



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R47:1985

**Värmelagrets roll
i energisystemet**

Förstudie

**Jan Nordling
Hans Åkesson**

*R
Åk*

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	<i>Sei</i>

Byggeforskningsrådet

R47:1985

VÄRMELAGRETS ROLL I ENERGISYSTEMET

Förstudie

Jan Nordling
Hans Akesson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830761-0 från Statens råd för byggnadsforskning till
AF-Energikonsult AB, Stockholm.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R47:1985

ISBN 91-540-4368-9
Statens råd för bygnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1985

INNEHÅLL

0	BAKGRUND	1
1.	INLEDNING	2
2.	ENERGIFÖRSÖRJNINGSSYSTEM	2
2.1	Värmeväxlar	2
2.2	Värmekällor	3
2.3	Värmelager	4
3.	FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄRMELAGRING	7
4.	LAGRINGSKOSTNAD	10
5.	SYSTEMKOMBINATIONER	15
5.1	Allmänt	15
5.2	Val av kombinationer	15
5.3	Fördjupad systemstudie	16
6.	ENERGISYSTEM MED SÄSONGSLAGER OCH VÄRMEPUMP	17
6.1	Lagrets inverkan	19
6.2	Uteluft berglager/lerlager	19
6.3	Sjövatten med akviferlager	19
6.4	Resultat	20
6.5	Slutsats	29
7.	REFERENSER	30
8.	BILAGOR	31

ENERGILAGRING

0. BAKGRUND

Alltsedan oljekrisen i början av 70-talet har svensk energipolitik präglats av målsättningen att minska oljeberoendet och den totala energianvändningen. Som ett led i denna målsättning inriktas idag energifrågorna på dels differentierad värmeförsörjning (el, olja, fastbränsle, spillvärme etc), dels energihushållning (minskade energibehov). Såväl samhället som enskilda använder olika styrmedel för att påverka denna målsättning.

Sedan slutet av 70-talet har det från olika håll - bl a Värmeverksföreningen - framförts önskemål om att sänka temperaturnivåerna i byggnadernas värmesystem för att underlätta introduktionen av nya, differentierade tillförselsystem. Efter kärnkraftsomröstningen 1980 beslutade regering och riksdag bl a att samhället skulle ställa bindande krav på byggnaderna som möjliggör introduktionen av lågtemperaturteknik. Dessa krav finns idag formulerade i Svensk byggnorm (SBN) och innebär att såväl nya som ombyggda värmesystem inte får dimensioneras för en högre framledningstemperatur än +55 °C (60 °C i fjärrvärmeområden) på sekundärsidan.

Dessutom innebär bestämmelserna att injustering av värmesystem i befintliga byggnader ska ske mot låga framledningstemperaturer för att inte dessa ska skilja sig från övrig bebyggelse, t ex vid anslutning till fjärrvärme.

För många av de ovannämnda energislagen krävs någon form av energilager, för att det ska uppstå ett fungerande energisystem.

Detta gäller i första hand system med sol- och naturvärme men även spillvärme.

1. INLEDNING

Värmelagring kan indelas i två huvudgrupper nämligen:

- * Värmelagring i vattenmagasin
- * Värmelagring i mark

Värmelagring omfattar därmed teknikerna:

- * Vattencisterner
- * Borrhållager i lera och berg
- * Bergrumslager
- * Gropmagasin
- * Gruvor
- * Akviferlager
- * Lagring i torv

Med hänsyn till användningen förekommer benämningarna kort-tidslager och säsongslager.

Denna studie går i första hand ut på att finna hjälpmedel för att beskriva och utvärdera energisystem där lagret utgör en del av systemet.

Ett lager kan ha goda förutsättningar om det kombineras med rätt energikälla och rätt energisänka. I andra tillämpningar kan lagrets förutsättningar var helt annorlunda.

2. ENERGIFÖRSÖRJNINGSSYSTEM

I energiförsörjningssystem med värmelager måste de tre komponenterna värmesänka, värmekälla och värmelager väljas och anpassas till varandra.

2.1 Värmesänkor

Värmesänkan utgörs ofta av befintliga byggnader och anläggningar. Den kan vara mer eller mindre klart definierad. I vissa fall finns möjlighet att anpassa värmesänkan till egenskaperna hos värmekällan och värmelagret.

Ett exempel på detta kan vara åtgärder som sänker erforderlig framledningstemperatur i ett befintligt värmesystem. Förutsättningarna för utnyttjande av såväl värmekälla som lager kan därmed förbättras.

I stort kan förutsättas att värmesänkorna är följande:

- Småhus
- Flerfamiljshus (inkl lokaler)
- Gruppcentraler
- Fjärrvärme
- Industrier

I vår sammanställning av tänkbara systemkombinationer, bil 1, har vi använt oss av denna indelning.

Värmesänkornas storlek varierar såväl mellan som inom grupperna. En liten gruppcentral kan vara lika stor och ha samma egenskaper som en central i ett stort flerfamiljshus, medan en större gruppcentral kan vara att jämföra med en fjärrvärme-central.

Det blir för utvärderingens skull nödvändigt att studera olika storlekar för varje huvudtyp av värmesänka.

2.2 Värmekällor

Oftast varierar tillgängligheten hos energikällan. Solvärme t ex finns i huvudsak under sommarhalvåret dvs under den tid då värmebehovet är lägst. Ofta krävs även belastningsutjämning under kort tid över dygnet eller veckan.

Vilka energislag har egenskaper som medför att de behöver lagras. Vi bedömer att det i första hand är följande:

- * Spillvärme
- * Solvärme
- * Fastbränsle, sopförbränning
- * Kylvatten från kraftvärmeverk
- * Vattenburen elvärme
- * Ytvatten
- * Luftvärme

2.3 Värmelager

Som redan framgått har värmelager olika roller i energiförsörjningssystemen. Här kommer endast värmekapacitiv lagring att behandlas. De olika teknikerna anses idag vara väl definierade och följande lagertekniker bedöms som intressanta.

- * Ståltank
- * Bergrum
- * Markgrop
- * Lagring jord
- * Borrhålslager i berg
- * Akvifermagasin
- * Gruvor

Lagertekniker som latent värme och termkemiska lager är andra typer av tekniker som vi inte avser att behandla i denna studie.

I nedanstående tabell framgår några specifika data över de olika lagertyperna.

Kostnader och kapacitet för olika lagringssystem

Teknik/system	Volym m ³	Temp t°C	Kapac MWh	Kostn kr/m ³	Spec kost Kr/kWh, år	Verkn grad
Ståltank	10 000	90-10	1 000	250-350	2,6-3,6	0,95
Grop	20 000	60-10	1 600	120-160	2,0-2,7	0,90
Bergrum	400 000	80-10	33 000	80-120	1,0-1,4	0,85
Gruvor	200 000	35- 5	7 000			0,60
Lagring i jord	1 000	18- 6	10	10-20	0,9-1,8	0,70
Lagring i jord	100 000	16- 4	1 000	8-12	0,7-1,1	0,85
Borrhålslager i berg	200 000	70-20	6 000	15-20	0,5-0,7	0,75
-"-	1 000 000	35-25	6 000	10-15	1,6-2,5	0,80
Akvifermagasin	2 000 000	20- 5	18 000	2-5	0,2-0,5	0,85

Säsongslager

Utförda lagerstudier har visat att säsongslagring lämpar sig bäst för gruppcentraler och mindre fjärrvärmesystem. Det är normalt inte optimalt att göra lagret heltäckande.

Till skillnad från korttidslagring kan såväl höga som låga temperaturnivåer tillämpas vid säsongslagring. I princip talar man om följande tre temperaturnivåer.

- Höga temperaturer 60 - 100 °C (HT)
- Mellantemperaturer 30 - 60 °C (MT)
- Låga temperaturer \leq 30 °C (LT)

Om förutsättningarna är sådana att överskottsvärme med hög temperatur finns tillgänglig och värmsänkans temperaturkrav kan tillgodoses är i första hand följande lagertyper intressanta.

- * Ståltankar
- * Bergrum
- * Gropar i jord

Mellantemperaturen är i första hand intressant för lågtemperatursystem. Värmeförlusterna blir dock relativt stora och värmepumpar erfordras för att klara värmsänkans temperaturkrav. Lagringsteknikerna kan vara:

- Markgrop
- Borrhållager i berg

Lagring vid lågtemperatur förutsätter värmepump för att klara värmsänkans temperaturkrav. Värmeförlusterna blir begränsade och billiga lagringstekniker kan tillämpas. Exempel på lagringstekniker är:

- * Lagring i jord
- * Borrhållager
- * Akvifermagasin
- * Gruvor

Säsongslagring kombieras ofta med dygnslagring.

Korttidslager

Korttidslagring kan generellt sägas ha ett bredare användningsområde än säsongslagring och tillämpningar finns hos samtliga typer av värmsänkor. Korttidslagrens kanske viktigaste tillämpningar är belastningsutjämning i ett fjärrvärmedistributionsystem och att lagra billig nattenergi för utnyttjning under dagtid. En speciell tillämpning är att ladda lagret med mottrycksvärme för att kunna öka elproduktionen under dagtid.

Lagrens tröghet är liten vilket även medför möjligheter för stora energiuttag under kort tid. Lagret kan således även ge ett betydande effektbidrag.

Vid korttidslagring förutsätts höga lagringstemperaturer för direkt utnyttjning i värmesänkan.

Exempel på lagringstekniker är:

- Ståltank
- Bergrum
- Markgrop

3. FÖRUTSÄTTNINGAR FÖR VÄRMELAGRING

Ett värmelagers uppgift är att lagra värme från en tidpunkt till en annan, med så små förluster som möjligt. De faktorer som då är av betydelse är följande:

Normalt är förlusterna från ett lager proportionellt mot magasinets yta till omgivningen medan den lagrade energimängden är proportionell mot volymen.

Lagrets form påverkar därmed i hög grad de relativa förlusterna.

Värmeförlusterna beror förutom av lagerformen även på temperaturnivå och magasinets isoleringsförmåga.

I detta fall behandlas endast kapacitiv värmelagring. Värmelagringsförmågan bestäms därmed av följande uttryck:

$$W = V \cdot C_p \cdot \rho \cdot \Delta t \quad (Ws)$$

V = volym (m^3)

C_p = specifikt värme (J/kg)

ρ = densitet (kg/m^3)

λ = värmeledningstal (W/mk)

dvs en materialkonstant och temperaturdifferensen mellan lagrets laddnings- och urladdningstemperatur.

Eftersom förlusterna är en funktion av bl a lagrets medeltemperatur och omgivningens temperatur är det inte möjligt att öka lagringskapaciteten genom att höja laddningstemperaturen obegränsat, eftersom förlusterna då blir för höga. Detta innebär att det är materialkonstanterna och C_p som avgör lagringsförmågan.

Tabellen nedan anger specifika egenskaper hos några material

Specifika värmekapaciteten hos några material.

	[J/g.K]	[kJ/m ³ .K]
Vatten (l)	4,2	4200
Is	2,0	1900
Paraffin	2,9	2600
Trä	1,8	900
Betong	0,9	2100
Glas	0,8	2000
Tegel	0,8	1700
Granit	0,8	2100
Aluminium	0,9	2500
Järn	0,5	3900
Magnetit	0,8	4100
Sand	0,8	1200
Glasull	0,7	30
Luft	1,0	1

Ungefärliga termiska data för några marktyper.¹

	Fukthalt [vol%]	Värmeled- ningsförmåga [W/m ² , °C]	Värmekapa- citet [MJ/m ³ , °C]	Densitet [kg/m ³]
Torv, förmultnad	46	0,3	2,1	370
Löst packad torr sand	-	0,2-0,3	1,3	1500
Natursingel, torr	-	0,3	1,2	1550
Sandig grus, torr	-	0,7	1,6	1800
Lera, styv	65	1,0	3,6	1640
Lera, lätt	60	1,2	3,5	1800
Packad sand och grus	15	1,7	2,8	2200
Morän, sandig eller lerig	27	2,3	2,7	2200
Hård sandsten	-	2,3	1,9	2300
Granit	-	2,6-3,5	2,1	2700

Ur ref 3

Förluster

Förlusterna från ett lager kan uttryckas på följande vis:

$$F = k \cdot A (T - T_0) \quad (W)$$

De relativa förlusterna kan då skrivas på följande sätt:

$$\frac{D}{W} = \frac{\lambda \cdot A (T_m - T_0)}{V \cdot C_p \cdot \Delta t}$$

$$T_0 = \text{omgivningens temp} \quad (K)$$

$$T = \text{lagrets temp} \quad (K)$$

$$T_1 = \text{laddningstemp} \quad (K)$$

$$T_2 = \text{lägsta temp i lagret} \quad (K)$$

T_F = temperatur efter lagringsperiodens slut, när urladdningsperioden börjar

$$\Delta t = T_1 - T_2 \quad (K)$$

$$T = \frac{T_1 + T_2}{2} \quad (K)$$

Förlusterna motsvarar således $T_1 - T_F$

Detta uttryck delas vanligen upp på följande sätt:

$$\frac{F}{W} = \frac{\lambda}{C_p} \cdot \frac{T_m - T_0}{\Delta t} \cdot \frac{f}{\sqrt{2/3}}$$

Material Temperatur Geometri (ur ref 3)

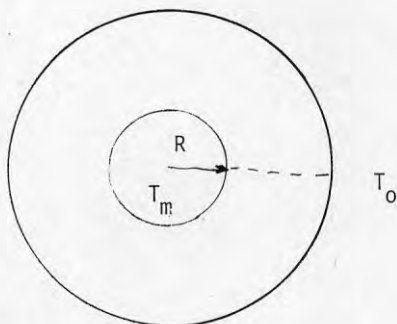
I de fall lagret utgör någon form av "naturligt" magasin saknas i regel isolering i egentlig mening. Detta innebär att omgivande material, ofta samma material som lagringsmediet utgör isoleringen.

Förlusterna beräknas då genom att lagringsmediet antas bestå av en volym som deltar i lagringen och utan för den antas en omgivningstemperatur. Vid mark tas ofta grundvattentemperaturen för orten ifråga.

Lagren måste i dessa fall göras så stora att värmeförlusterna blir förhållandevis små i förhållande till den lagrade energimängden.

För ett sfäriskt värmelager blir då förhållandena följande:

Vid stationära förluster:



$$W = \frac{4 \pi R^3}{3} \cdot C_p (T_m - T_0)$$

$$F = \lambda \cdot 4 \pi \cdot R^2 \frac{dT}{dR}$$

$$\frac{F}{W} = \frac{3 \lambda}{R^2 C_p \cdot \int}$$

4. LAGRINGSKOSTNAD

Kostnaden för den energimängd som levereras från ett lager måste, för att lagret ska vara lönsamt, vara lägre än energikostnaden för att producera samma energimängd vid urladdningstillfället.

För överslagsmäsiga studier av energisystem med lager kan följande uttryck användas.

e = energipriset på inlagrad energi (kr/kWh)

s = alternativt energipris (kr/kWh)

I = investeringskostnad (kr/kWh)

a = annuitet

D = driftkostnad (kr/kWh)

N = antal laddningscykler/år (c/år)

Q_I = inladdad energimängd (kWh/c)

Q_u = uttagen energimängd (kWh/c)

LK = lagringskostnad (kr/kWh)

η = lagrets verkningsgrad; $\frac{Q_u}{Q_I}$

$Q_I \cdot N$ = inladdad energimängd/år

$Q_u \cdot N$ = uttagen energimängd/år

$$LK = \underbrace{I \cdot a \cdot Q_I}_A + \underbrace{D \cdot Q_I \cdot N}_B + \underbrace{(Q_I - Q_u)e \cdot N}_C$$

A = Investeringskostnad

B = Driftkostnader

C = Förlustkostnader

Utslaget per uttagen energimängd $Q_u \cdot N$ blir lagringskostnaden per energienhet.

$$LK = \frac{I \cdot a \cdot Q_I}{Q_u \cdot N} + \frac{D \cdot Q_I \cdot N}{Q_u \cdot N} + \frac{(Q_I - Q_u) \cdot eN}{Q_u \cdot N}$$

$$LK = \frac{I \cdot a}{\eta \cdot N} + \frac{D}{\eta} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \cdot e$$

Lagringskostnaden är den kostnad som den lagrade energimängden ökar från inlagringstillfället till urladdningstillfället, dvs energikostnaden vid inlagring + kostnaderna för lagringen ska vara lägre än det alternativa energipriset för att lagret ska vara lönsamt.

$$e + LK \leq s \Rightarrow LK \leq s - e$$

$$s - e \geq \frac{I \cdot a}{\eta \cdot N} + \frac{D}{\eta} + \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) e$$

$$\frac{I \cdot a}{\eta \cdot N} \leq (s - e) - \frac{D}{\eta} - \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \cdot e$$

$$I \leq (s - e) \cdot \eta \cdot \frac{N}{a} - D \cdot \frac{N}{a} - (1 - \eta) e \cdot \frac{N}{a}$$

$$I \leq \frac{N}{a} \left[(s - e) \cdot \eta - D - (1 - \eta) \cdot e \right]$$

$$I \leq \frac{N}{a} \left[s \cdot \eta - e - D \right]$$

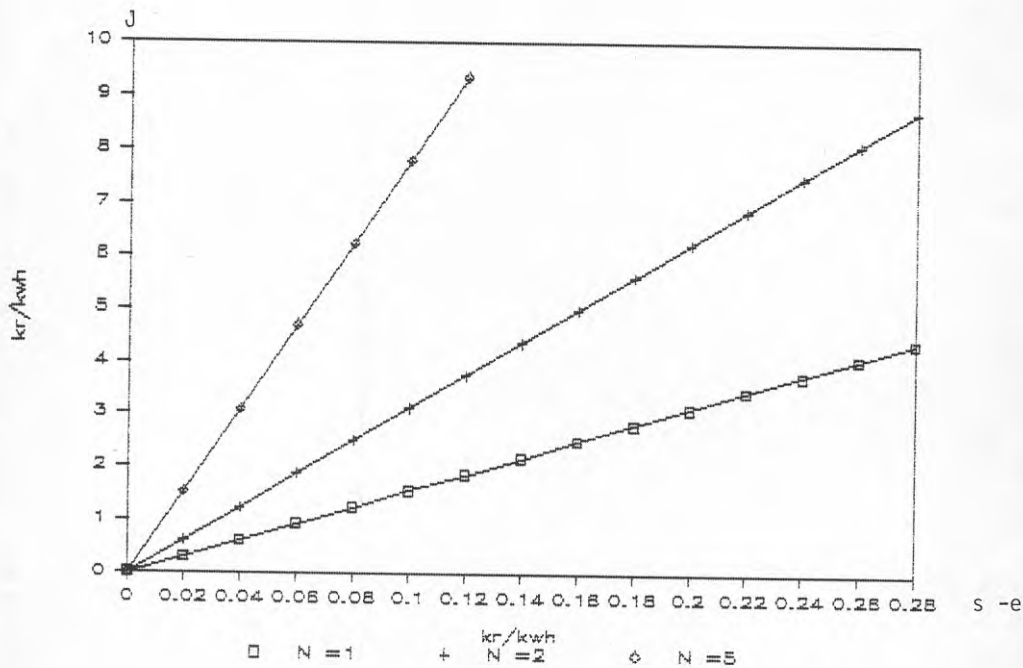
Om man i detta skede bortser från driftkostnaden för lagret kan uttrycket förenklas till

$$I \leq \frac{N}{a} \left[s \cdot \eta - e \right]$$

Avskrivningstid	25 år	}	⇒	a = 0,064
Realränta	4 %			

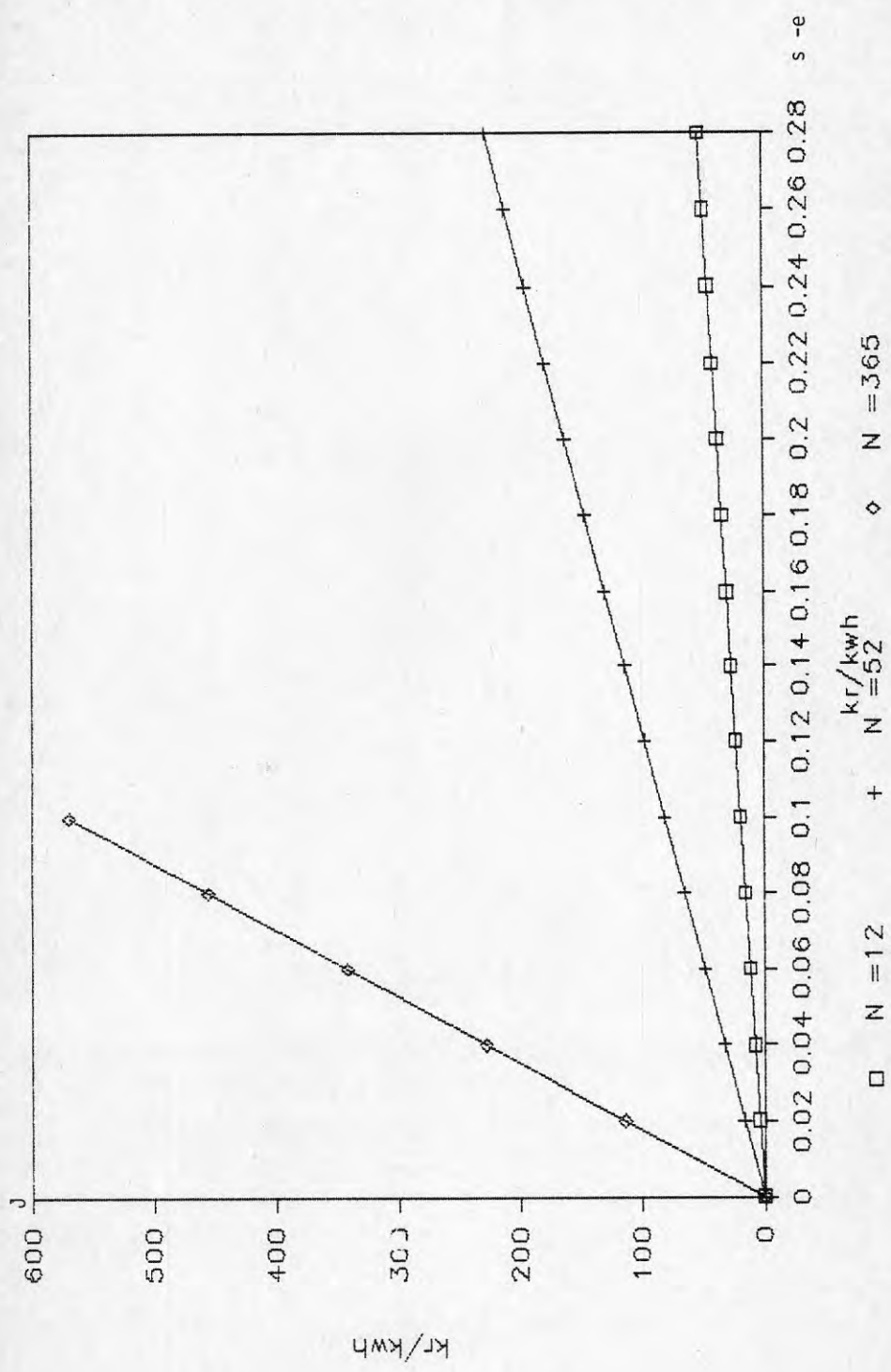
$$I \leq 15,6 \left[s \cdot \eta - e \right] \cdot N \quad \frac{\text{kr}}{\text{kWh}} \text{ laddningscykel}$$

Motiverad investeringskostnad



Motiverad investeringskostnad som funktion av energiprisdifferensen och verkningsgraden.

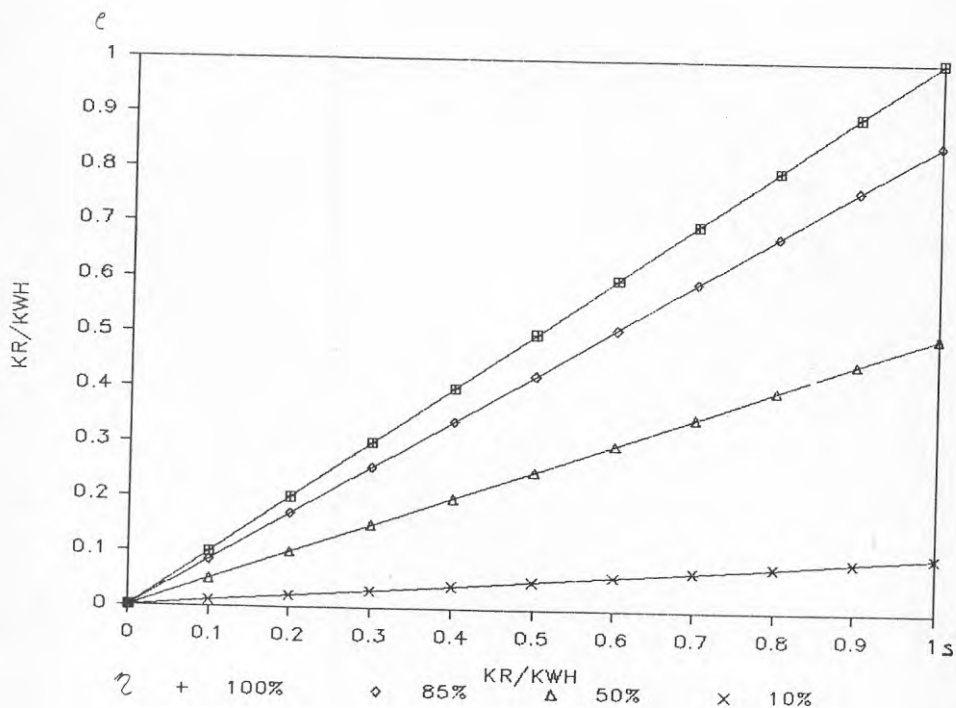
Ex: $s = 0,35$ kr/kWh; $a = 85\%$
 $e = 0,20$ kr/kWh; $a = 6,4\%$



Av diagrammen framgår att antalet laddningar har mycket stor betydelse för den acceptabla investeringskostnaden i lagret.

Av den anledningen är det uppenbart att antalet omsättningar är av stor betydelse för lönsamheten på lagringssystemet.

I uttrycket $I \leq 15,6 (s \cdot \eta - e)$. N utgör $s \cdot \eta - e$ den del som anger lönsamhetsmarginalen. Sjunger verkningsgraden för lagringssystemet från 100 till 50 % krävs att gratisenergin sjunker från 0,3 till 0,17 kr/kWh.



5. SYSTEMKOMBINATIONER

5.1 Allmänt

Värmesänkans behov vad avser energi, effekt och temperatur är avgörande för vilka energikällor och produktionsanläggningar som kan utnyttjas. Några energikällor och produktionsanläggningar har sådana egenskaper att de direkt kan tillgodose energisänkans behov.

Som framgått tidigare ökar möjligheterna att utnyttja vissa energikällor på ett mera optimalt sätt om systemet kompletteras med någon form av lager.

Det är av stor betydelse för det slutliga energipriset, vilka kombinationer som väljs vad avser värmekälla, värmelager och värmesänka.

5.2 Val av kombinationer

Vi har med utgångspunkt från energikällan bedömt vilka typer av energisänkor som källan är tänkbar för. Därefter har vi bedömt vilka lagertyper som är tänkbara att använda.

Totalt presenteras 40 olika kombinationer (bil). I detta urval har ingen direkt hänsyn tagits till storleken på källan, lagret eller sänkan.

Som exempel på detta kan nämnas en kombination

Energikälla: Spillvärme
Energisänka: Industri
Lagertyp: Kort tid, hög temperatur

I samband med en fördjupad studie blir det naturligtvis nödvändigt att studera olika storlekar av kombinationen.

Resultatet torde bli att kombinationen blir speciellt intressant för en viss storlek på lagret beroende på att kostnaden för tillämpliga lagringstekniker är storleksberoende.

Även om storleken inte direkt beaktats vid val av kombinationer har vissa kombinationer, som vi bedömer som mindre troliga, uteslutits. Ett exempel på det sistnämnda är säsongslagring i småhus, ett annat är spillvärme till annat än industri, gruppcentraler och fjärrvärme.

Några av de listade kombinationerna är mer intressanta än andra. Med hjälp av en tregradig skala har kombinationerna grupperats.

- A. Mycket intressant
- B. Intressant
- C. Tveksamma

En sådan här bedömning är givetvis svår att göra och man kan ha många synpunkter på den. Speciella förutsättningar kan råda vilket medför att bedömningsgrunden förändras i vissa situationer.

En generell bedömning, som redovisas i bilaga 1, har gjorts.

Det visar sig att samtliga kombinationer som bedöms som mycket intressanta (A) är system med korttidslagring. Energikällorna är spillvärme, fastbränsle, kraftvärmeöverskott och el.

I gruppen intressanta (B) dominerar säsongslagring av i första hand spillvärme, ytvatten och solvärme. Här blir priset på den energi, som man laddar lagret med, av stor betydelse.

I den sista gruppen (C), som bedöms som tveksamma, finns sol värmetillämpningar med såväl korttids- som säsongslager för industrin samt övrig säsongslagring för industrin. I den gruppen finns även säsongslagring av fastbränsleproducerad energi för fjärrvärme och gruppcentraler.

5.3 Fördjupad systemstudie

Som framgått varierar såväl de tekniska som ekonomiska förutsättningarna för de olika kombinationerna.

Avgörande vid val av systemkombinationer är också potentialen för dessa. Ett system som kan få en bred användning inom t ex bostadssektorn är i detta hänseende intressantare att redovisa än en udda spillvärmestillämpning även om den i sig kan vara mycket intressant.

I en fördjupad studie är lagringsfrågorna primära men ett stort utrymme måste även finnas för övriga delsystem eftersom deras egenskaper har stor betydelse för lagrets förutsättningar.

Sammanställningen i bilaga 1 ska ses som en listning av tänkbara kombinationer.

Den mycket preliminära bedömnin av kombinationerna indikerar att tyngdpunkten bör läggas på korttidslagring.

Ett visst antal kombinationer bör väljas ut för analys.

Några av systemen har studerats och egenskapsmässigt dokumenterats tidigare. Andra system är bristfälligt studerade och i många fall inte dokumenterade.

Forskningsinsatsen för att få fram tillräckligt underlag för redovisningen varierar således.

Förslagsvis studeras först de system som bedömts som intressanta.

6. ENERGISYSTEM MED SÄSONGLAGER OCH VÄRMEPUMP

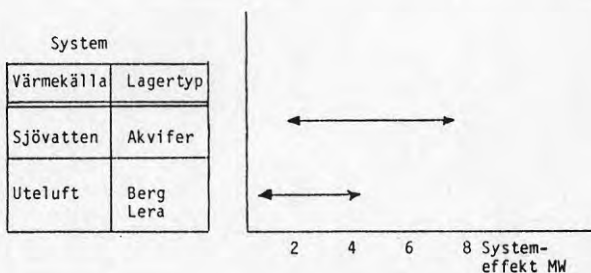
I samband med Sol -85 utvärderingen genomfördes några datoranalyser över några energisystem med säsongslager och värmepump.

Bortsett från fjärrvärmesystem är det lager i gruppcentral-system, som anses ha de största möjligheterna att konkurrera med andra system och då framförallt:

- uteluftvärmepump med ler- eller berglager
- sjövärmepump med akviferlager

Dessa tekniksystem får ses som illustrationer för övriga system med lager.

I diagrammet visas inom vilka effektområden tekniken anses lämplig.



För övriga sektorer, småhus och flerfamiljshus är det inte lönsamt att utnyttja säsongslager, eftersom de relativa förlusterna blir för stora och kostnaderna därmed för höga.

I nedanstående tabell presenteras systemen tillsammans med motsvarande system utan lager. På detta vis kan lagrets påverkan på systemet studeras.

Naturligtvis är uppgifterna för respektive teknisksystem både volymberoende och effektberoende.

De angivna värdena är att betrakta som medelvärden inom de olika teknikområdena.

Uteluft	0.5 MW				1 MW				2 MW				4 MW			
Spec kostnad vp utan lager kr/kW	2650				5400				4600				4200			
Effekt vp kW/%	170/34				300/30				600/30				1500/37.5			
Värmefaktor	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5
Täckningsgrad %	59	59	77	80	55	55	74	76	55	55	74	76	66	66	84	85
Uteluft + lager																
Spec kostn med lager kr/kW	9000				8000				7000				7000			
Effekt vp kW/%	250/50				500/50				1000/50				2000/50			
Värmefaktor	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5	R1 2.3	R2 2.3	R3 2.5	R4 2.5
Täckningsgrad %	77	77	90	94	77	77	90	92	77	77	90	92	76	76	90	91
Sjövatten																
Spec kostnad vp utan lager kr/kW	3550				3100				3100				2250			
Effekt vp kW/%	200/40				300/30				600/30				1200/30			
Värmefaktor	R1 2.1	R2 2.1	R3 2.3	R4 2.3	R1 2.1	R2 2.1	R3 2.3	R4 2.3	R1 2.1	R2 2.1	R3 2.3	R4 2.3	R1 2.4	R2 2.4	R3 2.6	R4 2.6
Täckningsgrad %	74	74	80	80	60	60	65	65	60	60	65	65	60	60	65	65
Sjövatten + lager													4-7 MW			
Spec kostnad med lager kr/kW									5000				4000			
Effekt vp kW/%									800/40				1600/40			
Värmefaktor									R1 2.4	R2 2.4	R3 2.6	R4 2.6	R1 2.7	R2 2.7	R3 2.9	R4 2.9
Täckningsgrad %									73	73	80	80	73	73	80	80

6.1 Lagrets inverkan

Lagret gör att effekttäckningsgraden för systemet kan ökas och därmed energitäckningsgraden. Att energitäckningsgraden är lägre i de kallare zonerna (se tabell sid 4) beror på att en större del av hela systemets energi ligger på de kallaste timmarna.

6.2 Uteluft berglager/lerlager

Vid dessa system utnyttjas värmepumpen för att ladda lagret på sommaren. Detta gör att årsmedelvärmefaktorn för systemet inte blir förbättrad i så hög grad, eftersom värmen "värmepumpas" två gånger.

Lagring av värme sker vid lågtemperatur ca 20 °C för lerbager och mellan 30 och 40 °C för berglager.

Eftersom laddningen med värmepumpar sker på sommaren och därmed en del av elförbrukningen, för drift av värmepumpen, flyttas över till sommaren, kommer differentierade eltaxor att förbättra lönsamheten för systemen jämfört med värmepumpsystem utan lager. Medelenergipriset över året, för drift av värmepumpen, blir därmed lägre tack vare lagret.

Någon utrustning för avisning av förångaren kommer sannolikt inte att behövas vid denna typ av system.

6.3 Sjövattnet med akviferlager

I detta fall används inte värmepumpen för att ladda lagret. Det varma ytvattnet växlas direkt mot akvifervattnet. Årsmedelvärmefaktorn blir därmed förbättrad jämfört med ett system utan lager.

Lagringen sker även i detta fall, för att minimera förlusterna vid ca 20 °C.

Någon fördel av differentierade taxor uppnås inte med detta system, eftersom någon laddning med värmepumpen inte sker och därmed ingen förflyttning av drivenergin från sommar till vinter. Lagrets inverkan i detta system är således framförallt att höja medeltemperaturen på värmekällan.

6.4 Resultat

För att studera lagrets inverkan på lönsamheten för de olika tekniksystemen med säsongslager har följande analys utförts med Sol-85 datamodellen.

Resultatet från analysen uttrycks i lägsta kostnad för de ingående systemen med avseende på Life cycle cost och First cost.

Förutsättningar

Analysen har utförts med låga energipriser. Samtliga analyser görs för tidsperioden 1985 till 1990. I övrigt gäller följande förutsättningar.

- Temperaturzon: III
- Byggnadsområde: tätort (Residential Island)

Energipriser

Scenariot innebär följande låga energipriser. Studerad period är som tidigare nämnts 1985 - 1990. För värmepumpsystem som försörjer gruppcentraler med ett effektbehov av 4 MW har högspänningsleverans av el antagits.

Energipriser

Period	1 1980-85	2 1985-90	3 2005-10
E0-1	19,6	24,1	24,4
Skatt	4,1	5,4	5,4
EL lågsp	24,0	25,7	26,6
Skatt	4,0	5,2	5,2
EL lågsp vid säsongslager	19,9	21,3	22,1
Skatt	4,0	5,2	5,2
EL högsp	20,4	21,8	22,6
Skatt	3	3	3
EL högsp vid säsongslager	17,1	18,1	19,0
	3	3	3

Life cycle cost

Med life cycle cost avses den totala kostnaden för tekniksystemet utslaget på hela livslängden. I detta ingår således annuitet, energikostnad samt drift och underhållskostnad.

Det mest fördelaktiga systemet har naturligtvis den lägsta totalkostnaden.

First cost

First cost är beteckningen på tekniksystemens installationskostnader.

Tolkning av resultat

I nedanstående tabeller (1-6) redovisas resultaten från analysen. I tabell 1 och 4 anges vilka tekniksystem som kan förekomma i respektive segment. Först anges baslastsystemet och därefter anges topplastsystemet. Därefter anges årtal när systemet är tillgängligt samt teknisk livslängd. Efter dessa tabeller redovisas Life cycle cost och First cost. Där redovisas en ranking av de tekniksystem som kan ersätta de befintliga systemen med hänsyn till de ekonomiska kriterierna.

Gruppcentral 0,5 MW

Det kan således förekomma tio tekniksystem i detta segment. Systemet med uteluft, värmepump och borrhålslager eller lerlager har beteckningen 4 i tabell 1.

Life cycle cost

Vid nybyggnation väljs först system 5, dvs uteluft värmepump med oljepanna därefter 6 osv.

I de fall befintligt system är:

1. Oljepanna
2. Elpanna/oljepanna
3. Gaspanna/oljepanna

väljs vid utbyte i första hand värmepump med jord som värmekälla och oljepanna (6).

Systemet med säsongslager, ler- eller borrhålslager i berg (4) kommer relativt långt ner i tabellen.

First cost

I detta fall kommer systemet med säsongslagring långt ner på skalan på grund av den höga investeringskostnaden.

Nr	Befintliga system	Tillgänglighetstid (år)	Livslängd (år)
1	Oljepanna	1980	15
2	Elpanna/Oljepanna	1980	15
3	Gaspanna/Oljepanna	1980	15
4	Värmepump (ytluft med säsongslager)/Oljepanna	1980	15
5	Värmepump (ytluft)/Oljep.	1980	15
6	Värmepump (ytjord)/Oljep.	1980	15
7	Värmepump (grundvatten)/Oljepanna	1980	15
8	Värmepump (grundvatten)/Oljepanna	1980	15
9	Värmepump (sjövatten)/Oljepanna	1980	15
10	Pelletpanna/Oljepanna	1980	15

*) Borrhålslager i berg eller lera

Tabell 1 Gruppcentraler med effektbehovet 0,5 MW samt befintliga system

Val av system
sker i denna
ordning
(Rankning)



4	2	4	2	2	2	2	2	2	2	2
2	4	2	4	1	1	4	4	4	4	4
1	10	1	1	4	4	1	1	1	1	1
10	3	10	10	10	10	10	10	10	10	3
8	1	3	8	3	3	3	3	3	3	8
3	8	8	9	8	8	8	8	9	8	9
9	9	9	7	9	9	9	9	7	7	7
7	7	7	3	7	7	7	5	5	5	10
6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	5
5	6	6	6	5	5	6	7	8	9	6
Nyinstallation (inget bef system)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bef system *)										

*) enligt tabell 1

Tabell 2 Life cycle cost/Gruppcentraler med effektbehovet
0,5 MW samt befintliga system

Val av nytt
system sker i
denna ordning
(Rankning)



4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8
7	7	7	7	7	7	7	9	9	7	7
9	9	9	9	9	9	9	6	6	6	9
6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6
5	5	5	5	10	10	10	10	10	10	5
10	10	10	10	2	2	2	7	8	2	2
2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1
1	3	3	1	3	3	3	1	1	9	3
3	1	2	3	5	5	6	3	3	3	10
Nyinstallation (inget bef system)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Bef system *)										

*) enligt tabell 1

Tabell 3 First cost/Gruppcentraler med effektbehovet 0,5 MW

Gruppcentral 4 MW

I detta segment kan 17 system förekomma. Av dessa är 2 st med säsongslager.

- Uteluftvärmepump med borrhåls- eller lerlager (8)
- Sjövattnvärmepump med akviferlager (11)

Life cycle cost

Här kan noteras att det mest lönsamma systemet är sjövattnvärmepump med akviferlager (11). Endast avloppsvärmepump är lönsammare. Men med tanke på att denna energikälla är ytterst begränsad torde detta visa att sjövattnvärmepump med akviferlager borde vara av stort intresse som teknisksystem för större anläggningar.

Uteluftvärmepump med säsongslager (8) ligger relativt långt ner dock inte bland de allra sista.

First cost

Sjövattnsystemet med säsongslager (11) finns med på listan men ligger inom det dyrare systemet. Uteluftvärmepump med säsongslager (8) har inte kommit med på listan på grund av den höga investeringskostnaden.

Nr	System Namn	Tillgänglighetstid (år)	Livslängd (år)
1	Oljepanna	1980	15
2	Flispanna/Oljepanna	1980	15
3	Kol pulver/Oljepanna	1980	15
4	Kol vatten/Oljepanna	1980	15
5	Kol/Oljepanna	1980	15
6	E1/Oljepanna	1980	15
7	Gas/Oljepanna	1980	15
8	Värmepump uteluft/ Oljepanna	1980	15
9	Värmepump uteluft säsongslager/Oljepanna	1980	15
10	Värmepump avlopp/Oljep.	1980	15
11	Värmepump sjövt. säsongslager/Oljepanna	1980	15
12	Värmepump sjövt./ Oljepanna	1980	15
13	Torv panna/Oljepanna	1980	15
14	Sol/E1/Oljepanna	1980	15
15	Sol/Oljepanna	1980	15
16	Sol/Oljepanna	1980	15
17	Träbränslepanna/Oljepanna	1980	15

Tabell 4 Gruppcentraler med ett effektbehov av 4 MW samt befintliga system

Val av nytt system sker i denna ordning	6	16	16	16	16	16	1	16	6	6	16	6	6	16	1	1	1	16	
	1	8	1	1	1	1	8	1	16	16	1	16	16	1	8	8	8	1	
	17	17	8	8	8	8	17	8	1	1	8	1	1	8	17	17	17	8	
	7	7	17	17	17	17	7	17	17	17	17	8	8	17	7	7	7	7	
	2	2	7	7	7	7	2	2	7	7	7	7	17	17	7	2	2	2	2
	9	5	5	2	2	2	5	5	2	2	2	2	7	7	2	5	5	5	5
	5	9	9	5	5	9	9	9	5	5	5	2	2	5	9	9	9	9	9
	13	12	12	9	9	12	12	12	12	12	9	5	5	9	12	12	12	12	12
	3	13	13	12	12	13	13	13	13	13	12	9	9	12	13	13	13	13	13
	4	4	4	13	13	4	4	4	4	4	4	13	13	13	4	4	4	4	4
12	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	3	3	3	11	11	11	11	11	
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	11	10	10	10	10	10	10	10	
	Nyinstallation (inget bef system)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
	*) Bef system																		

*) enligt tabell 4

Tabell 5 Life cycle cost/Gruppcentraler med effektbehovet 4 MW

Val av nytt system sker i denna ordning	16	11	11	11	11	11	11	11	16	16	11	9	9	11	11	16	11	11
	14	16	16	16	16	16	16	16	14	14	16	16	16	16	16	14	14	16
	5	14	14	14	14	14	14	14	5	5	14	14	14	14	5	5	5	14
	3	5	5	5	5	3	5	5	3	3	5	5	5	5	3	3	3	5
	13	3	3	13	3	13	3	3	13	13	3	3	3	3	13	13	13	3
	12	13	13	12	13	12	13	13	12	12	13	13	13	12	12	12	12	13
	2	12	12	2	12	2	12	12	2	2	12	2	2	2	2	2	2	12
	10	2	10	10	2	10	2	2	10	10	2	10	10	10	10	10	10	2
	4	10	4	4	10	4	10	10	4	4	4	4	4	4	4	4	4	10
	17	4	17	17	17	17	4	4	17	17	17	17	17	17	17	17	17	4
	1	17	1	1	1	1	17	17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6	6	6	6	6	6	1	1	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7	7	6	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Nyinstallation (inget bef system)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
*) Bef system																		

*) enligt tabell 4

Tabell 6 First cost/Gruppcentraler med effektbehovet 4 MW

6.5 Slutsats

Av tekniksystemen med säsongslager är det sjövärmepump med akviferlager som har den största möjligheten att konkurrera med andra system. Detta gäller framförallt med avseende på Life cycle cost, där detta system i princip är det mest lönsamma för samtliga befintliga system.

Naturligtvis kan denna typ av analys göras på alla segment för att potentialen för systemen med säsongslager ska kunna bedömas. Detta kan genomföras när BFR finner det lämpligt.

REFERENSER

1. Verksamhetsplan 1984-1987 BFR G18:1983
2. Energisystem behandlade i Sol-85 BFR R150:1984
3. Lagring av värme. En översikt av metoder och möjligheter
Bo Carlsson m fl BFR R70:1978
4. Markvärme. Utvinning av lagring
BFR's markvärmepump BFR G4:1984

Nr	1	2	3	4	5
Energikälla	Spillvärme	Spillvärme	Spillvärme	Spillvärme	Spillvärme
Energisänka	Industri	Industri	Industri	Gruppcentr	Gruppcent
Lagertyp	Korttid	Säsong	Säsong	Korttid	Säsong
Temperatur	HT	LT	MT/HT	HT	LT
Komplement	-	Värmepump	-	-	Värmepump
Prioritet	A	C	C	A	B

Prioritet A. Mycket intressant
 B. Intressant
 C. Tveksamt

Nr	6	7	8	9
Energikälla	Spillvärme	Spillvärme	Spillvärme	Spillvärme
Energisänka	Gruppcentr	Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme
Lagertyp	Säsong	Korttid	Säsong	Säsong
Temperatur	MT/HT	HT	LT	MT/HT
Komplement	-	-	Värmepump	-
	B	A	B	B

Nr	10	11	12	13	14
Energikälla	Solvärme	Solvärme	Solvärme	Solvärme	Solvärme
Energisänka	Småhus	Flerfam hus	Industri	Industri	Industri
Lagertyp	Korttid/ståltank	Korttid/ståltank	Korttid	Säsong	Korttid
Temperatur	MT/HT	HT	HT	LT	MT/HT
Komplement	-	-	-	Värmepump	-
Anm	B	B	C	C	C

Nr	15	16	17	18	19
Energikälla	Solvärme	Solvärme	Solvärme	Solvärme	Solvärme
Energisänka	Gruppcentr	Gruppcentr	Gruppcentr	Fjärrvärme	Fjärrvärme
Lagertyp	Korttid	Säsong	Säsong	Korttid	Säsong
Temperatur	HT	LT	MT/HT	HT	LT
Komplement	-	Värmepump	-	-	Värmepump
	B	B	B	B	B

Nr	20						
Energikälla	Solvärme						
Energisänka	Fjärrvärme						
Lagertyp	Säsong						
Temperatur	MT/HT						
Komplement	-						
	B						

Nr	21	22	23	24	25
Energikälla	Fastbränsle	Fastbränsle	Fastbränsle	Fastbränsle	Fastbränsle
Energisänka	Småhus	Flerfam hus	Industri	Industri	Gruppcentr
Lagertyp	Korttid/ståltank	Korttid/ståltank	Korttid	Säsong	Korttid
Temperatur	HT	HT	HT	MT/HT	HT
Komplement	-	-	-	-	-
	A	A	A	C	A

Nr	26	27	28	
Energikälla	Fastbränsle	Fastbränsle	Fastbränsle	
Energisänka	Gruppcentr	Fjärrvärme	Fjärrvärme	
Lagertyp	Säsong	Korttid	Säsong	
Temperatur	MT/HT	HT	MT/HT	
Komplement	-			
	C	A	C	

Nr		29	30			
Energikälla		Kraftvärme överskott	Kraftvärme överskott			
Energisänka		Fjärrvärme	Fjärrvärme			
Lagertyp		Korttid	Säsong			
Temperatur		HT	MT/HT			
Komplement		-	-			
		A	B			

Nr	31	32	33	34	35
Energikälla	E1, vattenburen	E1, vattenburen	E1, vattenburen	E1, vattenburen	E1, vattenburen
Energisänka	Småhus	Flerfam hus	Industri	Industri	Gruppcentr
Lagertyp	Korttid/ståltank	Korttid/ståltank	Korttid	Säsong	Korttid
Temperatur	HT	HT	HT	MT/HT	HT
Komplement	-	-	-	-	-
	A	A	A	C	A

Nr	36	37	38	
Energikälla	E1, vattenburen	E1, vattenburen	E1, vattenburen	
Energisänka	Gruppcentral	Fjärrvärme	Fjärrvärme	
Lagertyp	Säsong	Korttid	Säsong	
Temperatur	MT/HT	HT	MT/HT	
Komplement	-	-	-	
	B	A	B	

Nr	39	40				
Energikälla	Ytvatten	Ytvatten				
Energisänka	Gruppcentral	Fjärrvärme				
Lagertyp	Säsong	Säsong				
Temperatur	LT	LT				
Komponent	Värmepump	Värmepump				
	B	B				

Sammanställning av tabeller
1,1 - 1,11

A = mycket intressant
B = intressant
C = tveksamt

Mycket intressanta (A)

Energikälla	Energisänka	Typ	Temperaturnivå
Spillvärme	Ind	Korttid	HT
Spillvärme	Grupp	"	"
Spillvärme	Fjv	"	"
Fastbränsle	Småhus	"	"
Fastbränsle	Flerfam	"	"
Fastbränsle	Indust	"	"
Fastbränsle	G-cent	"	"
Fastbränsle	Fjv	"	"
Kraftvärme- överskott	Fjv	"	
El v-buren	Småhus	"	
El v-buren	Flerfam	"	
El v-buren	Industri	"	
El v-buren	G-cent	"	
El v-buren	Fjv	"	

B Intressant

Spillvärme	GC	Säsong	LT	VP
Spillvärme	GC	"	HT	
Spillvärme	FV	"	LT	VP
Spillvärme	FV	"	HT	
Solvärme	SH	Korttid	MT/HT	
Solvärme	FFH	"	MT/HT	
Solvärme	GC	"	HT	
Solvärme	GC	Säsong	LT	VP
Solvärme	GC	"	MT/HT	
Solvärme	Fjv	Korttid	HT	
Solvärme	Fjv	Säsong	LT	VP
Solvärme	Fjv	"	MT/HT	
Kraftvärme- överskott	Fjv	Säsong	MT/HT	
El v-buren	Fjv	Säsong	MT/HT	
Ytvatten	GC	Säsong	LT	VP
Ytvatten	Fjv	"	LT	VP

C Tveksamt

Spillvärme	Industri	Säsong	LT	VP
Spillvärme	Industri	"	MT/HT	
Solvärme	Industri	Korttid	HT	
Solvärme	Industri	Säsong	LT	VP
Solvärme	Industri	Korttid	MT/HT	
F-bränsle	Industri	Säsong	MT/HT	
F-bränsle	GC	"	MT/HT	
F-bränsle	Fjv	"	MT/HT	
El v-buren	Industri	Säsong	MT/HT	

**Denna rapport hänfö- sig till forskningsanslag 830761-0
från Statens råd för byggnadsforskning till ÅF-Energikonsult
AB, Stockholm.**

Art.nr: 6705047

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms

R47: 1985

ISBN 91-540-4368-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm