

FASTIGHETSNÄRA SÄSONGSLAGRING AV FJÄRRVÄRME

RAPPORT 2016:321



Fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme

JOAKIM NILSSON

LARS HARGÖ

JONATHAN CYGNAEUS

OSKAR RÄFTEGÅRD

MIKAEL ROSÉN

ISBN 978-91-7673-321-9 | © 2016 ENERGIFORSK

Energiforsk AB | Telefon: 08-677 25 30 | E-post: kontakt@energiforsk.se | www.energiforsk.se

Förord

Fjärrvärmesystemen erbjuder en unik möjlighet till storskalig återvinning av värmeenergi från exempelvis avfallsförbränning och industriprocesser. På så sätt har fjärrvärmen en möjlighet att hushålla med primära energiresurser och därmed öka effektiviteten i, och minska utsläppen från energisystemet som helhet. I det ljuset är projektet om fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme särskilt angeläget då det undersöker förutsättningarna för att utöka den potential som fjärrvärmen erbjuder när det gäller storskalig återvinning av värmeenergi. Potentialen ligger i att kunna öka värmeunderlaget för effektiv produktion under sommaren samtidigt som behovet av mindre effektiv produktion minskar under andra delar av året. Både teknik, legala aspekter och affärsmodeller för fastighetsnära säsongslager behöver bli belysta innan konceptet kan bli kommersiellt gångbart. Detta projekt utgör en viktig pusselbit på vägen.

Projektet har genomförts av Joakim Nilsson och Lars Hargö från Devcco District Energy Venture, Jonathan Cygnaeus från Nordea och Oskar Räftegård och Mikael Rosén från SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Projektet har följts av en referensgrupp bestående av Emil Berggren, Tekniska Verken i Linköping, Tomas Borg, E.ON Sverige, Jörgen Carlsson, Umeå Energi, Jonas Gräslund, Skanska Commercial Development Nordic, Lennart Hjalmarsson, Göteborg Energi, Patrik Holmström, Energiföretagen Sverige, Matilda Kjellander, Halmstad Energi & Miljö och Johan Tjernström, Akademiska hus.

Projektet ingår i forskningsprogrammet Fjärrsyn som genom Energiforsk finansieras av fjärrvärmeföretagen och Energimyndigheten. Forskningen inom Fjärrsyn ska stärka fjärrvärme och fjärrkyla, uppmuntra konkurrenskraftig och affärs- och teknikutveckling och skapa resurseffektiva lösningar för framtidens hållbara energisystem till nytta för fjärrvärmebranschen, kunderna, miljön och samhället i stort.

Anders Ericsson

Ordförande i Energiföretagen Sveriges marknadsråd

Sammanfattning

Projektet bygger på en idé om att industriell spillvärme och annan tillgänglig basproduktion av värme under sommaren kan distribueras via befintliga fjärrvärmesystem och lagras lokalt i fastighetsnära säsongslager för att sedan användas under den kalla delen av året, utan att ytterligare energi tillförs. Projektets övergripande mål har varit att bedöma möjligheterna för fastighetsnära säsongslagring i kombination med lågenergi- och lågtemperaturbyggande i Sverige.

Arbetet har genomförts i samarbete mellan Devcco och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Till projektets förfogande har funnits en referensgrupp med representanter från Energiföretagen, Skanska, Akademiska hus, Göteborg Energi, Tekniska Verken i Linköping, Eon samt Umeå Energi.

I ett systemperspektiv skulle fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme på marginalen betyda ökad produktion på sommaren och minskad på vintern under förutsättning att alternativet för en fastighet är en vanlig leverans av fjärrvärme.

För att utvärdera lönsamheten har fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme jämförts med "vanlig" fjärrvärme i ett LCC-perspektiv. Miljöpåverkan har beräknats baserat på ett antal olika alternativ för miljövärdering av el samt allokeringsprinciper för fjärrvärme. Lagren som simulerats består av standardmässiga borrhålslager som laddas med fjärrvärme under maj till och med september. I slutet på april antas lagret vara mer eller mindre tomt.

Tre typbyggnader som representerar vanligt förekommande större byggnader och kvarter av olika storlek har ingått i studien. De tre typerna är 1) nybyggt energieffektivt kontor, 2) äldre energirenoverat kontor och 3) energirenoverat miljonprogram.

Beräkningar av de miljömässiga samt de ekonomiska för- och nackdelarna baseras på vilka produktionsslag som används på marginalen under olika delar av året för ett givet fjärrvärmesystem. Analysen baseras huvudsakligen på två olika produktionsmixer inspirerade av systemen i Stockholm respektive Göteborg.

Miljömässigt finns under vissa förutsättningar goda möjligheter att åstadkomma positiva resultat med fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme. Använder man kraftbonusmetoden i kombination med marginalet så resulterar säsongslagring i miljönytta både i göteborgs- och stockholmsfallet. Använder man energimetoden i kombination med nordisk elmix blir resultatet det motsatta.

Ur ett ekonomiskt perspektiv kan fastighetsnära säsongslagring för två av tre typbyggnader konkurrera med konventionell fjärrvärme under förutsättning att man kan åstadkomma en marginalproduktionskostnad i storleksordning 50 kr/MWh.

Resultaten är starkt beroende av lokala förutsättningar samt av vilken metod som används för att beräkna miljöpåverkan. Därför har som en del av projektet en modell utvecklats där användaren utifrån relativt grundläggande indata om fastighet och fjärrvärmesystem kan göra egna indikativa beräkningar av ekonomiska och miljömässiga aspekter av fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme.

Summary

The project is based on an idea that industrial waste heat and other available base load heat production can be distributed through district heating during summer, stored locally close buildings where the stored heat can be recovered for heating purposes during winter. This without further use of heat sources. The overall goal has been to evaluate the possibilities for “close-to-building” seasonal storage of district heating in combination with low energy and low temperature building technologies.

The project has been undertaken in cooperation between Devcco and SP Technical Research Institute of Sweden. A reference group with representatives from Energiföretagen, Skanska, Akademiska hus, Göteborg Energi, Tekniska Verken i Linköping, E.ON and Umeå Energi has been available to the project team.

In a system perspective close-to-building seasonal storage of district heating would result in increased summer production and decreased winter production on the margin provided that the alternative is a standard district heating delivery.

In order to evaluate profitability, close-to-building seasonal storage of district heating has been compared to normal district heating in a LCC perspective. Environmental impacts have been calculated based on several alternative principles for environmental assessments of electricity production and district heating allocation. The simulated storages are standard bore hole storages charged with district heat from May through September. It is assumed that storages are basically empty by the end of April.

Three type buildings representing common large buildings and blocks of various size have been included in the study. The three types are 1) new energy efficient office building, 2) older energy renovated office building and 3) energy renovated large residential building (“miljonprogram”).

Calculations of environmental and financial pros and cons are based on what specific types of production that are being used on the margin during different parts of the year for a given district heating system. The analysis rests on two different production mixes inspired by the systems in Stockholm and Gothenburg.

Under certain preconditions the possibilities to achieve environmentally beneficial results by introduction of close-to-building seasonal storage of district heating are good. When applying a methodology fully considering marginal consequences on the energy system, the result is that seasonal storage is environmentally beneficial. If applying a methodology considering average energy system values, the result is the opposite.

From a financial perspective close-to-building seasonal storage of district heating is competitive for two of the three type buildings under the precondition that heat with a marginal production cost of approximately 50 SEK/MWh is available for charging.

The results are strongly dependant on local conditions and what environmental methodology that is used. Hence, a model where the user can make indicative calculations based on relatively basic input regarding building demand and district heating system has been developed.

Innehåll

1	Inledning	10
1.1	Bakgrund	10
1.2	Mål	10
1.3	Projektgenomförande	11
2	Metod och utgångspunkter	12
2.1	Systemperspektiv	12
2.2	Lönsamhet	12
2.3	Miljövärdering	13
2.4	Lagrets utformning och funktion	14
3	Typbyggnader	16
3.1	Typbyggnad 1 – Modern och energieffektiv kontorsfastighet	16
3.2	Typbyggnad 2 – Energirenoverat kontor	17
3.3	TYPBYGGNAD - Energirenoverat Miljonprogram	18
4	Fjärrvärmeproduktion	19
4.1	HVC Fossil olja	19
4.2	HVC Bioolja	19
4.3	HVC Pellets	19
4.4	Värmepump (VP)	19
4.5	KVV Kol/Bio	20
4.6	KVV Returflis	20
4.7	KVV Skogsflis	20
4.8	KVV Avfall	20
4.9	Industriell spillvärme	20
5	Systemlösning	21
5.1	Systemets delar	21
5.1.1	Anslutning till fjärrvärmenätet	22
5.1.2	Värmecentral	22
5.1.3	Sekundärsystem	22
5.1.4	Lager under mark	23
5.1.5	Lager ovan mark	23
5.2	Systemets funktion	23
5.2.1	Termisk beskrivning av borrhålslager	23
5.2.2	Värmeförlust	24
5.2.3	Laddning och urladdning	24
5.2.4	Inledande uppvärmning	25
6	Modell	27
6.1	Energibalanser	28
6.1.1	Lager-laddning, -urladdning och -förluster	28
6.1.2	Byggnadens värmebehov	28

6.1	Miljövärdering	28
6.2	Lönsamhetsberäkning	31
6.2.1	Nollalternativet	31
6.2.2	Alternativet med säsongslager	31
6.2.3	Ekonomiskt resultat för fjärrvärmelieferantören	33
7	Analys	34
7.1	Produktionsmix	34
7.2	Lagerprestanda	35
7.2.1	Lagrets storlek för respektive byggnadstyp	35
7.2.2	Byggnadernas effekt- och temperaturkrav	35
7.2.3	Extra markisolering	36
7.3	Energi och miljö	37
7.4	Ekonomi	38
7.4.1	Sammanfattning ekonomiska resultat	39
7.4.2	Känslighetsanalys och alternativa scenarion	40
8	Affärskoncept	41
9	Potentialanalys	42
9.1	Tillgång till spillvärme och värme från förbränning av avfall	42
9.2	Berggrund	43
9.2.1	Termiska egenskaper	43
9.2.2	Tätbebyggda områden	44
9.2.3	Vattenskydd	44
9.3	Övriga faktorer	44
10	Slutsatser	45
11	Referenser	46
12	Bilagor	47
12.1	EED – Earth Energy Designer	47
12.1.1	Indata, utdata och antaganden i EED	47
12.2	Exempel på EED data: renoverat kontor (större)	49

1 Inledning

Projektet bygger på en idé om att industriell spillvärme och annan tillgänglig basproduktion av värme under sommaren kan distribueras via befintliga fjärrvärmesystem och lagras lokalt i fastighetsnära säsongslager för att sedan användas under den kalla delen av året, utan att ytterligare energi behöver tillföras.

Syftet med projektet är att analysera och tydliggöra de affärsmässiga samt energi- och miljömässiga möjligheterna för fjärrvärmebolag och för fastighetsbranschen med fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme i kombination med lågenergi- och lågtemperaturbyggande i Sverige.

1.1 BAKGRUND

Under våren 2015 identifierades en potential att säsongslagra spillvärme i direkt anslutning till en av Skanskas fastigheter i Mårtensdal, Stockholm vars byggnad(er) skulle kunna anpassas för lågtempererad uppvärmning. För denna fastighet gjordes även en inledande analys av möjligheterna med fastighetsnära säsongslagring med stöd av Energimyndigheten. I samband med detta undersöktes kunskapsläget varvid det visade sig att det i stort sett saknas studier där både fjärrvärme och fastighet anpassats till säsongslagrens förutsättningar. Istället utgår befintlig kunskap inom området från att säsongslagret antingen anpassas till fjärrvärmens krav eller till byggnadernas behov, alternativt är det fråga om enskilda fallstudier som saknar generaliserbarhet. Framförallt svarar de inte på frågan vilka krav som behöver ställas på byggnaden, fjärrvärmens och lagret för att det skall bli lönsamt.

Spillvärme kan lagras i säsongslager i form av vattenfyllda bergrum, groplager, borrhålslager eller akvifärlager, men med konsekvensen att vattentemperaturen sjunker innan det är dags att använda värmen. Det blir därför svårt att leverera långtidslagrad värme som prima värme i ett fjärrvärmesystem utan någon form av tillsatsenergi. Detta gör det även svårt att få lönsamhet vid central säsongslagring av fjärrvärme. Genom att lokalisera säsongslager nära nya eller renoverade fastigheter med ett anpassat värmesystem med lägre temperaturkrav kan ovanstående svårigheter undvikas.

1.2 MÅL

Projektets övergripande mål är att bedöma möjligheterna och potentialen för fastighetsnära säsongslagring i kombination med lågenergi- och lågtemperaturbyggande i Sverige.

Delmål för projektet är:

- Redogöra för tekniska krav på byggnader och lagersystem.
- Redogöra för skillnader i produktionsoptimering och affärskoncept utifrån olika ägare av lagret och i förhållande till gällande lagstiftning.
- Ta fram en tillämpad metod för att beräkna den lagrade spillvärmens miljöprestanda.
- Ta fram ett beräkningsverktyg för att kunna göra en bedömning av lönsamheten ur både ett fjärrvärmebolags perspektiv och en fastighetsägares perspektiv.
- Exemplifiera beräkningsmodellen med tre typbyggnader i olika fjärrvärmemixar.

1.3 PROJEKTGENOMFÖRANDE

Projektets har genomförts i samarbete mellan Devcco och SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Devccos roll har främst varit projektledning och arbetet med de ekonomiska kalkylerna. Devcco har även ansvarat för potentialstudien i Sverige, affärskonceptet och de juridiska aspekterna.

SP har ansvarat främst för utveckling av typbyggnader, energimodellen samt delarna som är kopplade till miljövärderingen.

Till projektets förfogande har funnits en referensgrupp med representanter från Energiföretagen, Skanska, Akademiska hus, Göteborg Energi, Tekniska Verken i Linköping, Eon samt Umeå Energi.

2 Metod och utgångspunkter

2.1 SYSTEMPERSPEKTIV

En av de grundläggande utgångspunkterna i studien är att fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme bör kunna leda till ett bättre utnyttjande av befintliga basproduktionsanläggningar och spillvärme i fjärrvärmesystem utan att ytterligare investeringar krävs i produktions- och distributionssystemen. Detta eftersom de tillkommande leveranserna skulle ske under sommarhalvåret då det finns ledig kapacitet i fjärrvärmesystemen.

I ett systemperspektiv skulle fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme på marginalen betyda ökad produktion på sommaren och minskad på vintern under förutsättning att alternativet för en fastighet är en vanlig leverans av fjärrvärme. Det är detta systemperspektiv som ligger till grund för projektet.

Utgångspunkten är vidare att produktionskapaciteten som är tillgänglig under sommaren till stor del utgörs av basproduktion i form av t.ex. industriell spillvärme och värme från förbränning av avfallsbränslen i kraftvärmeverk. Spetsproduktion som skulle kunna undvikas under årets kallare delar antas till stor del utgöras av mindre effektiva och miljövänliga produktionsslag som t.ex. fossilbränsleeldade hetvattencentraler.

Över tid skulle ett brett genomslag för fastighetsnära säsongslagring i sin tur kunna påverka hur fjärrvärmesystemen utvecklas, men i det här projektet har vi i modeller och beräkningar utgått från ett statiskt system.

2.2 LÖNSAMHET

För att utvärdera lönsamheten med fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme behövs ett alternativ att jämföra med. Vi har valt att jämföra med alternativet "vanlig" fjärrvärme där fastighetens hela behov av uppvärmning och tappvarmvatten tillgodoses med hjälp av fjärrvärme. Då säsongslagring innebär relativt stora engångskostnader för att uppföra och ladda lagret har jämförelsen gjorts över en tänkt livscykel om 25 år.

Utgångspunkten i lönsamhetsberäkningarna är vidare att fastighetsägaren bekostar och äger säsongslagret och att lagret under årets varma del laddas med fjärrvärme från basproduktion till en kostnad motsvarande antagen rörlig produktionskostnad med ett visst vinstpåslag för att motivera fjärrvärmeleverantören till en sådan leverans.

Livscykelkostnaderna för de båda alternativen beräknas som nettonuvarde för att på ett rättvisande och enkelt sätt kunna ställa kostnaderna mot varandra. En mer detaljerad beskrivning av hur lönsamheten beräknats finns i beskrivningen av beräkningsmodellen nedan.

2.3 MILJÖVÄRDERING

Liksom för lönsamheten har miljöpåverkan beräknats med och utan lager. Beräkningarna bygger på att man använder den för fjärrvärmenätet aktuella marginalproduktionsmixen. I modellen har man möjlighet att välja såväl miljövärdering för el samt allokeringssprincip för fjärrvärme. Underlagsdata till detta har främst hämtats från Miljöfaktaboken (J. Gode, 2011) utom för Bra Miljöval där underlag hämtats in från Naturskyddsföreningen via e-post.

Vad gäller miljövärdering av el har man möjlighet att välja mellan:

- Nordisk medelelmix
- Bra miljöval
- Marginal-el (J Gode, 2015)
- Egen definierad elmix

Avseende fjärrvärmeförseln kan man välja bland följande allokeringssprinciper för miljövärdering:

- Alternativproduktionsmetoden
- Energimetoden
- Kraftbonusmetoden

Dessa tre allokeringssprinciper och ett flertal andra finns utförligt beskrivna i Fjärrsyns rapport 2012:8, Kraftvärmeallokeringar, men kortfattat kan de beskrivas enligt följande.

1. Alternativproduktionsmetoden

Metoden tar hänsyn till det faktum att det hade krävts ett högre bränslebehov om elen och värmen hade producerats i separata anläggningar istället för gemensamt i en kraftvärmeanläggning. El och värme som produceras i kraftvärmeanläggningen får dela på den besparing som görs. Fördelningen görs procentuellt efter hur mycket bränslen som den separata produktionen kräver jämfört med den totala. Enligt denna metod gynnas både el och värme av samproduktionen.

2. Energimetoden

Miljöpåverkan delas upp proportionellt mellan hur många MWh el respektive värme som genereras i kraftvärmeverket vid samtidig produktion av värme och el. Energiallokering är en typ av fysikalisk allokering eftersom slutprodukternas fysikaliska egenskaper ligger till grund för allokeringen. Energimetoden är en av de alternativa allokeringar som kan användas enligt ISO 14044:2006.

3. Kraftbonusmetoden

Synsättet i denna metod är att värme är huvudprodukten i kraftvärmegenereringen och att elen är en bonus (biprodukt). Syftet med metoden är att beskriva vad som händer i ett större energisystem vid en förändring av fjärrvärmeanvändningen. Detta innebär att elenergin som genereras i anläggningen antas ersätta annan elgenerering i systemet (i ett definierat område) och är ett vanligt betraktelsesätt inom LCA-metodiken enligt ISO14044. Beräkningsmässigt innebär det att el från kraftvärme får samma miljöpåverkan som el den ersätter.

Val av miljövärdering av elektricitet och av allokeringsmetod kräver viss eftertanke. Att blanda fritt blir lite som att blanda äpplen och päron. Lämpligen väljs en allokeringsmetod och en miljövärdering som hör samman, t.ex. energimetoden och historisk nordisk medelelmix, eller marginal-el och kraftbonus.

2.4 LAGRETS UTFORMNING OCH FUNKTION

Lagret laddas under sommaren med resurseffektiv värme och laddas ur under vintern, i första hand för att användas till komfortvärme. Lagersystemet använder enbart värmeväxling och inte värmepump. Fjärrvärme används till höga temperaturbehov, t.ex. tappvarmvattenberedning. Systemmässigt antas fjärrvärmen även finnas som säkerhet och backup, vilket minskar behovet av att förse lagret med dubblerade system och andra reservlösningar.

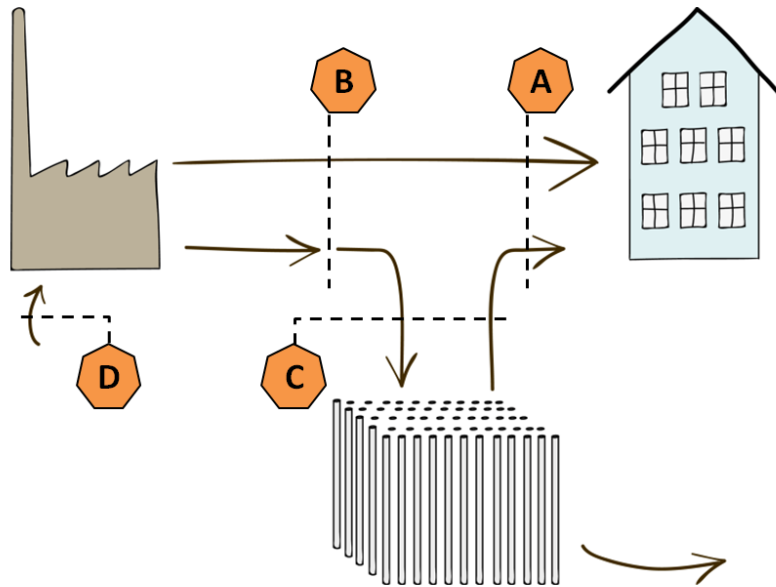
Lagren laddas i simuleringarna under maj till september, varav ungefärligen halva maj och september antagits vara tillgängliga för laddning. I slutet på april antas lagret vara mer eller mindre tomt.

Lagren som simulerats består av standardmässiga borrhålslager, kvadratisk eller rektangulärt formade borrhålsfält med inbördes kvadratisk satta hål, borrhålen till ordinära djup (110-150 meter) och inte tätare än tekniken tillåter. De har försetts med vanliga dubbla U-rörskollektorer.

Lagren har inte antagits ha någon markisolering, någon ovanpåliggande byggnad, några koncentriskt sektioner, eller någon annan speciallösning i simuleringarna.

Bergtemperatur och andra bergegenskaper har antagits så att de stämmer någorlunda väl söder om linjen Sundsvall – Falun och ned till Skåne. Marken i Umeå är endast 1,5°C kallare än simulerad vilket innebär att modellen stämmer relativt väl även för delar av norrlandskusten. Norrlands inland har däremot betydligt lägre marktemperatur. Skåne, Öland och Gotland en annan berggrund, liksom delar av bl.a. Östergötland.

Figuren nedan visar principiell koppling mellan fjärrvärme, lager och typbyggnad. I figuren är även principiella leveransgränser markerade



Figur 1. Principiell systemlösning. Byggnadens värmebehov tillgodoses vid leveransgräns (A), som utgörs lagrad och/eller olagrad värme. Leveransgräns B avser fjärrvärmeleverans fram till fastighet och lager. C utgör in- och urladdad värme, medan D avser tillfört bränsle eller el till fjärrvärmeproduktion.

Earth Energy Designer (EED) har använts för att simulera lagren. EED är en av få kommersiellt tillgängliga programvaror för beräkningar av borrhålslager. Programvaran är allmänt använd av VVS-konsulter för att hitta optimal design på borrhålslager (eller bergvärme) för byggnader. EED är väl beprövad i Sverige och utomlands och anses stämma väl med verkliga borrhålslager.

EED är inte anpassad för att beräkna optimal design på ett borrhålslager som fylls med fjärrvärme. Istället har de lagermodeller som presenteras i denna rapport itererats fram manuellt genom en rad simuleringar av olika lagerkonfigurationer till dess att alla villkor uppfyllts.

I analysen undersöks effekt av extra markisolering. Isolering har i analysen beräknats förenklat på samma sätt som t.ex. för isolering i en husvägg, som kan beräknas som ett endimensionellt värmefflöde. Rimligheten att använda denna förenklade formel är delvis bekräftad genom utvärderingen av lagret i Emmaboda (B. Nordell, 2015) där marken täckts med 40 centimeter markisolering och noggranna mätningar gjorts ovan och under isolerskiktet.

Använd formel:

$$q = \lambda \times \Delta T / h \text{ (W/m}^2\text{K)}, \text{ där}$$

λ är värmeledning

ΔT är temperaturskillnad

h är isoleringenstjocklek

3 Typbyggnader

Tre typbyggnader har tagits fram, dessa har valts så att de representerar vanligt förekommande större byggnader och kvarter. De tre typerna är modernt energieffektivt kontor, äldre energirenoverat kontor och energirenoverat miljonprogram. Lagerlösning har tagits fram för två storlekar av varje byggnadstyp, där den ena använder 50% mer värme än den andra. I övrigt är förbrukningsprofil och temperaturkrav likvärdiga.

3.1 TYPBYGGNAD 1 – MODERN OCH ENERGIEFFEKTIV KONTORSFASTIGHET

Typbyggnad 1 är en modern och energieffektiv kommersiell fastighet med ett 40/27°C värmesystem. Förebild är en av Skanskas kontorsfastigheter i Stockholm. Energianvändning har erhållits av Skanska, månadsvärden har avrundats med bibehållen årlig total energianvändning. Dimensionerande effektlast för värmesystem har uppskattats utifrån resultatet från en simuleringsmodell av en liknande byggnad framtagna i ett examensarbete (Lätt, 2015). I uppskattningen har antagits att byggnaden har ett styr- och reglersystem som dämpar effektoppar.

Lagret har dimensionerats för att täcka hela komfortvärmens under vintern och enbart denna och inte till tappvarmvatten. Vidare ska lagret klara 40°C framledningstemperatur vid dimensionerande last, vilken har antagits enligt tabellen nedan.

I tabellen nedan redogörs för en typbyggnad på storleksordning 30 000 kvadratmeter och ett totalt värmebehov på 1400 MWh/år. Dimensionerande effektlast för byggnaden har ansats jan-april, då lagrets temperatur kan vara begränsande faktor denna period. Under början av uppvärmningssäsongen är lager temperaturen inte begränsande.

Tabell 1 Värmebehov för en variant av typbyggnad 1.

Värme- behov	Komfort- värme (MWh)	TVV ink VVC. (MWh)	Total värme (MWh)	Dim effektlast (kW)	
				kW	Tid (h)
Jan	209	17	226	450	6
Feb	194	17	211	450	6
Mar	163	17	180	350	6
Apr	87	17	104	200	6
Maj	43	16	59		
Jun	22	16	38		
Jul	10	16	26		
Aug	13	16	29		
Sep	39	17	56		
Okt	93	17	110		
Nov	134	17	151		
Dec	193	17	210		
SUM	1200	200	1400		

3.2 TYPBYGGNAD 2 – ENERGIRENOVERAT KONTOR

Förebilden för det energirenoverade kontoret är en äldre större kontorsbyggnad på ca 40 000 kvadratmeter, uppförd under 1960-talets första hälft. Byggnaden antas ha moderniserats och renoverats flera gånger under årens lopp och även ha mindre butiker etc.

För att skapa modellen för typbyggnaden har framförallt energisignatur för fastigheterna Fräsaren 10 och 11, belägna i Solna använts. Dessa beskrivs i ett examensarbete (Larméus, 2014). Angivet värmebehov har stämts av mot Svebys klimatdata för Bromma (Sveby, 2016) och därefter har byggnaden "virtuellt flyttats" till Sundsvall med hjälp av motsvarande klimatdata. Precis som för det moderna kontoret har lagret antagits att bara användas till komfortvärme och inte till tappvarmvatten. Vidare antas att delar av byggnadens värmesystem, så som ventilationsaggregat, etc. anpassats för låga temperaturer, medan ursprungliga radiatorer kvarstår.

Lagret har dimensionerats så att det klarar merparten av komfortbehovet, men inte hela behovet under kalla perioder. I Svebys klimatdatafil för Sundsvall förekommer en längre riktigt kall köldperiod sent på säsongen, i mars, som gör att värmebehovet i mars blir lika stort som för januari. Så sent på säsongen har lagret hunnit svalna avsevärt och har därmed svårt att leverera hög effekt och hög temperatur samtidigt. Därav den mycket dåliga täckningsgraden för denna månad. Dimensionerande effektlast för byggnaden har ansats oktober till april

Tabell 2. Värmebehov för variant av typbyggnad 2.

Värme- behov	Komfort- värme (MWh)	TVV ink VVC. (MWh)	Värme från lager		Dim effektlast VS	
			Komfort (MWh)	TVV (MWh)	Effekt kW	Tid(h)
jan	343	20	324	0	625	24
feb	305	20	286	0	625	24
mar	341	20	303	0	625	24
apr	209	20	209	0	400	24
maj	77	20	0	0		
jun	13	20	0	0		
jul	0	20	0	0		
aug	0	20	0	0		
sep	69	20	0	0		
okt	196	20	196	0	400	24
nov	304	20	300	0	500	24
dec	407	20	380	0	625	24
SUM	2264	240	1998	0	-	-

3.3 TYPBYGGNAD - ENERGIRENOVERAT MILJONPROGRAM

Det renoverade miljonprogrammet som modellen är baserad på är beläget i Karlstad och är byggt under andra halvan av 1960-talet. Totalt finns tio stycken sjuvånings skivhus. Klimatkorregerad energistatistik för år 2014 och 2015 för de nio byggnader som enbart använder fjärrvärme har använts för att skapa modellen.

Byggnaderna har energirenoverats, bl.a. genom tilläggsisolering och fönsterbyte. Byggnadernas installationer har inte anpassats till lågtemperaturvärmesystem. Renoveringen är närmare beskriven av Bebo (Levin, 2011)

Lagret har dimensionerats för att klara merparten av komfortvärmen under vintern (knappt 75 %) och används även till att förvärma tappvarmvatten. Lagret är dimensionerats så att det håller ca +50°C i slutet av februari. Framledningskurvan för komfortvärmen på Orrholmen är 60°C vid -20°C ute och 40°C vid ±0°C, men den höjs med +5°C vid "kallt väder", t.ex. hård blåst. Teoretiskt skulle lagret alltså klara 50 % av värmebehovet vid -20°C om värmesystemet håller 60/40°C och lagret kan leverera 50/40°C. Kallt väder har antagits inträffa 10 % av tiden.

Dimensionerande effekt har beräknats med utgångspunkt från respektive byggnads tre högsta dygnsförbrukningar och dygnsmedeltemperaturen för dessa dagar. Tappvarmvattenförbrukning har antagits vara lika stor varje månad och motsvara fjärrvärmeförbrukningen under juli.

Nedan redogörs för miljonprogrammodellen som baserats på Orrholmen. Modellen motsvarar ca 40 000 kvadratmeter och ca 660 lägenheter, eller drygt 10 skivhus av det snitt som stått förebild. Dimensionerande effektlast för byggnaden har ansatts perioden oktober till april.

Tabell 3. Värmebehov för variant av typbyggnad 3.

Värme- behov	Komfort- värme (MWh)	TVV ink VVC. (MWh)	Värme från lager		Dim effektlast VS	
			Komfort (MWh)	TVV (MWh)	kW	Tid (h)
jan	484	107	320	66	1500	24
feb	447	107	299	64	1250	24
mar	409	107	314	64	750	
apr	260	107	224	62	500	
maj	122	107				
jun	30	107				
jul	0	107				
aug	23	107				
sep	88	107				
okt	235	107	203	84	750	
nov	342	107	285	78	1000	
dec	447	107	291	70	1500	
SUM	2887	1284	1935	490		

4 Fjärrvärmeproduktion

Beräkningar av de miljömässiga samt de ekonomiska för- och nackdelarna med fastighetsnära säsongslagring jämfört med vanlig fjärrvärme baseras på vilka produktionsslag som används på marginalen under olika delar av året för ett givet fjärrvärmesystem. För att konkretisera detta har vi baserat beräkningarna på månadsvisa energibalanser där efterfrågan ska mötas av en mix av de olika produktionsslag som under månaden utgör marginalproduktion. Denna mix benämns härnäst marginalproduktionsmix.

I modeller och beräkningar utgår vi från ett antal vanliga produktionsslag till vilka vi ansatt typiska produktionskostnader och miljövärden. I beräkningsmodellen finns dessutom möjligheter att definiera egna produktionsslag och nyckeltal.

Nedan följer en kort beskrivning av de fördefinierade produktionsslag som ingår i beräkningsunderlaget.

4.1 HVC FOSSIL OLJA

Hetvattenpannor (HVC) är anläggningar för framställning av hetvatten. I fjärrvärmesystem är större hetvattenpannor stationära huvudproduktionscentraler för både bas- och spetslastproduktion.

HVC Fossil olja används för spetslastproduktion då de har förhållandevis låg investeringskostnad, hög rörlig driftkostnad och kort starttid (Fredriksen & Werner, 1993).

4.2 HVC BIOOLJA

Bioolja är fett eller fettsyror framställt ur biomassa. Den är främst vegetabilisk då animalisk bioolja har hygieniseringskrav. Dess biologiska ursprung kan vara oliver, soja, raps, gran och tall. Den bioolja som används i energiproduktion består främst av restprodukter från industriella processer (Sernhed, 2013).

4.3 HVC PELLETS

Bränslepellets är ett biobränsle som tillverkas ur olika biprodukter från skogs- och förädlingsindustrin. På grund av deras höga energiinnehåll och låga fuktighet så är de enklare att transportera och hantera än bränslen som är oförädlade.

4.4 VÄRMEPUMP (VP)

Värmepump av större storlek, 10-50 MW, kan användas som centrala värmeproduktionsanläggningar i fjärrvärmesystem där lågtempererade värmekällor finns tillgängliga. Som bas för stora värmepumpar finns ett flertal lågtempererade värmekällor såsom kommunalt avloppsvatten, industriell spillvärme, geotermisk värme och havs- och sjövattnen. En kompressorvärmepumps termodynamiska prestanda anges som värmefaktor eller COP (coefficient of performance). COP är förhållandet mellan utvunnen värmeenergi och tillförd drivenergi.

4.5 KVV KOL/BIO

Kraftvärmeverk (KVV) är storskaliga anläggningar som kan producera både el och värme. Kraftvärmeverk har mycket högre verkningsgrad än hetvattencentraler och även kondenskraftverk då de tar tillvara på värmen som uppstår vid elproduktionen.

4.6 KVV RETURFLIS

Returflis (även RT-flis) är oftast rivningsvirke från byggen som är målad och behandlad. Returflis är torrt virke och är avfall från framförallt byggnadsindustrin.

4.7 KVV SKOGSFLIS

Skogsflis är prima trädbränsle som inte är torkat eller behandlat på annat vis än att det är relativt finfördelat i form av flis. Det utgörs ofta av grenar och toppar (Grot) som är en restprodukt från skogsavverkning.

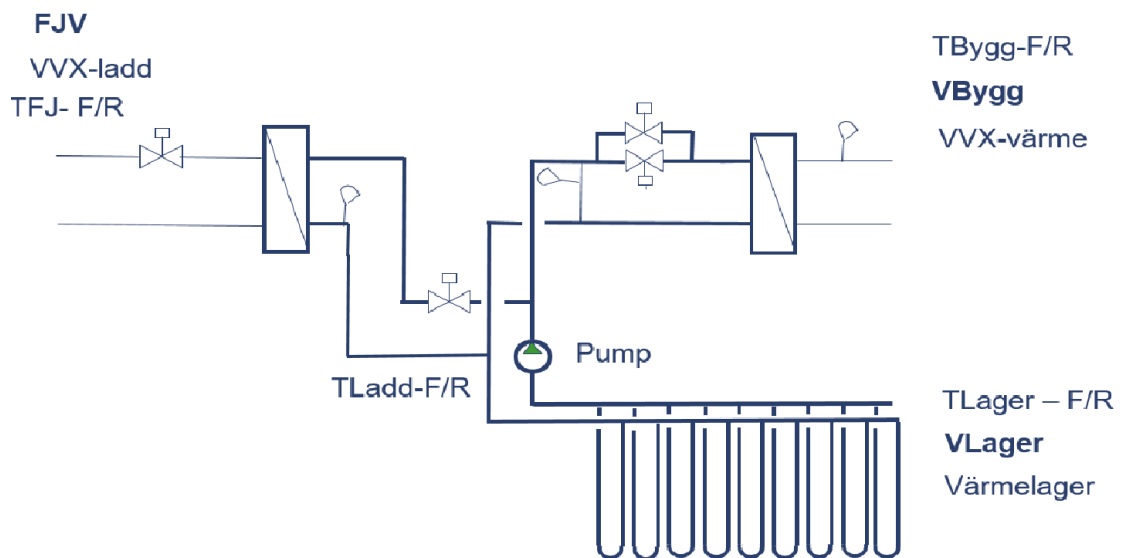
4.8 KVV AVFALL

Avfall, och då särskilt hushållsavfall, är ett vanligt bränsle i de svenska fjärrvärmesystemen. Enligt Avfall Sverige utvanns 14,7 TWh fjärrvärme ur avfall år 2015. Avfallseldade kraftvärmeverk kännetecknas av höga investeringskostnader och relativt låga rörliga kostnader varför de utgör basproduktion i fjärrvärmesystemen.

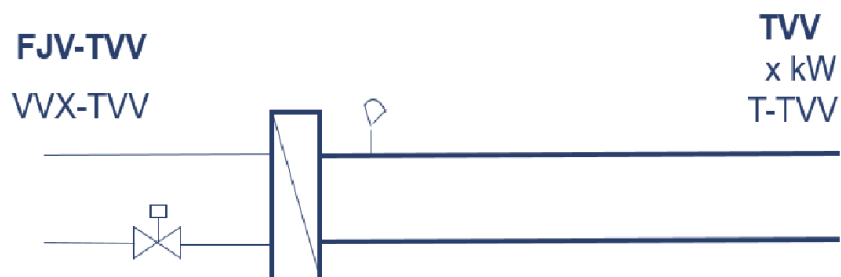
4.9 INDUSTRIELL SPILLVÄRME

Enligt Svensk Fjärrvärme utgjorde industriell spillvärme 8% av energitillförseln i de svenska fjärrvärmesystemen år 2014. Industriell spillvärme utgörs av sådan värme som annars skulle gått till spillo och utnyttjas ofta som basproduktion i fjärrvärmesystemen.

5 Systemlösning



Figur 2 : Systemskiss Fjärrvärmeanslutning, kringutrustningssystem, lager och sekundärsystem (Skanska)



Figur 3: Systemskiss för tappvarmvatten (Skanska)

5.1 SYSTEMETS DELAR

Ett fastighetsnära säsongslager består av flera olika installationer och komponenter. Vi har delat upp systemet i följande delar:

- Fjärrvärmeanslutning
- Lager under mark
- Lager ovan mark / kringutrustning
- Värmecentral
- Sekundärsystem

Var och en av delarna beskrivs mer i detalj i nedanstående stycken.

5.1.1 Anslutning till fjärrvärmenätet

Anslutningen till fjärrvärmenätet utgörs normalt av en servisledning samt kontroll- och mätinstrument för reglering. I fallet med fastighetsnära säsongslager har vi mest av pedagogiska skäl valt att separera anslutningen för laddning av lager och för tappvarmvatten, men de båda ansluts förstås till fjärrvärmedistributionssystemet med en gemensam servisledning.

5.1.2 Värmecentral

Värmecentralen i fallet med säsongslagring består av de komponenter som normalt ingår i en undercentral för fjärrvärme, bl.a., värmeväxlare, cirkulationspumpar och mätutrustning. Skillnaden med säsongslagring blir att dimensionerna ökar till följd av lägre systemtemperaturer och större flöde. För att förtydliga att lagret inte förser fastigheten med tappvarmvatten utgår vi i det här arbetet från att en separat värmeväxlare kopplad mot fjärrvärme ingår i värmecentralen.

5.1.3 Sekundärsystem

Sekundärsystemet består av byggnadens interna system för uppvärmning såsom radiatorer, luftbatterier och rörledningar. I fallet med säsongslagring kan sekundärsystemets olika delar behöva dimensioneras upp som en anpassning till de lägre systemtemperaturer och den mindre temperaturdifferensen mellan sekundärsystemets fram- och retursida som blir följderna av säsongslagring. Alternativet är att byggnaden energieffektiviserats, t.ex. genom tilläggsisolering och fönsterbyte, vilket innebär att temperaturen kan sänkas på befintlig värmeöverförande yta.

5.1.4 Lager under mark

Lager under mark består av borrhål, borrade med 4½ tum (114,3 mm) borrkrona. Hålen antas vara vattenfyllda och inte ha någon fyllning, så kallad grouting. De antas vara inbördes kvadratiskt satta. En kvadratisk form på borrhålsfältet har eftersträvat för att minimera energiförlust mot omgivningen. En mer optimal geometri för att minska lagerförluster är att forma borrhålsfältet så att den yttre randen bildar en cirkel. Teoretiska studier antyder att en sådan geometri skulle ha 5-10% lägre förluster än ett kvadratiskt borrhålsfält.

Avstånd mellan borrhål har satts till 4 meter för borrhålen som är 100-150 meter djupa. Kort avstånd ökar risk för sammanborrade hål, etc. Kort hålavstånd är dock nödvändigt för att minimera omslutningsarea för att minska lagerförlusterna.

Dubbla DN40 PN6 U-rörskollektorer av polyeten används som kollektorer. De ansluts parallellt med varandra, det vill säga ett hål i serie. Temperaturmässigt klarar kollektorerna ansatt maximal temperatur som är ca 70-75°C. Vanligt avhärdat vatten används i borrhålskretsen, utan frysskydd. Någon detaljerad design av hur samlingsbrunnar etc. placeras i mark har inte gjorts inom projektet.

Samtliga ledningar och samlingsrör antas vara frysskyddade av täckmassor. Eftersom lagret värmer ovanliggande mark är behovet av extra frysskydd så som markisolering begränsat. Någon allmän isolering av lagerytan har inte antagits, eller att några byggnader helt eller delvis täcker lagret, vilket skulle få liknande effekt.

5.1.5 Lager ovan mark

Ovan mark finns enbart ett fåtal installationer som inte kräver särskilt mycket plats. Större delen av lagerytan antas därför kunna utgöra trädgård/park, bilparkering, etc.

Installationerna begränsas till cirkulationspumpar (antal beror av lagrets storlek och dess detaljerade design), ventiler, värmeväxlare och givare (temperatur, etc.). Dessa placeras inomhus antingen i fastighetens undercentral eller i en teknikbod. Eftersom temperaturskillnaden i lagerkretsen är låg blir detta flöde stort. Ledningarna kommer därför ha större dimensioner än övriga värmesystemet, något som hänsyn behöver tas till om lagerkretsen skall dras långa sträckor inomhus.

Flera lösningar är möjliga för exakt hur designen av undercentralen för lagret ser ut. Av pedagogiska skäl i detta projekt används en lösning som innebär att lagerkretsen har två värmeväxlare, en för fjärrvärme och en till byggnadens värmesystem (värmesekundär).

5.2 SYSTEMETS FUNKTION

Lagret värms upp med fjärrvärme under sommaren när tillgången på resurseffektiv fjärrvärme är god och laddas sedan ur under vintern. Fjärrvärme används för att täcka höga temperaturbehov (så som tappvarmvatten) och som backupsystem.

5.2.1 Termisk beskrivning av borrhålslager

Borrhålslager har två egenskaper som skiljer dem från vanliga ackumulatortankar. För det första är de värmetröga. Lagret består trots allt av sten. Tänk dig en gammal stenkyrka eller medeltida borg med två till tre meter tjocka väggar. Lagret har som jämförelse fyra till fem meter mellan varje borrhål, detta skapar en tröghet. Den andra

egenskapen är att borrhålslager saknar temperatursiktning. Ackumulator-tankar har en tydlig temperatursiktning mellan en varm vattenvolym i toppen och svalare i botten. Borrhålslager har enbart en medeltemperatur. Detta gör att lagret svalnar när det laddas ur, vilket innebär att temperaturen succesivt minskar under vintern och lagret får allt svårare leverera tillräcklig effekt och temperatur.

5.2.2 Värmeförlust

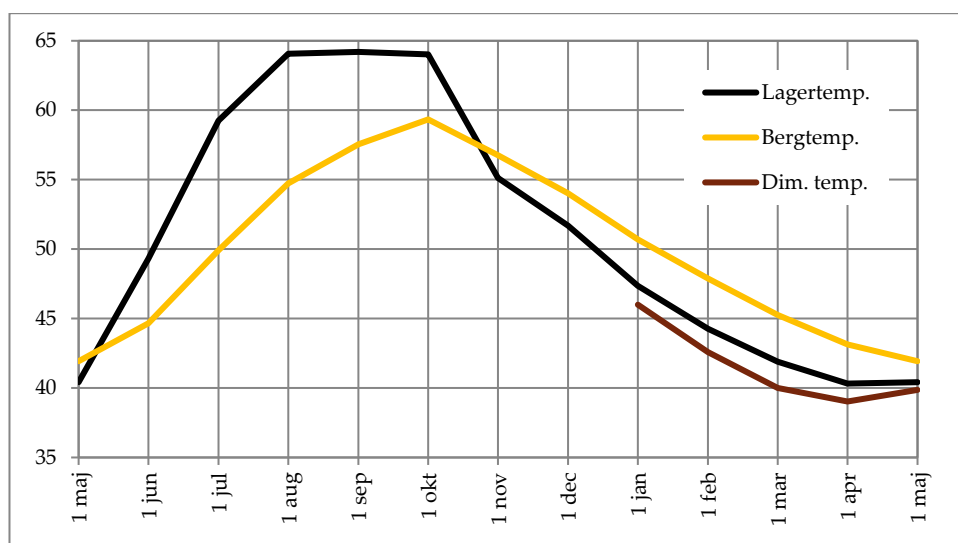
Värmeförlust är borrhålslagrens stora problem. Förlusten må vara hanterbar om det enbart var billig sommarvärme som förlorades, men förlusten sker i form av förlorad temperatur, vilket i kombination med att lagret saknar skiktning späder på problematiken att leverera hög effekt med hög temperatur.

Värmeförlust sker främst mot markytan, förlusten nedåt mot jordens inre är i princip noll. Värmen vandrar däremot även horisontellt ut från sidorna till omgivande berg. Denna värme som vandrat ut från sidan kyls också bort mot markytan fast längre ut från lagret. Detta innebär att förlusten åt sidorna avtar med tiden, i takt med att omgivande berg värms upp.

5.2.3 Laddning och urladdning

Laddning antas ske när resurseffektiv värme finns tillgänglig, vilket antas vara maj till och med september, dock begränsat till ungefär halva tiden i maj och september. Returtemperaturen på fjärrvärmesystemet har begränsats vid laddning så att den inte överskrider 65°C. Eftersom lagret är värmetrögt och saknar temperatursiktning, begränsas möjlig inladdningseffekt både av att returtemperaturen blir hög när lagret laddas med hög effekt och att lagret succesivt blir varmare i takt med att det fylls. Detta gör det svårt att ladda upp lagret över 60°C

Figuren nedan visar en typisk årscykel för ett lager, i detta fall för typbyggnaden modern energieffektiv kontorsbyggnad, den större varianten efter att initiala förluster mot omgivning stabiliserats.



Figur 4: Laddning och urladdning av lager.

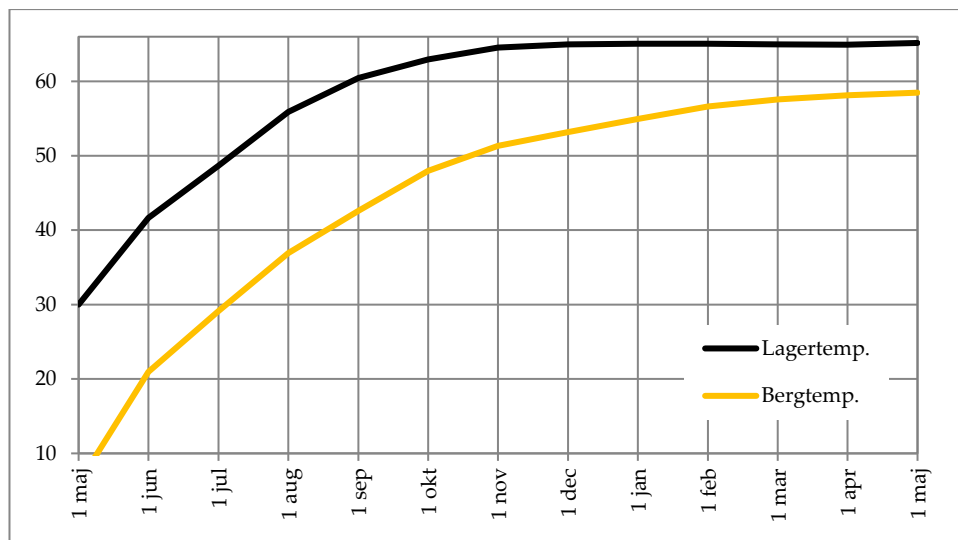
Uppladdningen startar i maj och avslutas i september. Lagertemperatur (svart) avser vattentemperaturen från borrhålskollektorerna. Bergtemperatur (gul) är mer symbolisk och motsvarar den temperatur som borrhålen skulle ha efter ett dygns vila utan att någon effekt tillförts eller bortförts. Skillnaden mellan den svarta och gula linjen kan sägas utgöra temperaturförlust över borrhålet, det s k borrhålsmotståndet. Under juli når lagret maximal ladd-temperatur för att klara kravet på att fjärrvärmeretur-temperaturen inte blir för hög. Därför sänks laddeffekten och den svarta kurvan planar ut, medan bergtemperaturen (gul) fortsätter att öka. Lagertemperaturen är beräknad vid laddning/uttag av värme med motsvarande månadsmedeleffekt. Dimensionerande temperatur (röd) indikerar vad lagertemperaturen är efter några timmars drift vid dimensionerande (max) effektuttag. Det är denna temperatur som avgör om lagret är tillräckligt varmt för att svara mot byggnadens behov, i detta fall 40°C i slutet av februari.

5.2.4 Inledande uppvärmning

När lagret borrats klart och driftsätts behöver det värmas upp till arbetstemperatur. Detta tar två uppvärmningssäsonger om hänsyn till tillgång på resurseffektiv värme tas och laddningen stoppas helt under vintermånaderna. Från maj år 1 till september år 2. Det är så den initiala uppvärmningen har antagits i modellen, 17 månader med laddstopp nov-mar.

Värms lagret oavkortat upp efter driftstart tar det dock bara något halvår att få upp temperaturen, inledningsvis begränsas förmodligen laddhastigheten av fjärrvärmenätets kapacitet och avslutningsvis begränsas laddhastigheten av temperaturbegränsningen på 65°C för fjärrvärmereturen. Men då hinner inte omgivande bergvolym värmas upp och lagret svalnar snabbt av. Ett år är därför förmodligen en mer realistisk minimitid för uppladdning än ett halvår. Då hinner omgivande bergvolym värmas upp och stabiliseras. Initial uppvärmning kan alltså ske snabbare än så som modellerats vilket är två säsonger.

Figuren nedan visar en simulering av 12 månader sammanhängande initial uppvärmning för samma typbyggnad som ovan, det vill säga modern energieffektiv kontorsbyggnad.



Figur 5. Initial uppvärmning till arbetstemperatur.

Laddeffekten är initialt hög, men efter ungefär ett halvårs laddning begränsas laddningen av kravet på att inte fjärrvärmereturen får överstiga 65°C.

Den första tiden efter uppvärmning är randförlusten mot omgivande berg betydande, vilket gör att lagret kallnar mycket snabbare än när förlusterna mot omgivande berg stabiliserats. Värmeförlusterna mot omgivningen efter en 12 månader lång initial uppvärmning är ca tre gånger så höga mot vad de blir när förlusterna stabiliserats. Lagret kommer därför förmodligen inte riktigt att hålla värmen hela första vintern även om det övervärms något mot slutet av den inledande uppvärmningen.

6 Modell

Beräkningsmodellen är byggd i Excel och kan hantera såväl ekonomiska beräkningar som miljö- och energimässiga. Användaren har möjlighet att välja ett stort antal parametrar. En del parametrar är dock låsta då de har sitt ursprung i simuleringar med EED. Två grundmodeller (Excel-filer) bifogas denna rapport, den ena med ett fjärrvärmesystem som inspirerats av Göteborgs och en som inspirerats av Stockholms. Det går dock enkelt för användaren att ändra fjärrvärmens produktionsmix.

Beskrivning av modellen

Kalkylarket består av fem flikar. Flikarna är enligt följande

1. Indata

Fliken beskriver arbetsgången för beräkningarna. Här fyller man också i fastighetens värmeenergiebehov på årsbasis och väljer vilken typ av byggnad det är bland tre typbyggnader. Vidare fyller man i det aktuella fjärrvärmesystemets procentuella fördelning av marginalproduktion per månad för ett helt år. Man väljer även efter vilken produktionsmix el ska värderas miljömässigt och vilken allokeringsprincip som skall användas för värmens miljöpåverkan i kraftvärmeproduktion. Notera att val av el och allokering visserligen kan göras fritt i modellen, men att exempelvis marginal el bör användas med kraftbonus-metoden.

2. Utdata

I Utdata-fliken presenteras resultaten av beräkningarna. Först kommer en sammanfattning följt av energibalanser för fastigheten, fjärrvärmens, utsläpp av CO₂ och användning av primärenergi. Detta redovisas både med och utan lager samt med differensen mellan alternativen. Avslutningsvis redovisas ekonomin både med och utan lager.

3. Ändringsbara parametrar

I denna flik återfinns fasta och ändringsbara miljöparametrar såsom utsläpp av CO₂/MWh och primärenergifaktorer för olika bränslen. Här fyller man också i produktionsanläggningarnas totalverkningsgrader, alfavärden och produktionskostnader. Vidare återfinns primärenergifaktorer och GWP-värden för de olika elmixar som kan väljas.

De ekonomiska faktorer som kan ändras omfattar fjärrvärmepreiser till kund, ett flertal olika investerings- och underhållskostnader samt räntesättningar och täckningsgrader.

4. Låsta parametrar

Fliken används för att mata in de utdata som kommer från EED-simuleringarna och används därmed för denna modell som låsta parametrar.

5. Interna beräkningar

I denna flik ligger de allra flesta beräkningsformler som används för att generera värden i Utdata-fliken baserat på låsta och ändringsbara värden från övriga flikar.

6.1 ENERGIBALANSER

6.1.1 Lager-laddning, -urladdning och -förluster

Borrhåslagren har simulerats med en separat programvara, Earth Energy Designer (EED), för totalt sex olika byggnader, två av respektive typ. Resultatet har därefter flyttats över till Excel. Indata/Utdata från simuleringarna finns i bilaga kapitel 12.2. I Excel används resultatet från de två simuleringarna per typbyggnad som konstanter för fortsatta beräkningar. Ett linjärt förhållande har antagits för samtliga variabler mellan de två simulerade storlekarna. En byggnad vars energianvändning befinner sig mitt emellan de två simulerade storlekarna, antas alltså motsvara medelvärde av den mindre och större simulerade byggnaden.

Gjorda antaganden i simuleringarna beskrivs ingående i bilaga kapitel 12.1. Excelmodellerna som bifogas redogör i detalj för energiflöden in och ut ur lagret.

6.1.2 Byggnadens värmebehov

Byggnadernas årsvärmebehov kan fritt ändras av användaren, medan uttagsprofilen är låst för respektive typbyggnadskategori. Eftersom simuleringar med EED endast gjorts för två punkter är det inte att rekommendera att gå allt för långt utanför dessa intervall. I synnerhet inte i minskad energianvändning.

Energiflöden framgår av Excelmodellen.

6.1 MILJÖVÄRDERING

Beräkningarna bygger på marginalproduktionsmixen som angivits för fjärrvärmerna. I modellen har man också möjlighet att välja såväl miljövärdering för el samt allokeringssprincip för fjärrvärme/kraftvärme. Underlagsdata till detta har främst hämtats från Miljöfaktaboken (J. Gode, 2011). Beräkningar sker sedan för alternativen med och utan lager. För att beräkningar skall bli korrekta måste även produktionsanläggningarnas totalverkningsgrader och alfa-värden, för kraftvärmeproduktion, läggas in. Samtliga värden läggs in på månadsbasis. Önskar man använda samma värde för hela året måste detta därför läggas in för varje månad.

Vad gäller miljövärdering av el har man som tidigare nämnts möjlighet att välja mellan Nordisk medelelmix, Bra miljöval, Svensk medelelmix eller en Marginalel. För modelleringen inom detta projekt har vi antagit att GWP-värden och primärenergifaktorer för el är lika stora varje månad över året. Vi har i modellen ansatt följande värden:

- Nordisk elmix: GWP 130 g CO₂/kWh och PEF 1,7
- Bra miljöval: GWP 2 g CO₂/kWh och PEF 0,8
- Marginal-el: GWP 884 g CO₂/kWh och PEF 2,67

För fjärrvärmeallokeringen har vi däremot olika värden för olika månader. Detta ges dock per automatik av att vi har använt marginalproduktionsmixar på månadsbasis. Dock har det antagits att totalverkningsgrader och alfa-värden är lika stora varje månad i våra grundmodeller inspirerade av Göteborg och Stockholm. Se vidare respektive bilaga (Excel-fil) med dessa två modelleringar.

För allokeringmetoderna har följande beräkningsformler använts.

1. Alternativproduktionsmetoden

$$\beta_i = \frac{E_{h,i}}{E_{tot,i}} = \frac{\frac{Q_{h,tot}}{\eta_{Q,i}}}{\frac{Q_{h,tot}}{\eta_{Q,i}} + \frac{W_{chp,net}}{\eta_{W,i}}}$$

där

β_i = allokeringsfaktor för bränsle i , dvs. den andel av emissionerna som ska allokeras på värmen. Faktorn är individuell för varje bränsle som används i kraftvärmeverket.

$E_{h,i}$ = primärenergiåtgång som allokats till värmeproduktion från bränsle i .

$E_{tot,i}$ = total primärenergiåtgång bränsle i .

$Q_{h,tot}$ = är den genererade fjärrvärmen ut från kraftvärmeanläggningen.

$W_{chp,net}$ = är den brutto genererad el i kraftvärmeanläggningen i kombinerad drift minus den interna användningen av el vid kraftvärmeanläggningen.

$\eta_{Q,i}$ = alternativ värmeverkningsgrad vid förbränning av bränsle i (verkningsgrad vid värmeproduktion i separat anläggning).

$\eta_{W,i}$ = alternativ elverkningsgrad vid förbränning av bränsle i (verkningsgrad vid elproduktion i separat anläggning)

2. Energimetoden

$$\beta_i = \frac{E_{peh,i}}{E_{pe,i}} = \frac{Q_{h,tot}}{Q_{h,tot} + W_{chp,net}}$$

där

β_i = allokeringsfaktor för bränsle i , dvs. den andel av emissionerna eller primärenergien som ska allokeras på värmen.

$E_{peh,i}$ = primärenergi som allokats till värmegenerering från bränsle i

$E_{pe,i}$ = primärenergi för bränsle i

$Q_{h,tot}$ = är den genererade fjärrvärmen från kraftvärmeanläggningen, dvs totalt levererat till fjärrvärmenätet.

$W_{chp,net}$ = är den brutto genererad el i kraftvärmeanläggningen i kombinerad drift minus den interna användningen av el vid kraftvärmeanläggningen.

3. Kraftbonusmetoden

$$\beta_i = \frac{\sum_{i=1}^n E_i PEF_i - PEF_{el} * W_{chp,el}}{\sum_{i=1}^n E_i PEF_i}$$

där

β_i = den andel av emissionerna eller primärenergien som ska fördelas på värmen.

$\sum E_i * PEF_i$ = totala primärenergiåtgång för allt bränsle som används i fjärrvärmenätet såväl till kraftvärme som till separat värmeproduktion.

$W_{chp,el}$ = bruttogenererad el i kraftvärmeanläggningen i kombinerad drift minus den interna användningen av el vid kraftvärmeanläggningen.

PEF_{el} = primärenergifaktorn för el från elnätet.

Det skall återigen påpekas att det inte är lämpligt att välja fritt i valen med elens miljövärdering och allokeringsprincip. Använder man exempelvis kraftbonus-metoden som allokeringsprincip bör man använda marginal-el som miljövärdering då den i kraftbonus-metoden producerade elen antas ersätta marginal-el. För de båda andra allokeringsprinciperna är valmöjligheterna större.

6.2 LÖNSAMHETSBERÄKNING

Ekonomi ur fastighetsägarens perspektiv har analyserats utifrån två fall där nettonuvärdet för de båda fallen beräknats över 25 år. De två fallen utgörs av alternativet med säsongslagring som jämförs med ett alternativ med vanlig fjärrvärmeleverans. Alternativet med lägst total kostnad beräknat som nettonuvärde (NPV) är inom ramarna för den här analysen det som anses som mest fördelaktigt utan hänsyn tagen till hur kostnaderna fördelar sig mellan engångskostnader (investeringar) och löpande kostnader. Värdena som fortsättningsvis redovisas är skillnaden i NPV mellan alternativet med säsongslagring och alternativet med vanlig fjärrvärme. Positivt NPV betyder att säsongslagring har lägst kostnad och vice versa. Kalkylräntan som använts i beräkningarna för denna rapport är 7 %.

6.2.1 Nollalternativet

Nollalternativet, som i modellen också benämns "Utan lager", består av att värme- och tappvattenbehov för fastigheten tillhandahålls i form av en vanlig fjärrvärmeleverans. Vid beräkningar gjorda i denna rapport har nedanstående schablonpris för fjärrvärme använts, men dessa parametrar är ändringsbara i modellen för att ge möjlighet att spegla de lokala förutsättningarna.

Normalpriset för fjärrvärme som ansatts som utgångsparametrar i modellen och som bas för beräkningarna i denna rapport är:

- Fast pris: 50 000 kr/år
- Effektpolis: 750 kr/kW (kategorikal 2000)
- Energipolis: 550 kr/MWh (dec-feb), 450 kr/MWh (mar, apr, nov, dec), 250 kr/MWh (maj-sep)

6.2.2 Alternativet med säsongslager

Alternativet med fastighetsnära säsongslagring, som i modellen också benämns "Med lager", beräknas med utgångspunkt att fastighetsägaren bekostar och äger säsongslagret och köper fjärrvärme under årets varma månader för att ladda lagret. Försörjning av tappvarmvatten sker på samma sätt som i Nollalternativet med fjärrvärme året runt.

Energikostnader

Vid beräkning av energikostnader för kunden i lageralternativet så utgår vi från antagna produktionskostnader för de olika produktionsslagen med ett prispåslag som i utgångsläget och som bas för beräkningarna i denna rapport ansatts till 10%. Denna procentsats kan i modellen ändras i fliken ändringsbara parametrar.

Produktionskostnaderna för olika produktionsslag framgår av nedanstående modell. Produktionsslagen fram till och med "Spillvärmeindustri" med sina respektive produktionskostnader finns med som utgångsparametrar i modellen medan de fyra övriga enbart ingår som en del i beräkningar för rapportens syften.

Tabell 4. Marginalproduktionskostnader

Produktionsslag	Kostnad (kr/MWh fjv)	Anmärkning
HVC EO1	800	
HVC bioolja	400	
HVC pellets	300	
KVV avfall	50	
KVV grot	180	
Värmepump COP3	150	
Spillvärme industri	50	
KVV kol/bio	250	Enbart för rapporten
KVV RT-flis	150	Enbart för rapporten
HVC gas	300	Enbart för rapporten
KVV gas	200	Enbart för rapporten

Drift- och underhållskostnader

Drift och underhållskostnader för säsongslagret ingår i beräkningen och har där delats upp i två kostnadsposter: fast drift och underhåll samt rörlig drift och underhåll. Något motsägelsefullt, men med syfte att hålla modell och antaganden så enkla som möjligt definieras båda kostnadsposterna i specifik kostnad per inlagrad värmeenergi. Nyckeltalen som ingår modellen och sam använts i denna rapport är följande:

- Fast drift och underhåll: 15 kr/MWh
- Rörlig drift och underhåll: 25 kr/MWh

Investeringar

Investeringarna för alternativet med säsongslagring har delats upp i följande fem delar:

- Fjärrvärmeanslutning (Servisledning)
- Lager under mark
- Kringutrustningssystemet
- Sekundärssystem
- Värmecentral

Fjärrvärmeanslutningen har antagit vara i samma storleksordning i båda fallen (Nollalternativet respektive Säsongslagring) varför kostnaden satts till noll.

Lager under mark inkluderar kostnadsposter som etablering, schaktning, borrhål, och kollektorslangar. Inom ramarna för respektive typbyggnad beräknas investeringen i denna del utifrån nyckeltal kopplade till inlagrad värme i säsongslagret. Nyckeltal som använts i rapporten framgår i nedanstående tabell.

Lager ovan mark består huvudsakligen av cirkulationspumpar, ventiler och värmeväxlare. Liksom föregående kategori beräknas investeringen i denna del utifrån nyckeltal kopplade till inlagrad värme i säsongslagret.

Kostnaderna för värmecentralen utgörs av bl.a. merkostnader för värmeväxlare och pumpar på grund av de lägre systemtemperaturerna till sekundärssystemet. Nyckeltalen för denna kategori har byggnadens värmebehov som bas.

Sekundärsystemet utgörs av byggnadens interna värmesystem och merkostnaderna för t.ex. större radiatorer och värmebatteri till följd av de lägre systemtemperaturerna. Liksom värmecentralen har nyckeltalen för denna kategori byggnadens värmebehov som bas. För typbyggnaderna 2 och 3 ansåts denna merkostnad till noll eftersom dessa byggnader antas vara existerande byggnader där befintligt sekundärsystem bibehålls.

Generiska nyckeltal och totala investeringar baserade på en sammanvägd bedömning av Devcco och SP för respektive typbyggnad återfinns i nedanstående tabell.

Tabell 5. sammanställning av investeringar och nyckeltal

Investeringar	Specifika (kr/MWh)			Totala (tkr)		
	Typ 1	Typ2	Typ 3	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Lager ovan mark	500	500	500	1 278	2 251	2 953
Lager under mark	1 620	2 143	2 507	4 140	9 645	14 808
Sekundärsystem	3 600	0	0	5 246	0	0
Värmecentral	600	500	400	1 533	2 251	2 362
Totalt	-	-	-	12 196	14 146	20 124

6.2.3 Ekonomiskt resultat för fjärrvärmeleverantören

Det ekonomiska resultat som avses och beräknas nedan i rapporten och i modellen är i princip ett täckningsbidrag beräknat som ett procentuellt påslag på den antagna produktionskostnaden. Påslaget som använts är 10% och detta appliceras på alla de olika produktionsslagen som ingår i marginalproduktionsmixen. På samma sätt som med de flesta andra parametrar går denna procentsats att ändra i modellen.

Huruvida en vanlig fjärrvärmeleverans är mer eller mindre lönsam än en leverans av fjärrvärme för säsongslagring utvärderas inte inom ramarna för detta arbete. En stor del av poängen med fastighetsnära säsongslagring antas för leverantörens del vara möjligheten att utöka leveranserna av fjärrvärme under årets varma månader utan att därmed behöva investera i ytterligare anläggningar för produktion och distribution.

7 Analys

Den övergripande analysen bygger på de tre olika typbyggnaderna och på två olika marginalproduktionsmixar för fjärrvärme som i stora drag baserats på fjärrvärmesystemen i Stockholm och Göteborg. Sammantaget blir grunden för analysen alltså sex olika fall.

7.1 PRODUKTIONSMIX

Som beskrivits ovan så baseras modellen och beräkningarna från en marginalproduktionsmix, och i denna analysdel har två olika mixer ingått. Den ena baserar sig i princip på fjärrvärmerna i Göteborg och den andra på fjärrvärmerna i Stockholm. Båda är föremål för förändringar från år till år och även på längre sikt i takt med att produktionsanläggningar tillkommer och faller ifrån, olika system kopplas ihop och växer mm. Mixerna är alltså inte en exakt avbildning av verkligheten utan snarare verklighetsbaserade exempel som valts för att illustrera olika relevanta förutsättningar för fastighetsnära säsongslagring. De olika mixerna som använts i analysen framgår av nedanstående tabeller.

Tabell 6. Marginalproduktionsmix "Stockholm"

Stockholm	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
HVC EO1	10%	10%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	10%
HVC bioolja	90%	90%	20%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	20%	90%
HVC pellets	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
KVV avfall	0%	0%	0%	5%	0%	50%	50%	50%	0%	5%	0%	0%
KVV grot	0%	0%	0%	45%	45%	0%	0%	0%	45%	45%	0%	0%
Värmepump	0%	0%	50%	50%	30%	50%	50%	50%	30%	50%	50%	0%
Spillvärme	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
KVV kol/bio	0%	0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	25%	0%
KVV RT-flis	0%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%	25%	0%	0%	0%
Totalt	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabell 7. Marginalproduktionsmix "Göteborg"

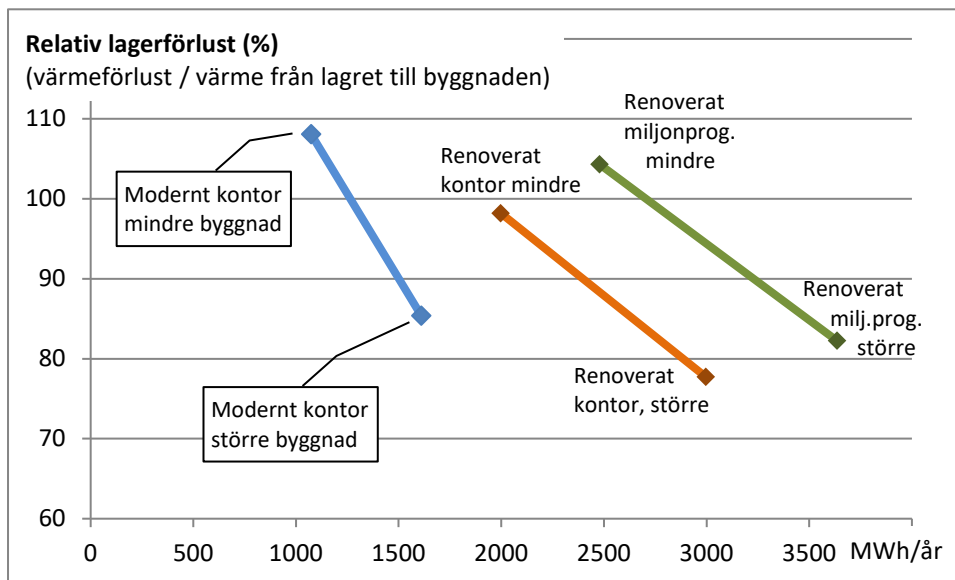
Göteborg	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
HVC EO1	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HVC bioolja	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HVC pellets	12%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
KVV avfall	0%	0%	0%	0%	50%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%
KVV grot	0%	0%	0%	40%	50%	0%	0%	0%	50%	40%	0%	0%
Värmepump	0%	0%	40%	60%	0%	0%	0%	0%	0%	60%	40%	0%
Spillvärme	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
HVC gas	12%	12%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	12%
KVV gas	76%	76%	60%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	60%	76%
Totalt	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

7.2 LAGERPRESTANDA

Lagrets energiprestanda påverkar investeringens storlek, energikostnader och miljöpåverkan. Nedan analyseras de parametrar som har störst påverkan på lagrets prestanda.

7.2.1 Lagrets storlek för respektive byggnadstyp

I figuren nedan visas lagerförlustens storlek i relation till den nyttig värme som tas ut från lagret. För samtliga typbyggnadskategorier är den relativa förlusten 20 % lägre för den större byggnaden i varje kategori, jämfört med den mindre. Den större byggnaden är 50 % större. Lagren har i samtliga fall ca 150 meter djupa borrhål, undantaget det mindre moderna kontoret som har 110 meter djupa hål.



Figur 6: Förlust jämfört med nyttig värme från lagret till byggnaden för respektive byggnadskategori.

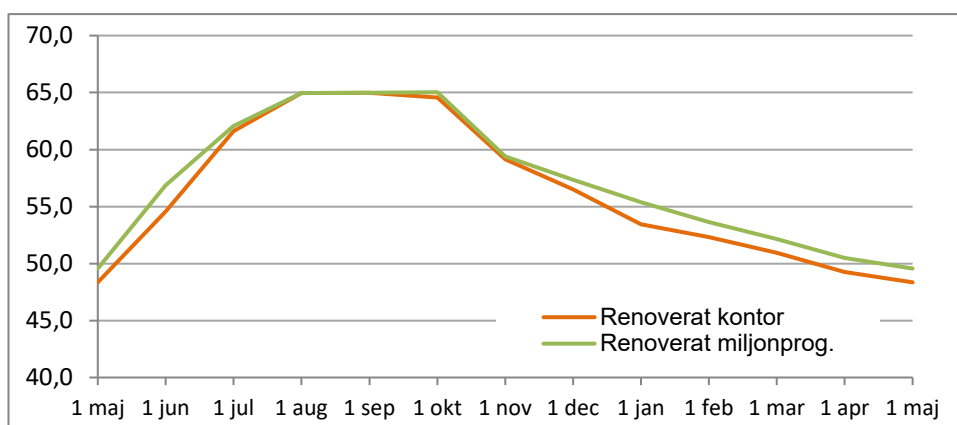
Observera att temperaturkrav skiljer sig åt mellan byggnadskategorierna, liksom vilka storlekar (värmebehov) som simulerat. Det moderna kontoret, den mindre byggnaden använder 1070 MWh värme från lagret och förlusten är 108% av den använda värmen från lagret. Det intressanta är att i samtliga fall innebär en 50 % större byggnad att lagrets relativa förlust minskar med 20 %. En tydlig slutsats är därför att större lager har stor inverkan på förlusten.

7.2.2 Byggnadernas effekt- och temperaturkrav

Byggnadernas värmesystems krav på temperatur har en betydande påverkan på förlusterna och lagrets storlek (antal hål). Det finns även en koppling mellan borrhålens temperatur och byggnadernas effektbehov, då ökat effektuttag leder till ökad temperaturförlust över borrhålet. En högre temperaturförlust behöver kompenseras med fler borrhål, eftersom hålen redan sitter så tätt det går att borra och lagret redan laddas till maxtemperatur. Ett större lager leder till högre investeringskostnad och större värmeförluster än ett mindre. Effekt och temperaturkrav blir därmed drivande både för investeringskostnad och för förluster.

Lagrens energitäckning har inte optimerats ekonomiskt mot olika fjärrvärmemarginal-kostnadsmixar. För det moderna kontoret täcker lagret 100 % av komfortvärmerna, för det renoverade kontoret ca 90 % och för miljonprogrammet knappt 75 %.

I figuren nedan visas simulerad lagertemperatur för renoverat kontor respektive miljonprogram, i bägge fallen för den mindre byggnaden av respektive typ. Kontorets lager har 6 % lägre relativ förlust (det vill säga förlust jämfört med nyttig värme upp ur lagret), trots att kontorets lager har 15 % färre borrhål och därmed borde ha högre relativ randförlust. Kontoret använder totalt 2000 MWh från lager, medan miljonprogrammet 2500 MWh.



Figur 7: Lagertemperatur (fluidens medeltemperatur) för renoverat kontor respektive miljonprogram, i bägge fallen den mindre byggnaden.

Slutsatsen är att känsligheten för olika byggnaders värmebehov och temperaturkrav är hög och påverkar både antalet borrhål (investeringskostnad) och förluster (årlig laddkostnad). Se vidare i nedanstående analys av ekonomin.

7.2.3 Extra markisolering

Extra markisolering skulle minska värmeförlust och därmed även temperaturförlust.

Trettio centimeter markisolering av typen lättklinkerkulor (typ Leca) eller motsvarande så som skumglasbitar har beräknats minska värmeförlusten för renoverat kontor och miljonprogram med ca 70-75 kWh/m², år från storleksordning 425-475 kWh/m² lagermarkyta till ca 350-400 kWh/m². En minskning av förlust med ca 15 %. Ovan har beräknats antaget 55°C lagertemperatur, 5°C utetemperatur och att det är ca 5 meter mark till grundvatten. Isoleringen antas ha en värmeledning (ofta kallat lambda-värde) på 0,0125 W/mK.

Effekten av extra markisolering har beräknats utanför EED-simuleringen och därefter lagts till simuleringen som ett minskat värmeuttag till byggnad. Resultatet blir inte helt rättvisande och skall ses som indikativt.

Resultatet i EED för det mindre miljonprogrammet blir att antalet borrhål kan minskas från 342 till 306 stycken, en minskning med drygt 10 %. Samtidigt minskar total mängd fjärrvärme med ca 370 MWh/år, d.v.s. med ca 5 %.

7.3 ENERGI OCH MILJÖ

Analysen har gjorts av alla tre typbyggnader med de olika kombinationer av elmixar och allokeringsfaktorer som byggts upp i modellen och simuleringar har gjorts med de i tidigare avsnitt presenterade fjärrvärmeproduktionerna inspirerade av Stockholm och Göteborg.

I nedanstående tabeller sammanfattas resultatet av beräkningarna för de tre typbyggnaderna och de två olika fjärrvärmeproduktionsmixarna. Positiva siffror innebär en ökning när man har ett lager jämfört med utan lager. Negativa siffror innebär en minskning med lager. I tabellen redovisas ytterligheterna av modellerade kombinationer.

Tabell 8: Jämförelse mellan typbyggnad och två fjärrvärmemixar inspirerade av "Stockholm" respektive "Göteborg". Notera att positivt värde innebär en ökning med lager jämfört utan lager.

Resultat		Typbyggnad 1 Modernt kontor (1800 MWh)		Typbyggnad 2 Renov. kontor (3100 MWh)		Typbyggnad 3 Renov. miljonp. (5200 MWh)	
		STO	GBG	STO	GBG	STO	GBG
Diff klimat-påverkan (ton CO ₂)	Energimetoden och Nordisk medelelmix	86	46	148	86	181	125
	Kraftbonus-metoden och marginal-el	-70	-569	-110	-988	-171	-1267
Diff primärenergi-användning (MWh _{pe})	Energimetoden och Nordisk medelelmix	321	161	560	324	927	971
	Kraftbonus-metoden och marginal-el	-1179	-2767	-1939	-4613	-2637	-6072
Diff energi-användning (MWh _{fjärrvärme})		1283	1283	2137	2137	2783	2783

Det första som konstateras är hur stor påverkan den aktuella produktionsmixen har på resultatet. Skillnaden i resultatet mellan städerna förklaras av att i Stockholm används en stor del värmepumpar under den varmare delen av året medan man under de kallaste månaderna till stor del använder bioolja med endast en mindre spets med fossil olja. I modellen innebär det laddning av lagret med både höga utsläpp och stor primärenergifaktor medan det i urladdningsfasen ersätter energi med förhållandevis låga utsläpp och primärenergifaktorer.

I fallet med Göteborg ser det i princip tvärtom ut. Sommartid, när lagret laddas, sker det med energi från avfall och grot i kraftvärmeverk som har både låga CO₂-värden och primärenergifaktorer medan man vintertid ersätter fjärrvärmeproduktion baserat på i första hand naturgas från såväl kraftvärme som HVC som har höga CO₂-värden och primärenergifaktorer.

Detta ligger helt i linje med ansatserna, d.v.s. att en lagerlösning ger miljömässigt bäst resultat när man kan ladda med "ren" energi och ersätta "smutsig" energi vid urladdning. Noterbart är att det i samtliga simuleringar med Nordisk medelelmix och energimetoden ger en ökning av såväl GWP som primärenergianvändning med lager jämfört med utan. I samtliga fall med marginalmix och kraftbonusmetoden ger

modelleringarna en förbättring av såväl GWP-värden som primärenergianvändning med lager jämfört med utan lager.

Då man kan anta att värmepumparna sommartid huvudsakligen används för kylproduktion i Stockholm har en modellering gjorts med antagandet att värmepumparna har ett COP på 6 istället för COP 3, perioden maj till september vilket är närmare verkligheten.

Resultatet av denna körning ser ut som i tabellen nedan:

Tabell 9: Jämförelse mellan typbyggnad och fjärrvärmemix inspirerad av "Stockholm" med två olika antaganden om värmepumparnas verkningsgrad sommartid, vinterproduktion. Notera att positivt värde innebär en ökning med lager jämfört utan lager.

Resultat		Typbyggnad 1 (1800 MWh)		Typbyggnad 2 (3100 MWh)		Typbyggnad 3 (5200 MWh)	
		STO COP3	STO COP6	STO COP3	STO COP6	STO COP3	STO COP6
Diff klimat- påverkan (ton CO ₂)	Energimetoden och Nordisk medelelmix	86	61	148	103	181	125
	Kraftbonus-metoden och marginal-el	-70	-245	-110	-415	-171	-551
Diff primärenergi- användning (MWh _{pe})	Energimetoden och Nordisk medelelmix	321	138	560	250	927	526
	Kraftbonus-metoden och marginal-el	-1179	-1464	-1939	-2421	-2637	-3292
Diff energi-användning (MWh _{fjärrvärme})		1283	1283	2137	2137	2783	2783

Även i detta fall ökar klimatpåverkan och primärenergianvändning om Energimetoden och Nordisk medelelmix används med lager jämfört nollalternativet utan lager. Ökningen är däremot väsentligt mindre och Stockholm blir snarlikt Göteborg.

7.4 EKONOMI

Ekonomi ur fastighetsägarens perspektiv har analyserats utifrån två fall där nettonuvärdet för de båda fallen beräknats över 25 år. De två fallen utgörs av alternativet med säsongslagring som jämförs mot ett alternativ med vanlig fjärrvärmeleverans. Alternativet med lägst total kostnad beräknat som nettonuvärde (NPV) är inom ramarna för den här analysen det som anses som mest fördelaktigt utan hänsyn tagen till hur kostnaderna fördelar sig mellan engångskostnader (investeringar) och löpande kostnader. Värdena som fortsättningsvis redovisas är skillnaden i NPV mellan alternativet med säsongslagring och alternativet med vanlig fjärrvärme. Positivt NPV betyder att vanlig fjärrvärme har lägst kostnad och vice versa.

Av de sex analysfallen, det vill säga typbyggnaderna 1 till 3 med Göteborgsmix respektive Stockholmsmix så blir resultatet sammanfattningsvis att vanlig fjärrvärme som beräknat är något fördelaktigare än säsongslagring i alla fall utom för typbyggnad 2 med "Göteborgsmix". Uttryckt i siffror är samtliga fall utom typbyggnad 2 med Göteborgsmix inom intervallet minus 2 till minus 7 miljoner kronor (differens i NPV). För typbyggnad 2 med Göteborgsmix blir resultatet i stället plus 0,6 miljoner kronor.

Med en förändrad marginalproduktionsmix där till exempel avfallseldad kraftvärme till en marginalkostnad av 50 kr/MWh används för att ladda lagret så blir NPV noll eller bättre för typbyggnaderna 2 och 3 medan resultatet för typbyggnad 1 blir minus 2,8 Mkr.

För att säsongslagring ska ge ett positivt resultat även för typbyggnad 1 krävs till exempel att investeringarna minskas med 25 % i fallet där lagret laddas med avfallseldad KVV-värme enligt ovanstående.

Den huvudsakliga anledningen till att lönsamhet är svårare att uppnå för typbyggnad 1 än för övriga typbyggnader är att typbyggnad 1 är nybyggnation där kalkylmodellen inkluderar merkostnader för att bygga sekundärsystemet för låga temperaturer, medan övriga typbyggnader är befintliga byggnader där sekundärsystemen redan är anpassade för relativt låga temperaturer.

Ett förväntat resultat, som i princip uteblir i just den här analysen, är att lagerförlusterna skulle vara betydligt lägre för de större typbyggnaderna än för den mindre typbyggnad 1. Anledningen till att förlusterna är i samma storleksordning för samtliga typbyggnader har också att göra med att typbyggnaderna 2 och 3 har befintliga sekundärsystem som arbetar på en något högre temperaturnivå jämfört med den nybyggda typbyggnad 1. Denna temperaturskillnad där lagret behöver leverera en högre temperatur till byggnadernas sekundärsystem gör att säsongslagring blir mindre effektiv vilket gör att den förväntade skalfördelen uteblir. Generellt gäller dock att stora lager är effektivare än små.

För fjärrvärmeleverantören har den ekonomiska nyttan i fallet med säsongslagring modellerats som en marginal med 10 % på produktionskostnaden, vilket ger ett positivt nettonuvärde i alla fall. Hur detta värde förhåller sig till värdet av en normal fjärrvärmeleverans har inte beräknats då vi inte funnit det möjligt att hitta en generell relevant beräkningsmetod.

7.4.1 Sammanfattning ekonomiska resultat

I nedanstående tabeller sammanfattas resultatet av beräkningarna för de tre typbyggnaderna och de två olika marginalproduktionsmixerna.

Tabell 10. Resultat ekonomi

Resultat	Typbyggnad 1		Typbyggnad 2		Typbyggnad 3	
	Stockholm	Göteborg	Stockholm	Göteborg	Stockholm	Göteborg
Nollalternativ	15,1	15,1	26,4	26,4	45,1	45,1
Säsongslager	20,6	18,7	29,5	25,9	52,2	47,2
Skillnad	5,5	3,6	3,1	0,5	7,1	2,1

7.4.2 Känslighetsanalys och alternativa scenarion

Utöver de ovan redovisade basfallen har även ett antal känslighetsanalyser och alternativa scenarion beräknats, vilka redovisas nedan.

Tabell 11. Känslighet ekonomi

NPV diff (Mkr)	Stockholm			Göteborg		
	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 1	Typ 2	Typ 3
Basfall	5,5	3,1	7,1	3,6	-0,5	2,1
Kalkylränta 6%	4,8	1,6	5,3	2,7	-2,3	-0,1
Fjv-pris +20%	4,2	0,6	3,9	2,3	-3,0	-1,0
Fjv-pris -20%	6,9	5,5	10,2	5,0	1,9	5,2
Marg. prod. kostn. - 20%	4,6	1,2	4,5	3,0	-1,7	0,5
Investeringar +20%	7,7	5,8	10,9	5,9	2,2	5,8
Investeringar -20%	3,3	0,4	3,3	1,3	-3,2	-1,7
Marg. prod. kostn. 50 kr/MWh	2,7	-2,4	-0,5	2,7	-2,4	-0,5

Hur lönsamt det kan vara med säsongslagring för en fastighetsägare beror förstås till stor del på vad man jämför med, och i det här fallet är det nollalternativet en vanlig fjärrvärmeleverans. En högre kostnadsnivå för en vanlig fjärrvärmeleverans gör säsongslagring lönsammare och vice versa. Detta illustreras i känslighetsanalysen där det sammanvägda fjärrvärmepriset varierats +/- 20 %.

Produktionskostnaden för den värme som laddas in i lagret är också en central parameter. I känslighetsanalysen har ett fall med 20 % lägre produktionskostnad än i basfallet beräknats för att om möjligt illustrera vilken nivå som krävs för att säsongslagring ska bli ett ekonomiskt fördelaktigt alternativ.

Investeringarna för alternativet med säsongslagring utgör en betydande del av de totala kostnaderna och de kan antas variera relativt mycket beroende bl.a. på lokala geologiska förutsättningar. Även för denna variabel har känslighetsanalysen gjorts baserat på 20 % lägre kostnad med avsikten att illustrera hur stor kostnadsbesparing som behövs för att uppnå lönsamhet.

Utöver ovanstående känslighetsanalyser har en rad alternativa scenarion beräknats för att hitta fall där säsongslagring kan vara konkurrenskraftig. Två sådana scenarion är 1) generellt sänkt produktionskostnad för värme som laddar lagret och 2) en variant för typbyggnad 1 där en sådan sänkt produktionskostnad kombineras med en lägre investeringsnivå. Resultatet av den lägre produktionskostnaden återges i ovanstående tabell.

För typbyggnad 1 ger det andra scenariot NPV 0, dvs ett "oavgjort" ekonomiskt resultat då investeringsnivån är 25 % lägre än i basfallet (både med Stockholmsmix och med Göteborgsmix eftersom kostnaderna blir de samma).

8 Affärskoncept

Vid utvecklande av ett affärskoncept är vår bedömning att det måste finnas en nära samverkan mellan leverantör och brukare för hur byggnaders värmebehov och energisystem ska anpassa sig till varandra samt att samarbetet resulterar i en långsiktig ekonomisk och miljömässig nytta för båda parter.

Utgångspunkten i den här studien, analysen och modellen är att fastighetsägaren äger, driver och underhåller säsongslagret medan fjärrvärmeleverantören levererar värme till lagret under den varma delen av året på villkor som är specialanpassade för ändamålet. Denna modell kräver ett avsteg från gängse rådande affärskoncept där leverantören normalt försörjer brukaren med värme året runt enligt en standardprislista.

Ett alternativt affärskoncept skulle kunna vara att det istället är fjärrvärmeleverantören som äger, driver och underhåller säsongslagret och sedan levererar lågtempererad värme till fastigheten under delar av året då det finns ett värmebehov.

Nedan beskrivs ett antal frågeställningar att beakta vid fortsatt utveckling av ett affärskoncept:

I det fall fastighetsägaren äger säsongslagret krävs förmodligen en betydande storlek på det egna aktuella beståndet, och därmed lagret, för att installationen skall vara ekonomisk motiverbar. Detta i kombination med att vid ett sådant affärskoncept krävs ett avtal mellan leverantör och brukare som omfattar en längre avtalsperiod med möjlighet till förlängning. Detta för att investeringen i säsongslagret skall vara ekonomiskt motiverbar.

Skulle det vara möjligt att få till storskaliga lager där flera olika fastigheter försörjs av ett gemensamt säsongslager, i synnerhet om det är fråga om flera olika fastighetsägare? Detta skulle troligen underlättas av att fjärrvärmeleverantören äger lagret med samma leveransgräns mot kund som i fallet med vanlig fjärrvärme och med samma affärslogik och mervärden. Ett sådant affärskoncept skulle eventuellt kunna möjliggöra kortare avtalsperioder liknande de som är standard i branschen idag. Vidare skulle det möjliggöra för fjärrvärmeleverantören att optimera laddning av lagret utifrån faktiskt gällande marginalbränsle och produktionskostnad vid varje tidpunkt då lagret ingår som en komponent i hela produktionssystemet.

Kan ägande av installationer i annan parts fastighet medföra problem främst avseende äganderätt i olika situationer som kan uppstå vid exempelvis ägarbyte, ekonomiskt obestånd etc.? Äganderätt till utrustning placerad i eller bredvid fastighet s.k. tillbehör till fastighet regleras enligt Jordabalk (1970:994) och är en tämligen komplicerad lagstiftning. Detta i sin tur talar för en renodling av ägandet och en affärsmodell enligt utgångspunkten i studien.

9 Potentialanalys

Potentialanalysen har genomförts för att undersöka var, och i vilken omfattning, det kan finnas förutsättningar för fastighetsnära säsongslagring i svenska fjärrvärmesystem. Initialt identifierades sex olika faktorer som bedömdes vara intressanta.

De sex faktorerna var:

- Tillgång till spillvärme och värme baserad på avfallsförbränning
- Berggrund – Värmeförluster
- Nybyggnation
- Spridning i bränslemix (dvs vilket spann som finns mellan bas- och spetsproduktion)
- Soltimmar (då solvärme skulle kunna lämpa sig för säsongslagring)
- Potentiella tillkommande spillvärmekällor i fjärrvärmesystem

Efter inledande källstudier och baserat på övriga analyser i studien har vi valt att fokusera främst på de två första faktorerna, det vill säga tillgång till spillvärme och värme från avfallsförbränning samt var i landet den studerade tekniken med borrhålslager är mest lämpad.

9.1 TILLGÅNG TILL SPILLVÄRME OCH VÄRME FRÅN FÖRBRÄNNING AV AVFALL

Av övriga analyser i denna studie framgår att tillgång på värme till låg kostnad under sommarmånaderna är avgörande för att nå rimlig lönsamhet med fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme. Produktionskostnader och möjligheter att skapa framgångsrika prismodeller varierar från ort till ort men vi har utgått från att värme från avfallsförbränning eller industriell spillvärme är de produktionsslag som har störst möjlighet att skapa tillräckligt goda förutsättningar.

Av Energimarknadsinspektionens sammanställningar (Energimarknadsinspektionen, 2016) framgår i vilka städer där volymerna industriell spillvärme och avfall är stora. För avfall så har vi tittat på kategorierna avfall för kraftvärmeverk (KVV) och avfall i hetvattenpanna (HVC).

Även kategorin "köpt hetvatten" har beaktats, vilket i t.ex. Luleås fall är värme från en mix av restgaser (blandgaser från masugns gas, stålverksgas och koksgas) från SSAB (Nohlgren, Liljeblad, & Jansson, 2015).

De städer som hade stora volymer industriell spillvärme, avfall från KVV, avfall från HVC och köpt hetvatten var Göteborg, Stockholm, Malmö, Luleå, Uppsala, Norrköping, Linköping, Piteå, Vänersborg, Sundsvall, Karlshamn, Borlänge, Varberg, Köping, Helsingborg, Jönköping, Umeå-Holmsund, Lidköping, Avesta, Karlstad, Bollnäs, Södertörn, Luleå, Sollentuna, Falun, Uddevalla, Västervik och E.ON Värme Sverige AB (Hallsberg, Kumla, Örebro) (Eon Sverige, 2015).

En sammanställning för orterna med störst volym av de relevanta produktionsslagen följer av nedanstående tabell.

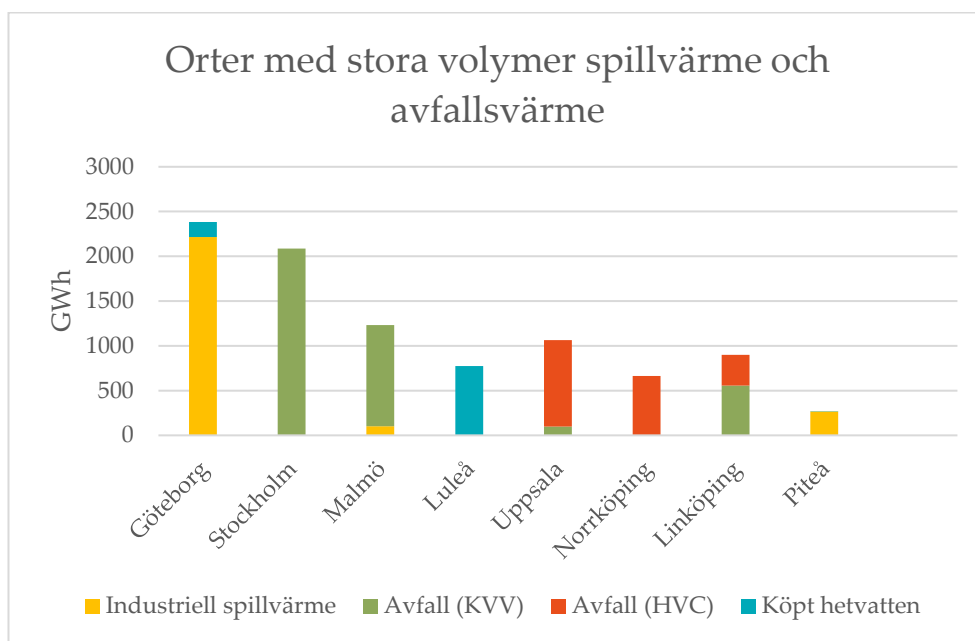
Tabell 12. Orter med störst energivolym från spillvärme och avfallsförbränning.

Energi (GWh) 2014	Göteborg	Stockholm*	Malmö	Luleå	Uppsala	Norrköping	Linköping	Piteå
Industriell spillvärme	2217	2	103	0	0	0	0	267
Avfall (KVV)	0*	2086	1130	0	99	0	555	0
Avfall (HVC)	0	0	0	0	965	664	343	0
Köpt hetvatten	168	0	0	775	0	0	0	2
Totalt	2385	2088	1233	775	1064	664	908	269

* I Göteborg produceras värme från avfall av ett separat bolag vilket inte framgår av

Energimarknadsinspektionens redovisning.

** Stockholm avser AB Fortum Värme och år 2013. Köpt hetvatten rapporteras även för Stockholm men vi har undantagit dessa volymer det är oklart vilka produktionsslag som ingår.



Figur 8: Diagram baserat på ovanstående tabell.

9.2 BERGGRUND

Värme kan lagras på flera sätt men i den här studien har vi fokuserat på lagring i borrhålslager vilket bland annat kräver berggrund med god värmeledningsförmåga. Sådan berggrund finns inte i hela Sverige vilket utgör en begränsning för säsongslagring av fjärrvärme med den här studerade tekniken. Dessutom finns ett antal andra faktorer som ytterligare kan begränsa vilka platser som kan vara lämpliga. Mer om detta nedan.

9.2.1 Termiska egenskaper

Olika bergarter har olika termiska egenskaper som till exempel värmekapacitet och lagringskapacitet. Gnejs och granit kan hittas i stora delar av Sveriges berggrund och är

två bergarter som leder värme bra. Kalksten däremot är en bergart som inte leder värme särskilt väl och bland annat därför lämpar sig mindre bra för borrhålslager (Bergvärme, 2016).

Kalksten och andra sedimentära bergarter som lämpar sig mindre väl för borrhålslager täcker stora delar av Skåne, Öland och Gotland, Östgöta- och Närkeslätten, Västgötabergen, samt trakten kring Siljan i Dalarna och längs fjällranden (Länsstyrelsen Västernorrland).

Detaljerad information om finns att hämta bland annat från SGU:s mineralinformationskontor i Malå. SGU:s samling av borrhålslager består av mer än 3 miljoner meter borrhålslager från mer än 18 000 borrhål från hela Sverige (SGU, 2016).

9.2.2 Tätbebyggda områden

I mycket tätbebyggda delar av landet kan befintliga borrhål för värmebrunnar utgöra en begränsning för anläggande av borrhålslager. I till exempel Stockholm där det finns ett avståndskrav på 20 m mellan olika energibrunnar skulle det i vissa stadsdelar endast finnas begränsade möjligheter att anlägga nya borrhålslager.

9.2.3 Vattenskydd

Det kan förekomma begränsningar i möjligheter att anlägga borrhålslager i anslutning till vattenskyddsområden eftersom borrhål med dålig tätning mot nedträngning av ytvatten potentiellt kan ha negativ påverkan på dricksvatten (Naturvårdsverket), (SGU). I kustnära områden kan man få problem med saltvatteninträngning i dricksvattentäkter om borrhålsutgrävningen utförs på fel sätt (Miljösamverkan Västra Götaland, 2003).

9.3 ÖVRIGA FAKTORER

När det gäller resten av de inledningsvis sex faktorerna så har vi funnit dem vara av underordnad betydelse för studiens syfte. Nybyggnation är i någon mån aktuell i samtliga orter med större fjärrvärmesystem och dessutom kan delar av befintlig bebyggelse också vara aktuell för säsongslagring av fjärrvärme. Solvärme kan ännu inte konkurrera kostnadsmässigt med annan basproduktion. Spridning i bränslemix är också av underordnad betydelse jämfört med tillgången till basproduktion i form av värme från avfallsförbränning och industriell spillvärme.

Möjligheten att framöver kunna utnyttja spillvärme i någon form från källor som ännu inte är anslutna till fjärrvärmesystem är förstås intressant, men en sådan utveckling drivs sannolikt av andra faktorer än möjligheten till fastighetsnära säsongslagring. Orter med en sådan potential finns bland annat beskrivna i rapporten "Regionala samarbeten" (Nohlgren, Liljeblad, & Jansson, 2015) som bland annat pekar ut Vänersborg-Trollhättan, Gävle Sandviken, Boden -Luleå och Kristianstad – Hässleholm som möjliga kluster för ökat utnyttjande av spillvärme.

10 Slutsatser

Resultaten är starkt beroende av lokala förutsättningar, främst fjärrvärmesystemens marginalproduktionsmix men även klimat (värmebehov), och berggrundens beskaffenhet. Därutöver spelar även byggnadernas systemtemperaturer och storlek stor roll.

Miljömässigt finns under vissa förutsättningar goda möjligheter att åstadkomma positiva resultat med fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme. Val av betraktelsesätt av var utsläpp uppkommer och hur de allokeras har stor påverkan på om lager är bra eller dåligt för miljön.

I ett fall där man likt det analyserade fallet baserat på "göteborgsproduktionsmix" i stor utsträckning kan ladda lagret med värme från avfallsförbränning samtidigt som man under vintern undviker en andel fossila bränslen, uppnås fördelar både avseende primäre energi och utsläpp av växthusgaser om man använder kraftbonusmetoden och marginal-el med fossilt ursprung. Antar man däremot att el är nordisk medelelmix och fördelar utsläppen med energimetoden uppstår inga miljövinster.

I ett mer stockholmsliknande fall där lagret under sommaren laddas med en betydande andel värme från värmepumpar uppvisar inte säsongslagring lika stora fördelar som i Göteborg, men även här är resultatet främst avhängigt värderingsmetod. Om man använder kraftbonusmetoden och marginal-el ger säsongslagring miljönytta. Om värmepumparna sommartid till viss del antas producera fjärrkyla, så blir resultaten för Stockholm snarlika de för Göteborg.

Generellt sett är det svårt att nå klimatnytta om energimetoden och nordisk medelelmix ansätts så länge avfallsförbränning i kraftvärmeverk används för att ladda lagret.

Ur ett ekonomiskt perspektiv kan fastighetsnära säsongslagring som beräknat konkurrera med konventionell fjärrvärme under förutsättning att man kan åstadkomma en marginalproduktionskostnad i storleksordning 50 kr/MWh i fallet med befintliga och energirenoverade byggnader (typbyggnader 2 och 3).

Av de analyserade typbyggnaderna är det svårast att nå lönsamhet med säsongslagring för typbyggnad 1. En större byggnad av samma typ, eller flera sådana byggnader med gemensamt lager, skulle förbättra möjligheterna att uppnå lönsamhet genom skalfördelar i investering och lagerförluster.

Ett demonstrationsprojekt av tillräcklig storlek för att vara relevant skulle bidra till att öka kunskapen om kostnader, effektivitet, laddningstider och annan praktisk drifterfarenhet av fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme.

Ytterligare praktiska eller teoretiska arbeten skulle kunna inkludera metoder och tekniska utformningar för att optimera system och drift. En sådan variant skulle kunna vara att analysera effekten av ökad markisolering eller att lagret placeras under en inglasad innergård, garagelängor, eller motsvarande som minskar värmeförluster, vilket skulle kunna reducera antalet borrhål.

11 Referenser

- B. Nordell, A. L. (2015). *Long-term Long Term Evaluation of Operation and Design of the Emmaboda BTES Operation and Experiences 2010-2015*. Luleå: Luleå University of Technology.
- Bergvärme. (2016). Hämtat från <http://www.bergvarme-pris.se/>
- Energimarknadsinspektionen. (2016). Hämtat från <http://www.energimarknadsinspektionen.se/sv/Fjarrvarme/inrapporterad-data/>
- Eon Sverige. (2015). Hämtat från <http://ei.se/sv/start-fjarrvarmekollen/foretag/EON-Varme-Sverige-AB/?Rapport=2015-101963.pdf>
- Fredriksen, S., & Werner, S. (1993). *Fjärrvärme- Teori, teknik och funktion*. Studentlitteratur.
- Gustafsson, A.-M. (2010). *Thermal Response Tests Influence of convective flow in groundwater filled borehole heat exchangers*. Luleå.
- J Gode, A. L. (2015). *Miljövärdering av energilösningar i byggnader -Metod för konsekvensanalys*. Stockholm: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- J. Gode, F. M. (2011). *Miljöfaktaboken 2011 Uppskattade emissionsfaktorer för bränslen, el, värme och transporter*. Stockholm: VÄRMEFORSK Service AB.
- Kjellsson, E., & Hellström, G. (1997). Laboratory Study of the Heat Transfer in a Water-Filled Borehole with a Single U-pipe. *Proc. of 7th Int. Conf. on Thermal Energy Storage*, (ss. 509-514). Sapporo.
- Larméus, A. (2014). *Styrning av värmesystem i kontorsbyggnader: Jämförelse mellan prognosstyrning, styrning som utnyttjar byggnadens värmetröghet, samt traditionell styrning*. KTH.
- Levin, P. (2011). *Rekorderlig Renovering - Objektrapport för Orrholmen - KBAB*. Danderyd: Bebostad. Hämtat från Bebostad: www.bebostad.se
- Länsstyrelsen Västernorrland. (u.d.). *Berggrundens uppbyggnad*. Hämtat från <http://www.lansstyrelsen.se/vasternorrland/Sv/djur-och-natur/friluftsliv/geologivagen/faktablad/faktablad-berggrundens-uppbyggnad.pdf>
- Lätt, A. (2015). *Tidsupplösning vid miljövärdering av fjärrvärme: Kontorsbyggnad med solvärmeproduktion - en fallstudie*. Uppsala universitet.
- Miljösamverkan Västra Götaland. (2003). *Värmepumpar - En kunskapssammanställning om värmepumpar*.
- Naturvårdsverket. (u.d.). *Naturvårdsverket*. Hämtat från Naturvårdsverket.se: <http://www.naturvardsverket.se/Documents/publikationer6400/978-91-620-0170-4.pdf?pid=2597>
- Nohlgren, I., Liljeblad, A., & Jansson, M. (2015). *Regionala fjärrvärmesamarbeten*. Energiforsk AB.
- Sernhed, K. (2013). *Flytande Biobränslen. Värmeforskdagarna*.
- SGU. (u.d.). Hämtat från <http://resource.sgu.se/produkter/sgurapp/s0924-rapport.pdf>
- SGU. (2016). Hämtat från <http://www.sgu.se/mineralnaring/mineralinformation/borrkarnor/>
- Spitler, J., Javid, S., & Ramstad, R. (2015). Natural convection in groundwater-filled boreholes used as ground heat exchangers. *Applied Energy*.
- Sundberg, J., Thunholm, B., & Johnson, J. (1985). *R97:1985 Värmeöverförande egenskaper i svensk berggrund*. Stockholm: Byggeforskningsrådet.
- Sveby. (den 14 06 2016). *Branschstandard för energi i byggnader*. Hämtat från Sveby: www.sveby.org

12 Bilagor

12.1 EED – EARTH ENERGY DESIGNER

12.1.1 Indata, utdata och antaganden i EED

Följande detaljerade data har antagits om berggrund och kollektorer

Ground thermal conductivity 3,3 W/(m,K)

Antaget värde är baserat på en avvägning av egenskaper för granit, gnejs och andra i Sverige vanliga kristallina bergarter, med avdrag för att konduktiviteten minskar med ökande temperatur. Cirka två tredjedelar av den svenska berggrunden består av granit och gnejs. (Sundberg, Thunholm, & Johnson, 1985). Notera att bl.a. Skåne, Gotland och Öland har annan berggrund. EED rekommenderar 3,4 respektive 2,9 för granit och gnejs, men en undersökning (Sundberg, Thunholm, & Johnson, 1985) baserat på ett stort antal prover visar att medelvärdet i Sverige är ungefär lika för dessa två bergmaterial och att majoriteten av samtliga prover har ett värde på 3,5 W/(m, K). Ur studien framgår även att värmekonduktiviteten minskar med ökande temperatur. Därav har 3,3 W/(m, K) valts i denna studie.

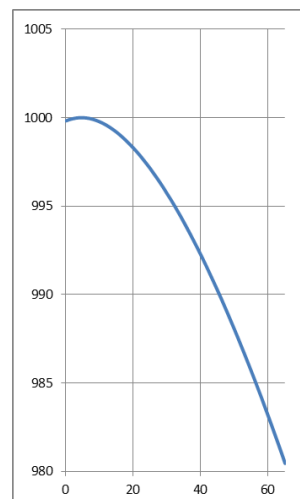
I verkligheten påverkar även eventuella vattenfyllda sprickor med mera verklig värmeledning. Vid uppvärmning tenderar berget dock att svälla och vattenförande sprickor att krympa, samtidigt ökar den termiska drivkraften med temperaturskillnaden för ett varmt lager. Sprickfyllda berg tycks ha en konvektiv värmeledning som inte kan bortses från. Flerstegsresponstest har föreslagits för att kunna beräkna denna påverkan på ett borrhåls värmemotstånd (Spitler, Javid, & Ramstad, 2015).

Filling thermal conductivity 2,0 W/(m K).

EED rekommenderar 0,60 W/mK för vattenfyllda borrhål, men EED inkluderar enbart värmeledning i stillastående vatten och tar inte hänsyn till konvektion i borrhålet. Vattnets densitet är som högst vid 4°C och vid vanliga borrhållstillämpningar blir påverkan från konvektion måttlig, vilket även har visats av bl.a. (Kjellsson & Hellström, 1997). Figuren nedan visar vattnets densitet (kg/m³) i intervallet 0°C till 65°C. Notera att drivkraften är högre för ett varmt borrhål, även om temperaturskillnaden mellan kollektorslang och borrhålsvägg är den samma som för ett kallare hål.

Gustafsson (Gustafsson, 2010) har disputerat på naturlig konvektion i borrhål. Tidigare har bl.a. (Kjellsson & Hellström, 1997) undersökt förloppet och senare har (Spitler, Javid, & Ramstad, 2015) arbetat vidare med att ta fram en matematisk modell. Någon uppmätt eller beräknad värmeledning för dimensionerande driftfall motsvarande de driftfall som förekommer i denna studie har däremot inte hittats.

Ur framförallt Gustafssons avhandling (Gustafsson, 2010) framgår att borrhålsmotståndet minskar avsevärt vid ökande temperatur, men även att det minskar med ökad tillförd effekt. I Paper II i Gustafssons avhandling görs



fältmätningar i ett borrhål (75 m) med ett enkelt U-rör DN40 PN6 som jämförs mot tidigare försök i lab av (Kjellsson & Hellström, 1997). Här påvisas ett totalt borrhålsmotstånd på ca 0,05 (m K)/W vid knappt 40°C och ca 0,65 (m K)/W vid ca 23°C. Flera datamodeller antyder dock att 0,05 är lågt (värdet har mätts i en 3 meters labbrigg). I EED kräver ett motsvarande borrhål (110 mm, enkelt U-rör DN40PN6 och 40W/m) en konduktivitet mellan kollektor och borrhålsvägg på ca 2,0 W/(m K) för att få ett totalt borrhålsmotstånd på 0,065 (m K)/W. Detta värde har använts i samtliga körningar, även vid inlagring av värme.

Ground heat capacity 2,3 MJ/(m³·K)

EED rekommenderar 2,1 för gnejs och 2,4 för granit. Även här finns en betydande spridning. Värmekapaciteten ökar med stigande temperatur för många bergarter (Sundberg, Thunholm, & Johnson, 1985). Siffran 2,3 har valts som ett medelvärde.

Ground surface temperature 6,0 °C

Motivering: Markytans medeltemperatur är mellan 5,0-7,0°C för en stor andel av Sveriges yta och för en ännu större andel av Sveriges byggnader. Intervallet sträcker sig från Sundsvall och Falun i norr och ner till gränsen mot Skåne (där Malmö har 8,0°C). Göteborg har 7,1°C och ligger strax utanför intervallet. Kusterna, inkl. norrlandskusten är relativt varma, medan inlandet är kallare. Umeå har 4,5°C. Källa: EED.

Flöde: 0,20 l/s per 100 meter borrhål, endast ett hål i serie.

Flödet tillsammans med storlek på U-röret och antalet seriekopplade hål påverkar en rad faktorer, bl.a. Reynolds-talet (värmeöverföring; laminär/turbulent strömning), tryckfall/pumpmotstånd och kortslutning mellan ned- och uppgående kollektorslag. Dessa faktorer har inte optimerats i denna studie, men flödet har valts så att uppehållstiden i kollektorn är konstant oavsett borrhålsdjup. Notera att Reynoldstalet blir avsevärt högre för 40-60°C vatten jämfört 0-5°C.

Geothermal heat flux 0,05 W/m²

Motivering: EED anger värden på 0,04 och 0,05 för svenska nio orter, medan två har 0,06. (Geothermal heat flux är värmeeffekt som tillförs lagret från kärnreaktioner i jordens inre och är snudd på obetydligt i större delen av Sverige)

Borrhål och Kollektor

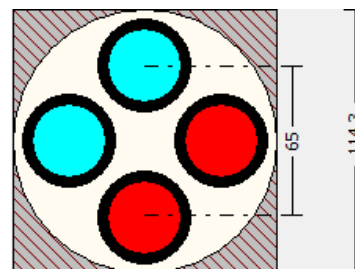
Kollektor: Dubbelt U-rör DN40 PN6, PE, är vanligt förekommande i borrhålslager och ger goda förutsättningar för ett högt effektuttag. U-rör som sådana är välbeprövad teknik. EED:s kollektor med innerdiameter 40 mm, godstjocklek 2,3 mm och värmeledning 0,42 W/(m K) har använts.

Diameter: 4½ tum (114,3 mm) vilket är en relativt vanlig diameter och som är rimligt för att få ned kollektorn i borrhålet.

Shank spacing: 65 mm, har valt medelavstånd mellan maximal distans då U-rör ligger an mot borrhålsvägg (74 mm) och minimal distans då U-rören ligger an mot varandra (57mm). Se figur.

Contact resistance pipe/filling 0 m,K/W.

Borrhålen är vattenfyllda och vattnet antas ligga an mot kollektorn utan att några luftfickor bildas så som kan ske med fasta fyllnadsmaterial.



Referenser:

Sundberg, Thunholm, & Johnson, 1985, Värmeöverförande egenskaper i Svensk Berggrund, Bygghörsningsrådet, R97:1985

Spitler, Javid, & Ramstad, 2015, "Natural convection in groundwater-filled boreholes used as ground heat exchangers", Applied Energy 164 (2016) p 352–365

Kjellsson & Hellström, 1997, Laboratory Study of the Heat Transfer in a Water-Filled Borehole with a Single U-pipe, Proc. of 7th Int. Conf. on Thermal Energy Storage, Megastock 1997, pp.509-514.

Gustafsson, 2010: Thermal Response Tests Influence of convective flow in groundwater filled borehole heat exchangers, Doctoral Thesis, Luleå University of Technology

12.2 EXEMPEL PÅ EED DATA: RENOVERAT KONTOR (STÖRRE)

EED 3.21		Thermal conductivity	0,63 W/(m·K)
QUICK FACTS		Specific heat capacity	4179 J/(Kg·K)
Number of boreholes	306	Density	992,3 Kg/m ³
Borehole depth	152 m	Viscosity	0,00065 Kg/(m·s)
Total borehole length	4,651E4 m	Freezing point	0 °C
		Flow rate per borehole	0,3 l/s

DESIGN DATA

=====

GROUND

Ground thermal conductivity	3,3 W/(m·K)
Ground heat capacity	2,3 MJ/(m ³ ·K)
Ground surface temperature	6 °C
Geothermal heat flux	0,05 W/m ²

BOREHOLE

Configuration:	732 ("306 : 17 x 18 rectangle")
Borehole depth	152 m
Borehole spacing	4 m
Borehole installation	Double-U
Borehole diameter	114,3 mm
U-pipe diameter	40 mm
U-pipe thickness	2,3 mm
U-pipe thermal conductivity	0,42 W/(m·K)
U-pipe shank spacing	65 mm
Filling thermal conductivity	2 W/(m·K)
Contact resistance pipe/filling	0 (m·K)/W

THERMAL RESISTANCES

Borehole thermal resistances are calculated.
 Number of multipoles 10
 Internal heat transfer between upward and downward channel(s) is considered.

HEAT CARRIER FLUID**BASE LOAD**

Seasonal performance factor (DHW)	3
Seasonal performance factor (heating)	1E5
Seasonal performance factor (cooling)	1E5

Monthly energy values [MWh]

Month	Heat load	Cool load	Ground load
JAN	487	0	487
FEB	431	0	431
MAR	455	0	455
APR	310	0	310
MAY	0	800	-800
JUN	0	1475	-1475
JUL	0	1440	-1440
AUG	0	1000	-1000
SEP	0	610	-610
OCT	294	0	294
NOV	452	0	452
DEC	567	0	567
Total	2996	5325	-2329

PEAK LOAD

Month	Peak heat	Duration	Peak cool
Duration [h]			
JAN	940	24	0
FEB	940	24	0
MAR	940	24	0
APR	600	24	0

MAY	1	24	0	0
JUN	1	24	0	0
JUL	1	24	0	0
AUG	1	24	0	0
SEP	1	24	0	0
OCT	600	24	0	0
NOV	750	24	0	0
DEC	940	24	0	0
Number of simulation years			100	
First month of operation			MAY	

CALCULATED VALUES

=====

Total borehole length 4,651E4 m

THERMAL RESISTANCES

Borehole therm. res. internal	0,13 (m·K)/W
Reynolds number	8198
Thermal resistance fluid/pipe	0,009978 (m·K)/W
Thermal resistance pipe material	0,04629 (m·K)/W
Contact resistance pipe/filling	0 (m·K)/W
Borehole therm. res. fluid/ground	0,0383 (m·K)/W
Effective borehole thermal res.	0,07554 (m·K)/W

SPECIFIC HEAT EXTRACTION RATE [W/m]

Month	Base load	Peak heat	Peak cool
JAN	14,34	20,21	0
FEB	12,69	20,21	0
MAR	13,4	20,21	0
APR	9,13	12,9	0
MAY	-23,56	0,021	0
JUN	-43,44	0,021	0
JUL	-42,41	0,021	0
AUG	-29,45	0,021	0
SEP	-17,97	0,021	0
OCT	8,66	12,9	0
NOV	13,31	16,12	0
DEC	16,7	20,21	0

BASE LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES [°C]

Year	1	2	5	10	100
JAN	7,15	9,55	17,29	25,41	50,5
FEB	7,15	8,83	15,79	23,93	48,93
MAR	7,15	7,66	13,92	21,99	46,9
APR	7,15	7,8	13,41	21,32	46,15
MAY	14,13	16,53	21,62	29,35	54,09
JUN	21,82	24,33	29,23	36,75	61,39
JUL	24,83	27,87	33,05	40,35	64,88
AUG	23,92	27,48	33,37	40,5	64,92

SEP	22,51	26,48	33,24	40,23	64,55
OCT	15,69	19,69	27,17	34,06	58,3
NOV	12,99	16,42	24,31	31,2	55,34
DEC	10,23	13,17	20,98	27,95	52

BASE LOAD: YEAR 100

Minimum mean fluid temperature 46,15 °C end of APR

Maximum mean fluid temperature 64,92 °C end of AUG

PEAK HEAT LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	100
JAN	7,15	8,48	16,22	24,34	49,43
FEB	7,15	7,45	14,41	22,56	47,55
MAR	7,15	6,41	12,68	20,75	45,66
APR	7,15	7,11	12,72	20,64	45,46
MAY	9,82	12,22	17,31	25,04	49,78
JUN	13,88	16,39	21,29	28,8	53,44
JUL	17,07	20,12	25,29	32,6	57,13
AUG	18,53	22,09	27,99	35,11	59,54
SEP	19,23	23,19	29,95	36,94	61,27
OCT	14,92	18,92	26,39	33,29	57,52
NOV	12,48	15,91	23,79	30,69	54,83
DEC	9,59	12,53	20,34	27,31	51,36

PEAK HEAT LOAD: YEAR 100

Minimum mean fluid temperature 45,46 °C end of APR

Maximum mean fluid temperature 61,27 °C end of SEP

PEAK COOL LOAD: MEAN FLUID TEMPERATURES (at end of month) [°C]

Year	1	2	5	10	100
JAN	7,15	9,55	17,29	25,41	50,5
FEB	7,15	8,83	15,79	23,93	48,93
MAR	7,15	7,66	13,92	21,99	46,9
APR	7,15	7,8	13,41	21,32	46,15
MAY	14,13	16,53	21,62	29,35	54,09
JUN	21,82	24,33	29,23	36,75	61,39
JUL	24,83	27,87	33,05	40,35	64,88
AUG	23,92	27,48	33,37	40,5	64,92
SEP	22,51	26,48	33,24	40,23	64,55
OCT	15,69	19,69	27,17	34,06	58,3
NOV	12,99	16,42	24,31	31,2	55,34
DEC	10,23	13,17	20,98	27,95	52

PEAK COOL LOAD: YEAR 100

Minimum mean fluid temperature 46,15 °C end of APR

Maximum mean fluid temperature 64,92 °C end of AUG

FASTIGHETSNÄRA SÄSONGS- LAGRING AV FJÄRRVÄRME

Industriell spillvärme och annan tillgänglig basproduktion av värme som sker under sommaren skulle kunna distribueras via befintliga fjärrvärmesystem och lagras lokalt i fastighetsnära säsongslager. Det skulle betyda att värmen kan användas under den kalla delen av året, utan att ytterligare energi behöver tillföras. Målet har här varit att se om det är möjligt att genomföra fastighetsnära säsongslagring och att beskriva under vilka förutsättningar en sådan lösning blir ekonomiskt och miljömässigt fördelaktig.

För att utvärdera lönsamheten har fastighetsnära säsongslagring av fjärrvärme jämförts med "vanlig" fjärrvärme i ett livscykelperspektiv. Resultatet visar att det finns goda möjligheter att uppnå både lönsamhet och miljöfördelar med fastighetsnära säsongslagring, men att såväl de lokala förutsättningarna som val av metod för miljövärdering kommer att ha en avgörande betydelse för hur utfallet blir.

Ett nytt steg i energiforskningen

Energiforsk är en forsknings- och kunskapsorganisation som samlar stora delar av svensk forskning och utveckling om energi. Målet är att öka effektivitet och nyttiggörande av resultat inför framtida utmaningar inom energiområdet. Vi verkar inom ett antal forskningsområden, och tar fram kunskap om resurseffektiv energi i ett helhetsperspektiv – från källan, via omvandling och överföring till användning av energin. www.energiforsk.se



Energiforsk