



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

R105:1986

**Solvärmelagring med höga
temperaturer i lera för
flerfamiljshus i Kullavik**

Utvärdering

Stefan Olsson

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

*K/O
A*

Byggeforskningsrådet

R105:1986

SOLVÄRMELAGRING MED HÖGA TEMPERATURER I LERA
FÖR FLERFAMILJSHUS I KULLAVIK

Utvärdering

Stefan Olsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821763-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Eksta Bostads-
stiftelse, Kungsbacka.

REFERAT

I Kullavik har Eksta Bostadsstiftelse byggt ett antal flerfamiljs-
hus som har försetts med ett uppvärmningssystem bestående av tak-
integrerade solfångare, värmelager i lera, värmepump och olje-
panna. Uppgiftens syfte har varit att mäta temperaturer och flö-
den i rörsystemet och därvid möjliggöra utvärdering av funktionen
hos såväl hela som delar av systemet. Vidare har mätningar gjorts
för att klargöra höga temperaturers inverkan på leran och dess
egenskaper.

Driftserfarenheterna efter 2,5 års drifttid är goda. Något
egentligt driftavbrott har inte skett utan anläggningen har
fungerat som tänkt.

Energimätningarna ger som resultat att uppnådda resultat i stort
sett överensstämmer med förväntningarna. Oljebesparingen är 82%
jämfört med 90% som beräknades vid projekteringen. Merinveste-
ringen för solvärmesystemet är 5,4 kr per producerad kWh (sol)
i prisläge december 1985. Totala solenergikostnaden inkl. kapital-
och underhållskostnader beräknas till 46 öre/kWh.

Mätningarna på leran visar att lerans geotekniska egenskaper har
förändrats. Framtida sättningar inom lagerytan befaras, dock
kommer intilliggande byggnaders fortbestånd inte att äventyras.
Lerans termodynamiska egenskaper har endast förändrats marginellt.
Observationsperioden har visat på ett antal fenomen, som kan vara
värda att beakta vid framtida nyttjande av värmelager i lera.

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

R105:1986

ISBN 91-540-4639-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLLSFÖRTECKNINGSID

1.	INLEDNING	1
1.1	Förord	1
1.2	Sammanfattning	2
2.	BESKRIVNING AV VÄRMESYSTEMET	3
2.1	Solfångare	4
2.2	Värmelager	5
3.	DRIFTERFARENHETER	7
4.	RESULTAT AV ENERGITEKNISKA MÄTNINGAR	9
4.1	Producerad - konsumerad energi	9
4.2	Energiförbrukning	11
4.3	Energiproduktion	14
4.3.1	Solfångare	15
4.3.2	Värmelager	17
4.3.2.1	HT-zonen	17
4.3.2.2	LT-zonen	20
4.3.3	Värmepump	23
4.3.4	Oljepanna	25
4.4	Jämförelse med beräknade resultat	25
5.	EKONOMI	28
5.1	Kostnader	28
5.2	Lönsamhet	28
6.	RESULTAT AV GEOTEKNISKA MÄTNINGAR	30
6.1	Porvattentryckens utveckling.....	30
6.2	Sättningsmätningar	31
6.3	Deformationsegenskaper	31
6.4	Förändringar av de fysikaliska egenskaperna	33
6.5	Förändring av lerans skjuvhållfasthet	33
7.	SLUTSATSER	36
8.	REFERENSER	38

1. INLEDNING

1.1 Förord

Lindälvsskolan i Kungsbacka försågs 1980 med ett värmesystem bestående av bl a lågtemperatursolfångare, värmelager i lera samt värmepumpar. Syftet med det projektet var att reducera oljeförbrukningen och att bygga en demonstrationsanläggning för att öka kunskaperna om säsongslagring av solenergi i lera.

Som ett led i utvecklingen färdigställdes Kullavikprojektet sommaren 1983. I detta projekt gick man vidare och försåg värmesystemet med medeltemperatursolfångare och ett zonindelad värmelager i lera. Värmelagret består av en högtemperaturzon (HT) och en lågtemperaturzon (LT). HT-zonen används som korttidslager och uppnår ca 50 grad. C på sommaren medan LT-zonen, som utgör långtidslager, arbetar mellan ungefär 7 och 20 grad. C.

Eksta Bostadsstiftelse var byggherre och finansierade värmeanläggningen på normalt vis med statliga lån förutom värmelagret som Byggeforskningsrådet beviljade experimentbyggnadslån för.

Förutom denna utvärderingsrapport har även en förstudie och anläggningsrapport skrivits med medel från Byggeforskningsrådet (1).

Leif Nilsson vid Mätcentralen för energiforskning på Chalmers Tekniska Högskola har utfört energimätningarna på projektet medan Stefan Olsson, AB Andersson & Hultmark har ansvarat för utvärderingen. De geotekniska mätningarna och därmed förenlig utvärdering har utförts av Kent Adolfsson, Hagconsult AB.



Flerfamiljshus med solfångare i Kullavik

1.2 Sammanfattning

I föreliggande rapport beskrivs inledningsvis värmesystemet i Kullavik-projektet. Värmesystemet består förutom av en oljepanna även av en värmepump, takintegrerade medeltemperatursolfångare och ett zonindelad markvärmelager i lera.

En del av producerad solenergi levereras direkt till värmesystemet via värmelagrets högtemperaturzon som utgör ett korttidslager under sommaren. Värmelagrets lågtemperaturzon, som utgör säsongslager för solenergin, försör värmpumpen med energi. Värmpumpen är inte dimensionerad för att täcka hela effektbehovet utan oljepannan går in under årets kallare period.

Drifterfarenheterna efter 2,5 års drifttid är goda. Något egentligt driftavbrott har inte skett utan anläggningen har fungerat som tänkt.

Under driftperioden har dels energimätningar och dels geotekniska mätningar på leran blivit utförda.

Värmelasten har utökats under driftperioden, vilket inte var planerat vid projekteringen. En jämförelse av driftresultaten med projekterade värden har därför krävt en justering av de uppmätta värdena då en större last innebär förändrade driftbetingelser för solsystemet. Dessa beräkningar, utgående från mätresultaten, visar att uppnådda resultat i stort sett överensstämmer med förväntningarna. Oljebesparingen är 82% jämfört med 90% som beräknades vid projekteringen. Merinvesteringen för solvärmesystemet är 5,4 kr per producerad kWh (sol) i prisläge december 1985. Totala solenergikostnaden inkl. kapital- och underhållskostnader beräknas till 46 öre/kWh.

Mätningarna på leran visar att lerans geotekniska egenskaper har förändrats. Framtida sättningar inom lagerytan befaras, dock kommer intilliggande byggnaders fortbestånd inte att äventyras. Lerans termodynamiska egenskaper har endast förändrats marginellt. Observationsperioden har visat på ett antal fenomen, som kan vara värda att beakta vid framtida nyttjande av värmelager i lera.

2. BESKRIVNING AV VÄRMESYSTEMET

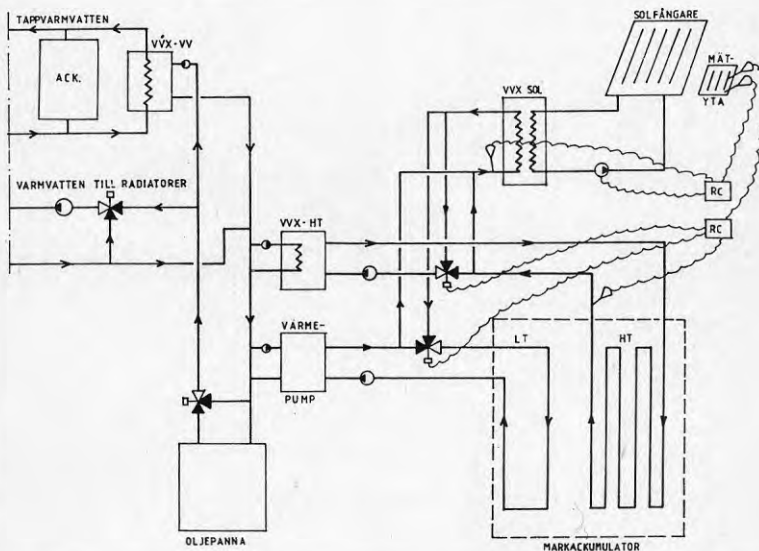
I detta kapitel beskrivs inte värmesystemet i detalj. I förstudie- och anläggningsrapporten (1) finns dock en detaljerad beskrivning.

I ett centralt apparatrum produceras värme för uppvärmning och varmvatten. Ett lokalt kulvertnät distribuerar värme och varmvatten till flerfamiljs-husen och radhusen.

När värmesystemet projekterades 1982 dimensionerades värmeproduktionskapaciteten för fyra flerfamiljshus med sammanlagt 40 lägenheter med den totala bostadsytan 3230 m² (81 m²/lgh), vilket var aktuellt då. Sedan dess har värmelasten utökats till totalt 75 lägenheter med en sammanlagd bostadsyta på 6600 m².

Den första utbyggnadsetappen, som färdigställdes i maj 1984, omfattade 18 radhuslägenheter på totalt 1962 m² bostadsyta (109 m²/lgh). I samband med denna utbyggnad ökades den totala kulvertlängden från ca 160 m till ca 270 m. I september 1985 blev ytterligare ett flerfamiljshus med 17 lägenheter färdigbyggt. Bostadsytan i detta fall var 1429 m² eller 84 m²/lgh.

För att bereda varmvatten används en värmeväxlare och ackumulatortankar. På så sätt begränsas effektuttaget till 40 kW. Framledningstemperaturen till radiatorerna styrs av en shuntgrupp vilken kompenserar för utomhus-temperaturen. Se figur 2.1.



Figur 2.1 Principschema Kullavik

På returledningen från radiatorerna och värmeväxlaren för varmvattenberedning är inkopplat en värmeväxlare för direkt solenergitillförsel (VVX-HT), en värmepump och en oljepanna.

Värmeväxlaren VVX-HT är sammankopplad med den inre zonen i värmelagret (HT) och värmeväxlaren VVX-SOL som förbinder sol- och lagerkretsarna. Solfångarna producerar energi via VVX-SOL och VVX-HT direkt in till förbrukarsystemet. Överskottsenergi lagras i HT-zonen som fungerar som ett korttidslager under sommaren.

Värmepumpens förångarsida är kopplad till värmelagrets yttre zon (LT) och VVX-SOL. Producerad solenergi levereras till värmepumpens förångare och till LT-zonen i värmelagret.

Beroende på temperaturnivån i HT-zonen och solinstrålningen styr de två trevägsventilerna (se figur 2.1) flödet från VVX-SOL (och därmed producerad solenergi) till antingen HT-kretsen eller LT-kretsen.

I solfångarkretsen cirkulerar en blandning av 50% propylenglykol och 50% vatten. Detta för att undvika frysning. Solfångarkretsen är enl. figur 2.1 avskild från lagerkretsen med värmeväxlaren VVX-SOL. I lagerkretsen cirkulerar enbart vatten.

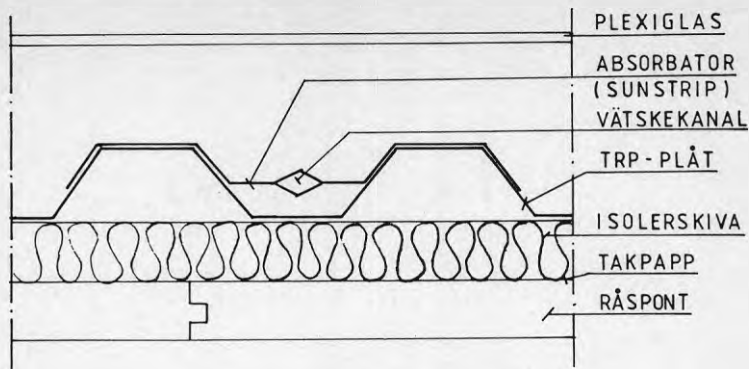
I första hand värms returledningen från radiatorer och varmvattenberedning med direkt solenergi via VVX-HT. Detta förekommer framför allt under sommaren men även under soliga perioder under vår och höst.

När effektbehovet inte klaras helt med direkt solenergi startar värmepumpen och tillför anläggningen ytterligare effekt. Värmepumpen är dimensionerad för att klara halva det ursprungliga effektbehovet så när effektbehovet blir större än värmepumpens kapacitet kopplas oljepannan in och kompletterar värmepumpen. Oljepannan är dimensionerad för hela det ursprungliga effektbehovet.

För att klara det ökande effektbehovet p g a utökningen av värmelasten har anläggningen kompletterats med en elpanna kopplad parallellt med oljepannan.

2.1 Solfångare

Två av byggnaderna har försetts med totalt 540 m² takintegrerade solfångare med blå svartmålad men ej selektiv absorberator och täckskiva av plexiglas. Taklutningen är 27 grader. Knappt hälften (40%) av solfångarytan är riktad mot söder medan resten är riktad mot sydost.



Figur 2.2 Princip takintegrerad solfångare

Taket är byggt på normalt sätt med takstolar och råspont. Istället för läkt och takpannor byggs solfångaren enl. figur 2.2 med isolerskiva, absorbator och plexiglas. Solfångaren är således, förutom energi-producent, också taktäckning.

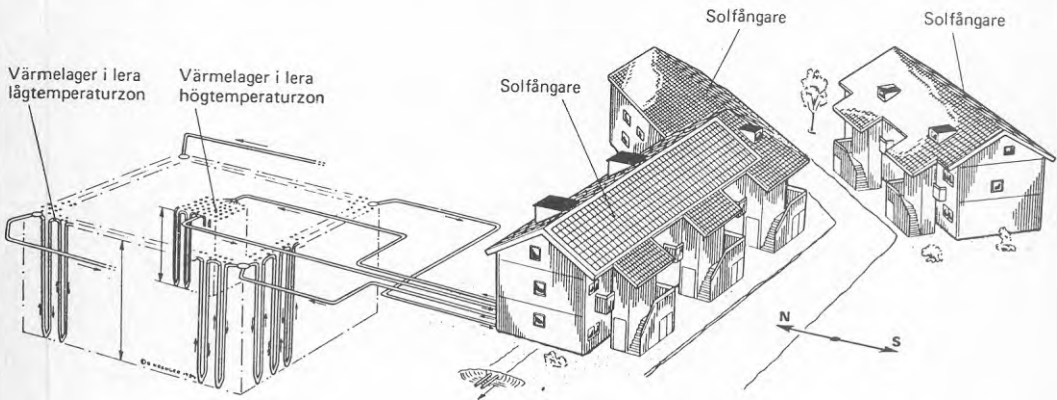
2.2 Värmelager

Den naturliga leran invid de aktuella husen i Kullavik används som värmelager. Värmelagret är uppdelat i två zoner: högtemperaturzon (HT) och lågttemperaturzon (LT). Som värmeväxlare mellan leran och det cirkulerande vattnet har installerats plaströr av PEH (dy = 32 mm) vertikalt i leran.

I lagrets centrum är HT-zonen placerad. HT-zonen består av 200 m³ lera med måtten 5 x 5 x 8 meter (l x b x d). Drygt 2000 m plaströr är placerade vertikalt i denna zon.

Den yttre zonen (LT) omger HT-zonen. Rören är placerade i tre rader runtomkring lagret. Totalt finns här 3550 m plaströr som sträcker sig ner till 12 meters djup. LT-zonen är kvadratisk, med sidan 26 meter, och har en total volym på ca 8100 m³.

Solvärmesystem med säsongslagring i lera i Kullavik



Figur 2.3 Värmelager i lera och solfångare i Kullavikprojektet (ur G26:1984, Energi -85, Byggeforskningsrådet)

3. DRIFTERFARENHETER

Kullavik-projektet togs i drift i slutet av juni 1983.

Vid idrifttagningen uppmärksammades att flödet i LT-kretsen endast var 30% av det projekterade flödet. Efter undersökning visade det sig att förångaren i värmepumpen gav ett mycket större tryckfall än vad projekteringsanvisningarna från fabrikanten visade. På grund att flödet var litet tvingades solfångarna arbeta vid en betydligt högre temperatur än nödvändigt, varför producerad solenergi blev lägre än beräknat och LT-zonen värmdes endast till 12 grad. C under första sommaren.

En annan orsak till att temperaturen i LT-zonen endast blev 12 grad. C var att det stora tryckfallet i värmepumpen omöjliggjorde avluftning av rörsystemet i marken. En ny pump installerades i slutet av augusti och där efter gjordes en avluftning. Flödet stämde nu med det projekterade.

Under sommarperioden 1983 pågick bygget av flerfamiljs-husen fortfarande. Sålunda användes en hel del solenergi direkt till att driva ut fukt ur lägenheterna istället för att laddas ner i HT-zonen. Ett igensatt filter orsakade att flödet i HT-kretsen endast var ca 70% av projekterat flöde. Detta innebar att solfångarna arbetade vid en onödigt hög temperatur. Under sommaren prioriterades leverans till LT-zonen, vilket var olyckligt eftersom flödet där var litet och upptäcktes först i augusti. Trots dessa förhållanden och att dessutom leran var kall från början (ca 8 grad. C) värmdes HT-zonen till ca 48 grad. C i slutet av augusti 1983.

Anläggningen har som helhet fungerat bra. Värmepumpen stod stilla några dagar under våren 1985 på grund av ett elektriskt fel. Annars har värmepumpen varit mycket driftsäker. Oljepannan har också fungerat till full belåtenhet. Från början var inte styr- och regleranläggningen injusterad vilket ledde till vissa mindre felaktigheter till exempel för låg varmvattentemperatur och onödigt mycket drift av oljepannan. Efter injustering har anläggningen fungerat enligt förväntningarna.

Plexiglasskivorna på solfångarna hölls från början fast av enbart gummilister. Efter några månader upptäcktes att skivorna hade börjat glida ner mot takfoten. Detta problem eliminerades genom att man satte brickor över gummilisten där plexiglasskivorna överlappar varandra.

Skorstenen sticker upp genom taket på norrsidan strax bakom solfångarna. Röken från skorstenen har belagt en del av solfångarytan med ett tunt brunt skikt som inte spolats bort med regnet. Övrig smuts som damm och jord regnar bort från plexiglaset. En viss konstant mängd av smuts ligger dock alltid kvar på täckskivorna.

Försämringen i ljusgenomsläpplighet p g a smutsen är liten.

Snö på solfångarna rasar av redan i februari vid vackert väder. Detta beror på att plexiglaset blir glatt då det kommer i kontakt med vatten. Snö på övriga delar av taket med vanliga tegelpannor, ligger kvar längre än på solfångarna.

Rörsystemet i värmelagret utgörs enl. tidigare av PEH-rör. Temperaturen på vattnet i rörsystemet har varierat från ca +4 grad. C på vintern till ca +60 grad. C på sommaren och därmed utsätts rören för värmespänningar. Efter 2,5 års drift kan man konstatera att rören har motstått påfrestningarna då inga läckage har uppkommit.

4. RESULTAT AV MÄTNINGAR

Mätcentralen vid Chalmers Tekniska Högskola har ansvarat för mätningarna på detta projekt. Mätprogrammet omfattar mätning av flöden, temperaturer, värmepumpens elförbrukning samt elförbrukningen hos de pumpar som har tillkommit jämfört med ett konventionellt uppvärmningssystem utan solenergi.

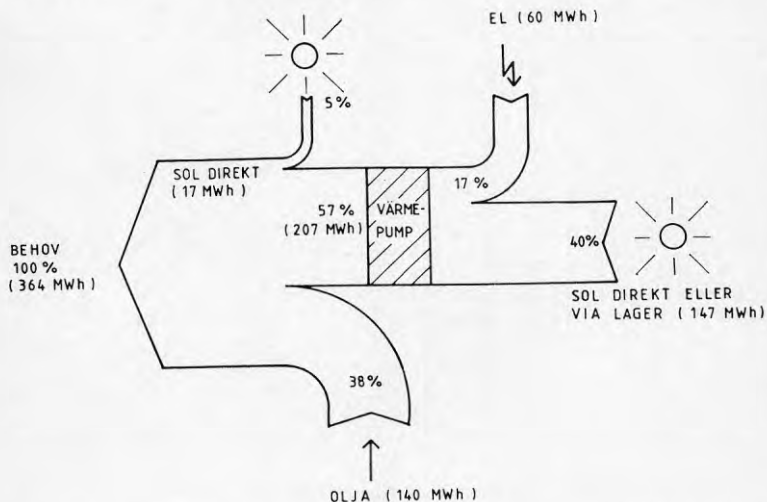
Varannan minut registreras totalt 27 mätvärden varefter energimängder beräknas. Varje timme bildas ett timmedelvärde av de 30 registreringarna. Timmedelvärdet lagras på diskett för att i efterhand lagras på stor datorn på Mätcentralen på Chalmers. För utvärdering är således data åtkomliga som timvärden.

I detta kapitel presenteras resultatet av mätningarna under tvåårsperioden oktober 1983 - september 1985. Under denna tid har värmelasten ökat från 40 till 75 lägenheter enligt kap. 2, vilket medför förändrade förutsättningar för solvärmesystemet.

För att ändå kunna jämföra uppmätta resultat med beräknade värden har beräkningar gjorts, utgående från mätvärden, för att försöka visa hur resultatet blivit om värmelasten inte hade utökats. Detta redovisas i slutet av kapitlet.

4.1 Producerad - konsumerad energi

Uppmätt värmebalans för första driftåret oktober 1983 - september 1984 visas i figur 4.1.



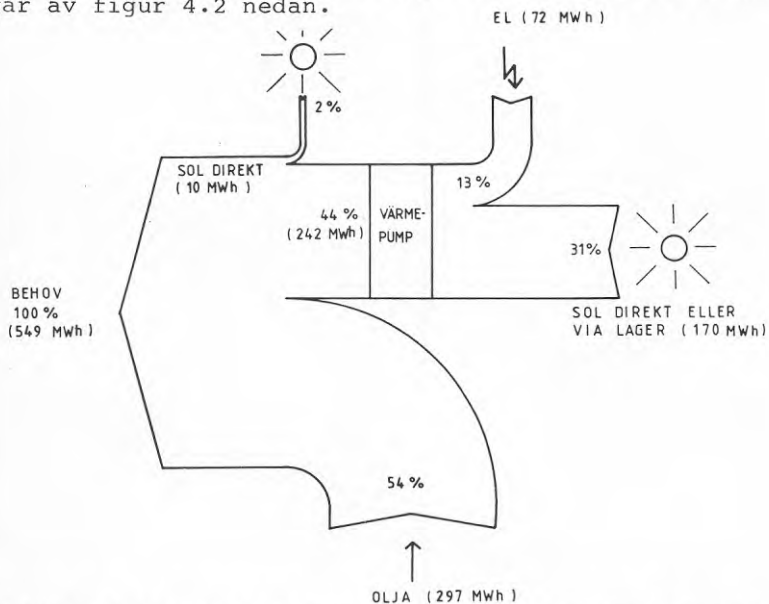
Figur 4.1 Värmebalans producerad - konsumerad energi (okt 83 - sept 84); jmf. kap. 4.4

Då LT-zonen i värmelagret endast värmdes till 12 grad. C sommaren 1983, av de anledningar som nämndes i kapitel 3, tog energin slut där redan i december och oljepannan fick alltså producera mer värme än beräknat.

I april 84 anslöts nio nya lägenheter och i maj ytterligare nio. Med häsyn tagen till det ökande antalet lägenheter är den totala energiförbrukningen normal. Normalårskorrigerad energiförbrukning är 310 MWh med 40 lägenheter anslutna.

Mängden levererad solenergi var 163 MWh. Värmepumpens årsvärmefaktor blev 3,45.

Andra driftårets (okt 84 - sept 85) värmebalans framgår av figur 4.2 nedan.



Figur 4.2 Värmebalans producerad - konsumerad energi (okt 84 - sept 85); jmfkr kap. 4.4

Under det andra årets drift var 58 lägenheter anslutna till värmecentralen sånär som på september 1985 då ytterligare 17 lägenheter kopplades till systemet.

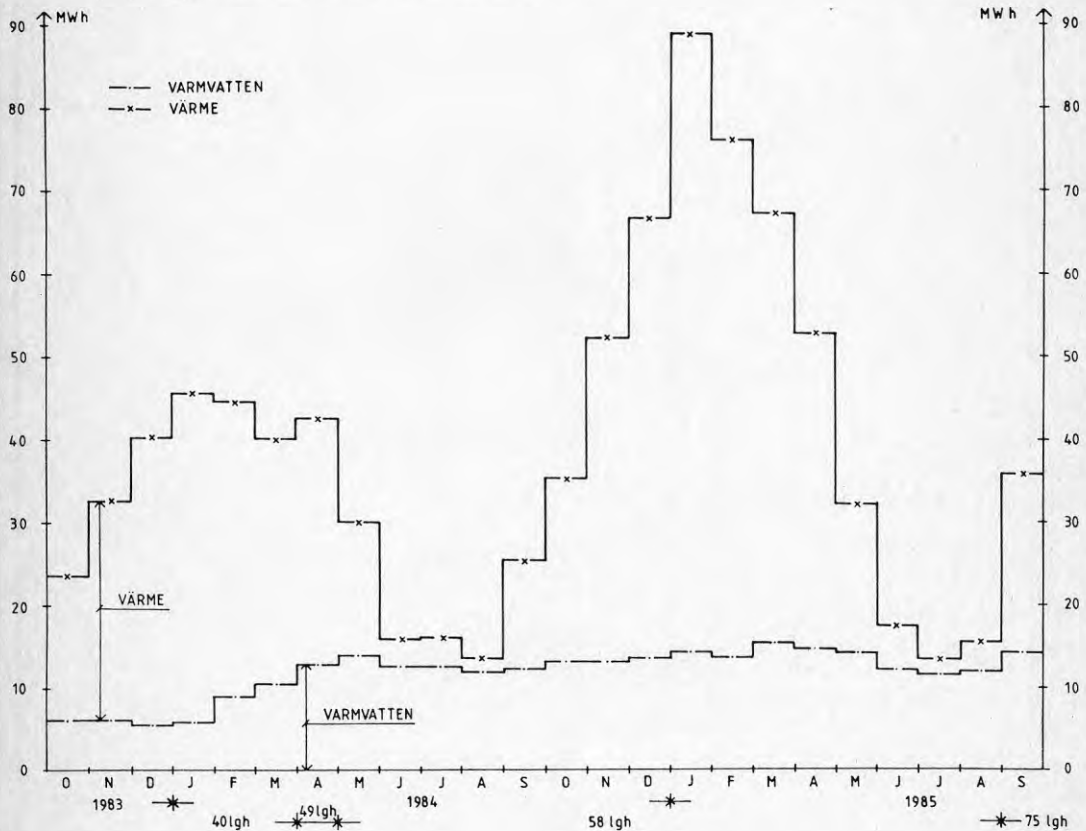
Den stora ökningen i energibehov (50%) beror dels på att antalet anslutna lägenheter var större och dels på den stränga vintern 84-85. Normalårskorrigerad energiförbrukning är 520 MWh med 58 lägenheter anslutna.

Eftersom värmelasten ökade minskade andelen energi från värmepumpen som har relativt konstant kapacitet. Våren och sommaren 1985 var solfattiga (17% mindre solinstrålning än normalt), vilket bl a innebar att mängden direkt tillförd solenergi blev liten.

Trots mindre solinstrålning än normalt levererades 180 MWh solenergi d v s 10% mer än under första driftåret. Detta beror på den lägre temperaturnivån i värme-lagret. Denna påverkar även värmepumpens årsvärmeffaktor som blev 3,37 under det andra driftåret.

4.2 Energiförbrukning

Energiförbrukningen mäts i apparatrummet d v s de förbrukningar som redovisas i detta kapitel inkluderar kulvertförluster, VVC-förluster och förluster från varmvattenackumulatorerna.



Figur 4.3 Energiförbrukning

Varmvattenförbrukningen är påfallande jämt fördelad över året.

Anledningen till detta kan vara att den stora andelen äldre människor och barnfamiljer stannar hemma under sommaren och därmed håller varmvattenförbrukningen uppe.

I radhuslägenheterna har varmvattenförbrukningen varit ca 4500 kWh/lägenhet och år eller 41 kWh/m² bostadsyta och år.

I de 40 först byggda lägenheterna (flerfamiljshusen) bor det ungefär 90 personer varav ca 10 är pensionärer och ca 25 är barn. Förbrukningen beräknad per person blir ca 930 kWh/år vilket motsvarar 49 liter/dygn i genomsnitt.

I radhuslägenheterna bor det ungefär 60 personer varav ca 30 är barn. Varmvattenförbrukningen per person blir 1350 kWh/år vilket motsvarar 71 liter/dygn i genomsnitt.

Förlusteffekten från varmvattenackumulatorerna och varmvattencirkulationen beräknas utgående från mätningar till i medeltal ca 7 kW. Omräknat till energi utgör dessa två förluster ungefär en tredjedel av den totala energiförbrukningen för varmvattenberedning. Detta förhållande gäller med 58 lägenheter anslutna med en ungefärlig kulvertlängd på 270 m.

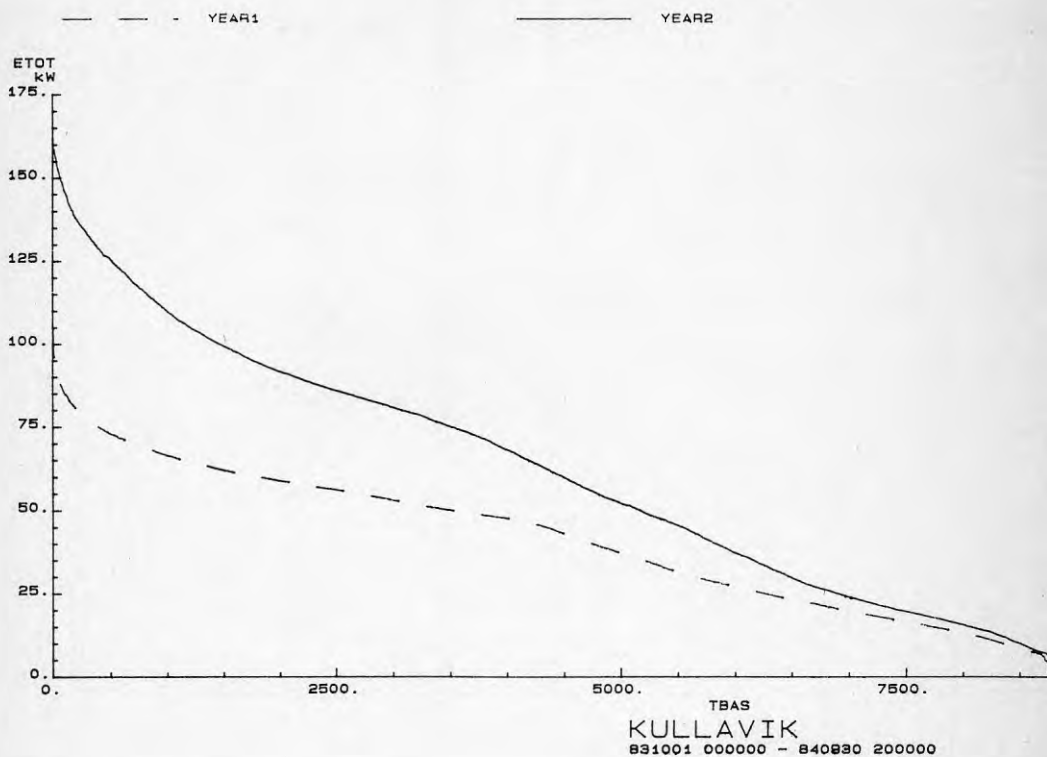
Värmebehovet var betydligt större under det andra året vilket framgår av figur 4.3. Detta beror dels på det större antalet anslutna lägenheter och dels på den stränga vintern 84-85. Antalet graddagar under eldningssäsongen 84-85 var 3582 eller 6% mer än normalt. Under januari 1985 var antalet graddagar 30% mer än normalt!

Från mätningar beräknad och normalårskorrigerad värmeförbrukning i de 40 ursprungliga lägenheterna är 225 MWh/år eller 70 kWh/m² bostadsyta och år.

Likaså från mätningar beräknad och normalårskorrigerad värmeförbrukning i radhuslägenheterna är 130 MWh/år eller 66 kWh/m² bostadsyta och år.

Kulvertförlusterna beräknas från fabrikantuppgifter vara ca 30 MWh/år eller 110 kWh/m kulvert och år, vilket motsvarar ca 10% av totalt från apparatrummet levererad energi med 58 lägenheter anslutna.

Figur 4.4 visar varaktighetsdiagram för totala effektbehovet (värme + varmvatten). Maximalt uppmätt totalt effektbehov (timmedelvärde) var under första årets drift 112 kW och under andra året 164 kW. Utnyttningstiden blir ca 3250 timmar.



Figur 4.4 Totala effektbehovets varaktighet

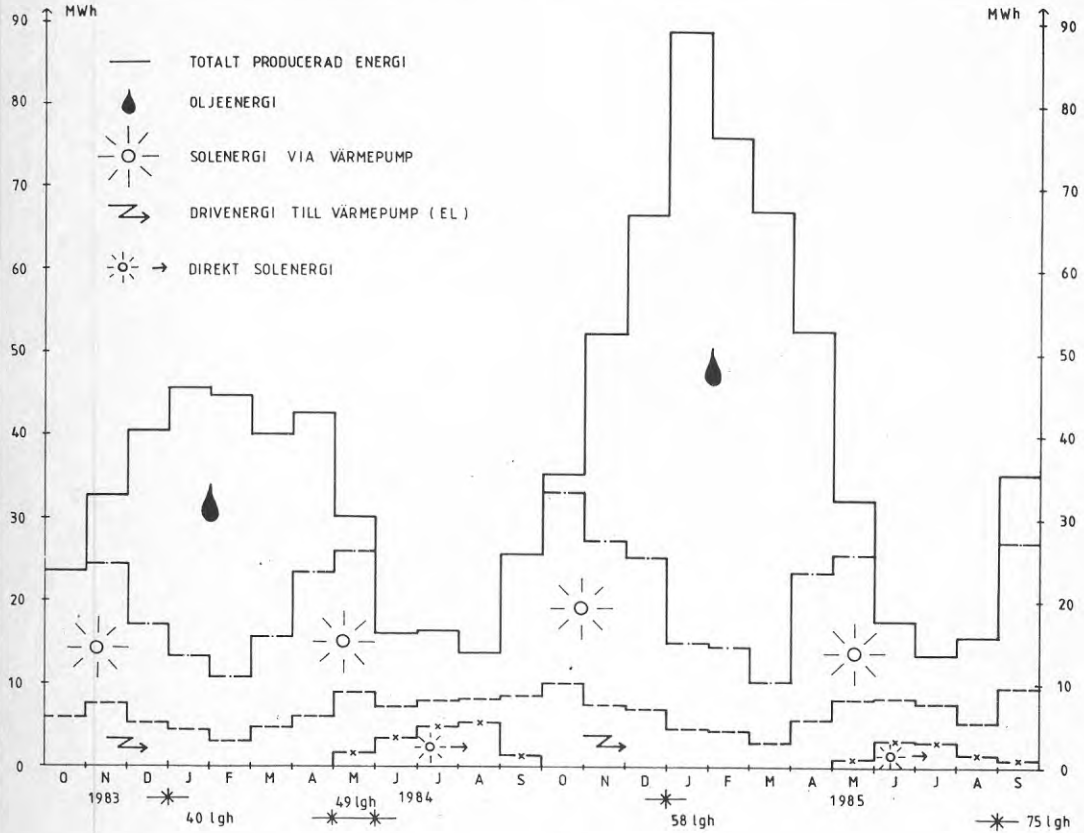
Tabellen nedan visar uppmätta timmedelvärden på utomhustemperaturen.

	<u>Min</u>	<u>Max</u>	<u>Årsmedel</u>
1:a året	-12,3	+27,8	8,1
2:a året	-21,3	+27,9	7,0

Tabell 4.1 Utomhustemperaturen (timmedelvärden)
(grad. C)

4.3 Energiproduktion

Energiproduktion sker enligt tidigare med direkt solenergi, värmepump och oljepanna.



Figur 4.5 Energiproduktion

I figur 4.5 framgår hur producerad energi varierar månadsvis under utvärderingsperioden. Vidare framgår hur mycket av den producerade energin som är solenergi, drivenergi till värmepumpen och oljeenergi.

Under första driftåret klarade den direkta solenergin av ca 1/3 av lasten under sommaren. Värmepumpen tillsammans med den direkta solenergin täckte behovet helt under perioden juni t o m oktober. Övriga månader bidrog oljepannan med energi för att behovet skulle kunna täckas.

I figur 4.1 i kap. 4.1 framgår värmebalansen mellan producerad och konsumerad energi under första driftåret.

Under andra driftåret med en dålig sommar och en lång vinter samt en större last är förhållandena något annorlunda. Ungefär 1/5 av sommarens last klarades med direkt solenergi. Under juni, juli och augusti klarade den direkta solenergin tillsammans med värmepumpen hela behovet. Resterande del av året producerade oljepannan energi för att behovet skulle kunna täckas.

I figur 4.2 i kap. 4.1 framgår värmebalansen mellan producerad och konsumerad energi under andra driftåret.

För att producera solenergi direkt och via värmepumpen har fem extra cirkulationspumpar (jämfört med ett konventionellt värmesystem) behövt installeras. Dessa cirkulationspumpar förbrukar ca 15 MWh elenergi per år.

4.3.1 Solfångare

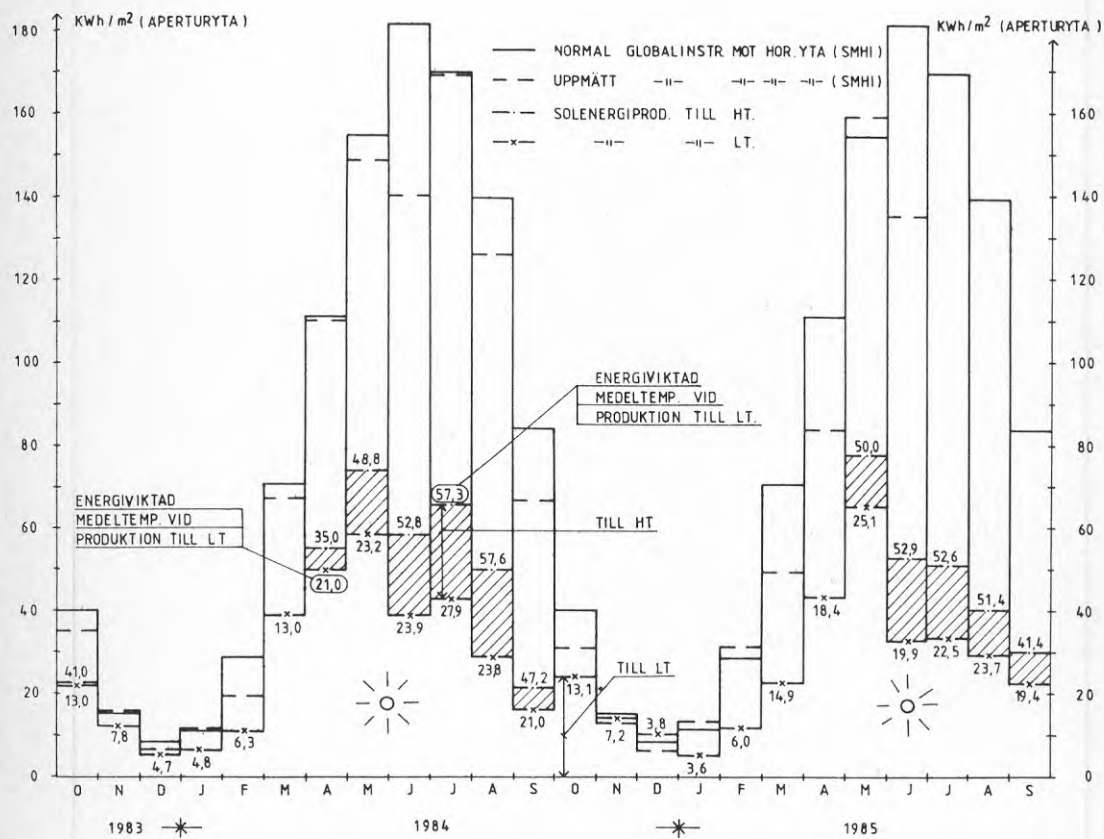
De takintegrerade solfångarna, med icke selektiv absorberareyta, arbetar enligt tidigare antingen mot värmelagrets högttemperaturzon (HT) eller lågtemperaturzon (LT). För att styra den producerade solenergin till HT eller LT finns en referenssolfångare uppsatt på taket. På denna mäter man solfångarens aktuella stagnationstemperatur. När solfångarens stagnationstemperatur överstiger temperaturen på flödet upp från HT-zonen med ett antal grader växlar två tre-vägsventiler läge och solenergin levereras till HT-zonen. Under dessa två driftår har den ovan nämnda temperaturdifferensen varit inställd på ca 25 grad. C. Se figur 2.1 i kap. 2.

I figur 4.6 framgår normal och uppmätt globalinstrålning mot ett horisontellt plan i Göteborg (SMHI). Under den aktuella tvåårs-perioden har endast under fyra månader solinstrålningen varit större än normalt. I maj 1985 var solinstrålningen 3,5% högre vilket är den största avvikelserna över normalvärdena. Den största avvikelserna under normalvärdena hade mars månad 1985 då instrålningen var 31% lägre än normalt. Under april och juni 1985 var solinstrålningen 25% lägre än normalt.

Normalårsinstrålningen mot horisontell yta är 1012 kWh/m². Första driftåret var instrålningen 915 kWh/m² (-10%) och andra året 855 kWh/m² (-15%).

I figur 4.6 framgår vidare producerad solenergimängd till HT resp. LT. Dessutom redovisas energiviktad medeltemperatur i solfångaren månadsvis.

Produktionen till HT sker som väntat under sommaren. Den energiviktade medeltemperaturen ligger konstant kring ca 50 grad. C. Under första driftåret producerades 44 MWh (90 kWh/m² aperturyta) solenergi till HT. Motsvarande siffra under andra året var 33 MWh (67 kWh/m² aperturyta). Den energiviktade medeltemperaturen var 52,9 grad. C resp. 50,5 grad. C.



Figur 4.6 Solinstrålning och solproduktion

Instrålad solenergimängd mot ett horisontalplan enl. SMHI är endast 5% mindre under perioden maj-augusti 1985 än under 1984. Ändå är producerad solenergimängd till HT under samma period, enl. ovan, 25% lägre 1985 än 1984. Förklaringen till detta torde vara att solinstrålningen under 1984 i medeltal skedde vid högre effekter än under 1985. För att producera energi till HT krävs nämligen, enligt tidigare, att stagnations-temperaturen på mätsolfångaren överstiger temperaturen på returvattnet från HT med 25 grad. C.

Solenergiproduktionen till LT sker, enligt figur 4.6, under hela året d v s även under vintermånaderna. Detta är möjligt då temperaturen i systemet vid dessa tillfällen är låga.

Produktionen till LT var under första året 164 MWh (336 kWh/m² aperturyta). Motsvarande siffra under andra året var 154 MWh (316 kWh/m² aperturyta). Den energiviktade medeltemperaturen var 20,3 grad. C resp. 18,4 grad. C.

	<u>LT</u>	<u>HT</u>	<u>Instr</u>	<u>Instr. normal</u>
1:a året	336 (20,3 gr.C)	90 (52,9 gr.C)	915	1012
2:a året	316 (18,4 gr.C)	67 (50,5 gr.C)	855	1012

Tabell 4.2 Sammanställn. prod. solenergi per m² aperturyta och instrål. solenergi mot ett horisontalplan (kWh/m²)

Totalt producerade solfångarna 416 kWh/m² aperturyta första året med en energiriktad medeltemperatur på 27 grad. C. Motsvarande siffror för andra året var 383 kWh/m² resp. 24 grad. C.

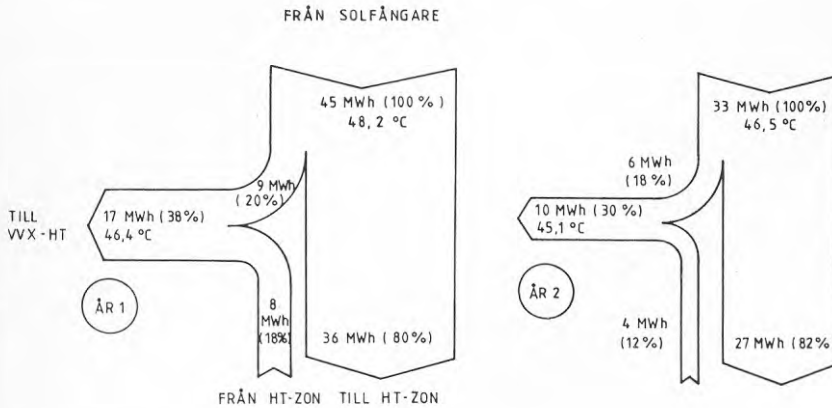
4.3.2 Värmelager

Värmelagret, som utgörs av den naturliga leran invid husen, är uppdelad i en högtemperaturzon och en lågtemperaturzon. Den första är kopplad direkt till värmesystemet och utgör ett korttidslager under sommaren. Lågtemperaturzonen, som är kopplad till värmepumpen, utgör ett säsongslager från sommar till vinter.

4.3.2.1 HT-zonen

Värmelagrets centrala del, HT-zonen, är sammankopplad med solfångarna och värmesystemet (VVX-HT) och utgör ett korttidslager för solenergitillskottet på sommaren.

Figur 4.7 visar hur solenergin har levererats i HT-kretsen.



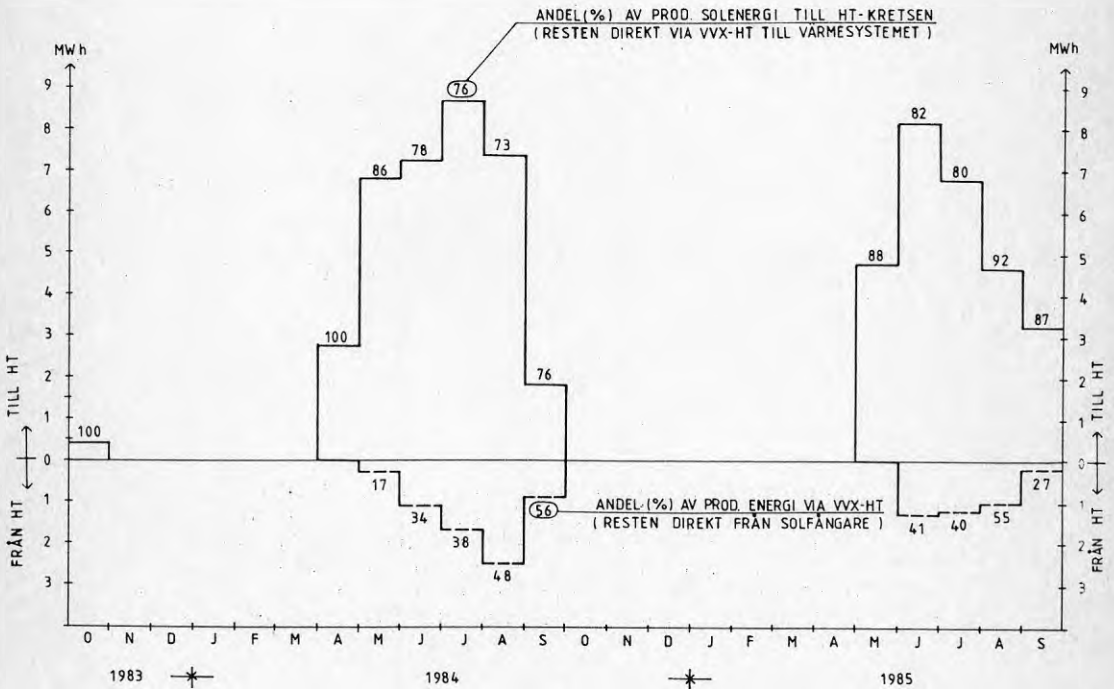
Figur 4.7 Solenergileverans i HT-kretsen

Av figuren framgår att största delen (ca 80%) av producerad solenergi levereras till HT-zonen. Detta beror på att temperaturen på den producerade solenergin vid dessa tillfällen är för låg för att kunna distribueras via VVX-HT eller att behovet av energi är mindre än solenergiproduktionen. Resterande del av producerad solenergi (ca 20%) har tillräcklig kvalitet och kan levereras direkt via VVX-HT då behov föreligger.

Eftersom HT-zonens volym är begränsad till ca 200 m³, för att den snabbt skall nå hög temperatur, blir "förlusterna" stora. "Förlusterna" används sedan i LT-zonen och är egentligen inga förluster.

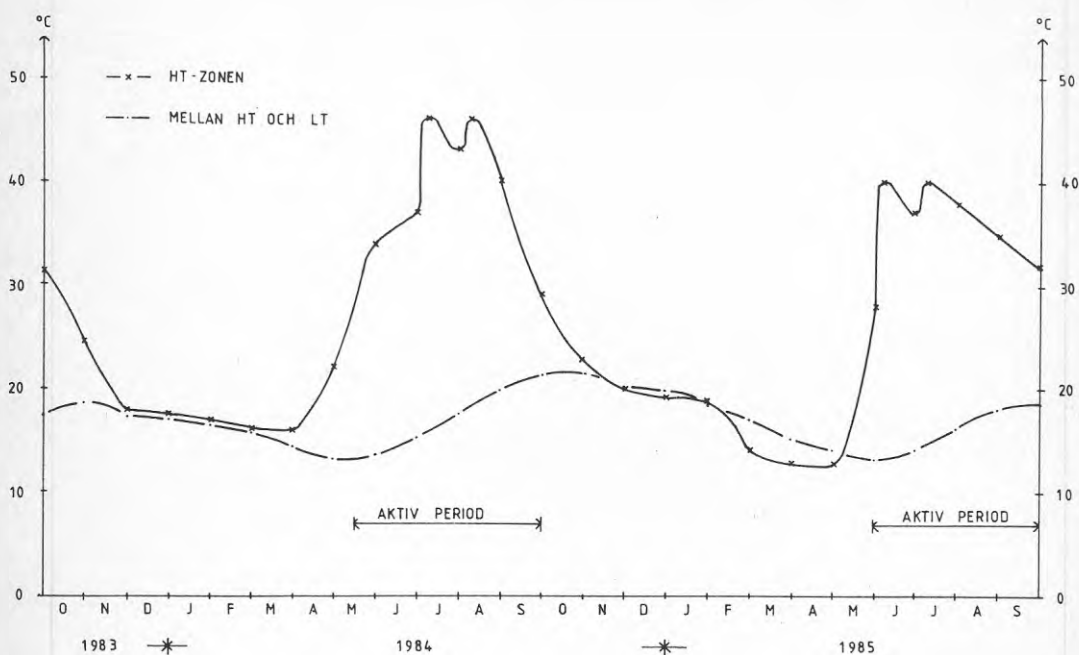
Beroende på denna energileverans från HT-zonen till LT-zonen minskar både kvantitet och kvalitet på den återstående energin i HT-zonen. För att solenergi skall kunna användas direkt via VVX-HT måste dess temperatur överstiga värmesystemets returtemperatur. Denna temperaturmässiga tröskeleffekt och energileveransen till LT-zonen innebär att endast en mindre del av den till HT-zonen förda solenergin kan återföras och därmed användas direkt via VVX-HT. Ungefär 15% av den ursprungliga producerade solenergin i solfångarna används på detta sätt via HT-zonen. Detta skall jämföras med de 80% som levereras till HT-zonen. HT-zonens effektivitet har således varit ca 20%.

Vidare framgår av figur 4.7 att ungefär en tredjedel av i solfångarna producerad solenergi har levererats till värmesystemet via VVX-HT. Av denna via VVX-HT levererad solenergi kommer ca hälften direkt från solfångarna och hälften via HT-zonen. I figur 4.7 framgår också att kvaliteten d v s temperaturen på producerad solenergi har varit ca 47 grad. C (energi-viktad medeltemperatur). Energiviktad medeltemperatur på solenergileveransen via VVX-HT har varit något lägre 45-46 grad. C, vilket beror på att en temperaturförlust uppstår när solenergin går via HT-zonen till VVX-HT.



Figur 4.8 Energileverans till och från HT-zonen

Figur 4.8 visar energileveranser till och från HT-zonen månadsvis. Det framgår tydligt att HT-zonen är aktiv endast under sommarmånaderna.



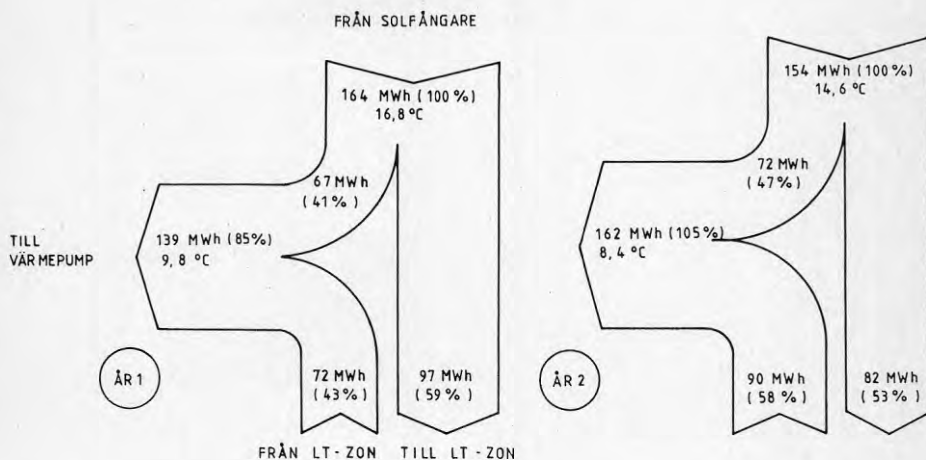
Figur 4.9 Temperaturen i HT-zonen

I figuren 4.9 visas temperaturvariationen i HT-zonen. Under de månader då energi har levererats från HT-zonen (maj - september) har temperaturen varit högre än ca 30 grad. C. Denna temperatur är tillräcklig eftersom värmesystemets returtemperatur vid de aktuella driftförhållandena (varmvattenberedning) ofta är lägre än 30 grad. C.

4.3.3.2 LT-zonen

Värmelagrets yttre del, LT-zonen, är sammankopplad med solfångarna och värmepumpen och utgör både korttids- och långtidslager från sommar till vinter.

Figur 4.10 på nästa sida visar hur solenergin har levererats i LT-kretsen under de två första driftåren.



Figur 4.10 Solenergileverans i LT-kretsen

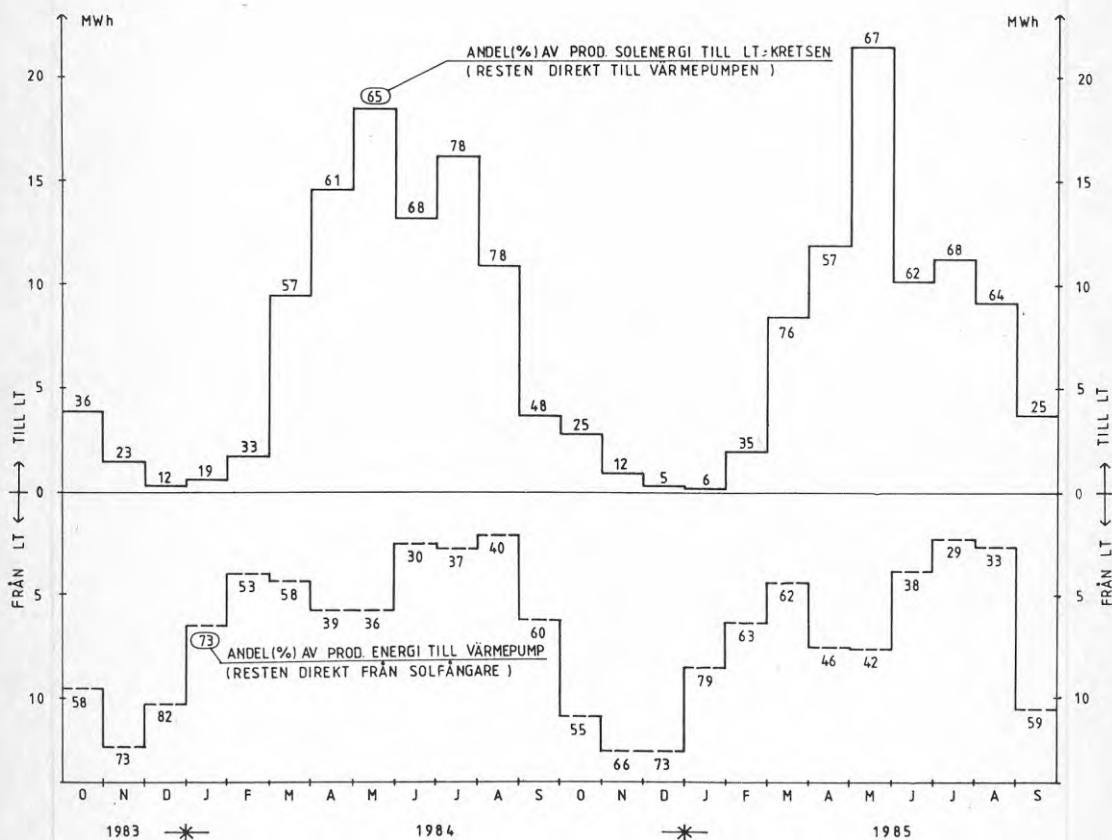
Av figuren framgår att drygt hälften, ca 55%, av producerad solenergi har levererats till LT-zonen medan resterande 45% används direkt i värmepumpen.

Första driftåret kunde 85% av producerad solenergi användas i värmepumpen medan motsvarande siffra för andra året var 105%. Förklaringen till detta är att under andra året ökades enl. tidigare värmelasten och därmed drifttiden för värmepumpen. Värmeuttaget från LT-zonen ökade alltså och en del av energin som lagrades in första året användes istället under andra året.

Av den till värmepumpen levererade solenergin kommer ungefär lika mycket direkt från solfångarna som via lagret.

Att med säkerhet bestämma de verkliga värmeförlusterna efter två års drift med förändrade driftförhållanden är omöjligt.

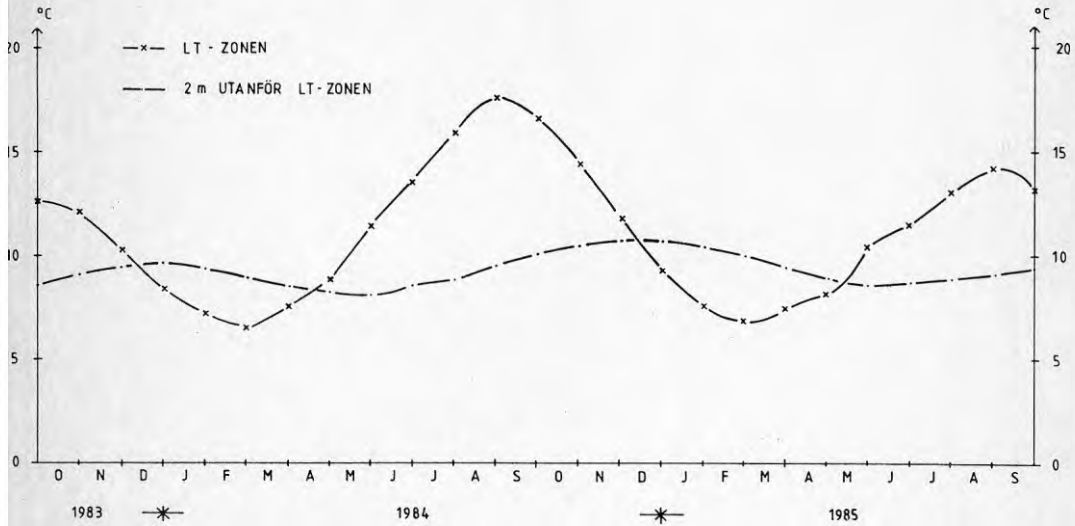
Första årets värmebalans ger dock en indikation av att värmeförlusten under detta år var ca 25 MWh eller 25% av inlagrad energi. Första året är omgivande lera kall men värmelagrets medeltemperatur lägre än vad som förväntas efter några års drift varför 25% förmodligen är en rimlig storlek på den stationära värmeförlusten. Detta innebär att ca 85% av till LT-zonen producerad solenergi kan användas av värmepumpen.



Figur 4.11 Energileverans från och till LT-zonen

Figur 4.11 visar energileveranser från och till LT-zonen månadvis. Det framgår att perioden mars - aug är iladdning dominerande medan övriga månader är urladdning dominerande. Figuren visar också att under samtliga månader produceras solenergi till LT-zonen om än väldigt lite under vintermånaderna.

Temperatursvinget i LT-zonen under första året var ca 10,8 grad. C och under andra ca 7,5 grad. C. Förhållandena under andra året blir inte relevanta då värmelasten ändrades enl. tidigare. Figur 4.12 visar temperaturen i LT-zonen och 2 m utanför denna.

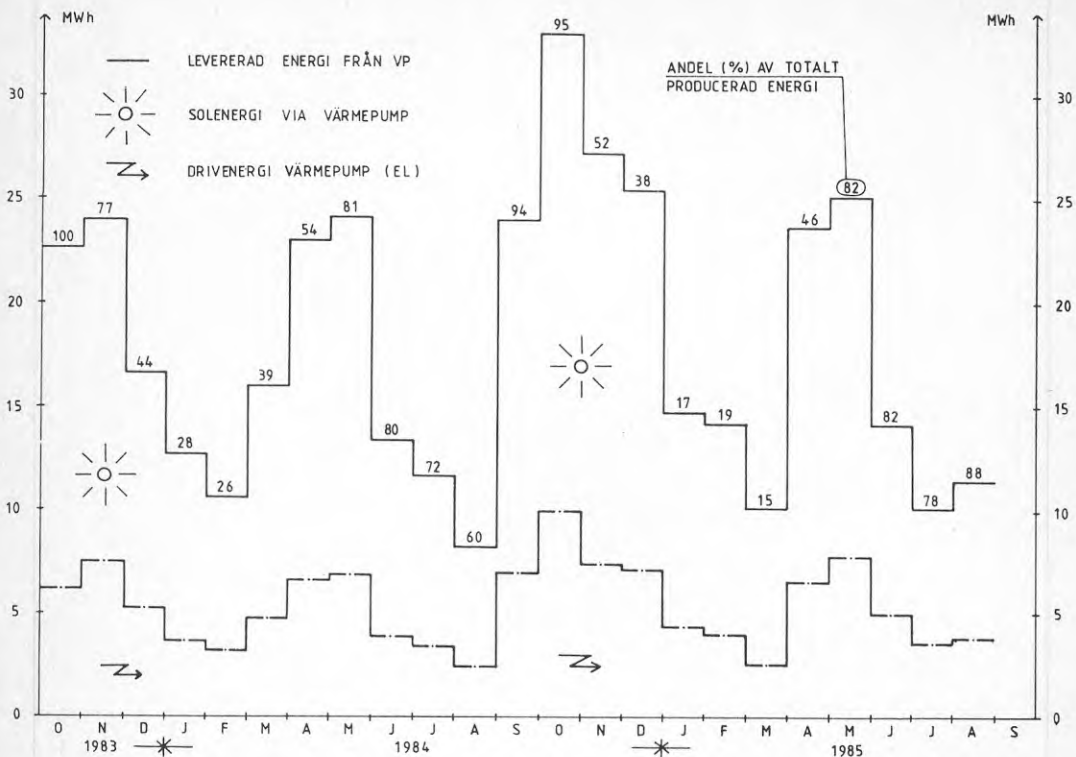


Figur 4.12 Temperaturen i LT-zonen

Av figuren framgår att temperaturen 2 m utanför LT-zonen har en betydligt lägre amplitud eller 2 - 3 grad. C. Under vintermånaderna sänks temperaturen i LT-zonen under temperaturen i den närmaste omgivande leran varför en del energi återförs till LT-zonen och används av värmepumpen.

4.3.3 Värmepump

Den installerade värmepumpen är av fabrikat Cliref. Nominell värmeeffekt vid 50 grad. C utgående värmebärare och 8 grad. C ingående köldbärare är 54,5 kW. Nominell elförbrukning vid detta driftläge är 16,3 kW. Köldmedium är R22.



Figur 4.13 Månadsvis energiproduktion från värmepump.

Under sommarhalvåret klarar värmepumpen hela värmebehovet d v s utgående värmebärare ligger på drygt 50 grad. C. Resten av året förvärmer värmepumpen returen. Utgående värmebärartemperatur varierar då i intervallet 35 - 50 grad. C.

Temperaturen på köldbäraren varierar beroende på årstid d v s soltillgång. Typiska värden är 15 grad. C på sommaren, 10 grad. C höst och vår och 5 grad. C på vintern. Eftersom det är vatten som används som köldbärare kyler förångaren inte mer än till ca +4 grad. C.

Typiska värden på värmefaktorn under sommaren är 3,4, höst och vår 3,5 - 3,7 och på vintern 3,3 - 3,5. Se figur 4.13.

Årsmedelvärmefaktorn första året var 3,45 och andra året 3,37. Anledningen till försämringen är att under andra året var värmelasten betydligt större än under första året. Detta leder till lägre temperaturnivå på köldbärarsidan, vilket orsakar den lägre värmefaktorn. Medeltemperaturen på köldbäraren första året var 9,8 grad. C och andra 8,4 grad. C.

Drifftiden för värmepumpen har varit enl. tabellen nedan.

	Kompressor 1	Kompressor 2
År 1	4556	3890
År 2	5369	4190

Tabell 4.3 Drifftid värmepump (timmar)

4.3.4 Oljepanna

Den av gjutjärn utförda självdragspannan, av fabrikat Parca Norrahammar, har en nominell effekt på 130 kW. Pannan är försedd med en enstegsbrännare av fabrikat Bentone.

Under drifftiden har Mätcentralen mätt av oljepannan levererad energi samtidigt har oljeförbrukningen registrerats. M h a dessa uppgifter kan oljepannans verkningsgrad bestämmas.

Första driftårets verkningsgrad blev 78% räknat som kvoten mellan levererad energi och förbrukad olja under 7 månader.

Andra driftsårets verkningsgrad blev 89% under 8 månaders drift.

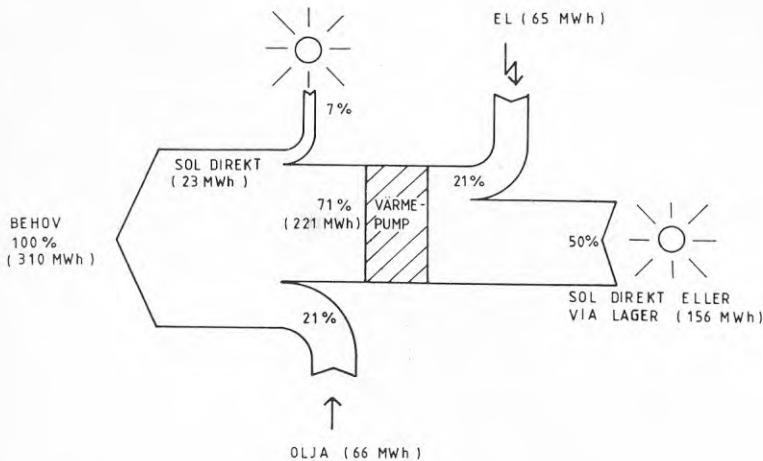
Anledningen till andra årets bättre verkningsgrad är den större värmelasten, vilken har inneburit att oljepannan har arbetat närmare sin nominella effekt. Levererad energi från oljepannan under första året var 140 MWh och under andra året 300 MWh.

Maximalt levererad effekt från oljepannan under första året var 90 kW och under andra året ca 140 kW.

4.4 Jämförelse med beräknade resultat

I föregående kapitel har redovisats mätningar från två års drift. Under denna tid har värmelasten utökats, vilket har medfört förändrade förutsättningar för solfångarna, värmelagret och värmepumpen.

För att kunna jämföra med beräknade resultat (1) har, utgående från mätresultaten, gjorts beräkningar för att se hur resultatet blivit om värmelasten fortsättningsvis hade utgjorts av de 40 ursprungliga lägenheterna.



Figur 4.14 Beräknat resultat med 40 lägenheter som last. Beräkningar gjorda utgående från mätningar.

Energibehovet för uppvärmning och varmvatten beräknas bli ca 310 MWh årligen, vilket också beräknades vid projekteringen. Vid projekteringen gjordes beräkningar som visade på 60 MWh direkt tillförd solenergi via VVX-HT. Dessa har visat sig vara alltför optimistiska med den typ av takintegrerade solfångare med svartmålad absorbator som har använts. Med mätningarna som utgångspunkt beräknas 23 MWh vara en realistisk siffra.

Solenergi till värmepumpen direkt och via LT-zonen beräknas till 156 MWh, vilket är något bättre än vid projekteringsstillfället. Mätningarna tyder på att förlusterna från LT-zonen är ca 25% istället för ca 30% som beräknades då.

Värmepumpens värmefaktor är bestämd genom mätningarna, vilket leder till att mängden elenergi kan bestämmas till 65 MWh. Vid projekteringen antogs en sämre värmefaktor, varför elbehovet då beräknades till 75 MWh.

Den mindre direkta solinstrålningen via VVX-HT måste täckas med en större del oljeenergi. Den beräknas nu bli 66 MWh mot 25 MWh vid projekteringen.

Solfångarna beräknas producera 230 MWh (470 kWh/m² aperturyta) med en energiviktad temperatur på ca 30 grad. C. Till HT-kretsen levereras ca 46 MWh av vilka 23 MWh beräknas kunna levereras via VVX-HT. Resterande 23 MWh blir förluster som kommer LT-zonen till godo. HT-zonen beräknas arbeta i temperaturintervallet 50 - 55 grad. C sommartid och ner till 25 - 30 grad. C vintertid.

Till LT-kretsen beräknas solfångarna leverera 184 MWh. Av dessa levereras 110 MWh till LT-zonen. Förlusterna från LT-zonen beräknas till 28 MWh. Till värmepumpen levereras 74 MWh direkt från solfångarna och 82 MWh via LT-zonen. LT-zonen beräknas arbeta mellan temperaturerna 7 och 20 grad. C.

Sammanfattningsvis skulle detta solvärmebaserade uppvärmningssystem leverera 23 MWh solenergi direkt via VVX-HT och 156 MWh solenergi via värmepumpen årligen d v s totalt 179 MWh förnyelsebar energi årligen. Denna mängd utgör 58% av totalt förbrukad energi.

Drivenergi i form av elenergi till värmepumpen skulle uppgå till 65 MWh och resterande 66 MWh skulle erhållas från oljepannan. Dessutom åtgår ca 15 MWh årligen som drivenergi till de cirkulationspumpar som inte hade behövts om man hade haft ett konventionellt uppvärmningssystem.

Om anläggningen hade varit en konventionell oljeanläggning hade ca 44 m³ olja använts årligen om oljepannans verkningsgrad sätts till 70%. I det aktuella fallet beräknas ca 8,2 m³ olja åtgå för att producera 66 MWh energi enligt ovan. Verkningsgraden antas då vara 80%.

Oljebesparingen med solvärmesystemet skulle alltså vara ca 36 m³ olja per år eller 82%. Vid projekteringen beräknades oljebesparingen till 90%.

5. EKONOMI

5.1 Kostnader

Nedan redovisas uppskattade merkostnader idag (december 1985) för solvärmesystemet. Kostnaderna är baserade på uppgifter från förstudien (BFR-rapport R188: 1984) som hänför sig till anbudstillfället 1982.

* Solfångare 900 - 150 kr/m ² (avgår kostnad för tegel, läkt, råspont: 150 kr/m ²)	410 tkr
* Värmelager (49 kr/m ³ , 142 kr/m dubbelrör, 142 kr/"stick")	400 tkr
* Apparaturum (de delar som tillhör solvärmesystemet)	160 tkr

Summan av dessa kostnader är 970 tkr (24 tkr per lägenhet), vilket är merkostnaden idag för solvärmesystemet gentemot ett konventionellt oljebaserat uppvärmningssystem.

I solvärmesystemet ingår då förutom solfångare och värmelager även allt tillkommande i apparatrummet, gentemot en oljeanläggning, såsom VVX-SOL, VVX-HT, värmepump, rör, pumpar, ventiler o s v på "solsidan" i värmesystemet (se figur 2.1).

5.2 Lönsamhet

Enligt föregående kapitel är merkostnaderna för ett solvärmesystem som i Kullavik-projektet vara ca 970 tkr gentemot ett oljealternativ.

Besparingen blir enl. kap. 4.4 36 m³ olja årligen. Detta leder till att pay-off tiden för merkostnaderna blir 9 år om oljan värderas till 3.000 kr/m³.

Merinvesteringen för solvärmesystemet blir, per årlig producerad kWh solenergi, 970 tkr/179 MWh = 5,4 kr/kWh (sol).

Merinvesteringen uttryckt i kr per m² solfångare blir 970 tkr/540 m² = 1800 kr/m² solfångare.

Med antagande om 20 års livslängd och 4% real ränta blir kapitalkostnaden 40 öre/kWh (sol) då annuiteten blir 7,4%. Underhållskostnaden för solfångarsystemets komponenter i apparatrummet (pumpar, värmeväxlare, styrutrustning m m) samt solfångarnas täckglas bedöms till 20 kr/m² och år eller drygt 1% av solfångarsystemets investeringskostnad. Detta innebär en årlig kostnad av ca 11.000 kr i Kullavik-projektet.

Totalkostnaden för producerad solenergi inkl. kapitalkostnad och underhållskostnad blir ca 46 öre/kWh.

Ett av syftena med Kullavik-projektet var att kontrollera hur leran och rörsystemet i leran påverkas av höga temperaturer. Det var en av anledningarna till att värmelagret försågs med en högtemperaturzon.

Marginalkostnaden för energin producerad via högtemperaturzonen blir naturligtvis hög i detta pilotfall.

I större projekt, med hög temperatur i leran, blir kostnaderna lägre än i Kullavik-projektet.

6. RESULTAT AV GEOTEKNISKA MÄTNINGAR

Innan lagret togs i bruk, genomfördes en provtagning med kolvborr. Liknande provtagning utfördes ca 2 1/2 år senare. Se upptagna proverna från de båda tillfällen har undersökts med avseende på fysikaliska, hållfasthets- samt deformationsegenskaper.

Under den tid lagret hittills varit i bruk, har portrycksutvecklingen bevakats i tre punkter på 6 m djup. Dessutom har omkringliggande bebyggelse bevakats med avseende på sättningar.

6.1 Porvattentryckens utveckling

Av fig. 6.1 framgår hur portrycken varierat under perioden. De två mätarnas resultat är redovisade i relation till den längst från lagret placerade mätaren. Detta för att de periodiska variationerna i portrycket inte skall störa resultaten. På figuren är även temperaturkurvorna för de närmast portryckmätarna placerade temperaturmätarna redovisade.

Generellt kan observeras att portrycksutvecklingen varit mindre dramatisk än vad som kunnat förväntas utifrån de erfarenheter som vunnits tidigare. Förklaringen till detta ligger sannolikt i att värmexlarna placerats mycket tätt vilket inneburit stora lokala störningar av leran med vissa läckväggar längs värmexlarna som följd.

Värmelager Kullavik

Portryck och temperatur i relation till tid

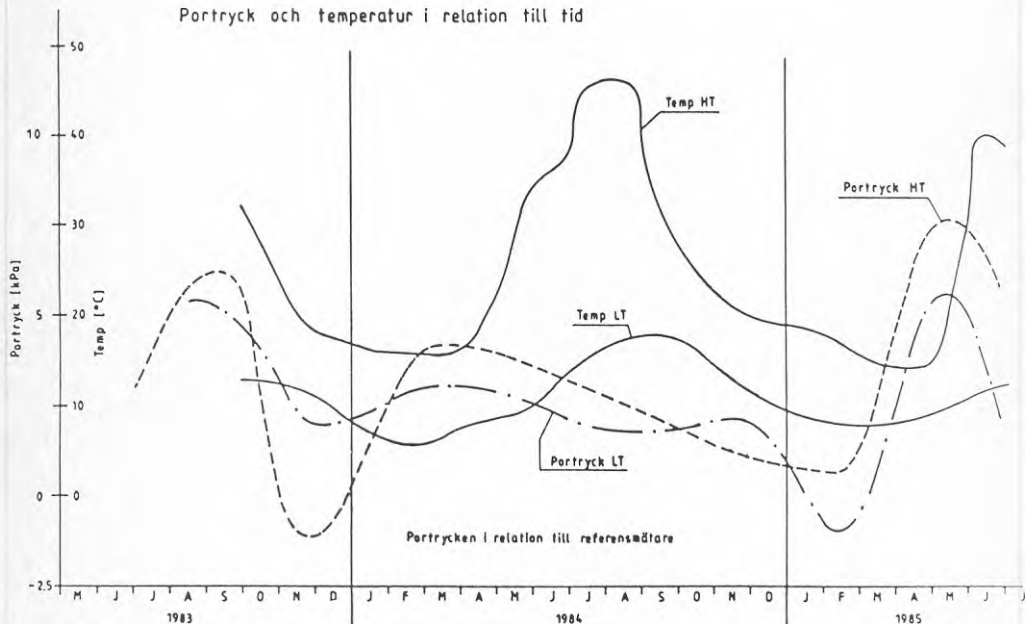


Fig. 6.1

6.2 Sättningsmätningar

De genomförda sättningsmätningarna vid omkringliggande bebyggelse har hittills inte visat på några rörelser utöver vad som kan anses normalt, d v s variationer inom 1-2 mm. Sättningar inom lagerytan har ännu inte kunnat konstateras.

6.3 Deformationsegenskaper

De upptagna proverna har undersökts i s k CRS-ödometer med avseende på deformationsegenskaperna.

Av figur 6.2 framgår förändringarna av förkonsolideringstryck och kompressionsmodul (σ_c' och M_L) under mätperioden. Det kan konstateras en tydlig sänkning av förkonsolideringstrycket på tre av de fyra redovisade nivåerna. Den från mönstret avvikande nivå (6,0 m) uppvisar en höjning, vilket onekligen är anmärkningsvärt, speciellt med avseende på att jordens fysikaliska egenskaper i övrigt på denna nivå inte synbarligen avviker från resten av jordprofilen.

Det kan dock konstateras att en betydande sänkning av förkonsolideringstrycket har ägt rum.

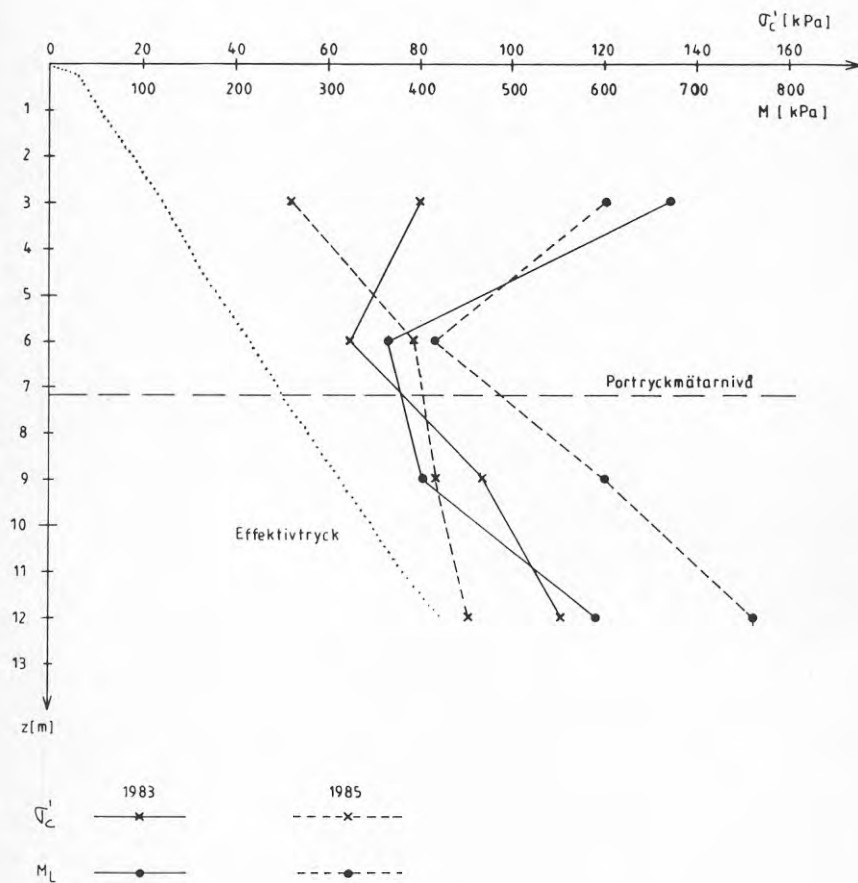
Samtidigt kan en tydlig höjning av kompressionsmodulen konstateras. Sänkning av förkonsolideringstrycket var, utifrån de forskningsresultat som hittills föreligger, väntad, medan däremot att ökningen av kompressionsmodulen var så stor är något överraskande.

Som framgår av figur 6.2 på nästa sida har skillnaden mellan rådande effektivtryck och förkonsolideringstrycket, speciellt på 12 m-nivån, minskat betydligt. Detta innebär att en ytterligare sänkning av förkonsolideringstrycket kommer att ge upphov till relativt stora sättningar då effektivtrycket kommer att överskrida förkonsolideringstrycket och leran således kommer att uppträda som om den var "underkonsoliderad".

För framtiden kan man befara att förkonsolideringstrycket kommer att sjunka ytterligare, och genom den cykliska förändringen av portrycket vid omväxlande uppvärmning och avsvälning av lagret, kommer så småningom sättningar i storleksordningen 20-25 cm att utbildas inom lagerytan och i dess närmaste omgivning inom en 10-års period. Någon risk för omkringliggande bebyggelse synes ej föreligga medan det däremot kan uppstå problem inom lagerytan med rörkopplingar o dyl.

Värmelager Kullavik

Sammanställning av förkonsolideringstryck σ'_c och
ödometermodul M_L



Figur 6.2

6.4 Förändringar av de fysikaliska egenskaperna

Resultaten av rutinundersökningarna redovisas i fig. 6.3 och figur 6.4.

Det kan konstateras en viss sänkning av den naturliga vattenkvoten och en därmed korresponderande höjning av skrymdensiteten. Likaså har konflytgränsen minskat.

Den mest anmärkningsvärda effekten är emellertid att lerans sensitivitet på de större djupen ökat väsentligt (ca 65%).

En sänkning av vattenkvoten leder till en minskad värmekapacitivitet, samtidigt som konduktiviteten ökar. Detta kan, om förändringarna fortsätter, leda till en förändrad termisk funktion hos lagret, som dock sannolikt saknar praktisk betydelse.

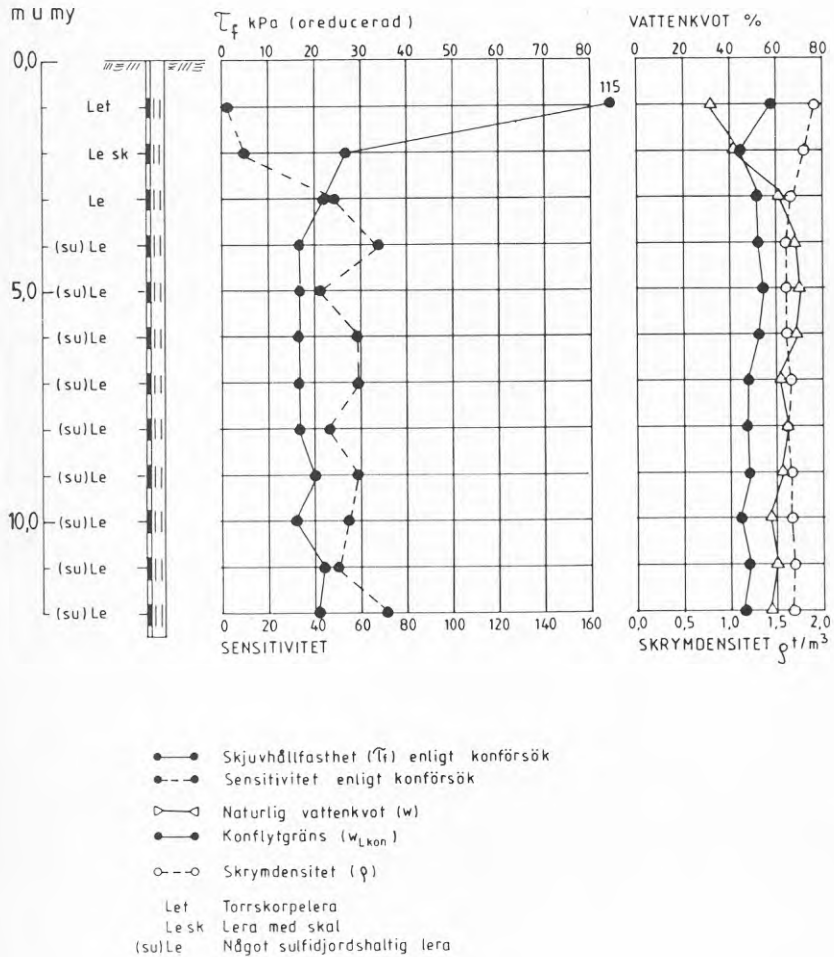
Ökningen av sensitiviteten innebär att leran blir s k "kvick", d v s skillnaden mellan den ostörda skjuvhållfastheten och skjuvhållfastheten hos omrörd lera är mycket stor. Den praktiska betydelsen av detta är att leran vid omrörning helt mister sin skjuvhållfasthet.

6.5 Förändringar av lerans skjuvhållfasthet

Resultaten av rutinundersökningarna redovisas i fig. 6.3 och fig. 6.4.

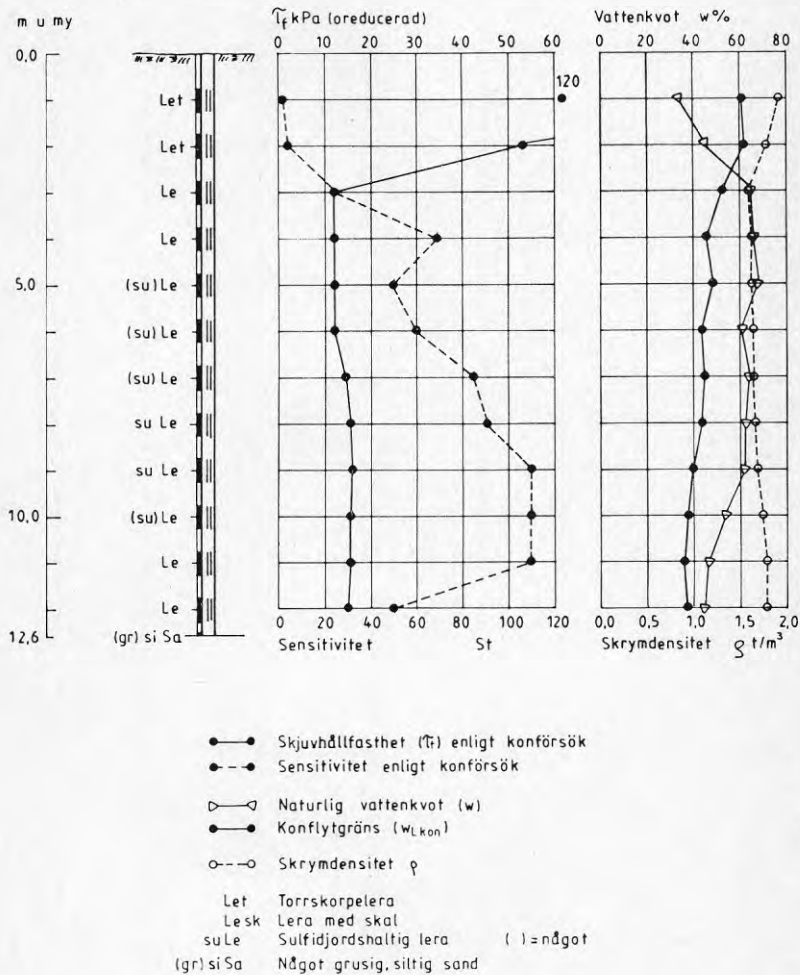
Den tydliga sänkningen av den odränerade skjuvhållfastheten (ca 25% inom intervallet 3-12 m) är i kombination med den tidigare nämnda sensitivitetsökningen en mycket viktig faktor. Inom projektets ram har möjligheter saknats att utreda hur långt från värmelagret dessa effekter uppstått, men observationerna kan ändå ge en viss indikation på att skador skulle kunna uppstå på omedelbart närliggande kohesionspålade byggnader emedan denna typ av grundläggning är till sin funktion starkt beroende av lerans skjuvhållfasthet. Det framstår som självklart att man inte placerar ett värmelager i närheten av ett släntkrön, med tanke på att man helst vill ha lagret i vattenmättad lera. Det är dock lika viktigt att man inte placerar lagret för nära en släntfot, med tanke på att en stor del av det mot skred stabiliserande krafterna erhålls som skjuvspänningar nedanför slänten i den s k passiva zonen.

Värmelager Kullavik
 Provtagning med kolv
 1983 04 02



Figur 6.3 Provtagning 1983

Värmelager Kullavik
 Provtagning med kolv
 1985 09 13-17



Figur 6.4 Provtagning 1985

7. SLUTSATSER

Efter 2,5 års drifttid av Kullavik-projektet kan man konstatera att något egentligt driftavbrott inte har inträffat. Solfångare, värmelager, värmepump, oljepanna liksom styr- och reglerutrustning har, efter injustering, motsvarat förväntningarna.

En av anledningarna till att HT-zonen byggdes in i systemet, var för att undersöka hur leran och plastslangarna i leran påverkas av den höga temperaturen där (ca 50 grad .C).

Hittills har inget läckage på rörsystemet kunnat konstateras, vilket innebär att de helsvetsade PEH-rören har motstått de termiska påfrestningarna. Vid projektering och byggnation togs stor hänsyn till den stora värmeutvidgning som PEH-material utsätts för vid temperaturförändringar.

De geotekniska mätningarna visar att under de gångna 2,5 åren har leran förändrats en del med avseende på de geotekniska egenskaperna.

Portryckningsutvecklingen har varit odramatisk medan en betydande sänkning av förkonsolideringstrycket har ägt rum. Vidare har ökningen av kompressionsmodulen blivit större än väntat. En tydlig sänkning av den odränerade skjuvhållfastheten samt en väsentlig ökning av sensitiviteten har kunnat konstateras. Ingen av de observerade förändringarna förefaller kunna inverka på den intilliggande bebyggelsens fortbestånd. Dock kan man befara att förkonsolideringstrycket kommer att sjunka ytterligare, vilket inom en 10-års period resulterar i sättningar i storleksordningen 20 - 25 cm inom lagerytan och dess närmaste omgivning. Detta kommer att innebära stora påfrestningar på rörsystemet. För att hålla sättningarna under observation kan det vara lämpligt att årligen avväga installationerna inom lagret. Någon anmärkningsvärd förändring av lerans termodynamiska egenskaper har inte inträffat och bör inte heller inträffa i framtiden.

Under driftperioden har värmelasten utökats, vilket inte var planerat vid projekteringen. En jämförelse av driftresultaten med projekterade värden har därför krävt en justering av de uppmätta värdena då en större last innebär förändrade driftbetingelser för solsystemet.

Dessa beräkningar har givit som resultat att i stort sett överensstämmer uppnådda driftresultat med projekterade värden, vilket exemplifieras nedan.

Värmelastens storlek stämmer helt med projekterade värden. Mätningarna tyder på att förlusterna från värmelagret är något mindre än vad som beräknades vid projekteringstillfället. Mängden direkt levererad solenergi via VVX-HT är den storhet som mest avviker från projekterade värden. Ca 1/3 av projekterade värden har mätts upp. Det projekterade värdet visar sig vara för optimistiskt med svartmålade absorbatörer i solfångarna. Mängden producerad solenergi till LT-kretsen överstiger något värdet vid projekteringen.

Värmepumpen har arbetat med en bättre värmefaktor än projekterat. I oljepannan måste ca 8 m³ olja förbrännas istället för ca 3 m³ beroende på mindre direkt solenergi. Oljebesparingen i det aktuella fallet beräknas utifrån mätningarna till 82%. Vid projekteringen beräknades oljebesparingen till 90%.

Återbetalningstiden för merkostnaderna av solvärme-systemet är 9 år. Merinvesteringen är 5,4 kr/kWh eller 1800 kr/m² solfångare (dec. 1985). Med antagande om 20 års livslängd och 4% real ränta blir kapitalkostnaden för producerad solenergi 40 öre/kWh. Med underhållskostnader stiger solenergikostnaden till 46 öre/kWh.

8. REFERENSER

1. Hultmark G & Olsson S
Solvärmelagring med höga temperaturer i lera
för flerfamiljshus i Kullavik. Förstudie
och anläggningsrapport.
BFR-rapport R188:1984.
2. Hultmark G, 1980
SUNCLAY-projektet, förproj.
BFR-rapport R38:1980.
3. Olsson S, 1985
Solvärmesystem för varmvattenberedning i fler-
familjshus i Kungsbacka. Utvärdering BFR-
rapport R122:1985.
4. Lagring av värme i mark vid låga temperaturer
BFR-seminarium dec. 1982.
BFR-rapport R105:1982.
5. Nordiskt samarbete om säsongslagring av värme
NBS-seminarium 5-6 oktober 1983
BFR-rapport R21:1984.
6. Värmelagrets roll i energisystem
BFR-seminarium jan. 1985
BFR-rapport R6:1985.
7. Geotekniska konsekvenser vid värmelagring i
lera.
Seminarium vid SGI i Linköping 830901
SGI Varia 119.
8. Värmen kommer från solen och lagras i jorden.
Sunclay-projektet. Lindälvsskolan, Kungsbacka
BFR-broschyr G14:1982.
9. Experimental Building Projects
Kullavik - Solar energy, heatpump, storage.
BFR-broschyr S 2E:1984
10. Värmelagring i lera.
Geoteknisk påverkan
BFR-projekt 810113-2
G. Sällfors, CTH



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 821763-7
från Statens råd för byggnadsforskning till Eksta
Bostadsstiftelse, Kungsbacka.**

R105: 1986

ISBN 91-540-4639-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706105

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms