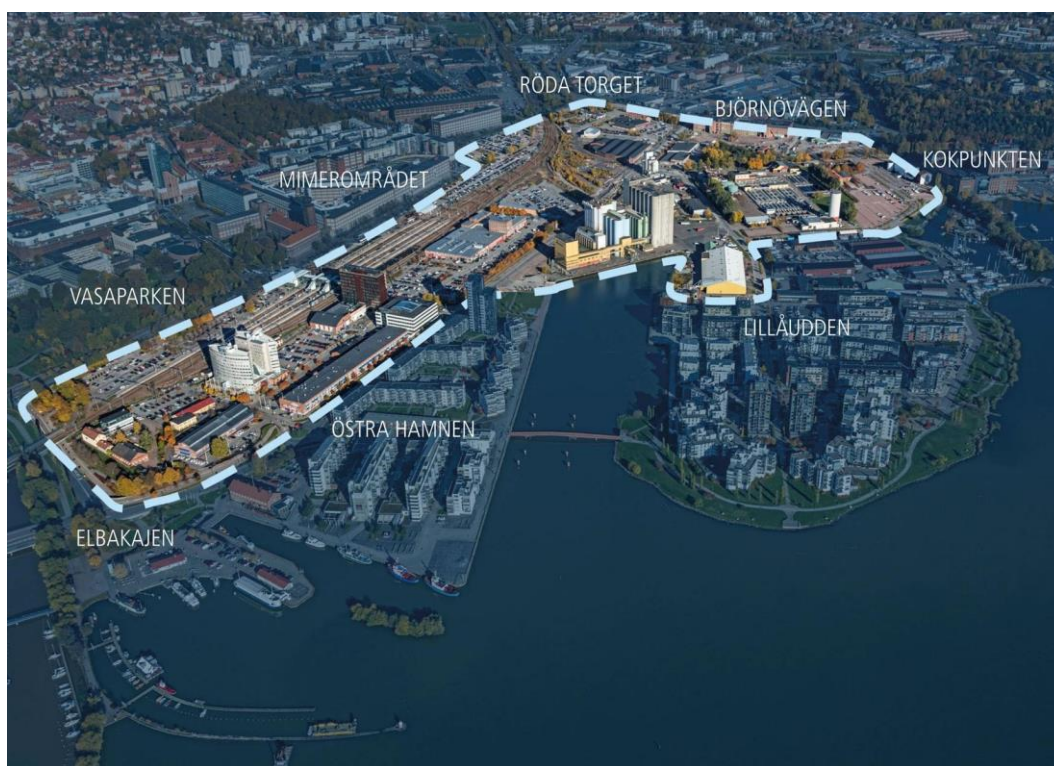




SAMHÄLLSBYGGNAD ENERGI OCH CIRKULÄR EKONOMI



Mälarporten, termiska lager i fjärrvärmesystemet Jenny Holgersson

RISE Rapport 2018:55

Mälarporten, termiska lager i fjärrvärmesystemet

Jenny Holgersson

Key words: Termiska energilager, energilager, termiska lager, lager i fjärrvärme, ny fjärrvärme, sensibla lager, latentlager, termokemiska lager, PCM, TES, borrhållager, ackumulator

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport 2018:55

ISBN: 978-91-88695-99-4

Västerås, juni 2018

Innehåll

Sammanfattning	4
1 Uppdrag	5
2 Bakgrund	5
3 Tekniken bakom termiska lager	6
3.1 Översikt av lagerparametrar	7
4 Nuläge.....	9
4.1 Sensibla lager	9
4.2 Latenta lager	10
4.3 Termokemiska lager	10
5 Ekonomi	11
6 Diskussion	11
7 Extern finansiering	12
8 Slutsatser och vidare arbete	13
9 Referenser	14

Sammanfattning

I området Mälarporten har en storskalig förändring påbörjats. Området har tidigare bestått av gamla, till viss del nedlagda industrier, och kommer till stor del ersättas med bostäder, men också i viss mån kontor. Energi- och effektbehovet i området kommer att förändras mot tidigare vilket innebär att även fjärrvärmesystemet behöver förnyas. Vidare är det troligt att fjärrvärmenätet kommer arbeta med lägre temperaturer då nya fastigheter är av lågenergityp.

Uppdraget i denna studie är att komplettera Mälarenergis arbete kring det kommande fjärrvärmenätet i området Mälarporten, Västerås med en kort utredning av termiska lager. Studien syftar till att öka kunskapen kring termiska lagers funktion i fjärrvärmenät inför ombyggnationen av fjärrvärmenätet i Mälarporten. Övergripande belyses teknik, viktiga parametrar och nuläget.

Det finns flera tillämpningar på termiska lager i fjärrvärmesystem. Dels för att utjämna dygnsvariationerna i lasten i nätet, men också variationen över säsong. Vidare finns potential att använda ett termiskt lager i områden där det inte är möjligt med höga termiska effektuttag.

De flesta installerade lagren idag är av typen sensibla lager men utvecklingen av latent och termokemiska lager går fort. De latent lagren är mer tillämpbara än de termokemiska som mestadels befinner sig på forskningsstadiet. Ett exempel på latent lager är snö vilket tillämpas idag i Sundsvall för fjärrkyla. En positiv bieffekt är att ett sådant lager kan underlätta rening av smältvattnet i en stad.

Både KTH och Chalmers bedriver forskning för att utveckla latent lagers tillämpningar i fjärrvärme/fjärrkylasystem. Det borde också vara intressant för Mälarenergi att titta närmare på SaltX installation i Berlin samt borrhålslagret i Linköping och befintliga groplager i Malung och Danmark.

1 Uppdrag

Uppdraget är att komplettera Mälarenergis arbete kring det kommande fjärrvärmenätet i området Mälarporten, Västerås med en utredning på 20 timmar av termiska lager. Uppdraget omfattar sökningar i litteratur på internet samt diskussioner med experter och forskare på området.

2 Bakgrund

Produktionen av värme till ett fjärrvärmesystem sker idag ofta genom förbränning av biobränsle och avfall i ett pannsystem. I många fall kombineras värmeproduktionen med elproduktion genom ihopkoppling med ett turbinsystem. Bränslet utgör i sig självt ett kemiskt energilager som kan lagras över säsong. Dock sker fortfarande spetslastproduktionen vid årets kallaste timmar med fossila bränslen eller med bränslen med hög kostnad och/eller låg tillgänglighet.

Fjärrvärmenätet måste alltid förses med tillräckligt varmt vatten för att fjärrvärmecentralerna hos kunderna skall fungera bra, och det är oftast de sämsta kundsystemen i nätet som begränsar temperaturen nedåt. Kunder i områden efter effektmässigt trånga sektioner i fjärrvärmenätet, s.k. flaskhalsar, får inte den efterfrågade värmeeffekten när lasten i resten av nätet är hög om inte produktionen är dimensionerad för detta.

De svenska fjärrvärmesystemen som idag finns i marken började installeras för 60 år sedan och systemen är i behov av kontinuerlig renovering. Vidare har utvecklingen inom fastighetsbranschen bland annat gått mot energisnålare hus. Nya generationer av fjärrvärmesystem har utvecklats under de senaste åren för att kunna leverera fjärrvärme till områden med lågenergihus men också för att tekniken i sig har utvecklats.

Ovanstående komplexitet gäller även Mälarenergis fjärrvärmesystem. I området Mälarporten har en storskalig förändring påbörjats. Området har tidigare bestått av gamla, till viss del nedlagda industrier, och kommer till stor del ersättas med bostäder, men också i viss mån kontor. Energi- och effektbehovet i området kommer att förändras mot tidigare vilket innebär att även fjärrvärmesystemet behöver förnyas.

Termisk energi kan lagras i olika typer av lager både under kort tid och över säsong. De olika tekniklösningarna har olika karaktäristika och funktion. Pris och driftkostnader varierar beroende på tekniklösning.

Möjlighet till lagring av energi över säsonger uppkommer mer och mer som en kommersiell framtida lösning i svenska fjärrvärmesystem. Lagren används för att öka

effektiviteten i näten och för att lagra in energi producerad med låg klimatpåverkan och därmed bidrar till ett mer miljövänligt energisystem.

Denna studie syftar till att öka kunskapen kring termiska lagres funktion i fjärrvärmenät inför Mälarenergis stundande ombyggnad av fjärrvärmenätet i området Mälarpporten. Målen är att översiktligt beskriva tekniken bakom olika lager, de parametrar som är av vikt för att kunna komplettera ett fjärrvärmesystem med ett termiskt lager, ge exempel på termiska lager som är installerade i framförallt Sverige samt visa på vilka forskningsaktiviteter som pågår i Sverige.

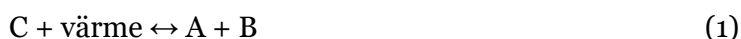
3 Tekniken bakom termiska lager

Främst tre kemiska reaktioner nyttjas vid värmelager (TES): sensibla lager (SHS), latent lager (LHS) samt termokemiska lager (TCS).

Lagringssubstansen i ett SHS tar upp energi och lagrar den utan att substansens fas ändras (från t.ex. fast till flytande). Den mest tillämpade substansen idag är vatten. Bland nya tillämpningar förekommer också smält salt, termoklin och olika keramer. Som en jämförelse mellan lagringssubstansernas kapacitet kan nämnas att vid en temperaturdifferens på 50 °C kan drygt 58 kWh/m³ lagras i ett vattenlager i en ståltank eller groplager, medan ca 25 kWh/m³ kan lagras i gnejs eller granit vid en temperaturdifferens på 40 °C. För att lagra 1 MWh värme i ett borrhållager behöver lagret ha en volym på ca 50 m³ [1]. Effekttuttaget ur ett borrhållager är direkt förhållande till antalet borrhål. Ju högre effekttuttag desto fler borrhål [2]. Detta innebär att vid höga effekttuttag tar borrhållager upp stor markvolym.

Lagringssubstansen i ett LHS tar upp eller avger värme vid fasförändring mellan fast och flytande eller flytande och gas vid en fast temperatur. Lagringssubstanserna kallas ofta också för Phase-Change Material (PCM). På grund av en hög entalpiförändring under fasförändringen hos de vanligt förekommande LHS i kombination med deras energitäthet, kan dessa LHS lagra stora mängder energi jämfört med SHS. Som lagringssubstanser kan bland annat salter, sockeralkoholer eller paraffin användas. Ett exempel på tillämpning är handvärmare som ofta innehåller en övermättad lösning med natriumacetat och vatten. Andra mer vardagliga exempel är is som smälter och vatten som förångas.

TCS innebär att energin upptas genom kemiska reaktioner. Värmen avges igen i reversibla reaktioner. Huvudprincipen för TCS kan uttryckas som i (1):

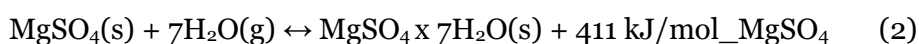


I denna reaktion absorberar ett termokemiskt material (C) energi och omvandlas kemiskt till två komponenter (A och B), vilka kan lagras separat. Den omvända reaktionen inträffar när material A och B kombineras tillsammans och formar C. Energi frigörs under denna reaktion och utgör den återvunna termiska energin från lagret. Lagringskapaciteten hos detta system är reaktionsvärmens när material C bildas.

Komponenten A kan vara hydroxid, hydrat, karbonat, ammoniak etc. och B kan vara vatten, CO, ammoniak, väte, etc. Det finns ingen begränsning på faser, men vanligtvis är C en solid eller en vätska och A och B kan vara vilken fas som helst.

TCS befinner sig på forsknings- och utvecklingsstadiet, en mängd olika substanser studeras av forskare runt om i världen. I en studie från år 2005 sammanställdes vilka lagringsmaterial som då hade störst potential att fungera som TCS. Där identifierades bland annat magnesiumsulfat som ett potentiellt intressant lagringsmaterial [3]. Experiment i en något senare studie visar att reaktionen sker under 150 °C [4] men att materialet har diverse problem som behöver lösas för att en tillämpning skulle kunna ske.

För att belysa hur en kemisk reaktion enligt (1) kan se ut visas reaktionen för magnesiumsulfatet nedan (2):



För både LHS och TCS behöver lagringssubstansernas ledningsförmåga beaktas för att kunna designa en lämplig lagerkonstruktion.

3.1 Översikt av lagerparametrar

Vid en implementering av ett lager på systemnivå i ett fjärrvärmenät behöver flera parametrar beaktas. Till exempel är det viktigt att se över [5]:

- Ekonomi över livscykeln samt motsvarande vad får ett lager kosta för olika tillämpningar: brytpris, investeringskostnad, drift och underhåll, skrotning
- Användningsområden / Tillämpning: spillvärme, kort – säsongslager, avsättning, systemintegration, implementering, flaskhalsar och önskad temperatur
- Omgivningsförutsättningar/begränsningar: detaljplan, geologi. Funktion i bebyggd miljö
- Tekniska egenskaper: cykling, arbetstemperatur, i & urladdning (delurladdning, dvs operativ energitäthet), effekt, skalbarhet, värmekvalitet (olika temperaturer)
- Tillgänglig i framtiden
- Robusthet: TRL-nivå, teknisk tillgänglighet
- Miljöprestanda: emissioner, arbetsmiljö, miljötilstånd
- Ägandeskap: vem äger lager och vem driftar. Ingår lagret i en industriprocess eller hos bostadsbolaget?

Olika TES håller energi olika länge och under olika förhållanden. I en studie av Abedin & Rosen [6] gjordes en övergripande jämförelse mellan SHS, LHS och TCS, se Tabell 1. I tabellen avser energitätheten hur mycket värme lagringssubstansen kan lagra in per volymenhet.

Tabell 1. Jämförelse mellan SHS, LHS och TCS:s prestanda, data kommer från [6], [7] och [8] såsom specificerat under respektive parameter.

Parameter	SHS	LHS	TCS
Kostnad [8]	0,1–10 €/kWh	10–50 €/kWh	8–100 €/kWh
Tillämpning [7]	Korttidslager	Säsongslager hos kund. Korttidslager i byggnadsmaterial	Säsongslager och korttidslager. Passar t.ex. solkraft och i byggnader.
Systemintegration [7]	Enkel om den termiska ledningsförmågan är tillräcklig	Komplicerad i DH-nät, enkel i byggnadsmaterial	Utmaningar finns kring t.ex. energibalanser och termisk ledningsförmåga.
Temperaturområde [6]	Vattentankar: Upp till 110 °C Akviferer och groplager: 50 °C Betong: 400 °C	Paraffiner: 20–40 °C Salthydrater: 30–80 °C	20–200 °C
Energitäthet [6]	Låg. Med stort temperaturintervall kan 0,2 GJ/m ³ nås för en vanlig vattentank	Medel. Med litet temperaturintervall kan 0,3–0,5 GJ/m ³ nås	Högt. 0,5–3 GJ/m ³
Livslängd [6]	Lång	Ofta begränsad till lagermaterialets laddningscykler	Beroende på reaktanternas nedbrytning och sidoreaktioner
Teknisk utvecklingsstatus [6], [7]	Kommersiellt tillgänglig	Kommersiellt tillgänglig för vissa material och vissa temperaturintervaller	Generellt inte tillgängligt på marknaden. Genomgår forsknings- och pilotprojekt
Fördelar [6]	Låg kostnad Tillförlitligt Enkla tillämpningar med tillgängliga material	Medelstor energitäthet Mindre skrymmande än SHS Transport av energin är möjlig i korta distanser	Hög energitäthet Låga energiförluster Lång lagringsperiod Transport av energin är möjlig i längre distanser Kompakt energilager
Nackdelar [6]	Signifikanta värmeförluster över tid beroende på isolering Volymiöst	Liten värmeledning Korrosivt Signifikanta värmeförluster över tid beroende på isolering	Höga kapitalkostnader Tekniskt komplex

Det är viktigt att beakta tillämpningen och de tekniska egenskaperna för lagret vilket inte framkommer tydligt i Tabell 1. Dock syns att temperaturområdet för alla tre lagertyperna fungerar för fjärrvärmesystemtemperaturer. I tabellen syns också att kostnaden för ett lager är i bästa fall 0,1 €/kWh dvs runt 1000 kr/MWh, vilket kan jämföras med en produktionskostnad med tallbecksolja som bränsle vilket är 700 kr/MWh.

4 Nuläge

4.1 Sensibla lager

Idag finns mestadels sensibla energilager i fjärrvärmesystem installerade. Dessa är utformade som akumulatorer och ståltankar, akviferer, berggrum och borrhålslager.

I gamla undercentraler förekommer ackumulatorer med vatten för termisk lagring av värme. Det är vanligt att en betydligt större ackumulator (ack) med vatten är installerad nära produktionskällan i ett fjärrvärmenät. Acken används ofta till att utjämma dygnsvariationer i hela fjärrvärmenätet. I Tyskland används stora nedgrävda ståltankar som långtidslager. För att garantera att tanken är vattentät och även för att reducera värmeförluster genom ångtransport i väggarna så har väggarna klätts med ståltätskikt i flera installationer, t.ex. i Hamburg och Friedrichshafen. För tyska förhållanden är annars det mest konkurrenskraftiga alternativet borrhålslager och akviferer [1].

På Arlanda flygplats invigdes en akvifer år 2009 från vilken både kyla och värme nyttjas till byggnaderna på flygplatsen [9]. Under år 2016 nyttjades 7,3 GWh kyla och 4,7 GWh värme från akviferen. En annan akvifer återfinns i Solna. Akviferen togs i drift 1987 och lagrar värme och kyla till SAS huvudkontor. Generellt finns få data kring akviferlager med hög temperatur på det inlagrade vattnet. Dock ska det beaktas att akviferer generellt har högre prioritet som källa till dricksvatten än som källa för uppvärmning/kyla.

Ett berggrumslager finns i Storvreta utanför Uppsala. Berggrummet används som värmelager i det lokala fjärrvärmesystemet. Lagret har en volym på 100 000 m³, kan lagra 5 GWh och har potential att leverera en effekt på 8 MW [10]. Ett annat berggrumslager återfinns i Avesta. I Helsingfors fjärrvärmesystem finns flera värmelager. Här planeras också ett värmelager i Kronbergsstranden och ett grottvärmelager – här kategoriserat som ett berggrumslager – på Blåbärslandet i Helsingfors [11] för utjämnning av värmeförbrukningen i fjärrvärmenätet. På Blåberglandet kommer befintliga grottor att användas till en investeringskostnad på cirka 15 MEuro. Detta lager har en volym på 260 000 m³, har en urladdningseffekt på 120 MW och en lagringskapacitet på 11,6 GWh.

Det största borrhålslagret i Sverige togs i bruk år 2017 hos Volvo i Köping. Lagret har 215 st borrhål med ett djup på 270 m. Ett annat större lager finns på Karlstads universitetscampus med 204 borrhål och med ett djup på ca 250 m. Lagret installerades år 2015. Ett borrhålslager planeras i Linköping [12]. Planen är att lagret

ska fungera som ett säsongslager som kan lagra ca 70 GWh värme från sommar till vinter och leverera en effekt på 50 MW.

Groplager återfinns i t.ex. Malung där lagret fungerar som dygnslager till ett solvärmesystem. För danska förhållanden, och där solvärme nyttjas för uppvärmning, har det framkommit att gropvattenlager är den billigaste formen av säsongsvärmelager under förutsättning att läckage inte förekommer [1].

4.2 Latenta lager

En handfull LHS finns i drift i Sverige idag. Däribland ett snölager i Sundsvall som används till att kyla Sundsvalls sjukhus. Snö läggs i en pool och täcks över med två decimeter träflis. Storleken på lagret är runt 60 000–70 000 m³. Smältvattnet renas och kyler sjukhusets maskiner och lokaler under sommaren. Ett saltbaserat LHS kyler ett bibliotek i Skövde och ett museum i Stockholm. I Boda Kvarn, Katrineholm och i Kinna har två demonstrationsprojekt byggts upp som utvärderas av Chalmers. I Kinna har ett LHS uppbyggt av plaststavar fyllda med en vattenbaserad saltlösning installerats för att jämna ut energibehovet i en träningslokal [13]. Företaget Swerod har specialiserat sig på att bygga stavarna men också lagringstankar med lagringssubstans från Climator. Företag som Climator och SaltX technology AB erbjuder lagringssubstanser för olika tillämpningsområden. SaltX bygger en storskalig pilotanläggning som ska fungera i Berlins fjärrvärmenät. Ett svenskt företag har påbörjat ett projekt finansierat av Energimyndigheten för att ta fram en prototyp med LHS i byggnadsväggar. Syftet är att öka energieffektiviteten i byggnader [14].

Studier kring LHS sker vid flera universitet och högskolor, huvudsakligen vid KTH, och Chalmers, men även vid Stockholms universitet, Umeå Universitet och Mälardalens högskola.

Vid KTH studeras olika LHS-materials egenskaper, komponentdesign och applikationer. Forskargruppen har studerat applikationer såsom mobila transporter, lågtempererade fjärrvärmenät och polygenerering i mikronät. Forskargruppen kommer att utforma ett LHS som arbetar vid temperaturer på 5 °C, 65 °C och 100 °C för en demonstrationsprototyp i en kraftvärmelanläggning i IREN, Turin [14].

En forskargrupp vid Chalmers planerar en installation med 75 kW LHS för kyla i Johanneberg campus. Systemet förväntas vara i drift år 2019. Vid Chalmers utvärderas också solvärmesystem med LHS för uppvärmning av tappvarmvatten i fjärrvärmesystem. Utvärderingen sker med hjälp av fälttester, tester i laboratorium och numerisk modellering [14].

4.3 Termokemiska lager

TCS befinner sig i bästa fall på pilotstadiet. Forskning bedrivs på många universitet och högskolor, t.ex. vid universitetet i Stuttgart och German Aerospace Center (DLR) i Tyskland. Vid DLR genomförs tester av ett system baserat på CaO/Ca(OH)₂ i en

forskningspilotanläggning. Flera studier tittar på användningen av TCS substanser med termiska solkraftsanläggningar, som t.ex. [15]. I en termisk solkraftsanläggning kan värmets från koncentrerade solfångare lagras i ett lager med höga arbetstemperaturer för att kunna balansera elproduktionen på tim/dygnsbasis från solfångarna.

5 Ekonomi

Termiska energilager i fjärrvärmesystem kan vara stora eller små beroende på användning och syfte.

En investering i ett stort termiskt lager kan vara en kostnadsbesparing om produktionen i nätet behöver utökas. I Mälarenergis fall behöver inte produktionen utökas efter år 2020. Ett termiskt lager skulle kunna laddas ur för att minska effekttoppar på förbrukarsidan vid kallt väder och på så sätt tränga undan dyr topplast. En investering i ett värmelager innebär också att produktionen av reserv- och mellankraft kan minskas vilket också behöver komplettera beräkningarna.

Mälarenergi har internt undersökt kostnaden för ett borrhållager och då framkom att ett lager med en kapacitet på 40 GWh kan installeras till en uppskattad kostnad av runt 300 MSEK. Mälarenergi fann att det sammantaget inte var ekonomiskt lönsamt att investera i ett borrhållager med ovan dimensioner.

Inga kostnadsuppskattningar för LHS återfinns i litteraturen inom ramen för denna studie, dock görs en uppskattning utifrån TRL-nivå samt diskussioner med Viktoria Martin att LHS inte är lönsamt som ett centralt lager av värme i ett fjärrvärmesystem med dagens förutsättningar. Dock har lagring av kyla i LHS potential att vara lönsamt i en kommande framtid.

6 Diskussion

Ett lagers funktion i ett fjärrvärmenät varierar med vilken tillämpning som avses. Till exempel kan ett lager placeras vid punkter med låg temperatur i nätet, (t.ex. vid flaskhalsar) och på så sätt laddas under perioder när lasten är låg och sedan avge värme när lasten är hög. Detta skulle kunna minska behovet av spetslast under de perioder när lasten är hög. Enskilda lager kan också placeras vid s.k. prosumers, kunder som vill kombinera egna lösningar med fjärrvärme. Affärsmodeller behöver i så fall tas fram för samarbetet mellan nätägare, prosumers och den som tagit investeringen för lagret. Ett lager kan också placeras centralt i nätet för att minska spetsproduktionen och eventuellt undvika ny investering i spetsproduktion. På en central plats kan också ett lager användas till att jämma ut lastvariationer över säsong men också produktionskostnader och elpriser mellan säsong.

Ur Tabell 1 kan utläsas att arbetstemperaturerna för de olika lagren generellt passar en tillämpning som ett värmelager i fjärrvärmenät. Dock finns lager med betydligt högre arbetstemperaturer såsom $\text{Ca}(\text{O}_2)$. SHS har lägre energidensitet jämfört med LHS eller TCS men är robustare och mer beprövade. Samtidigt behöver temperaturintervallet

som lagret ska arbeta i, lagersubstansens termiska ledningsförmåga och den totala systemutformningen beaktas vid de ekonomiska kalkylerna. Vidare är det viktigt att beakta även graden av underhåll och vilken drifttid (tillgänglighet) som kan förväntas av lagret.

Den tekniska utvecklingsstatusen är hög för SHS baserade på vatten jämfört med andra tekniker. För implementering i fjärrvärmenät i dagens läge är SHS mest gångbara med avseende på ekonomi, TRL-nivå och livslängd. Borrhålslager kan lagra mycket energi, men har ett lågt effektuttag. Vid dimensionering av lagret utifrån effekt kan ett borrhålslager kompletteras med ett groplager eller en tank [2].

I Västerås finns flera bergrum. Dessa skulle kunna fyllas med snö från vägskottningen varefter kyla skulle kunna tas ut från lagret på likande sätt som i Sundsvall. De åren med lite snö kan snömaskiner användas för att skapa snö. Effektiviteten, COP, på dagens snömaskiner är mycket hög. Metoden skulle också kunna bidra med ännu en miljöjänst genom att rena smältvattnet från lagret innan det släpps ut i miljön. Dock har Västerås generellt ett mildt vinterklimat varför snömängderna oftast inte är stora och behovet av dumpning av snö är eventuellt inte så stort. Frågan borde vara relativt enkel att utreda.

Tänkbara tillämpningar för LHS är bland annat integrering av lagret i väggar, golv eller tak i byggnader för att utjämna temperaturvariationer, eller som mindre lager för att utjämna dygnsvariationer vid flaskhalsar i fjärrvärmenätet. LHS kan också passa som lager för kyla eftersom SHS blir jämförelsevis stora för att kunna få en effektiv kylning [2]. Det är också intressant att studera LHS i kombination med de nya generationernas fjärrvärme, där intervallet mellan fram- och returtemperaturen är lägre jämfört med dagens fjärrvärmenät.

TCS är generellt dyrare än SHS och LHS men har högre energitäthet och kan lagra värmen mellan säsonger med mindre förluster än de andra lagren. TCS-systemen befinner sig generellt på låga TRL-nivåer vilket innebär att en eventuell tillämpning för fjärrvärmenät får vi återkomma till i framtiden.

7 Extern finansiering

Ett nationellt samarbete kring termiska lager sker inom ramen för Energiforsks program ”Termiska energilager” vilket Mälarenergi deltar i. Inom samarbetet finns möjlighet för Mälarenergi att närmare ta del av utvecklingen på området genom att delta i fokusgrupper för projekten som löper inom programmet. Inom programmet sker en teknoekonomisk jämförelse mellan olika termiska lager, utredningar av värdet av säsongslager i fjärrvärmesystem, kyllager i fjärrkylanät, hybridlösningar för borrhålslager och kring borrhålslager i samspel med borrhålslager.

Vidare har till exempel EU ett par utlysningar adresserade mot energilager och där det bland annat är intressant att titta på kompakta värmelager inom fastigheter. Utlysningarna värdesätter deltagare i konsortierna från industrin.

8 Slutsatser och vidare arbete

Den mest utvecklade tekniken för termiska lager är sensibla lager. Just nu väcker borrhålslager mest intresse bland Sveriges energiföretag. Nackdelen med borrhålslager är att det behövs ett stort antal borrhål för att få en hög uteffekt från lagret. Ett större effektuttag möjliggörs genom att kombinera borrhålslager och groplager eller tank. Detta borde utredas vidare.

LHS är en lovande teknik främst för fjärrkyla men också som lager i byggnader. Tekniken utvecklas i snabb takt. Snö är en tänkbar källa till fjärrkyla och kan också ge en positiv bieffekt genom att underlätta reningen av smältvatten. Det borde också vara relativt enkelt att utreda möjligheterna för ett snölager i berggrum i Västerås.

TCS befinner sig på en låg utvecklingsnivå men har potential att bli ekonomiskt lönsam genom att lagren blir förhållandevis små i storleken och lagring kan ske utan större förluster.

För att avgöra ett lagers lämplighet i ett fjärrvärmesystem behöver andra parametrar än bara energidata på lagringssubstansen beaktas. Tillgänglighet och kostnader för alla komponenter i systemet inklusive kringssystem såsom växlare och ventiler, graden av drift och underhåll, miljöeffekter (inte bara CO₂-utsläpp), ägarskap och den omgivande miljöns begränsningar (t.ex. geologi) behöver beaktas. Energiforsks program för termiska energilager kommer att kunna utveckla dessa frågeställningar till viss del men en djupare studie på området rekommenderas.

Det finns många exempel på termiska lager i Sverige varav flera är i funktion. Projekten kring lagring av LHS i byggnader, KTH:s och Chalmers projekt kring termiska lager i lågtempererade fjärrvärmenät och SaltX installation i Berlin är exempel som borde vara av intresse att följa förutom borrhålslagret i Linköping och befintliga groplager i Malung och Danmark.

Idag behövs särskilda förhållanden såsom investering i ny produktion eller distribution för att ett värmelager ska löna sig för Mälarenergi. Lönsamheten och affärsmodeller för lokala lager vid flaskhalsar eller hos prosumers i fjärrvärmenätet behöver utredas vidare.

RISE föreslår ett fortsatt samarbete med Mälarenergi dels i Energiforsks program för termiska energilager men också en fortsatt diskussion kring vidare utredning av lämpliga kommande projekt och finansiering av dessa.

9 Referenser

- [1] D. Sandborg, "Inventering av värmelager för kraftvärmesystem," Department of Mechanical Engineering, Institute of Technology Linköping University, Linköping, 2006.
- [2] V. Martin, Interviewee, *I diskussion med Viktoria Martin, KTH*. [Intervju]. 27 06 2018.
- [3] K. Visscher och J. B. J. Veldhuis, "Comparison of Candidate Material for Seasonal Storage of Solar Heat through Dynamic Simulation of Building and Renewable Energy System," i *Proceedings of Ninth International IBPSA Conference*, Montreal, Canada, 2005.
- [4] H. Zondag, M. v. Essen, Z. He och W. v. H. Roelof Schuitema, "Characterisation of MgSO₄ for Thermochemical Storage," i *Second International Renewable Energy Storage Conference (IRES II)*, Bonn, Germany, 2007.
- [5] J. Holgersson, *Slutsatser från workshop kring lagerparametrar för fjärrvärme*, Västerås: RISE, 20180619.
- [6] A. H. Abedin och M. A. Rosen, "A Critical Review of Thermochemical Energy Storage Systems," *The Open Renewable Energy Journal*, pp. 42-46, 2011.
- [7] R. Scharff, *Thermal Energy Storages - An Overview on Technologies, internal report*, Älvkarleby: Vattenfall, 2017.
- [8] Jernkontoret, "Jernkontorets energihandbok," Jernkontoret.
- [9] Grundvattengruppen, "Grundvatten - Akviferen Miljörapport 2017, SDA 2018-00216," Swedavia AB, 2018.
- [10] Vattenfall, "Vattenfall värme Uppsala. Säkerhet, häls och miljö 2016," Vattenfall, 2016.
- [11] Marina Galkin-Aalto, "Jättelikt grottvärmelager byggs på Blåbärslandet i Helsingfors," Helen, 22 03 2018. [Online]. Available: https://www.helen.fi/sv/uutiset/2018/Jättelikt_grottvärmelager_byggs_på_Blåbärslandet/. [Använd 25 03 2018].
- [12] Henrik Lindståhl, "Projekt Hefaistos-Tekniska verkens gigantiska värmelager," Tekniska verken, Linköping, 2018.
- [13] Marie Granmar, "Värmelagring med PCM minskar energibehovet," *Energi & Miljö nr 4/2015*, p. 9, 2015.
- [14] S. Gehlin, O. Andersson, J. N. Chiu och V. Martin, "Sweden Country Update on Energy Storage," i *14th International Conference on Energy Storage*, Adana, Turkey, 2018.
- [15] C. Prieto, Patrick Cooper, A. Inés Fernández och Luisa F. Cabeza, "Review of technology: Thermochemical energy storage for concentrated solar power plants," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 909-929, 2016.
- [16] Cay Åsberg, "Solvärme med säsongslager i Lyckebo," Vattenfall, 2011.
- [17] J. F. C. Flores, *Low-Temperature Based Thermal Micro-Grids*, Dissertation Thesis. ISBN 978-91-7729-847-2, KTH Royal Institute of Technology, Sweden; IMT Atlantique, France,

2018.

[18] Wikipedia, "Phase-change material," Wikipedia, 03 06 2018. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Phase-change_material. [Använd 28 06 2018].

RISE Research Institutes of Sweden AB
Energi och cirkulär ekonomi - Resurseffektiva system och tjänster

Utfört av	
-----------	--

Jenny Holgersson



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Energi och Cirkulär
ekonomi
RISE Rapport 2018:55
ISBN: 978-91-88695-99-
4