



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.

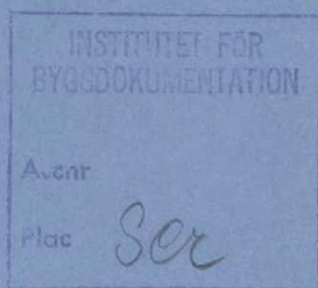
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may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



## Säsongslagring av solenergi genom borrhålslager i berg

Förprojektering vid Stora Skuggan  
i Stockholm

Hans Hydén  
Lars-Olof Matsson  
Lars-Åke Rune

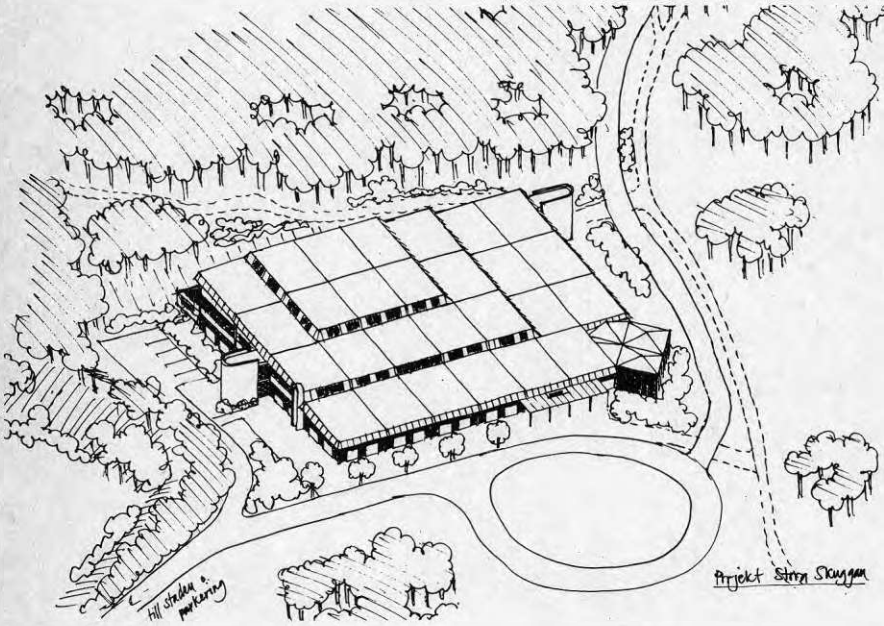


R14:1983

SÄSONGSLAGRING AV SOLENERGI  
GENOM BORRHÅLSLAGER I BERG

Förprojektering vid Stora Skuggan  
i Stockholm

Hans Hydén  
Lars-Olof Matsson  
Lars-Åke Rune



Denna rapport hänförs till forskningsanslag  
810919-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Sunstore KB, Nyköping.

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

R14:1983

ISBN 91-540-3876-6  
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm  
LiberTryck Stockholm 1983

## INNEHÅLL

	FÖRORD	5
	SAMMANFATTNING	7
1	BAKGRUND OCH FÖRUTSÄTTNINGAR	9
1.1	Allmänt	9
1.2	Byggnad och värmebehov	9
1.3	Alternativa systemlösningar	11
1.4	Målsättning för projektet	14
1.5	Tekniska förutsättningar för anläggande av borrhålslager	15
1.6	Ekonomiska förutsättningar	16
2	TEKNISKT UTFÖRANDE OCH VÄRMEMOTSTÅND FÖR BORRHÅL	17
2.1	Allmänt	17
2.2	Beräkningsmodell för värmemotstånd	17
2.3	Tekniskt utförande	18
2.4	Utförbarhet och kostnader	19
3	UTVÄRDERING AV SYSTEMLÖSNINGAR	21
3.1	Systemalternativ 1	21
3.2	Systemalternativ 2	28
3.3	Systemalternativ 3	31
3.4	Årskostnader för systemalternativen 1-3 för Stora Skuggananläggningen, 500 MWh/år	37
3.5	Alternativkostnader för konventionellt värmesystem	38
3.6	Uppskalning till värmebehov 3 GWh/år	39
4	VAL AV SYSTEM FÖR STORA SKUGGAN	43
4.1	Teknisk genomförbarhet och tillförlitlighet	43
4.2	Beroende av extern energitillförsel och ekonomi	43
4.3	Demonstrationsvärde	46
4.4	Val av alternativ	46
5	SYSTEMHANDLINGAR	49
5.1	Allmänt	49
5.2	Solfångare och dygnsackumulator	49
5.3	Borrhålslager	52
5.4	Uppvärmning	52
5.5	Varmvatten	59
5.6	Ventilation	60
6	KOSTNADER	61
6.1	Anläggningskostnad	61
6.2	Årskostnad	63
6.3	Energipris	64
7	TIDPLAN	65
8	LITTERATUR	67

BILAGA 1	Simulering av värmelagring i projektet Stora Skuggan	67
BILAGA 2	Beräkning av merkostnad för källare samt kostnad för ackumulatortank	79

## FÖRORD

Föreliggande rapport omfattar en förprojektering av ett solvärmesystem för ett motions- och rekreationscentrum vid Stora Skuggan i Stockholm enligt Sunstore-principen.

Förprojekteringen har genomförts av VBB AB på uppdrag av Sunstore KB där direktör Lars-Åke Nöjd, Studsvik Energiteknik AB varit ansvarig för projektet. För samordningsfrågor med övriga delar av Stora Skugganprojektet har svarat förvaltningschefen för Kungl. Djurgårdens Förvaltning, Åke Linde. VBBs projektledare har varit Lars-Åke Rune, VBB och tekniskt ansvariga har varit Hans Hydén, VBB och Lars-Olof Matsson, Hugo Theorells Ingenjörbyrå. Rådgivare för Sunstore KB i komponent- och systemfrågor har varit Ove Platell, Peter Margen och Thomas Nilsson. Vissa beräkningar har genomförts vid Institutionen för Matematisk Fysik, Lunds Tekniska Högskola. Ansvarig arkitekt för projektet har varit Arne Clevestam.

Projektet har följts av en av BFR tillsatt referensgrupp med direktör Rolf Mårtensson, SISOL, som ordförande och med följande ledamöter: Professor Johan Claesson, LTH, professor Yngve Gustafsson, KTH, civilingenjör Tor Hanson, SCG och civilingenjör Håkan Kadesjö, Kadesjös Ingenjörbyrå.

De studerade systemen bygger på resultat av tidigare förstudier genomförda av Sunstore KB med bidrag från BFR.

Stockholm i augusti 1982



Lars-Åke Rune





## SAMMANFATTNING

En förprojektering av ett värmesystem enligt Sunstore-principen med i dag tillgänglig kommersiell teknik har genomförts för ett planerat motions- och rekreativscentrum vid Stora Skuggan i Stockholm. Byggnaden har ett totalt värmebehov av 675 MWh/år. Nettovärmebehovet efter värmeåtervinning från avloppsvatten och ventilationsluft är 500 MWh/år.

Sunstore-principen innebär att solvärme sommartid infångas med lågtemperatursolfångare med max temperatur 30-35°C, vilken sedan lagras i hållmarklager och används under vintern för byggnadsuppvärmning med ett lågtemperatursystem med max temperatur ca 26°C. Varmvattenberedning kan ske med värmepump eller annan tillsatsvärme.

Under inledningsfasen av arbetet studerades tre systemalternativ med olika grad av utnyttjande av värmepump. Det alternativ som utvalts för den slutliga förprojekteringen är endast till ca 15% beroende av köpt energi (inkl. varmvattenberedning), bedöms ha det största generella demonstrationsvärdet och vara intressantast för framtida kommersiella tillämpningar av Sunstoretekniken.

I tillämpningar i storlekar från 3GWh/år och mer bedöms energiproduktionskostnaden kunna bli i nivå med konventionell oljeeldning med dagens oljepriser eller lägre. I den företagna ekonomiska utvärderingen har då ej intecknats de kostnadsbesparingar som kan uppnås vid tillgång på för ändamålet avsedda standardkomponenter och genom utveckling av värmesystem som kan arbeta med lägre temperatur än vad som i dag är möjligt.

Redovisade systemhandlingar avses utgöra underlag för detaljprojektering av värmesystemet i Stora Skuggans motions- och rekreativscentrum. Den beräknade anläggningskostnaden inklusive kostnaden för värmedistribution i byggnaden beräknas uppgå till 8,2 Mkr exkl moms. Årskostnaden för energin inklusive kapitalkostnaden för samtliga installationer uppgår i denna första demonstrationsanläggning till ca 1 kr/kWh men bör i tillämpningar i kommersiell skala kunna minst halveras.



## 1 BAKGRUND OCH FÖRUTSÄTTNINGAR

### 1.1 Allmänt

Stora Skuggan är centralt beläget i Storstockholm. Avståndet till Sergels Torg är fågelvägen något mer än 3 km. Området har naturliga förutsättningar att bli ett av Stockholms finaste motions- och rekreationsområden.

På Stora Skuggan har man skjutit sedan sekelskiftet. Stora Skuggans skjutbanor var i slutet på 1940-talet de största och modernaste i landet. År 1978 avlossades det sista skottet.

Målinriktningen är nu att med utnyttjande av Stora Skuggans naturliga förutsättningar göra området till ett motions- och rekreationscentrum, där i första hand de äldres behov av motion och sysselsättning skall tillgodoses. Det skall dock även vara öppet för andra användarkategorier enligt de principer som gäller för Djurgårdens utnyttjande i övrigt.

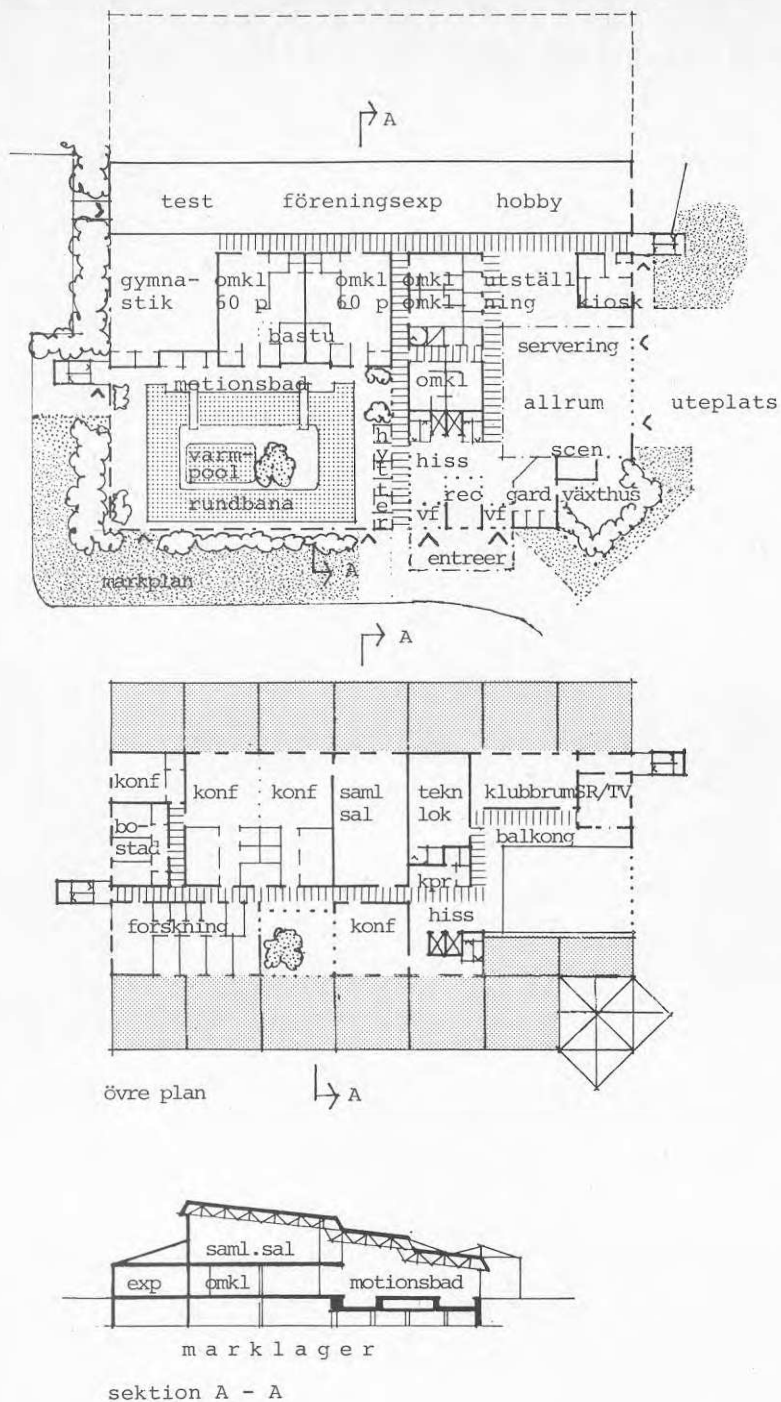
I planerna ingår att byggnadernas energibehov skall tillgodoses med en ny typ av solbaserat energisystem som utförs som ett demonstrationsobjekt för denna teknik.

Förutsättningen för att solenergi ska kunna täcka huvuddelen av en byggnads värmebehov är att tillgång finns till ett billigt säsongslager för värme. Av ekonomiska skäl bör dessutom solvärmeteknik arbeta med låg temperatur. Dessa förhållanden har lett fram till utvecklandet av den s k Sunstoretekniken, Platell, m fl (1981).

Föreliggande studie avser en förprojektering av en Sunstore-anläggning för Stora Skuggans motions- och rekreationscentrum. I förprojekteringen har ingått en teknisk/ekonomisk jämförelse av tre systemvarianter med olika lösningar för varmvattenberedning, topplast-effekt och värmesystem för byggnaden. Dessutom ingår en ekonomisk jämförelse med ett konventionellt oljebaserat värmesystem.

### 1.2 Byggnad och värmebehov

Byggnaden som skall värmeförsörjas är i 3 plan, varav 2 plan ovan markytan och en källarvåning under markytan. Byggnadens mått är ca 45 x ca 63 m, se Figur 1.1. Källarutrymmet ställs primärt till förfogande för



Figur 1.1 Stora Skuggans motions- och rekreationscentrum

energisystemet, men kan även göras utnyttjningsbart för andra ändamål.

Motionsbadets värmeförsörjning ingår inte i nu aktuell förprojektering. Skulle motionsbadet komma till utförande har förutsatts att separat värmesystem baserat på värmepump anordnas för poolen.

Övriga beräkningsförutsättningar beträffande temperaturer, k-värden, värmeåtervinning etc är följande:

Dim utetemperatur	-18°C
Dim innetemperatur	+20°C
Årsmedeltemperatur	+6,6°C
k-värde tak och väggar	0,2 W/m <sup>2</sup> , °C
k-värde fönster, dörrar	2,0 W/m <sup>2</sup> , °C
Ventilationsflöde	35 000 m <sup>3</sup> /h
Värmeåtervinning med roterande värmeväxlare	= 75 %

Tappvarmvattenbehov	6 500 m <sup>3</sup> /år
Värmeåtervinning från avlopp	= 50 %

Värmesystem-temperaturer vid dimensionerande utetemperatur

Alt 1	26/22°C
Alt 2	27/22°C
Alt 3	55/40°C

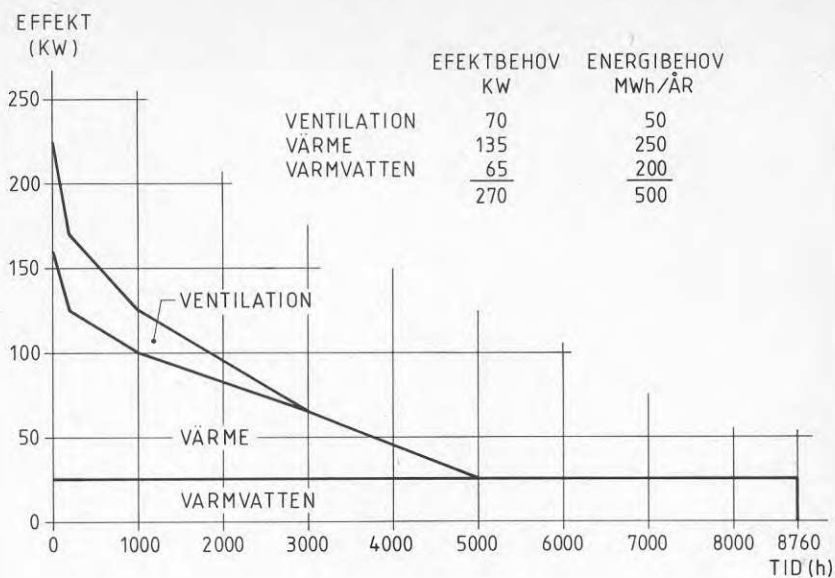
Byggnadens energi- och effektbehov samt varaktighetskurva för effektbehovet framgår av Figur 1.2. Energi-behov avser nettobehov exklusive de värmemängder som återvinns via ventilationsluft och avloppsvatten. Nettobehovet för uppvärmning är således 300 MWh/år och för varmvattenberedning 200 MWh/år, dvs totalt 500 MWh/år. Bruttobehoven är 400 resp 275 MWh/år, dvs total 675 MWh/år.

### 1.3 Alternativa systemlösningar

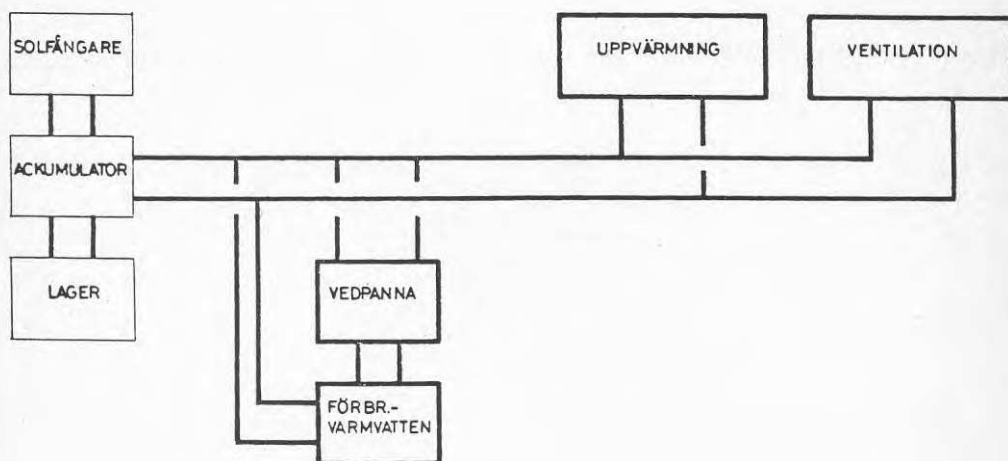
Tre alternativa systemlösningar har studerats med hänsyn till teknik och ekonomi, se Figur 1.3-1.5. Utmärkande för de tre systemen är i korthet följande:

#### Alternativ 1

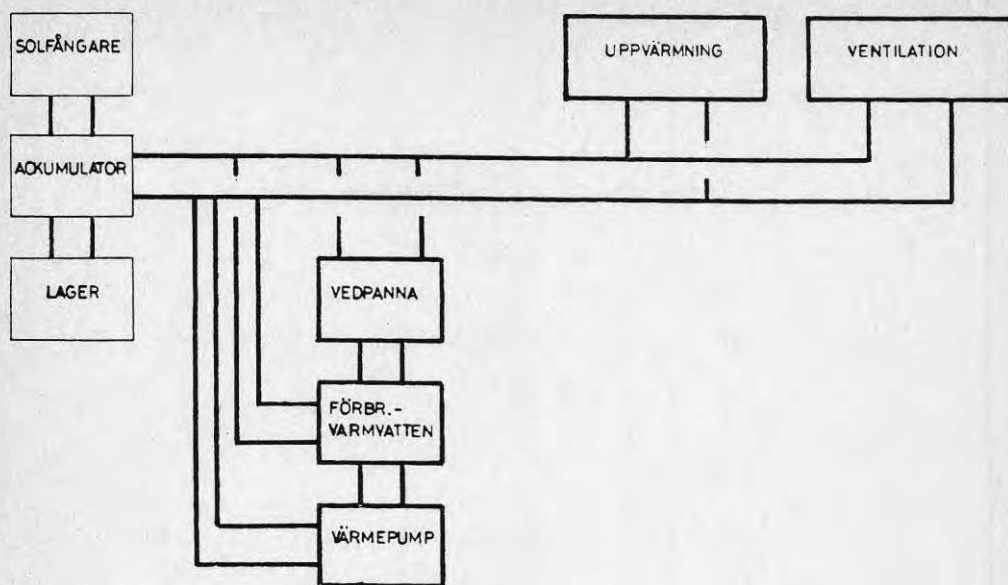
- Plana solfångare med en maximal utgående temperatur av ca 35°C
- Ackumulatortank för dygnsutjämning av laddningseffekten för lagret
- Borrhållager med temperatursvinget 31/24°C



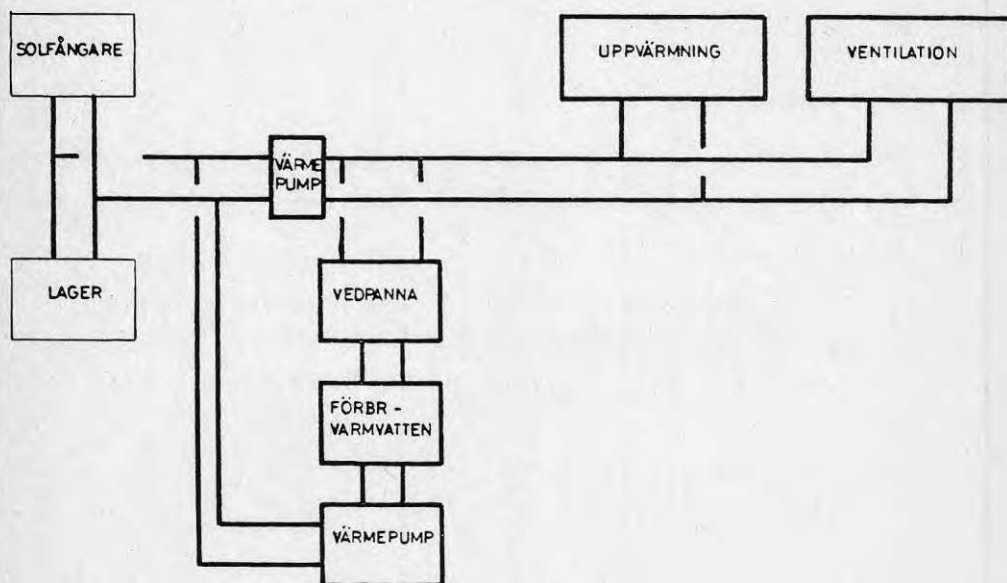
Figur 1.2 Byggnadens energi- och effektbehov (netto)



Figur 1.3 Systemalternativ 1



Figur 1.4 Systemalternativ 2



Figur 1.5 Systemalternativ 3

- Vedpanna för eftervärmning av tappvarmvatten och för topplastbehov
- Värmeavgivningssystem med framledningstemperatur 26°C vid dim utetemperatur

#### Alternativ 2

- I princip som alternativ 1 men med värmepump för eftervärmning av tappvarmvatten

#### Alternativ 3

- Borrhålslager med temperatursvinget 20/8°C
- Ingen ackumulatortank nödvändig pga lagrets låga temperatur
- Värmepump för såväl varmvattenberedning som uppvärmning
- Vedpanna för topplastbehov
- Konventionellt uppvärmningssystem

Som värmekälla har således i samtliga alternativ förutsatts lågtemperatursolfångare placerade på byggnadens tak. Placeringen på taket är i realiteten troligtvis en teknisk och praktisk förutsättning i kommande kommersiella tillämpningar.

För anläggningen vid Stora Skuggan finns en alternativ möjlighet att som värmekälla utnyttja den spegeldamm som anläggs inom området. Detta alternativ, dels för initialladdning och dels för kontinuerlig drift, kommer att kunna värderas under detaljprojekteringsarbetet.

#### 1.4 Målsättning för projektet

Målet för demonstrationsanläggningen kan sammanfattas i följande punkter:

1. Att demonstrera funktionen av ett billigt borrhålslager (typ Sunstore) i tillräckligt stor skala för att få pålitliga data om värmeförluster, effektöverföringsfunktionen, reglerbarhet m m samt underlag för kostnadsberäkningar för större lager.

Denna målsättning gäller allmänt oberoende av hur lagret sedan skall användas, dvs med eller utan värmepump, för solvärmeprojekt, spillvärmeprojekt, naturvärmeprojekt etc.

2. Att demonstrera funktionen av ett helt system i vilket ett borrhålslager ingår.



3. Att vid Stora Skuggan till rimlig merkostnad bygga en demonstrationsanläggning som kan ge god ekonomi vid tillämpning i större skala.
4. Att demonstrera funktionen av andra väsentliga komponenter, t ex lågtemperatursolfångare samt lågtemperaturavgivare.
5. Att i största möjliga utsträckning basera förprojekteringen på känd och kommersiell teknik vad beträffar systemkomponenter.

Förprojekteringen är i föreliggande rapport uppdelad i två etapper.

Etapp 1 omfattar typvaletappen där de alternativa systemlösningarna utvärderats med förutsättningen att 60 % av maxeffektbehovet och 90 % av energibehovet för uppvärmning skall täckas med solvärmesystemet. Arbetet är redovisat i Kapitel 3 och 4.

Etapp 2 innefattar slutförandet av förprojekteringen för det valda alternativet med systemhandlingar som slutprodukt. Underlaget kan ligga till grund för ett beslut om uppförande av anläggningen. Arbetet redovisas i Kapitel 5 och 6.

#### 1.5 Tekniska förutsättningar för anläggande av borrhålslager

##### 1.5.1 Hydrogeologiska förutsättningar

De hydrogeologiska förutsättningarna för anläggande av ett borrhålslager på platsen för Stora Skuggananläggningen har undersökts i två omgångar, Gustafsson (1979) och Gustafsson (1980).

Markytans nivå ligger inom intervallet +10 till +15 m. Bergets överyta ligger på nivån +6,5 till +12 m. Borrhålslagret, med överytan i nivå med byggnadens källargolv, ca +7,5, kommer således till största delen att anläggas från en plansprängd bergyta.

Naturligt grundvattenstånd inom området är ca +8 m. Husgrunden blir således belägen under naturlig grundvattenyta och grunddräneringen måste anpassas härtill. De hydrauliska gradienterna är små. Utförda undersökningsborrningar ned till 100 m djup visar att större vattenförande sprickor förekommer först på ca 90 m djup. Förutsättningarna för att anlägga ett borrhålslager kan bedömas vara goda och risken för värmeförluster pga grundvattenrörelser är liten.

Inom området utgörs berggrunden omväxlande av gnejs och granit. Prover av ytberget har analyserats. Ett representativt värde för bergets värmeledningstal

bedöms vara 3-3,5 W/mK. För detaljprojektering av anläggningen bör dock kärnborrning till fullt lagerdjup utföras och ett representativt värmeledningstal bestämmas. Den karakteristiska temperaturen i berget i lagrets omgivning har uppmätts till ca +7°C.

#### 1.5.2 Förutsättningar med hänsyn till byggnadens utformning

Borrhålslagret är avsett att inrymmas under byggnadens källare. Lagret kommer som mest att ges en volym av ca 180 000 m<sup>3</sup>. Med ett lagerdjup av 90 m kräver lagret en yta av ca 2 000 m<sup>2</sup>, vilket ryms inom byggnaden.

#### 1.6 Ekonomiska förutsättningar

För beräkningar av kapitalkostnader antas en realränta av 4 alt 6 %. Vidare antas följande avskrivningstider och årliga underhållskostnader:

Anläggningsdel	Livslängd år	Årligt underhåll, % av anl kostn
Solfångare	15	2,0
Värmepumpar		
- Kompressordel	8	2,0
- Övriga delar	15	2,0
VVS-anläggningar	25	1,0
Vedpanna	15	1,5
Marklager		
- Borrhål + infodring	50	0,3
- Ledningssystem	25	1,0

I den ekonomiska bedömningen av olika systemalternativ ingår en känslighetsanalys för olika förändringar av oljans realpris samt för olika relationer mellan olje- och elpris.

## 2 TEKNISKT UTFÖRANDE OCH VÄRMEMOTSTÅND FÖR BORRHÅL

## 2.1 Allmänt

En inneboende svaghet i borrhålslager är en viss tröghet, som innebär begränsningar vad beträffar inmatad och uttagen effekt. För Sunstore-systemet innebär detta en komplikation eftersom detta arbetar inom ett snävt temperaturområde som medför att temperaturskillnaden mellan cirkulationsvatten och lager och därmed effektöverföringsförmågan begränsas.

Infodringen av borrhålen, vilken bedöms vara nödvändig för lager med samlingsledningar ovan grundvattenytan, måste ske så att värmeöverföringsförmågan mellan borrhål och berg ej onödigtvis försämras samtidigt som anläggningskostnaden måste begränsas. En överslagsmässig bedömning för lagret vid Stora Skuggan visar att värmeöverföringsförmågan ej bör understiga ca 5 W/mK, dvs värmemotståndet bör ej överstiga 0,2 mK/W.

För att kunna bedöma värmeöverföringsförmågan för olika infodringsalternativ samt för att kunna jämföra dessa har gjorts överslagsmässiga beräkningar. De alternativa utförandemöjligheterna har sedan anpassats med hänsyn till beräkningsresultaten.

## 2.2 Beräkningsmodell för värmemotstånd

Värmeöverföringsmotståndet mellan borrhål och berg sammansätts av i princip tre komponenter, motståndet i själva berget, motståndet i infodringen inklusive ev vattenspalter och injekteringsskikt, samt motståndet som uppkommer vid värmetransporten i borrhålsvatten ut mot rörväggen.

Värmemotståndet i själva berget stabiliseras först efter en viss tids laddning eller urladdning då temperaturprofilen i berget svängt in mot ett jämviktsläge. Förhållandet har bl a studerats av Claesson (1980). Efter en tid av ca 6 dygn gäller sambandet

$$T_R - T_m = q \frac{1}{2\pi\lambda} \left( \ln \left( \frac{R_1}{R} \right) - 0,75 \right)$$

där  $T_R$  = borrhålets temperatur, °C  
 $T_m$  = lagrets medeltemperatur, °C  
 $q$  = överförd effekt, W/m  
 $\lambda$  = bergets värmeledningstal, W/mK  
 $R_1$  = halva avståndet mellan borrhålen, m  
 $R$  = borrhålets radie, m

Denna formel har använts för beräkningarna i det följande. Bergets värmeledningstal har förutsatts vara 3,5 W/mK.

Värmeöverföringen genom borrhålsinfodringen (rör och injekteringsbruk) har överslagsmässigt beräknats

med hjälp av ekvationen för endimensionell stationär värmeledning.

Värmetransporten från cirkulationsvattnet till infodringens vägg bestäms av infodringens geometri och av Reynolds tal. Värmeövergångstalet,  $\alpha$ , kan bestämmas ur ekvationen

$$\alpha = \frac{\text{Nu } \lambda}{D}$$

där Nu = Nusselttalet (dimensionslöst)  
 $\lambda$  = vattnets värmeledningstal, W/mK  
 D = hydrauliska diametern, m

Nusselttalet bestäms av infodringens geometri och av Reynolds tal.

### 2.3 Tekniskt utförande

Som ett rimligt riktvärde har bedömts att värmeöverföringsförmågan för borrhålen bör vara minst ca 5 W/mK. Med en drivande övertemperatur vid laddning av 5°C blir överförd effekt således 25 W/m. Vattenflödet genom borrhålen bestäms av borrhålslängd och önskat temperaturfall i vattnet längs borrhålet.

Varje borrhål måste utföras för fram och återledning av vattnet ned till hålets botten. Eventuellt kan det vara önskvärt att borrhålen inreds så att en vertikal temperaturgradient kan skapas i lagret. Infodringen måste då ordnas så att vattnet i ena riktningen kan transporteras med minimalt värmeutbyte med omgivningen.

Infodring kan ske enligt två huvudprinciper.

I ena fallet sker infodringen med ett knippe av tunna slangar som injekteras fast runt borrhålets periferi. Slangarna kan härvid antingen utformas som U-rör, varvid någon vertikal temperaturgradient ej kan skapas i lagret, eller sammanföras i en gemensam anslutning i hålets botten så att vattnet kan ledas i endast en slang i ena riktningen.

Den andra huvudprincipen är att infodra borrhålet med hjälp av två koncentriska rör där ytterröret skall ansluta så väl som möjligt till omgivande berg och innersröret ska vara så stort att endast en tunn spalt finns mellan ytter- och innersrör. Om spalten görs bred kommer värmemotståndet i borrhålsvattnet nämligen att bli besvärande.

I det följande diskuteras tre alternativa utföranden av borrhålsinfodring.

1. Borrhål  $\varnothing$  115 mm infodrat med slangknippe bestående av 3 st U-rör av PEM-slang  $\varnothing$  20 mm, NT6, som injekteras runt borrhålets periferi.

2. Borrhål  $\varnothing$  125 mm infodrat med ett fristående rör av PEH  $\varnothing$  110 mm, NT4, och ett inre ledrör av PEH,  $\varnothing$  75 mm, som lämnar en spalt mellan innerrör och ytterrör med bredden 13 mm.
3. Borrhål  $\varnothing$  165 mm infodrat med slangknippe bestående av 3 st U-rör av PEM-slang  $\varnothing$  32 mm, NT6, som injekteras runt borrhålets periferi.

De tre olika infodringsalternativens termiska egenskaper är sammanfattade i Tabell 2.1. Antaget vattenflöde för varje borrhål är 0,13 l/s, vilket motsvarar ett temperaturfall av 4°C genom borrhålet vid hållängden 85 m och en överförd effekt av 25 W/m.

Tabell 2.1 Termiska data för borrhålsinfodringar

Infodringsalternativ	1	2	3
Re vid 30°C	4200	1100	2400
Nu	10	5,4	4,4
Värmemotstånd mK/W			
- vatten	0,014	0,027	0,032
- infodringsrör	0,020	0,031	0,012
- spalt	0,032	0,036	0,028
- berg	0,127	0,123	0,111
<b>Totalt</b>	<b>0,193</b>	<b>0,217</b>	<b>0,183</b>
Värmeöverföringsförmåga W/mK	5,2	4,6	5,5

Samtliga tre studerade alternativ uppfyller i stort minimikravet på värmeöverföringsförmåga.

#### 2.4 Utförbarhet och kostnader

Samtliga beskrivna infodringsalternativ bedöms vara utförbara med känd teknik och har kostnadsberäknats på basis av prisuppgifter från entreprenörer och materialleverantörer. Ur anläggningssynpunkt bör i dagens läge infodring med slangknippe vara att föredra.

Kostnader enligt lägsta erhållna offerter för de olika alternativen är sammanfattade i Tabell 2.2.

För samlingsledningarna har kostnader beräknats för galvaniserade stålrör. Utförandet av lagrets överyta är närmare beskrivet i Kapitel 5.

Med hänsyn till utförbarhet och kostnader förutsätts i det följande att infodringsalternativ 1 väljs. Detta innebär således borrhål  $\varnothing$  115 mm infodrade med 6 st PEM-slangar  $\varnothing$  20 mm fastinjekterade runt borrhålets periferi.

För de fortsatta kostnadsberäkningarna antas en kostnad för detta alternativ av 120 kr/m plus 4 000 kr/borrhål för anslutningen och markarbeten. Det högre meterpriset jämfört med Tabell 2.2 bedöms bättre spegla det kommersiella priset än erhållen lägsta offert.

Tabell 2.2 Kostnader för marklager

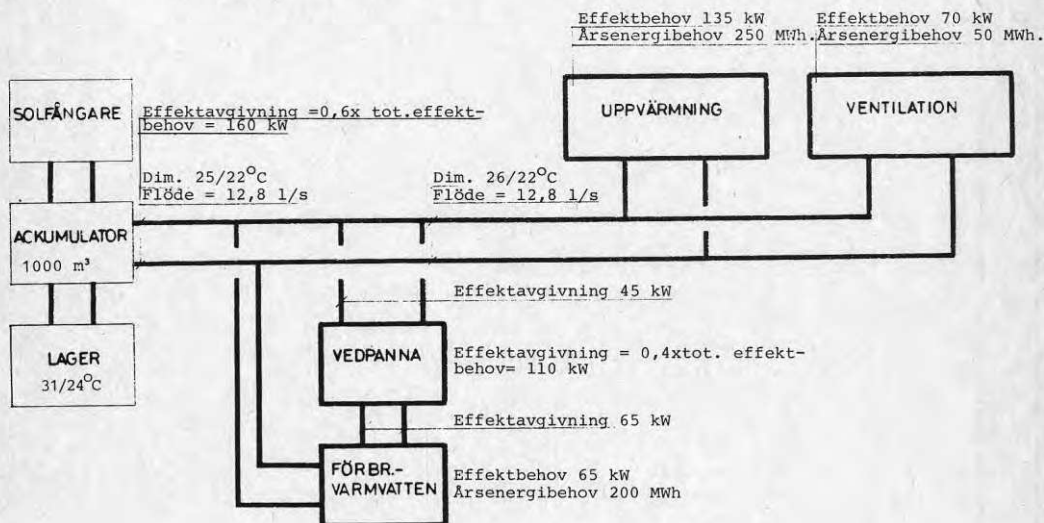
<u>Infodringsalternativ</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>
Borrhålskostnader kr/m			
- borrhning	70	90	90
- rörmaterial	13	48	17
- installation	20	12	40
<b>Totalt</b>	<b>103</b>	<b>150</b>	<b>147</b>
Anslutningskostnader kr/borrhål			
- anslutn borrhål	1000	1500	1100
- samlingsledn med anslutningar	2000	2000	2000
- markarbeten	1000	1000	1000
<b>Summa kr/borrhål</b>	<b>4000</b>	<b>4500</b>	<b>4100</b>

## 3 UTVÄRDERING AV SYSTEMLÖSNINGAR

## 3.1 Systemalternativ 1

## 3.1.1 Systembeskrivning och dimensionering

Systemalternativ 1 representerar den ursprungliga Sunstoreidén där lokaluppvärmning i princip sker med enbart solenergi. Med målsättningen att solenergi ska täcka 60 % av maxeffektbehovet och 90 % av energi-behovet erhålles dimensioneringsdata för systemet enligt Figur 3.1.



Figur 3.1 Dimensioneringsdata, Systemalternativ 1

Energitillförseln (nettovärmebehovet) till systemet kommer härigenom att ske enligt Tabell 3.1. Solfångarna antas sommartid kunna bidra med 50 % av energibehovet för varmvattenberedning genom förvärmning. Lagrets möjligheter att bidra till varmvattenberedning är försumbara. Detta beror på att vattnet förvärms med avloppsvärme och att den temperaturhöjning som sedan kan åstadkommas med hjälp av lagret är liten.

Tabell 3.1 Energitillförsel systemalternativ 1 (MWh/år)

	Värme	Varmvatten	Summa
Lager	270	-	270
Solfångare sommartid	-	50	50
Ved	30	150	180
<b>Summa, MWh/år</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>500</b>

En preliminär dimensionering av solfångare och borrhålslager påvisade en erforderlig lagervolym av ca 100 000 m<sup>3</sup> och ett laddningsbehov av ca 800 MWh. Härvid förutsattes ett lagersving av 10°C. Dessa preliminära data togs som utgångspunkt för simuleringsberäkningar med en datormodell, vilka redovisas i Bilaga 3.1.

Beräkningarna i Bilaga 3.1 visar att Sunstoreidén med hänsyn till systemkomponenternas temperaturkrav lämpligen ej tillämpas med ett lagersving så stort som 10°C. Beräkningarna utfördes med antagande att månadsmedelvärdet för laddningseffekten var jämnt fördelad över resp månads samtliga 24 h. Likväl stiger utgående temperatur från solfångarna till ca +40°C samtidigt som utgående temperatur från lagret under slutet av vintersäsongen sjunker under +23°C.

Simuleringsberäkningarna, som utfördes för en tidsperiod av 15 år, visar att laddningsenergin 800 MWh/år är tillräcklig för att uppnå önskat energiutbyte efter ca 4 år. I jämviktsläget är däremot denna laddningsenergi för stor och lagret kommer att anta en alltför hög temperaturnivå.

För att systemalternativ 1 med hänsyn till komponenternas krav tekniskt ska fungera väl bör temperatursvinget i lagret minskas till ca 7°C så att lagertemperaturen pendlar mellan +24 och +31°C. Erforderlig lagervolym blir då ca 165 000 m<sup>3</sup>. Härigenom uppnås att ingående temperatur till lagret vid laddning med fullständig månadsutjämning begränsas till maximalt ca +35°C. Som genomsnitt för laddningsperioden bör man kunna räkna med en karakteristisk utgående temperatur från solfångarna av högst ca 30°C.

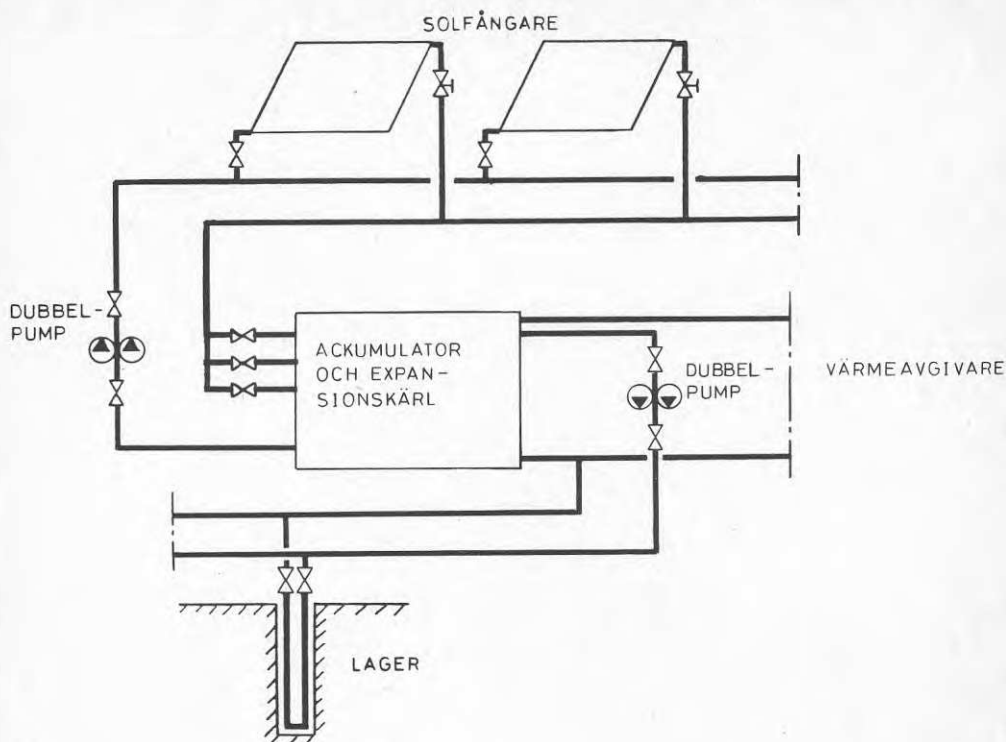
En överslagsberäkning för lagervolymer 165 000 m<sup>3</sup> visar att de stationära värmeförlusterna är ca 420 MWh/år. Erforderlig laddningsenergi efter lång tids drift blir således ca 700 MWh/år. Den totalt erforderliga energimängden från solfångarna (inkl energi för direkt förvärmning av varmvatten) blir således 750 MWh/år. Solfångarna bedöms kunna ge 350 kWh/m<sup>2</sup> år. Erforderlig solfångararea blir då 2 150 m<sup>2</sup>. Detta innebär att all tillgänglig takyta förses med lågtemperatursolfångare samt att en dygnsackumulator med volymen 1 000 m<sup>3</sup> införs i systemet. För att snabbt få anläggningen i driftstadium förutsätts att en investeringsladdning av 800 MWh utföres.

### 3.1.2 Solfångare och dygnsackumulator

Solfångarna, 2 200 m<sup>2</sup>, förutsätts tills vidare vara plana täckta solfångare av lågtemperaturtyp. Solfångarna monteras på alla tillgängliga takytor ovanpå tätskiktet och förutsättes således ej integrerade med takkonstruktionen. Detta bör vara möjligt när tekniken är etable-







Figur 3.3 Delflödesschema solfångare, lager, alt 1 och 2

### 3.1.3 Borrhålslager

Borrhålslagret anläggs från en horisontal markyta under huskroppen i ett för lagret anordnat källarutrymme. Större delen av lagerytan kommer att utgöras av plansprängt berg.

Borrhålen utförs med diametern  $\varnothing$  115 m c/c ca 4 m. Infodringen förutsätts ske med fastinjekterade plastslangar på sätt som diskuteras i Kapitel 2. Utförandet innebär ett värmeöverföringsmotstånd av högst 0,07 mK/W. Kostnaden för färdiga borrhål med infodring är ca 120 kr/m. Härtill kommer kostnader för anslutningar, samlingsledningar och markarbeten enligt Kapitel 2 med 4 000 kr/borrhål.

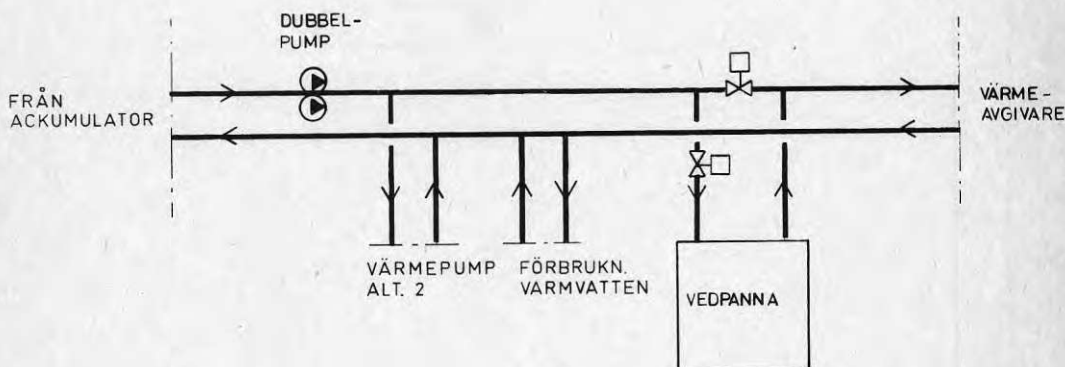
Samtliga hål i lagret förutsätts parallellkopplade. Lagrets effektivitet kan förbättras genom uppdelning i flera kretsar men vinsten är begränsad i lager av här diskuterad storlek, och har därför ej vidare beaktats.

Lagret omfattar totalt 148 hål med en längd av 80 m,

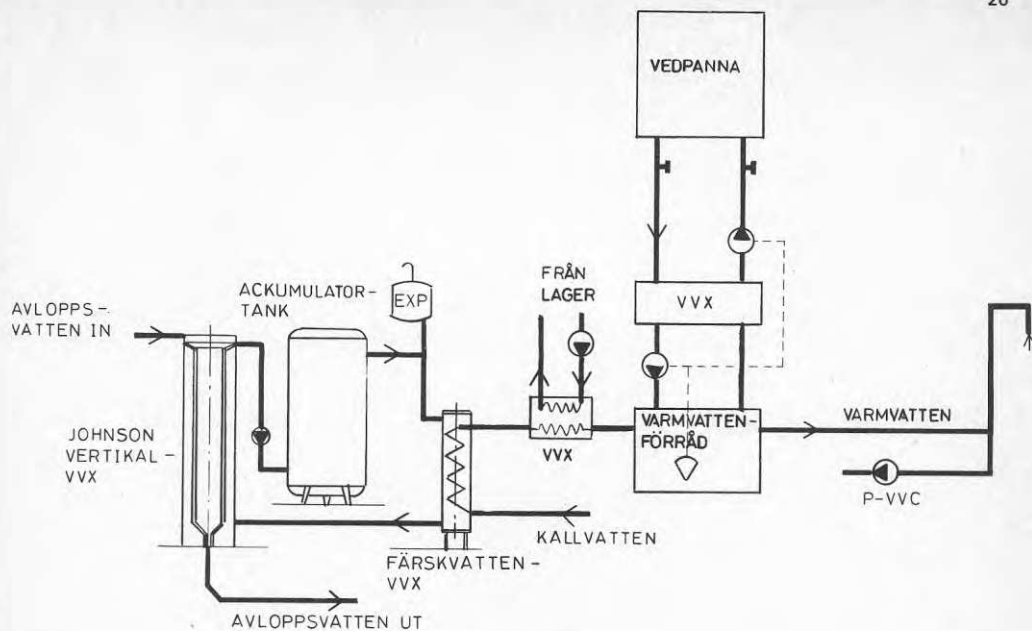
dvs totalt 11 840 m borrhål. Lagret kommer att uppta en total källaryta av ca 2 000 m<sup>2</sup> och placeras lämpligen på sätt som framgår av Figur 3.2. Förutom ovan nämnda kostnader för lagret tillkommer en merkostnad för källarutrymmet jämfört med om huset anlagts med bottenplatta på mark utan källare. Denna har beräknats till ca 600 kr/m<sup>2</sup>, se bilaga 3.2.

### 3.1.4 Värmesystem

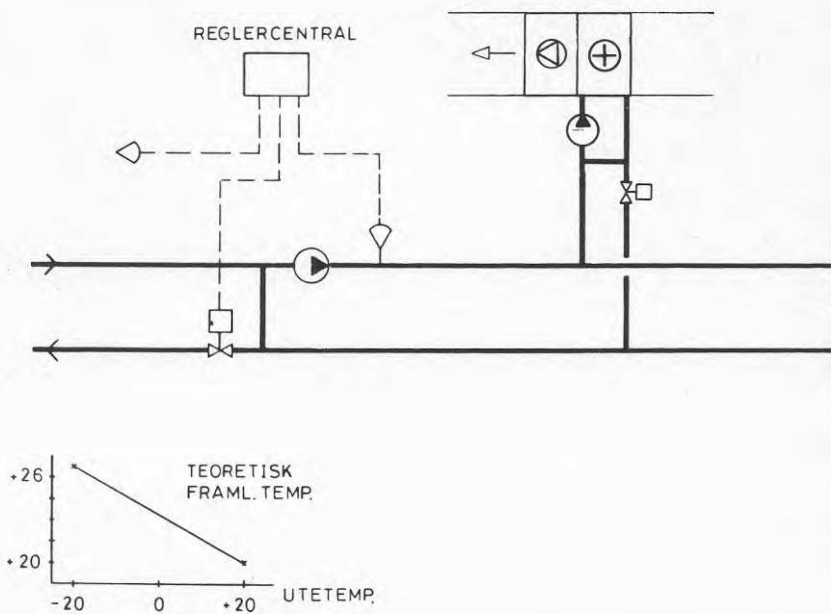
Delflödesschema för huvuddistributionssystem, varmvatten, uppvärmning och ventilation, framgår av Figur 3.4-3.7. Varmvattenberedningen innefattar förvärmning i flera steg med avloppsvatten och solfångare som värmekälla. Kostnaden för systemen för återvinning av värme från avloppsvatten och ventilationsluft har ej medtagits i den jämförande utvärderingen av de tre systemalternativen nedan. Värmeavgivning för lokaluppvärmning förutsätts ske med ett luftburet system.



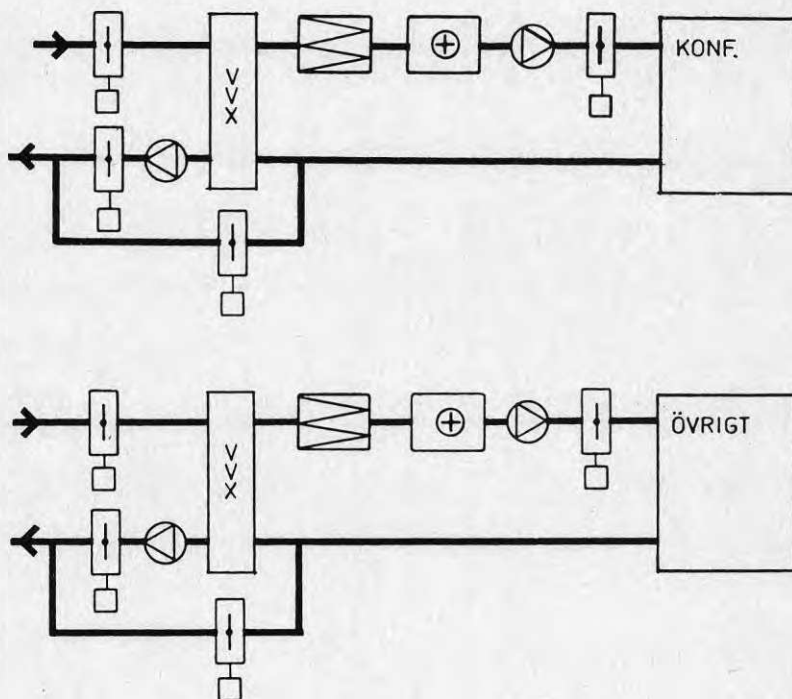
Figur 3.4 Delflödesschema huvuddistributionssystem, alt 1 och 2



Figur 3.5 Delflödesschema, förbrukningsvarmvatten, alt 1



Figur 3.6 Delflödesschema, uppvärmning, alt 1 och 2



Figur 3.7 Systemuppbyggnad ventilation, alt 1, 2 och 3

### 3.1.5 Anläggningskostnader

De beräknade totala anläggningskostnaderna för energisystemet framgår av Tabell 3.2. Projekteringskostnaden har satts till 20 % för bygge och VVS och 10 % för lager och ackumulator.

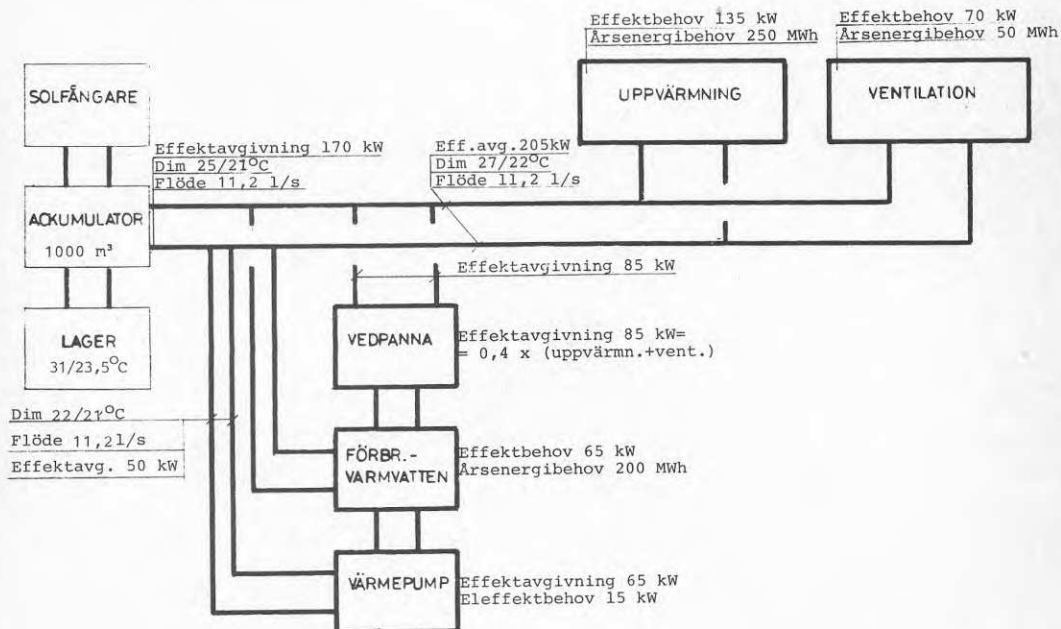
Tabell 3.2 Anläggningskostnader för systemalternativ 1 (kkr)

Solfångare 2 200 m <sup>2</sup>	1 100
Dygnsackumulator 1 000 m <sup>3</sup>	600
Borrhålslager 165 000 m <sup>3</sup>	1 420
Samlingsledn och markarbeten, lager	600
Vedpanna 110 kW	50
Värmeavgivningssystem	500
Varmvattensystem	130
Ledningar	200
Armatyr, styrutr, pumpar	150
Installation, diverse	310
Projektering och kontroll	760
<b>Totalt för energisystemet</b>	<b>5 820</b>
Merkostnad, källare 1 860 m <sup>2</sup>	1 120
Investeringsladdning 800 MWh	160
Oförutsett	600
<b>Total anläggningskostnad, alt 1, kkr</b>	<b>7 700</b>

### 3.2 Systemalternativ 2

#### 3.2.1 Systembeskrivning och dimensionering

Systemalternativ 2 innebär att värmelagret vintertid nyttjas även för beredning av tappvarmvatten via värmepump. Lokaluppvärmning sker genom LTVA utan värmepump såsom i alternativ 1. Dimensioneringsdata för systemet framgår av Figur 3.8.



Figur 3.8 Dimensioneringsdata, systemalternativ 2

Energitillförseln till systemet kommer att ske enligt Tabell 3.3. Solfångarna antas sommartid kunna bidra med 50 % av energibehovet för varmvattenberedning genom förvärmning och med ytterligare 40 % via värmepump.

Tabell 3.3 Energitillförsel systemalternativ 2 (MWh/år)

	Värme	Varmvatten	Summa
Lager	270	75	345
Solfångare sommartid		90	90
Ved	30	-	30
El, sommar		10	10
El, vinter		25	25
Summa, MWh/år	300	200	500

En preliminär dimensionering av solfångare och borrhålslager påvisade liksom i alternativ 1 en erforderlig lagervolym (med temperatursvinget 10°C) av ca 100 000 m<sup>3</sup> och ett laddningsbehov av ca 800 MWh. Att laddnings- och lagringsbehoven ej ökade jämfört med alternativ 1 beror på att värmepumpen för varmvattenberedning möjliggör en något lägre temperaturnivå i lagret. Dessa preliminära data togs som utgångspunkt för simuleringsberäkningar enligt Bilaga 3.1.

Beräkningarna i Bilaga 3.1 visar att, liksom för systemalternativ 1, ett temperatursving i lagret av 10°C ej är förenligt med förutsatta systemkomponenter. Beräkningarna visar också att laddningsenergin 800 MWh ej är tillräcklig för att uppnå önskat energiutbyte år 4 men däremot något för stor i det slutliga driftsstadiet.

För att systemalternativ 2 tekniskt ska fungera väl enligt samma förutsättningar som för alternativ 1, bör temperatursvinget i lagret minskas till ca 7,5°C så att lagertemperaturen pendlar mellan +23,5 och +31°C. Erforderlig lagervolym blir då ca 180 000 m<sup>3</sup>.

En överslagsberäkning för lagervolymen 180 000 m<sup>3</sup> visar att de stationära värmeförlusterna är ca 450 MWh/år. Erforderlig laddningsenergi efter lång tids drift blir således ca 800 MWh/år. Den totalt erforderliga energimängden från solfångarna inklusive energi för tappvarmvattenberedning sommartid blir således ca 890 MWh/år. Tillgänglig takyta för solfångare är ca 2 200 m<sup>2</sup>. Erforderligt energiutbyte från solfångarna blir därför ca 400 kWh/m<sup>2</sup> år. Med hänsyn till att värmepumpen ger möjligheter att sänka temperaturen i solfångarna bedöms detta värde kunna uppnås. Om detta vid detaljprojektering ej visar sig möjligt kan erforderligt energiutbyte uppnås genom ökad värmepumpning eller genom tillsatsvärme från vedpannan. Liksom i alternativ 1 krävs en dygnsackumulator med volymen 1 000 m<sup>3</sup>. För att snabbt

få anläggningen i driftstadium förutsätts att en investeringsladdning av 1 200 MWh utförs.

### 3.2.2 Solfångare och dygnsackumulator

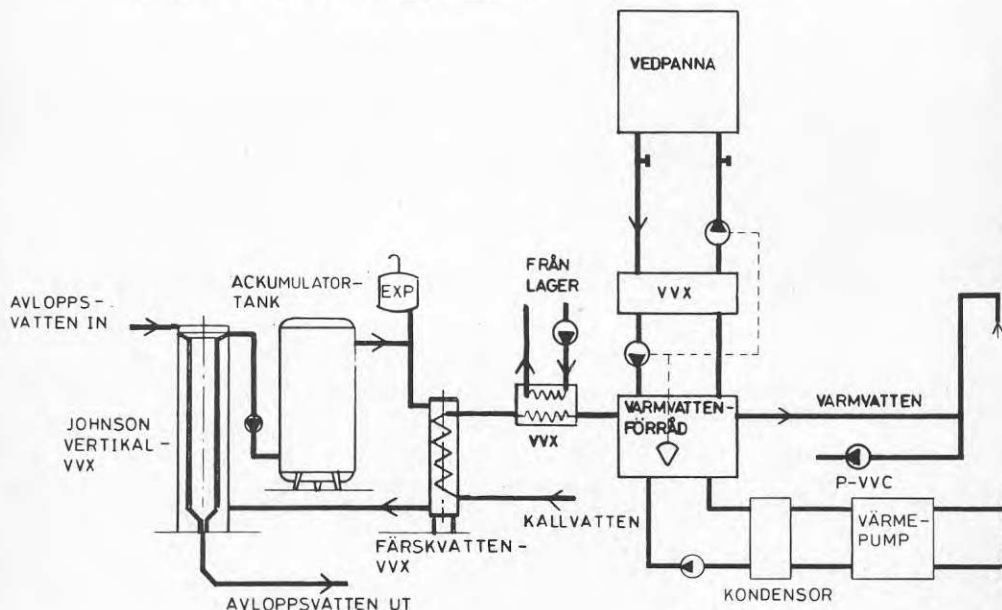
Solfångare och dygnsackumulator utförs på samma sätt och med samma dimensioner som i alternativ 1, se avsnitt 3.1.2.

### 3.2.3 Borrhålslager

Borrhålslagret anläggs på samma sätt som i alternativ 1, se avsnitt 3.1.3. Lagret omfattar totalt 148 hål med längden 87 m, dvs totalt 12 875 m borrhål. Lagret upptar samma källaryta och placeras på samma sätt som i alternativ 1, se Figur 3.2.

### 3.2.4 Värmesystem

Delflödesschema för huvuddistributionssystem, uppvärmning och ventilation framgår av Figur 3.4, 3.6 resp 3.7. Dessa delar är i huvudsak i överensstämmelse med alternativ 1. Flödesschemat för varmvattenberedning är något modifierat genom tillkomsten av värmepump och visas i Figur 3.9.



Figur 3.9 Delflödesschema, förbrukningsvarmvatten, alt 2



### 3.2.5 Anläggningskostnader

De beräknade totala anläggningskostnaderna för energisystemet framgår av Tabell 3.4

Tabell 3.4 Anläggningskostnader för systemalternativ 2 (kkr)

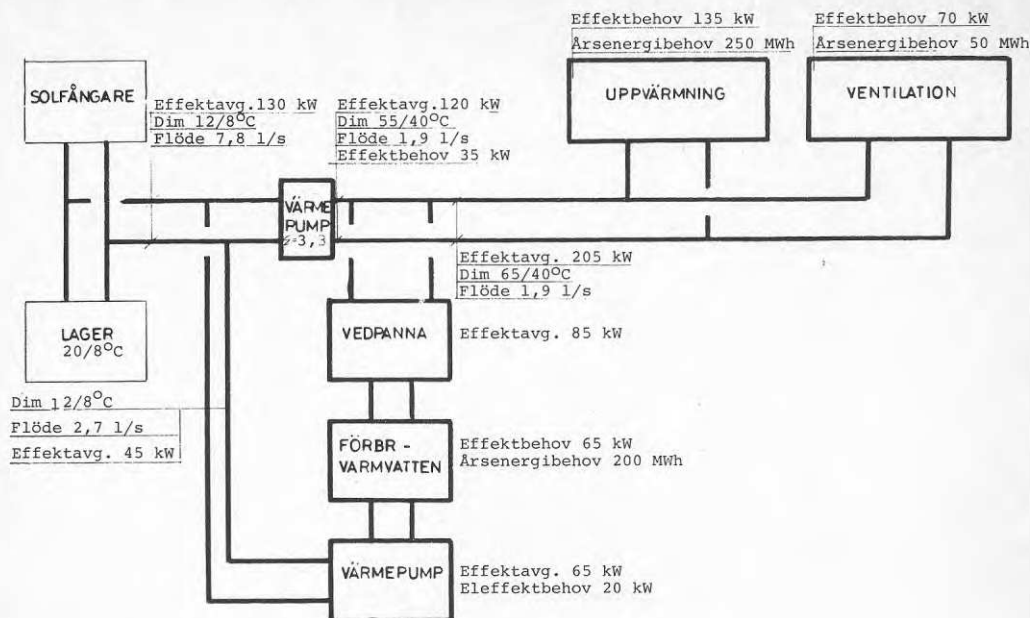
Solfångare 2 200 m <sup>2</sup>	1 100
Dygnsackumulator 1 000 m <sup>3</sup>	600
Borrhålslager 180 000 m <sup>3</sup>	1 550
Samlingsledn och markarbeten lager	600
Vedpanna 110 kW	50
Värmepump varmvatten 65 kW	80
Värmeavgivningssystem	500
Varmvattensystem	130
Ledningar	200
Armatyr, styrutr, pumpar	150
Installation, diverse	250
Projektering och kontroll	760
<b>Totalt för energisystemet</b>	<b>5 970</b>
Merkostnad källare 1 860 m <sup>2</sup>	1 120
Investeringsladdning 1 200 MWh	240
Oförutsett	670
<b>Total anläggningskostnad, alt 2, kkr</b>	<b>8 000</b>

### 3.3 Systemalternativ 3

#### 3.3.1 Systembeskrivning och dimensionering

Systemalternativ 3 utgör det minst utvecklingsbetonade av de tre studerade alternativen. Borrhålslagrets inneboende tröghet har motverkats genom införande av värmepump även för lokaluppvärmning. Värmepumpen medför också att lagrets temperaturnivå kan sänkas och temperatursvinget ökas. Dessa fördelar erhålls till priset av ett ökat beroende av el eller annan drivenergi för värmepumpen. Dimensioneringsdata för systemet framgår av Figur 3.10.

Energitillförseln till systemet kommer att ske enligt Tabell 3.5. Solfångarna antas sommartid kunna nyttjas för varmvattenberedning på samma sätt som i alternativ 2.



Figur 3.10 Dimensioneringsdata, systemalternativ 3

Tabell 3.5 Energitillförsel systemalternativ 3 (MWh/år)

	Värme	Varmvatten	Summa
Lager	210	70	280
Solfångare sommartid		90	90
Ved	30		30
El, sommar		10	10
El, vinter	60	30	90
<b>Summa, MWh/år</b>	<b>300</b>	<b>200</b>	<b>500</b>

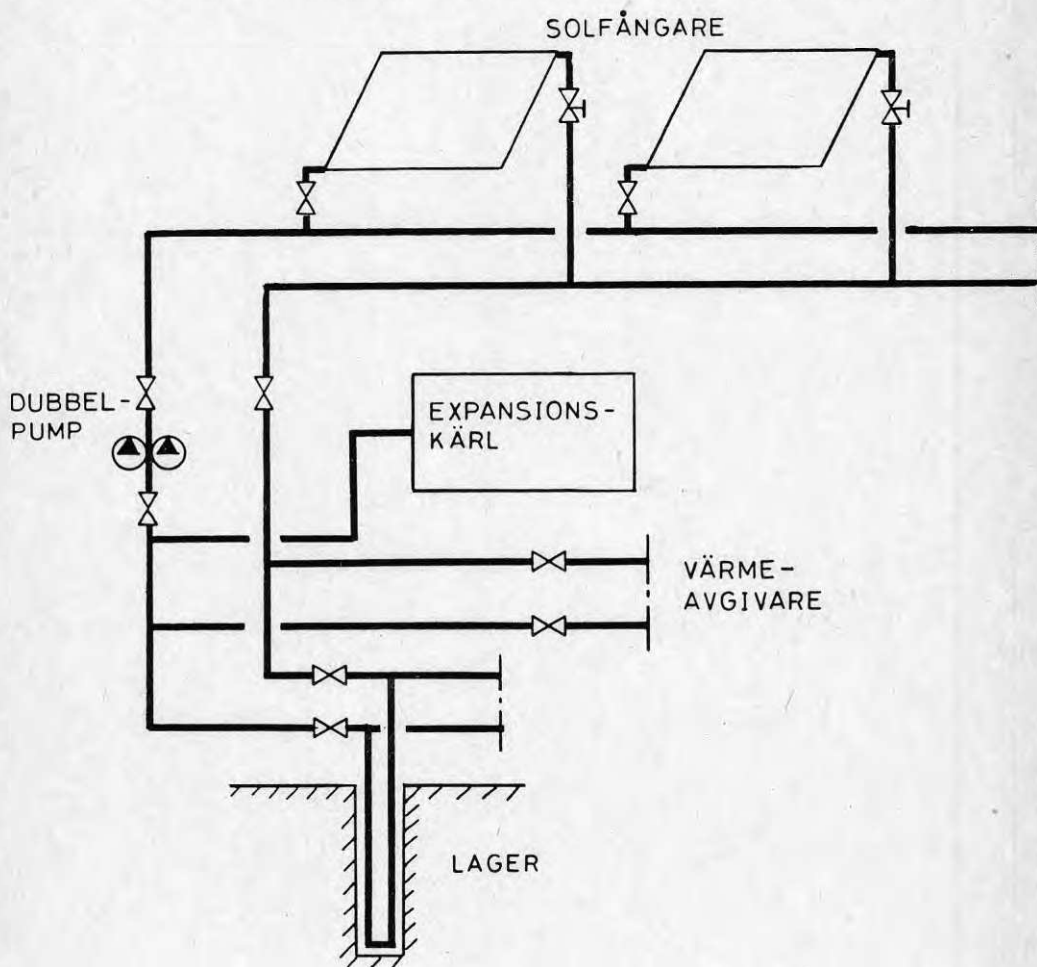
En preliminär dimensionering av solfångare och borrhållslager påvisade en erforderlig lagervolym av ca 50 000 m<sup>3</sup> och ett laddningsbehov av ca 400 MWh. Härvid förutsattes ett lagersving på 12°C (mellan 8 och 20°C). Dessa preliminära data togs som utgångspunkt för simuleringsberäkningar enligt Bilaga 3.1. Beräkningarna visar att lagret ger önskat energiutbyte redan år 1. Lägsta utgående temperatur från lagret är ca 6°C.

Laddningsenergin 400 MWh/år är något för hög efter lång tids drift. En överslagsberäkning visar att de stationära värmeförlusterna är ca 90 MWh/år. Den totalt erforderliga energimängden från solfångarna (inklusive energi för varmvattenberedning sommartid) blir således 460 MWh/år. Med hänsyn till lagrets

låga temperatur bedöms solfångarna kunna ge rimligt energiutbyte även utan dygnsackumulator vilken därför uteslutits. Som en säkerhet har dock då antagits ett något lägre utbyte från solfångarna och den erforderliga solfångararean satts till 1 500 m<sup>2</sup>. Någon extra investeringsladdning krävs ej.

### 3.3.2 Solfångare

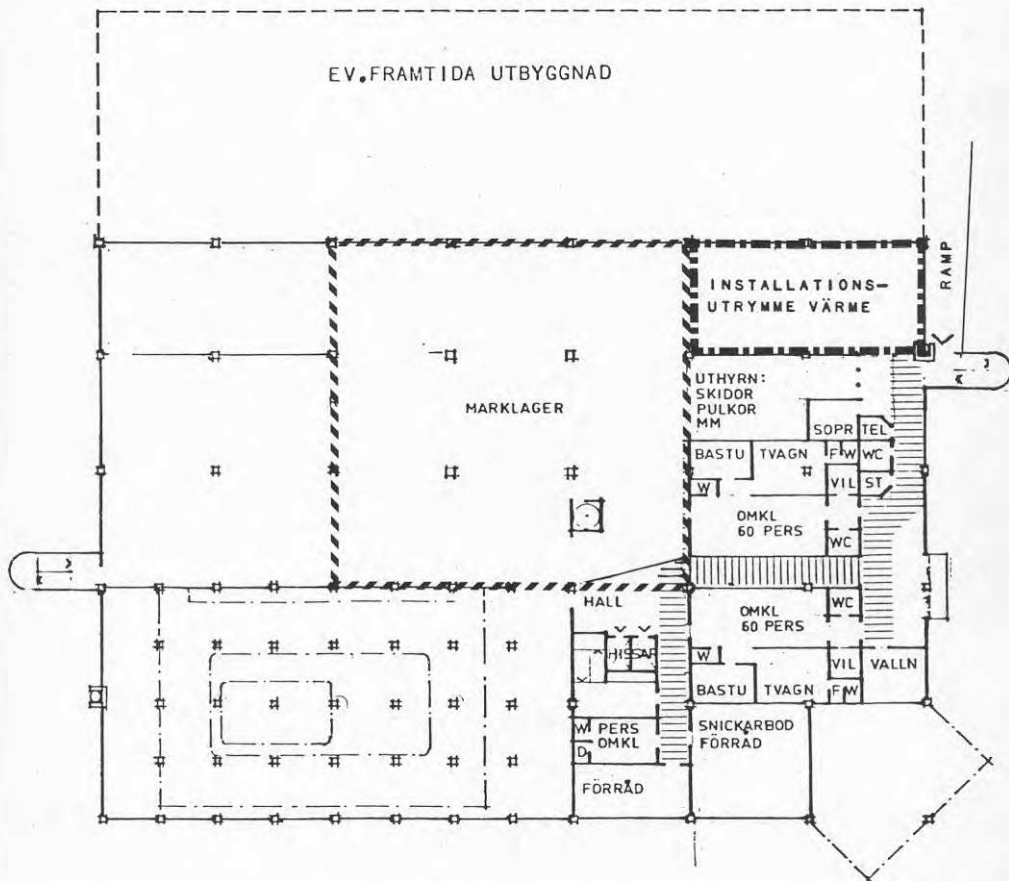
Solfångarna har förutsatts bli av samma typ och bli monterade på samma sätt som i alternativen 1 och 2. Den erforderliga solfångararean, 1 500 m<sup>2</sup>, upptar dock endast en del av tillgänglig takyta. Delflödeschema för solfångare och lager framgår av Figur 3.11.



Figur 3.11 Delflödesschema, solfångare, lager, alt 3

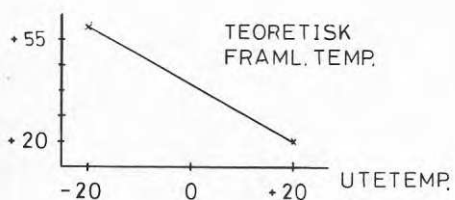
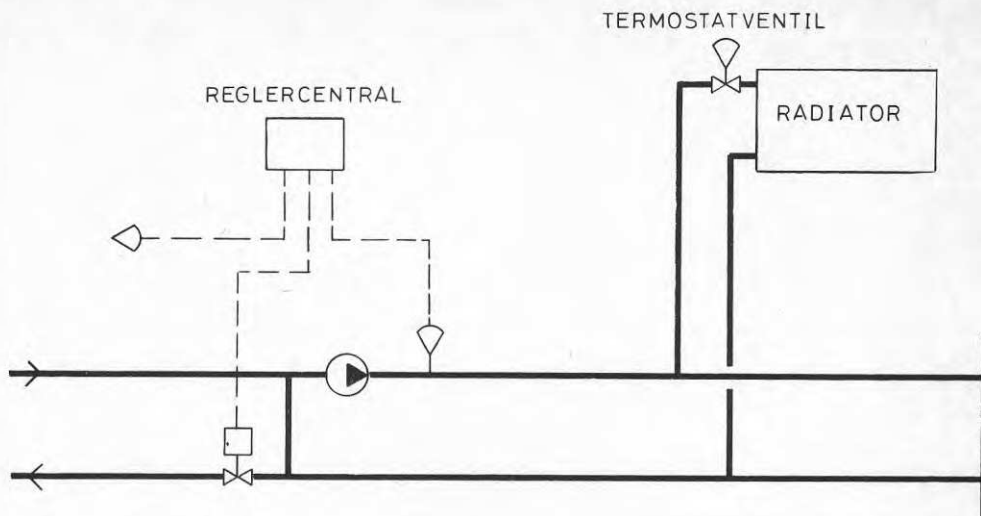
### 3.3.3 Borrhålslager

Borrhålslagret utförs på i princip samma sätt som i alternativen 1 och 2. Lagret omfattar totalt 60 hål med längden 60 m, dvs totalt 3 600 m borrhål. Lagret kommer att uppta en total källaryta av ca 840 m<sup>2</sup> och placeras lämpligen på sätt som framgår av Figur 3.12, där även utrymmeskraven för pannrum etc framgår.



Figur 3.12 Utrymmesbehov i byggnad, alt 3





Figur 3.15 Delflödesschema, uppvärmning, alt 3

### 3.3.5 Anläggningskostnader

De beräknade totala anläggningskostnaderna för energisystemet framgår av Tabell 3.6.

Tabell 3.6 Anläggningskostnader för systemalternativ 3 (kkr)

Solfångare 1 500 m <sup>2</sup>	750
Borrhålslager 50 000 m <sup>3</sup>	430
Samlingsledn och markarbeten, lager	240
Vedpanna 110 kW	50
Värmepump, värme 120 kW	140
Värmepump, varmvatten 65 kW	75
Radiatorer	275
Expansionskärl	15
Varmvattensystem	55
Ledningar	400
Armatyr, styrutr, pumpar	150
Installation, diverse	280
Projektering och kontroll	510
<b>Totalt för energisystemet</b>	<b>3 370</b>
Merkostnad, källare 840 m <sup>2</sup>	500
Oförutsett	230
<b>Total anläggningskostnad, alt 3, kkr</b>	<b>4 100</b>

#### 3.4 Årskostnader för systemalternativen 1-3 för Stora Skuggananläggningen, 500 MWh/år

Utgående från de i avsnitten 3.1-3.3 framräknade anläggningskostnaderna samt de i Kapitel 1 förutsatta avskrivningstiderna, underhållskostnaderna och kalkylräntorna har framräknats totala årskostnader för de tre alternativen. Beräkningarna är sammanfattade i Tabell 3.7.

För beräkning av energikostnaderna har antagits att energipriset för veden är ekvivalent med oljepriset (0,20 kr/kWh), att pannverkningsgraden är 75 % samt ett elpris på 0,25 kr/kWh vilket är baserat på aktuella taxor från Stockholms energiverk. Dessa priser inkluderar nu gällande energiskatter.

Det bör i detta sammanhang framhållas att de i Tabell 3.7 beräknade energipriserna inkluderar såväl ränta och amortering av investeringarna inkl värmeavgivnings-system som drift- och underhållskostnader.

Den totala energikostnaden är högst för alternativ 1 (1,09-1,31 kr/kWh) och lägst för alternativ 3 (0,70-0,83 kr/kWh). Totalkostnaden för alternativ 3 är endast måttligt känsligt för prisökningar på el.

Tabell 3.7 Beräknade årskostnader för alternativen 1-3 (kkr/år)

Kalkylränta	Alt 1		Alt 2		Alt 3	
	4 %	6 %	4 %	6 %	4 %	6 %
<u>Kapitalkostn</u>						
Solfångare	119	136	119	136	82	92
VVS	112	137	118	144	129	160
Lager och ackumu- lator	104	140	111	149	22	30
Saml ledn, lager	42	52	42	52	17	21
Merkostnad, källare	53	71	53	71	23	32
Invest, laddn	10	12	15	18	-	-
	440	548	458	570	273	335
<u>Underhåll</u>						
Solfångare	26		26		18	
VVS	18		19		22	
Lager	7		7		3	
Saml ledn	7		7		3	
	58		59		45	
<u>Energi</u>						
Ved (olja)	48		8		8	
El	-		9		25	
	48		17		33	
<u>Totalt, kkr/år</u>	546	654	534	646	351	413
<u>Kr/kWh(500 MWh)</u>	1,09	1,31	1,07	1,29	0,70	0,83
<u>Kr/kWh(575 MWh)*</u>	0,95	1,14	0,93	1,13	0,62	0,73

### 3.5 Alternativkostnader för konventionellt värmesystem

Som jämförelse med ovan framräknade kostnader har även beräknats kostnaderna för ett konventionellt oljeeldat värmesystem av lågtemperaturtyp för den aktuella byggnaden. Anläggningskostnader och totalkostnader beräknade enligt tidigare givna förutsättningar är sammanställda i Tabell 3.8.

\* Energipris beräknat inkl värmeåtervinning från avloppet



Tabell 3.8 Kostnader för oljeeldat värmesystem  
för Stora Skuggan

Anläggningskostnader (kkr)

Oljepanna 270 kW med skorsten	150
Oljetank 50 m <sup>3</sup> och ledningar	40
Radiatorer 55/40	275
Expansionskärl	15
Varmvattensystem	55
Ledningar	350
Armaturer etc	100
Installation m m	150
Projektering och kontroll, 20 %	<u>225</u>

Summa, kkr 1 360

Årskostnader (kkr/år)

Kapitalkostnader	4 %	6 %
- oljepanna	17	19
- VVS	<u>75</u>	<u>92</u>
	92	111
Underhållskostnader	13	13
Bränslekostnad, verkn grad 80 %	<u>125</u>	<u>125</u>
<u>Totalt kkr/år</u>	<u>230</u>	<u>249</u>
Kr/kWh (500 MWh)	0,46	0,50
<u>Kr/kWh (575 MWh)*</u>	<u>0,41</u>	<u>0,44</u>

Det bör i detta sammanhang framhållas att de i Tabell 3.8 beräknade energipriserna inkluderar såväl ränta och amortering av investeringar inkl värmeavgivnings-system som drift- och underhållskostnader. Detta förklarar varför angivna kostnader är högre än vad som normalt anges som energikostnaden i oljeeldade system.

3.6 Uppskalning till värmebehov 3 GWh/år

De stationära relativa energiförlusterna från ett lager av begränsad storlek såsom de som är aktuella i Stora Skuggan är betydande, ca 60 % i alternativ 1 och 2 och 25 % i alternativ 3. Systemens ekonomi kommer därför att förbättras i större tillämpningar, där de relativa förlusterna blir lägre. För att be-

-----  
\* Energipris beräknat inkl värmeåtervinning från avloppet

lysa dessa förhållanden har gjorts en uppskalning av systemen till ett energibehov av 3 000 MWh med samma fördelning mellan värmebehov och varmvattenbehov (60/40) som för Stora Skuggananläggningen. Relativa kostnadsförändringar har härvid förutsatts uppstå endast för solfångare och lager. Dessa beror på att de stationära relativa lagerförlusterna reducerats till ca 30, 30 resp 10 %. I övrigt har kostnaderna uppräknats med en faktor 6 bortsett från att samtliga projekteringskostnader reducerats till 10 %. Resultaten av beräkningarna är sammanfattade i Tabell 3.9. (Merkostnaden för förläggning av lagret i källare bedöms ej aktuell i den uppskalade anläggningen.)

Tabell 3.9 Årskostnader för systemen 1-3 uppskalade till energibehov 3 GWh/år (kkr/år)

	Alt 1		Alt 2		Alt 3	
	4 %	6 %	4 %	6 %	4 %	6 %
<u>Kapitalkostn</u>						
Solfångare	392	449	428	489	394	442
VVS	618	753	651	791	712	880
Lager o ackumulator	312	420	350	469	101	138
Saml ledn lager	126	156	132	164	78	97
Invest laddn	30	36	47	57	-	-
	1478	1877	1608	1970	1285	1557
<u>Underhåll</u>						
Solfångare	86		94		86	
VVS	99		105		121	
Lager	21		22		9	
Saml ledn	21		22		14	
	227		243		230	
<u>Energi</u>						
Ved (olja)	288		48		48	
El	-		54		150	
	288		102		198	
<u>Totalt, kkr/år</u>	1993	2329	1953	2315	1713	1985
Kr/kWh (3000 MWh)	0,66	0,78	0,65	0,77	0,57	0,66
Min kostn el för likvärdighet med alt 1, kr/kWh	-	-	0,45	0,32	0,72	0,82

Det bör i detta sammanhang framhållas att de i Tabell 3.9 beräknade energipriserna inkluderar såväl ränta och amortering av investeringar inkl värmeavgivnings-system som drift- och underhållskostnader.

Även i ett system av storleksordningen 3 GWh/år är således alternativ 3 ekonomiskt förmånligast. Skillnaderna är dock betydligt mindre än vid de mindre systemstorlekarna och med förutsebara prisändringar på olja och el kan systemen förväntas bli ekonomiskt i det närmaste likvärdiga.



## 4 VAL AV SYSTEM FÖR STORA SKUGGAN

## 4.1 Teknisk genomförbarhet och tillförlitlighet

Samtliga systemalternativ bedöms vara utförbara med känd teknik vad beträffar utformning av enskilda systemkomponenter. Skillnader föreligger dock mellan alternativen när det gäller funktionen hos systemen som helhet.

En jämförande sammanställning av vissa tekniska data för de tre alternativen visas i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Tekniska data för studerade systemalternativ

	1	2	3
Lågtemp solfångare, m <sup>2</sup>	2 200	2 200	1 500
Dygnsackumulator, m <sup>3</sup>	1 000	1 000	-
Borrhålslager			
- volym, m <sup>3</sup>	165 000	180 000	50 000
- tempsving, °C	31/24	31/23,5	20/8
Vedpanna, kW	110	110	100
Värmepump, värme, kW	-	-	120
Värmepump, varmv, kW	-	65	65
Värmeavgivning, °C	26/22	27/22	55/40

I alternativ 1 och 2 används relativt oprövad teknik vad beträffar systemfunktionen för LTVA medan i alternativ 3 nyttjas konventionella radiatorer.

Alternativ 1 är det system som är mest känsligt för feldimensionering eftersom ingen värmepump ingår i systemet. Borrhålslagrets funktion kan därför ej alls påverkas, vilket ger en osäkerhet eftersom det arbetar inom snäva temperaturgränser. Lagrets termiska tröghet kommer att vara avgörande för funktionen.

Alternativ 2 är ett mellanting mellan alternativ 1 och 3, där en värmepump av måttlig storlek nyttjas primärt för varmvattenberedning. Den kan dock också nyttjas som reserv för uppvärmning. Detta ger vissa möjligheter att påverka lagrets funktion men systemet är ändå i någon mån känsligt för feldimensioneringar.

I alternativ 3 sker såväl varmvatten- som värmeförsörjningen helt via värmepump. Det ökade inslaget av känd teknik minskar känsligheten för feldimensionering och värmepumpen säkerställer lagerfunktionen.

## 4.2 Beroende av extern energitillförsel och ekonomi

Alternativ 1 ger det minsta elberoendet (endast för cirkulationspumpar) men ett relativt högt behov av annat bränsle (olja eller fastbränsle) för varmvatten-

beredning. Alternativet är således i första hand känsligt för oljeprisförändringar. Lagret levererar ca 55 % av det totala energibehovet.

Alternativ 2 är minst beroende av energitillförsel utifrån. Lagret svarar för 70 % av det totala energibehovet. Alternativet ger de högsta kapitalkostnaderna och de lägsta energikostnaderna och är mycket okänsligt för energiprisförändringar.

Alternativ 3 ger det högsta elberoendet. Lagret svarar för ca 55 % av energibehovet och el för 20 %. Alternativet ger de lägsta kapitalkostnaderna men är relativt känsligt för elprisförändringar.

En sammanfattning av de olika alternativens nettoenergitillskott och värmeförsörjning redovisas i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Sammanfattning av nettoenergitillskott och värmeförsörjning för Stora Skugganläggningen (MWh/år)

<u>Energitillförsel</u>	Alt 1	Alt 2	Alt 3
- Solenergi	320	435	370
- Ved	180	30	30
- El	-	35	100
Totalt, MWh/år	500	500	500
Andel förnyelsebar energi, %	100	93	80
Andel förnyelsebar energi om ved ersätts av olja, %	64	87	74
Oljeersättning (verkningsgrad 80 %) m <sup>3</sup> /år	63	63	63

Av Tabell 4.3 och 4.4 framgår alternativens känslighet för energiprisförändringar i form av beräknad total energikostnad vid real oljeprisförändring -30 resp +50 % och real elprisförändring +50 och +100 %. Tabell 4.3 avser ett system av Stora Skuggans storlek och Tabell 4.4 ett system uppskalat till värmebehovet 3 GWh/år.

Tabell 4.3 Systemalternativens priskänslighet för energiprisförändringar, Stora Skuggananläggningen, 500 MWh/år.

Kalkylränta		Energikostnad kr/kWh					
		Alt 1		Alt 2		Alt 3	
		4 %	6 %	4 %	6 %	4 %	6 %
Olja +0	El+0	1,09	1,31	1,07	1,29	0,70	0,83
	El+50 %	1,09	1,31	1,07	1,30	0,72	0,85
	El+100 %	0,09	1,31	1,09	1,31	0,74	0,87
Olja -30 %	El+0	1,06	1,28	1,07	1,29	0,69	0,82
	El+50 %	1,06	1,28	1,08	1,30	0,71	0,85
	El+100 %	1,06	1,28	1,08	1,31	0,74	0,87
Olja +50 %	El+0	1,14	1,36	1,08	1,30	0,70	0,83
	El+50 %	1,14	1,36	1,09	1,31	0,73	0,86
	El+100 %	1,14	1,36	1,10	1,32	0,75	0,88

Tabell 4.4 Systemalternativens priskänslighet för energiprisförändringar, anläggning 3 GWh/år

Kalkylränta		Energikostnad kr/kWh					
		Alt 1		Alt 2		Alt 3	
		4 %	6 %	4 %	6 %	4 %	6 %
Olja +0	El+0	0,66	0,78	0,65	0,77	0,57	0,66
	El+50 %	0,66	0,78	0,66	0,78	0,60	0,68
	El+100 %	0,66	0,78	0,67	0,79	0,62	0,71
Olja -30 %	El+0	0,63	0,75	0,65	0,77	0,57	0,65
	El+50 %	0,63	0,75	0,66	0,78	0,60	0,68
	El+100 %	0,63	0,75	0,67	0,79	0,62	0,70
Olja +50 %	El+0	0,70	0,83	0,66	0,78	0,58	0,66
	El+50 %	0,70	0,83	0,67	0,79	0,61	0,69
	El+100 %	0,70	0,83	0,68	0,80	0,63	0,71

Som framgår av känslighetsanalysen ändras ej den ekonomiska rangordningen mellan alternativen för någon av systemstorlekarna. Skillnaderna mellan alternativen för det stora systemet är dock små. Det bör också noteras att samtliga kostnadsberäkningar gäller dagens prisläge. Några inteckningar i framtida kostnadsminskningar för Sunstoresystemet har ej gjorts. Vid tillgång på tekniska standardkomponenter och med en teknisk utveckling, framför allt vad beträffar möjligheterna att sänka temperaturnivån i värmesystemet, bör för en Sunstoreanläggning i storleken 3 GWh/år energikostnaden kunna komma att hamna i nivå med eller något under konventionell uppvärmning med dagens energipriser. Förutsebara förändringar vad beträffar energibeskattningen kan också komma att gynna Sunstoresystemet.

#### 4.3 Demonstrationsvärde

För borrhålslagret har alternativen 1 och 2 stort demonstrationsvärde med hänsyn till lagrens storlek vilket möjliggör studier av randeffekter och möjligheter till zonindelning. Nackdelen med dessa alternativ är att avsaknaden av stor värmepump något begränsar möjligheterna att testa borrhålens termiska egenskaper genom att det ej är möjligt att skapa stora drivande temperaturskillnader mellan cirkulationsvatten och lager. Alternativ 3 ger ett mycket litet lager som har begränsat demonstrationsvärde för stora tillämpningar. Värdet ligger mest i tester av borrhålens egenskaper. För demonstration av system med denna lagerprincip kan finnas lämpligare objekt, som snabbt kan komma att realiseras i liten skala och för befintlig bebyggelse.

Alternativ 2 är minst beroende av energitillförsel utifrån, jfr Tabell 4.2. Alternativ 1 är utpräglat beroende av olja eller fastbränsle och alternativ 3 av el. Den lilla kostnadsskillnaden mellan alternativen i stora tillämpningar betyder att demonstrationsvärdet för alternativen i stor utsträckning bestäms av hur man prioriterar oberoende av köpt energi.

Alternativ 3 innehåller mer konventionell teknik än alternativ 1 och 2 och har ur denna synpunkt mindre demonstrationsvärde.

#### 4.4 Val av alternativ

Mot bakgrund av att de tre alternativen vid systemstorlek 3 GWh/år är ekonomiskt relativt likvärdiga och okänsliga för inom rimliga gränser förändrade kapital- och energikostnader har val av alternativ gjorts på andra grunder än de ekonomiska.

I samråd med referensgruppen för projektet har för den fortsatta förprojekteringen valts alternativ 2. Detta val har gjorts av följande skäl:

- Alt 2 har bra demonstrationsvärde för Sunstoretekniken med genomgående lågtemperaturteknik
- Alt 2 är minst beroende av köpt energi, endast ca 15 % av totalt energibehov
- Alt 2 har den största lagervolymen (180 000 m<sup>3</sup>) vilket medger de bästa möjligheterna att studera ett borrhålslagrets termiska egenskaper, strategier för laddning och urladdning genom zonindelning etc
- Alt 2 har god flexibilitet genom möjlighet att alternera mellan värmepump och vedpanna för tillsatsvärme och varmvattenberedning, vilket innebär en inbyggd säkerhet



- Alt 2 har intressanta generella utvecklingsmöjligheter

Även Kungl Djurgårdsförvaltningen såsom blivande byggherre för Stora Skuggananläggningen har förordat att alternativ 2 väljes.



## 5 SYSTEMHANDLINGAR

### 5.1 Allmänt

För det valda alternativet har nedan upprättats systemhandlingar som underlag för detaljprojektering.

### 5.2 Solfångare och dygnsackumulator

#### 5.2.1 Typ av solfångare

Kalkyler som gjorts över kostnaderna för olika solfångare tyder på att solfångare monterade på särskild ställning i optimal lutning på tak eller på marken fortfarande är relativt dyra, eftersom de måste dimensioneras för att kunna tåla krafterna från vind m m. Däremot finns nu vissa konstruktioner för enkla glasade eller oglasade solfångare som monteras i taklutningen och ev integreras med taket. Sådana solfångare lovar lägre specifika kostnader per  $m^2$  och även per kWh/år, förutsatt att drifttemperaturen är relativt låg. I förprojekteringen har därför förutsatts att en sådan typ skall väljas.

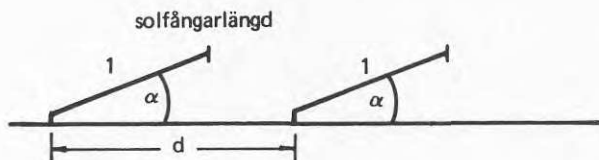
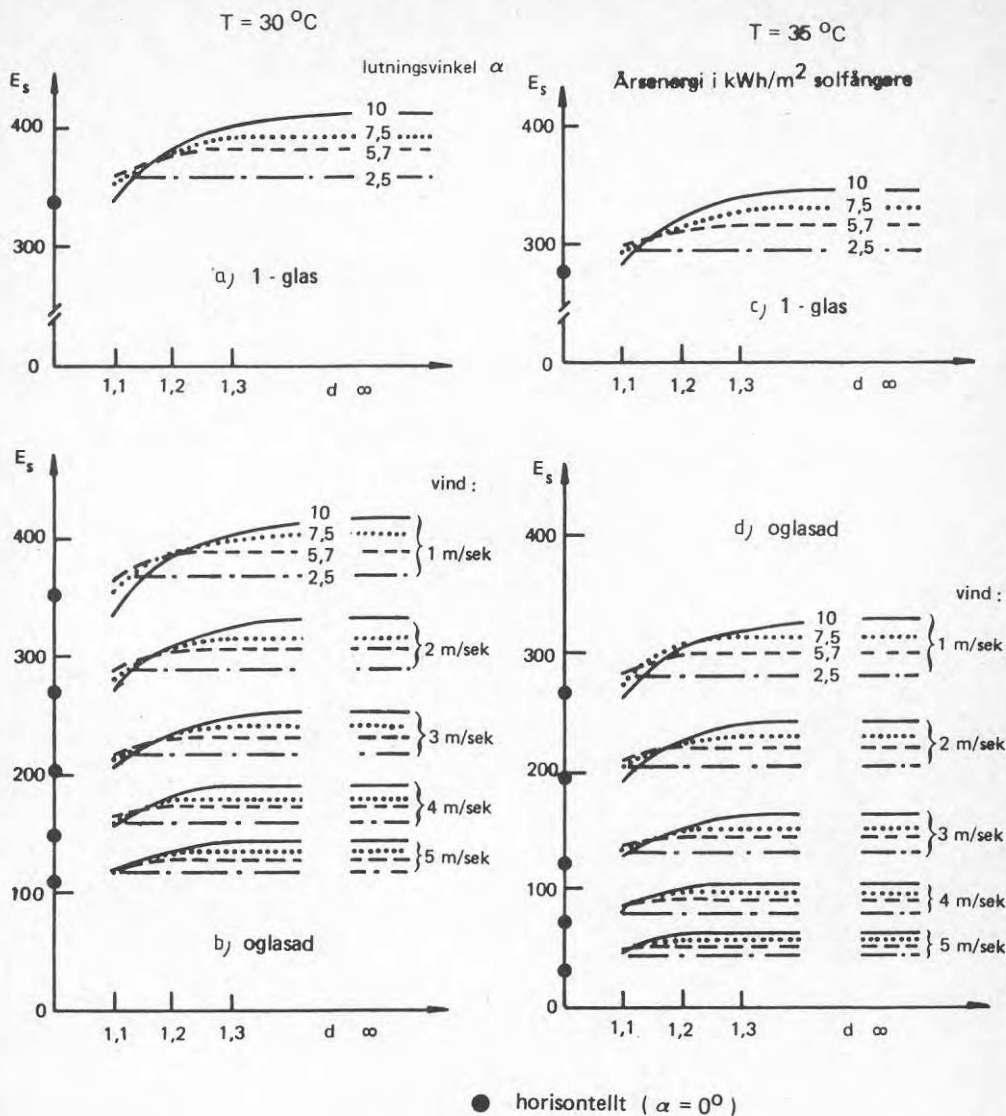
De prisindikationer som erhållits från flera tillverkare för de två typerna tyder på att en enkel typ av glasad solfångare skall kunna monteras på tak för en totalkostnad, inklusive uppsamlingssystem, av ca 500 kr/ $m^2$  utöver kostnaden för själva taket. För den oglasade varianten blir totalkostnaden 250 à 300 kr/ $m^2$ .

Den oglasade varianten bedöms sålunda kosta endast 50 à 60 % av den glasade varianten per  $m^2$  solfångaryta. I gengäld har den dock lägre prestanda. Offerter har infordrats från ett antal tillverkare för en totalleverans inklusive montering av solfångare och uppsamlingsledningar. Dessa kommer att utvärderas under detaljprojekteringen.

#### 5.2.2 Prestanda

Figur 5.1 visar beräknade prestanda för enkla glasade och oglasade solfångare enligt Zinko (1981) för olika lutningsvinklar,  $\alpha$ , vid 30 resp 35°C medeltemperatur i solfångarna.

I Stora Skuggan planeras ett tak med lutning 1:10 ( $\alpha = 5,7^\circ$ ), utan skuggning varför avståndet,  $d$ , mellan solfångarna kan antas vara  $\infty$ . Figuren visar att inverkan av temperaturen är mycket stark, särskilt för den oglasade varianten som dessutom har en stark påverkan av vindhastigheten. Vid 30°C (den beräknade medeltemperaturen enligt systemdimensioneringen i förprojekteringen) blir enligt figuren produktionen 380 kWh/ $m^2$  och år för den glasade varianten och 80 %,



$d =$  avstånd mellan solfångarna

Figur 5.1 Energiutbytet från solfångare för små lutningsvinklar som funktion av rad-avståndet

60,5 % resp 45 % av detta värde för den oglasade varianten om vindhastigheten är 2, 3 resp 4 m/s. Eftersom kostnaden för den oglasade varianten är 50 à 60 % av kostnaden för den glasade uppnås samma specifika kostnad per kWh/år energiproduktion vid en vindhastighet av 3 à 3,6 m/s. Detta tyder på att den oglasade varianten kan bli mer ekonomisk vid tillgång till obegränsade taktytor, särskilt om man genom en modifierad dimensionering av magasinet kunde pressa medeltemperaturen ytterligare. I Stora Skuggan är dock den lätt tillgängliga takytan begränsad till ca 2 350 m<sup>2</sup>. Med hänsyn till detta och osäkerheten beträffande det exakta värdet av vindhastigheten samt med hänsyn till de produkter som f n finns kommersiellt tillgängliga har förprojekteringskalkyl baserats på den enkla glasade varianten. Den produktutveckling som f n sker bedöms komma att återspeglas i infortrade leverantörsoffertter och alternativa solfångartyper kommer slutligt att värderas under detaljprojekteringen.

Prestanda i Figur 5.1 gäller teoretiskt beräknade värden. I praktiken behöver dessa värden minskas med 10 à 20 % för regler- och ledningsförluster även i väl reglerade system. För lågtemperatursystem som drivs under relativt konstanta förhållanden mot en dygnsackumulator torde det lägre värdet (10 %) kunna innehållas.

### 5.2.3 Eventuell komplettering med spegeldamm

Under projekteringskedet bör värderas hur den spegeldamm, som under 1982 anläggs av Kungl Djurgårdsförvaltningen vid Stora Skuggan, kan utnyttjas för att med en värmepump åstadkomma önskad initialladdning av magasinet redan under byggfasen för huvudbyggnaden. Detta skulle kunna möjliggöra att systemets funktion kan demonstreras ca ett år tidigare än vad som annars skulle vara möjligt. Eventuellt kan även tänkas att denna värmekälla bör hållas tillgänglig som en säkerhet mot eventuell otillräcklig energiproduktion i solfångarna under solfattiga år. Detta måste dock värderas mot andra möjligheter till kompletteringsladdning.

### 5.2.4 Dygnsackumulator

I Stockholm kan man räkna med ca 1 000 solskenstimmar per år och en instrålning, mot horisontell yta, av ca 1 000 kWh/m<sup>2</sup>. Den tid varunder solvärmern måste insamlas är därför relativt kort. Om denna energimängd direkt skulle laddas in i lagret, dvs laddas in på samma antal timmar som den samlas in på måste, på grund av den begränsade överföringsförmågan i hålen i borrhålslagret, antingen totala borrhålslängden vara mycket stor eller övertemperaturen vara hög.

Detta leder till oacceptabla kostnader. I Stora Skuggan löses detta problem genom att en värmeackumulerande buffert placeras mellan solfångarna och lagret. Solfångarna kan då utnyttjas optimalt med låg inloppstemperatur och hög verkningsgrad samtidigt som lagret kan laddas under lång tid.

Den erforderliga ackumulatorvolymen i Stora Skuggan har beräknats till 1 000 m<sup>3</sup>. Ackumulatortorn utföres i betong och placeras i byggnadens källarplan. Måtten är 9x18 m och höjden 6,2 m.

Akkumulatortorn förses med in- och utlopp i topp och botten. Dessutom förses den med ett antal inlopp på olika nivå för vatten från solfångarna. Avsikten med detta är att bibehålla temperaturskiktningen, se Figur 3.3.

### 5.3 Borrhålslager

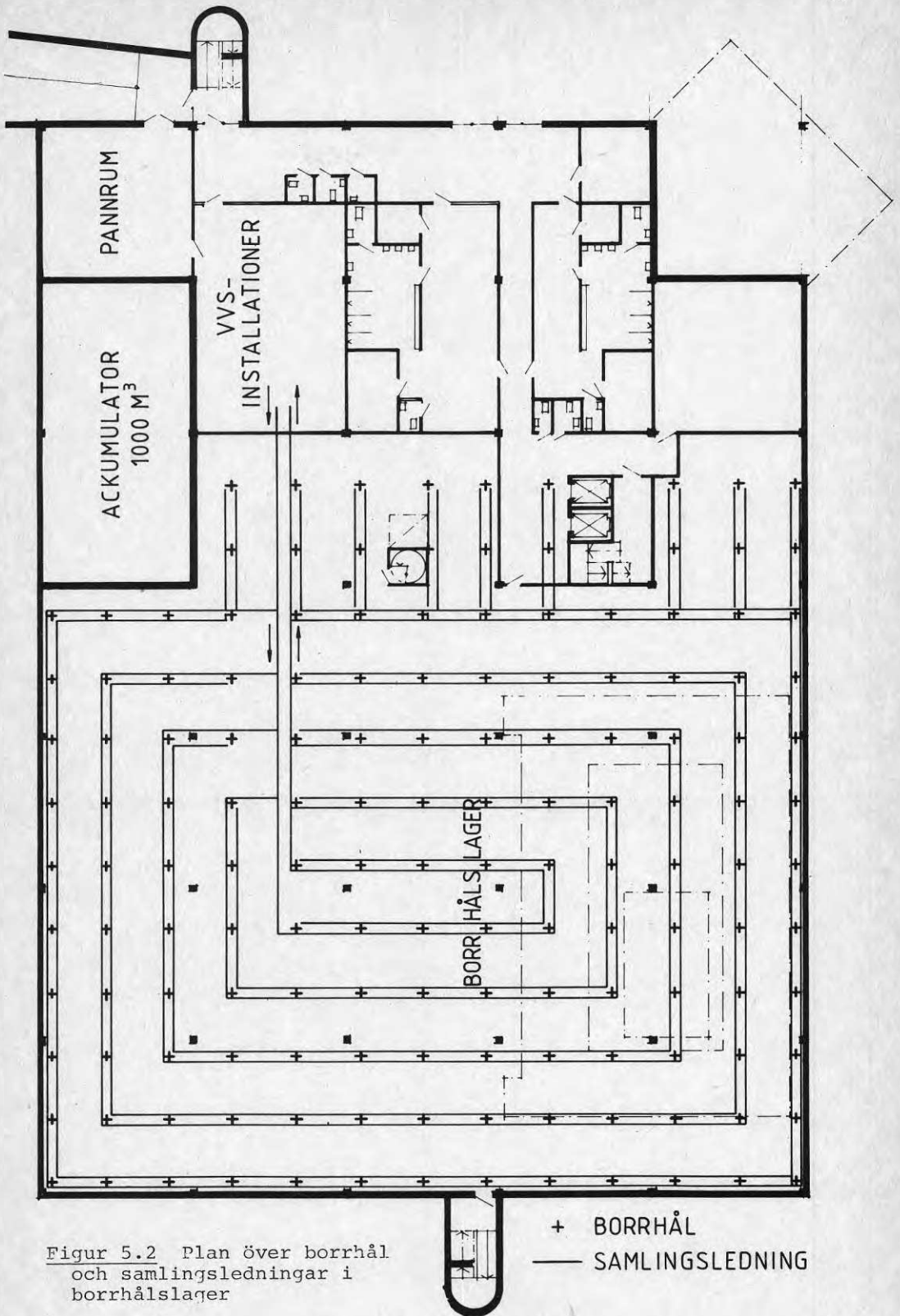
Borrhålslagret anläggs i byggnadens källare på sätt som framgår av Figur 5.2. I figuren är borrhålens lägen (148 st) och samlingsledningarnas utsträckning markerade. Samlingsledningarnas sträckning medger fördelning av cirkulationsvattnet i fem koncentriska zoner till vilka vattenflödet kan individuellt mätas och justeras. Samlingsledningarna har förutsatts bli utförda av galvaniserade stålrör med dimensionen  $\varnothing 100$ - $\varnothing 150$  mm. De relativt stora dimensionerna krävs för att uppnå jämn fördelning av flödet mellan de individuella borrhålen.

De enskilda borrhålen görs med diametern 115 mm och djupet 87 m. Infodringen sker med 6 PEM-slangar  $\varnothing 20$  mm, NT6. Om detaljprojekteringen visar att det är önskvärt med vertikal temperaturstrukturering i lagret är detta möjligt att uppnå genom en speciell koppling i hålets botten. Anslutningar sker i övrigt med standardrördelar. Varje anslutning förses med avstängningsmöjlighet och anordning för avluftning. En principritning av borrhål och anslutningar visas i Figur 5.3.

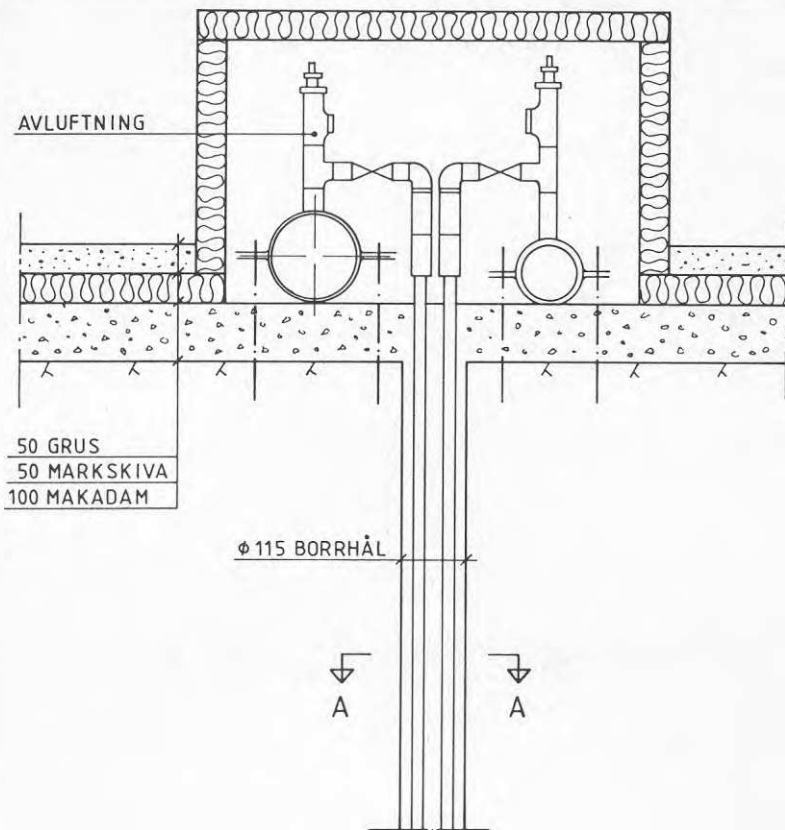
Lagrets överyta fukt- och värmeisolerar med 50 mm markskiva. I kostnadsberäkningen för markarbeten för lagret antas att det färdiga källargolvet består av 50 mm grus ovanpå markskivorna med ledningsstråken liggande över golvet nivå. Alternativt kan till en viss merkostnad ledningarna läggas i kulvertstråk under golvet så att källarutrymmet kan utnyttjas för andra ändamål.

### 5.4 Uppvärmning

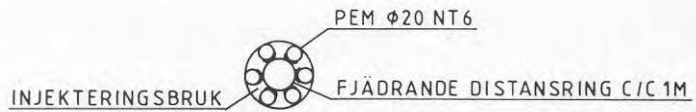
Primärvärme-systemets uppbyggnad samt vatten-, energi- och effektflöden framgår av Figur 3.8. Dimensionerande temperaturer i systemet är 27°C fram och 22°C retur.



Figur 5.2 Plan över borrhål och samlingsledningar i borrhålslager



SEKTION A-A

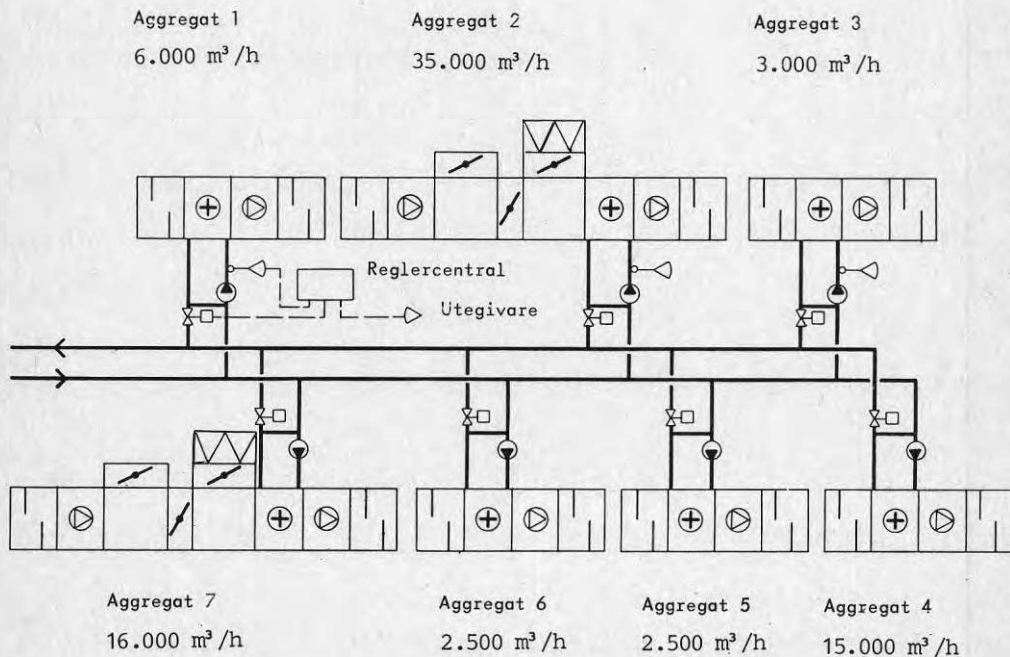


Figur 5.3 Borrhålsinfördning och samlingsledningar



60 % av det totala värmeeffektebehovet skall täckas av värme från lagret. Övriga 40 % täcks med en vedpanna. Stora krav ställs därigenom på uppvärmningssystemet, då temperaturskillnaden mellan primärvattnets framledning och önskad rumstemperatur, 20°C, är endast 7°C. För att klara detta krav utförs uppvärmningssystemet luftburet.

Primärvärme distribueras till sju luftvärmeaggregat, se Figur 5.4. Sju aggregat har valts för att inte luft skall cirkulera mellan lokaler med olika verksamhetstyp, t ex från gymnastiksal till kontorsrum.



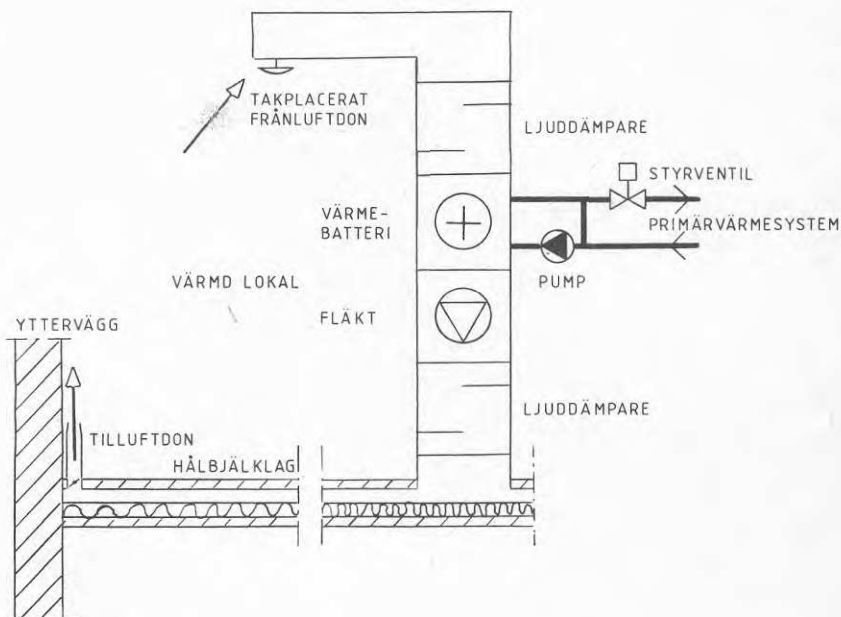
**Figur 5.4** Flödesschema luftvärmeaggregat

Aggregaten består av ljuddämpare på in- och utloppsidorna, värmebatteri dimensionerat för låg temperaturdifferens och fläkt. De två största aggregaten har försetts med separata till- och frånluftfläktar och anslutits till kanaler för av- och uteluft. Samtidigt kan uteluft därigenom tillföras lokalerna och övertemperaturer på grund av solinstrålning begränsas.

Varje aggregat är försett med shuntgrupp och reglercentral för utetemperaturstyrning av lufttemperaturen. Vattenflödet i värmebatterierna hålls konstant medan tillförseln av primärvärmevatten styrs efter behovet

av en tvåvägs styrventil. Med detta arrangemang erhålls dels en bra temperaturfördelning över värmebatteriet och dels en låg temperatur på primärreturvattnet.

Från luftvärmeaggregaten distribueras varmluften ut i lokalerna via kanaler i bjälklaget till don placerade längs ytterväggarna. Returluften tas in i takplacerade don och förs i ett kanalsystem tillbaka till aggregaten, se Figur 5.5.



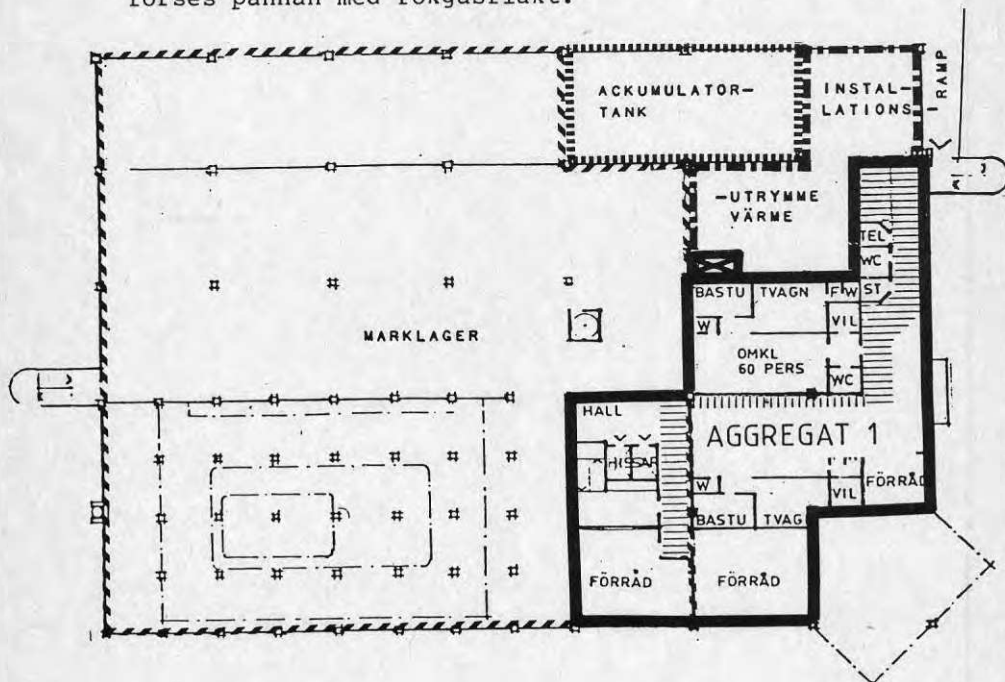
Figur 5.5 Distribution av luftburen värme, principschema

Aggregatens luftmängd och värmeeffekt framgår av Tabell 5.1.

Tabell 5.1 Luftvärmeaggregat

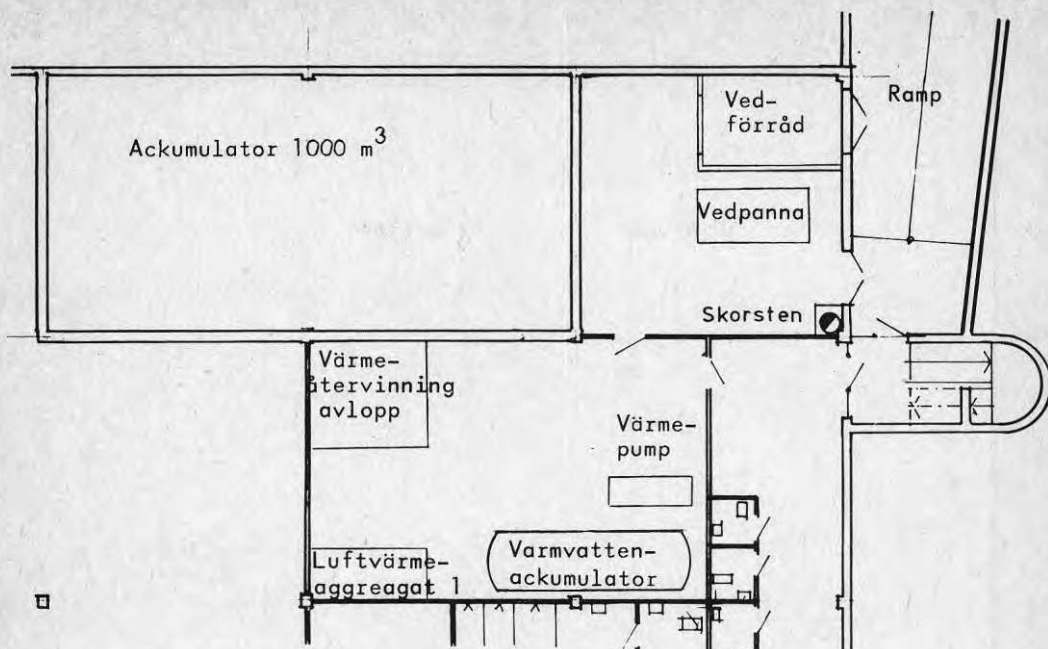
Aggregat	Betjäna	Luftmängd m <sup>3</sup> /h	Värmeeffekt kW
1	Källaren	6 000	10
2	Utställning, allrum mm	35 000	45
3	Gymnastik, omklädnad	3 000	6
4	Forskning, förråd	15 000	25
5	Konferensrum renluft	2 500	5
6	Bostad	2 500	5
7	Konferensrum, kontor	16 000	25
Summa		80 000	121

Placeringen av aggregaten och de ytor de betjänar redovisas i Figur 5.6-8. Aggregat 3 och 4 är placerade på vinden ovanför de markerade lägena på plan 2. Värmepump, vedpanna med vedförråd samt pumpar m m placeras i källaren, se Figur 5.9. Vedförrådet har dimensionerats så att vedtransporternas antal begränsas till ett fåtal per vecka vid toppbelastning. Inlastning av ved kan göras direkt utifrån in i vedförrådet från den ramp som på utsidan leder ned till källarplanet. Rampen utformas så att en traktor med släp lätt kan backa ned. Skorstenen placeras i anslutning till det näraliggande trapphuset. Eventuellt förses pannan med rökgasfläkt.



Figur 5.6 Luftburet uppvärmningssystem, källarvåning





Figur 5.9 VVS-installationer i källarvåning

### 5.5 Varmvatten

Varmvattensystemet är redovisat i Figur 3.9.

Inkommande kallvatten förvärms genom återvinning ur avloppsvatten. Vid  $6\,500\text{ m}^3/\text{år}$  varmvattenförbrukning beräknas den ur avloppsvattnet återvunna energimängden uppgå till  $75\text{ MWh}/\text{år}$ , vilket motsvarar en temperaturhöjning på  $10^\circ\text{C}$  hos kallvattnet. Är lagertemperaturen eller temperaturen på vattnet från solfångarna tillräckligt hög kan ytterligare förvärmning ske i en genomströmningsvärmväxlare. Slutlig värmning av vattnet sker i en förrådsberedare med  $20\text{ m}^3$  volym.

Huvudsaklig värmekälla är en värmepump med  $65\text{ kW}$  värmeeffekt, som tar värme från lagret via primärvärmsystemets returledning. Värmning kan också ske med vedpanna och det är på grund av denna som förrådet valts så stort som  $20\text{ m}^3$ . Avsikten är att eliminera eldning under sommarhelger, även om värmepumpen inte är i drift. Lägsta temperatur på utgående varmvatten är  $45^\circ\text{C}$ . Erfordras högre temperatur i t ex servering får eftervärmning ske med el. Varmvattensystemet är placerat i pannrummet i källaren. Värmeåtervinningssystemet för avloppsvatten placeras under golvnivå i källaren. Återföring av avloppet till rätt nivå sker med pump.

## 5.6 Ventilation

Ventilationssystemet är helt konventionellt och separerat från värmesystemet på luftsidan. Det är uppdelat på två aggregat, ett för konferenslokalerna och ett för övriga lokaler. Luftflödet är 17 500 m<sup>3</sup>/h i vardera aggregatet och den sammanlagda värmeeffekten är 65 kW.

Aggregaten är försedda med värmeåtervinningssystem med roterande värmeväxlare, temperaturverkningsgrad 75 %. För sommar drift finns by-pass-kanaler vid värmeväxlarna.

Båda aggregaten tidsstyrs och konferensaggregatet är endast i drift då konferenslokalerna utnyttjas.

## 6 KOSTNADER

### 6.1 Anläggningskostnad

Kostnadsberäkningarna nedan avser kostnadsläget 1982-05-01 och inkluderar ej mervärdeskatt eller räntor under byggnadstiden.

Kostnaderna för solfångare av olika typer redovisas under punkt 5.2.1 ovan. I avvaktan på resultatet av infordrade preliminäroffertor bedöms att en enkel typ av glasad solfångare skall kunna monteras på byggnadens tak för en kostnad inklusive uppsamlingssystem av 500 kr/m<sup>2</sup>.

Dygnsackumulatören med volymen 1 000 m<sup>3</sup> förutsätts utförd i vattentät armerad betong och placerad inom byggnadskroppen. Kostnaden för en 1 000 m<sup>3</sup> ackumulator har i bilaga 3.2 beräknats till 600 kr/m<sup>3</sup>.

Kostnaderna för anläggande av borrhålslagret redovisas i Kapitel 2. Till prisuppgifterna kan fogas följande kommentarer.

Kostnaden för borrhning av borrhål  $\varnothing$  115 mm varierar enligt erhållna offerter i intervallet 70-100 kr/m. Eftersom vissa krav måste ställas på borrhålens raket är det lägsta erhållna priset troligen alltför lågt.

Kostnaden för infodring och anslutning av borrhålen är beräknad på basis av prisuppgifter från materialleverantörer och entreprenörer. Eftersom tekniken ej är praktiskt helt utprovad föreligger en viss osäkerhet, bl a vad beträffar utförande och montering av lämpliga distansringar.

Kostnadsberäkningen för samlingsledningarna är baserad på en offert på ett komplett ledningsnät för 100 borrhål vilket sedan omräknats till en kostnad per borrhål. Kostnaderna för markarbeten är baserade på prisuppgifter från materialleverantörer och entreprenörer.

De kostnader som använts i kalkylerna är följande:

- borrhning och infodring, 120 kr/m
- anslutningar borrhål, 1 000 kr/borrhål
- samlingsledningarna med anslutn, 2 000 kr/borrhål
- markarbeten utöver merkostnad för källare, 1 000 kr/borrhål

Med stöd av den jämförande kostnadsberäkningen i Bilaga 3.2 har merkostnaden för källarutrymmet ovan borrhålslagret beräknats till 600 kr/m<sup>2</sup> jämfört med om byggnaden skulle ha grundlagts med bottenplatta på mark utan källare.

Merkostnaden för eventuell nedsänkning av ledningsstråken i kulvertar under källargolvets nivå har beräknats till 3 200 kr/borrhål.

Kostnaderna för VVS-installationerna baseras delvis på budgetpriser, delvis på erfarenhetsvärden från liknande installationer.

Kostnaderna för luftvärmeaggregaten, vedpannan, varmvattenackumulatorn (20 m<sup>3</sup>) och värmepumpen har således erhållits såsom budgetpriser från tillverkare, medan övriga kostnader är erfarenhetsvärden.

Med stöd av ovan angivna förutsättningar har anläggningskostnaden för föreslaget energisystem för Stora Skuggans motionscentrum beräknats enligt Tabell 6.1. I den totala anläggningskostnaden har även medräknats kostnaderna för värmeåtervinning genom förvärmning av tappvarmvattnet från avloppet (40 kkr) samt för värmeåtervinning genom värmeväxlare mellan tilluft och frånluft (150 kkr). Avloppssystem och ventilations-system är för övrigt av konventionellt utförande varför kostnaderna härför inte inräknats i energiprojektet. Genom dessa båda värmeåtervinningssystem reduceras som tidigare nämnts energibehovet för byggnaden med 75 resp 100 MWh/år, från ett bruttoenergi-behov av 675 MWh/år till nettoenergi-behovet 500 MWh/år.

Tabell 6.1 Anläggningskostnad för föreslaget energisystem för Stora Skuggan (kkr)

Solfångare, 2 200 m <sup>2</sup>	1 100
Dygnsackumulator, 1 000 m <sup>3</sup>	600
Borrhålslager, 180 000 m <sup>3</sup>	1 550
Anslutnings- och samlingsledningar för lager	450
Markarbeten för lager	150
Vedpanna, 110 kW	50
Värmepump varmvatten, 65 kW	80
Värmeavgivningssystem	500
Varmvattensystem	130
Ledningar	200
Armatyr, styrutrustning, pumpar	150
Installation, diverse	250
Projektering och kontroll	760
Totalt för energisystemet	5 970
Merkostnad* för källare, 1 860 m <sup>2</sup>	1 120
Investeringsladdning, 1 200 MWh	240
Värmeåtervinning ventilation	150
Värmeåtervinning avlopp	40
Oförutsett	680
Total anläggningskostnad inkl värmeåtervinning för ventilation och avlopp men exkl moms, kkr	8 200

\* Om källaren skall göras tillgänglig för annat utnyttjande genom att placera ledningsstråken i kulvertar under källargolvets nivå tillkommer ytterligare ca 0,5 Mkr.



## 6.2 Årskostnad

Förutsättningarna för beräkning av årskostnaden beträffande avskrivningstider och underhållskostnader för olika typer av anläggningar samt använda kalkylräntor (4 alt 6 %) redovisas under punkt 1.6 ovan.

För beräkning av energikostnaderna har antagits att energipriset för ved är ekvivalent med oljepriset (0,20 kr/kWh) samt ett elpris 0,25 kr/kWh, vilket är baserat på aktuella taxor från Stockholms energiverk. Dessa priser inkluderar nu gällande energiskatter (1982-05-01).

Med ovan angivna förutsättningar har årskostnaden för energiprojektet Stora Skuggan, exklusive värmeåtervinning från avloppet och ventilationssystemet beräknats och sammanställts i Tabell 6.2.

Tabell 6.2 Årskostnad för föreslaget energisystem för Stora Skuggan exkl värmeåtervinning från avlopps- och ventilationssystem (kk/år)

Kalkylränta	4 %	6 %
<u>Kapitalkostnad</u>		
Solfångare	119	136
VVS	118	144
Lager o ackumulator	111	149
Saml ledn lager	42	52
Merkostnad källare	53	71
Investeringsladdning	15	18
	<u>458</u>	<u>570</u>
<u>Underhåll</u>		
Solfångare	26	26
VVS	19	19
Lager	7	7
Saml ledn	7	7
	<u>59</u>	<u>59</u>
<u>Energi</u>		
Ved (olja)	8	8
El	9	9
	<u>17</u>	<u>17</u>
<u>Totalt, kkr/år</u>	<u>534</u>	<u>646</u>

Medräknas investeringen för värmeåtervinning från avloppet (40 kkr) ökar ovan beräknade årskostnader med 3 kkr/år vid 4 % kalkylränta och med 4 kkr/år vid 6 % kalkylränta.

Medräknas dessutom investeringen för värmeåtervinning på ventilationssystemet ökar årskostnaden med ytterligare 11 resp 13 kkr vid 4 resp 6 % kalkylränta.

### 6.3 Energipris

Med stöd av ovan redovisade årskostnader har motsvarande energipris beräknats i Tabell 6.3 dels på nettoenergiebehovet (500 MWh/år), dels på bruttoenergiebehovet inkl värmeåtervinning från avloppet (575 MWh/år) och dels på bruttoenergiebehovet inkl värmeåtervinning även på ventilationssystemet (675 MWh/år).

Tabell 6.3 Energipris för Stora Skuggan (kr/kWh)

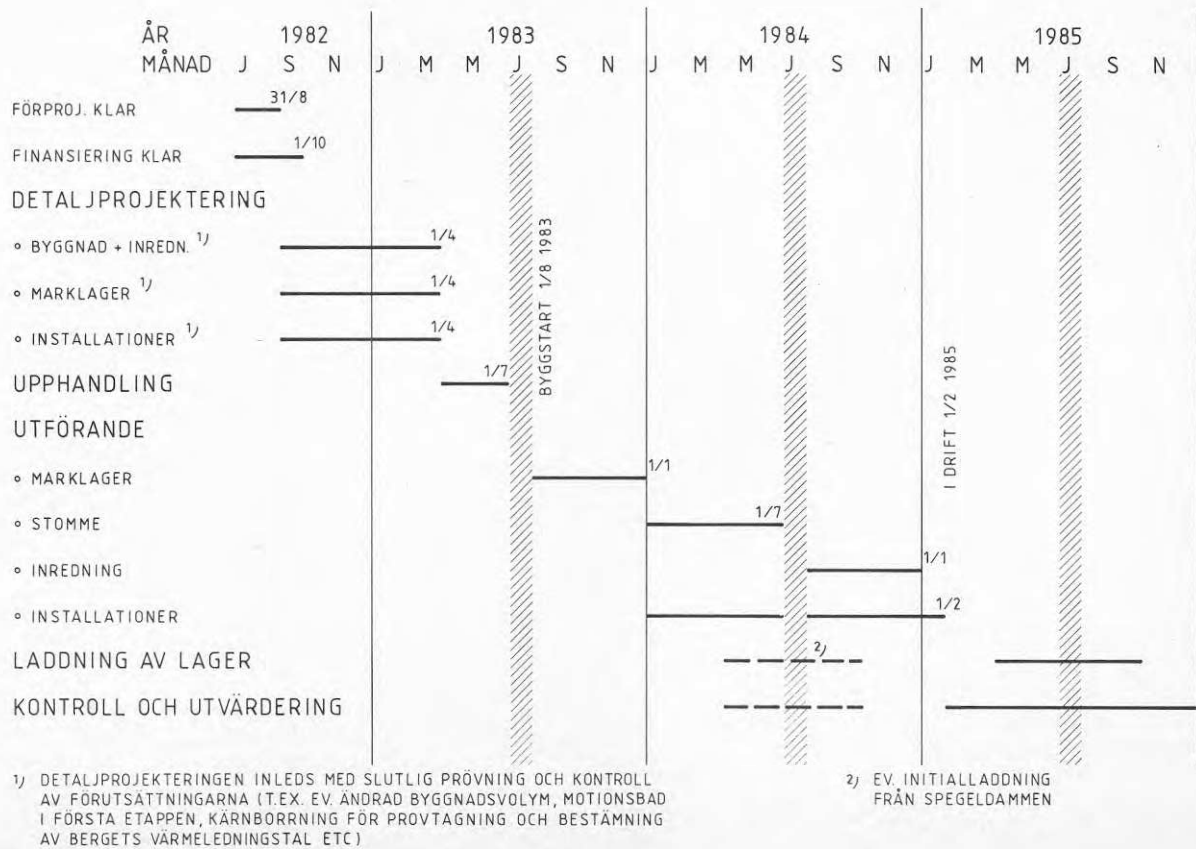
Kalkylränta	4 %	6 %
Årskostnad		
(500 MWh/år) kkr/år	534	646
(575 MWh/år) kkr/år	537	650
(675 MWh/år) kkr/år	548	663
Energipris		
(500 MWh/år) kr/kWh	1,07	1,29
(575 MWh/år) kr/kWh	0,93	1,13
(675 MWh/år) kr/kWh	0,81	0,98

## 7 TIDPLAN

En preliminär tidplan för Stora Skugganprojektet redovisas i Figur 7.1. Tidplanen har upprättats med följande förutsättningar och antaganden:

- Finansieringsfrågan förutsätts vara klar senast 1982-10-01
- Detaljprojekteringen förutsätts starta 1982-09-01 med en slutlig prövning och kontroll av förutsättningarna (t ex programmet för de olika lokalernas användning, ev ändrad byggnadsvolym, motionsbad i första etappen, kärnboring för bestämning av bergets värmeledningstal etc). Denna del av detaljprojekteringen bör vara helt avslutad 1982-11-01. Resterande detaljprojektering fram till kompletta förfrågningsunderlag bedöms ta ca 5 månader
- Upphandlingen omfattande infordran av anbud, anbudsräkning, anbudsgranskning och antagande av entreprenörer bedöms ta ca 3 månader, varigenom byggstart skulle kunna ske 1983-08-01
- Byggnadstiden bedöms till ca 1,5 år, varigenom anläggningen således skulle kunna tas i drift i början av år 1985 (1985-02-01)

Figur 7.1 Preliminär tidplan



## 8 LITTERATUR

Claesson, Johan, 1980. Värmemotstånd mellan cylinderregion och centrumrör. Lunds Tekniska Högskola, Matematisk Fysik.

Gustafsson, Yngve, 1979. Rapport över geohydrologisk undersökning vid Stora Skuggan i Kungl Djurgården å Stockholm. AB Hydroconsult, Kemibyran.

Gustafsson, Yngve, 1980. Rapport över fortsatt geohydrologisk undersökning vid Stora Skuggan å Kungl Djurgården i Stockholm. AB Hydroconsult, Kemibyran.

Platell, Ove, Wikström, Hans, 1981. Projekt Sunstore. Verksamheten 1977-1980. BFR-rapport R100:1981.

Zinko, Heimo, 1981. Beräkningsanalys för lågtemperatursolfångare passande till Sunstoresystemet. Studsvik Energiteknik AB.



SIMULERING AV VÄRMELAGRING I  
PROJEKTET STORA SKUGGAN

Bengt Eftring  
Maj 1982

Lundagruppen för värmeledning och markvärme, LTH.

INTRODUKTION

Undersökningen är genomförd i samarbete med Hans Hydén, VBB. Syftet är att genom datorsimuleringar av ett projekterat säsongsvärmelager ge information om dess termiska prestanda. Lagret är av borrhålstyp. Några olika grundfall undersöks.

### Mark och lagerdata

Berget är täckt av ett tre meter tjockt jordlager. Bergets värmeledningsförmåga och volumetriska värmekapacitet är  $3.5 \text{ W/mK}$  resp.  $2.1 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ . Motsvarande värden för jordskiktet är  $1.0 \text{ W/mK}$  resp.  $3.5 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3\text{K}$ .

Lagret är cylinderformat. Det har olika volym i grundfallen. Hålen borrar vertikalt och placeras så att de i ett horisontellt tvärsnitt utgör hörnen i liksidiga trianglar. Avståndet mellan intilliggande borrhål är 4 m. Borrhålsdiametern är 110mm. Den övre lagerytan, belägen vid övergången mellan berg och det täckande jordskiktet, är täckt av en isolering med k-värdet  $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Markytans temperatur antages variera enligt en sinusfunktion med medelvärdet  $6.6^\circ\text{C}$  och amplituden  $10.5^\circ\text{C}$ .

### Beräkningsmetodik

Beräkningarna har utförts med ett datorprogram\* som utvecklats av Lundagruppen för värmeledning och markvärme. Programmet beskriver det lokala termiska förloppet vid de enskilda borrhålen, den globala, tredimensionella processen i lagret och den omkringliggande marken samt kopplingen mellan dessa två processer.

Datorprogrammet har använts för att simulera 15 årsstycken för de olika lagertyperna. Vid simuleringarna har övergångsmotståndet mellan berg och vatten försumrats. Detta motstånd resulterar i ett temperaturfall mellan vatten och berget vid borrhålet. Temperaturfallet kan enkelt beräknas om motståndet och värmeeffekten per meter borrhål är kända.

### Resultat

#### Fall 1

Lagrets volym är  $100\,000 \text{ m}^3$ . Dess höjd och radie är 70 m resp. 21.3 m.

\*Model of Duct Storage System. Manual for Computer Code. 1982.

Hellström, G. Inst. för mat. fysik, LTH.



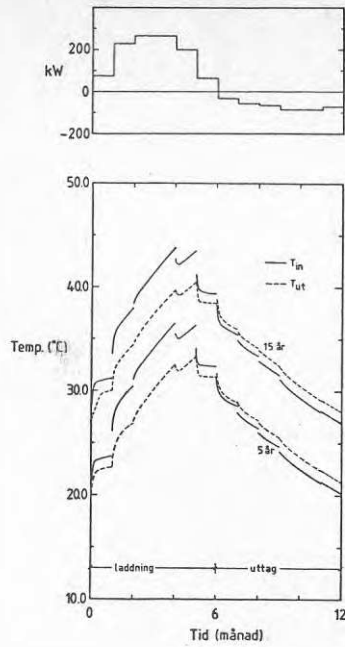
Antal borrhål är 103. Vattenflödet är  $.016 \text{ m}^3/\text{s}$ . Samtliga hål är parallellkopplade med jämnt fördelat flöde. Ingen urladdning sker om vattnets uttemperatur understiger  $20^\circ\text{C}$ .

Den inladdade och uttagna effekten antages vara månadsvis konstant med följande fördelning.

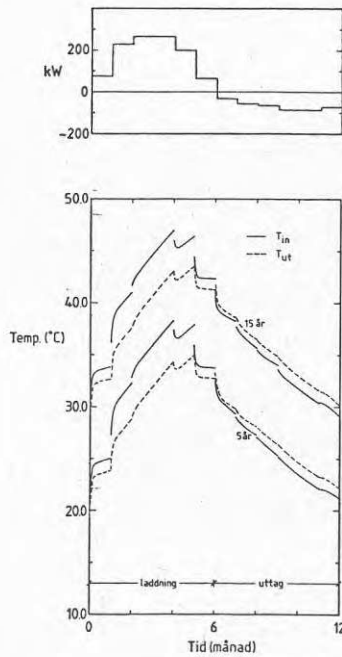
månad	effekt kW
A	78
M	233
J	267
J	267
A	200
S	67
O	-32
N	-54
D	-65
J	-82
F	-82
M	-71

Figur 1 ger in- och utloppstemperaturer under det femte och femtonde året.

Under det femte året varierar inloppstemperaturen under laddnings-säsongen mellan drygt  $21^\circ\text{C}$  och  $36^\circ\text{C}$ . Under det femtonde året ligger inloppstemperaturen i intervallet  $28 - 44^\circ\text{C}$ . Utloppstemperaturen ligger år 5 under uttagssäsongen i intervallet  $32 - 21^\circ\text{C}$  och år 15 i intervallet  $39 - 28^\circ\text{C}$ . Det framgår klart att kurvformerna för in- och utloppstemperaturerna under det femte och femtonde året är varandra mycket lika. Det är mest medelnivån som skiljer. Bakgrunden till detta är följande. Under varje år laddas lagret med en viss energimängd. En del av denna energimängd återtages under vintersäsongen. Resterande energimängd utgör en förlust till omgivningen. Lagrets årsmedeltemperatur kommer därför att stiga tills dess övertemperatur i förhållande till omgivningen precis motsvaras av den förutbestämda förlusten.



Figur 1. In- och utloppstemperaturer för lagret under år 5 och år 15.  
 $\lambda_{\text{berg}} = 3.5 \text{ W/mK}$ .



Figur 2. In- och utloppstemperaturer under år 5 och år 15.  $\lambda_{\text{berg}} = 3.0 \text{ W/mK}$ .

Figur 2 ger in- och utloppstemperaturer om bergets värmeledningsförmåga är 3.0 W/mK.

Temperaturerna i figur 2 är genomgående högre än i figur 1. Detta beror på att värmeledningsförmågan i figur 2 har ett lägre värde. Lagrets årsmedeltemperatur måste då få ett högre värde för att motsvara den förutbestämda värmeförlusten.

#### Fall 2

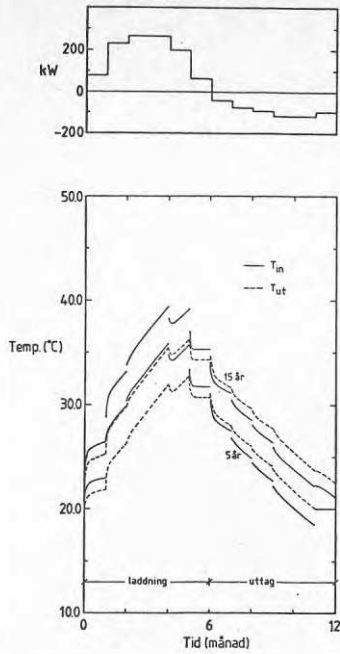
Fall 2 är identiskt med fall 1 så när som på urladdningseffekterna. Med hjälp av värmepumpar ökas urladdningseffekten under vintersäsongen enligt

månad	effekt kW
A	78
M	233
J	267
J	267
A	200
S	67
O	-39
N	-72
D	-89
J	-114
F	-114
M	-97

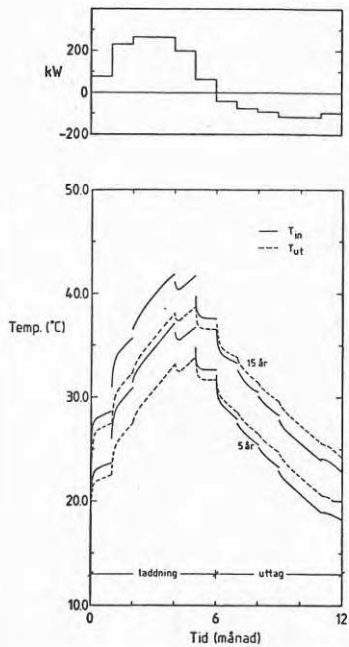
Figur 3 ger in- och utloppstemperaturer under det femte och femtonde året.

Av figur 3 framgår att lagret år 5 ännu ej nått den temperaturnivå, vid vilken hela det önskade värmeuttaget kan göras. År 15 ligger inloppstemperaturen under laddning i intervallet 23 - 40°C och utloppstemperaturen under urladdning i intervallet 35 - 22°C.

Figur 4 ger in- och utloppstemperaturer om värmeledningsförmågan i berg är 3.0 W/mK.



Figur 3. In- och utloppstemperaturer under år 5 och år 15.  $\lambda_{\text{berg}} = 3.5 \text{ W/mK}$ .



Figur 4. In- och utloppstemperaturer för lagret under år 5 och 15.  
 $\lambda_{\text{berg}} = 3.0 \text{ W/mK}$ .

Förändringen i värmeledningsförmågan från 3.5 till 3.0 W/mK höjer temperaturerna under år 15 med ca 2°C.

### Fall 3

Lagrets volym är 50 000 m<sup>3</sup>. Dess höjd och radie är 50 resp. 17.8 m. Antal borrhål är 72. Vattenflödet är .012 m<sup>3</sup>/s. Inga temperaturbe-  
gränsningar under laddning och uttag.

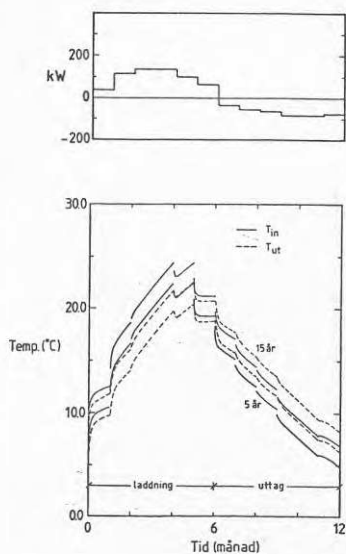
Den laddade och uttagna effekten antages vara månadsvis konstant enligt.

månad	effekt kW
A	39
M	117
J	134
J	134
A	100
S	34
O	-32
N	-54
D	-65
J	-82
F	-82
M	-71

I detta fall skall lagret under uttagssäsongen urladdas med hjälp av en värmepump.

Figur 5 visar in- och utloppstemperaturer under femte och femtonde året.

Inloppstemperaturen under laddningssäsongen det femtonde året ligger i intervallet 7 - 24°C. Utloppstemperaturen under uttagssäsongen ligger i intervallet 20 - 7°C.



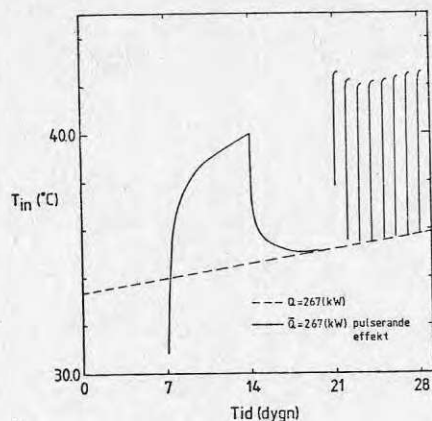
Figur 5. In- och utloppstemperaturen under år 5 och år 15.  $\lambda = 3.5 \text{ W/mK}$

#### Fall 4

Detta fall är likt fall 2. Under tiden för största laddningseffekt har emellertid den konstanta effekten 267 kW ersatts av en pulserande effekt med samma långtidsmedelvärde. Syftet är att bedöma vilka extra drivande övertemperaturer som krävs för att ladda in effektpulser av olika längd.

Figur 6 visar inloppstemperaturen vid en effektvariation enligt

tidsperiod	effekt kW
1 vecka	0
1 vecka	534
1 vecka	267
8 tim	901
16 tim	0
8 tim	901
16 tim	0
⋮	⋮



Figur 6. Inloppstemperatur vid dels pulserande laddningseffekt (-) och dels konstant laddningseffekt (---)

Vid veckolånga pulser krävs det en extra drivande temperaturdifferens av  $6^{\circ}\text{C}$ . När laddningen varierar med 8 timmars laddning följt av 16 timmars vila krävs en extra drivande temperaturdifferens av ca  $7^{\circ}\text{C}$ . De framräknade temperaturdifferenserna är för varje pulslängd direkt proportionella mot laddningseffekten. Vidare kan de superponeras varför effekten av kombinerade pulser enkelt kan bestämmas.

### Resultat

För samtliga grundfall kan efter ett antal år önskat energiutbyte erhållas. Lagrets årsmedeltemperatur ges av den årliga "förlustenergi" som har laddats in i lagret. Lagret kan således på detta sätt styras till en lämplig temperaturnivå. Insvängningen till slutnivå kan påskyndas genom extra laddning under de första cyklerna.

Pulserande laddning med dygnsvariation enligt fall 4 medför extra krav på drivande temperatur för att effekten skall kunna matas in i lagret. En temperaturstegring av  $7^{\circ}\text{C}$  kan behövas. Detta problem kan avhjälpas med en dygnsackumulator som utjämnar laddningsbehovet.

Beräkning av merkostnad för källare samt kostnad för ackumulatortank

A. Merkostnad för källare

Kostnadsskillnader uppstår på följande punkter:

1. Markarbeten
2. Pelarlängd i källare
3. Grundmurshöjd
4. Källartak (bjälklag i markplanet)
5. Ledningskulvertar

A.1 Markarbeten

A.11 Fall 1: källare

Bedömd jordschakt<sup>1)</sup> 1,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à 50:-/m<sup>3</sup>  
 Bedömd bergschakt 1,25 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à 150:-/m<sup>3</sup>

$$\text{Kostnad} = 1,25 \cdot 50 + 1,25 \cdot 150 = 250 \text{:-/m}^2$$

A.12 Fall 2: ej källare (golv på mark)

Bedömd jordschakt 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à 50:-/m<sup>3</sup>  
 Bedömd bergschakt 0,2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à 150:-/m<sup>3</sup>  
 Bedömd uppfyllning med grus 0,5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> à 120:-/m<sup>3</sup>

$$\text{Kostnad} = 0,5 \cdot 50 + 0,2 \cdot 150 + 0,5 \cdot 120 = 115 \text{:-/m}^2$$

1) inkl transport



A.2 Pelarlängd i källare

A.21 Fall 1: källare

Bedömd merkostnad = 15:-/m<sup>2</sup>

A.3 Grundmurshöjd

3.31 Fall 1: källare

Längd grundmurar som berörs ~ 200 m  
Ökad höjd = 2 m

Kostnad grundmur = 700:-/m<sup>2</sup>

$$\text{Kostnad} = \frac{200 \cdot 2 \cdot 700}{45^2} =$$

$$= 140:-/m^2$$

A.4 Källartak

A.41 Fall 1: källare

Nilconbjälklag, kostnad = 650:-/m<sup>2</sup>

A.42 Fall 2: ej källare (golv på mark)

Kostnad = 250:-/m<sup>2</sup>

A.5 Ledningskulvertar

A.52 Fall 2: ej källare

Ledningar under golv på mark antas kräva  
kulvert enligt nedan

Längd = 45 m

Höjd = 2 m

Bredd = 1,5 m

Kulvertkostnad = 3 000:-/m<sup>2</sup> kulvert

$$\text{Kostnad} = \frac{45 \cdot 2 \cdot 3000}{45^2} =$$

$$= 130:-/m^2$$

Sammanställning

	Fall 1 (källare)	Fall 2 (ej källare)
A.1 Markarbeten	250:-/m <sup>2</sup>	115:-/m <sup>2</sup>
A.2 Pelarlängder	15:-/m <sup>2</sup>	0
A.3 Grundmurshöjd	140:-/m <sup>2</sup>	0
A.4 Källartak	650:-/m <sup>2</sup>	250:-/m <sup>2</sup>
A.5 Ledn.kulvertar	<u>0</u>	<u>130:-/m<sup>2</sup></u>
SUMMA	1 055:-/m <sup>2</sup>	495:-/m <sup>2</sup>

Beroende på om ledningskulvert erfordras eller ej varierar alltså merkostnaden för fall 1 (källare) mellan 560 och 690:-/m<sup>2</sup>.

B. Kostnad för ackumulatortank

Planmått 9 x 18 m  
Djup 6 m

Golvyta = 162 m<sup>2</sup>  
Väggyta = 324 m<sup>2</sup>  
Takyta = 162 m<sup>2</sup>

Bergschakt	500 · 1,1 m <sup>3</sup>	à 150:-/m <sup>3</sup>	= 82 500:-
Golv	162 m <sup>2</sup>	à 400:-/m <sup>2</sup>	= 65 000:-
Väggar	324 m <sup>2</sup>	à 600:-/m <sup>2</sup>	= 194 500:-
Tak	162 m <sup>2</sup>	à 800:-/m <sup>2</sup>	= 130 000:-
Isolering	500 m <sup>2</sup>	à 150:-/m <sup>2</sup>	= 75 000:-
Diverse (rörinredning, inspektionslucka m m)			<u>53 000:-</u>
SUMMA			600 000:-

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
810919-2 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Sunstore KB, Nyköping**

**R14:1983**

**ISBN 91-540-3876-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6700714**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

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

**Cirkapris: 30 kr exkl moms**