



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.



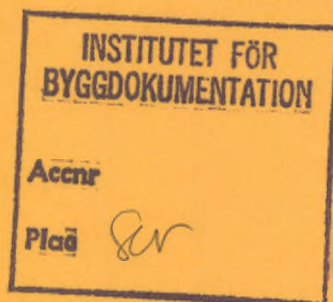
Rapport

R84:1986

Sunclay-projektet

Utvärdering av SUNCLAY-systemet
Andra generationens systemlösning

Jonas Gräslund
Göran Hultmark
Stefan Olsson
Bo Rudholm



Byggeforskningsrådet

R84:1986

SUNCLAY-PROJEKTET

Utvärdering av SUNCLAY-systemet
Andra generationens systemlösning

Jonas Gräslund
Göran Hultmark
Stefan Olsson
Bo Rudholm

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791424-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Kungsbacka
kommun, Centrala byggnadskommittén, Kungsbacka.

REFERAT

SUNCLAY-projektet omfattar värmeproduktionssystemet för Lindälvs-skolan i Kungsbacka, ca 3 mil söder om Göteborg. Uppvärmningsobjektet är en gymnasieskola för 800 elever. Skolan är av enplans-typ och har en byggnadsyta av 15.000 m². Lokalerna är avsedda för undervisning, administration, matlagning, motion, teater samt fritidsverksamhet. Temperaturen i lokalerna hålls konstant vid +20°C under dygnet.

SUNCLAY-systemet innebär att solenergi lagras från sommar till vinter i lera. Solenergin nyttjas via dieseldrivna värmepumpar till att förse skolan med energi för värme, ventilation och varmvatten.

På detta sätt sparas 60% av den olja som skulle förbrukats med ett konventionellt oljebaserat värmeproduktionssystem. Extrakostnaden för SUNCLAY-systemet utgör ca 3% av totalkostnaden för skolan.

SUNCLAY-systemet togs i drift i april 1981. Efter några inledande driftavbrott har anläggningen fungerat bra.

Pay-off tiden är ca 9 år och med antagande om 20 års livslängd och 4% real ränta blir priset på den producerade energin 30 öre/kWh.

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

R84:1986

ISBN 91-540-4630-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

1. Inledning

1.1 Förord

Kungsbacka kommun lät under 1978-79 utreda möjligheter och kostnader för alternativ uppvärmning av en ny gymnasieskola i kommunen. Denna utredning visade att det mest lönsamma värmeproduktionssystemet, av de undersökta alternativen, utgjordes av lågtemperatursolfångare, värmelager i lera och dieseldrivna värmepumpar d v s SUNCLAY-systemet.

Byggforskningsrådet ansåg detta system vara intressant och beviljade sålunda medel för fortsatt utredning som så småningom resulterade i att SUNCLAY-systemet förverkligades.

Kommunens projektledare har varit Mats Länsberg, Byggadministration AB, Kungsbacka, medan systemets konstruktör Göran Hultmark, AB Andersson & Hultmark, har varit projektledare för utvärderingen av projektet.

Jan Kilnäs, Bengt Dahlgren AB, har varit handläggande för projekteringen av systemet. Stefan Olsson, AB Andersson & Hultmark, har svarat för presentation av projektet och uppnådda mätresultat samt optimeringsberäkningar i denna rapport medan Jonas Gräslund, AB Andersson & Hultmark, ansvarade för beräkningar och beskrivning av andra generationens systemlösning.

Även Åke Kilbo och Ivar Franzen, Kungsbacka Kommun har varit drivande krafter bakom projektets genomförande. Mätvärden har samlats in av Mätcentralen vid Chalmers Tekniska Högskola, Kjell Schröder.

En fristående utvärdering utförs parallellt av Chalmers Tekniska Högskola, Inst. för värmeteknik och värmelära.

SUNCLAY-projektet omfattar värmeproduktionssystemet för Lindälvs skolan i Kungsbacka, ca 3 mil söder om Göteborg. Uppvärmningsobjektet är en gymnasieskola för 800 elever. Skolan är av enplanstyp och har en byggnadsyta av 15000 m². Lokalerna är avsedda för undervisning, administration, matlagning, motion, teater samt fritidsverksamhet. Temperaturen i lokalerna hålls konstant vid +20 grad. C under dygnet.

SUNCLAY-systemet innebär att solenergi lagras från sommar till vinter i lera. Solenergin nyttjas via dieseldrivna värmepumpar till att förse skolan med energi för värme, ventilation och varmvatten.

SUNCLAY-systemet togs i drift i april 1981. Efter några inledande driftavbrott har anläggningen fungerat bra.

Pay-off tiden är ca 9 år och med antagande om 20 års livslängd och 4% real ränta blir priset på den producerade energin ca 30 öre/kWh.

Denna rapport, som är skriven enligt IEA-standard för solenergianläggningar, behandlar systemets funktion, driftsäkerhet, ekonomi samt byggnation. Baserat på drift och mätningar under tiden 1/7 1982 - 1/7 1983, vilket motsvarar anläggningens andra driftsäsong, utvärderas teorier samt vidare optimeras ett tänkt nytt system.

1.2 Innehållsförteckning

1.	Inledning	Sidan	1
1.1	Förord		1
1.2	Innehållsförteckning		3
1.3	Sammanfattning		6
2.	Beskrivning av projektplatsen		10
2.1	Läge och omgivning		10
2.2	Klimat		12
3.	Beskrivning av värmesystemet		15
3.1	Förbrukare (byggnaden)		16
3.2	Producent (solenergisystemet)		17
3.2.1	Solfångare		18
3.2.2	Värmelager		22
3.2.3	Värmepumpar		26
3.2.4	Övriga delar		28
3.2.5	Reglerutrustning		28
4.	Driftsfilosofi		30
4.1	Driftsfall		30
4.2	Reglerstrategi		34
5.	Uppföljning - utvärdering		35
5.1	Definitioner		36
5.2	Mätanläggning		38
5.2.1	Givare		40
5.2.2	Datorutrustning		41
5.3	Användning av mätvärde		42
6.	Bygg- och driftperioden		44
6.1	Solfångare		44
6.2	Värmelager		47
6.3	Värmepumpar		52
6.4	Övrigt		53
6.5	Sammanfattning av driftstörningar.		54
7.	Resultat av mätningar		57
7.1	Förbrukning (månadsvis)		61
7.1.1	Varmvatten		63
7.1.2	Transmission		64
7.1.3	Ventilation		66
7.2	Produktion (månadsvis)		66
7.2.1	Solfångare		67
7.2.2	Värmelager		70
7.2.3	Värmepumpar och dieselmotorer		76
7.2.4	Övriga delar		80
7.3	Timvärde		81

8.	Installationskostnader	85
8.1	Kostnadssammanfattning	85
8.2	Kostnadssammanställning	85
8.2.1	Projekterade investeringskostnader	85
8.2.2	Investeringskostnad konventionell oljeanläggning	86
8.2.3	Ekonomiska läget vid beslutet om genomförande	87
8.2.4	Extrakostnader under byggnadstiden	87
8.2.4.1	Värmepumpar	87
8.2.4.2	Värmelager	88
8.2.4.3	Solabsorbatorer	88
8.2.4.4	Byte av glykol till kalciumklorid	89
8.2.4.5	Konsultarvode	90
8.2.5	Skador värmelager	90
8.2.6	Skador solfångare	90
8.3	Slutsatser om kostnader	90
9.	Erfarenheter från SUNCLAY-systemet	92
9.1	Solfångare	92
9.2	Värmelager	92
9.3	Värmepumpar	93
9.4	Systemet	93
10.	Optimering av SUNCLAY-systemet	95
10.1	Beskrivning av SUNSYST	95
10.2	Val av indata	98
10.2.1	Solfångare	99
10.2.2	Värmelager	100
10.2.3	Värmepumpar	104
10.2.4	Byggnaden	104
10.3	Normalårsberäkning	105
10.4	Optimering av bef. system	107
10.4.1	Eliminering av medeltemperaturdifferens mellan solfångare och lager	107
10.4.2	Effektivisering av avgasvärmväxlare	108
10.4.3	Optimering av lagervolym och antal värmväxlarrör vid konstant solfångaryta	109
10.4.4	Optimering av solfångaryta vid konstant lagervolym	114
11.	Andra generationens systemlösning	116
11.1	Förutsättningar	116
11.2	Kalkylunderlag	116
11.3	Referensalternativet med lågtemperatursolfångare och dieselvärmepump	117
11.4	Lågtemperatursolfångare och elvärmepump	119
11.5	Medeltemperatursolfångare och elvärmepump	121
11.6	Medeltemperatursolfångare och elvärmepump samt direktkoppling mellan lager och förbrukare	123
11.7	Medeltemperatursolfångare och spetslastpanna	124
11.8	Medeltemperatursolfångare utan tillsatsvärme	126

11.9	Medeltemperatursolfångare kompletterad med panna för lågtemperaturvärmesystem	128
11.10	Vindkonvektor samt elvärmepump	131
11.11	Uteluftvärmepump med elpanna utan marklager	132
11.12	Medeltemperatursolfångare och elvärmepump - känslighetsanalys vid varierande solfångaryta, lagerutseende och temperaturnivå	133
11.13	Medeltemperatursolfångare kompletterad med panna för golvvärmesystem - känslighetsanalys vid varierande solfångaryta med medeltemperaturlager	137
11.14	Sammanfattning av kapitel 11	140
12.	Ekonomi, lönsamhet	143
12.1	Det verkliga SUNCLAY	143
12.2	Det optimerade SUNCLAY	144

1.3 Sammanfattning

Målet med SUNCLAY-projektet var att kraftigt reducera oljeförbrukningen jämfört med ett oljebaserat värmeproduktionsssystem för Lindälvskolan i Kungsbacka.

Kungsbacka ligger vid havet 3 mil söder om Göteborg. Årsmedeltemperaturen är ca +8 grad. C, solinstrålning ca 1000 kWh/m² och år och normalnederbörden 700 mm.

Byggnaden som förses med energi är en enplans gymnasieskola med 15000 m² byggnadsyta. Temperaturen i lokalerna hålls konstant på +20 grad. C. Skolans energiförbrukning för ventilation, värme och varmvatten under ett normalår blir ca 1020 MWh eller 68 kWh/m² byggnadsyta.

SUNCLAY-systemet består av lågtemperatursolfångare, värmelager i lera och dieseldrivna värmepumpar.

Solfångarna, som är integrerade i takkonstruktionen, består av svartmålade takplåtar av Gränges typ TRP med påbyggda sk. stripes. Solfångarna som är oglasade har en absorbatoryta av 1500 m². Mediet som cirkulerar som värmebärare i solfångare och värmelager utgörs av kalciumkloridblandat vatten.

Värmelagret utgörs av 87000 m³ lera ner till ett djup av 35 m under marknivån. Värmeväxlaren mellan kalciumklorid och lera består av vertikalt placerade "U"-rör av polyetenplast med en ytterdiameter på 16 mm. Totalt antal "U"-rör är 600 st med ett inbördes avstånd av 2 m. Antalet meter polyetenplaströr är 42 000 m.

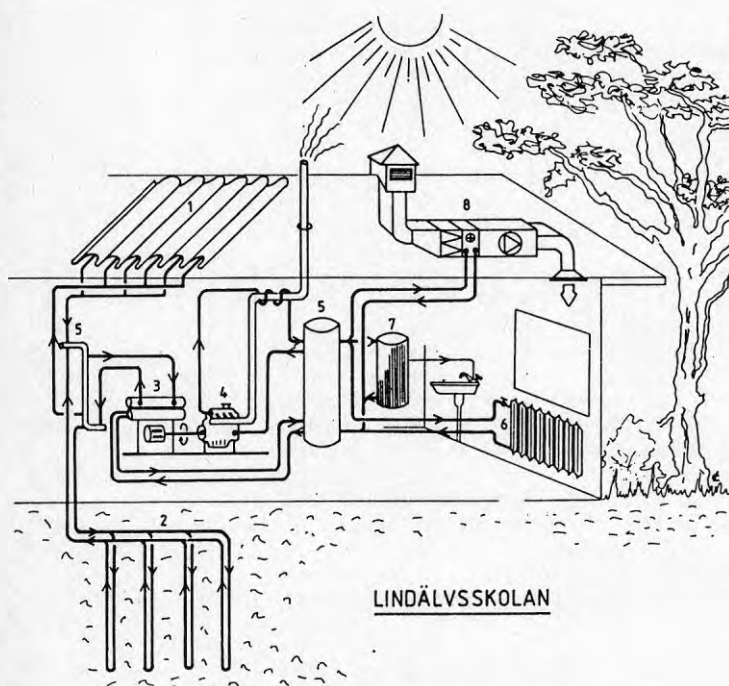
Fyra stycken dieselmotordrivna värmepumpar höjer temperaturen på solenergin till 45 grad. C. Köldmedium i värmepumparna är R12. Dieselmotorerna går med ett konstant varvtal av 1500 rpm och effekten regleras med antalet värmepumpar i drift.

De två mest utpräglade driftsfallen är sommar- och vinterfallet. Under sommaren är i stort sett skolans energibehov lika med noll. Värmepumparna har då korta drifttider. Istället laddas solenergi ner till lagret som ökar i temperatur till ca +15 grad. C.

Vinterfallet innebär att värmepumparna tar energi från värmelagret (temp. sjunker till +9 grad. C.) och levererar energi till skolan. Solfångarna ger inget tillskott under denna period.

Vår- och höstfallet innebär en kombination av de här två utpräglade driftsfallen. Om solfångarna ger energi samtidigt som värmepumparna går, levereras solenergin till förångarna för direkt användning.

Mätprogrammet för SUNCLAY-projektet innebär att temperaturer och flöden mäts i systemet så att energimängder kan bestämmas. Även temperaturer i värmelagret liksom solinstrålning, vindhastighet och utetemperatur registreras. Timmedelvärden på mätvärden lagras på diskett för att senare överföras till central dator.



- | | |
|------------------|-------------------------|
| 1. SOLABSORBATOR | 5. UTJÄMNINGSTÄNK |
| 2. VÄRMEGASIN | 6. RADIATOR |
| 3. VÄRMEPUMP | 7. VÄRMVATTENBEREDARE |
| 4. DIESELMOTOR | 8. VENTILATIONSAGGREGAT |

Figur 1.1 SUNCLAY-systemet

Erfarenheterna från driftperioden visar att anläggningen som helhet har fungerat väl. Vissa initialproblem uppstod med solfångarna men största orsak till de fåtaliga driftavbrotten har värmepumpaggregaten varit.

Lindälvsskolan förbrukade under aktuellt utvärderingsår 973 MWh till ventilation, uppvärmning och varmvatten. Av dessa 973 MWh var 515 MWh (53%) solenergi medan resten var drivenergi till kompressorerna och återvunnen energi från dieselmotorernas kylsystem och avgaser.

Köpt oljeenergi till dieselmotorerna var 530 MWh eller 53 m³ olja. En konventionell oljeanläggning med 70% årsverkningsgrad skulle ha förbrukat 139 m³ olja. Oljebesparingen med SUNCLAY-systemet blir således 86 m³ eller 62%. Den totala värmebesparingsfaktorn under utvärderingsperioden var 1,7.

Solinstrålningen under utvärderingsperioden var ca 20% lägre än normalt. Solfångarna producerade 367 kWh/m² med en årsverkningsgrad på 40%.

Värmepumparnas årsmedelvärmefaktor var 3.75 räknat på drivenergin till kompressorerna. Drifttiden för vart och ett av de fyra värmepumpaggregaten var 1200-1300 timmar under utvärderingsåret.

Värmelagrets medeltemperatur varierade mellan ca 15 gr. C i september och ca 9 gr. C i april. Värmeförlusterna från lagret bedöms vara ca 10%.

Den totala merkostnaden för SUNCLAY-systemet vid Lindälvsskolan är 1,6 milj.kr gentemot en konventionell oljeanläggning. Framtida kostnadssänkning måste framförallt härledas till optimering av systemet och ingående komponenter samt erfarenheter från Lindälvsskolan.

Dessa erfarenheter ger bl a vid handen att polyetenrör bör användas för samlings- och fördelningsledningar i rörsystemet för värmelagret. Övriga erfarenheter presenteras i kap. 9.

Optimeringsberäkningar har gjorts med datorprogrammet SUNSYST. Dessa beräkningar pekar på att vid aktuell energiförbrukning skulle optimal lösning vara ett hälften så stort lager med 3/4 så mycket plaströr som det verkliga lagret och med lika stor solfångaryta som i verkligheten.

Med datorprogrammet SUNSYST simuleras systemlösningar där lågtemperatursolfångarna ersätts av medeltemperatursolfångare samt i ett fall högtemperatursolfångare. Lagertemperaturen och lagerstorlek varierar. De dieseldrivna värmepumparna ersätts av eldrivna samt i några fall värmer enbart solfångare med lager skolan. Vindkonvektor med lager samt uteluftsvärmepump utan lager studeras även. De mest konkurrenskraftiga alternativen enligt Sunclay-konceptet är dels ett medeltemperatursystem med 1700 m² medeltemperatursolfångare, 21.000 m³ lagervolym samt elvärmepump med täckningsgraden 80% från sol och värmekostnaden 24 öre/kWh, dels ett system där skolans uppvärmning ombesörjs via golvvärme vilket möjliggör direktkoppling mellan solfångare, lager och byggnad utan temperaturhöjande värmepump. I detta system används 2.800 m² medeltemperatursolfångare och 53.000 m³ lagervolym vilket ger täckningsgraden 81% från sol till värmekostnaden 28 öre/kWh.

2. BESKRIVNING AV PROJEKTPLATSEN

2.1 Läge och omgivning

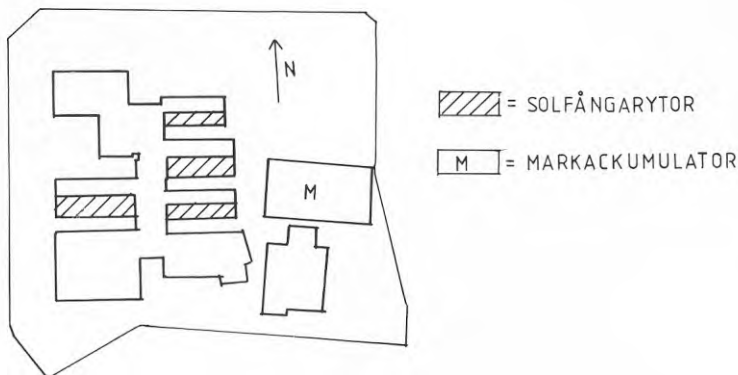
Lindälvsskolan med Sunclay-systemet är belägen i Kungsbacka ca 3 mil söder om Göteborg. Byggnadens latitud och longitud är 57 grad. 29` NB resp. 12 grad. 4` ÖL.

Lindälvsskolan är en gymnasieskola, byggd i ett plan, som ligger i norra delen av Kungsbacka centrum på ett fält i nord-sydlig riktning mellan två mindre åsar. Höjden över havet är 3 meter. Se fig. 2.2 på nästa sida.

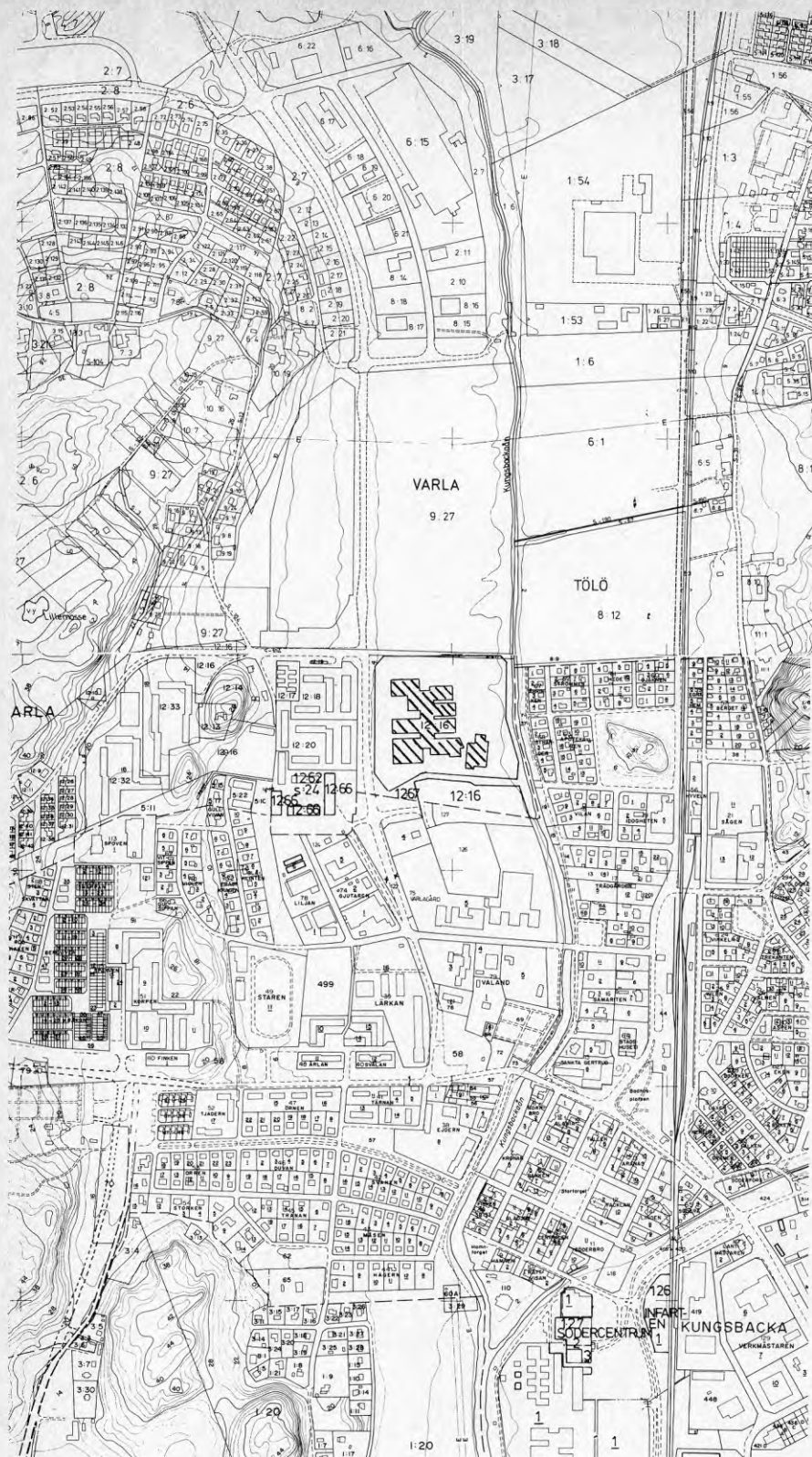
Solfångarna är monterade på några av byggnadens tak som vätter mot söder och har lutningen 14 grad. mot horisontalplanet. Placeringen av solfångarna framgår av figur 2.1.

Området kring skolan är tämligen flackt, vilket innebär att skuggning av solfångarna inte förekommer. Några byggnader som utgör vindskydd finns inte.

Markackumulatorn består av 87 000 m³ lera och är placerad vid sidan om skolan. Se figur 2.1. Ytan ovanför markackumulatorn är asfalterad och används till idrottsliga aktiviteter.



Figur 2.1 Lindälvsskolan med placeringen av solfångare och markackumulator.



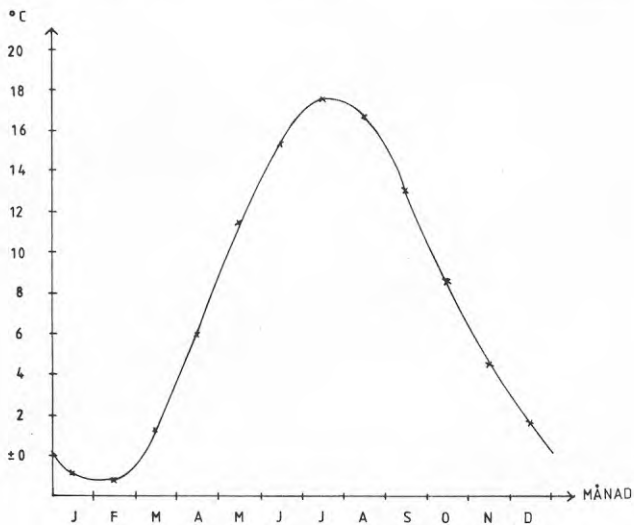
Figur 2.2 Del av Kungsbacka med Lindälvs skolan
(i centrum av figuren) (1:10.000)

2.2 Klimatet

Klimatet i Kungsbacka är ett typiskt kustklimat med milda vintrar och svala somrar.

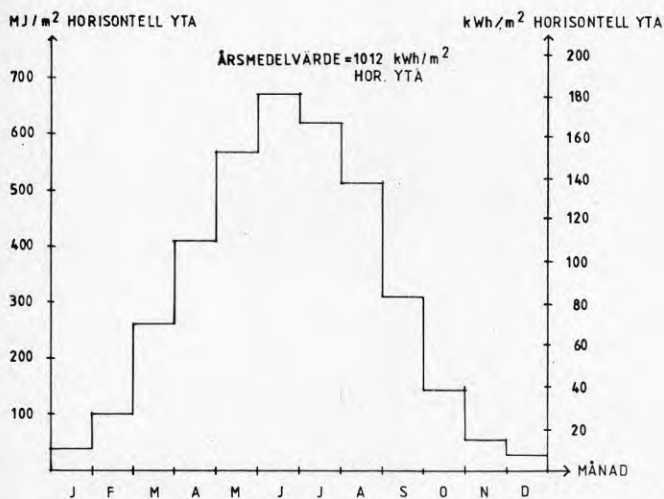
Följande klimatdata gäller för Göteborg (källa: VVS-handboken):

Årsmedeltemperatur	+7,9 grad. C (se även fig 2.3)
Rel. fuktighet	77%
Medelantal mulna dagar per år	173
Medelantal klara dagar per år	57
Medelvärde av snödjup i januari	3 cm
Normalårs nedelbörd	704 mm
EUT 5 (extrem utetemp. under 5 dygn)	-19 grad. C
DUT 5 (dimensionerande utetemp under 5 dygn)	-15 grad. C
Maximalt tjäldjup för mo	1,4 m



Figur 2.3 Uteluftens normaltemperatur månadsvis för ett normalår i Göteborg.

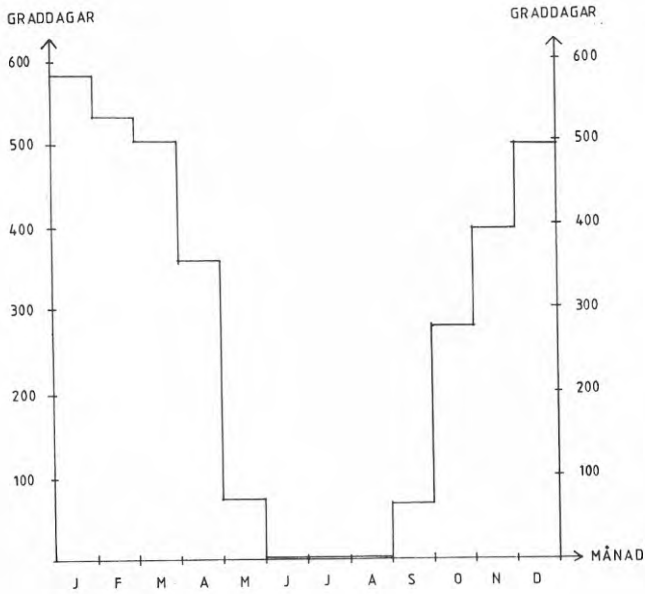
Ur SMHI's statistik framgår följande solinstrålningensdata för Torslanda, Göteborg där mätningar har utförts under åren 1961 - 1977.



Figur 2.4 Månadsmedel av globalinstrålning för perioden 1961 - 1977 i Torslanda, Göteborg.

Antalet graddagar för ett normalår i Göteborg är 3285 st. Denna siffra gäller för uppvärmning till +17 C med eldnings-gränserna +12 C (april), +10 C (maj - juli), +11 (aug) +12 C (sept) och +13 C (okt). Under april - oktober gäller antalet graddagar endast dygn med lägre medeltemperaturer än eldningsgränsen.

Figur 2.5 visar hur antalet graddagar fördelar sig på månaderna under ett normalår.



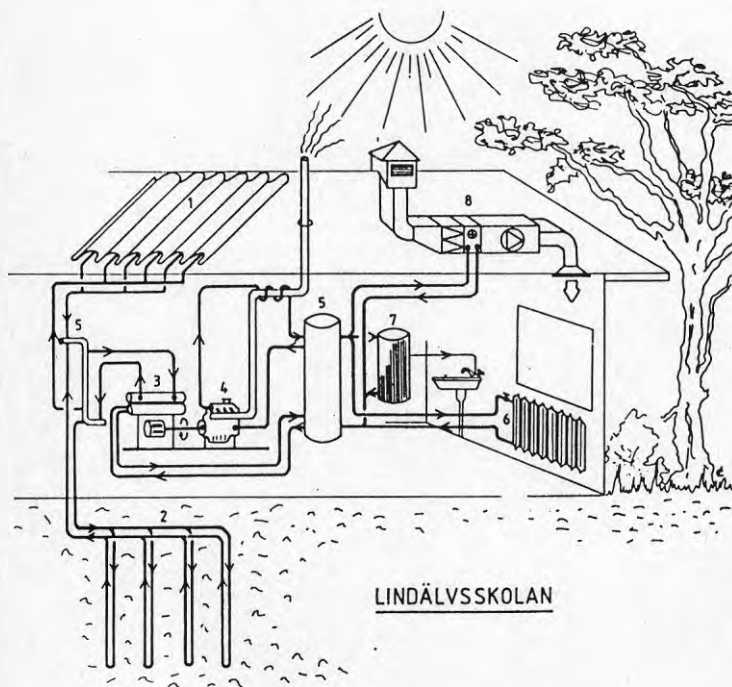
Figur 2.5 Månadssummor av graddagar för ett normalår i Göteborg (källa SMHI).

3 Beskrivning av värmesystemet

Värmesystemet i Lindälvsskolan består dels av en förbrukardel och dels av en produktionsdel.

Förbrukardelen består av ett konventionellt radiatorsystem och ett antal luftbehandlingsaggregat.

Produktionsdelen utgörs av solfångare och dieseldrivna värmepumpar. I denna del ingår även ett marklager för solenergi.



- | | |
|------------------|-------------------------|
| 1. SOLABSORBATOR | 5. UTJÄMNINGSTÄNK |
| 2. VÄRMEGASIN | 6. RADIATOR |
| 3. VÄRMEPUMP | 7. VÄRMVATTENBEREDARE |
| 4. DIESELMOTOR | 8. VENTILATIONSAGGREGAT |

figur 3.1. SUNCLAY-systemet

3.1 Förbrukare (byggnaden)

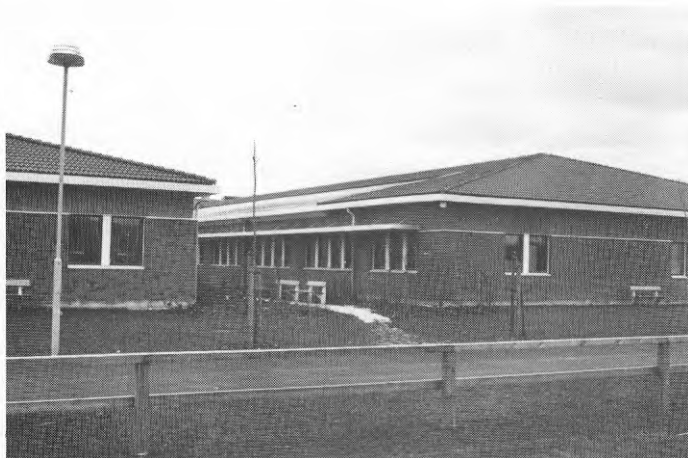
Energiförbrukaren i detta projekt är en en-plans gymnasieskola byggd för 800 elever. Totala byggnadsytan är 15000 m². Skolan innehåller förutom lärosalar, bibliotek, expedition även kök med restaurang, teaterlokal, gymnastiksal och ungdomsgård.

Byggnadskonstruktionen är platta på mark med träregelväggar och råsponttak isolerade med mineralull. Innertaken består av lättbetong. Samtliga fönster är tre-glasfönster. Skolan är helt byggd enligt krav i SBN 75.

Transmissionsförlusterna täcks med radiatorer som är dimensionerade för temperaturerna 53-38 grad. C vid dimensionerande utetemperatur (DUT).

Skolan är utrustad med balanserad ventilation där varje ventilationsaggregat är utrustat med värmeväxlare för återvinning av energi från frånluften.

Temperaturen i lokalerna hålles konstant på +20 grad.C dygnet runt. Varmvatten vid tappställe har temperaturen +40 grad. C.



Figur 3.2 Lindälvsskolan, exteriör



Figur 3.3 Lindälvsskolan, interiör. Utanför fönstret syns en del av solfångarna och på väggen syns en radiator

3.2 Producent (solenergisystemet)

Energiproduktionsdelen i Lindälvsskolan består av tre huvuddelar:

- solfångare
- dieseldrivna värmepumpar
- värmelager i lera

De fyra dieseldrivna värmepumparna använder värmelagret och solfångarna som energikälla.

Energi produceras också genom att kylenergin från dieselmotorerna tas tillvara och genom att avgaserna kyls.

All producerad energi distribueras till en 10 m³ stor tank som utgör en buffert mot förbrukarsidan.

Funktionen hos solenergisystemet kan kort beskrivas enligt följande.

På sommaren värmer solfångarna upp värmelagret. Den lagrade energin används under uppvärmningssäsongen som värmekälla för värmepumparna.

Av figur 3.1 framgår hur systemet är sammansatt. De följande delkapitlen beskriver huvuddelarna i SUNCLAY-systemet.

3.2.1 Solfångare

Solfångarna utgörs av s.k. stripes som är fästade på korrugerad aluminiumtakplåt. Stripsen är tillverkade av aluminium med ett invalsat kopparrör. Se figur nedan.

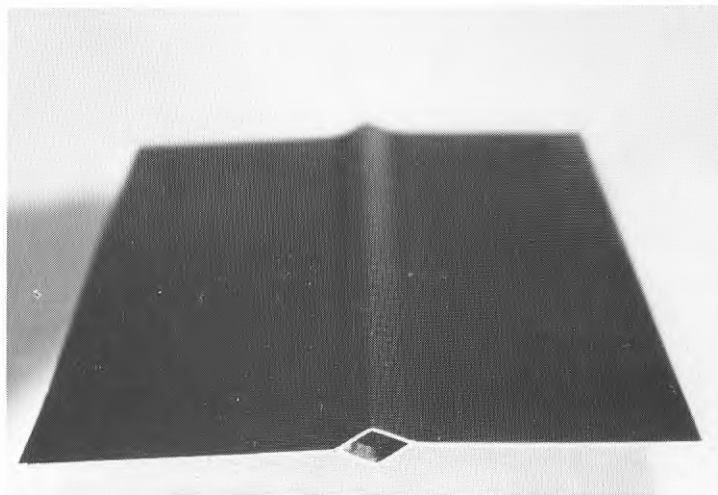
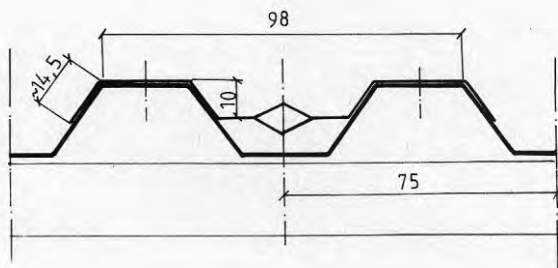


Fig. 3.4 Absorbator s k stripes

Dessa stripes är fästade ovanpå korrugerad takplåt. Stripsen har bockats så att de stämmer överens med takplåten vilket innebär att kylkanalen i mitten av varje stripes ligger skyddad (se figur 3.5).

Tjockleken på aluminiumflänsen är 0.5 mm medan godstjockleken på det invalsade kopparröret är 0.35 mm. Övriga mått framgår av figur 3.5.

Kylkanalen har ett rombiskt tvärsnitt. Tvärsnittsytan är ca 60 mm².



Figur 3.5 Tvärsektion av solfångare

Lindälvsskolans tak är byggda med råspont och papp. Solfångarna är monterade direkt på pappen med korrucellband som hindrar luft att cirkulera under absorbertorn. Undersidan av råsponten är isolerad, vilket innebär att solfångarna isoleras samt att en varm vind erhålles. Denna utnyttjas för installationer.

Enligt tidigare är solfångarna monterade på fyra av skolans tak. Lutningen på taken är 14 grader och riktningen är sydlig. Den totala solfångarytan är 1500 m².

På varje takplåt finns sex stripes monterade. Dessa är sammankopplade enligt figur 3.7. Den vätska som cirkulerar i solfångarna och även i markackumulatortorn är en blandning av kalciumklorid och vatten för att undvika frysning. Koncentrationen av kalciumklorid är ca 25 vikts-%.

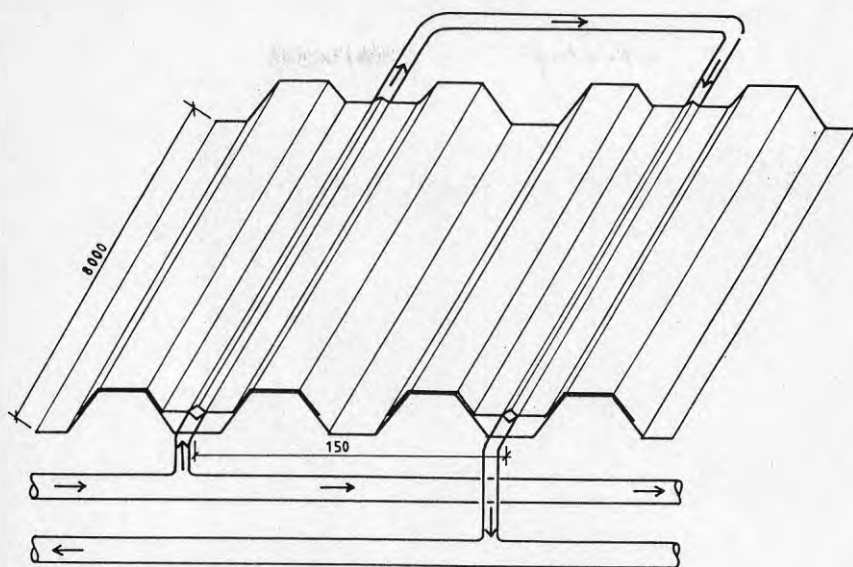
För att undvika korrosion finns en inhibitor med i blandningen. Med jämna mellanrum kontrolleras PH-värde och inbyggda kontrollstavar för att upptäcka eventuellt begynnande korrosion.



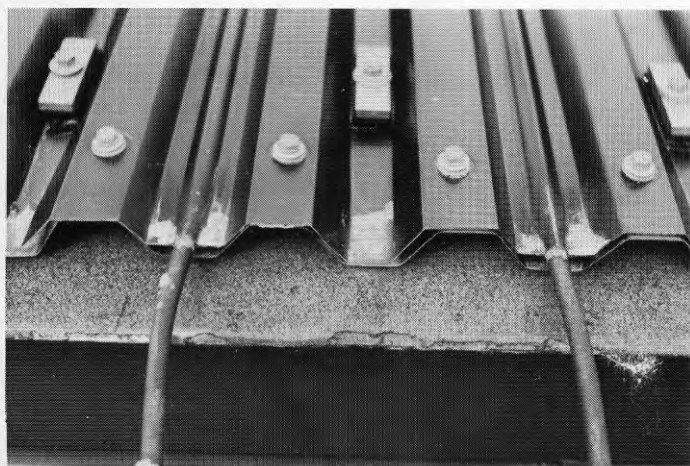
Figur 3.6 Montering av solfångare.

Av figur 3.6 framgår hur kanalsystemet i absorbatoren är sammankopplat till fördelningsledningar och det övriga systemet. Det finns ett tillopp och en retur till var och en av de fyra solfångartaken. Dessa fördelningsledningar ligger utmed takfoten varifrån kopplingsledningar är anslutna till stripsen på absorbatoren. Absorbatoren är 8 meter lång varför salt-vatten-blandningens väg i absorbatoren blir 16 m.

Tryckfallet i själva absorbatoren är relativt högt vilket medför att, då tryckfallet i fördelningsledningarna är relativt litet, flödesfördelningen blir jämn utan att inreglering med ventiler behöver göras.



Figur 3.7 Kanalsystemet i solfångaren.



Figur 3.8 Absorbator och kopplingsledningar.



Figur 3.9 Färdigbyggd solgångare.

3.2.2 Värmelager

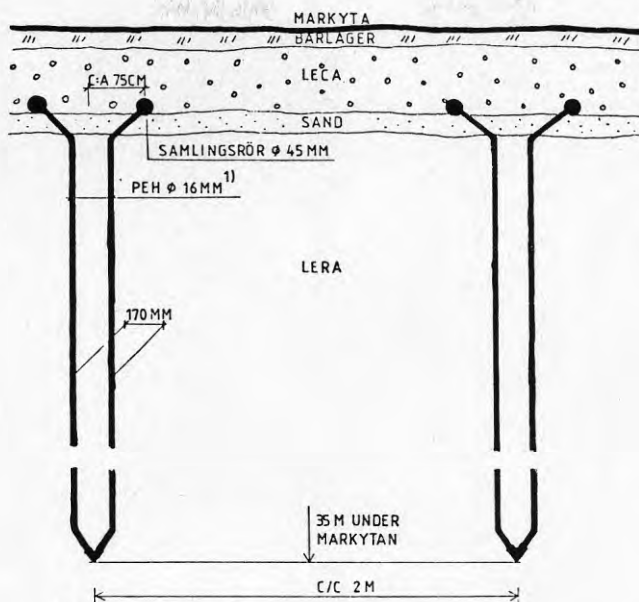
För att lagra solenergi från sommar till vinter används den befintliga lerjorden vid sidan om skolan.

Den lera som utgör värmelagret har en volym av 87000 m³. Lagret är 35 m djupt och har måtten 38 x 65 m vid markytan.

För att kunna tillföra lagret solenergi under sommaren och för att kunna ladda ur lagret under uppvärmningssäsongen har 42000 m plastslang (PEH) installerats i leran.

Plastslangarna, som är U-formade, är placerade vertikalt till 35 m djup. Samtliga U-formade plastslangar är kopplade parallellt. Se figur 3.10.

PRINCIPSEKTION MARKACKUMULATOR



1) TOTAL SLAGLÄNGD 42 000 M

Figur 3.10 U-formade plaströr i leran.

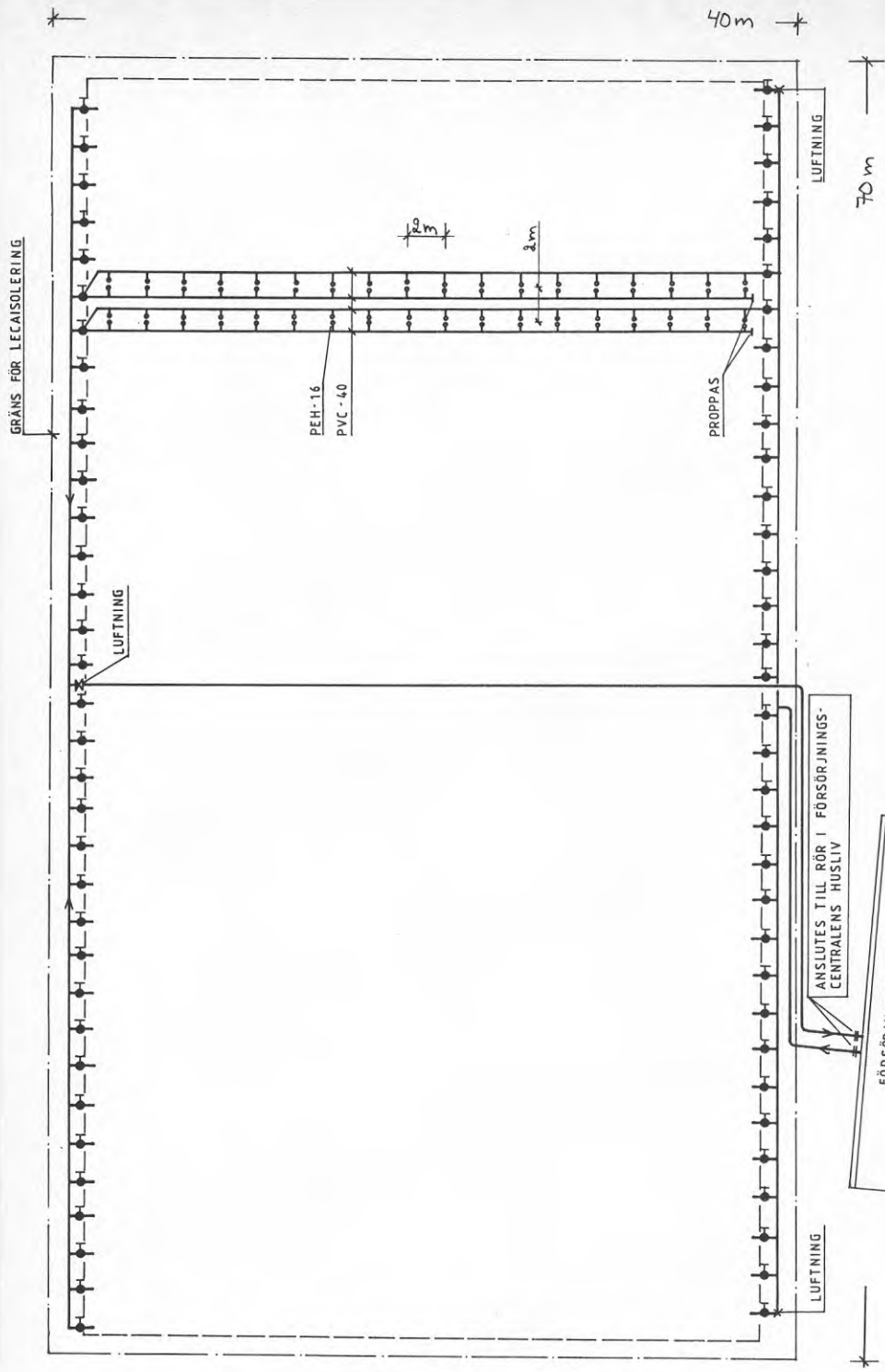
Av figur 3.10 framgår att det är PEH-rör med 16 mm ytterdiameter som används. C-C-avståndet mellan två U-formade plaströr är 2 m.

Figur 3.11 visar i plan hur plastslangarna och samlingsledningarna är placerade. De vertikala U-rören sitter i ett rektangulärt mönster om 34 x 18 st.

Från försörjningscentralen går en huvudledning ut till en samlingsledning som ligger längs med lagret. Till denna samlingsledning är 34 st fördelningsledningar, med varsin avstängningsventil, anslutna.

Var och en av dessa fördelningsledningar försörjer 18 st vertikala U-rör. Dessa U-rör är parallellkopplade vilket framgår av figur 3.11.

När vätskan har passerat ner genom en av U-rörets skänk- lar och upp genom den andra skänkeln, samlas flödet upp i motsvarande fördelningsledning och samlingsledning och leds tillbaka till försörjningscentralen.



Figur 3.11 Plan som visar plaströrens placering i värmelagret



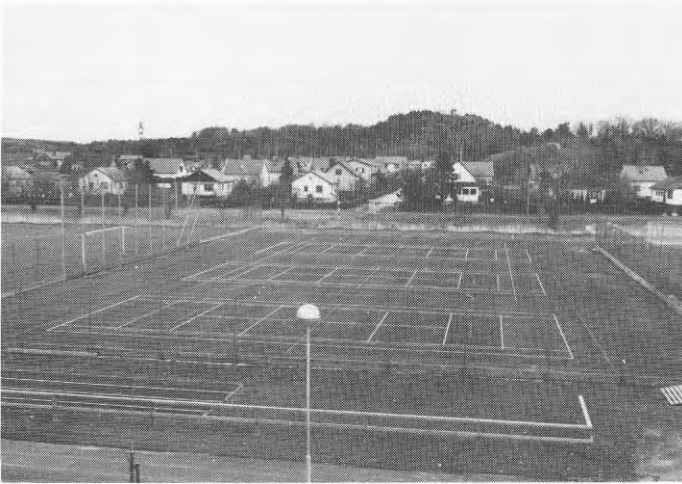
Figur 3.12 Bilden visar en samlingsledning utmed lagrets långsida och fördelningsledningar med avstängningsventiler. Mellan fördelningsledningarna skymtar även övre delen av de vertikala PEH-slangarna.

Att på detta sätt koppla ihop U-rören innebär att all vätska går lika lång väg genom rören vilket betyder att man får en god flödesfördelning utan att använda instrypningsventiler.

På varje fördelningsledning och samlingsledning finns luftningsventiler.

Den vätska som cirkulerar i lagret är densamma som i solfångarna dvs en blandning av 25% kalciumklorid och 75% vatten.

Samlingsledningarna och fördelningsledningarna ligger i en sandbädd ovanpå leran. Som isolering och dränering av lagret används 30 cm leca som ligger ovanpå denna sandbädd. Markytan är belagd med asfalt och används som bollplan.



Figur 3.13 Ytan ovan värmelagret används som bollplan.

Leran som utgör lagringsmediet har en värmekapacitet av ca 3.6 MJ/m³ grad. C (1 kWh/m³ grad. C). Eftersom lagret har en volym av 87000 m³ innebär en grads temperaturförändring 313 GJ (87 MWh) energi. Temperaturintervallet i lagret är ca 9 - 15 grad. C.

Övriga parametrar för leran är:

Värmeledningstal = 0,94 W/m grad. C

Densitet = 1495 kg/m³

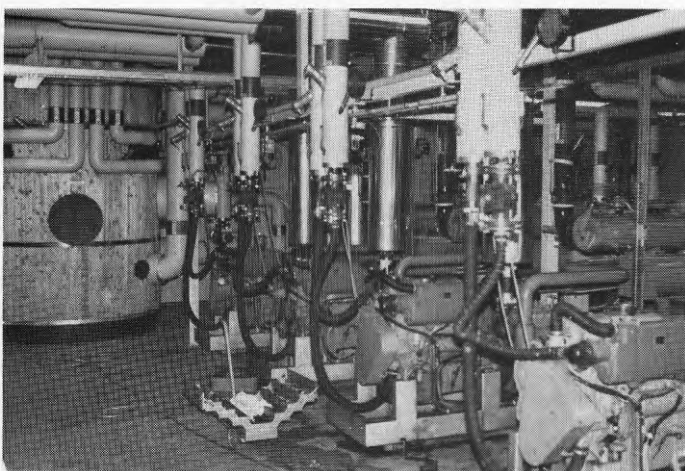
Grundvattenytan ligger ca 2 m under markytan. Några grundvattenrörelser förekommer inte.

3.2.3 Värmepumpar

I Sunclay-systemet ingår fyra dieseldrivna värmepumpar. Värmepumparna inklusive kompressor är av fabrikat STAL Refrigeration medan dieselmotorerna är tillverkade av FORD.

Av figur 3.1 framgår att värmepumparnas förångarsidor är kopplade till solfångarna och värmelagret via en tank. Om solfångarna ger energi samtidigt som värmepumparna går, kommer solenergin att direkt distribueras till värmepumparna utan att gå via lagret.

Kondensorererna levererar 45-gradigt vatten till en uppsamlingstank (10 m³).



Figur 3.14 Dieselmotorer och värmepumpar.

De fyra värmepumpaggregaten består av i princip aggregat VMV 8 av fabrikat STAL Refrigeration med separat monterad kompressor av typ P8. Kompressorn drivs av en dieselmotor av fabrikat FORD modell 2712E. Köldmedium är R-12.

Vid utgående köldbärartemperatur 0 grad. C och utgående värmebärartemperatur +45 grad. C avger kondensorn 98 kW värme. Kyleffekten i detta driftsfall är 70 kW.

3.2.4 Övriga delar

Under denna rubrik behandlas de båda tankarna i systemet samt kylningen av dieselmotor och dess avgaser.

Enligt figur 3.1 finns det en tank på värmepumparnas förångarsida och en annan tank på dess kondensorsida. Den förstnämnda utgör förbindelsepunkt mellan solfångare, värmelager och värmepumpar. Dess existens möjliggör att olika flöden kan passera dessa tre huvudkomponenter.

Den andra tanken utgör gräns mellan produktionssidan och konsumtionssidan. Samtidigt som den utgör en buffert mellan värmepumparna och förbrukarna (vilket förhindrar korta start- och stopp hos värmepumparna) ger den möjlighet till att på ett enkelt sätt återvinna energi från dieselmotorernas avgaser. I toppen av denna 10 m³ stora tank finns nämligen fyra stycken batterier som är kopplade till dels kylsystemet hos dieselmotorerna dels till avgasvärmväxlare. Detta framgår av figur 3.1. Förutom att använda de normala kylkanalerna i dieselmotorn används även ett vattenkylt grenrör.

Avgasvärmväxlarna består av två koncentriska rör av vilka avgasröret är det innersta. I det yttre röret cirkulerar vattnet som då kyler avgaserna till ca 300 grad. C. Längden på dessa värmväxlare är 6 m. Pumpen som cirkulerar runt vattnet är den som normalt sitter i dieselmotorns kylsystem.

Till den 10 m³ stora tanken distribueras således all producerad energi innan den förbrukas. I toppen av tanken är temperaturen 55 grad. C (kyl- och avgasenergi) i mitten 45 grad. C (kondensorenergi) och i botten samlas allt returvattnet från förbrukarsidan. Temperaturen i botten är ca 35 grad. C.

3.2.5 Reglerutrustning

Den reglerutrustning som används i SUNCLAY-projektet är helt och hållet av konventionell typ och standard. Fabrikaten är Billman och PAAB.

De delar av systemet som regleras är följande:

- framledningstemperaturer till radiatorer och luftbehandlingsaggregat
- framledningstemperaturen till genomströmningsberedare för varmvatten
- inkoppling av solfångare

Vad gäller första punkten används normal utomhustemperatur - kompenserad framledningstemperatur.

Utegivare: QAC 31 (Billman)
 Reglercentral: RVL 41,10 (Billman)
 Trevägsventil: VXG 41,40 (Billman)
 Temperaturgivare: QAE 21 (Billman)
 Soltgivare: QAC 31 (Billman)

Genom att shunta fram vatten på primärsidan till genomströmningsberedaren för varmvatten erhålles den effektavgivning som behövs beroende på vilken tappning som råder för tillfället.

Temperaturgivare: RCE 61,11 (Billman)
 Reglercentral: FZA 21 (Billman)
 Trevägsventil: VXF 31,00 (Billman)

Solfångarna skall kopplas in endast då de kan höja temperaturen på den vätska som kommer upp ur värmelagret. För att solfångarnas temperatur skall kunna mätas cirkulerar hela tiden ett flöde runt i solfångarna. När denna temperatur överstiger temperaturern på vätskan från värmelagret med en i förväg inställd differens öppnar en trevägsventil och blandar in vätskan från solfångarna.

Om temperaturen på vätskan (då solfångarvätskan har blandats in) överstiger 30 grad. C börjar trevägsventilen att stänga så att flödet shuntas runt i solfångarna igen. Detta för att förhindra för varm vätska att komma i kontakt med samlingsledningarna (PVC) på värmelagret och dessutom är detta maximaltemperaturen som värmepumparnas förångarsidor tål.

Temperaturgivare: PT 100 (PAAB)
 Reglercentral: E-analog 2 (PAAB)
 Trevägsventil: Typ 300 (PAAB)

4. Driftsfilosofi

SUNCLAY-systemet samlar under sommaren in solenergi som laddas in i värmelagret. När skolstarten kommer i augusti börjar värmepumparna producera energi och då används den lagrade solenergin.

Värmelagret och värmepumparna är dimensionerade så att de skall förse skolan med energi under hela uppvärmningssäsongen.

Genom att på detta sätt lagra sommarens solenergiöverskott till vintern kommer värmepumparna att arbeta med en relativt hög temperatur på förångarsidan vilket medför en hög värmefaktor.

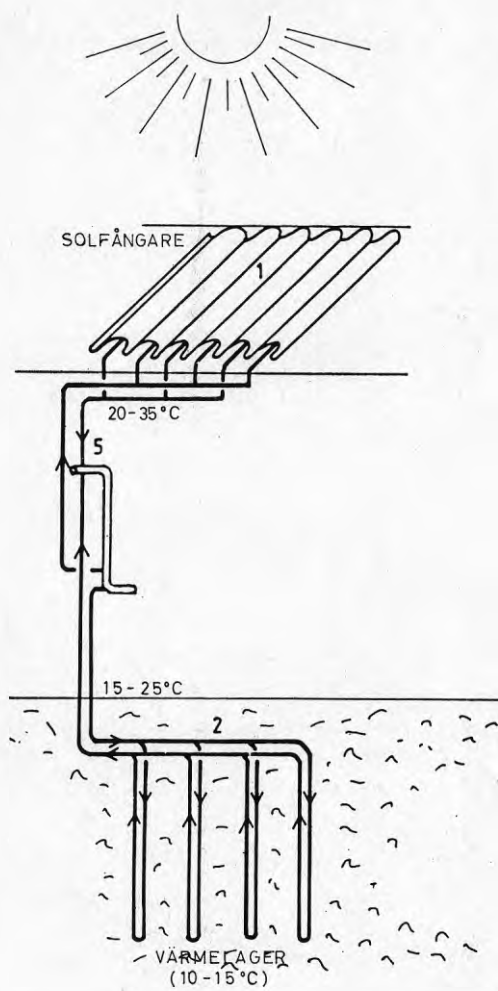
4.1 Driftfall

SUNCLAY-systemet arbetar med följande tre driftfall:

- sommarfallet (laddning av lager)
- vinterfallet (urladdning av lager)
- vår/höstfallet (laddning/urladdning av lager, solenergi direkt till värmepumparna eller via lagret)

Figur 4.1 visar sommarfallet då värmelagret laddas med solenergi. Under sommaren föreligger endast ett mycket litet energibehov vad gäller skolan.

Under sommaren arbetar solfångarna med medeltemperaturer mellan 20 - 35 grad. C. I tanken blandas medium från solfångare och värmelager. Temperaturen på brinen ner i värmelagret ligger i intervallet 15 - 25 grad. C.

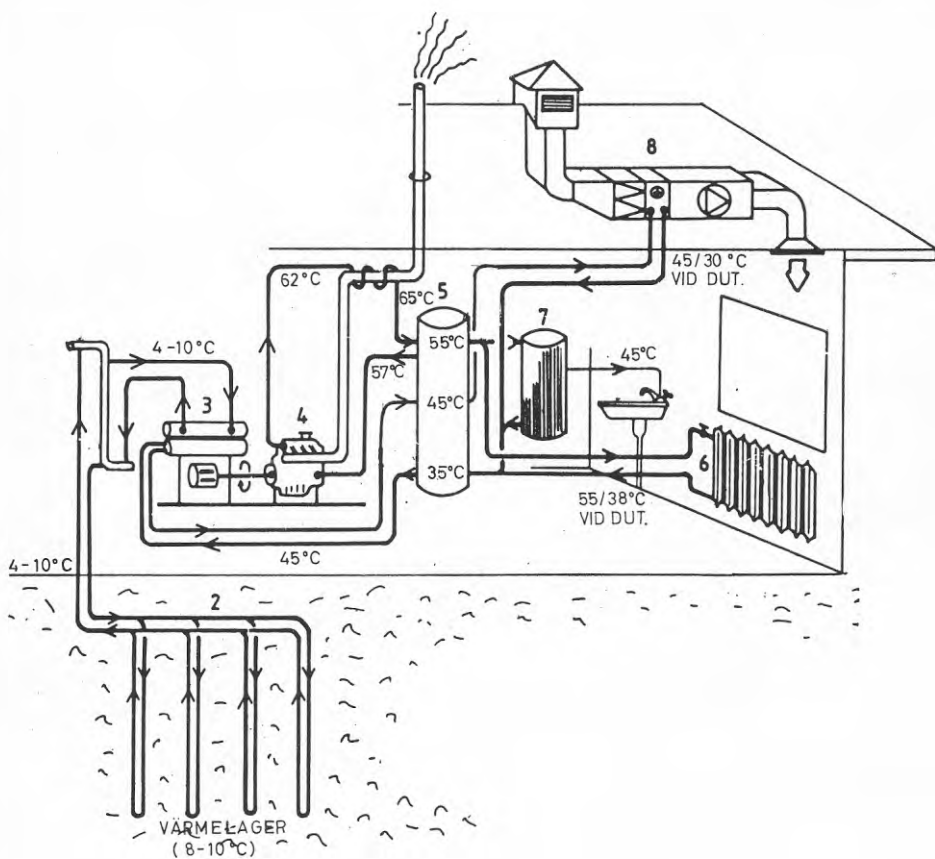


Figur 4.1 Sommarfallet

Vinterfallet innebär att värmepumparna använder den lagrade solenergin från värmelagret som värmekälla. Temperaturen på brinen mellan värmelagret och förångarna ligger i inter-vallet +4 grad. C till +10 grad. C.

I värmepumparnas kondensor produceras 45-gradigt vatten. Detta levereras till mitten av tanken.

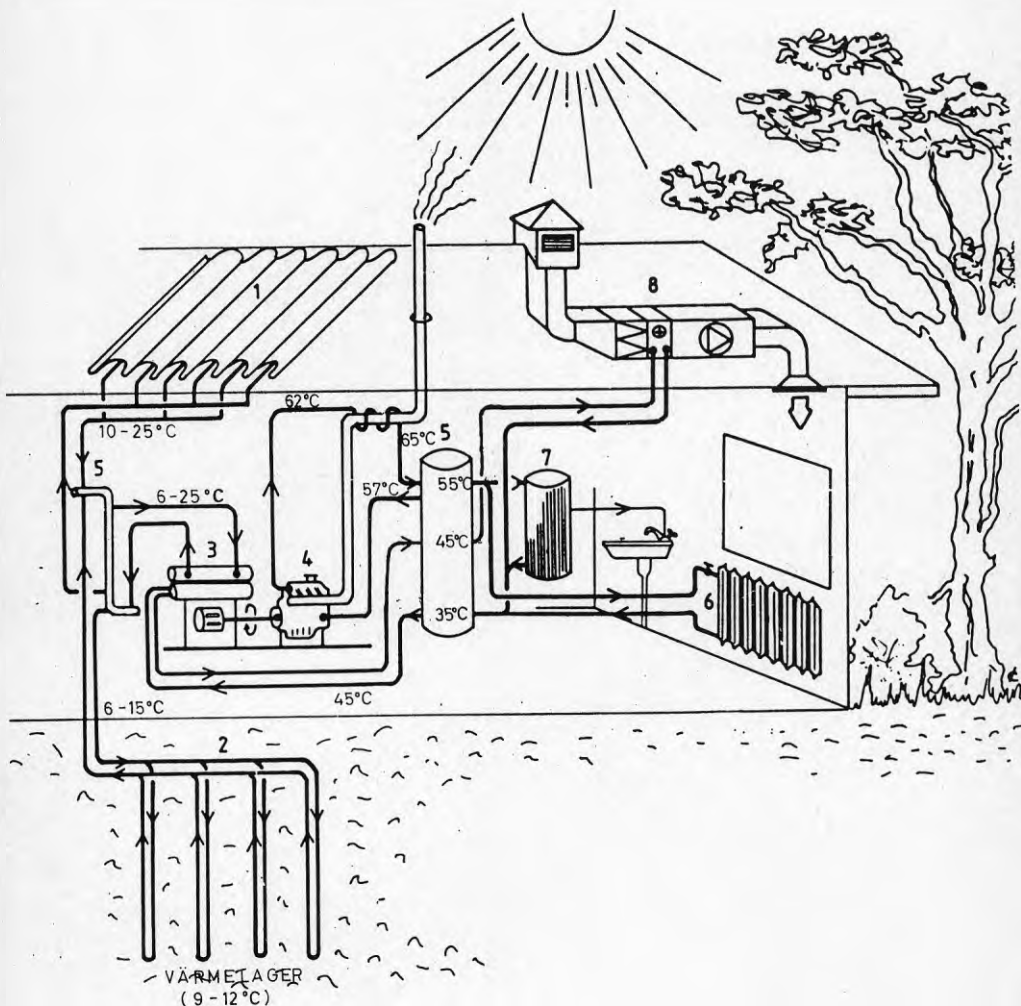
Till toppen levereras energi från dieselmotorernas kylsystem och från avgasvärmväxlarna. Temperaturen i toppen av tanken är 55 grad. C.



Figur 4.2 Vinterfallet.

På förbrukarsidan används det 55 grader varma vattnet i toppen till radiatorer och varmvattenberedare. Till ventilationsaggregat och eftervärmningsbatterier används vatten från mittsektionen med temperaturen 45 grad. C.

Vår/höst-fallet (fig. 4.3) är en kombination av sommar- och vinterfallet. Vad gäller värmepumparnas kondensatorer, dieselmotorerna, kyl- och avgassystemet samt förbrukarsidan gäller samma temperaturer som i vinterfallet.



Figur 4.3 Vår/Höstfallet

På värmepumparnas förångarsida dvs "solsidan" gäller en kombination av sommar- och vinterfallen. I detta driftfall ger solfångarna energi samtidigt som skolan har ett energibehov dvs solenergi går direkt till värmepumparna utan att passera värmelagret.

Beroende på hur stort solenergitillskottet är i förhållande till vad värmepumparna kräver laddas eller urladdas värmelagret.

Temperaturnivåerna på "solsidan" är något lägre än vid sommarfallet.

4.2 Reglerstrategi

Reglerstrategin för SUNCLAY-systemet är enkel. Solfångarpumpen startar då solfångarna kan producera energi i förhållande till temperaturen på brinen som kommer upp från värmelagret. Brinen cirkulerar alltid runt i värmelagret.

Avsikten är att ta tillvara så mycket solenergi som möjligt dvs använda den direkt i värmepumparnas förångare eller lagra den.

Genom att starta upp eller stänga av en eller flera värmepumpar regleras den avgivna effekten. Dieselmotorerna går vid drift med ett konstant varvtal av 1500 rpm. För att dessa stopp och start inte skall vara för frekventa arbetar värmepumparna mot den 10 m³ stora uppsamlingstanken som utgör buffert mot förbrukarsidan.

5. Uppföljning - utvärdering

SUNCLAY-systemet innehåller tre teknikområden som tidigare inte tillhörde konventionell teknik. Därför finns det en mängd frågor på dessa teknikområden.

De tre teknikområden som åsyftas ovan är:

- solfångare av takplåt
- värmelagring i lera
- dieselmotordrivna värmepumpar

Dessutom framkommer ytterligare frågeställningar då man i ett projekt som SUNCLAY sätter samman dessa icke konventionella enheter.

Vad gäller solfångarna är följande frågor av intresse:

- hur ser verkningsgradskruvan ut?
- hur smutsig blir solfångaren?
- fungerar urluftningen av rören?
- klarar solfångare och kopplingsledningar av uppgiften rent hållfasthetsmässigt?

Följande frågor är intressanta angående värmelagret:

- hur förändras värmeangivningen från de vertikala plaströren med tiden?
- hur stora är förlusterna från lagret?
- hur ser temperaturfördelningen ut i och utanför lagret vid olika årstider?
- vilka geologiska konsekvenser får temperaturförändringen i leran?
- hur håller rören i marken för påfrestningarna?

Angående värmepumpaggregaten och kyl- och avgassystemen är de mest intressanta frågeställningarna:

- hur stor är värmefaktorn?
- hur mycket energi kan återvinnas genom kyl- och avgassystemen?
- drifttiden hos dieselmotorerna?

Vad gäller hela systemet är följande frågeställningar intressanta:

- vad blir anläggningens värmebesparingsfaktor?
(d v s kvoten mellan producerad och köpt energi)
- hur fördelas energibehovet på uppvärmning, varmvatten och ventilation?
- hur mycket underhåll kräver anläggningen?

För att finna svaren på dessa och liknande frågor har ett stort antal temperaturgivare och flödesgivare installerats.

Mätcentralen vid Chalmers Tekniska Högskola är ansvarig för mätningarna som pågår t o m 1984.

5.1 Definitioner

Här definieras de energier, temperaturer och effektivitetsmått som används för att beskriva SUNCLAY-systemets arbetssätt.

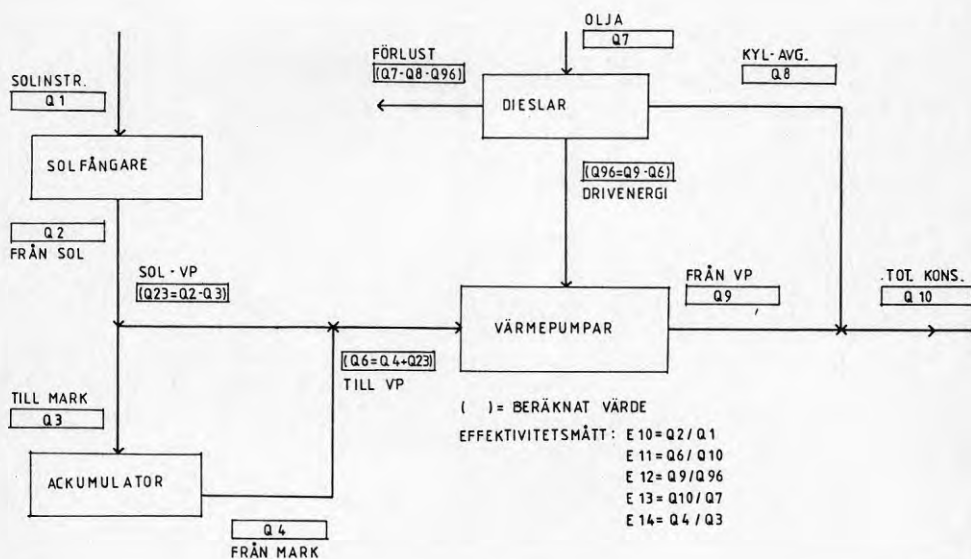
Energier

- totalt instrålad solenergi (direkt + diffus) mot solfångarnas plan (Q_1 , J/m² (Wh/m²))
- av solfångarna levererad energi (Q_2 , J/m²(Wh/m²))
- till värmelagret levererad energi (Q_3 , J (Wh))
- ur värmelagret urladdad energi (Q_4 , J (Wh))
- solenergi direkt till värmepumparna (Q_{23} , J (Wh))
- totalt levererad solenergi till värmepumparna ($Q_6=Q_4+Q_{23}$, J (Wh))
- av dieselmotorerna förbrukad olja (Q_7 , J (Wh))
- genom kylning av motor och avgaser återvunnen energi (Q_8 , J (Wh))
- av kondensatorerna producerad energi (Q_9 , J (Wh))
- totalt konsumerad energi (Q_{10} , J (Wh))

Effektivitetsmått

- insamlad/instrålad solenergi (E10)
- andelen solenergi av totalt producerad energi (E11)
- värmepumparnas värmefaktor (producerad effekt/axel-effekt) (E12)
- anläggningens värmebesparingsfaktor (producerad energi/köpt oljeenergi) (E13)
- värmelagrets effektivitet (urladdad/iladdad årlig energi) (E14)

Ovan givna definitioner framgår av flödesdiagrammet i figur 5.1.



SUNCLAY

Figur 5.1 Energiflödesdiagram.

5.2 Mätanläggning

Mätanläggningen i Sunclay-projektet består av givare och datorutrustning. Givare finns för mätning av temperaturer, flöden, solinstrålning, vindriktning, vindhastighet samt luftfuktighet.

Datorutrustningen samlar in mätvärden från givarna, gör beräkningar och lagrar vissa data.

Mätproceduren tillgår så att varannan minut avläses givarnas värden och energiflöden beräknas. Varje hel timme summeras så energierna till timvärden och timmedelvärden beräknas av temperaturer, luftfuktighet, solinstrålning, vindriktning och vindhastighet. Varje dygn kl 24.00 efter det att 2-minutersvärden och timvärden är inlästa och beräknade lagras alla timvärden på datorns skivminne.

Efter varje 2-minutersperiod kan man på datorns textskärm avläsa systemets status dvs aktuella temperaturer, flöden, energier etc.

Datorns skivminne rymmer data för 8 dagar. Varje vecka byts skivan mot en ny. Den gamla skivan överlämnas till Mätcentralen Chalmers Tekniska Högskola (MCTH) där data överförs till en stor dator. Med ett datorprogram för bearbetning och presentation av mätdata kallat MUMS kan man i efterhand ta fram lagrade timvärden och studera hur SUNCLAY-systemet har fungerat.

5.2.1 Givare

I mätningssanläggningen ingående givares placering framgår av figur 5.2.

Givare med beteckning GTU-XX är temperaturgivare medan GFU-XX markerar flödesgivare. Dessutom förekommer följande beteckningar:

GMU-X (luftfuktighetsgivare)
 GVU-X (vindhastighetsgivare)
 GRU-X (vindriktningssgivare)
 GIU-X (solinstrålningsgivare)

Vad gäller markackumulatören finns två grupper av temperaturgivare utplacerade. Den ena gruppen består av sex givare som är placerade i markackumulatören mellan två av de vertikala U-rören som utgör värmeväxlarelement. De sex givarna är placerade på 10 meters djup och med ett avstånd från ett utav U-rören som är $y \times 20$ cm där $y = 1, 2, \dots, 6$.

Den andra gruppen av temperaturgivare i mark är placerade strax utanför ackumulatören. Denna grupp består också av sex givare. Dessa är placerade på två djup 10 och 35 m, med avstånden 2, 4 resp 6 m från det yttersta U-röret. (se vidare kap. 7.2.2.)

Temperaturgivarna utgörs av PT-100-givare i fympolskoppeling. Vid mätning av temperaturer på flöden är givarna placerade i dykrör monterade i rören. Mätning och omräkning av absolutvärden ger ej ett större fel än $\pm 0,2$ grad. C enligt MCTH.

Flödesmätarna är av typ Litre-Meter. En komplettering av mätningssanläggningen har utförts varvid en induktiv flödesmätare av typ Mag-flux används (registrering av flöde genom kondensorererna). De ursprungliga mätarna är kalibrerade vid fabrik och ur protokollen erhålles en onoggrannhet av $\pm 3\%$. Noggrannheten för den induktiva mätaren är inte sämre än detta.

Svårigheten att mäta temperaturdifferenser med PT-100 givare ger tillsammans med onoggrannheten hos flödesmätarna samt den använda mättekniken en onoggrannhet vid energigiberäkningarna på ca 10%.

Solarimetern har i sitt kalibreringscertifikat ingen uppgift om onoggrannhet. Vid jämförelse med solarimetrar av samma fabrikat på andra projekt kan felet uppskattas till ca $\pm 3\%$.

Anemometern har kalibrerats av MCTH och har ett fel av 5-10%.

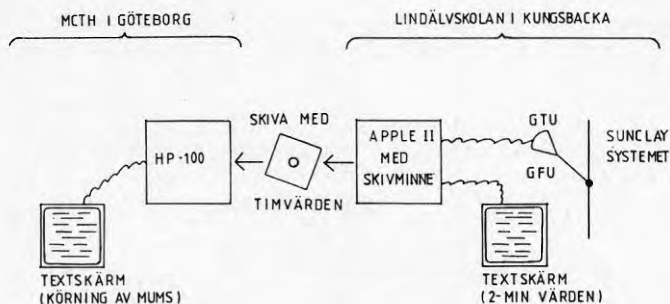
Vindriktningsgivaren har inställts med kompass. Felet är här ca ± 5 grader.

Fuktmätarens onoggrannhet är $\pm 3\%$.

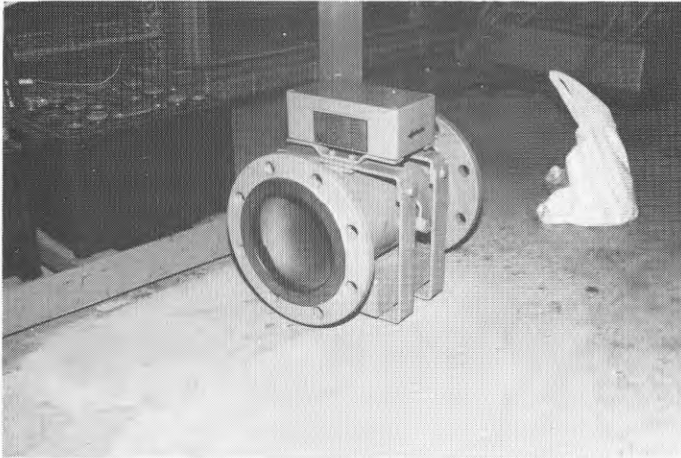
5.2.2 Datorutrustning

Datorutrustningen består av en APPLE II bordsdator med tillhörande textskärm och skivminne. Till datorn har anslutits en Schlumberger voltmeter 7055 för mätning av spänning och resistans, samt en på MCTH tillverkad digital enhet för registrering av antalet pulser från t.ex. flödesmätare.

På MCTH i Göteborg används en dator av typ HP-1000 för att lagra märvärden och för att kunna utvärdera med programmet MUMS.



Figur 5.3 Schematisk bild av hur mätvärden från SUNCLAY-projektet behandlas.



Figur 5.4 Induktiv flödesgivare av typ Mag-flux (DN 150)

5.3 Användning av mätvärden

De temperaturer och flöden som registreras varannan minut används till att beräkna energier för denna tidsperiod. Av figur 5.1 (kap 5.1) framgår energiflödena genom Sunclay-systemet.

Solinstrålningen (Q_1) mäts med solarimeter. Producerad energi av solfångarna (Q_2) beräknas m.h.a uppmätt flöde och temperaturer, liksom till värmelagret levererad energi (Q_3).

Solenergi direkt till värmepumparna (Q_{23}) beräknas som skillnaden mellan Q_2 och Q_3 .

Ur värmelagret urladdad energi (Q_4) beräknas m.h.a uppmätt flöde och temperaturer.

Totalt levererad solenergi till värmepumparna (Q_6) beräknas som summan av Q_{23} och Q_4 . Dessutom mäter man den elenergi som cirkulationspumparna förbrukar.

Av kondensatorerna producerad energi (Q_9) beräknas m.h.a uppmätt flöde och temperaturer liksom energin som återvinns genom kylning av motorer och avgaser (Q_8).

Drivenergin för värmepumparnas kompressorer (Q_{96}) beräk-

nas som skillnaden mellan Q_9 och Q_6 .

Förlusterna från dieselmotorerna kan sedan beräknas genom att subtrahera Q_8 och Q_{96} från av dieselmotorerna förbrukad oljeenergi (Q_7).

Totalt konsumerad energi (Q_{10}) beräknas som summan av energierna till varmvatten, radiatorer och ventilationsaggregat som beräknas m.h.a uppmätt flöde och temperaturer.

Av figur 5.1 framgår också hur de aktuella effektivitetsmått beräknas.



Figur 5.5 Mätskåpet med datorutrustning vid Lindälvskolan.

6 Bygg- och driftperioden

Byggnationen av SUNCLAY-systemet utfördes våren 1980 - våren 1981.

Entreprenadformen var delad entreprenad med följande sammansättning.

Byggentreprenör - Skånska Cementgjuteriet

Rörentreprenör - NP Lund, Nilsson & Billö

Markackumulator-
entreprenör - BPA, Göteborg

Detta kapitel beskriver solfångarna, värmelagret och värmepumparna under byggskedet samt vad som har hänt hittills under driftperioden från den 1 april 1981.

6.1 Solfångarna

Att bygga dessa solfångare är ungefär samma sak som att lägga ett aluminiumtak. Skillnaden utgörs av att man i detta fall även måste ansluta kopplingsledningarna till fördelningsledningar.

Erfarenheten från byggnationen är att monteringen på ett enkelt sätt utförs av två personer utan specialverktyg. Ett villkor är att vinden inte får vara för stark ty aluminiumplåtarna är väldigt lätta. Att bygga dessa solfångare på tak med 14 graders lutning, som i Sunclay-projektet, utgjorde inget problem.

Efter ett par veckors drift upptäcktes att några stripes hade börjat läcka. Det var lödningen mellan kopplingsröret och själva stripset som i några fall inte var tillräckligt bra.

Dessutom upptäcktes att själva stripset läckte på vissa ställen. Det visade sig att vid tillverkningen inte tillräcklig renhet hade hållits vid valsningen av stripset. Detta medförde att galvaniska strömmar uppkom då systemet fylldes med saltblandat vatten vilket i sin tur medförde att läckage uppstod.

Efter det att dessa läckage blivit åtgärdade har inga nya läckage uppkommit.

Vidare har man kunnat konstatera att försmutsningen av solfångarna är tämligen obetydlig. Den eventuella smuts som samlas på solfångarna sköljs bort med regnvatten.

De rörelser som uppkommit p.g.a skiftande temperaturer i solfångaren och kopplings- och samlingsledningar, har inte medfört några problem vad gäller hållfastheten.



Figur 6.1 Montering av solfångare.



Figur 6.2 Närbild av solfångare (stripes med kopparrör, TRP-plåt)



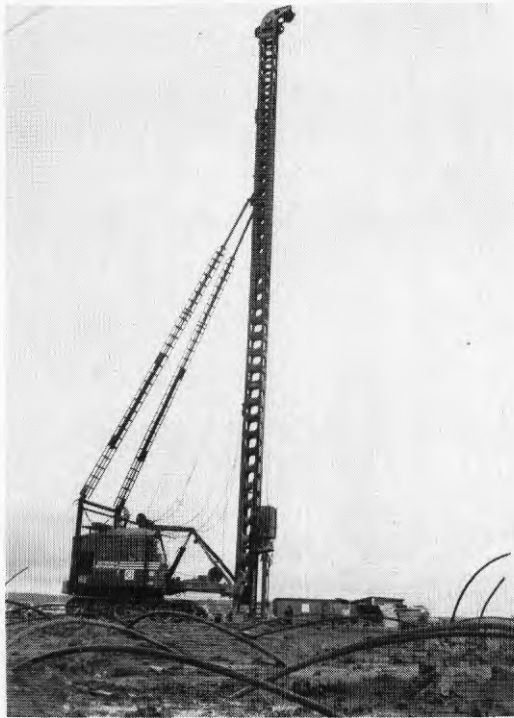
Figur 6.3 Kopplingsledningar för solfångare anslutes vid takfot till samlingsledning.

6.2 Värmelager

Att lagra energi i lera var vid projekteringstillfället en helt ny företeelse. Sålunda utvecklades för detta projekt en egen metod att placera plaströren vertikalt i leran (se kap 3.2.2).

Denna metod går ut på att man använder en ordinär pålkran med vars hjälp man trycker ner ett stålrör (rektangulärt tvärsnitt) med ett lock i nedersta änden till 35 m djup. I detta stålrör för man sedan ner ett "U-rör" av plast, som har förtillverkats, med hjälp av ett lod. Därefter vattenfylls plaströret och locket i botten av stålröret skjuts ut i leran m.h.a tryckluft. Detta betyder att leran rusar in i stålröret och tar tag i plaströret. Därefter lyfter man upp stålröret försiktigt. Skänklarna på "U"-röret hålls isär av lodet som följer med stålröret upp och kan användas igen.

Resultatet av ett sådant "stick" är att "U"-röret av plast placerats vertikalt i marken samt att locket till stålröret blir kvar i leran.



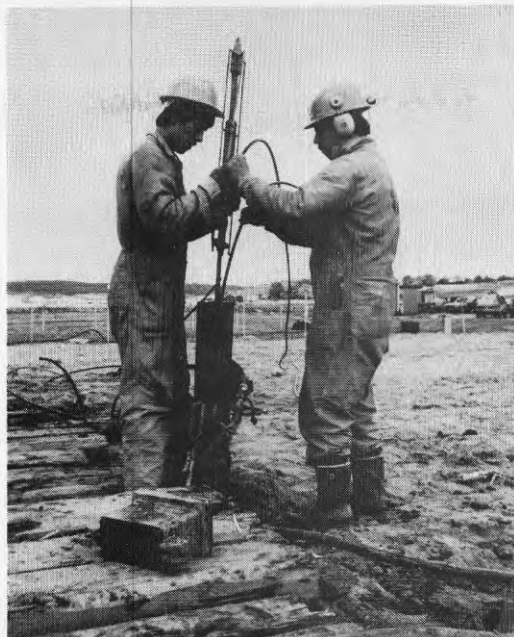
Figur 6.4 Placering av plaströr vertikalt i lera m.h.a pålkran.



Figur 6.5 Nedre delen av "U-röret"



Figur 6.6 Nertryckning av ihålig påle



Figur 6.7 Placering av plaströr i påle med lod-konstr.



Figur 6.8 Plaströret vattenfylles

I Sunclay-projektet utfördes 612 "stick". Av dessa var det ca. 10 st. "U"-rör som inte klarade den efterföljande provtryckningen.

Som isolerings-och dräneringsskikt användes ett 30 cm tjockt lager av lecakulor.

Trots att detta var en helt nyutvecklad metod, för att installera plaströr i lera, visade det sig att när initialproblemen var lösta gick installationen bra.

I medeltal gjordes 15-20 "stick" per dag under byggandet av ackumulatorn.

De vertikala plaströren i leran består av PEH medan samlings- och fördelningsledningar består av PVC.

Det har visat sig under driftperioden att de vertikala rören av PEH inte har skadats så att läckage har uppkommit. Däremot har rören av PVC ovanpå värmelagret varit en svag länk. Det har nämligen uppkommit två läckor på detta system. Båda har inträffat på hösten och förmodligen är orsaken att PVC:n är för svag då brinen blir kallare och rören drar ihop sig.

Temperaturförändringar i marklagret ger en termisk förändring av lervolymen samt vissa förändrade egenskaper hos lerlagret. Portrycksmätningar visar hittills inte några större förändringar vilket förmodligen beror på den måttliga temperaturhöjningen i lagret.

Värmelagret hade höjt sig ca 8 mm och referenspunkten ca 2mm i juli 1982 jämfört med april 1982. I november 1982 hade marklagret sjunkit ca 1,5 mm jämfört med i juli. Referenspunkten har under samma tid sjunkit några tiondels mm.

Mätningarna hittills visar alltså portrycksförändringar och markrörelser, pga förändring av lerans naturliga temperatur, av obetydlig omfattning.



Figur 6.9 Leca-kulor sprutas över ackumulatorn som isolering och dränering.

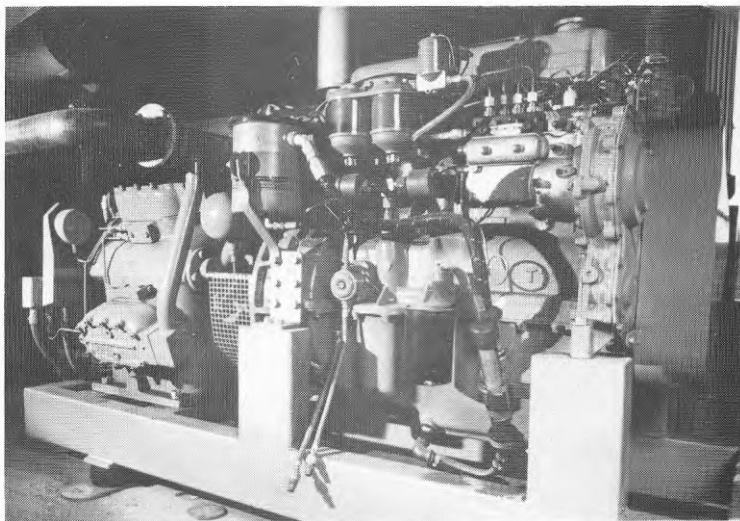


Figur 6.10 Kopplingsledningar ovanpå lagret i skiktet av leca-kulor.

6.3 Värmepumpar

Värmepumparna i Sunclay-projektet är av fabrikat Stal Refrigeration och de drivs av Ford dieselmotorer.

I början av driftperioden uppkom två kompressorhaverier beroende på felaktiga magnetventiler i bränsleledningarna som gjorde att dieselmotorerna fortsatte att gå trots att de fått stoppsignal (se vidare kap 6.5).



Figur 6.11 Dieselmotorer och kompressor.

Oljebyte i kompressorer och dieselmotorer har utförts i normal omfattning dvs efter ca 500 timmars drift.

Efter det att initialproblemen med värmepumpaggregaten blev lösta har dessa fungerat tillfredsställande.

6.4 Övrigt

Under driftperioden har det visat sig att det har varit svårt att få ur luften ur systemet. Anledningen är att hastigheten på vätskan inte är tillräckligt låg för att luften skall stanna på något ställe utan den följer med vätske-strömmen. På grund av den höga salthalten bildas ett skum när man luftar rörsystemet.



Figur 6.12 Skum bildat av salt, vatten och luft vid luftning av markackumulatorn.

Luften i systemet försämrar värmeöverföringen i solfångare och i plaströren i värmelagret.

Det finns kvar en hel del lerpartiklar i systemet. Dessa har förmodligen kommit in i plaströren vid byggnationen och vid det läckage som uppkom då en lastbil strax efter idrifttagningen av misstag körde in i spärrat område och förstörde en del av samlingsrören. Två filter har monterats för att filtrera bort lerpartiklarna.

Eftersom det saltblandade vattnet skulle förorsaka korrosion om inte inhibitorer tillsätts och PH-värdet hålls högt kontrolleras dessa med jämna mellanrum.

De provbitar som finns monterade i flödet har ännu inte visat några tecken på att korrosion skulle förekomma.

6.5 Sammanfattning av driftstörningarna

810301

Värmepumparna togs i drift för första gången.

Under den första drifttiden med värmepumparna var det diverse fel som t.ex. magnetventil som kärvade och på grund av detta, startade ej värmepumparna. Dessutom uppkom problem med den elektriska anslutningen mellan dieselmotor och kompressor.

810308

Kraftöverföringskoppling VP4 havererad.

Fyra stycken bultar som förband dieselmotor med kompressor gick av. Förmodad orsak var att bultarna var för långa så att de ej drog kompressorkopplingen tätt till dieselmotorns axel. Samtliga kopplingar åtgärdades genom att bultarna kortades. I samband med detta upptäcktes att upprikningen av motor och kompressor ej var utförd enl. specifikationer från Stal Refrigeraton. Samtliga maskiner riktades.

810409

Solfångarna uppfyllda med salthaltigt vatten. Efter uppfyllningen upptäcktes läckor på matningen till I-blocket samt läckor på G-blockets solfångare. Den första leveransen av solfångare var behäftad med fabriktionsfel. Vid borstning av aluminiumen innan valsningen lossnade stålborststrån, som sedan följde med in i valsningen av kopparrör och aluminiumplåt. Vid påfyllningen med salthaltigt vatten uppstod starka, galvaniska strömmar, som orsakade läckor. Vid senare tillfälle upptäcktes även att infästningen av matnings- och returkopparrören i solpanelerna ej var 100% ihoplödade. Ett 30-tal reparationer fick utföras här. Dessa fel har gjort att stundtals vissa delar av eller hela solfångarsystemet har varit avstängt under 1981 och 1982.

Under solsäsongen 1981 upptäcktes att lagret kylades på nätterna. Orsaken till detta var att regleringsutrustningen för solfångarkretsen ej var injusterad. Regleringen justerades och har efter det fungerat bra.

Vidare uppkom problem med luft i bränsleledningen till dieselmotorerna som orsakade driftstopp på dessa. En tryckhållningspump installerades.

810602

En lastbil kör ut på ackumulatorn och kör sönder matningsledning bl.a. Reparationen tog ca 14 dagar i anspråk. Efter idrifttagningen upptäcktes att slingan där ackumulatortemperaturen mättes var igensatt av lecakulor. Dessa avlägsnades och temperaturmätningen kom igång igen 810711.

I samband med detta konstaterade att vattnet innehöll lera. Den uppslammade leran har bl a påverkat flödesmätarna i sol- och markkretsarna och pH-värdet på brinen.

Lerpartiklarna har en förmåga att dra till sig de pH-höjande jonerna i den kaustiksoda, som används för pH-dosering, varvid en överdosering med kaustiksoda har varit nödvändig. Två filter används för att filtrera bort leran.

810818

Markarbeten utförs runt ackumulatorn och i samband med detta kapas ledningarna till temperaturgivarna utanför ackumulatorn.

810914

Läcksökning påbörjas i ackumulatorn pga sjunkande nivå i expansionskärl. Senare konstateras att den sjunkande nivån i expansionskärlen berodde på luft i brinesystemet som minskade i volym när temperaturen sänktes på brinen.

811105

Läcka på returledningen från ackumulatorn har konstaterats. Under tiden fram till 811208 pågick läcksökning och reparation. Läcksökningen visade sig besvärlig trots att diverse lyssnarutrustning användes. Först efter att ha fyllt upp ledningen med tryckluft, kunde läckan lokaliserats med hjälp av ett stetoskop.

811216

VP3 havererar.

811229

VP4 havererar.

Orsaken till dessa haverier var stoppmagneter på dieselmotorerna som "brände". Ventilerna har funktionen "strömlöst öppen", vilket fick till följd att när dieseln fick stopp-signal och magneterna var trasiga stannade inte dieslarna. Samtidigt får magnetventilen i kompressorns vätskeledning en stoppsignal. Kompressorn får då ingen freon att arbeta med utan "kastar ur sig" smörjoljan till kondensorn och kompressorn havererar.

Samtliga magnetventiler på dieselmotorerna byttes mot "strömlöst stängd" ventiler.

820125

Anläggningen i drift igen.

820126

Under tiden fram till 820727 var pannans drifttid 44 timmar. Anledningen till detta var ett felinställt tidrelä.

820728

Under tiden fram till 821017 var pannans drifttid 12 timmar. Anledningen till detta var att div. service utfördes på värmepumparna samt stopp för avluftning vid ett flertal tillfällen.

821018

Läcka misstänks i markackumulatorn.

821021

VP avstängda. Pannan i drift. Matningsledning till ackumulatorn fylls med tryckluft och läcksökning påbörjas.

821109

Anläggningen i drift igen efter två läckor i ackumulatorn.

821116

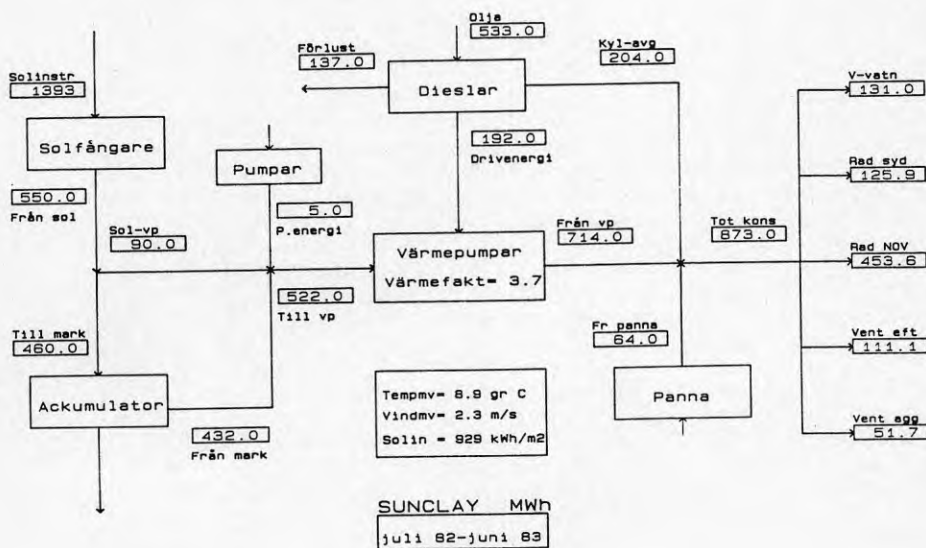
Luftat brinesystemet. Pannan i drift 1,5 timmar.

7 Resultatet av mätningar

Mätningarna startade i samband med att anläggningen togs i drift i april 1981. Dessa mätningar kommer att utföras t.o.m 1984.

Perioden för utvärdering av anläggningen har valts till 1 juli 1982 - 1 juli 1983. Denna period motsvarar i stort sett SUNCLAY-systemets andra år i drift.

Figuren nedan visar energisummor som har mätts upp under denna period.



Figur 7.1 Årssammanställning för Sunclay-systemet 1/7 1982 - 1/7 1983.

Av denna figur framgår att årsvärmefaktorn för värmepumparna (E12) har varit ca 3,7 beräknat utgående från drivenergin från dieselmotorerna. En del energi har levererats från oljepannan. Detta beroende på att en läcka uppkom på en kopplingsledning till värmelagret i okt - nov 1982.

Vidare konstaterar man att summan av producerad energi är större än den sammanlagda konsumtionen. Detta förklaras av att förluster uppkommer i samband med distributionen och av onoggrannhet vid mätningarna. Detta kommenteras ytterligare längre ner på denna sida.

Solfångarna har producerat energi med en genomsnittsverkningsgrad av 40%(E10). Solinstrålningen under aktuell period har varit 5015 GJ (1393 MWh) eller 3344 MJ (929 kWh) per m2 solfångare. Andelen använd solenergi i förhållande till instrålad solenergi (dvs verkningsgraden för "solsidan") har varit 37%. Den energi som åtgår för cirkulationspumpar är marginell vilket framgår av figur 7.1.

Uppmätt konsumerad energi i Lindälvskolan under aktuell period har varit 3143 GJ (873 MWh) eller 209 MJ (58 kWh) per m2 byggnadsyta och år. Den verkliga energiförbrukningen har förmodligen varit ca 3500 GJ (973 MWh) resp. 233 MJ (65 kWh) per m2 byggnadsyta och år av producerad energi att döma. Se vidare nästa sida

Den totala värmebesparingsfaktorn (E13) för anläggningen har under aktuell period varit 1,7 dvs man har nyttjat 1,7 ggr mer energi än vad man har köpt (den energimängd som oljepannan i verkligheten producerade har då antagits komma från värmepumparna i stället, vilket är normalt). Av den köpta energin försvinner ca 25% i förlust, 36% används för att driva värmepumparna medan resten återvinns ur avgaserna och genom kylning av dieselmotorerna. Drygt hälften av SUNCLAY-systemets producerade energi utgörs av solenergi (se fig. 7.1a).

Med antagande om att energiförbrukningen har varit 3500 GJ (973 MWh) enl. ovan, och att en konventionell oljeanläggning av aktuell storlek har en årsverkningsgrad på 70% skulle en sådan anläggning ha förbrukat ca 139 m3 under utvärderingsperioden. I verkligheten har 53 m3 olja använts, dvs oljebesparingen under utvärderingsperioden har varit ca 62%

Av de mätningar som har utförts sedan projektet startade har man kunnat konstatera att energibalansen producerad- konsumerad energi liksom av solfångarna levererad energi inte stämde. För att klarlägga detta kompletterades mätninganläggningen under våren -83 med en induktiv flödesmätare för att mäta flödet genom kondensatorerna.

Mätningarna med denna nya flödesgivare visade att de gamla värdena på den av kondensatorerna producerade energimängden (Q9) måste korrigeras. De gamla värdena ökades med 8%. Detta medförde i sin tur att även "solsidans" värden måste korrigeras för att värmebalansen skulle stämma. De gamla värdena på solenergi levererad till värmepumparna (Q6) ökades med 11%. Ökningen i producerad energi från kondensatorerna antogs därvid vara solenergi ty verkningsgraden på dieselmotorerna var rimliga. De mätvärden som presenteras för "solsidan" är alltså förändrade på detta sätt, vilket troligen är så nära verkligheten man kan komma med den noggrannhet som som mätutrustningen medger.

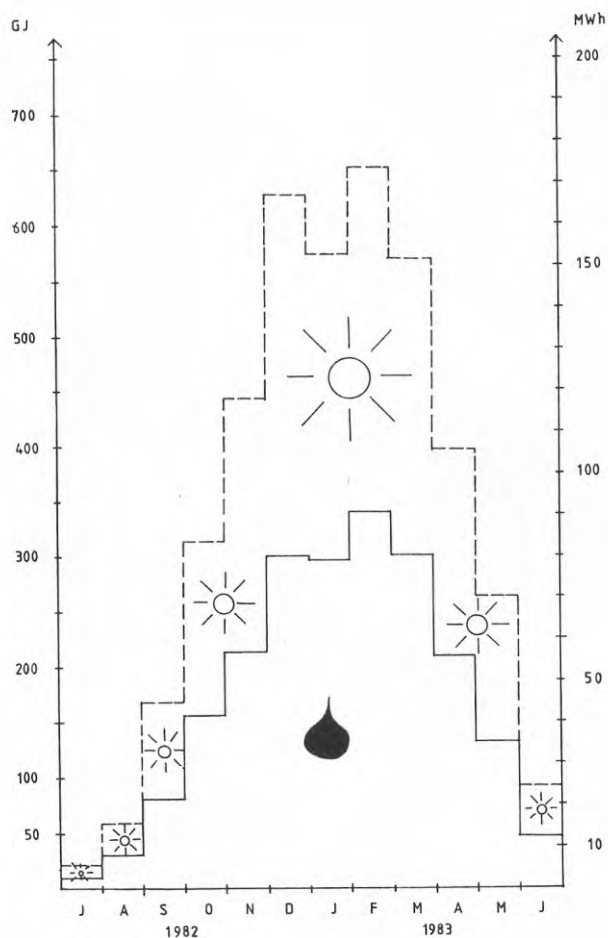
På "solsidan" är det värmebärande mediet en blandning av kalciumklorid och vatten. Eftersom läckage har förekommit har en del lera kommit in i rörsystemet samtidigt som PH-höjande medel har tillsatts. Detta innebär att värmekapaciteten på mediet har varierat något.

En annan orsak till att svårigheten att mäta energierna på "solsidan" är påtaglig är, att det rör sig om stora flöden (100 m³/h) och små temperaturskillnader (2 - 3 grad. C). Detta medför att noggrannheten för energimätningarna blir relativt dålig då flödesmätarna har ett mätfel av ca +5% och temperaturmätningarna har ett mätfel på ca 0.1 grad. C. Sammanfattningsvis kan sägas att noggrannheten vad gäller uppmätta energimängder bör ligga omkring +10%.

Energitillskottet från pannan beräknas som drifttid x märkeffekt x 0.7, där siffran är en antagen verkningsgrad på pannan. Noggrannheten för denna energin torde vara +10%. Den levererade energimängden från oljepannan utgör ca 6% av den totalt producerade energin under aktuell period.

Skillnaden mellan producerad och konsumerad energi förklaras delvis genom förluster i distributionssystemet. Mellan dessa båda mätpunkterna (producerad - konsumerad) finns en 10 m³ stor lagringstank. Mellan denna tank och värmepumparna cirkulerar alltid ett flöde (7,2 l/s) vilket ger upphov till en värmeförlust. Likaså är batterierna i tanken, som överför energi från diesel motorernas kylsystem och avgasenergin, icke isolerade. Detta resulterar också i en påtaglig värmeförlust. Över slagsräkningar visar att värmeförlusterna är i storleksordningen 10-15 MWh under ett år. Resterande skillnad mellan producerad och konsumerad energi (95-100 MWh) beror förmodligen på onoggrannhet i mätningarna av konsumerad energi.

Under hösten och vintern 83/84 har konstaterats driftstörningar på flödesmätarna som mäter förbrukningen. Vissa deformationer har upptäckts i flödesmätarna, som består av plastmaterial.

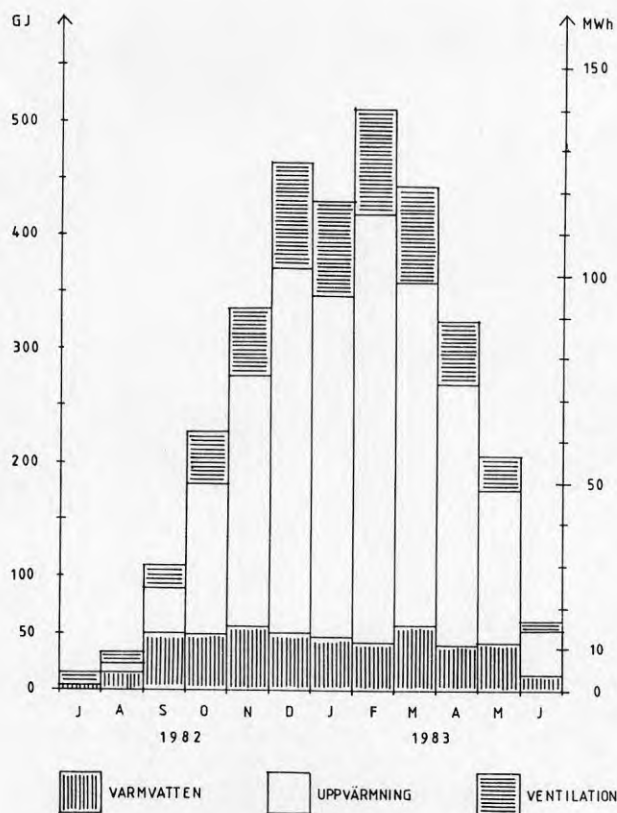


Figur 7.1a Tillförd energi till Lindälvsskolan uppdelad på solenergi och dieselolja till värmepumparna under utvärderingsperioden.

7.1 Förbrukning

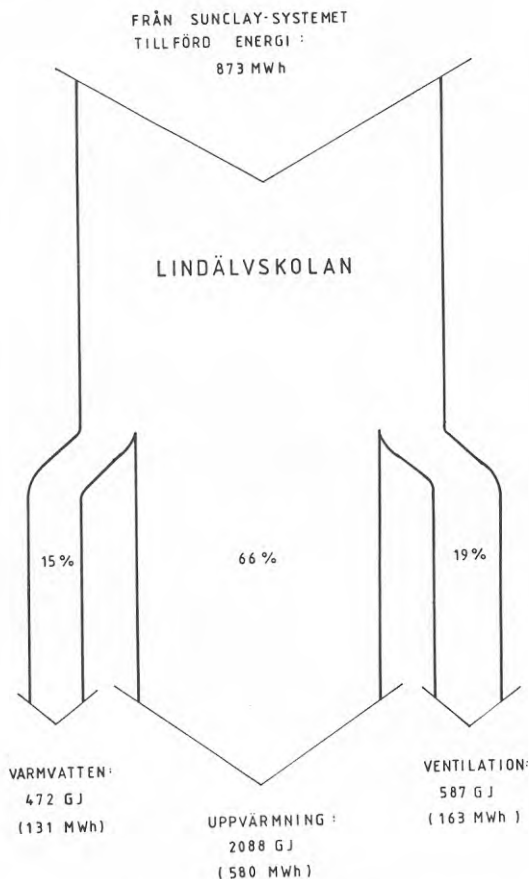
I detta kapitel redogörs för uppmätta energiförbrukningar. När man studerar dessa siffror bör man ha i åtanke vad som framgår i föregående kapitel om energiförluster och onoggrannhet i mätningarna.

I figurerna 7.2 och 7.3 nedan framgår uppmätta energiförbrukningar för uppvärmning, ventilation och varmvatten aktuell period.



Figur 7.2 Energiförbrukning i Lindälvsolan (Q10)

Total energiförbrukning (Q10) för Lindälvs skolan under aktuell period (1/7 1982 - 1/7 1983) har varit 3143 GJ (873 MWh) eller 209 MJ (58 kWh) per m² byggnadsyta och år. Denna siffra inkluderar förluster i distributions-systemet från grundmur apparatrum.



Figur 7.3 Fördelning av i Lindälvs skolan förbrukad nettoenergi. Av den förbrukade nettoenergin utgörs 57% av solenergi medan resterande del är dieselolja.

7.1.1 Varmvatten

Tabellen nedan visar energiförbrukningen för beredning av tappvarmvatten för varje månad under aktuell period.

1982						
juli	aug	sept	okt	nov	dec	
4	16.6	50.8	49.3	58	49	GJ
(1.1)	(4.6)	(14.1)	(13.7)	(16.1)	(13.6)	(MWh)

1983						
jan	febr	mars	april	maj	juni	
46.4	41.8	57.6	41	43.2	14	GJ
(12.9)	(11.6)	(16.0)	(11.4)	(12.0)	(3.9)	(MWh)

Tab. 7.1 Energiförbrukning för beredning av tappvarmvatten

Totalt har 472 GJ (131 MWh) förbrukats till beredning av tappvarmvatten.

Av tab. 7.1 (och figur 7.2) framgår att varmvattenförbrukningen är relativt konstant under skolans terminer. Sommartid används en mindre mängd vatten i samband med att idrottshallen är öppen på kvällarna och viss städning förekommer.

Omräknat per kvadratmeter byggnadsyta blir energiförbrukningen för beredning av varmvatten 31,3 MJ (8,7 kWh) per m² och år.

Förbrukningen av varmvatten under ett läsår är ca 2880 m³ baserat på Mätcentralens mätningar. Vattenmätaren i anläggningen visar att ca 14 m³ åtgår varje skoldag till varmvatten. Samma siffra för totalt av anläggningen förbrukat vatten är ca 28 m³. Sålunda är varmvattenförbrukningen ungefär hälften av den totala vattenförbrukningen.

7.1.2 Transmission

Transmissionsförlusterna i Lindälvsolan framgår av tabellen nedan.

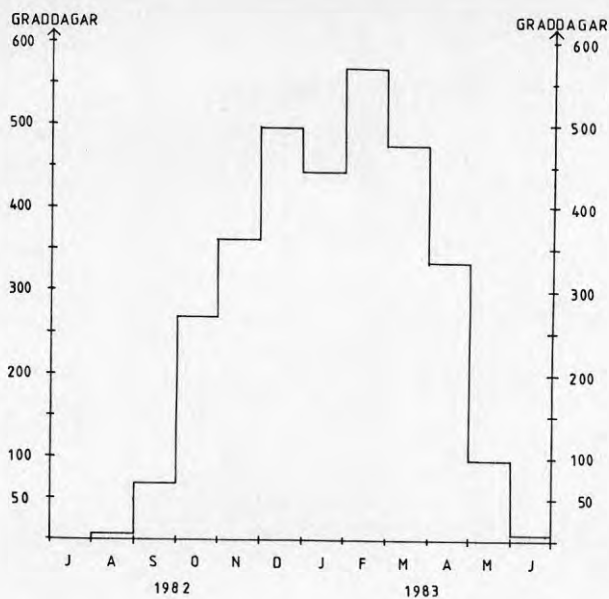
1982						
juli	aug	sept	okt	nov	dec	
3.6	9	40.7	130.3	218	316.4	GJ
(1.0)	(2.5)	(1.3)	(36.2)	(60.6)	(87.9)	(MWh)

1983						
jan	febr	mars	april	maj	juni	
297.4	373	296.3	226.4	133.2	41.8	GJ
(82.6)	(103.6)	(82.3)	(62.9)	(37.0)	(11.6)	(MWh)

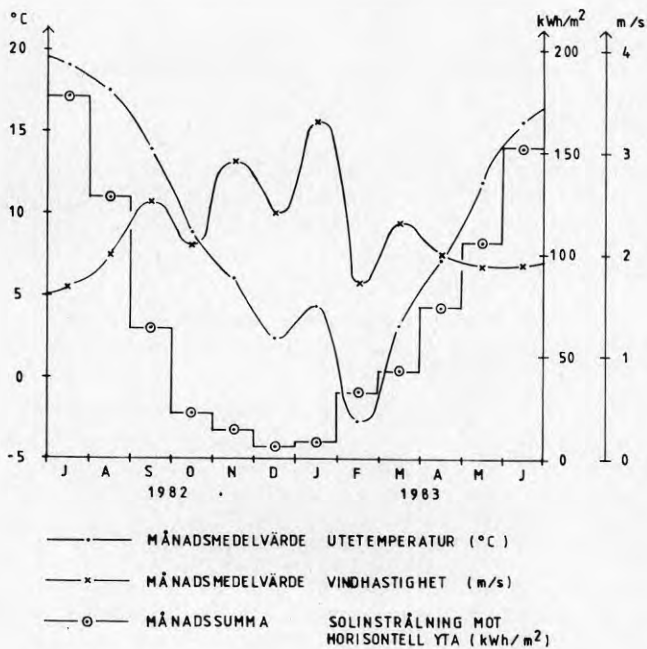
Tab. 7.2 Transmissionsförluster i GJ (MWh)

Årsförbrukning av energi för att täcka transmissionsförlusterna är 2088 GJ (580 MWh). Normalt antal graddagar i Göteborg är 3285. Under den aktuella perioden har antalet graddagar varit 3129 (= ca 5% mindre). Fördelningen av dessa graddagar per månad framgår av figur 7.4. Månadsmedeltemperaturer och andra klimatdata för Kungsbacka under aktuell period framgår av figur 7.5.

Räknat per m² byggnadsyta blir transmissionsförlusterna 139.3 MJ (38,7 kWh) per m² och år. Om man antar att även Kungsbacka har haft 5% mindre graddagar under aktuell period jämfört med ett normalår blir den till normalår korrigerade transmissionsförlusten 146 MJ (40,6 kWh) per m² och år.



Figur 7.4 Graddagar för eldningsäsongen 82/83 i Göteborg (Landvetter)



Figur 7.5 Klimatdata för Kungsbacka.

7.1.3 Ventilation

I anläggningen ingår dels tilluftsaggregat och dels eftervärmningsbatterier. Tilluftsaggregaten är försedda med värmväxlare för återvinning av värme. Energiförbrukningen för ventilation framgår av tabeller nedan.

1982						
juli	aug	sept	okt	nov	dec	
10.8	7.9	19.4	43.9	59.8	92.9	GJ
(3.0)	(2.2)	(5.4)	(12.2)	(16.6)	(25.8)	(MWh)

1983						
jan	febr	mars	april	maj	juni	
81.4	94.3	83.2	54.4	31.3	6.8	GJ
(22.6)	(26.2)	(23.1)	(15.1)	(8.7)	(1.9)	(MWh)

Tabell 7.3 Energiförbrukningen för ventilation .

Energiförbrukning för ventilationen under det aktuella tidsintervallet har sålunda varit 587 GJ (163 MWh), vilket omräkat blir 39.2 MJ (10,9 kWh) per m² och år med byggnadsytan (15000 m²) som bas.

Normalårskorrigerad energiförbrukning för ventilation blir 41,2 MJ (11,4 kWh) per m² och år.

7.2 Produktion

Som framgår av figur 7.1 och som har nämnts ovan har 3535 GJ (982 MWh) producerats av Sunclay-systemet under perioden 1/7 1982 - 1/7 1983.

Av dessa 3535 GJ (982 MWh) kom 734 GJ (204 MWh) från dieselmotorernas kylsystem och från avgaskylningen (Q8), 2570 GJ (714 MWh) producerades i värmepumparnas kondensorer (Q9) och resterande 231 GJ (65 MWh) från oljepannan under driftstörningar i okt-nov.

Av 3535 GJ (982 MWh) som producerats kom 1879 GJ (522 MWh) från "solsidan" med solfångare och värmelager (E11). Den totalt instrålade solenergin var 5015 GJ (1393 MWh). Verkningsgraden för solenergisidan blir då ca 37%.

Medeltemperaturen på insamlad solenergi var 22 grad. C
medeltemperaturen på solenergi som levererats till
värmepumparna var ca 8 grad. C.

Den energi som har åtgått för att samla in solenergin
dvs cirkulationspumparnas drivenergi uppgick till 18 GJ
(5 MWh), dvs en bråkdel av nyttiggjord energi.

Solsidans effektivitetsfaktor, dvs kvoten mellan
tillförd solenergi och drivenergi till pumparna, blir
för Sunclay-systemet 104.

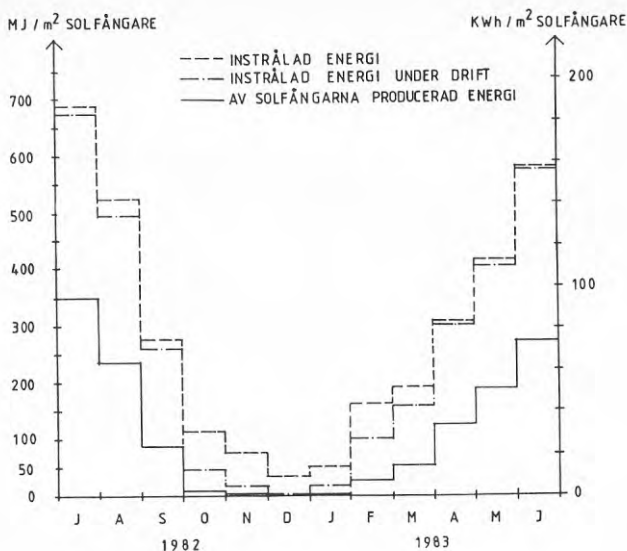
7.2.1 Solfångare

Den totala solinstrålningen (direkt + diffus) mot
solfångarytan (Q1) under varje månad framgår av figur
7.6. Årssumman av instrålad energi mot solfångarna är
3344 MJ (929 kWh) per m² eller 5015 GJ (1393 MWh).

Medelvärde av total instrålning mot ett horisontellt
plan i Landvetter (30 km öster om Göteborg) under åren
1978-1982 har enligt SMHI varit 3564 MJ (990 kWh) per m²
och år. SMHI mätte under åren 1961-1977 total instrål-
ning i Torslanda (10 km väster Göteborg) medelvärdet
av dessa mätningar är 3643 MJ (1012 kWh) per m² och år.

Räknar man om instrålningen mot solfångarna till in-
strålning mot horisontell yta blir resultatet 2910 MJ
(810 kWh) per m². Detta pekar på att solinstrålningen
vid Lindälvs skolan under aktuell period har varit ca
20% lägre än under ett normalår.

Mätningar på solinstrålning mot horisontell yta i
centrala Göteborg under aktuell period, visar också
på att instrålningen där har varit i storleksordningen
15-20% lägre än normalt.



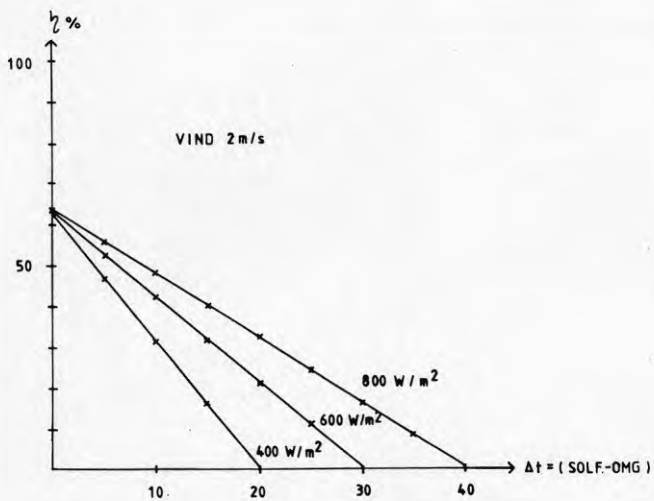
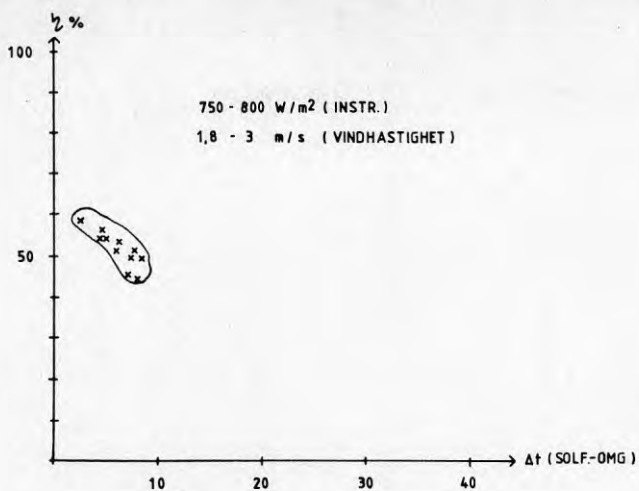
Figur 7.6 Solinstrålning och utbyte.

Av solfångarna producerad energi (Q_2) under året har uppgått till 1980 GJ (550 MWh) eller 1321 MJ (367 kWh) per m² solfångare. Fördelningen av denna solenergiproduktion på månaderna framgår av fig. 7.6. Här framgår att solfångarnas verkningsgrad är ca 44% under ett år räknat på instrålning under drift och ca 40% räknat på total instrålning.

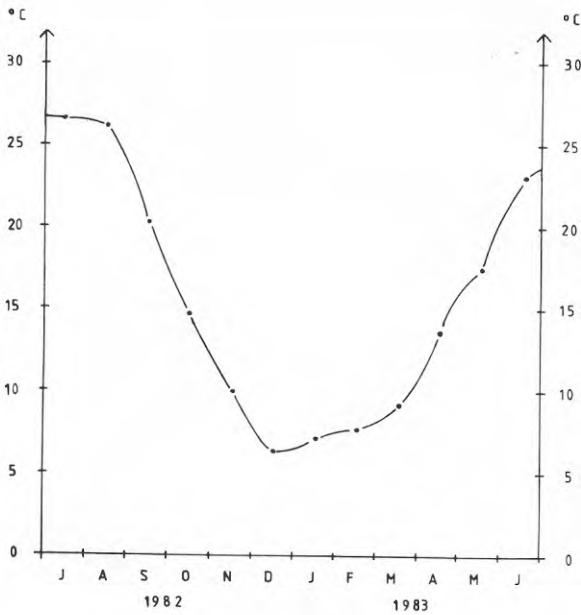
Helt avgörande för den energimängd som en solfångare kan producera är vid vilken temperatur den arbetar.

Figur 7.7 visar uppmätta driftpunkter för solfångarna. Mätvärdena är timmedelvärden för perioden med stabila driftförhållanden.

Under drift varierar solfångarens medeltemperatur och därmed energiproduktionen. Temperaturen på den energi som solfångarna har producerat under en viss period kan beräknas som en energiviktad medeltemperatur hos solfångaren.



Figur 7.7 Uppmätta driftpunkter för solfångare

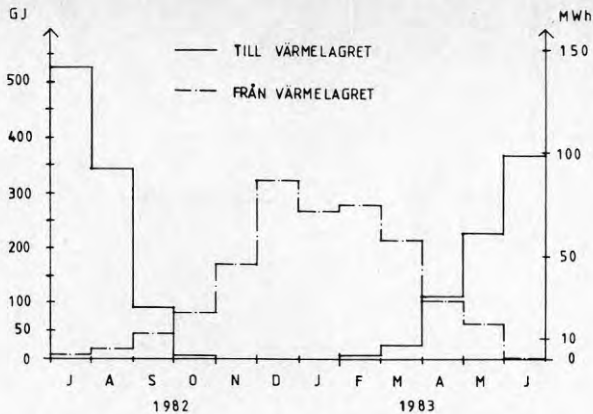


Figur 7.8 Solfångarnas energiviktade medeltemperatur under drift.

Solfångarnas energiviktade årsmedeltemperatur under drift var 22 grad. C.

7.2.2 Värmelager

Från solfångarna till värmelagret levererad energi (Q3) var under aktuell period 1656 GJ (460 MWh). Under samma tid levererades 1555 GJ (432 MWh) från lagret till värmepumparnas förångare (Q4). Värmelagrets effektivitet (E14) har således varit 94% (notera vad som sägs om förlusterna i detta kapitel).



Figur 7.9 Energileveranser till och från värmelager.

Lagrets funktion framgår tydligt i fig. 7.9 av fasförskjutning av energileveranserna till och från lagret.

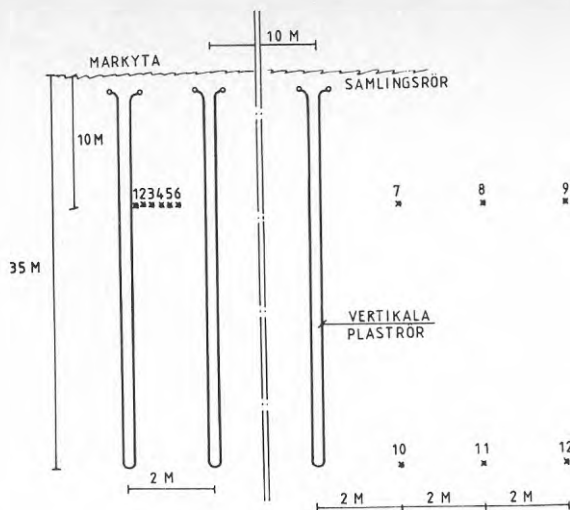
Anledning till att energileveranserna till och från lagret inte är lika stora är dels förluster från lagret och dels att temperaturnivån i lagret var högre 1 juli 1983 än 1 juli 1982.

Att bedöma förlusterna är vanskligt. Energileveranserna till och från lagret görs med stora flöden och små temperaturdifferenser vilket medför att noggrannheten på dessa mätningar är 10%

Förlusterna är en funktion av differensen mellan energimängderna till och från lagret. Således är det svårt att sätta ett absolut antal MWh som värmelagrets förluster.

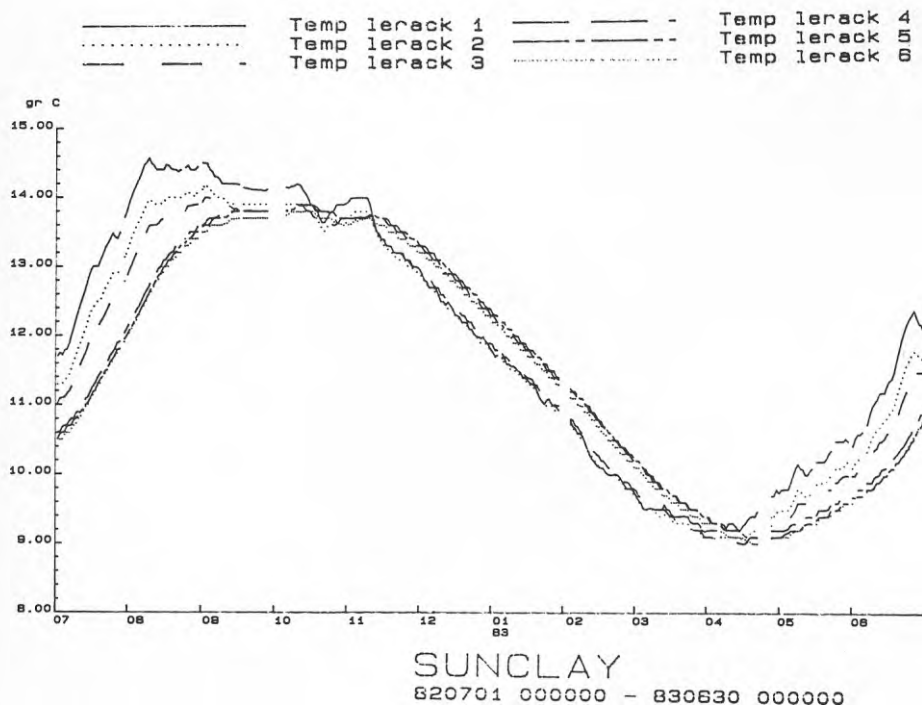
Genom att betrakta temperaturer i och omkring värmelagret kan en bedömning av förlusterna göras. Denna bedömning resulterar i att värmelagrets förluster under en årscykel torde vara ca 10% av den till lagret levererade energimängden.

I följande figur är temperaturgivarna i marken utritade. Temperturgivarna 1 tom 6 är placerade med ett inbördes avstånd av ca 20 cm, med givare nr 1 ca 20 cm från centrum av närmaste "U"-rör.



Figur 7.10 Placering av temperaturgivare i och vid sidan om värmelagret.

Temperaturmätningarna i lagret görs enligt figur 7.10 på ett djup av 10 meter. Då det alltid är cirkulation på mediet i rören, vilket innebär att temperaturgradienter i vertikal led utjämnas, kan dessa temperaturer betraktas som medeltemperaturer och relevanta för hela lagret.



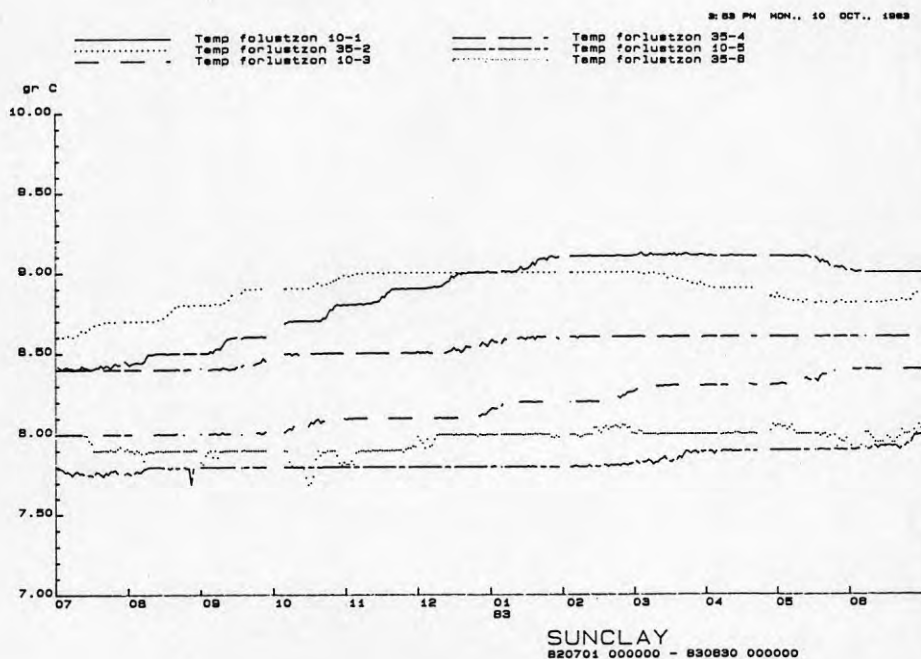
Figur 7.11 Temperaturer i värmelagret.

I figur 7.12 förekommande beteckningar förklaras enligt följande:

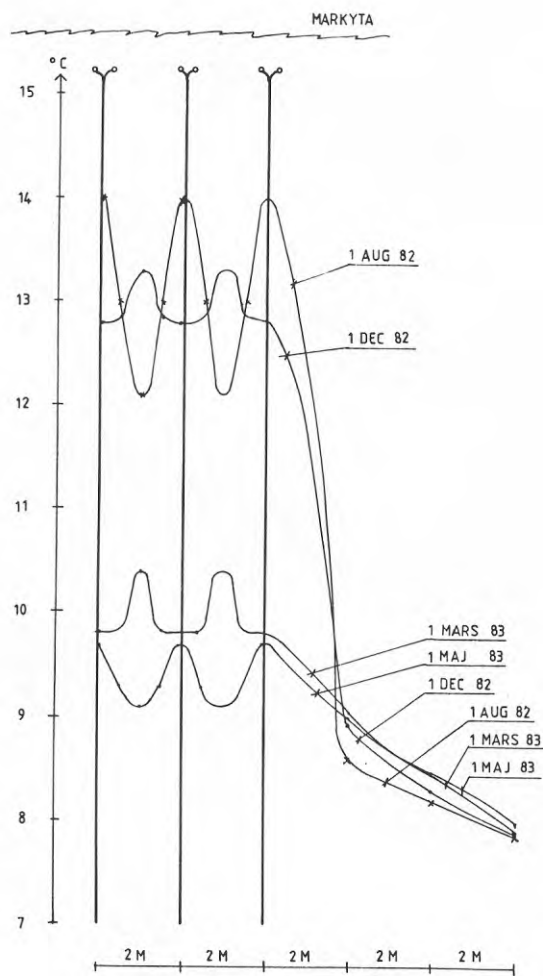
- 10 - 1 motsvarar givare 7 i fig. 7.10
- 10 - 3 motsvarar givare 8 i fig. 7.10
- 10 - 5 motsvarar givare 9 i fig. 7.10
- 35 - 2 motsvarar givare 10 i fig. 7.10
- 35 - 4 motsvarar givare 11 i fig. 7.10
- 35 - 6 motsvarar givare 12 i fig. 7.10

Temperaturerna strax utanför lagret indikerar att temperaturgradienterna i vertikal led är tämligen små.

De djupast ner placerade givarna registrerar genomgående högre temperaturer än givarna på 10 m djup frånsett den som ligger närmast lagret.



Figur 7.12 Temperaturer vid sidan om värmelagret.



Figur 7.13 Temperaturprofiler i och vid sidan av värmelagret.

I figur 7.13 illustreras de uppmätta temperaturerna på ett annat sätt än i figurerna 7.11 och 7.12.

Ur figurerna framgår att den horisontella temperaturgradienten mellan värmeväxlarelementen i lagret är starkt varierande beroende på årstid dvs om iladdning eller urladdning är mest förekommande.

Ytterligare en reflektion kring figur 7.13 är att temperaturerna fyra resp. sex meter, från det aktiva lagret, är tämligen opåverkade vilket indikerar att förlusterna är små.

M.h.a temperaturprofilerna i figur 7.13 är det möjligt att bestämma den volym lera som ingår som aktiv lagervoly. Denna volym har sålunda kunnat bestämmas till 87000 m³.

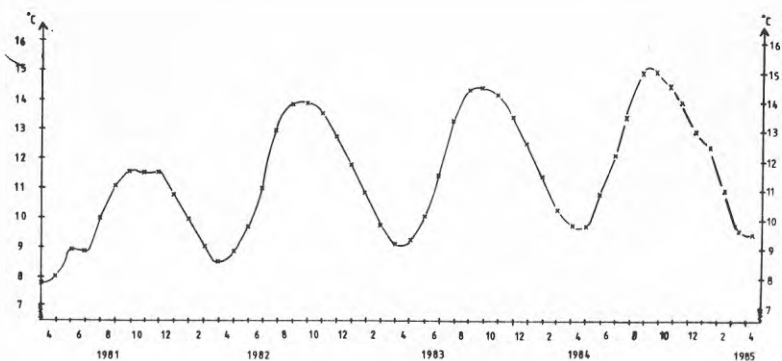
Lerans värmekapacitet är ca 3.6 MJ/m³ grad. C (1 kWh/m³ grad. C). Detta är ett medelvärde från 3 till 19 meters djup. Sålunda behöver 313 GJ (87 MWh) tillföras för att höja medeltemperaturen i lagret en grad.

De vertikala plaströrens förmåga att överföra värme mellan den cirkulerande brinen och leran kan uttryckas som effekt per meter dubbelrör och grad C (W/m grad.C).

Vid urladdning bestäms temperaturskillnaden såsom differensen mellan medeltemperaturen på brinen och värmelagrets medeltemperatur. Mätningarna indikerar att värmeuttaget är ca 1.3 W/m grad. C efter lång tid (flera dygn) i februari.

Under sommartid vid iladdning beräknas temperaturskillnaden mellan medeltemperaturen på brinen och temperaturen närmast plaströret. Detta därför att det är timmedelvärden som ligger till grund för beräkningarna. Sålunda vid iladdning under kort tid (<1dygn) pekar mätningarna på att värmeförlusten är 2.4 - 2.6 W/m grad. C.

Total solfångaryta blev inkopplad på SUNCLAY-systemet 1 januari 1982. Endast halva solfångarytan (705m²) arbetade under 1981. Den avbrutna ökningen av medeltemperaturen i värmelagret under juni 1981 (figur 7.14) förklaras av att en lastbil körde upp på lagret varvid läckage uppstod.



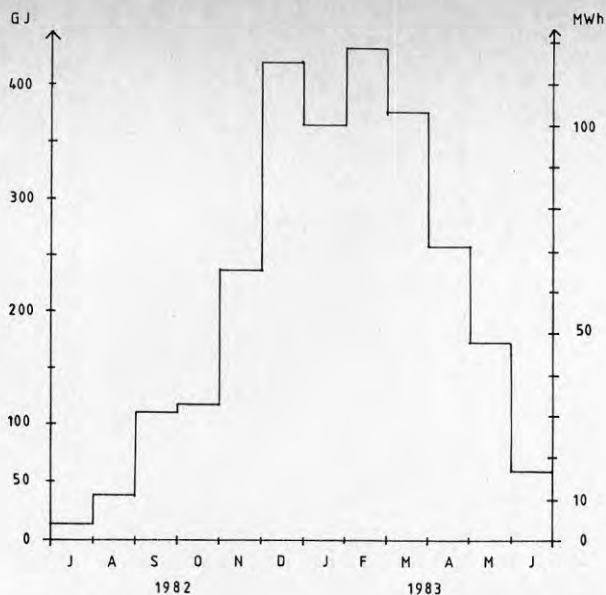
Figur 7.14 Medeltemperaturen i värmelagret sedan starten i april 1981.

Ett medelvärde på uppmätta värmeledningstal för leran är 0.94 W/m C.

Vad som också framgår av temperaturmätningarna i leran är att ett stationärt tillstånd fortfarande efter två års drift inte har inträtt. Medeltemperaturhöjningen från 1 juli 1982-1 juli 1983 var ca 0.5 grad. C. Man kan således förvänta sig ytterligare en liten höjning av temperaturintervallet som värmelagret arbetar med.

7.2.3 Värmepumpar och dieselmotorer.

Dieselmotorerna går med konstant varvtal (1500 rpm) och värmepumparna producerar 45-gradigt vatten. Effekten regleras genom att variera antalet värmepumpar som är i drift.



Figur 7.15 Från kondensorererna lev. energi (Q9).

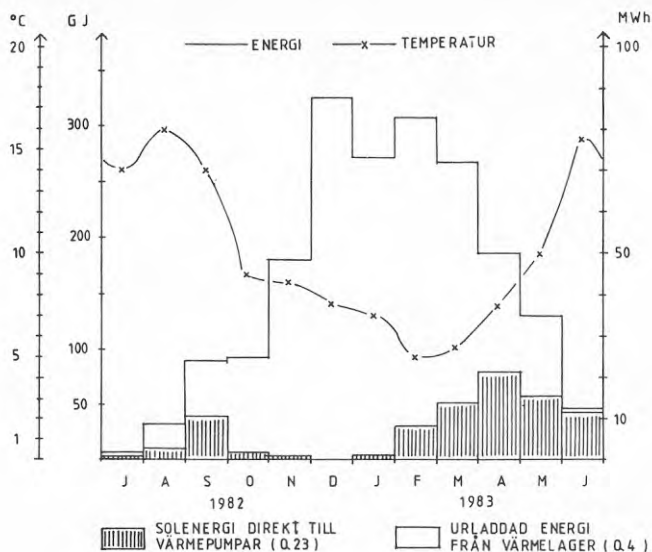
Av figur 7.15 och 7.16 framgår energileveranserna från värmepumparna och solenergi tillförd till desamma per månad. De låga värdena i oktober 1982 beror på att värmepumparna då stod stilla i ca två veckor pga läckage i samlingsledningarna till och från värmelagret.

I figur 7.16 är månadsmedelvärde på brinens medeltemperatur över förångarna markerad. Lägsta temperatur på utgående brine från värmepumparna till värmelagret var ca +2 grad. C i februari.

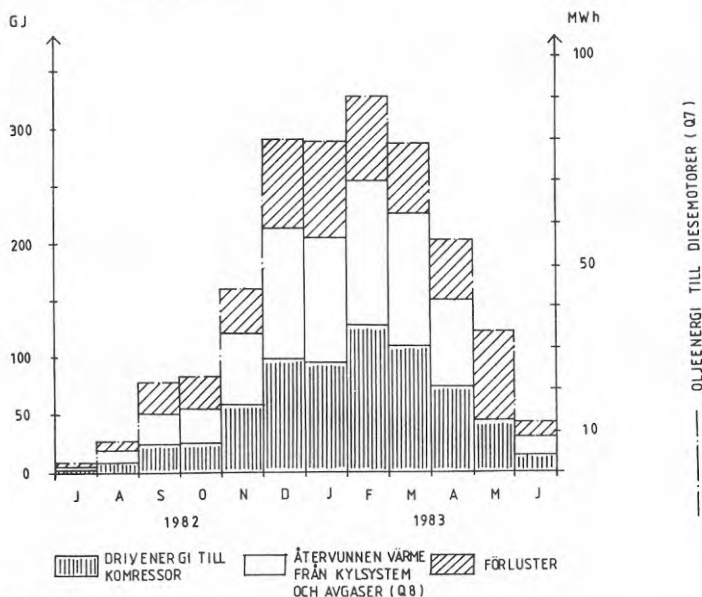
Energibalansen för dieselmotorerna framgår av figur 7.17.

I figur 7.17 framgår att den energi som med oljan tillförs dieselmotorerna under ett år fördelar sig enligt följande:

drivenergi till kompressorn	36%
återvunnen energi ur kylsystem och avgaser(Q8)	38%
förluster till omgivningen (strålning, värme kvar i avgaser)	26%

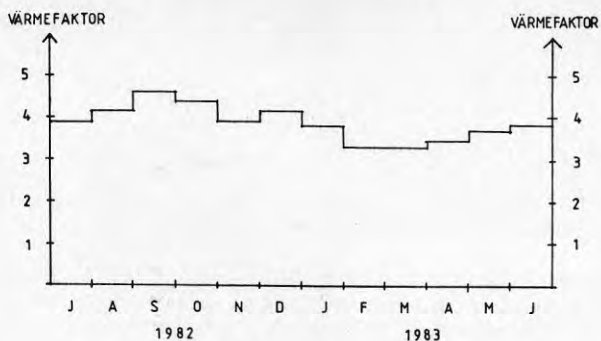


Figur 7.16 Till förångarna lev. energi ($Q_6=Q_4+Q_{23}$) samt månadsmedelvärde på medeltemperaturen över förångarna.



Figur 7.17 Energibalans för dieselmotorer.

Av figur 7.16 och 7.17 kan värmepumparnas medelvärmefaktorer, beräknad på drivenergi till kompressor, för varje månad beräknas.

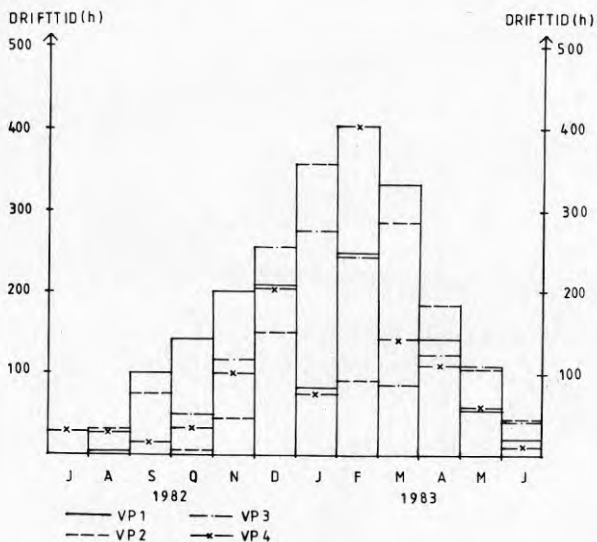


Figur 7.18 Värmefaktor för värmepumpar (räknat med drivenergi som bas)

Energiviktad årsmedelvärmefaktor blir 3.75.

En värmebesparingsfaktor definierad som Q_8+Q_9/Q_7 dvs summan producerad energi av kondensorer och återvunnen energi ut kylsystem och avgaser dividerad med den oljeenergi som dieselmotorerna har använt blir för utvärderingsperioden ca 1,72.

Dieselmotorerna styrs så att drifttiden blir så jämnt fördelad som möjligt.



Figur 7.19 Drifttider för dieselmotorerna.

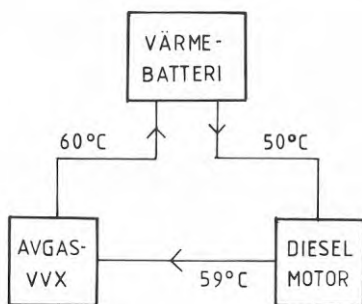
Summan drifttimmar för varje dieselmotor under ett år är ca 1200-1300 timmar.

7.2.4 Övriga delar

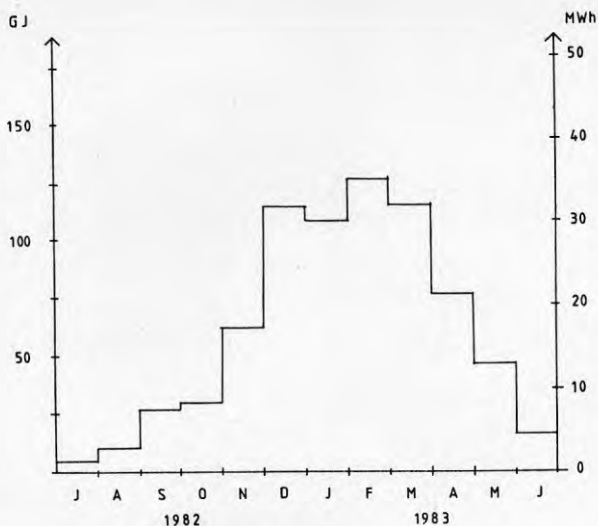
I detta delkapitel studeras systemet för återvinning av värme från motorernas kylsystem och avgaser.

Systemet för återvinning av värme består av ett batteri i den stora uppsamlingstanken, en avgasvärmväxlare och ett förstorat grenrör på dieselmotorn. Vatten cirkulerar mellan dessa och överför värme till tanken.

Vattenflödet är uppmätt till 75 l/min i samtliga fyra vattensystem. Genomsnittslig temperaturhöjning i grenröret och i avgasvärmväxlare för varje diesellaggregat framgår av figuren nedan.



Figur 7.20 Genomsnittliga temperaturer i värmeåtervinningssystemet för kylenergi och avgasenergi.



Figur 7.21 Återvunnen energi från dieselmotor och avgaser.

Temperaturen på avgaserna efter avgasvärmväxlaren har varit ca 300 C.

7.3 Timvärde

I detta kapitel presenteras uppmätta timvärden i SUNCLAY-systemet. Perioden är vald till den 10:e och 11:e april 1983.

De storheter som presenteras är timsummor av energier och timmedelvärde av temperaturer.

I följande figurer har avsatts tid (timmar) på X-axeln medan på y-axeln de uppmätta storheterna finns markerade. Förklaring till de olika linjerna finns vid figurens övre kant.

Ur figur 7.22 framgår hur utetemperaturen varierar mellan +7 grad. C och +2 grad. C under dessa dygn. Vindhastigheten ligger på ca 2,5 - 3 m/s utom på natten då det nästan är vindstilla.

Solen går upp ungefär kl 6 och ner ungefär kl 20. Den 10:e april var maximal instrålning mot solfångarna ca 560 W/m². Temperaturen på den obelastade takplåten följer solintensiteten och uppnår sitt maximala värde 27 grad. C kl 12 den 10:e april. På natten faller denna temperatur under uteluftens temperatur.

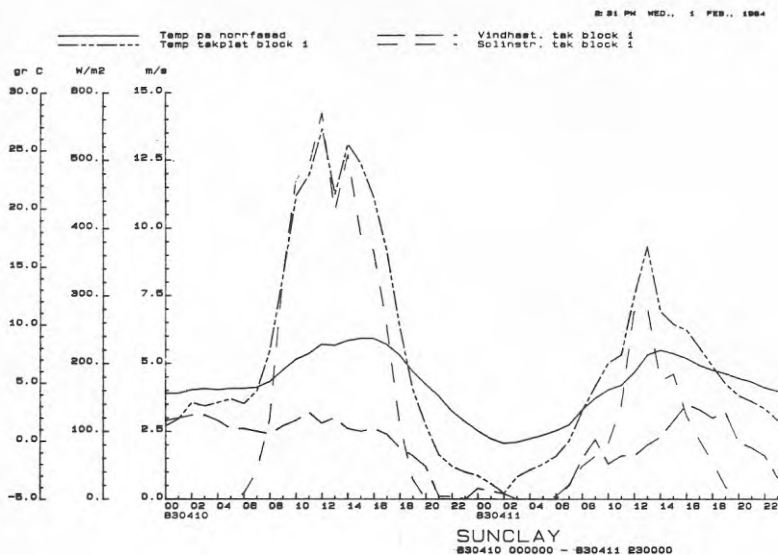


Fig 7.22 Temperaturen på norrfasad och takplåt samt vindhastighet och solinstrålning

Enligt fig. 7.23 är under natten temperaturen på brinen till lagret kallare än temperaturen från lagret. Således laddas energi ur lagret på natten. Temperaturhöjningen på brinen i lagret är ca 1-2 grad. C.

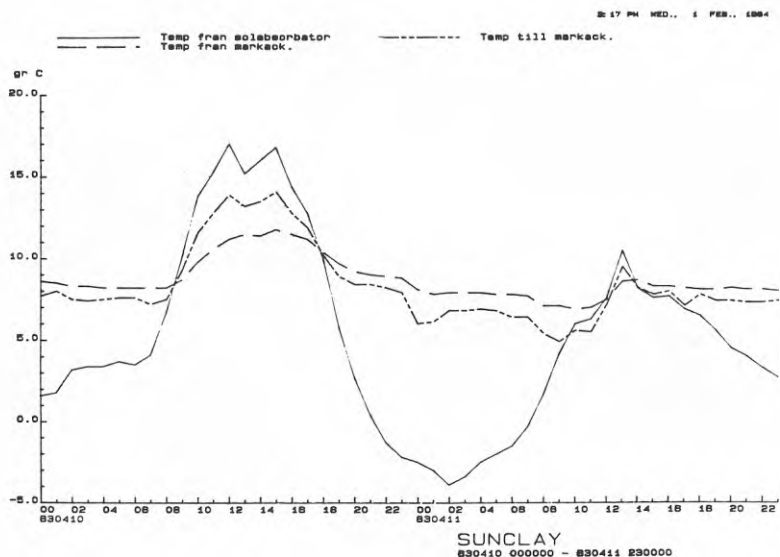


Fig. 7.23 Temperaturen på brinen i värmelagret och solfångarna

På dagen producerar solfångarna energi och temperaturen till lagret blir högre än temperaturen från lagret. Detta betyder att solfångarna dels producerar energi direkt till förångarna och dels laddar in energi i lagret. När solfångarna inte ger energi cirkulerar ändå ett litet flöde genom dem. Detta för att mäta temperaturen på solfångarna. I figur 7.23 framgår hur denna temperatur natten mellan den 10:e och 11:e april sjunker till ungefär -4 grad. C. När denna temperatur överstiger temperaturen från marken börjar solfångarna producera energi.

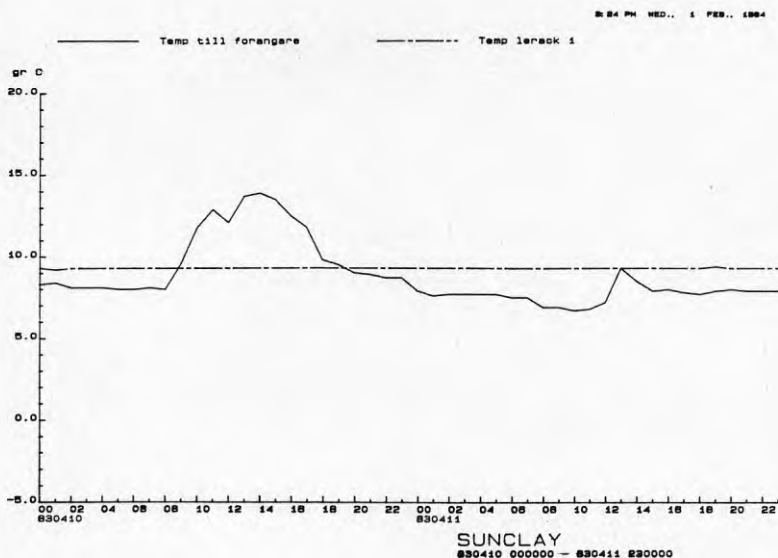
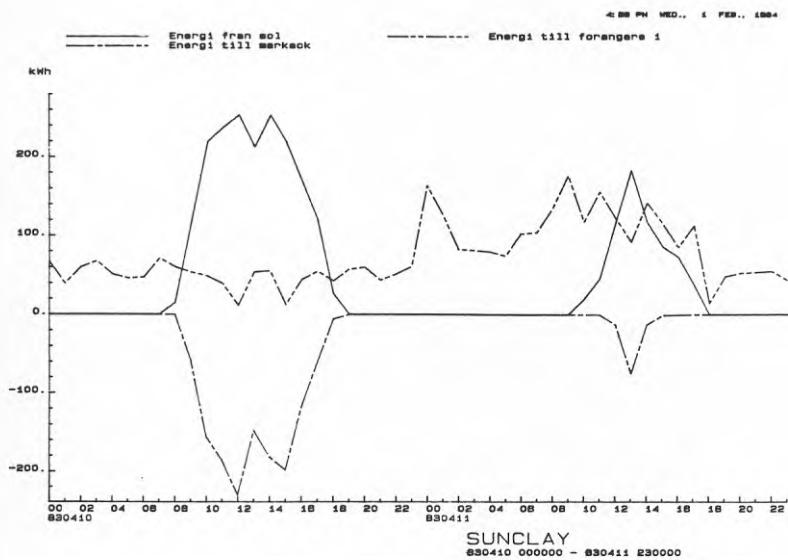


Fig. 7.24 Temperaturen på brinen till värmepumparna och temperaturen i leran 25 cm från PEH-rören

Fig. 7.24 visar att temperaturen i leran 25 cm från PEH-rören är ca 9.2 grad. C under dessa två dygn. Temperaturen på brinen till värmepumparna varierar enligt den heldragna linjen. Man ser att på dagen den 10:e april denna temperatur stiger till ca 14 grad. C eftersom en del av den producerade solenergin går direkt till värmepumparna.

Av figur 7.25 framgår energibalansen mellan solfångare, lager och värmepumparna. Nattetid levereras energi från marken till förångarna. När solfångarna börjar producera energi på förmiddagen levereras denna direkt till värmepumparna eftersom värmebehov föreligger. Solfångarna producerar mer energi än vad värmepumparna förbrukar under den 10:e och stundtals under den 11:e april. Överskottet laddas ner till värmelagret vilket är markerat som en negativ energimängd i figur 7.25.



Figur 7.25 Energier från solfångarna, till värmelagret och till förångarna.

8 Installationskostnader

Kalkylen är upplagd så att hela den beräknade kostnaden för värmeproduktionssystemet inklusive 800 kW oljepanna finns prissatt som total investeringskostnad.

För att erhålla merkostnaden för detta system är sedan ett konventionellt system med dubbla oljepannor prissatt som avgående investeringskostnad.

Samtliga kostnader i detta kapitel är i 1980 års penningvärde.

8.1 Kostnadssammanfattning

Beräknad total investeringskostnad	2 136 kkr
Investeringskostnad konventionell oljeanl.	- 708 kkr
Extra kostnader under byggtiden	283 kkr
Skador värmelager	56 kkr
Skador solfångare	5 kkr

8.2 Kostnadssammanställning

8.2.1 Projekterade investeringskostnader

1500 m ² solabsorbatorer material	356 000 kr
Montering	40 000 kr
Anslutning	30 000 kr
Rörsystem mellan solabsorbatorer och apparatrum	50 000 kr
Plåt- och taktegeltäckning som ersatts av solabsorbatorer	-130 000 kr
Driftfärdig markackumulator	490 000 kr
Dieseldrivna värmepumpar	520 000 kr
Avgasvärmväxlare	20 000 kr
Ljuddämpare	6 000 kr
Oljepanna 810 kW komplett	70 000 kr
Oljetank 24 m ³ inkl. påfyllning-bränsleledning	22 000 kr

Skorsten 12 m inkl. rökrör	45 000 kr
Utjämningsstank	10 000 kr
Utjämningsstank 2 inkl. batterier	38 000 kr
Expansionskärl	47 000 kr
Varmvattenvärmareväxlare	30 000 kr
Cirkulationspumpar	70 000 kr
Smutsfiler	7 000 kr
Avstängnings- stryp- backventiler	50 000 kr
Rör inkl. isolering	300 000 kr
Termometrar, luftare, manometrar avtappning	10 000 kr
Provtryckning, märkning, fixar	3 000 kr
Fyllning av glykol	10 000 kr
Reglercentral med givare	20 000 kr
Styrventiler	22 000 kr
Summa projekterade investerings- kostnader	<u>2 136 000 kr</u>

8.2.2 Investeringskostnad konventionell oljeanläggning

2 st oljepannor, 600 kW st; komplett	120 000 kr
Oljetank 70 m3 inkl. påfyllning- bränsleledning	55 000 kr
Skorsten 12 m inkl. rökrör	80 000 kr
Varmvatten ackumulator	25 000 kr
Expansionskärl	30 000 kr
Varmvattenvärmeväxlare	30 000 kr
Cirkulationspumpar	50 000 kr
Smutsfilter	3 000 kr
Avstängnings- stryp- backventiler	38 000 kr
Rör inkl. isolering	230 000 kr
Termometrar, luftare, manometrar, avtappn.	10 000 kr

Provtryckn. märkn. fixar	3 000 kr
Reglercentraler med givare	20 000 kr
Styrventiler	14 000 kr
Summa investeringskostnad konventionell oljeanläggning	<u>708 000 kr</u>

8.2.3 Ekonomiska läget vid beslutet om genomförande

De kostnader som redovisats ovan, presenterade i förstudie (BFR Rapport 12:38-1980) ger en total merinvestering för Sunclay-anläggningen på 2 136 000 kr -708 000 kr = 1 428 000 kr.

För att finansiera genomförandet ansökte Centrala Byggnadskommitten, Kungsbacka med Mats Länsberg som projektledare 1979-08-28 dessa 1 428 000 kr av Byggforskningsrådet som experimentbyggnadslån.

8.2.4 Extra kostnader under byggtiden.

Genomförandet av ett projekt som innehåller helt ny teknik avseende både solabsorbatorer, dieselmotordrivna värmepumpar samt marklager kan ej ske helt utan oförutsedda merkostnader.

8.2.4.1 Extra kostnader värmepumparna

Värmepumparna som levererats av STAL-refrigeration medförde en hel del problem vid igångsättningen, dessa kostnader ingick dock i den normala fabriksgarantin.

Några kostnader i kringutrustningen tillkom dock.

Ventiler i bränsleledningen felsatta	9 000 kr
Extra batterier för start av dieselmotorerna.	2 638 kr
Extra tryckstegringspump för att erhålla rätt tryck till dieselmotorerna samt ändring av manlucka vid oljetanken.	17 411 kr
Intagning och uppställning av värmepumparna fanns ej med i grundentreprenaden.	2 720 kr

De ljuddämpare som var föreskrivna ansågs ej ha tillräcklig kvalitet för stationär dieseldrift samt erfordrade extra kompensatorer till de nya ljuddämparna. 20 835 kr

Avgår ursprungliga ljuddämpare - 6 000 kr

Summa extra kostnader värmepumparna 46 604 kr
- - - -

8.2.4.2 Extra kostnader värmelager

Vid beslutet om genomförande av projektet ingick utförandet av driftfärdig markackumulator som merkostnad. (BPA)

Täckningen ovanför denna bestod ursprungligen av 100 - 200 mm sand med viss lutning samt rörsystem för avvattning av planen. Ovanpå detta fanns ett bärlager av 200 m grus och sedan asfalt.

Denna täckning ansågs fungera väl som täckning av ackumulatorn, men för att förbättra isoleringsförmågan byttes rörsystemet ut mot en 65 mm tjock pordränskiva som både fungerade som dränering och isolering. Kostnaden för detta arrangemang var samma som för det dränerande rörsystemet.

Vid genomförandet visade del sig att pordränskivan var mycket svårare än tänkt att lägga ut varför denna fick bytas ut mot ett 30 cm tjockt lager av Lecakulor som kunde "sprutas" ut över ackumulatorn.

För att inte entreprenören skulle förlora på de oväntade svårigheterna gav konstruktören tillåtelse att byta de föreskrivna svetsade PEH-rören i samlingsledningarn mot limmade dito av tryck PVC. Efteråt kan dock konstateras att PEH hade varit bättre ur kvalitetssynpunkt.

Summa extra kostnader värmelager 0 kr
- -

8.2.4.3 Extra kostnader solabsorbatorerna

Solabsorbatorerna levererats av Gränges Sunstrip som färdiga 8 m² enheter.

Vid justering av handlingarna visade det sig lämpligt att öka solabsorbator ytan med några kvadratmeter.

Tillkommande kostnad för ytökningen 16 868 kr

Entreprenörspåslag 4% på hela materialpriset 14 915 kr

Merkostnad montering	25 240 kr
Plåtanslutning vid taknock	11 911 kr
Extra avluftare för solabsorbatorer	3 536 kr

Entreprenaden för utförandet av ledningarna mellan solabsorbatorerna och apparatrummet förändrades så att det som tidigare låg under "bygg" t.ex. brunnar utanför husliv där ledningar kopplades ihop lades under "rör". Rörmaterial byttes även från det billigare PVC till det dyrare PEH.

I grundentreprenaden ingick kostnad för markförlagda ledningar av PVC	65 000 kr
Avgår i kalkyl upptagen summa	-50 000 kr
Utbyte av rörmaterial samt större brunn för ihopkoppling av ledningar	52 000 kr
Rör dragning i utvändig kopplingsbrunn för ledningar till solfångare	33 369 kr
Betonglock och betäckning till utvändig kopplingsbrunn	7 515 kr
Summa extra kostnader solabsorbatorerna	180 354 kr
	- - - - -

8.2.4.4 Byte av glykol till kalciumklorid

De stora mängder glykol som erfordras i Sunclay-systemet ansågs dels vara för dyr dels utgöra en miljörisk. Det beslutades därför att byta glykol mot kalciumklorid.

Avgående kostnad glykol	-28 800 kr
Leverans av kalciumklorid	4 379 kr
Anordning för saltdosering samt påfyllning av salt i systemet	41 603 kr
Uppsamlingsstank för markackumulator vid läckage	13 500 kr
Extra rörarbete i panncentral	8 354 kr
Summa kostnad byte av glykol till kalciumklorid	39 036 kr
	- - - - -

8.2.4.5 Konsultarvode

Summa extra konsultarvode	16 834 kr
	- - - - -

Summa extra kostnader under byggtiden	<u>282 828 kr</u>
---------------------------------------	-------------------

8.2.5 Skador värmelager

Skyddslinorna runt marklagret var ej riktigt uppsatta i juni -81 varvid en lastbil körde ut över markackumulatortorn innan den var helt övertäckt.

Schaktning och återställning	10 555 kr
Reparation av rörledningar	8 075 kr
Vätskan i ledningarna blev allvarligt försmutsad varför extra filter sattes in	4 381 kr

De stora samlingsledningarna som förbinder markackumulatortorn är tillverkade av PVC. I en skarv öppnades en fog när temperaturen i systemet sjönk p.g.a urladdning nov -81 varvid läckage uppstod.

Läcksökning, reparation av markförlagd solfångarledning	2 451 kr
---	----------

Schaktning av massor ovanför läckan	17 446 kr
-------------------------------------	-----------

Återställning av mark efter läckan	12 719 kr
------------------------------------	-----------

Summa kostnader skador värmelager	<u>55 627 kr</u>
-----------------------------------	------------------

8.2.6 Skador solfångare

Några strips har läckt i lödfogarna till samlingrören Gränges Aluminium har i sitt garantiåtagande levererat erforderligt material, viss kringkostnad har uppstått.

Reparation av solfångare, inkoppling av utbytta solfångare	4 829 kr
--	----------

Summa kostnader skador solfångare	<u>4 829 kr</u>
-----------------------------------	-----------------

8.3 Slutsatser om kostnader

Totalmerkostnad för anläggningens uppförande var 1 710 828 kr och totalkostnaden inkl. skador under drift 1 771 284 kr.

Av extrakostnaderna under byggtiden kan större delen härledas till beslut fattade efter upphandlingen, 92 884 kr för att byta material på ledningar mellan solfångare och apparatrum och utöka kopplingsbrunnens storlek samt

39 036 kr för byte från glykol till kalciumklorid.

Dessa kostnader beror på att arbeten beställda i efterhand blir väsentligt dyrare än om dessa hade ingått i entreprenaden.

Med vetskap om dessa problem kan dessa två kostnader i en "nästa" anläggning reduceras till ca 20 000 kr.

Den totala merkostnaden för SUNCLAY skulle således vara ca. 1 600 000 kr.

Övriga ekonomiska "förbättringar" till nästa anläggning måste framförallt härledas till optimering av system och ingående komponenter. Någon "revolutionerande" kostnads-sänkning kan troligtvis ej åstadkommas.

9. Erfarenheter från SUNCLAY-projektet

I detta kapitel redovisas erfarenheter som har vunnits under tre års drift av Sunclay-systemet.

9.1 Solfångare

Erfarenheterna från solfångarna är goda. Inledningsvis uppkom läckor på strips och vid lödningar. Efter vidtagna åtgärder har läckorna upphört. Några läckor i den underliggande TRP-plåten har inte förekommit. Försmutsningen av solfångarna synes vara relativt obetydlig. Ett visst smutslager lägger sig dock på ytan men detta tvättas till stor del bort av regn.

Kontroll har visat att flödesfördelningen i solfångarna är helt tillfredsställande likaså följer luften med som tänkt i flödet genom solfångarna. Däremot finns problem med avluftning av systemet (se kap. 9.4).

9.2 Värmelager

På rörsystemet ovan värmelagret har läckor uppkommit två gånger. Anledningen till detta torde vara att dessa rör av PVC har fogats med lim vilket inte är tillräckligt när rörelser uppkommer p g a temperaturförändringar. Båda läckagen har inträffat på höstkanten när temperaturen på brinen har sjunkit och då rören drar ihop sig. P g a dessa erfarenheter bör man i fortsättningen välja t ex polyeten-rör även för samlings- och fördelningsledningar.

De vertikala rören i leran (PEH) har däremot inte utsatts för något läckage. Dessa rör är placerade i en skyddad tillvaro och rörelser p g a temperaturvariationer på brinen torde tas upp genom friktion till omgivande mark.

För övrigt har inte några nämnvärda förändringar av leran inträffat och bollplanen ovan värmelagret har kunnat användas som tänkt. Vad gäller de vertikala rörens funktion som värmeväxlare finns detta behandlat i kap 10.2.2.

9.3 Värmepumpar

Av de driftsstörningar som har uppkommit har större delen berott på värmepumparna. Bl a har icke tillräcklig noggrannhet iakttagits vid montering av kompressor och dieselmotor vilket har lett till haveri. Orsaken till driftavbrotten finns presenterade i kap. 6.

En positiv erfarenhet har varit den styrfilosofi som valdes under projekteringen och som innebär att effektavgivningen från SUNCLAY-systemet regleras med antal värmepumpar i drift. Värmepumparna arbetar med ett konstant varvtal mot en stor tank vilket innebär att långa gångtider och därmed stabila driftsförhållanden uppnås.

Återvinning av avgasvärme sker i värmeväxlare som består av tvåkoncentriska rör där vätskan finns i det inre och avgaserna i det yttre. Mängden återvunnen kyl- och avgasenergi förväntades bli 50% av den oljeenergi som användes. Återvunnen kyl- och avgasenergi har mätts upp till 38% av förbrukad oljeenergi. Orsaken till detta torde vara att värmeövergångstalet på avgassidan överskattades vid dimensioneringen av värmeväxlarna.

9.4 Systemet

Sammankopplingen mellan solfångare och värmelager har visat sig inte vara bästa tänkbara lösning. Dessa två komponenter sammanbinds med en tank (se figur 1.1). Denna koppling innebär att solfångarna inte arbetar med lägsta möjliga temperatur ty vätska från solfångarna blandas med vätska från värmelagret innan vätska cirkuleras upp till solfångarna. Detta innebär att till solfångarna levereras inte vätska direkt från värmelagret med lägsta möjliga temperatur utan temperaturen ökar p g a inblandningen av vätska från solfångarna.

Mätningarna visat att under sommaren är medeltemperaturen på brinen i solfångarna 4-5 grader högre än motsvarande temperatur i värmelagret och sålunda sjunker utbytet från solfångarna. Beräkningar med SUNSYST visar att en ökning av medeltemperaturen i solfångarna från 20 grad. C till 25 grad. C, under juli med normal instrålning, medför att energiutbytet sjunker med 20%.

Ett sätt att komma ifrån denna onödiga belastning för solfångarna är att direktkoppla tillloppet till solfångarna till returen från värmelagret.

Denna åtgärd har diskuterats i projektledningen men man har medvetet inte åtgärdat saken därför att systemet fungerar helt tillfredsställande och p g a att skolan använder mindre energi än beräknat, räcker den energimängd som solfångarna producerar.

En annan erfarenhet är att luftningen av systemet varit bristfällig. Anledningen till detta är att det inte finns något ställe med tillräckligt stor dimension i rörsystemet där luften stannar och samlas upp. De luftklockor som finns i anläggningen är för små. Framtida anläggningar bör alltså förses med ordentliga avluftningsmöjligheter.

Kalciumkloridblandat vatten valdes som fluid på den kalla sidan i systemet. Fördelarna med detta är att vid ett eventuellt läckage marken inte blir förgiftad och att det är en billig lösning. Nackdelarna är hanteringen av saltet och att man måste vidtaga extra åtgärder för att förhindra korrosion. Förutom inhibitorer måste PH-värdet hållas kring 8-9, vilket har visat sig kräva regelbunden tillsats av kaustiksoda. Dessutom har provbitar av metall monterats in i flödet så att ev. korrosion skall upptäckas.

Man skall sträva efter att så långt det är möjligt använda vatten som fluid och begränsa användandet av kalciumklorid- eller glykolblandat vatten. Några motiv för detta är att vatten är billigt, icke giftigt, beständigt och kräver minst pumpenergi per distribuerad kWh.

10. Optimering av Sunclay-systemet

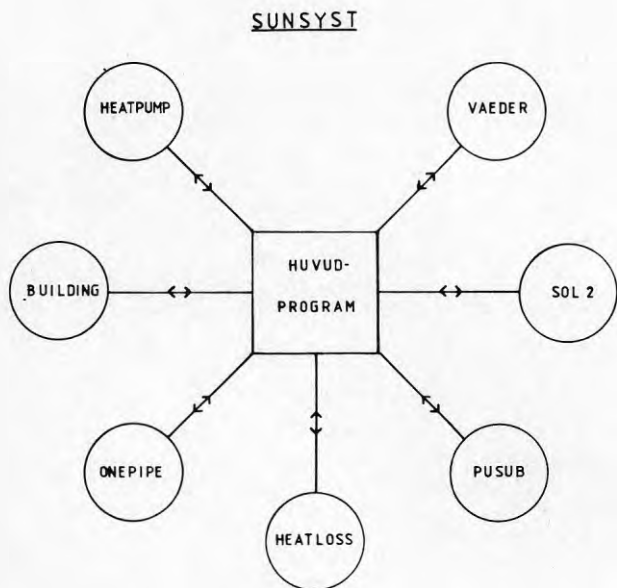
10.1 Beskrivning av datorprogrammet SUNSYST

SUNSYST är ett datorprogram som började utvecklas i slutet av 70-talet som hjälpmedel vid projekteringen av SUNCLAY-systemet vid Lindälvsskolan i Kungsbacka. Programmet möjliggör simulering av värmesystem som innehåller solfångare, markvärmelager med rör och värmepumpar.

Huvudresultaten som SUNSYST ger är följande:

- producerad energimängd i solfångare
- temperaturförändringar i marken
- energibehovet till värmepumparna

SUNSYST består av ett HUVUD-program och ett antal SUBROUTINER enligt figur 10.1.

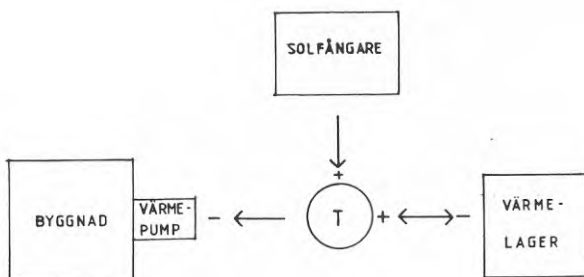


Figur 10.1 SUNSYST

10.1.1 HUVUD-programmet

Huvud-programmets uppgifter är att läsa in indata, anropa SUBROUTINER och skriva ut beräkningsresultaten.

Beräkningarna gå ut på att bestämma en medeltemperatur T som ger termisk balans mellan solfångare, värmelager och värmepumpar. D v s i beräkningarna varieras T så att eventuellt energitillskott från solfångarna och energin till värmepumparnas förångare balanseras av energi till eller från värmelagret. Detta åskådliggörs av figur 10.2.



Figur 10.2 Energibalans

I figur 10.2 framgår tecken på energierna. Energierna från solen och till byggnaden (värmepumpen) är alltid positiv respektive negativ. Energin från eller till värmelagret är positiv eller negativ beroende på om T är lägre eller högre än temperaturen i värmelagret. Beräkningarna görs med tidssteget en timme under ett år.

10.1.2 SUBROUTINER

VAEDER

Denna subroutine beräknar utetemperaturen m h a statistik från SMHI. Utgående från dygnsmax och dygnsmin beräknas utetemperaturen för aktuell timme. Härvid antages utetemperaturen variera enl. en sinuskurva med min-temperaturen kl 3 och max-temp. kl 15.

Vid beräkningarna av utetemperaturen tas hänsyn till årsmedeltemperatur och DUT. Subroutinen VAEDER ger också en molnfaktor för förmiddag resp. eftermiddag, mellan 0 och 8. 0 (noll) innebär klar himmel medan 8 betyder att det är en helmulen timme.

Molnstatistiken grundar sig på SMHI's statistik från en 30-årig period för Göteborg. Likaså använder VAEDER statistik för att ge vindhastigheten.

SOL2

I denna subroutine beräknas solinstrålningen mot ett godtyckligt placerat plan. Med solarkonstanten (1354 W/m²) och infallsvinkeln som bas beräknas solinstrålningen uppdelad i fyra delar. Dessa delar är:

PK - direkt strålning klar dag
 PKD - diffus strålning klar dag
 PM - direkt strålning helmulen dag
 PMD - diffus strålning helmulen dag

M h a molnfaktorn från VAEDER viktas dessa delar olika så att total instrålning en bestämd timme kan beräknas.

PUSUB

Denna subroutine beskriver en solfångare med plan absorbatör med eller utan täckglas. Input till denna subroutine är solfångarens geometri och materialegenskaper (från indata), solinstrålningen (från SOL2), utetemperaturen (från VAEDER) och den cirkulerande brinens temperatur (T). Utgående från dessa parametrar beräknar PUSUB hur stora värmeförlusterna via strålning och konvektion är. Den nyttiggjorda energin beräknas sedan som differensen mellan absorberad solenergi i absorbatören och värmeförlusterna. Denna beräkning är en iterativ process.

HEATLOSS

Beräkning av värmeförluster från värmelagret görs i denna subroutine. Marken runtomkring lagret delas in i små segment och förlusterna beräknas utgående från lagrets temperatur m h a en finit differensmetod. Hänsyn tas till eventuell isolering ovan lagret samt solinstrålningens inverkan på markytan. Andra viktiga parametrar är lagrets form och markens termodynamiska egenskaper. Värme sprids från eller till lagret beroende på om lagret är varmare eller inte gentemot sin närmaste omgivning.

ONEPIPE

De lokala förhållandena kring rören i lagret beskrivs i ONEPIPE. Alla rör i lagret antas arbeta med samma temperaturprofil runtomkring sig. Den markvolym som påverkas av varje rör delas in i smala ringar. Temperaturen i brinen, samt denna indelning av omgivande mark, möjliggör att en finit differensmetod kan användas för att beräkna effekter till och från röret liksom temperaturer.

BUILDING

Beräkning av byggnadens energibehov görs i denna subroutine. Från indata används termen $k \times A$ (W/grad. C) som multipliceras med en temperaturdifferens för att erhålla byggnadens effektbehov varje timme. Likaså beräknas energibehovet för varmvatten för varje timme. Temperaturbehovet bestäms beroende på utetemperaturens värde och den minsta temperatur som räcker till varmvattenberedning.

HEATPUMP

Denna subroutine beskriver en värmepump. Härvid beräknas Carnotvärmefaktorn vid aktuella kondenserings- och förångningstemperaturer. Vid denna beräkning antas en minsta temperaturskillnad på 5 grad. C i kondensator och förångare mellan värmebärare resp. köldbärare och freon. Carnotvärmefaktorn multipliceras med en Carnotverkningsgrad (från indata) vilket ger den aktuella värmefaktorn för värmepumpen.

10.1.3 Beräkningsgång

För varje timme beräknas utetemperatur, vind och molnfaktor av VAEDER. SOL2 beräknar solinstrålningen. Därefter ittereras en medeltemperatur T fram som ger termisk balans mellan solfångare, värmelager och värmepumpar. I denna itteration bestämmer PUSUB utbytet från solfångarna, BUILDING- och HEATPUMP beräknar erforderlig energimängd till förångare och ONEPIPE beskriver lagrets uppförande. Slutligen beräknar HEATLOSS värmeförlusterna från lagret.

10.2 Val av indata

Indata till SUNSYST innehåller uppgifter om egenskaper hos solfångarna, värmväxlarrören i värmelagret, värmepumparna och byggnaden. För att erhålla riktiga indata jämförs i detta kapitel beräkningar med uppmätta värden.

10.2.1 Solfångare

Följande parametrar är indata för att beskriva solfångarna:

- ABSKO - absorbatorns absorbtionskoefficient vid vinkelrätt infall
 - EP - absorbatorns emissionskoefficient
 - SP - absorbatorns tjocklek
 - LA - absorbatorns värmekonduktivitet
 - D - kylkanalernas diameter
 - L - avstånd mellan kylkanaler
 - AL - värmeöverföringskoefficient mellan brine och insida kylkanal
- KVARDE - k-värde på absorbatorns baksida

Eftersom solfångarna i SUNCLAY-projektet inte har något eller några täckglas har inte de indata som beskriver täckglaset tagits med i listan ovan.

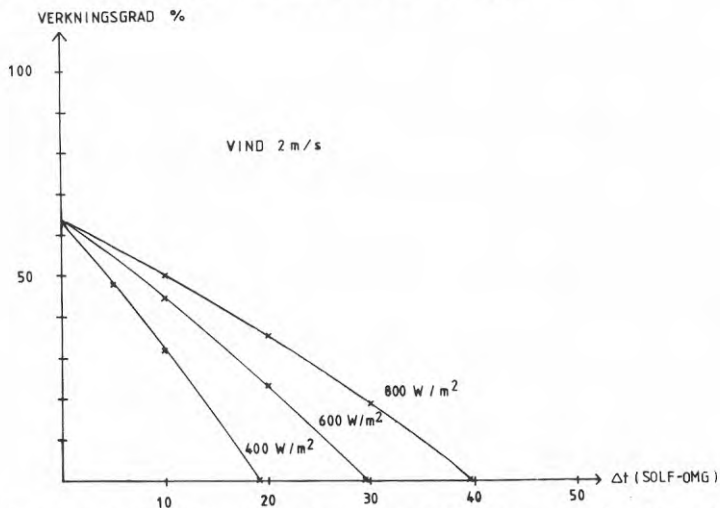
SUNSYST beskriver enl. föregående kapitel en solfångare med plan absorbator. Aktuell solfångare på SUNCLAY-projektet har inte en plan absorbator (se kap. 3.2.1). Sålunda måste man hitta indata för solfångarna som delvis är fiktiva så att den riktiga funktionen hos solfångarna beskrivs i beräkningarna.

För att hitta de rätta indatavärdena gjordes beräkningar med SUNSYST. Härvid antogs indatavärden och beräkningar gjordes månadsvis med konstant temperatur på solfångarna. Temperaturen på solfångarna sattes till den från mätningarna beräknade energiviktade medeltemperaturen för varje månad (se kap. 7.2.1). Den beräknade solinstrålningen justerades genom att ändra molnigheten, så att den stämde överens med verkligt uppmätt instrålning. Beräkningsresultatet, $d v s$ av solfångarna producerad energi med ovan beskrivna förutsättningar, jämfördes därefter månad för månad med uppmätta resultat.

Följande indatavärden visade sig med stor noggrannhet motsvara uppmätta värden.

ABSKO	- 0.9
EP	- 0.9
SP	- 0.5 mm
LA	- 180 W/M grad. C (aluminium)
D	- 10 mm
L	- 17 cm
AL	- 1700 W/m ² grad. C
KVARDE	- 1 W/M ² grad. C

Med dessa indata beräknades verkningsgradskurvor. Figuren nedan visar dessa kurvor för SUNCLAY-solfångaren vid olika instrålningar.



10.3 Beräknade verkningsgradskurvor utgående från uppmätta värden. Jämför fig. 7.7 uppmätta värden

10.2.2 Värmelager

Värmelagrets egenskaper bestäms förutom av markens termiska egenskaper av värmeväxlarelementens funktion. I SUNCLAY-systemet används "U-rör" av 16 mm PEH-rör som värmeväxlare mellan brine och marken. Värmeväxlarelementen beskrivs i SUNSYST av ett rör placerat vertikalt i marken vilket motsvarar ett "U-rör" i SUNCLAY-systemet. Vid val av indata, som beskriver detta rör, strävar man således efter att erhålla egenskaper för detta rör som motsvarar ett "U-rör" i verkligheten.

Centrumavståndet mellan värmeväxlarenheterna i SUNCLAY är 2 m.

De parametrar som skall väljas är följande:

- DY - rörets ytterdiameter
- DI - rörets innerdiameter
- LAMR - rörets värmekonduktivitet
- LAM - markens värmekonduktivitet
- DENS - markens densitet
- VK - markens värmekapacitet

De tre sista parametrarna är uppmätta på befintliga lera vid Lindälvsskolan. Resultatet av dessa mätningar, som har blivit utförda på varannan meter ner till 19 m djup, presenteras nedan i form av medelvärde.

- LAM - 0.94 W/m grad. C
- DENS - 1495 kg/m³
- VK - 2410 J/kg grad. C (1 kWh/m³ grad. C)

Värmeväxlarelementens funktion beskrivs i ett diagram där effektavgivningen från ett rör i mark avtar med tiden. Vid tidpunkten noll har marken en konstant temperatur. Brinen i röret antages hålla en temperatur av en grad högre än omgivande marks temperatur. Härvid avges en effekt från röret till marken. I diagrammet avsåts hur denna effektavgivning avtar med tiden. Effektavgivningen uttrycks i W/m rör och grad C, där temperaturskillnaden är den övertemperatur (drivande temperaturskillnad) som brinen har gentemot omgivande mark vid tidpunkten noll.

För att bestämma indata för värmeväxlarelementen har mätdata från SUNCLAY-projektet studerats. Svårigheten med att beräkna storheten W/m grad. C ligger i att kunna bestämma den drivande temperaturskillnaden, då i verkligheten temperaturen i värmelagret inte är konstant. Dagar med enbart laddning av lagret under sommaren betraktades inledningsvis. Temperaturprofilen runt rören användes som indata till ett separat datorprogram som använder subrutinen ONEPIPE (se kap. 10.1). Genom att från mätresultat beräkna en energiviktad medeltemperatur på brinen över laddningsperioden, och att summerna den energi som laddades ner i lagret erhöles tillräckligt med indata och det resultat som de verkliga värmeväxlarelementen har presterat.

Därefter varierades värmeväxlarrörets dimensioner i beräkningarna till dess att resultaten stämde med uppmätta resultat från SUNCLAY-anläggningen. Likaså kontrollerades värmeavgivningen efter lång tid (10 dygn) och det visade sig att det stämde bra med uppmätta värden.

Följande värde på aktuella parametrar visade sig i dessa beräkningar stämma bra överens med verkligheten.

DY - 25 mm

DI - 20 mm

LAMR - 0.25 W/m grad. C

Med ett separat datorprogram, TWOPIPE, har simulerats tvårörsvärmeväxlare typ "U"-rör som i SUNCLAY-projektet. TWOPIPE bygger på samma finita differensmetod som ONEPIPE.

Figur 10.4 visar teoretisk och uppmätt värmeavgivning från värmeväxlarelement i lera.

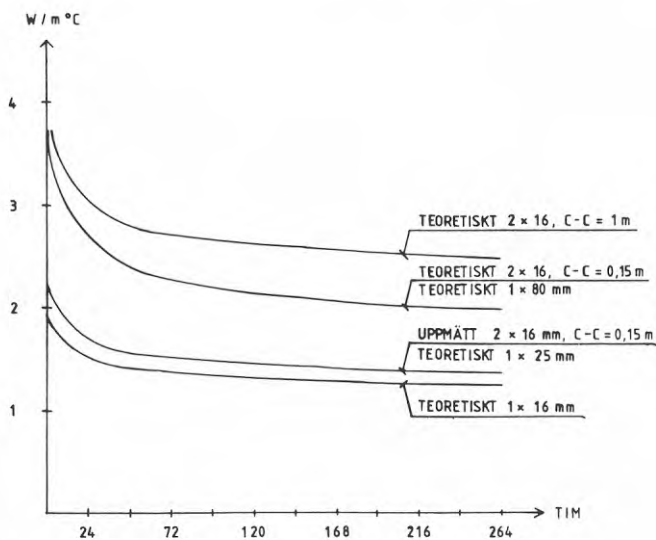


Fig. 10.4 Effektavgivning från värmeväxlarelement i lera

Av figur 10.4 framgår att en tvårörsvärmeväxlare typ SUNCLAY (16 mm rör, avstånd mellan skänklar 15 cm) teoretiskt motsvarar en enrörsvärmeväxlare med $D_y = 80$ mm och $DI = 71$ mm. Vidare framgår att uppmätt värmeavgivning i SUNCLAY-projektet, vilket enligt ovan teoretiskt motsvarar en enrörsvärmeväxlare med yttre rördiameter 25 mm, skiljer sig från teoretiskt beräknade värden med ca 30% efter lång tid.

Som jämförelse visar figur 10.4 även effektavgivning från en enrörsvärmeväxlare med yttre rördiameter 16 mm och från en tvårörsvärmeväxlare med yttre rördiameter 16 mm där skänklarna har ett inbördes avstånd på 1 m.

Det uppmätta resultatet i SUNCLAY-projektet skiljer sig enl. ovan från teoretiskt beräknade värden med ca 30% efter lång tid. Det finns ett antal troliga förklaringar till detta:

- Centrumavståndet mellan skänklarna i "U"-rörsvärmeväxlaren är förmodligen mindre än förväntade ca 15 cm. Beräkningar med TWOPIPE visar att vid en minskning av detta avstånd från 30 cm till 15 cm sjunker värmeavgivningen efter lång tid med ca 11%. De utgrävningar av nedstuckna rör som utförts tyder på att avståndet mellan 16 mm rören är mindre än 15 cm. Om man minskar avståndet mellan rören från 15 till 10 cm sjunker utbytet mer än ovanstående 11%.
- I beräkningarna används en medeltemperatur på brinen som antas gälla i hela ledningens längd. Detta är inte fallet i verkligheten där temperaturen i brinen varierar med rörets längd. Detta innebär att de två skänklarna påverkar varandras värmeavgivning till leran negativt.
- Det har observerats i vissa sammanhang att det förekommer ett värmemotstånd mellan rörets yttre begränsningsyta och omgivande mark. Inom ramarna för IEA's arbete "IEA Advanced Heat Pumps, Vertical Earth Heat Pump Systems" har man bl a konstaterat att detta värmemotstånd förekommer.

En förklaring till detta fenomen uppges här vara att upprepade termisk expansion och kontraktion hos ett rör som är nerstucket i jorden medför minskad kontakt mellan omgivande jordpartiklar och röret. Jordpartiklarna trängs iväg vid rörets expansion och ersätts sedan med vatten vid rörets kontraktion som innebär att ett lager med lägre värmeledningsförmåga bildas invid röret.

10.2.3 Värmepumpar

I SUNSYST beskrivs värmepumparna m h a en antagen Carnotverkningsgrad som förutsätts vara konstant. Varje timme kontrolleras vilket temperaturkrav byggnaden har. Kondenseringstemperaturen sätts till 5 grader över denna temperatur. Därefter varierar medeltemperaturen T på förångarsidan till dess att balans erhålles med solfångarna och värmelagret. Förångningstemperaturen sätts till 5 grader lägre än T . Sålunda kan en Carnotvärmefaktor beräknas och sedan beräknas m h a Carnotverkningsgraden en verklig värmefaktor som ligger till grund för beräkning av den energi som måste tillföras förångaren.

I beräkningarna betraktas de dieseldrivna värmepumparna som en låda som har försetts med 522 MWh solenergi och 533 MWh oljeenergi och producerat 918 MWh nyttig energi under aktuell utvärderingsperiod 1 juli 1982 - 30 juni 1983 (se kap. 7). Eftersom i verkligheten en del av oljeenergin som tillförs denna låda inte går via själva värmepumpen, utan via dieselmotorernas kylsystem och avgasväxlare, till förbrukarsidan blir Carnotverkningsgraden i beräkningarna för denna låda lägre än för en eldriven värmepump.

Beräkningar med SUNSYST visar att Carnotverkningsgraden 35% motsvarar uppmätta värden.

10.2.4 Byggnaden

Energiförbrukaren beskrivs med dels faktorn $k \times A$ (kW/grad. C) för uppvärmning och ventilation dels med en årsenergiförbrukning för beredning av varmvatten.

I SUNSYST används villkoret att om utetemperaturen överstiger 11 grad. C behövs ingen energitillförsel för uppvärmning och ventilation. Varmvattenförbrukningen fördelas på 15 timmar varje dag förutom under sommaren då skolan är stängd.

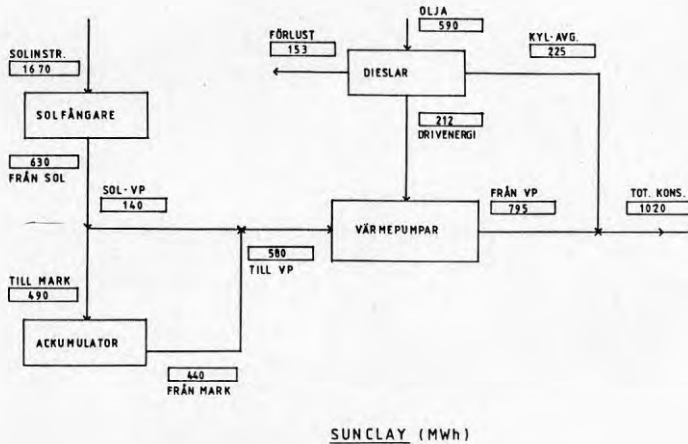
Mätningarna pekar på att faktorn $k \times A$ under natten, när ventilationen är avstängd, ligger på ca 6 - 8 kW/grad. C. medan på dagen när ventilationen går $k \times A$ är ca 20 - 22 kW/grad. C.

Tester med SUNSYST visar att om $k \times A$ väljs till 13 kW/grad. C och uppvärmning sker till 15 grad. C blir den årliga energiförbrukningen överensstämmande med normalårsförbrukningen i Lindälvsskolan.

10.3 Normalårsberäkning

Med valda indata enl. föregående delkapitel gjordes en beräkning för normalår. Härvid gjordes en justering så att solfångarna kontinuerligt arbetade med fyra grader högre medeltemperatur än värmelagret och värmepumparna. Detta för att i så hög grad som möjligt motsvara de verkliga förhållandena som föreligger i Lindälvs skolan (se kap. 9.4).

Efter ca 3-4 års drift inträffar stationära förhållanden i värmelagret. Beräkningarna gav följande årsresultat.



Figur 10.5 Beräkningsresultat för normalår

Figuren nedan visar beräknad medeltemperatur i värmelagret under tre på varandra följande normalår utgående från opåverkad lera i värmelagret.

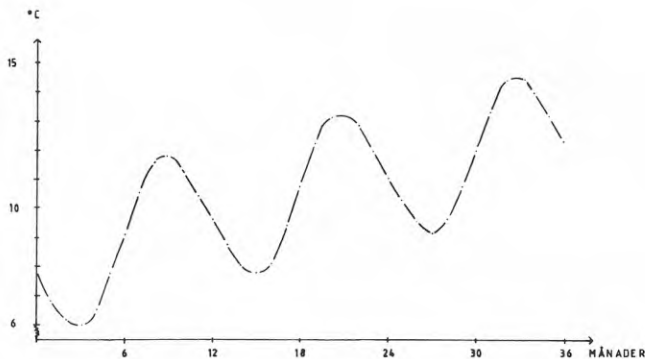


Fig. 10.6 Värmelagrets beräknade medeltemperatur under tre normalår utgående från opåverkad lera

Någon drastisk ökning av temperaturen i värmelagret, gentemot uppmätta värden, sker inte under normalår vilket framgår av figur 10.6. Den beräknade energisparfaktorn ($1020/590 = 1.73$) stämmer väl med mätningarna. Likaså är de beräknade värmeförlusterna från värmelagret ca 10% vilket också är i paritet med mätningarna (se kap. 7.2.2).

Eftersom det i verkligheten inte har inträffat tre normalår sedan SUNCLAY-systemet togs i bruk 1981, kan man inte i detalj jämföra dessa beräkningsresultat med uppmätta värden. Dock kan man konstatera att SUNSYST ger resultat med noggrannhet som är helt acceptabel vid konstruktionsarbete gällande anläggningar av aktuellt slag.

10.4 Optimering av bef. system

I detta kapitel optimeras anläggningen m a p lagervolym, antal värmeväxlarrör i lagret samt solfångaryta.

Dock gjordes i första hand beräkningar på vad det innebär att solfångarna arbetar med ca 4 grad. C högre temperatur än vad som egentligen är nödvändigt. Dessutom beräknades vad det skulle innebära om avgaskylarna förbättrades så att 50% av tillsatt oljeenergi skulle kunna återvinnas vilket var ambitionen vid konstruktionen av anläggningen.

10.4.1 Eliminering av medeltemperaturdifferens mellan solfångare och lager

I det befintliga SUNCLAY-systemet föreligger det en medeltemperaturdifferens mellan solfångare och lager på ca 4 grad. C (se kap. 9). Detta innebär att solfångarna arbetar med en högre temperatur än vad som är nödvändigt. Detta kan åtgärdas genom en relativt enkel ombyggnad av rördragningen i apparatrummet.

Beräkningar har gjorts med SUNSYST för att belysa vad som händer om denna ombyggnad sker.

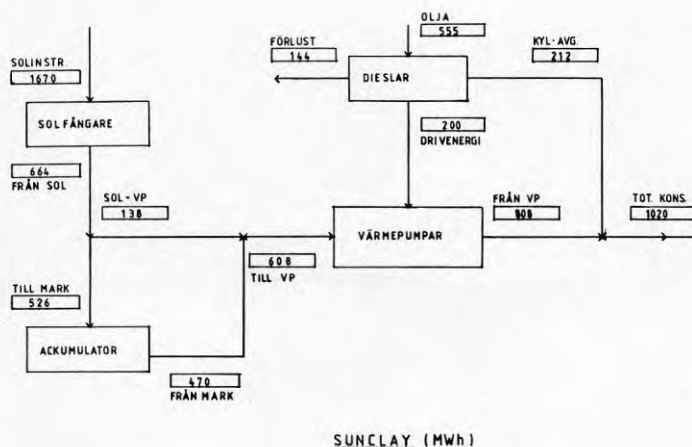


Fig 10.7 Beräkningsresultat för normalår då solfångare arbetar med lägsta möjliga medeltemperatur.

Vid jämförelse mellan figur 10.5 och 10.7 framgår att vid eliminering av medeltemperaturdifferensen mellan solfångare och lager kommer solfångarna att producera ca 34 MWh mer energi. Likaså kommer ca 28 MWh mer solenergi att levereras till värmepumpen vilket innebär att tillsatt oljeenergi minskar till 555 MWh.

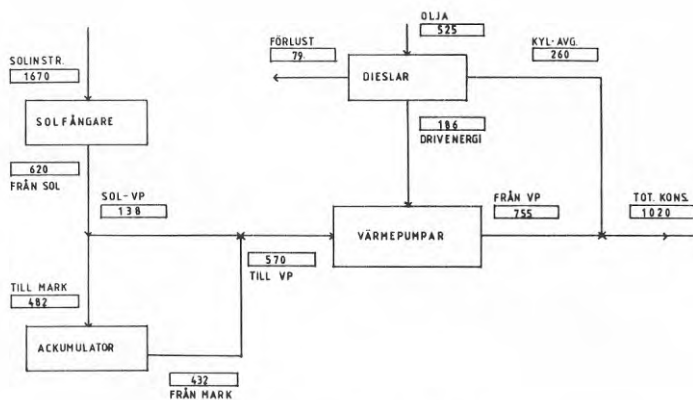
Temperaturerna i värmelagret ändras endast obetydligt eftersom det måste tillsättas 87 MWh till lagret för att höja temperaturen 1 grad. C.

Denna ändring innebär alltså att oljeförbrukningen minskar med ungefär 3,5 m3 olja per år, vilket idag är värt ca 9 tkr.

10.4.2 Effektivisering av avgasvärmeväxlare

I det befintliga SUNCLAY-systemet återvinns ca 38% av tillförd olja genom kylning av dieselmotor och avgaser. Vid effektivisering av avgasvärmeväxlarna kan man återvinna 50% av tillförd olja.

Resultatet av beräkningar då åtgärder för elimination av medeltemperaturdifferens mellan solfångare och lager samt effektivisering av energiåtervinning ur avgaser har vidtagits framgår av fig. 10.8.



SUNCLAY (MWh)

10.8 Beräkningsresultat då solfångare arbetar med lägsta möjliga medeltemperatur och 50% av oljeenergin återvinns

När båda de ovan nämnda åtgärderna har vidtagits sjunker alltså solenergitillförseln men även oljeförbrukningen jämfört med om endast en ombyggnad sker av kopplingen mellan solfångare och lager (figur 10.7).

Temperaturen i värmelagret förblir i stort sett oförändrad. Genom att genomföra dessa åtgärder kan oljekonsumtionen minskas med ca 6 m³ olja per år, vilket innebär en besparing på 15 tkr.

10.4.3 Optimering av lagervolym och antal värmeväxlarrör vid konstant solfångaryta

Vid dessa optimeringsberäkningar har vi utgått ifrån ett system där de två behandlade åtgärderna enl. föregående delkapitel har utförts. Vidare är villkoren vid beräkningarna, som gäller för normalår, att systemet skall klara 100% av skolans effekt- och energibehov samt att kallaste temperaturen på brinen inte får understiga + 3 grad. C. Detta för att ha marginal mot frysning i leran även under år som inte är normalår.

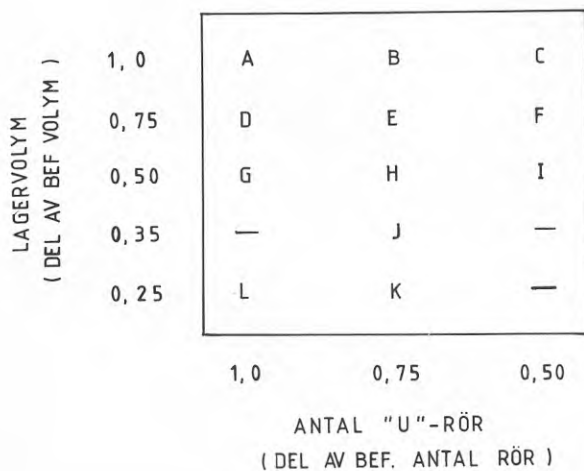
Solfångarytan är konstant 1500 m² och typen av solfångare är de lågtemperatursolfångare som finns på Lindälvs skolan enl. tidigare beräkningar.

I beräkningarna hålls lagrets djup konstant på 35 m.

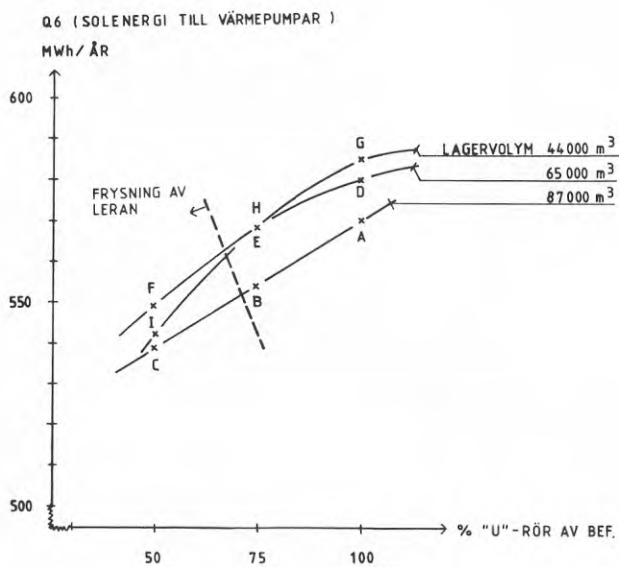
Av tabell 10.1 nedan framgår hur lagervolym och antalet värmeväxlarrör har varierats i beräkningarna. Varje beräkning har döpts med en bokstav. Lagervolymen i Lindälvs skolan är 87.000 m³. I beräkningarna har denna volym reducerats stegvis ner till 25%. Antalet "U"-rör i Lindälvs skolans lerlager är 612 st. Detta antal har i beräkningarna stegvis reducerats ner till 50%. Tex i beräkning F är lagervolymen (se tab. 10.1) $0,75 \times 87.000 \text{ m}^3 = 65.000 \text{ m}^3$ och antalet "U"-rör är $0,5 \times 612 = 306 \text{ st.}$

Körning A motsvarar således de befintliga storlekarna på lagervolym och solfångare samt att åtgärderna enl. föregående delkapitel är utförda.

Resultatet av körningarna framgår av figurerna 10.9 och 10.10 samt av tabell 10.2



Tabell 10.1 Beräkningsschema



Figur 10.9 Solenergitillskott s.f.a. antalet "U"-rör vid konstanta volymer

I första omgången av datorkörningar hölls lagervolymer konstant (87.000 m³) medan antalet "U"-rör minskades (körningarna B-C). Av figur 10.10 framgår hur totalt levererad solenergi till värmepumpar (Q₆) minskar då man minskar antalet "U"-rör till 75% resp. 50% av antalet befintliga rör. Vid minskning av antalet rör ökar medeltemperaturen på brinen under uppladdningsperioden av lagret. Detta innebär att solfångarna får arbeta vid en högre temperatur vilket i sin tur leder till att producerad solenergi minskar. Samtidigt innebär ett mindre antal rör att brinens temperatur under urladdningsperioden sjunker.

Temperaturintervallet för brinen ökar enl. tab. 10.2 med minskande antal rör samtidigt som lägsta temperaturen på brinen sjunker. För körning C är lägsta temperaturen 1 grad. C, vilket är för lågt med hänsyn till risken för frysning under år kallare än normalår. Däremot visar beräkningarna att en minskning av antalet "U"-rör till 460 st (75%) skulle gå utan att risken för frysning blir påtaglig.

Körning	Temperaturintervall BRINE	Temperaturintervall LAGER
A	35 - 5	16.6 - 11.4
B	39 - 4	15.9 - 11.2
C	45 - 1	15.2 - 11.0
D	36 - 7	18.8 - 12.3
E	40 - 5	18.8 - 11.9
F	46 - 2	16.9 - 11.3
G	37 - 7	21.2 - 12.4
H	39 - 4	19.4 - 10.7
I	46 - 2	18.2 - 10.4
J	41 - 3	21.3 - 9.3
K	43 - 2	23.5 - 7.9
L	42 - 3	25.6 - 9.2

Tab. 10.2 Temperaturintervall på brine och lager vid olika körningar.

Av tab. 10.2 framgår vidare att temperaturnivån i lagret sjunker vid minskande antal rör. Detta beror på att mängden producerad solenergi minskar enl. ovan.

Vid nästa omgång körningar minskades lagervolymen till 75% (65.000 m³) och antalet "U"-rör varierades på samma sätt som ovan. Av figur 10.9 framgår att totalt levererad solenergi ökar jämfört med lagervolymen 87.000 m³. Ytterligare körningar gjordes med halva lagervolymen i vilken antalet "U"-rör varierades enl. ovan. I figur 10.9 framgår att vid 100% av bef. "U"-rör ytterligare en ökning av solenergi erhålles jämfört med 75% av volymen. Däremot minskar solenergiutbytet då antalet "U"-rör är 50% av bef. antal vid halva lagervolymen jämfört med 3/4 av lagervolymen.

Ritar man resultaten s.f.a. lagervolym vid konstanta antal "U"-rör ser man tydligt att för ett konstant antal "U"-rör, vid konstant solfångaryta, finns ett optimum vad gäller lagervolym. Se figur 10.10.

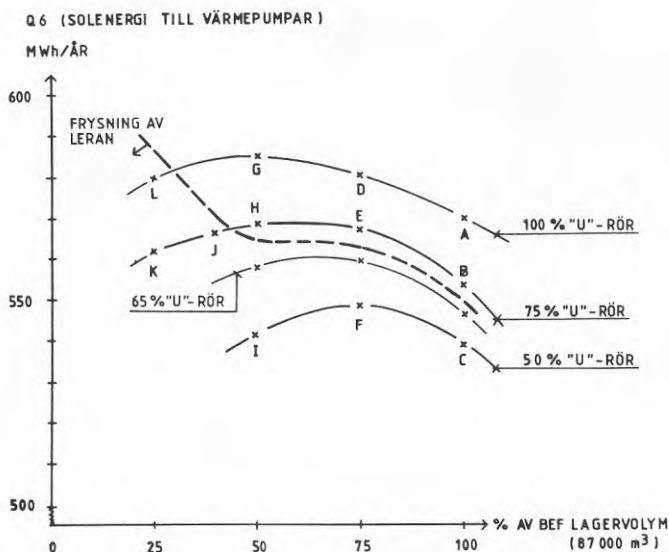


Fig 10.10 Solenergitillskott s.f.a. lagervolym vid konstanta antal "U"-rör.

För att pejla in gränsen för frysrisk av leran gjordes beräkningar även för 65% "U"-rör vilket framgår av fig. 10.10.

Vid ökning av lagervolymen, utöver den optimala storleken, ökar de absoluta förlusterna från lagret p g a att förlustytan ökar. I dessa fallen spelar årsmedeltemperaturnivån i lagret mindre roll då denna är så gott som konstant. Förändringen i förlusterna är större än förändringen i producerad solenergi. Sålunda förmår inte solfångarna producera energi i samma takt som förlusterna ökar p g a ökande lagervolym, p g a att brinemedeltemperaturen inte sjunker tillräckligt.

Vid minskning av lagervolymen, under den optimala storleken, ökar medeltemperaturen på brinen under uppladdningsperioden vilket innebär att mängden producerad och lagrad energi minskar.

Av figurerna 10.9 och 10.10 framgår att den absoluta förändringen av solenergitillskottet inte är påtaglig när en minskning sker av lagervolym och antal "U"-rör. Det som sätter en praktisk gräns är risken för frysning av leran vilket medför sättningar.

Av tab. 10.2 framgår att vid samtliga körningar med 50% av bef. antal "U"-rör blir lägsta brinetemperatur så låg att risk för frysning av leran är uppenbar. Däremot synes antalet "U"-rör kunna minskas till 75%, så länge som lagervolymen inte understiger 50% av bef. lagervolym, utan att riskera frysning av leran.

Körningarna I, K och L gjordes för att kontrollera vad som tidigare har sagts om en optimal lagervolym. Brinen blir i dessa fall för kall och risk för frysning av leran föreligger.

Av beräkningsresultaten kan man sålunda konstatera att, vad gäller Lindälvs skolan med känd energiförbrukning, en minskning av antalet "U"-rör till 75% samt en minskning av lagervolymen till 50% skulle innebära en dimensionering som innebär lägsta möjliga kostnad för lagret. Detta förutsätter enl. ovan att åtgärder vidtas för att solfångarna skall arbeta vid lägsta möjliga temperatur samt att avgasvärmeväxlarna effektiviseras till ursprungligt tänkt prestanda.

Denna dimensionering innebär ett centrumavstånd mellan "U"-rören på ca 1,7 m och där rören sitter i ett kvadratisk mönster om 21 x 21 st.

Den befintliga dimensioneringen med centrumavståndet 2 m mellan "U"-rören och 612 st "U"-rör i ett rektangulärt mönster om 34 x 18 st förutsatte ett energibehov i skolan som var 60% högre (1650 MWh/år) än uppmätt förbrukning.

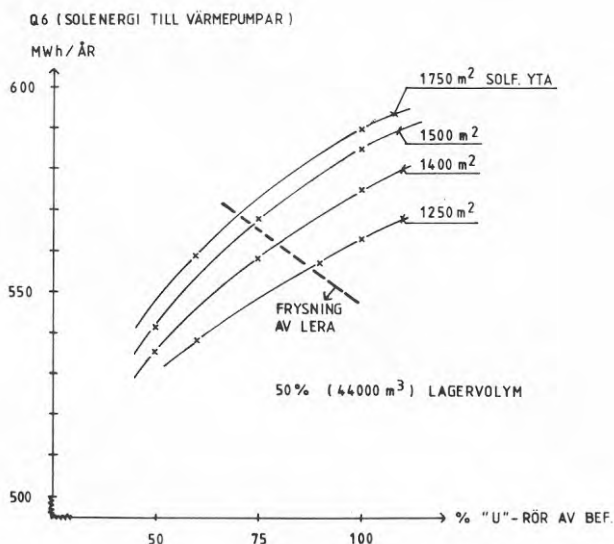
10.4.4 Optimering av solfångaryta vid konstant lagervolym

Av föregående delkapitel framgår att vid solfångarytan 1500 m² är ett lager med 50% (ca 44.000 m³) av befintlig lagervolym och med 75% (460 st) av befintligt antal "U"-rör att betrakta som den bästa (billigaste) lösningen för de förutsättningar som gäller i denna studie.

Som utgångspunkt för att studera solfångarytans inverkan valdes just den här ovan beskrivna lösningen. Vid ökning av solfångarytan kan antalet "U"-rör minskas utan risk för frysning resp. vid minskning av solfångarytan måste antalet "U"-rör ökas för att undvika frysning. För att kunna göra en optimering måste solfångare och "U"-rör prissättas. Följande kostnader anses som relevanta:

"U"-rör	1000 kr/st
Solfångare	400 kr/m ² (merkostnad)

Beräkningar utfördes med SUNSYST där volymen hölls konstant vid 50% (44.000 m³) medan antalet "U"-rör varierades liksom solfångarytan. Resultatet av dessa beräkningar framgår av figur 10.11 nedan.



Figur 10.11 Solenergitillskott s.f.a. antal "U"-rör och solfångaryta

Om solfångarytan ökas till 1750 m² måste antalet "U"-rör minskas till 360 st (ca 60%) enligt ovan antagna kostnader för att den totala kostnaden för anläggningen skall bli oförändrad. Av figur 10.11 framgår att solenergitillskottet blir lägre vid denna lösning dessutom föreligger risk för frysning av leran.

Om solfångarytan istället minskas till 1250 m² kan antalet "U"-rör ökas till 560 st (ca 90%) utan att totala kostnaden förändras. Även vid denna lösning blir solenergitillskottet lägre än för referenslösningen.

Samma jämförelse som ovan gjordes för solfångaryta 1400 m². Härvid konstaterades att solenergitillskottet endast blir något lägre än för referenslösningen.

Sålunda kan man av dessa beräkningar och jämförelser konstatera att optimal solfångaryta vid 50% (44.000 m³) av bef. lagervolym är ca 1500 m².

Av detta och föregående kapitel kan man dra följande slutsatser avseende SUNCLAY-systemet vid Lindälvs-skolan.

Optimalt "sol"-system: 1500 m² solfångare
 460 st "U"-rör (16.100 m)
 44.000 m³ lagervolym
 centrumavstånd "U"-rör 1,7 m

Sammanfattningsvis kan således följande tumregel anses gälla för anläggningar av aktuell typ och storlek:

ca 11 meter "U"-rör/m² solfångare

ca 30 m³ lagervolym (1era)/m² solfångare

11. ANDRA GENERATIONENS SUNCLAY

11.1 Förutsättningar

I föregående kapitel optimerades det ursprungliga Sunclay-systemet d v s lågtemperatursolfångare, diesel-drivna värmepumpar och lagring i mark.

Genom att använda datorprogrammet SUNSYST samt erfarenheterna från Sunclay-valideringen kan man noggrant analysera även andra systemlösningar. Som grund för beräkningarna ligger Lindälvsskolans energibehov för värme, ventilation och tappvarmvatten, kombinerat med säsongslagring i lera.

Skolans uppvärmda yta är 15.000 m² och dess energibehov över året 1020 MWh. Värmenätets framledningstemperatur vid dimensionerande utetemperatur är 55 grad. C (DUT = -16 grad. C).

Marklagrets värmeledningstal, specifika värmekapacitet, densitet samt ackumulatorrörens värmeledningstal och dimensioner (tubdiameter, rörlängd vertikalt) har samma värden som optimerade Sunclays lager. Däremot varierar antal rörstick samt avståndet mellan sticken, d v s lagrets volym och maxeffekten för in- och utmatning.

11.2 Kalkylunderlag

I de följande delkapitlen studeras olika systemlösningar ekonomiskt utifrån kostnaderna från uppförandet av Lindälvsskolan (1979-80) uppräknat till dagens penningvärde (1984).

Kostnaderna för produktionsanläggningen fördelar sig på fasta kostnader som solfångare, marklager, värmepump, elpanna samt rörliga kostnader el eller olja.

Solfångare: Kostnaden för installerad solfångaryta inkluderar förbindelserör och apparatrum.

Lågtemperatursolfångare 400 kr/m²

Medeltemperatursolfångare 700 kr/m²

Högtemperatursolfångare 1400 kr/m²

Vindkonvektor:

Kostnaden inkluderar samlingsrör och app.rum 36 kr/m²

Marklager: Vid större anläggningar är kostnaden per pålstick konstant medan däremot fördelnings- och samlingsrörens kostnad är dels beroende av antal stick (många stick ger fler inkopplingar samt grövre ledningar) samt av lagrets utbredning, överyta (isolermaterial, antal meter rör).

Stickkostnad 650 kr/stick

Fördelnings/samlingsrör
beroende av antal stick + 170 kr/stick

820 kr/stick

Fördelnings/samlingsrör
beroende av överytan 122 kr/m²

Isolering av överyta + 50 kr/m²

172 kr/m²

Värmepump: Kostnaden är här endast värmeeffektberoende och lika för dieselvärmepumpen och elvärmepumpen 1000 kr/kW

uteluftvärmepumpmodul 1800 kr/kW

Elpanna: Då effekten ej överstiger 300 kW är kostnaden för elpannan 70.000 kr

Vid högre effekter tillkommer kostnad för servisutbyggnad 60.000 kr

Extra ledn.
vid direktsol:

Rörinstallation samt tillkommande styrning 50.000 kr

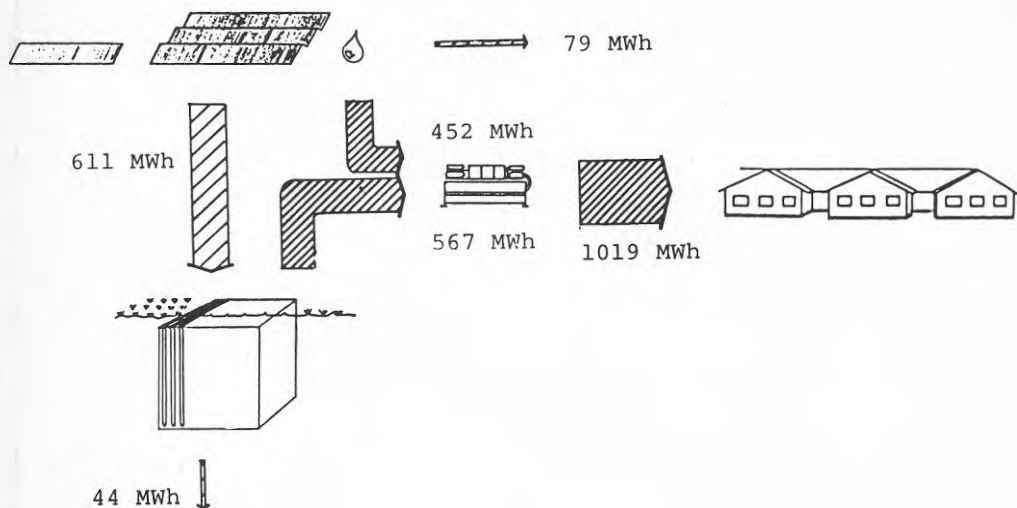
Elkostnad: Elpriset för den aktuella regionen i skolans förbrukningsnivå är 0,32 kr/kWh

Oljekostn.: EOL 1 kostar här 0,32 kr/kWh

Avskrivningstiden för gjorda investeringar är satt till 20 år med 4% realränta vilket ger annuitetsfaktorn $I = 0,07358$.

11.3 Referensalternativet med lågtemperatursolfångare och dieselvärmepump

Lindälvsskolans verkliga energiförbrukning har visat sig vara 35% mindre än förväntat varför lagret kan minskas till halva volymen mot dagens volym. Det lägre effektbehovet kräver dessutom endast 75% av dagens lagerrörlängd, se kap. 10.4.3.



Figur 11.1 System 1 Det optimerade Sunclay. Energi-
flöde från 1.500 m² lågtemperatursolfångare
samt olja via 45.000 m³ marklager och
dieselvärmepump till byggnad.

Sammanställning system 1 (det optimerade Sunclay):

1500 m² lågtemperatursolfångare
611 MWh tillvaratagen energi solfångare

45.000 m³ lagervolym
21 x 21 stück
1,7 m c-c avstånd mellan ackumulatorrör
19,4 grad. C max.temp. i lager
10,7 grad. C min.temp. i lager
567 MWh från lager till förångare
44 MWh förlust från markackumulator

600 kW dieselvärmepump
452 MWh energi till dieselmotor
79 MWh förlust via avgaser

56 % täckningsgrad från sol
15 öre/kWh för soldelen med marklager
30 öre/kWh värmekostnad

11.4 Lågtemperatursolfångare och elvärmepump

När Sunclay-anläggningen projekterades kostade oljan 640 kr/m³ och el ungefär 15 öre/kWh. Läget har förändrats så att el har stigit mycket långsammare än oljepriset varför en anläggnings utseende med eldriven värmepump utreds.

Det befintliga systemets värmepumpar är dieseldrivna.

En del värme tillförs systemet direkt via dieselmotorernas kylmantlar samt via avgasvärmväxling vilket totalt sett medför en god energiverkningsgrad för hela systemet.

Vid byte till elvärmepump kommer all energi att passera värmepumpen via förångare och kompressor, vilket innebär en större del energi till förångarsidan.

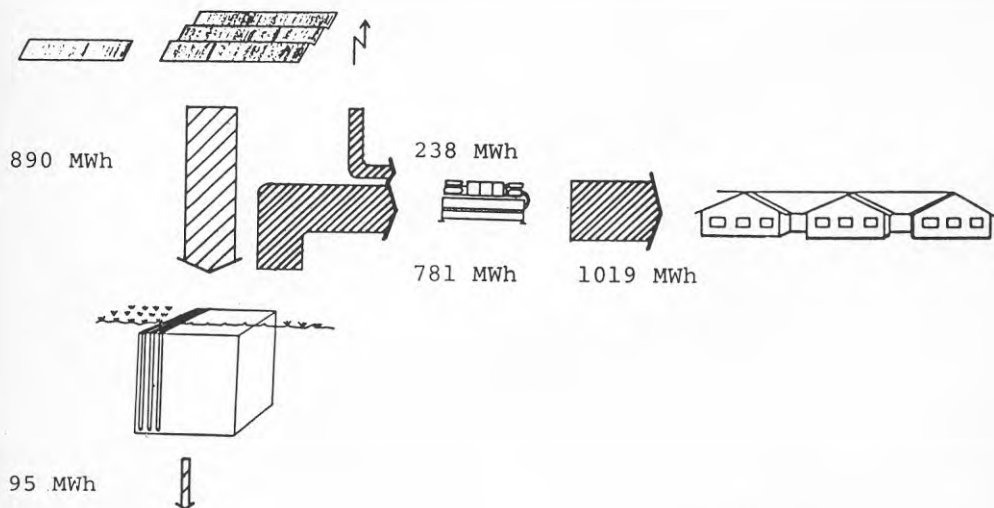
För att klara förångarsidans ökade energibehov krävs ett energimässigt större lager samt större solfångaryta. Då lagervolymen ökar ökar även lagerförlusterna vilket kräver ytterligare solfångaryta.

Ändringen av förångarsidans energibehov medför även ett ökat effektuttag ur lagret och den ökade solfångarytan medför ökad effekttillförsel vilket kräver större värmeöverförande yta mellan lager och brine d v s fler antal meter ackumulatorrör i lagret.

Genom att öka lagrets volym 41% till 63.000 m³ samt öka antal stick 65% till 27 x 27 stick erhålls erforderlig lagerkapacitet samt ursprungliga lagertemperaturer. Lagerförlusterna ökar 100% till 95 MWh.

Solfångarytan ökas med 53% till 2300 m² vid oförändrat energiutbyte per m² solfångaryta 400 kWh/m². Energi till kompressorn kan därmed minskas med 47% till 238 MWh, d v s täckningsgraden för solenergi ökar från 56% till 77%.

Kostnaderna minskar dessutom från referensalternativsystemets 30 öre/kWh till 25 öre/kWh.



Figur 11.2 System 2. Energiflöde från 2.300 m² lågtemperatursolfångare samt elnät via 63.000 m³ marklager och elvärmepump till byggnad.

Sammanställning system nr 2:

2300 m² lågtemperatursolfångare
890 MWh tillvaratagen energi i solfångare.

63.000 m³ lagervolym
27 x 27 stick
1,57 m c-c avstånd mellan ackumulatorrör
20,3 grad. C max.temp i lager
11,6 grad. C min.temp i lager
781 MWh från lager till förångare
95 MWh förlust från markackumulator

600 kW elvärmepump
238 MWh el till kompressor

76% täckningsgrad med sol
17 öre/kWh för soldelen med marklager
25 öre/kWh total värmekostnad

11.5 Medeltemperatursolfångare och elvärmepump

Istället för att öka solfångarytan kan senast framtagna takintegrerade solfångarna med täckning samt selektiv absorberingsyta användas, varvid solfångareffektiviteten ökar.

Medeltemperatursolfångaren beskrivs i programmet med följande indatavärden i enlighet med kap. 10.2.1:

ABSKO	0,95
EP	0,15
SP	0,5 mm
LA	180 W/m grad. C
D	10 mm
L	15 cm
AL	1700 W/m ² grad. C
KVARDE	1 W/m ² grad. C

Antal täckskivor	1 styck
Avstånd ABS-täckskiva	40 mm
Täckskivans tjocklek	3 mm
brytningsindex	1,49
emissionskoeff.	0,876
absorptionskoeff.	16,8 per meter
transmission av värme- strålning	0%

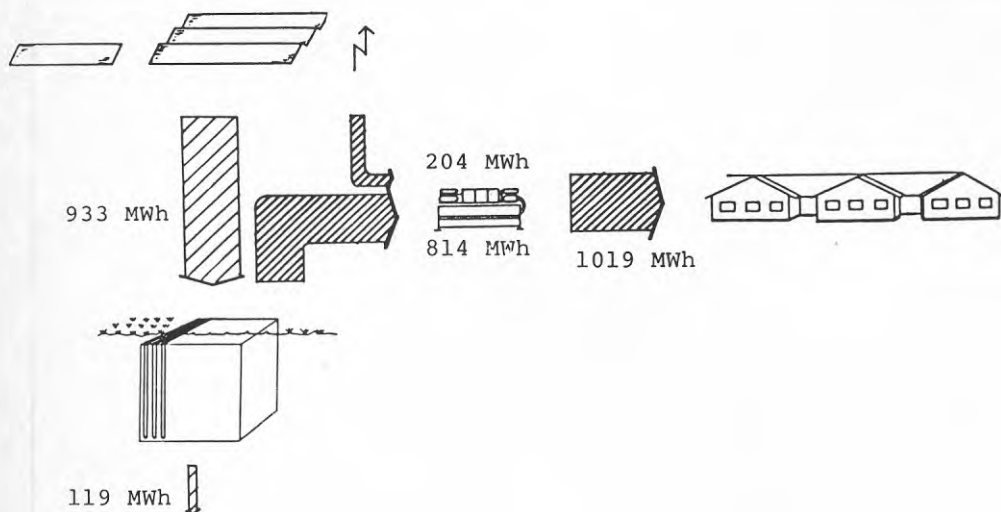
Energiutbytet från solfångarna under ett år ökar med 63% från 387 kWh/m² för lågtemperatursolfångare till 630 kWh/m² för medeltemperatursolfångare vid samma medeltemperatur i solfångarkretsen.

Förutom solfångareffektivitet ökar även anläggningens möjliga temperaturspann med en glasad solfångare.

Genom att öka lagrets maxtemperatur med bibehållen min.temperatur kan lagervolymen minska och värmepumpens årsvärmefaktor ökas.

Den ökade värmefaktorn innebär mindre del tillsatsenergi el och ökad del solvärme.

Energi priset minskar i detta fall till 24 öre/kWh och täckningsgraden från sol ökar till 80%.



Figur 11.3 System 3. Energiflöde från 1.700 m² medeltemperatursolfångare samt elnät via 21.000 m³ marklager och värmepump till byggnad

Sammanställning system 3:

1700 m² medeltemperatursolfångare
933 MWh tillvaratagen energi i solfångare

21.000 m³ lagervolym
28 x 28 stick
0,87 m c-c avstånd mellan ackumulatorrör
36,4 grad. C max.temp hos lagret
12,0 grad. C min.temp hos lagret
814 MWh från lager till förångare
119 MWh förlust från markackumulator

600 kW elvärmepump
204 MWh el till kompressor

80% täckningsgrad med sol
17 öre/kWh för soldelen med marklager
24 öre/kWh total värmekostnad

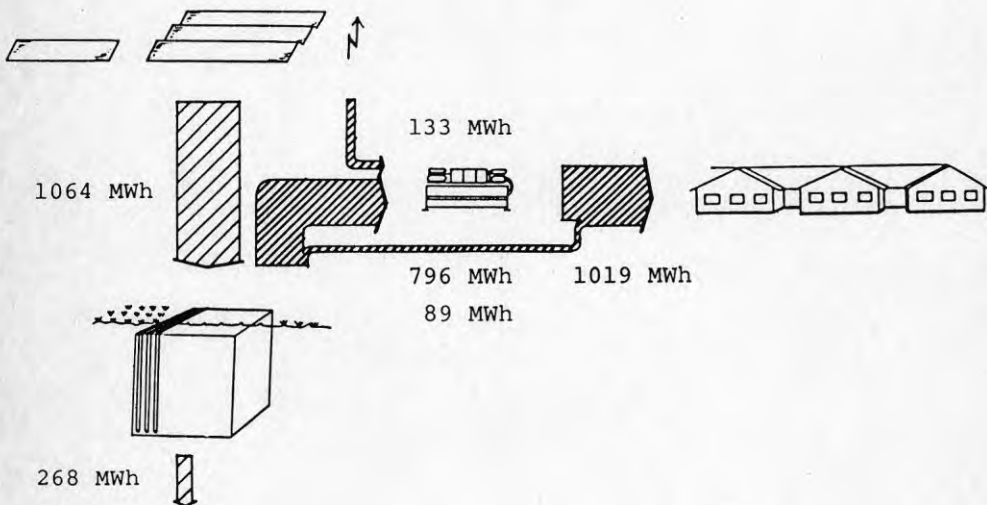
11.6 Medeltemperatursolfångare och elvärmepump samt direktkoppling mellan lager och förbrukare

Genom att ytterligare höja temperaturnivån i lagret med ökad solfångaryta, kan en del energi levereras direkt från lagret till förbrukaren utan mellansteget värmepump. En extra ledning samt styrning för densamma tillkommer.

Vid solfångarytan 2900 m² och lagervolymen 20.000 m³ går 89 MWh (9%) direkt till förbrukaren medan 133 MWh el krävs till kompressorn.

Energipriset stiger vid denna systemlösning till 31 öre/kWh och täckningsgraden når 87%.

Vid halvering av lagervolymen når man högre max.-temperaturer i lagret varvid solenergi via direktledning till förbrukaren ökar till 13%. Samtidigt sjunker min.temperaturen i lagret vintertid och värmepumpen arbetar i detta fall totalt sett med en sämre årsvärmeffaktor vilket ger en mindre täckningsgrad av sol, 84%.



Figur 11.4 System 4. Energiflöde från 2.900 m² medeltemperatursolfångare samt elnät via 20.000 m³ marklager, direkt samt via elvärmepump till byggnad.

Sammanställning system 4:

2900 m² medeltemperatursolfångare
1064 MWh tillvaratagen energi i solfångare

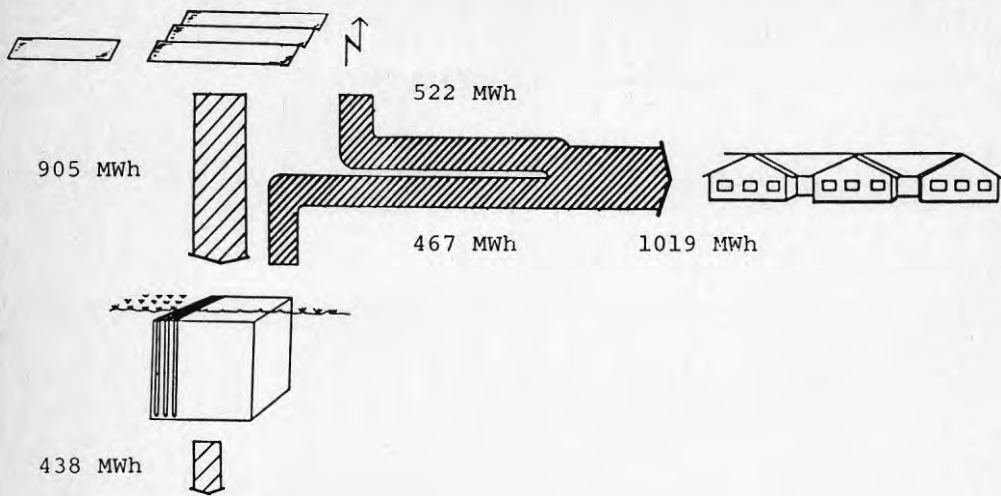
20.000 m³ lagervolym
34 x 34 stück
0,70 m c-c avstånd mellan ack.rör
53,5 grad. C max.temperatur i lager
22,4 grad. C min.temperatur
796 MWh från lager till förångare
89 MWh energi direkt till förbrukare
268 MWh förlust från lager

600 kW elvärmepump
133 MWh el till kompressor

87% täckningsgrad med sol
28 öre/kWh för soldelen med marklager
31 öre/kWh total värmekostnad

11.7 Medeltemperatursolfångare och spetslastpanna

Höjs temperaturnivån i lerlagret ytterligare genom att öka solfångarytan har man möjlighet att förse skolan med en ansenlig del ren solenergi. Då tillsatsenergi krävs endast under några vintermånader och vid hög effekt är värmepumpen olämplig och ersätts därför med en elpanna. Vid solfångarytan 3500 m² och lagervolymen 26.000 m³ blir täckningsgraden med ren solenergi 46% och kostnaden för energin 46 öre/kWh. Vid dessa höga lagertemperaturer uppgår lagerförlusterna till 48% av inladdad energi.



Figur 11.5 System 5. Energiflöde från 3.500 m² medeltemperatursolfångare samt elnät via 26.000 m³ marklager direkt till byggnad.

Sammanställning system 5:

3500 m² medeltemperatursolfångare
905 MWh tillvaratagen energi i solfångare

26.000 m³ lagervolym
40 x 40 stick
0,68 m c-c avstånd mellan ackumulatorrören
64,1 grad. C max.temperatur i lagret
48,0 grad. C min.temperatur
467 MWh från lager till förbrukare
438 MWh förlust från lager

600 kW elpanna
552 MWh el till elpanna

46% täckningsgrad med ren solenergi
61 öre/kWh för soldelen med marklager
46 öre/kWh värmekostnad

11.8 Medeltemperatursolfångare utan tillsatsvärme

Redan i förra systembeskrivningen hade lagerförluster-
na kommit upp i samma storleksordning som avgiven
energi från lagret till skolan.

Här krävs ett ännu större lager samt ännu högre tempe-
raturer för att klara hela årsbehovet vilket medför
ökade förluster från lagret. Större förluster samt full
täckn.grad kräver ökat antal kvadratmeter solfångaryta.

En solfångaryta uppåt 10.000 m² får ej plats på
skolans befintliga takytor. De höga arbetstempera-
turerna ger ett sämre utbyte vid användande av
medeltemperatursolfångare. Dessa båda faktorer
utesluter medeltemperatursolfångare som ersätts med
högtemperatursolfångare.

Högtemperatursolfångare med två täckskivor lågjärn-
oxidsglas samt god isolering beskrivs i programmet
med följande indatavärden i enlighet med kap.

10.2.1:

ABSKO	0,95
EP	0,15
SP	0,5 mm
LA	180 W/m grad. C
D	10 mm
L	16 cm
AL	1700 W/m ² grad. C
KVARDE	0 W/m ² grad. C

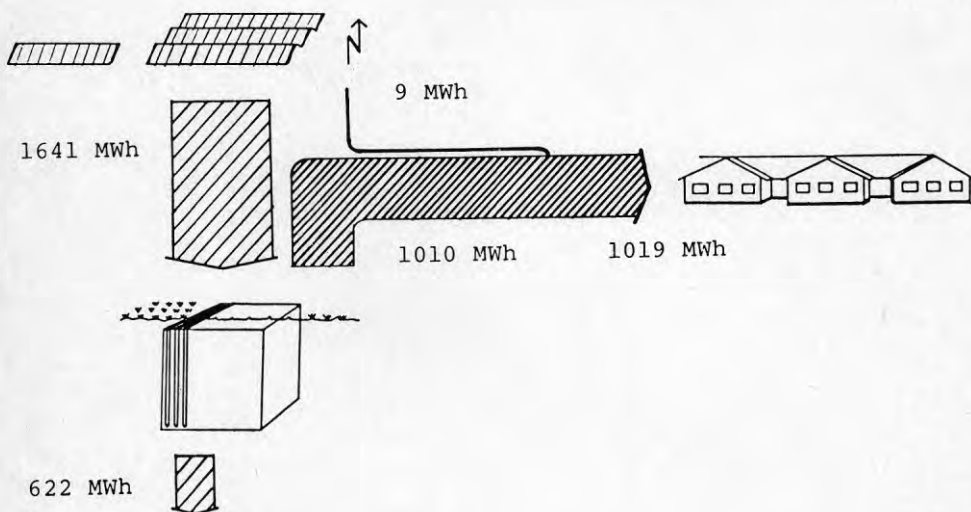
Antal täckskivor	2 styck
Avstånd mellan absorbatör- täckskiva	20 mm
Avstånd mellan täckskivorna	20 mm
Täckskivans tjocklek	4 mm
brytningsindex	1,52
emissionskoeff.	0,876
absorptionskoeff.	3,50 per meter
transmission av värmestrålning	0%

Lagervolymen ökas med 100% till 42.000 m³ samt antal
rör med stick med 200% till 53 x 53.

Högtemperatursolfångare på 4500 m² ger erforderlig
energimängd medan priset per installerad m² sol-
fångaryta här är dubbelt så stort som för medeltempe-
ratursolfångaren.

Förlusterna från lagret uppgår till 622 MWh, vilket
är 38% av totalt inladdad energi.

Externt energitillskott är 9 MWh medan energipriset
för detta totalsolsystem är 64 öre/kWh.



Figur 11.6 System 6. Energiflöde från 4.500 m² högtemperatursolfångare, 42.000 m³ marklager direkt till byggnad

Sammanställning system 6:

4500 m² högtemperatursolfångare
1641 MWh tillvaratagen energi i solfångare

42.000 m³ lagervolym
53 x 53 stick
0,65 m c-c avstånd mellan ackumulatorrören
79,8 grad. C max.temp i lager
58,6 grad. C min.temp i lager
1010 MWh från lager till förbrukare
622 MWh förlust från lager

100 kW elpanna
9 MWh el till elpanna

99% täckningsgrad
64 öre/kWh total värmekostnad

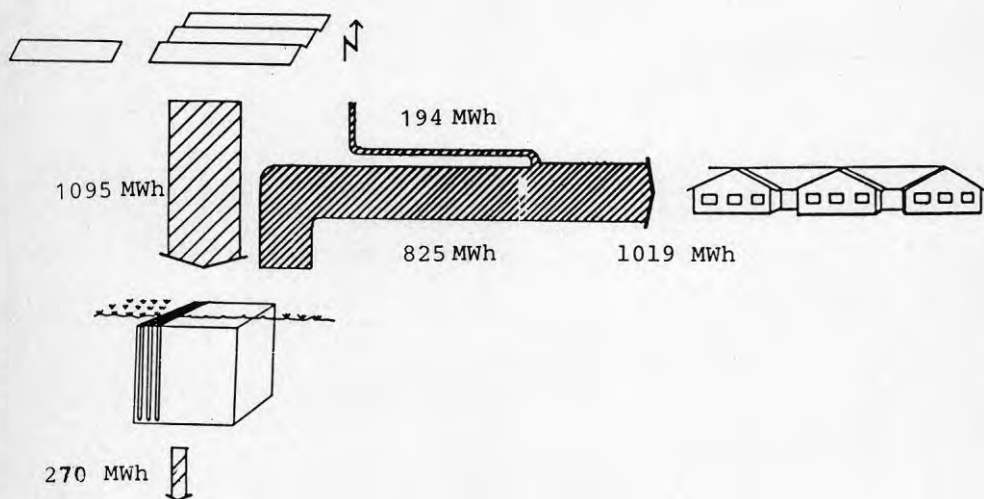
11.9 Medeltemperatursolfångare kompletterad med panna för lågtemperaturvärmesystem

De hittills presenterade systemalternativen har gemensamt att de alla hade kunnat byggas till dagens Lindälvsskola d v s Lindälvsskolans värmesystem har behållits intakt.

I detta alternativ däremot förutsätter man att skolan är försedd med ett extremare lågtemperatursystem för värme d v s golvvärme eller dylikt.

De lägre temperaturerna medför mindre förluster från lagret samt god solfångareffektivitet. 84% av värmebehovet täcks direkt via solfångare-lager-skola varför värmepump ej utnyttjas. För tappvarmvatten däremot klarar anläggningen endast av att bereda 60% av behovet då temperaturnivån i lagret alltid ligger lägre än erforderlig tappvarmvattentemp. 48 grad. C. En elvarmvattenberedare får eftervärma tappvarmvattnet till erforderlig temperatur.

Elenergi till varmvattenberedning samt värme uppgår till 190 MWh. Energipriset för denna produktionsanläggning blir 28 öre/kWh vid en täckningsgrad av 81%.



Figur 11.7 System 7. Energiflöde från 2.800 m² medeltemperatursolfångare samt elnät via 53.000 m³ marklager och panna till byggnad med lågtemperatursystem.

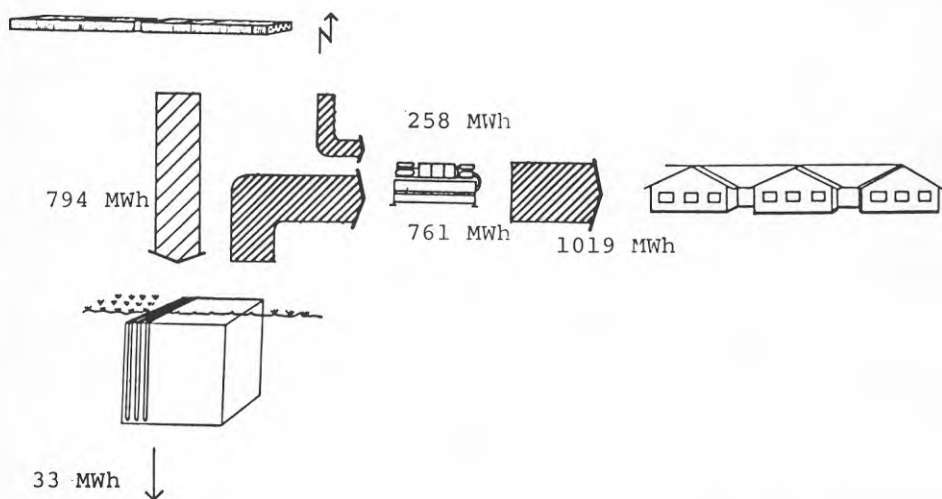
Sammanställning system 7:

2800 m² medeltemperatursolfångare
1095 MWh tillvaratagen energi i solfångare

53.000 m³ lagervolym
32 x 31 stick
1,24 m c-c avstånd mellan ackumulatorrören
39,3 grad. C max.temp i lagret
27,4 grad. C min.temp i lagret
825 MWh från lager till förbrukare
270 MWh förlust från lager

194 MWh el till eftervärmning av värme/tappvarmvatten

81% täckningsgrad från sol
27 öre/kWh från soldelen med marklager
28 öre/kWh total värmekostnad



Figur 11.8 System 8. Energiflöde från 20.000 m² vindkonvektoryta samt elnät via 186.000 m³ marklager och elvärmepump till byggnad.

Sammanfattning system 8:

20.000 m² aktiv konvektoryta
794 MWh tillvaratagen energi i konvektor

186.000 m² lagervolym
38 x 38 stück
1,92 m c-c avstånd mellan ackumulatorrören
12,2 grad. C max temp. i lager
8,7 grad. C min temp. i lager
761 MWh från lager till förångare
33 MWh förlust från lager

600 kW elvärmepump
258 MWh el till kompressor

75% täckningsgrad från luft
27 öre/kWh från vindkonvektor med marklager
33 öre/kWh total värmekostnad

11.10 Vindkonvektor samt elvärmepump

En ytterligare systemlösning studeras där solfångarna ersätts av vindkonvektorer.

Indatavärden används i enlighet med referensalternativet kap. 10.2.1 förutom följande indata:

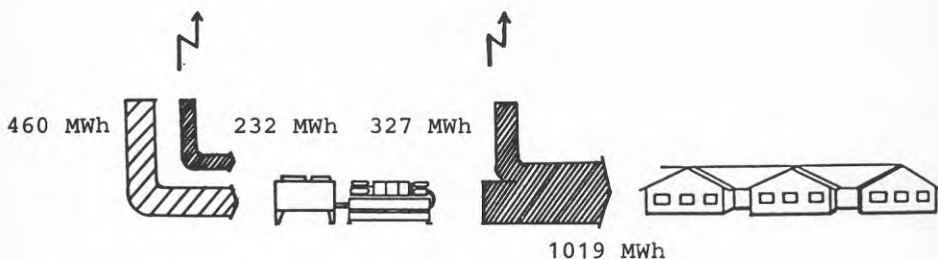
ABSKO	0,00
EP	0,00
SP	0,3mm
D	16 mm
L	8 cm
KVARDE	0,00 W/m ² grad. C

Vindkonvektorn arbetar med lägre temperaturer än solfångartaket, varför temperaturdifferensen över lagret blir liten då man ej önskar frysning av leran. Den begränsade temperaturdifferensen över lagret kräver betydligt större lagervolym för att upprätthålla samma energilagringsskapacitet som i referensalternativet. Då lagertemperaturerna här är lägre kommer systemets årsvärmefaktor att minska. Det medför mer el till kompressorn och mindre energi från lagret vilket i viss mån minskar lagrets erforderliga energilagringsskapacitet.

Den stora lagervolymen innebär långa fördelningsledningar ovanpå lagret vilket fördyrar installationen i jämförelse med solfångarinstallationerna.

11.11 Uteluftvärmepump med elpanna utan marklager

Om man vid system med uteluftvärmepump frångår lagringsprincipen samt dimensionerar värmepumpen så att den täcker endast 70% av energibehovet och ca 50% av effektbehovet erhålls en betydligt lägre energikostnad. I detta system krävs en fulleffektpanna då uteluftvärmepumpen ej arbetar under årets kallaste perioder. Täckningsgraden från förnyelsebar energi blir här 45%.



Figur 11.9 Energiflöde från en 200 kW uteluftsvärmepumpmodul samt elnät till byggnad

System 9:

200 kW uteluftvärmepumpmodul (dim. effekt vid Tute = +15 gr. C)
 460 MWh till förångare
 232 MWh el till kompressor
 692 MWh från värmepumpmodul till byggnad
 600 kW elpanna
 327 MWh el till elpanna

11.12 Medeltemperatursolfångare och elvärmepump - känslighetsanalys vid varierande solfångaryta, lagerutseende och temperaturnivå

Systemlösning 3 är det billigaste alternativet utav värmepumpsalternativen och det kan därför vara intressant att närmare studera denna lösning och dess dimensionskänslighet.

System 3 består enligt tidigare av:

1700 m² medeltemperatursolfångare
933 MWh tillvaratagen energi i solf.

21.000 m³ lagervolym
28 x 28 stück
0,87 m c-c avstånd mellan ackumulatorrör
36.3 gr. C maxtemperatur i lager
11,9 gr. C mintemperatur
814 MWh från lager till förångare
119 MWh förlust från lager

600 kW elvärmepump
204 MWh el till kompressor

80% täckningsgrad med sol
17 öre/kWh för soldelen med marklager
24 öre/kWh total värmekostnad

11.12.1 Lagervolymen varierar

Sänker man temperaturnivån i lagret och därmed minskar utnyttjningsbara temperaturdifferensen i lagret krävs en större lagervolym.

P g a de lägre lagertemperaturerna minskar lagerförlusterna trots ökad omslutningsyta.

Lägre temperaturnivå på förångarsidan medför sämre årsvärmefaktor, d v s mindre energi från sollager och mer energi från kompressor.

Det minskade förångareenergibehovet kräver färre antal m² solfångaryta. Dessutom ger solfångarna ett högre energiutbyte vid lägre medeltemperatur i solkretsen varför solfångarytan ytterligare kan minskas.

Då lagervolymen ökas till 42.000 m³ minskar max.-temperaturen i lagret från 36 gr. C ned till 26 gr. C och temperaturdifferensen mellan max och min.temp i lagret från $T = 24$ gr. C till $T = 12$ gr. C.

Solfångarytan kan minskas till 1500 m² medeltemperatursolfångare.

Trots minskad solfångaryta är detta system något dyrare än system 3 då dubblering av lagervolymen medför dubblering av överyta och därmed ökade kostnader för rördragning och isolering av överytan.

Genom att solfångarytan minskats kan även antal meter rör i lagret, antal stick, minskas med bibehållen god värmeväxlyta för värmeväxling sol-mark-byggnad.

Därmed erhålls en minskad kostnad för lagret och energipriset för detta system 10 ligger kvar på samma nivå som för system 3.

System 10:

1500 m² solfångare
895 MWh energi från solfångare

42.000 m³ lagervolym
26 x 26 stick
1,33 m c-c avstånd
26,2 gr. C maxtemperatur i lager
14,0 gr. C mintemperatur
800 MWh från lager till förångare
95 MWh förlust från markackumulator

600 kW elvärmepump
218 MWh el till kompressor

79% täckningsgrad från sol
17 öre/kWh för soldelen med marklager
24 öre total värmekostnad

Sänks temperaturnivån i lagret ytterligare genom ökning av lagervolymen kan solfångarytan minskas medan tillsatsenergi i form av el till kompressorn ökar.

För att ej få frysning i leran kring lagerrören vid stora effektuttag vintertid krävs en ökad värmeöverföringsyta, d v s mindre temperaturdifferens mellan lager och brine i markrören. Antal rörstick i marken måste således ökas då min.lagertemperaturen i detta system är lägre än min.temperaturen hos förra systemet.

Lagerförlusterna är lägre i detta system än i de två tidigare systemen trots ökad lagervolym p g a lägre temperaturnivå i lagret.

System 11:

1300 m² solfångare
870 MWh energi från solfångare

63.000 m³ lagervolym
28 x 28 stück
1,51 m c-c avstånd mellan ackumulatorrör
20,0 gr. C maxtemperatur i lager
11,9 gr. C mintemperatur i lager
783 MWh från lager till förångare
87 MWh förlust från markackumulator

600 kW elvärmepump
235 MWh el till kompressor

77% täckningsgrad med sol
17 öre/kWh för soldelen med marklager
25 öre/kWh total värmekostnad

11.12.2 Solfångarytan varierar

Utifrån system 3 kan solfångarytan varieras vid konstant lagervolym. Minskas solfångarytan kommer temperaturnivån i lagret under mars att medföra frysning av lagret. En ökning av solfångarytan höjer lagertemperaturerna, vilket medför bättre årsvärmefaktor samt större förluster från lagret.

De högre temperaturerna möjliggör minskning av antalet rör i ackumulatören utan risk för frysning. Solkrets-temperaturen kommer att öka vid minskning av värmeöverföringsyta i lagret, vilket medför något sämre energiutbyte från solfångarna.

Trots detta kompenserar kostnadsbesparingen vid minskning av antalet rör i ackumulatören samt minskade elbehovet så gott som hela kostnaden för ökat antal m² solfångaryta.

System 12:

2000 m² solfångare
981 MWh energi från solfångare

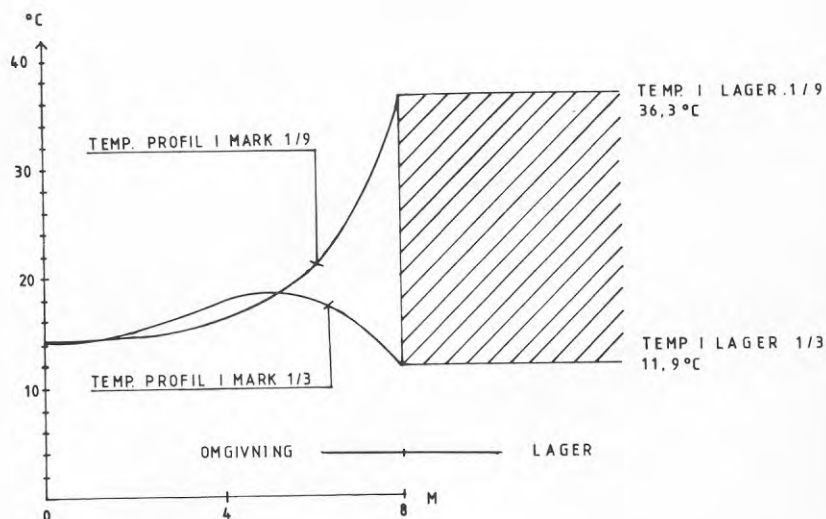
21.000 m³ lagervolym
25 x 25 stück
0,98 m c-c avstånd mellan ackumulatorrör
39,1 gr. C maxtemperatur i lager
13,8 gr. C mintemperatur i lager
820 MWh från lager till förångare
161 MWh förlust från lager

600 kW elvärmepump
196 MWh el till kompressor

81% täckningsgrad med sol
18 öre/kWh för soldelen med marklager
25 öre/kWh total värmekostnad

11.12.3 Temperaturfördelning i och kring lagret

Temperaturprofilen i och kring lagret får följande utseende vid fulladdat resp. urladdat lager.



Figur 11.10 Temperaturprofil i och kring 21.000 m³ lager enligt system 3 vid laddat resp. urladdat lager

Som man kan se i figuren ovan är temperaturen 8 m ut från lagerranden 12 gr. C, vilket är 4 gr. C högre jämfört med omgivande ovärmd leras 8 gr. C.

Brinekretsens max.temperatur 1/9 är 54,3 gr. C och min.temperaturen 1/3 4,4 gr. C.

11.13 Medeltemperatursolfångare kompletterad med panna för golvvärmsystem - känslighetsanalys vid varierande solfångaryta med medeltemperaturlager

System 7 redovisades i delkapitel 11.9 och består av:

2800 m² medeltemperatursolfångare
1095 MWh tillvaratagen energi i solfångare

53.000 m³ lagervolym
32 x 31 stick
1,24 mm c-c avstånd mellan ackumulatorrör
39,3 gr. C maxtemperatur i lagret
27,4 gr. C mintemperatur i lagret
825 MWh från lager till förbrukare
270 MWh förlust från lager

194 MWh el till eftervärmning av värme/tappvarmvatten

81% täckningsgrad från sol
27 öre/kWh för soldelen med marklager
28 öre/kWh total värmekostnad

Genom att minska solfångarytan från 2800 m² till 2250 m² men behålla lagret intakt kommer temperaturnivån i lagret att sjunka ca 2 gr. C och lagerförlusterna att minska från 270 MWh till 228 MWh.

Utbytet från solfångarna ökar vid den något lägre temperaturnivån från 391 kWh/m² till 426 kWh/m² solfångaryta.

Energipriset ökar till 29 öre/kWh medan täckningsgraden från sol minskar från 81% till 72%

System 13:

2250 m² medeltemperatursolfångare
959 MWh tillvaratagen energi i solfångare

53.000 m³ lagervolym
32 x 31 stick
1,24 m c-c avstånd mellan ackumulatorrören
36,6 gr. C maxtemperatur i lagret
26,5 gr. C mintemperatur i lagret
731 MWh från lager till förbrukare
228 MWh förlust från lager

200 kWh panna
288 MWh el till eftervärmning av värme/tappvarmvatten

72% täckningsgrad från sol
 27 öre/kWh för soldelen med marklager
 29 öre/kWh totalvärmekostnad

Minskar man solfångarytan ytterligare från 2250 m² ner till 1900 m² sjunker lagrets temperaturnivå ca 1 gr. C och förlusterna från lagret minskar något.

Utbytet från solfångarna ökar något men soltäckningsgraden sjunker rejält från 72% ned till 63% vilket kräver en större andel tillsatsenergi. Enerkipriset stiger i detta fall till 30 öre/kWh.

System 14:

1920 m² medeltemperatursolfångare
 856 MWh tillvaratagen energi i solfångare

53.000 m³ lagervolym
 32 x 31 stick
 1,24 m c-c avstånd mellan ackumulatorrören
 34,8 gr. C maxtemperatur i lagret
 26,0 gr. C mintemperatur i lagret
 64,2 MWh från lager till förbrukare
 214 MWh förlust från lager

200 kW panna
 376 MWh el till eftervärmning av värme/
 tappvarmvatten

63% täckningsgrad från sol
 28 öre/kWh för soldelen med marklager
 30 öre/kWh total värmekostnad

Om man istället för att minska ökar solfångarytan till 3350 m² kommer täckningsgraden att öka medan den höjda medeltemperaturen i lager och solfångare leder till sämre utbyte i solfångarna. Energikostnaden stiger även i detta fall något till 29 öre/kWh.

System 15:

3350 m² medeltemperatursolfångare
1055 MWh tillvaratagen energi i solfångare

53.000 m³ lagervolym
32 x 31 stick
1,24 m c-cavstånd mellan ackumulatorrören
42,2 gr. C maxtemperatur i lagret
28,7 gr. C mintemperatur i lagret
886 MWh från lager till förbrukare
278 MWh förlust från lager

200 kW panna
132 MWh el til eftervärmning av värme/
tappvarmvatten

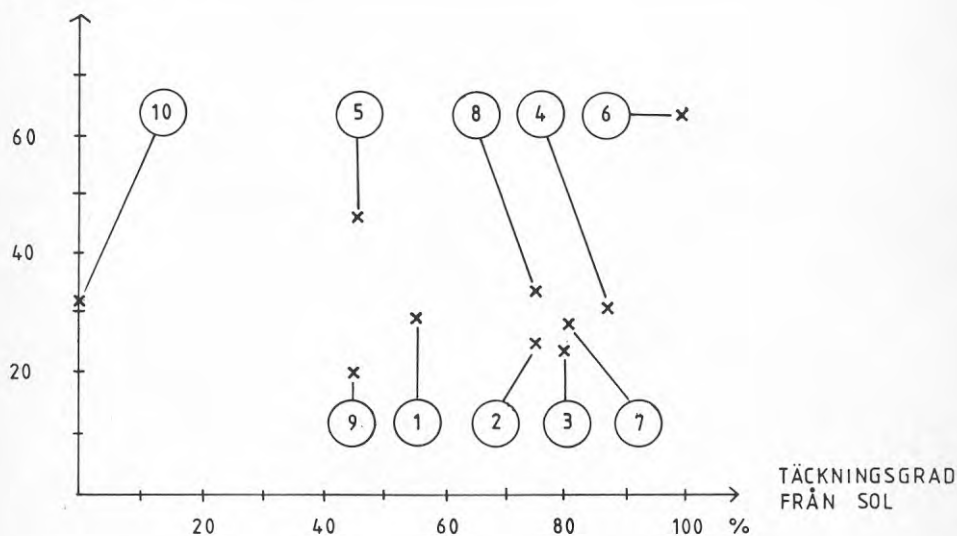
87% täckningsgrad från sol
29 öre/kWh för soldelen med marklager
29 öre/kWh total värmekostnad

Generellt kan man konstatera att förhållandet mellan solfångaryta och lagervolym ej drastiskt påverkar energipriset vilket även är fallet i den tidigare känslighetsanalysen kap. 11.11.

11.14 Sammanfattning av kapitel 11

Resultaten från simuleringarna visar att lagertemperaturerna i lerlagret kan höjas betydligt vid utnyttjande av medeltemperatursolfångare, vilket i de flesta fall medfört större andel solenergi samt i flera fall lika eller lägre energikostnad än det verkliga Lindälvsskole-systemet.

VÄRMEKOSTNAD
ÖRE / KWh



Figur 11.11 Systemens täckningsgrad och värmekostnad

System 1	1.500 m ² lågtemperatursolfångare 600 kW dieselvärmepump 45.000 m ³ marklager
System 2	2.300 m ² lågtemperatursolfångare 600 kW elvärmepump 63.000 m ³ marklager
System 3	1.700 m ² medeltemperatursolfångare 600 kW elvärmepump 21.000 m ³ marklager

System 4	2.900 m ² medeltemperatursolfångare 600 kW elvärmepump 20.000 m ³ marklager
System 5	3.500 m ² medeltemperatursolfångare 600 kW spetslastpanna 26.000 m ³ marklager
System 6	4.500 m ² högttemperatursolfångare 100 kW dellastpanna 42.000 m ³ marklager
System 7	2.800 m ² medeltemperatursolfångare 200 kW dellastpanna 53.000 m ³ marklager
System 8	20.000 m ² vindkonvektoryta 600 kW elvärmepump 186.000 m ³ marklager
System 9	200 kW uteluftvärmepump 600 kW panna
System 10	Enbart 600 kW panna

Billigast visar sig systemet med uteluftvärmepump utan lagring vara, system 9, medan täckningsgraden här är låg.

De kostnads- och täckningsgradsmässigt intressantaste systemen är lösningarna med marklager, medeltemperatursolfångare och värmepump alternativt lågtemperaturvärmesystem typ golvvärme varvid värmepump ej krävs 3), 4) resp. 7).

Anmärkningsvärt är också täckningsgradsökningen samt det lägre energipriset vid byte från dieseldriven värmepump 1) till eldriven värmepump 2). Den dieseldrivna värmepumpen kräver större energitillförsel då dieselprocessen ger en verkningsgrad kring endast 50%. De resterande 50% återvinns visserligen men mängden tillsatsenergi blir dubbelt så stor som i fallet med elmotordriven värmepump.

Högttemperatursolfångare och höga temperaturer i lagret ger ca 40% förluster och därmed ett högt energipris 5) och 6).

Vindkonvektoralternativet med marklager faller på kravet på stor lagervolym 8) medan ekonomin utan lagring enligt tidigare är betydligt bättre.

Kostnaden för enbart eluppvärmning 10) är även inlagd i figuren.

Energikostnaden som funktion av temperaturnivåerna i lagret visar sig således vara relativt konstant d v s oberoende av temperatur, i området mellan min. +10 gr. C till max +50 gr. C.

12. EKONOMI, LÖNSAMHET

I detta kapitel studeras ekonomin för det verkliga SUNCLAY-projektet och det optimerade SUNCLAY som beskrivs i kap. 10.

Priset för Eol i nedanstående beräkningar är antagen till 2500 kr/m³ och med ett energiinnehåll på 10 MWh/m³.

12.1 Det verkliga SUNCLAY

Kostnaderna och resultaten av det verkliga SUNCLAY har presenterats i denna rapport. I kap. 8 kommer man fram till att den normala merkostnaden för SUNCLAY, gentemot ett alternativ med oljepannor, är 1600 tkr räknat i 1980 års penningvärde.

Normalårsförbrukningen beräknas vara 1020 MWh netto. En konventionell oljepanna med 70% verkningsgrad skulle behövt tillföras 146 m³ olja för att producera denna energimängd. SUNCLAY-systemet med en energibesparingsfaktor på 1.7 skulle förbruka 60 m³ olja. Årlig oljebesparing vid normalårsförbrukning blir således 86 m³ eller 59%

Underhållskostnaderna beräknas vara 25 tkr årligen. Således blir pay-off-tiden för merkostnaderna ca 8,5 år.

Merinvesteringen per årlig producerad kWh blir 1,57 kr/årlig kWh. Med en avskrivningstid på 20 år och en real ränta på 4% erhålls en annuitetsfaktor på 0,09. Således blir kapitaliseringen av merinvesteringen ca 14 öre/kWh i energikostnad.

Årligen förbrukas 60 m³ olja enligt ovan. Detta utslaget på 1020 MWh som produceras blir 14,7 öre/kWh.

Underhållskostnaden blir utslagen per producerad kWh 2,5 öre/kWh.

Sålunda ger denna kalkyl med förutsättningar enligt ovan att kostnaden för producerad energi i SUNCLAY-projektet är 31,2 öre/kWh räknat med investeringskostnaden i 1980 års penningvärde.

Sedan 1980 har entreprenadindex för rörarbeten ökat 35-40%. För att få en uppfattning om kostnaden för producerad energi i dagens penningvärde (dec 84) multipliceras merinvesteringen med 1.4. Resultatet av detta är att merinvesteringen blir 2240 tkr eller 2,2 kr/årlig kWh. Sålunda blir kostnaden för producerad energi 36,9 öre/kWh.

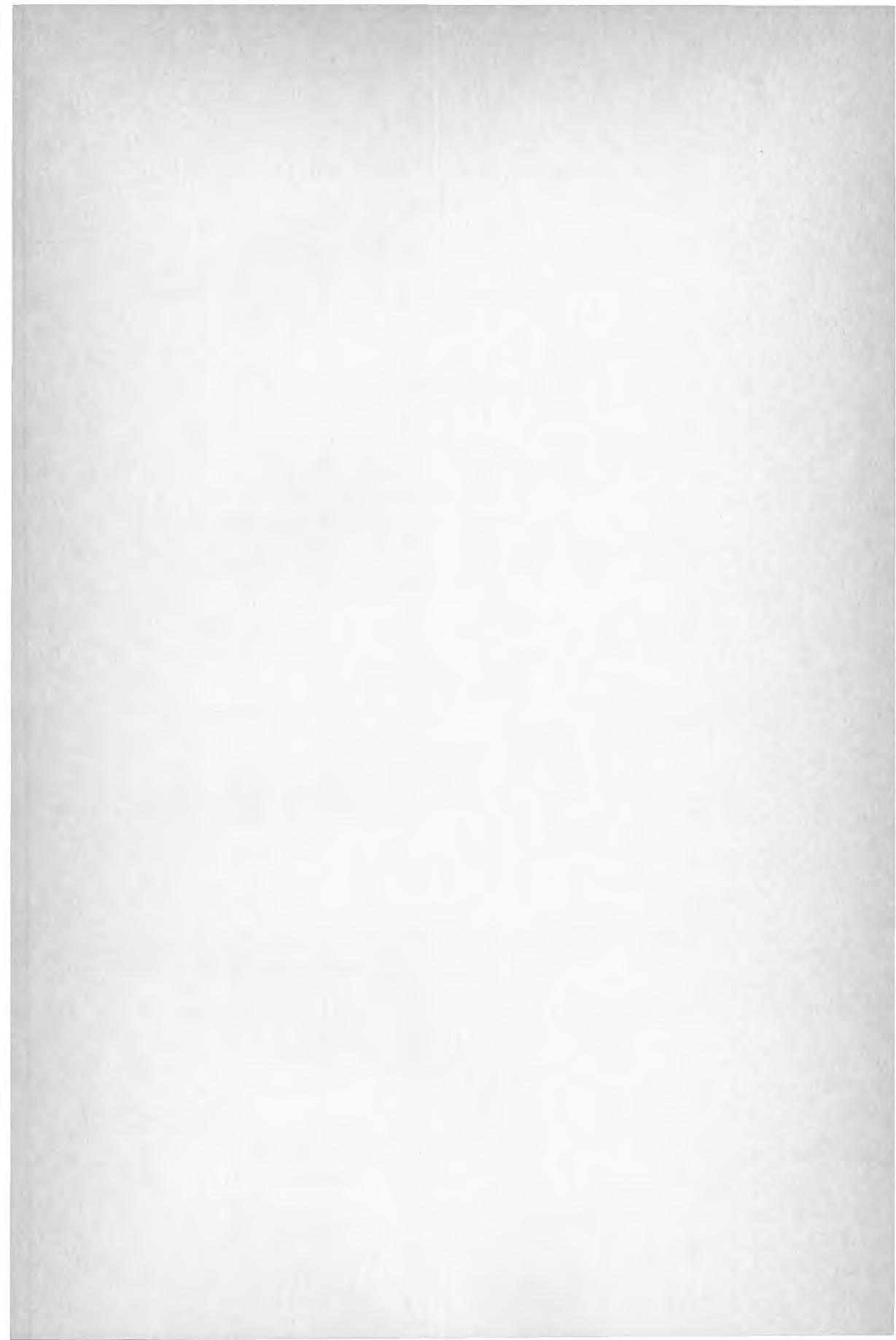
12.2 Det optimerade SUNCLAY

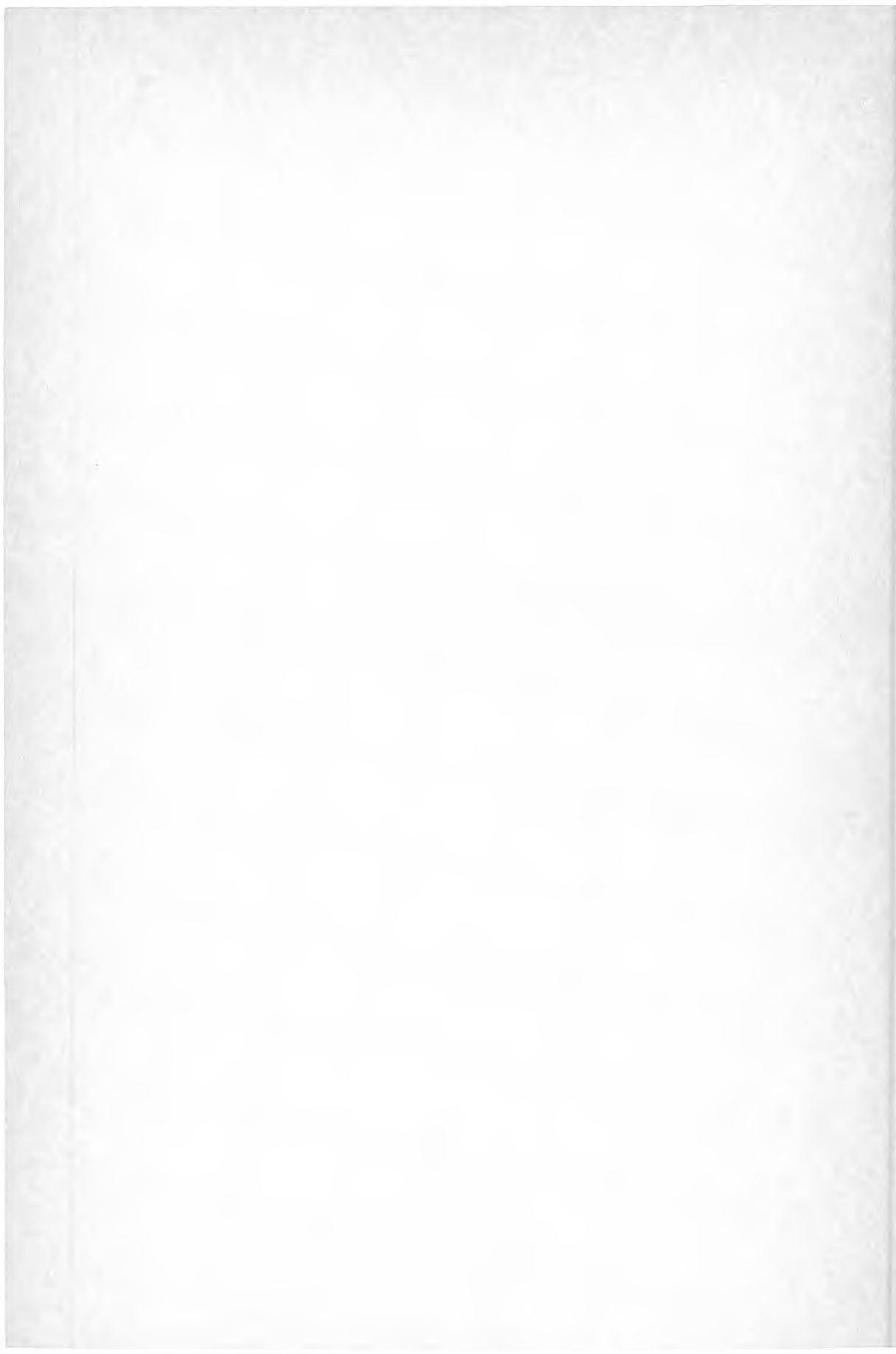
I kap. 10 utfördes optimeringsberäkningar som gav till resultat att ett optimerat SUNCLAY skall bestå av 1500 m² solfångare och ett 44.000 m³ stort lager med 460 st "U"-rör.

Utgående ifrån 2240 tkr, som är beräknad merinvesteringskostnad för SUNCLAY i dagens penningvärde (dec 84) enl. föregående kapitel, torde samma kostnad för ett optimerat SUNCLAY vara ca 2100 tkr

Beräknad kostnad för producerad energi i detta fall blir, enligt metoden i föregående kapitel, 35,7 öre/kWh.

I kapitel 11 beräknas kostnaden för producerad energi i de alternativa SUNCLAY-lösningarna som presenteras där.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 791424-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Kungsbacka
kommun, Centrala byggnadskommittén, Kungsbacka.**

R84: 1986

ISBN 91-540-4630-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706084

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 45 kr exkl moms