

---

# Solvärme i Augustenborg

En förstudie

Martin Nilsson

Oscar Olsson

---

© copyright Institutionen för byggande och arkitektur, avdelningen för Energi och  
ByggnadsDesign, Lunds tekniska högskola 2004.  
Layout: Hans Follin, LTH, Lund

Tryck av KFS i Lund AB 2004

Rapport nr EBD-R--04/  
Solvärme i Augustenborg. En förstudie.  
Institutionen för Byggande och Arkitektur, Lunds tekniska högskola, Lund.

ISSN 1651-8128  
ISBN 91-85147-06-0

Lunds Tekniska högskola  
Energi och ByggnadsDesign  
Box 118  
221 00 LUND

Telefon: 046 – 222 73 52  
Telefax: 046 – 222 47 19  
E-mail: [ebd@ebd.lth.se](mailto:ebd@ebd.lth.se)  
Hemsida: [www.wbd.lth.se](http://www.wbd.lth.se)

# Förord

Detta examensarbete avslutar våra civilingenjörsutbildningar vid Lunds Tekniska Högskola och är skrivet vid institutionen för Byggnads- och Arkitektur, avdelning Energi och Byggnadsdesign.

Ett stort tack riktas till våra handledare på institutionen, Björn Karlsson och Andreas Fieber och till vår handledare inom Malmö Stad, Anders Nilsson. Vi vill också tacka övrig personal inom Malmö Stad som funnits där med all hjälp, framförallt Johan Larsson och självklart ett stort tack till vår idésprutande uppdragsgivare Peter Lindhqvist, Malmö Stad Serviceförvaltning. Tack alla runt om i landet som har ägnat sin tid åt oss och varit väldigt hjälpsamma. Det har varit fantastiskt kul att se vilket stort intresse personer visat som vi på ett eller annat sätt kommit i kontakt med i korridorer, under luncher eller ute på Augustenborgsområdet.

Malmö, 29 Mars 2004

Martin Nilsson

Oscar Olsson

---

# Sammanfattning

Malmö Stad Stadsfastigheter planerar att anlägga solfångare i stadsdelen Augustenborg i Malmö. Syftet med denna rapport, *Solvärme i Augustenborg – En förstudie*, är att tillhandahålla ett underlag till uppdragsgivaren Malmö Stad Stadsfastigheter, som vägledning till hur solfångarprojektet kan realiseras. Rapporten beskriver hur solfångare fungerar, då denna även skall öka kunskapen om solfångarteknik hos uppdragsgivaren, och på vilket sätt solvärmens kan nyttjas maximalt. För att väcka allmänhetens intresse är solfångaranläggningen tänkt att fungera som demonstration, där solfångartekniken åskådliggörs.

Det optimala sättet att kombinera solvärme med fjärrvärme anses vara användandet av solvärmens som förvärmning i systemet. Fem separata system föreslås med en varierande solfångararea från 19 till 240 m<sup>2</sup>. Den totala ytan solfångare inom Augustenborg uppgår till 530 m<sup>2</sup> och förväntas producera 143 MWh/år. Anläggningen beräknas kosta 2 235 000 kr, vilket med hjälp av ett beviljat LIP-bidrag på 50 % resulterar i goda ekonomiska förutsättningar för att producera värmen till ett konkurrenskraftigt pris.

---

# Abstract

Malmö Stad Stadsfastigheter is planning to set up solar collectors in the town district of Augustenborg in Malmö. The purpose of this report, *Solar system in Augustenborg – a preliminary study*, is to supply a foundation for the employer Malmö Stad Stadsfastigheter, as a guide to how the solar collector project should be implemented. The report describes how solar systems work and how heat can be exploited to the maximum, as its purpose is also to increase the employers knowledge on solar energy technique. To awaken the curiosity of the general public, the plant will also function as an exhibition, where sun energy technique is illustrated.

The optimal way of combining sun heat with district heating, is the use of sun heat as a preheating in the system. Five separate systems are proposed with a solar collector area ranging from 19 to 240 m<sup>2</sup>. The total area of the solar collectors in Augustenborg amounts to 530 square meters and is expected to produce 143 MWh per year. The cost of the plant is estimated at 2 235 000 Swedish Kronor, which with the help of an LIP grant will result in good economical conditions for producing heat at a competitive price.

---



---

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	2
1.3	Mål	2
1.4	Metod	2
1.5	Avgränsning	3
1.6	Disposition	3
<b>2</b>	<b>Teoribakgrund</b>	5
2.1	Solinstrålning	5
2.2	Solfångarens funktion och utformning	7
2.2.1	Plana solfångare	7
2.2.2	Vakuumsolfångare	9
2.2.3	MaReCo-solfångare	11
2.2.4	Poolsoolfångare	14
2.2.5	Hybrider	14
2.2.6	Solfångarens verkningsgrad	16
2.3	Dagens marknad	20
<b>3</b>	<b>Solvärmesystem</b>	23
3.1	Systemkomponenter	23
3.1.1	Akkumulator	23
3.1.2	Värmebärare	25
3.1.3	Värmeväxlare	25
3.1.4	Expansionskärl	26
3.1.5	Cirkulationspump	26
3.1.6	Styrning och övervakning	27
3.2	Systemuppbyggnad	27
3.2.1	System med ackumulatortank	28
3.2.2	System utan ackumulatortank	32
3.2.3	Decentraliserade system med eller utan ackumulatortank	34
3.2.4	System med kemisk värmelagring	35

<b>4</b>	<b>Augustenborg</b>	39
4.1	Förrådet 6	41
4.1.1	Befintligt värmesystem	42
4.1.2	Systemuppbyggnad	44
4.1.3	Dimensionering	49
4.1.4	Val och placering av solfångarna	50
4.1.5	Drift och underhåll	57
4.1.6	Förväntad produktion	57
4.1.7	Ekonomiska kalkyler	59
4.2	Augustenborgsskolan	60
4.2.1	Befintligt värmesystem	62
4.2.2	Systemuppbyggnad	64
4.2.3	Dimensionering	65
4.2.4	Val och placering av solfångarna	65
4.2.5	Drift och underhåll	69
4.2.6	Förväntad produktion	69
4.2.7	Ekonomiska kalkyler	70
4.3	Augustenborgsgården	71
4.3.1	Befintligt värmesystem	71
4.3.2	Systemuppbyggnad	72
4.3.3	Dimensionering	73
4.3.4	Val och placering av solfångarna	73
4.3.5	Drift och underhåll	74
4.3.6	Förväntad produktion	74
4.3.7	Ekonomiska kalkyler	74
4.4	Sofia behandlingshem	75
4.4.1	Befintligt värmesystem	75
4.4.2	Systemuppbyggnad	76
4.4.3	Dimensionering	76
4.4.4	Val och placering av solfångarna	76
4.4.5	Drift och underhåll	77
4.4.6	Förväntad produktion	77
4.4.7	Ekonomiska kalkyler	77
4.5	Augustenborgs förskola	78
4.5.1	Befintligt värmesystem	78
4.5.2	Systemuppbyggnad	79
4.5.3	Val och placering av solfångarna	79
4.6	Sammanställning solfångarsystem	80
4.7	Ekonomiska beräkningar	81
4.7.1	Annuitetsmetoden	81
4.7.2	Nusummemetoden	83
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	87
	<b>Referenser</b>	91

# 1 Inledning

Med stigande energipriser och allt mer miljömedvetna konsumenter växer intresset för solenergi på den europeiska marknaden. Solens strålar, innehållande en stor mängd energi, träffar hela tiden jordens yta och skall ett ekologiskt hållbart samhälle kunna utvecklas är denna energi viktig att utnyttja. Intresset för solvärmes väcktes i samband med oljekrisen under 1970-talet. Den svenska satsningen på forskning inom området har gett Sverige en framstående och vägledande roll på den europeiska marknaden. Detta gäller såväl mindre som större solfångarsystem. Trots den ansedda svenska solenergiforskningen är den svenska solvärmemarknaden liten i jämförelse med andra länders. Malmö Stad Stadsfastigheter har i ett led i sitt miljöarbete bestämt sig för att satsa på solvärme i Augustenborg. Denna rapport är en förprojektering till Malmö Stad Stadsfastigheters första stora solvärmeprojekt och kommer även att bidra till att öka deras kunskaper om solfångartekniken.

## 1.1 Bakgrund

Augustenborg är ett område i Malmö där satsning på en miljömässigt hållbar inriktning sker. Här finns en botanisk takträdgård med en demonstrationsanläggning av sedumtak på Malmö Stad Stadsfastigheters byggnader. Nästa steg i den ekologiska satsningen är på förnyelsebar energi, där solfångare och solceller skall ingå. Därför har ett projekt startats för att bygga upp till 1 000 m<sup>2</sup> solfångare och 100 m<sup>2</sup> solceller inom Augustenborg. Uppdragsgivare är Malmö Stad Stadsfastigheter och projektet finansieras delvis av LIP-bidrag. Denna rapport innefattar en förstudie om hur och till vilken utsträckning solfångare kan installeras på Augustenborg.

## 1.2 Syfte

*Solvärme i Augustenborg - En förstudie* har som syfte att vägleda Malmö Stad Stadsfastigheter med avseende på hur införande av solfångare skall kunna realiseras. Rapporten är tänkt att i sin förlängning fungera som en fallstudie för framtida projekt.

## 1.3 Mål

Målet med denna framställning är att belysa dagens teknikläge och ge en förståelse för hur solfångartekniken fungerar. Rapporten skall också innehålla dimensionering, placering och energiberäkningar av eventuella system på Augustenborg och rekommendera vilka typer av solfångare som är lämpliga att använda. Rapporten utgör ett examensarbete på 20 poäng inom vår civilingenjörsutbildning i elektroteknik vid LTH.

## 1.4 Metod

En litteraturstudie kommer att genomföras för att kartlägga solfångarmarknaden. Utvärderingar från genomförda projekt i Sverige undersöks och personliga kontakter tas med ledande forskare inom solenergi. Solfångarens funktion och ett solfångarsystems uppbyggnad studeras ingående.

Därefter görs en studie för projektet Augustenborg. Dagens värmesystem med aktuell värmeförbrukning kartläggs. Möjliga takytor för solfångare lokaliseras för att solfångarna skall få en optimal placering. Önskemål från uppdragsgivarna vägs in och slutligen läggs ett förslag till en bra lösning för införandet av solfångare fram.

Förstudien avslutas med en diskussion innehållande väsentliga moment som genomgått i projektet Augustenborg. Härtill belyses solenergens svaga punkter och det framtida svenska utnyttjandet av energi från solen.

## 1.5 Avgränsning

Rapporten kommer, med utgångspunkt från området Augustenborg, att behandla en förstudie om hur ett solfångarsystem kan anslutas till ett befintligt värmesystem där möjliga takytor, värmeförbrukning och möjlig systemlösning kartläggs. Hur den befintliga värmecentralen måste modifieras och vilka komponenter som in i minsta detalj måste ingå i solfångarsystemet behandlas ej, då detta kräver stor kunskap i VVS-teknik. En begränsning till svenska studier görs, dels för att Sverige är ledande inom solvärmeområdet och dels för att de nordiska klimatförhållandena gör att solvärmesystem skiljer sig från system på sydligare breddgrader. De solceller som ingår i projektet Augustenborg behandlas inte i denna rapport.

## 1.6 Disposition

Rapporten består av fem kapitel. I kapitel 2 redogörs en kortfattad teori och faktabakgrund om hur solens strålar träffar jorden, solfångarens utformning och dess funktion. I kapitel 3 presenteras ett systems uppbyggnad med ingående komponenter för att läsaren skall få en förståelse hur ett solfångarsystem fungerar. Kapitel 4 innehåller den förstudie som behandlar området Augustenborg. Kartlagd värmeförbrukning och befintliga värmecentraler ligger till grund för den möjlighetsanalys som kapitlet redogör. Resultatet av förstudien och förslag om hur solfångare bör installeras presenteras samt solvärmeinvesteringens lönsamhet ur en ekonomisk synvinkel. Kapitel 5 tar upp en diskussion och en analys om resultatet från föregående kapitel.



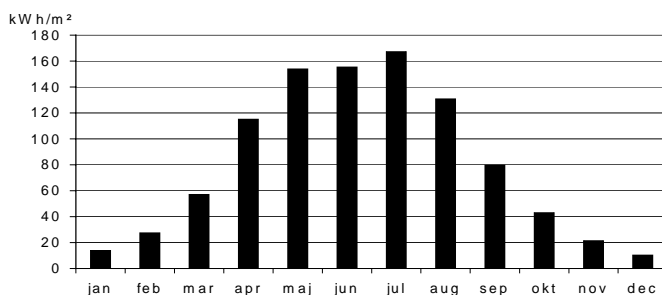
## 2 Teoribakgrund

Jorden träffas av en årlig energimängd från solen som är 15 000 gånger större än den totala energiförbrukningen (1990) världen över. [Andrén L. 1] Att kunna tämja denna solenergi har varit en utmaning under lång tid och det kommer att spela en stor roll för vår framtida energiförsörjning, såväl miljömässigt som ekonomiskt. Solfångare är en teknik som tar tillvara solens energimängd för att producera värme åt konsumenten. I detta kapitel redogörs för hur solinstrålningen beror av väderstreck och lutning, samt hur solfångare är utformade för att ta till vara energin på bästa sätt.

### 2.1 Solinstrålning

Solinstrålningen har stor betydelse för hur mycket energi som kan utvinnas från en solfångare. Solstrålarnas väg genom jordens atmosfär avgör vilken intensitet solljuset som träffar markytan har, desto kortare väg desto högre intensitet. I Sverige är solinstrålningen som mest  $1\,000\text{ W/m}^2$  mot en horisontell yta. Den totala årsinstrålningen mot en yta skiljer sig mycket beroende på vilken latitud ytan befinner sig på eftersom solstrålarnas vinkel mot markytan varierar. I södra Sverige är den genomsnittliga årsinstrålningen mot en horisontell yta drygt  $1\,000\text{ kWh/m}^2$  medan den i norra Sverige är cirka  $800\text{ kWh/m}^2$ . Detta kan jämföras med medeltalet för jordens ökenområden som uppgår till  $2\,200\text{ kWh/m}^2$ .

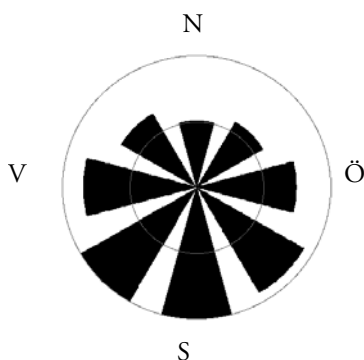
Solinstrålningen i Sverige innehåller tillräckligt med energi för att tillgodose hela vårt energibehov. Den solenergi som träffar ett ordinarie villatak är cirka fem gånger så stor som den energi som förbrukas i villan under ett år. [Andrén L. 2] Ett stort problem är att den största delen av solenergin går att utvinna under sommaren medan förbrukningen är som störst under vintern. Solinstrålningen mot en horisontell yta varierar enligt figur 2.1. [Andrén L. 1]



Figur 2.1 Solinstrålning mot en horisontell yta i södra Sverige fördelat över årets månader.

Det är inte bara över året som solinstrålningen varierar, utan även över dygnet. Dygnsvariationen kan liknas vid årsvariationen med störst intensitet mitt på dagen. Den effektiva drifttiden för en solfångare, det vill säga den tid då en solfångare kan utvinna värme, uppskattas till 1 200 timmar av årets 8 760 timmar. [Andrén L. 2]

Den instrålade energin som träffar en yta är beroende av både väderstreck och lutning mot horisontalplanet. Figur 2.2 visar hur årets totala instrålade energi mot en yta lutad 45° från horisontalplanet varierar i olika väderstreck. Pilen symboliserar norr i figuren. Störst instrålning erhålls för en yta som är riktad rakt åt söder.



Figur 2.2 Diagram över hur solinstrålningen mot en yta som lutar 45° från horisontalplanet förhåller sig för olika väderstreck under ett år. Den yttre ringen motsvarar en instrålning på 1 000 kWh/m<sup>2</sup> per år och den inre 500 kWh/m<sup>2</sup> per år.



Solintensiteten mot en yta varierar med ytans lutning i förhållande till solinstrålningen. Störst årsinstrålning mot en yta i södra Sverige fås med en lutning på runt  $45^\circ$  från horisontalplanet. Om ytan vinklas mer än  $45^\circ$  minskar årsinstrålningen, men ytan träffas av en större mängd solljus under vinterhalvåret. Detta beror på att under vår, höst och vinter står solen inte så högt på himlen vilket gör att ytor med brantare vinkel gynnas. På sommarhalvåret, när solen står högt på himlen, ökas på liknande sätt instrålningen för svagt lutande ytor. Normalt placeras solfångare i rakt söderläge med  $30^\circ$  till  $45^\circ$  lutning från horisontalplanet. [Andrén L. 1]

Ovan har det enbart diskuterats en total solinstrålning. Denna delas normalt in i direkt och diffus solinstrålning. Den direkta solinstrålningen är solljus som träffar en yta direkt från solen. En del av solljuset reflekteras eller absorberas i moln och material och den återstående reflekterade strålningen utgör den diffusa instrålningen. Störst energiinnehåll har det direkta solljuset som alltså är mest betydelsefull för värmeproduktionen i en solfångare. [Andrén L. 1]

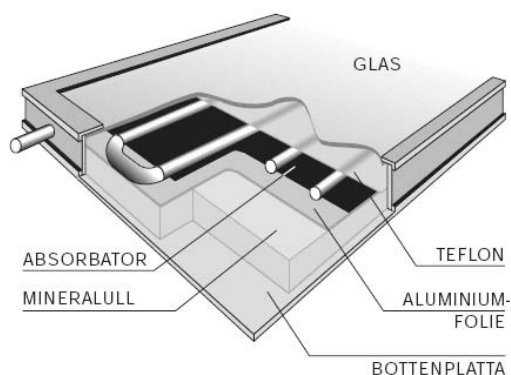
## 2.2 Solfångarens funktion och utformning

Teknologier som tar tillvara energin som finns i solljuset delas in i solfångare och solceller. Solfångare omvandlar energin till värme som sedan kan användas till tappvarmvatten och för uppvärmning av hus. Solceller däremot tar tillvara solljuset genom att göra om det till elektricitet. I dagsläget är solfångare det effektivaste sättet att utnyttja solenergin. Solvärmesystem består i stort sätt av enkel VVS-teknik där solfångarna kopplas till en värmecentral som tar hand om den producerade värmen. Värmecentralen måste innehålla någon form av ackumulator som jämnar ut produktionen från solfångarna. Mer ingående beskrivning av solfångarsystemets uppbyggnad återfinns i kommande kapitel. Den viktigaste delen i ett solvärmesystem är solfångaren och nedan följer en beskrivning av de vanligaste solfångarmodellerna.

### 2.2.1 Plana solfångare

En solfångares uppgift är att absorbera energin i solljuset och göra om den till värme, som sedan kan levereras ut i ett värmesystem. Den vanligaste solfångarmodellen är den plana solfångaren. Uppbyggnaden ses nedan i figur 2.3. En viktig komponent för alla solfångare är absorbatoren. Betydelsefulla fysikaliska egenskaper för absorbatoren är dess ab-

sorptans och dess emittans. Absorptansen är ett mått på hur bra materialet absorberar energin i solstrålarna och emittansen är ett mått på hur lätt materialet avger värmestrålning. En bra absorptor har hög absorptans och låg emittans. Aluminium och koppar är material som ofta används till absorptorn och för att förstärka dess egenskaper prepareras ytan med en så kallat selektiv yta. Denna yta består av ett oxidskikt som har låg reflektans för korta våglängder vilket ger en hög solabsorptans och hög reflektans för långa våglängder som ger låg termisk emittans. [Helgesson A. 14]



Figur 2.3 Uppbyggnaden av en plan solfångare [Helgesson A. 14]

När absorptorn har alstrat värme, måste denna energi ledas vidare i systemet. Absorptorn är därför försedd med ett rör som en värmebärande cirkuleras i. Värmebäraren består ofta av vatten blandat med glykol för att den inte skall frysa. Det finns även solfångarsystem som självdräneras då de ej är i drift, vilket innebär att vätskan aldrig riskerar att frysa. I ett sådant system består värmebäraren enbart av vatten. Värmen som tas upp av värmebäraren cirkuleras i systemet för att växlas till någon form av lagringsplats i en värmecentral. [Helgesson A. 14]

För att få en så stor verkningsgrad som möjligt i en solfångare måste alla värmeförluster minimeras. Det är därför viktigt att isolera absorptorn från omgivningen. Principen för den plana solfångaren är att detta görs genom att absorptorn placeras i en isolerad låda vilken då också skyddar absorptorn från väder och vind. Undersidan av lådan isoleras mot värmeförluster med exempelvis mineralull. Ovansidan av lådan beläggs med en glas- eller plastskena så att solljuset når absorptorn. En skiva med låg reflektion är att föredra så att stor del av solljuset når in i solfångaren. Glas med lågt järninnehåll har dessa egenskaper och an-

vänds därför ofta. Vissa tillverkare väljer att antireflexbehandla glasytan för att öka solinstrålningen i solfångaren. För att ytterligare höja solfångarens effektivitet kan en teflonfilm som omger absorbatoren användas. Teflonet gör så att den uppvärmda luften runt absorbatoren inte cirkulerar i solfångarlådan och därmed kyls av mot glasytan. Svårigheter med att fästa en teflonfilm på ett hållbart sätt har dock gjort att många tillverkare väljer bort teflonet. [Helgesson A. 14]

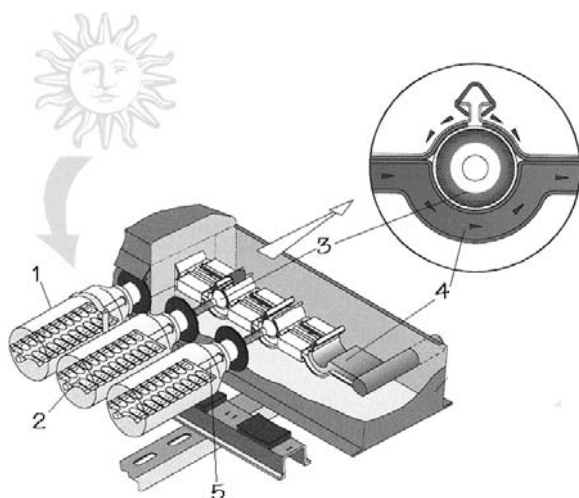
För att reglera temperaturen i solfångaren kan värmebäraren cirkuleras med varierande hastighet. Är temperaturen i solfångaren hög innebär det att förlusterna är höga. En låg temperatur på det ingående vattnet gör att solfångarens effektivitet ökar i och med att medeltemperaturen i solfångaren blir lägre. [Helgesson A. 14]

## 2.2.2 Vakuumsolfångare

För att minska värmeförlusterna från solfångaren finns det modeller som utnyttjar vakuums isolerande egenskaper, så kallade vakuumsolfångare. I dessa solfångare är absorbatoren placerad i ett glaströr med dubbla väggar där det är vakuum emellan. En jämförelse mellan plana solfångare och vakuumsolfångare har gjorts av Sveriges provnings- och forskningsinstitut. Testet är gjort för ett villasystem med 9,0 m<sup>2</sup> vakuumsolfångare och 12,22 m<sup>2</sup> plana solfångare. De slutsatser som gjordes var att vakuumsolfångare producerar cirka 50 % mer värme per år och kvadratmeter än plana solfångare, och skillnaden ökar om arbetstemperaturen för solfångarna ökar. Skillnaden mellan de olika solfångarnas produktion beror på vakuumsolfångarens låga värmeförluster, vilket gör att vakuumsolfångarna värms upp snabbare och producerar därmed värme vid lägre instrålningsintensiteter än plana solfångare. Den ökade isoleringen leder dock till att snö och frost ligger kvar lättare på vakuumsolfångare, vilket påverkar produktionen negativt. På årsproduktionen bedöms detta dock inte ha någon markant inverkan och det är enbart i frost- och snörika områden som frostproblemet eventuellt får en märkbar betydelse. [Kovács P. 17]

Det finns två principer för vakuumsolfångare, Heat Pipe och genomströmning. En principskiss för en Heat Pipe ses i figur 2.4. Den består av ett antal vakuumsrör med en absorlator i varje rör. Nummer 1 i figuren visar vakuumsröret som omsluter absorbatoren, nummer 2. Absorbatoren innehåller i sin tur en vätska som förångas då solen lyser på solfångaren. Gasen stiger uppåt till en metallplatta där värmen överförs via en torr värmeväxling till solfångarsystemets cirkulationskrets, nummer 3 i figuren. Värmen leds i sin tur bort från solfångaren genom värmebäraren som cirkuleras i en kanal som passerar alla värmeväxlare från mo-

dulens vakuumrör, nummer 4. Gasen kondenserar och rinner ner genom absorbatoren för att sedan förångas igen. Nummer 5 i figuren visar röret som innehåller kondensvätskan. Solfångarna måste placeras med värmeväxlaren på en högre nivå än absorbatoren, så att vätskan kan rimma ner i solfångaren efter kondensering. En vinkel på mer än  $10^\circ$  räcker oftast för att få rätt cirkulation på kondensvätskan.



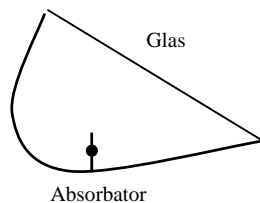
Figur 2.4 Bilden visar en vakuumsolfångare av typen Heat Pipe. [Viessmann 31]

Principen för en vakuumsolfångare med genomströmning skiljer sig från en Heat Pipe genom att värmebäraren cirkulerar genom absorbatoren i vakuumröret och sedan vidare ut i systemet. Principen är den samma som för den plana solfångaren. Verkningsgrad och kostnad för de två vakuummodellerna skiljer sig inte märkbart.

Den stora nackdelen med vakuumsolfångarna är att tillverkningskostnaden jämfört med andra solfångare är hög, vilket trots bättre verkningsgrad leder till en högre kostnad per kilowattimme. Under de senaste åren har priset på vakuumsolfångarna dock sjunkit kraftigt, främst i Kina där marknaden är betydligt större än i Europa. Detta har gjort att kilowattpriset i dagsläget kan börja konkurrera med övriga solfångare. [Olofsson P. 40]

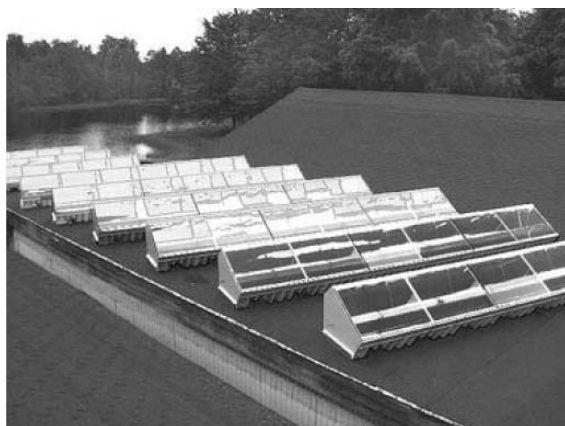
### 2.2.3 MaReCo-solfångare

MaReCo-solfångare är en koncentrerande solfångare av CPC-typ. MaReCo, Maximum Reflector Collector, har utvecklats i ett samarbete mellan Vattenfall Utveckling AB och Finsun. Syftet är att ta fram en solfångare anpassad för nordligare förhållanden till ett lågt pris. Solfångarna består av en absorbatör placerat i ett reflektortråg så att ljuset som träffar reflektorn koncentreras till absorbatören. Eftersom reflektormaterialet är billigare än absorbatören går det att sänka kostnaden för solfångaren.



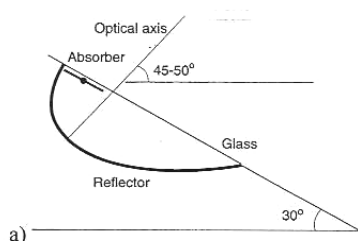
Figur 2.5 MaReCo-solfångare i genomskärning.

Den stora fördelen med MaReCo är att kostnaden på solfångaren kan minskas då det dyra absorbatormaterialet kan ersättas av reflekterande, billigare material. Kostnaden för en MaReCo-solfångare kan halveras jämfört med samma yta plan solfångare. Den optiska geometrin gör att solfångaren blir mer anpassad till nordligare breddgrader. Absorbatören liknar den som finns i en plan solfångare, men är konstruerad så att en effektiv värmeupptagningsförmåga finns på båda sidorna av absorbatören. Detta eftersom både framsidan och baksidan träffas av solstrålar. Genom att den varma ytan minskas i en MaReCo-solfångare kan värmeförlusterna minskas jämfört med plana solfångare. Nackdelen med MaReCo är att den optiska verkningsgraden minskar och mätningar visar att årsenergiutbytet per kvadratmeter från en MaReCo är ca 82 % jämfört med samma yta av en plan solfångare. [Helgesson A. 15]



Figur 2.6 MaReCo-solfångare placerade direkt på ett platt tak.  
[Foto: Karlsson B. 34]

MaReCo-solfångarens utformning gör att den lätt kan placeras direkt på platta tak eller på plan mark utan att dyra ställningar krävs. MaReCo-solfångare är däremot svåra att placera på ett lutande tak. För detta ändamål finns en MaReCo-solfångare som går att installera på tak med en lutning upp till  $30^\circ$ . Denna konstruktion gör att absorbatoren i solfångaren får samma lutning som taket. Skiss på en Tak-MaReCo ses i figur 2.7.

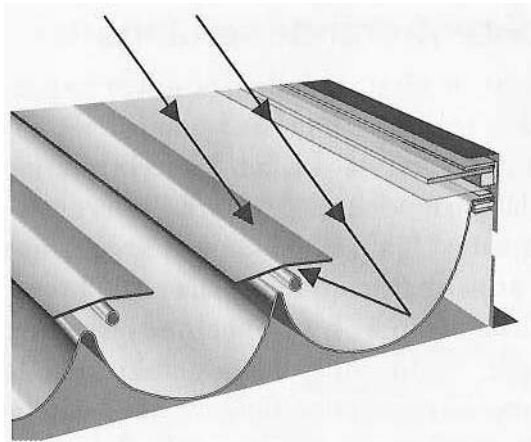


Figur 2.7 Tak-MaReCo i genomskärning, där konstruktionen gör att produktion blir reducerad under sommarmånaderna.  
[Helgesson A. 15]

Ett problem med solenergi är att värmeproduktionen inte följer värme-konsumtionen. Detta har varit huvudämnet när Tak-MaReCo solfånga-

ren utvecklades som en vår/höst-solfångare. Denna solfångare planar ut värmeproduktionen och gör att produktionen blir mer konstant under stora delar av året. Justeringen gör att en större mängd solfångare kan byggas, utan att riskera en överproduktion under varma sommarperioder med överhettning i systemet som följd. Reflektorn är utformad så att den inte fokuserar ljuset på absorbatoren då solen står högre än  $50^\circ$ . Detta gör att produktionen sjunker kraftigt mitt på dagen när produktionen annars skulle ha varit som högst. Då MaReCo-solfångare är relativt billiga och inte utgör en stor del av den totala systemkostnaden, kan det löna sig att satsa på vår/höst-MaReCo. Trots att produktionen blir sämre per kvadratmeter kan priset per kilowattimme bli lägre jämfört med andra sorters solfångare, vilket gör dem till ett bra alternativ förutsatt att monteringsyta finns att tillgå. [Helgesson A. 15]

CPC-solfångarna finns i många olika varianter. Figur 2.8 visar en modell som utvecklas och marknadsförs framförallt av BoRö AB. Det som utmärker modellen är att hälften av absorbatoren ersätts av en reflekterande plåt, vilket sänker solfångarens materialpris. Däremot minskar den optiska verkningsgraden på grund av reflektionsförluster och solfångaren får således en något lägre produktion jämfört med plana solfångare. [Helgesson A. 13]



Figur 2.8 *Tvärsnitt av en CPC-solfångare med reflektor och absorbator*  
[Andrén L. 1]

## 2.2.4 Poolsolfångare

Det finns solfångare som används i system där temperaturen inte är så hög, vanligtvis mellan 15 - 30°C. Detta innebär att solfångarnas konstruktion kan vara av betydligt enklare slag och solfångarna blir därmed billigare. Lågtempererade solfångare är oftast oglasade och oisolerade vilket gör konstruktionen mer känslig för vind och väder och bör därför placeras i skyddade lägen med lä. Lämpligt användningsområde är i system kopplade till utomhus- och inomhuspooler. Därför kallas solfångarna oftast för poolsoolfångare. [Andrén L. 1]

## 2.2.5 Hybrider

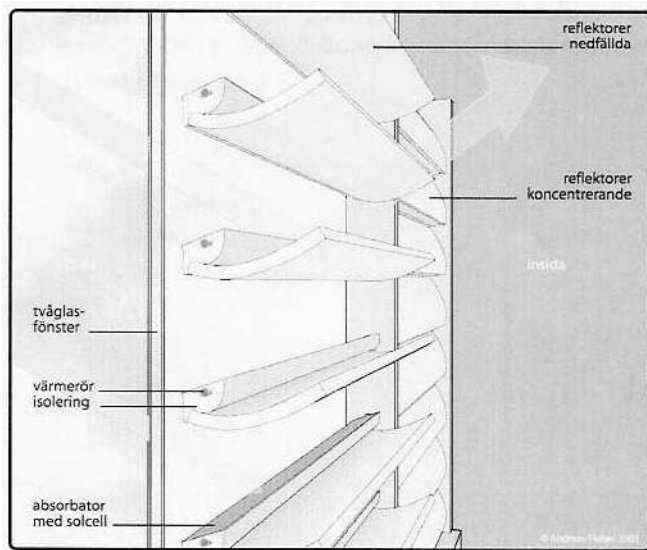
En hybrid innebär att en solcell och en solfångare kombineras i en och samma modul, som då producerar både värme och elektricitet. Hybriden är utvecklad framförallt för att förbättra solcellens förutsättningar för elproduktion. En solcells verkningsgrad blir högre när temperaturen sänks och genom att placera solcellen ovanpå solfångarens absorbator kyls solcellen av vattnet som cirkulerar i solfångarsystemet. Detta gör solcellen både effektivare och skapar samtidigt möjligheten att minska solcellsytan med hjälp av koncentrerande ytor. Att använda enbart solceller i en koncentrerande modul är inte möjligt på grund av de höga temperaturer som skulle uppstå. Alternativet är att använda solcellen i en hybridmodul. En koncentrerande hybrid ses i figur 2.9. För en solcell gäller att den minskade effektförlusten inte är proportionell till den skuggade arean, utan skuggas en solcell minskar elproduktionen kraftigt. För att minska risken att en solcell skuggas, används en genomskinlig sidovägg för denna hybrid.





*Figur 2.9 Koncentrerande hybrid med både solfångare och solceller. Den glasade gavel förhindrar skuggning av de yttersta solcellerna.  
[Foto: Nilsson M.]*

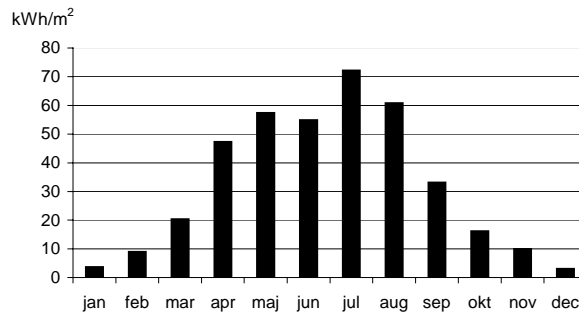
Solfångare kan med fördel integreras i byggnader. Genom integrering kan byggmaterial i huset ersättas med en solfångare, som då täcker både byggmaterialets och solfångarens funktion. Förutsatt att solfångarna monteras vid nybyggnation, eller i samband med renovering av ett hus, minskas den totala materialkostnaden vid anläggandet av solfångare. En variant på MaReCo-solfångaren har utvecklats för integrering i väggar. Dessa solfångarelement kan med fördel användas i kombination med solceller, alltså som hybrider. Arkitekt Andreas Fieber har vidareutvecklat väggelementen till en persiennliknande solfångare, som placeras innanför en glasruta. Dessa persiennlar går att fälla upp och ner beroende på om solinstrålning önskas i rummet. I uppfällt läge blir produktionen som störst och solfångaren minskar då även den värmestrålning som annars sker genom en glasruta. Figur 2.10 visar dessa persiennlar. [Fiber A. 11]



Figur 2.10 Koncentrerande hybrider designade för montering på insidan av ett fönster. Reflektorn går att fälla ner om ljusinsläpp önskas. [Fieber A . 32]

## 2.2.6 Solfångarens verkningsgrad

Verkningsgraden beskriver förhållandet mellan nyttiggjord och tillförd energi i ett system eller i en omvandlingsprocess. För en solfångare jämförs sambandet mellan solinstrålningen och den värme som solfångaren producerar. Faktorer som har betydelse för verkningsgraden i solfångare är väldigt många. Såväl materialvalet som driftsförhållanden har stor betydelse, vilket gör att verkningsgraden i solfångaren kommer att variera kraftigt under dess livstid. Hög temperatur i solfångaren innebär en låg verkningsgrad, där känsligheten för hög temperatur varierar beroende på vilken typ av solfångare det gäller. För ett solfångarsystem är det viktigt att titta på helheten i systemet och inte hålla fast vid enbart solfångarens verkningsgrad. Figur 2.11 visar hur produktionen från en solfångare kan se ut under ett år. Värdena kommer från en simulering i programmet Winsun och gäller för en kvadratmeter plan solfångare med en medeltemperatur på 50°C och en lutning på 40° riktad åt söder. Det totala årsutbytet från solfångaren i simulationen är 388 kWh/m<sup>2</sup>.



Figur 2.11 *Diagrammet visar utbytet från en kvadratmeter plan solfångare med 40° lutning i söderläge och en medeltemperatur på 50°C. Värdena är hämtade från en simulering i programmet Winsun.*

Att noggrant bestämma en solfångares årsutbyte är en komplicerad process. Därför har Björn Karlsson, Vattenfall Utveckling AB, tagit fram en metod för att förenkla den teoretiska bestämningen av energiutbytet från en solfångare. ”Karlsson Formel” kan användas för att beräkna energiutbytet med lika förhållanden för marknadens solfångare vid olika temperaturer. Innan formeln kan presenteras klargörs en del fysikaliska begrepp.

En solfångares egenskaper bestäms av den optiska effektiviteten,  $\eta_0$  och  $U$ .  $U$ -värdet är värmeförlustfaktorn som bestäms av hur välisolerad solfångaren är. Bra isolering sänker  $U$ -värdet. Den optiska effektiviteten bestäms genom att multiplicera täckglasets transmittans,  $\tau$ , med absorbatorns absorptans,  $\alpha$ .

$$\eta_0 = \tau * \alpha \quad (\text{Formel 1})$$

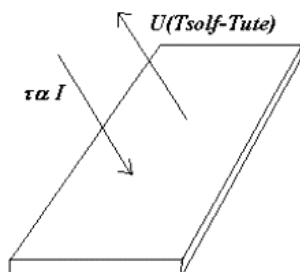
Den absorberade intensiteten, det vill säga hur hög intensitet som i varje ögonblick absorberas i absorbator, bestäms genom att multiplicera instrålningen per ytenhet,  $I$ , med den optiska effektiviteten.

$$\text{Absorberad intensitet} = I * \eta_0 = I * \tau * \alpha \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{Formel 2})$$

För att sedan bestämma den effekt som går förlorad, måste temperaturdifferensen mellan solfångartemperaturen och omgivningstemperaturen

bestämmas. Värmeförlusten fås genom att multiplicera U-värdet med temperaturdifferensen.

$$\text{Värmeförlust} = U * (T_{\text{sof}} - T_{\text{ute}}) \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{Formel 3})$$



Figur 2.12 In- och utflödena till en solfångare.  $I * \tau * \alpha$  är den absorberade instrålningen per ytenhet och  $U * (T_{\text{sof}} - T_{\text{ute}})$  är värmeförluster. [Karlsson B. 34]

Från resonemanget ovan kan nu solfångarens nyttiga effekt per ytenhet enkelt räknas ut genom "Karlssons Formel".

$$P = I * \eta_0 - U * (T_{\text{sof}} - T_{\text{ute}}) \quad (\text{W/m}^2) \quad (\text{Formel 4})$$

Verkningsgraden, som är förhållandet mellan producerad värme och instrålad effekt, kan nu räknas ut.

$$\eta = P / I \quad (\text{Formel 5})$$

För att ge ett exempel antas att solfångarens parametrar är enligt följande:

$$U = 4 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$\eta_0 = 0.80$$

$$T_{\text{sof}} = 60\text{°C}$$

Och övriga parametrar:

$$I = 1000 \text{ W/m}^2$$

$$T_{\text{ute}} = 15\text{°C}$$

Solfångarens effekt beräknas enligt formel 4 och verkningsgraden enligt formel 5:

$$P = 0.80 * 1000 - 4 * (60 - 15) = 620 \text{ W/m}^2 \quad \eta = 620 / 1000 = 62 \%$$

Mer intressant att veta är solfångarens ungefärliga årsproduktion. För att räkna ut denna kan formel 4 integreras över årets alla soltimmar, det vill säga solfångarens drifttid. Den totala årsinstrålningen som kan tas tillvara av solfångarna uppskattas vanligtvis till  $800 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ , i stället för den uppmätta nivån på dryga  $1\,000 \text{ kWh/m}^2$ . Skillnaden beror på att vid låg instrålning levererar inte solfångarna någon värme. Medeltemperaturen över året uppges vara  $13^\circ\text{C}$  och antalet soltimmar uppgår till 1 270 timmar. Dessa värden är typiska för mellersta Sverige och brukar användas vid ungefärliga uträkningar. Det totala utbytet från en solfångare under ett år, E, räknas ut med formel 4. Parametern G är den totala instrålningen över ett år i  $\text{kWh/m}^2$  och parametern t är drifttiden i antal tusen timmar. [Karlsson B. 34]

$$\begin{aligned} E &= \eta_0 * G - U * (T_{\text{sol}} - T_{\text{ute}}) * t && \text{(Formel 6)} \\ &= \eta_0 * 800 - U * (T_{\text{sol}} - 13) * 1,27 && (\text{kWh/m}^2\text{år}) \end{aligned}$$

Om det tidigare solfångarexemplet utvecklas fås följande årsproduktion:

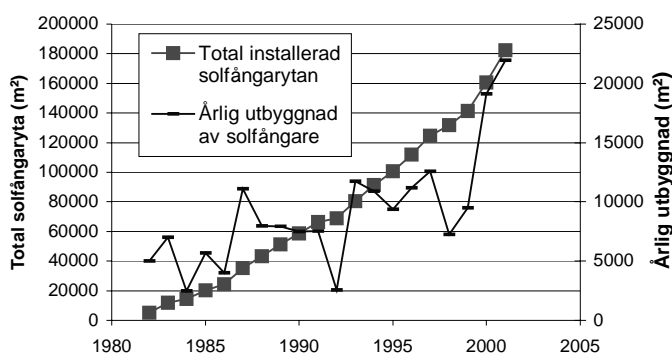
$$E = 0,80 * 800 - 4 * (60 - 13) * 1,27 \approx 400 \text{ kWh/m}^2\text{år} \quad \text{(Formel 7)}$$

Resultatet från beräkningen ovan säger hur effektiv solfångaren är. Detta ligger till grund för dimensioneringen av systemet, det vill säga antalet kvadratmeter solfångaryta som bör byggas. Att tänka på är att hela systemets verkningsgrad inte är lika med solfångarens verkningsgrad. Produktionen är inte jämt fördelad över året utan den största delen av produktionen är koncentrerad till ett par timmar under soliga sommardagar. Detta kan leda till en temperaturhöjning i systemet och verkningsgraden kommer att sjunka drastiskt. Ett feldimensionerat solvärmesystems verkningsgrad kan alltså vara betydligt lägre än solfångarnas framräknade värde. [Karlsson B. 34]

## 2.3 Dagens marknad

Intresset för solfångare i Sverige växer ständigt. Utbyggnaden som skett går däremot inte att jämföra med den i exempelvis Tyskland där större bidrag och de högre energipriserna lett till en solfångarutbyggnad betydligt större än i Sverige. En svår konkurrenssituation gentemot andra energikällor samt en svårförutsägbar energipolitik har bromsat utbyggnaden i Sverige. Villasystem har stått för den största expansionen av marknaden, där den totala solfångarytan ökade med 20 % per år under stora delar av 90-talet.

Trots att den småskaliga solvärmern har stått för den största delen av marknaden, har det i Sverige satsats mycket på att utveckla storskaliga solvärmeanläggningar. Denna utveckling har varit lyckad och många system i Europa bygger mestadels på svensk teknik. [Andrén L. 1] Ett diagram över den svenska utbyggnaden av solfångare ses i figur 2.13.



Figur 2.13 Diagrammet visar den totala installerade solfångarytan samt den årliga utbyggnaden av solfångare i Sverige från år 1982 fram till år 2001. [ESTIF 10]

Den klart största andelen av solfångare som byggs idag i Sverige är plana solfångare. Vakuumsolfångare står för endast 1 % av den totala solfångarytan (2001). [ESTIF 10] Detta beror framförallt på den stora prisskillnaden, men priset på vakuumsolfångare sjunker och börjar bli mer och mer konkurrenskraftigt.

SP, Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut gör tester och P-märkning av solfångare som redovisar dess egenskaper på ett opartiskt sätt. Vid testerna bestäms verkningsgraden för solfångaren noggrant under lika förhållanden, men även hållbarhet och materialval granskas.

Om alla tester godkänns blir solfångaren P-märkt. I dagsläget finns totalt nio P-märkta solfångarmodeller (exklusive poolsoolfångare), där fem utav dessa tillverkas och säljs av Arnes Plåtslageri AB. Det finns betydligt fler modeller som har ett godkänt inledande prov, men som ännu inte har blivit P-märkta. Nedan följer en lista över de solfångare som har blivit P-märkta av SP.

Tabell 2.1 Lista över Sveriges Provnings- och Forskningsinstituts P-märkta solfångare (040127), Listan innefattar inte poolsoolfångare. Årsutbytet är beräknat för solfångare vända mot söder i 45° lutning. Väderdata som används gäller för Stockholm 1986.[SP 30]

Tillverkare	Modell	Ref. area (m <sup>2</sup> )	Beräknat årsutbyte vid olika temperaturer. (kWh/m <sup>2</sup> år)		
			25°C	50°C	75°C
Arnes Plåtslageri AB	Aquasol	2,06	580	355	182
	Aquasol Big	4,10-12,35	608	408	259
	Aquasol Big AR	4,10-12,35	648	444	289
	Aquasol Long	4,08	573	379	226
	Aquasol Long AR	4,08	610	412	255
Gotherm AB	Gotherm High Tech (Vakuumsör)	1,25	744	651	552
Lartec Solenergi AB	Lartec 002	0,97	618	372	181
Effecta-Pannan AB	TeknoTerm ST/Effecta ST	2,51	584	393	238
Uponor AB	Uposun HT 2	2,32	486	238	96

En viktig faktor vid installation av solvärme är kostnaden per kilowattimme som systemet tillför. För att få en jämförbar kostnad används en specifik investeringskostnad, vilket innebär att anläggningens totala investeringskostnad fördelas på det antal kilowattimmar som produceras under ett år. När det gäller kostnaden för medelstora system samt för stora system är skillnaderna väldigt stora mellan olika system. Det kan bero på många faktorer, men en väsentlig sak är att många system är byggda i så kallat demonstrationssyfte, där ny teknik har testats. För

dess system har kostnaderna många gånger stigit till följd av teknisk osäkerhet. Anläggningarna har inte fungerat enligt beräkningar och stora efterjusteringar har då krävts. En utvärdering av nio demonstrationsanläggningar, med krav på ny teknik, där den genomsnittliga solfångarytan är på 625 m<sup>2</sup> visar att den specifika investeringskostnaden ligger inom intervallet 8 till 23 kr/(kWh/år). Investeringskostnaden för dessa anläggningar slutade på en nivå som i medeltal var 20 % högre än den beräknade. När det gäller system som har byggts på redan beprövad teknik visar en utvärdering av sex anläggningar en kostnad inom intervallet 6 till 18 kr/kWh. [Calminder B. 8]

FUD-programmet är ett forsknings- och utvecklingsprogram som har syftet att stärka solvärmens konkurrenskraft på den svenska marknaden. Ett av målen för programmet är att anläggningar i storleksordningen 300 m<sup>2</sup> skall kunna producera solvärme till en specifik investeringskostnad om 5 kr/årlig kWh. [Helgesson A. 13] Målet har dock visat sig vara svårt att uppnå, och slutsatsen har blivit att solvärme är långt ifrån ett kommersiellt stadium för medelstora anläggningar. För att få ekonomisk lönsamhet i ett medelstort system krävs att projektet subventioneras till viss del med bidrag. Ett viktigt steg i utvecklingen är att en mer standardiserad lösning tas fram för att minska kostnaderna och därmed behovet av bidrag. Detta är svårt då olika värmesystems konstruktion skiljer sig markant. [Calminder B. 7]



## 3 Solvärmesystem

Det stora problemet när det gäller solvärme är att energin finns tillgänglig under en kort tid på dygnet med väldigt hög koncentration. Så även för årsinstrålningen som är koncentrerad under sommarmånaderna. Värmebehovet under året är som störst när instrålningen är som minst, vilket gör det än mer besvärligt för solfångarsystemet som måste klara stora skillnader i driftsförhållanden. För att klara detta krävs en rad olika systemkomponenter, som var och en dimensioneras och väljs utifrån de förhållanden som råder för det system som skall byggas. Gemensamt för alla solfångarsystem är att en kompletterande värmekälla krävs eftersom solvärmens inte kan täcka hela årets värmeförbrukning. Vilken kompletterande värmekälla som väljs beror delvis på hur det befintliga värmesystemet är uppbyggt. Nedan begränsas de beskrivande styckena till system som är relevanta för det kommande projektet på Augustenborg.

### 3.1 Systemkomponenter

De vanligaste solfångarsystem är villasystemen. Dessa går att köpa som kompletta paket där alla komponenter i systemet är noga dimensionerade för en optimal drift. I dessa system kombineras solvärmens med en förbränningspanna eller en elpatron. Uppbyggnaden av villasystemen är i stort sett samma som för ett större system, men en viss skillnad i sättet att ackumulera värmen kan förekomma. Nedan beskrivs de viktigaste komponenterna som är återkommande för i stort sett alla solfångarsystem.

#### 3.1.1 Ackumulator

För att jämna ut variationerna i solenergiutbytet lagras värmeenergin i någon form av ackumulator. Denna ackumulator kan vara avsedd för

att lagra värmen över en längre tid, eller vanligare i ett par dygn. Vid produktion direkt till ett befintligt fjärrvärmesystem kan ett kulvertnät fungera som en ackumulator. Det vanligaste sättet att ackumulera värmen i ett solfångarsystem är i en välisolerad vattenfylld plåttank, där värme motsvarande 2 till 3 dygns solvärmeproduktion kan lagras. Ackumulatortanken jämnar ut variationerna från solfångarens produktion och den anpassas efter hur stort värmebehovet är och hur stor yta solfångare som kopplas in. Vanligtvis krävs en ackumuleringsvolym på mellan 50 och 80 liter per kvadratmeter solfångare beroende på systemets storlek och förväntad värmekonsumtion. Genom att utnyttja vattnets densitetsskillnad vid olika temperaturer fås en naturlig temperaturskiktning i ackumulatortanken. Tanken byggs på höjden för att öka skiktningen ytterligare. [Andrén L. 1]



Figur 3.1      *Akkumulatortank för värmelagring där vatten värms på två nivåer inuti tanken. [Andrén L. 1]*

I och med att en temperaturskiktning uppstår i tanken, kan värmebäaren kylas av i botten av tanken och hålla en lägre temperatur jämfört med övre delen av tanken när den pumpas till solfångaren. För att öka temperaturskiktningen förvärms kallvatten lågt i tanken för att sedan spetsvärmas i den övre delen av tanken. Om värmeflödet från tanken blir för stor kan skiktningen lätt störas. Detta innebär att temperaturen i botten av tanken blir hög och verkningsgraden i solfångarna minskar. Dessutom blir temperaturen i tankens topp lägre, vilket innebär att tillsatsvärme krävs i större utsträckning. Som hjälp till skiktningen kan

ett skiktningrör installeras i ackumulatortanken vilket leder inkommande värmefflöde till den nivå i tanken där den omgivande vattentemperaturen är samma. För större system med stora ackumulatortankar (1 500 – 3 000 liter) kan den stora tankvolymen göra att solfångarnas värmetillskott under vissa årstider blir obefintlig. En lösning med flera små tankar istället innebär att det skapas ett system där ackumuleringsvolymen kan anpassas efter rådande årstid, och dessutom ökar förutsättningarna för temperaturskiktning. På detta sätt minimeras den totala årsvärmeförlusten. [Andrén L. 1]

För säsongslagring, vilket innebär att värmen lagras från sommarproduktionen till vinterkonsumtionen, krävs det en betydligt lägre temperatur i ackumulatorn för att inte förlusterna skall bli för stora. Stora vattenfyllda berggrum eller borrhål i berg är exempel på sätt att säsongslagra värme. Värmen som lagras kan sedan användas i lågtempererade golvvärmesystem eller med hjälp av en värmepump höjas till en mer användbar temperatur. Trots lägre arbetstemperatur är sättet att lagra värmen en dyr process. För att lönsamheten skall bli acceptabel krävs väldigt stora system. [Helgesson A. 13]

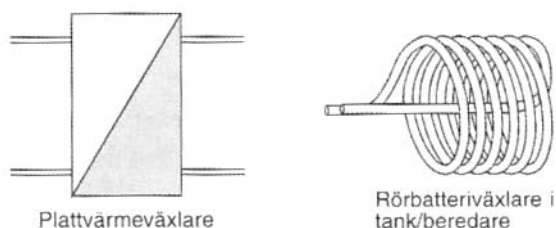
### 3.1.2 Värmebärare

Beroende på solfångarsystemets uppbyggnad, ställs olika krav på vätskan som transporterar värmen från solfångaren ner till ackumulatorn. Denna vätska kallas värmebärare. För de system som är dränerande, det vill säga de system där värmebäraren töms ur solfångarna då systemet ej är i drift, brukar värmebäraren vara vanligt vatten. För övriga system krävs en fryssäker vätska. Denna vätska är oftast glykolblandat vatten, vilket innebär en stor nackdel då glykolen inte är nedbrytbar i naturen. Det är i detta fall extra viktigt att samtliga ingående komponenter är anpassade att tåla värmebäraren så att inga läckage uppstår. [Andrén L. 1]

### 3.1.3 Värmeväxlare

För alla system där värmebäraren cirkulerar i ett slutet system, krävs någon form av värmeväxlare som överför värmen till ackumulatorn. En värmeväxlare överför värmen utan att vätskorna blandas. Typ av växlare väljs utifrån systemets uppbyggnad och storleken bestäms med hänsyn till temperaturkrav och cirkulation i systemet. För de mindre systemen, som använder sig av en ackumulatortank, är värmeväxlaren oftast en rörslinga som är monterad inuti tanken. I större solvärmesystem och i

de fall där ackumulatortanken inte är anpassad för solvärme, används en plattvärmeväxlare. [Andrén L. 1]



Figur 3.2 För en plattvärmeväxlare sker värmeväxlingen utanför ackumulatortanken medan ett rörbatteri monteras inuti en ackumulatortank. [Andrén L. 1]

### 3.1.4 Expansionskärl

En vätskas densitet beror på temperaturen. Ökar temperaturen ökar volymen. För att kompensera för denna volymändring i den slutna solkretsen behövs ett expansionskärl. Detta kärl kan antingen dimensioneras för att kunna ta upp hela volymen av värmebäraren, eller enbart den maximala volymökning som kan uppstå. Det finns solvärmesystem där värmebäraren dräneras från solfångarna när de inte alstrar värme. I dessa fall rymmer expansionskärlen hela solkretsens volym. Fördelen med det större expansionskärl är att vid ett eventuellt servicebehov kan värmebäraren lagras tillfälligt, utan att behöva tappas ur systemet. Om systemet skulle börja koka underlättar det dessutom om vätskan kan pressas in i expansionskärl utan att en säkerhetsventil behöver utlösas. [Andrén L. 1]

### 3.1.5 Cirkulationspump

För att cirkulera värmebäraren genom solfångarna används en cirkulationspump. Denna styrs från en reglercentral som startar pumpen då värmebärarens temperatur efter solfångaren blir tillräckligt stor. Flödet av värmebäraren kan i lite större system regleras efter aktuell värmeproduktion, så att temperaturen på värmebäraren i solfångaren hålls optimal. Det är viktigt att dimensionera cirkulationspumpen rätt, så att den klarar att pumpa runt värmebäraren i solfångarkretsen. Cirkulationspumpens elanvändning är i förhållande till den mängd värmeenergi som transporteras väldigt liten. Förutom cirkulationspump måste det finnas

en backventil som förhindrar att en ofrivillig självcirkulation uppstår. Även reglerventiler kan behövas i större system för att få ett jämnt flöde genom olika solfångargrupper.

Det finns även system som konstrueras utan cirkulationspump och drivs genom självcirkulation. Dessa system utnyttjar att kallt vatten är tyngre än varmt, vilket skapar en cirkulation i systemet. För att få cirkulation åt rätt håll i systemet, måste ackumulatorn placeras på en fysiskt högre nivå än solfångarna i systemet. Självcirkulerande system bygger på ett system där förbrukningsvattnet cirkuleras i solfångarna, så kallade direkta system. För svenskt klimat innebär detta en användning av solfångarsystemet endast sommartid, eftersom systemen inte är fryssäkra. Därav är dessa system sällsynta på våra breddgrader, men betydligt vanligare i länder med Medelhavsklimat. [Andrén L. 1]

### 3.1.6 Styrning och övervakning

För att styra cirkulationen i ett solfångarsystem krävs en reglercentral som läser av olika temperaturer i systemet och reglerar flöden därefter. En temperaturgivare placerad i solfångaren och en i värmelagret indikerar för reglercentralen när cirkulationen skall starta och stoppa. Temperaturdifferensen är oftast förinställd för att starta vid en differens på 5°C och stoppa vid 2°C. För att förlusterna i systemen skall hållas låga och på rimliga nivåer krävs en välinställd och kontrollerad cirkulation av värmebäraren. Det är därför viktigt att temperaturgivarna är rätt placerade och att de ger ett korrekt mätresultat. [Andrén L. 1]

Större system är ofta utrustade med ett mer ingående styrsystem, där ett centralt larmsystem skall indikera när det uppstår driftstörning. Styrsystemet kan ingå i ett datoriserat övervakningssystem, som utformas efter vilka krav som ställs av systemägaren. I övervakningen kan det även ingå att registrera data om hur mycket värme som produceras av systemet. Möjligheterna är stora, men kostnaden för en mer noggrann övervakning sänker ofta systemets ekonomiska lönsamhet. [Andrén L. 1]

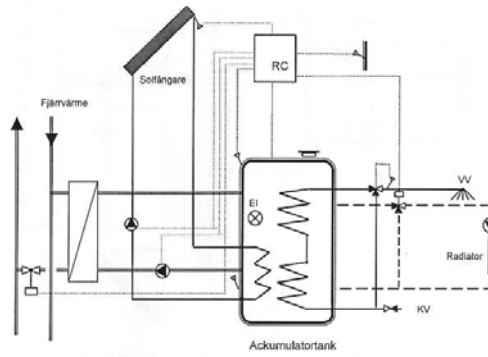
## 3.2 Systemuppbyggnad

Samtliga solfångarsystem kräver ett värmetillskott från en annan värme-källa för att täcka fastighetens värmebehov. Den kompletterande värmekällan väljs efter specifika önskemål från systemägaren i kombination med det befintliga värmesystemets förutsättningar. Hur sedan samver-

kan mellan värmekällorna fungerar kan lösas på olika sätt. Det vanligaste solfångarsystemet är ett system där en ackumulatortank blir utgångspunkt för värmedistributionen och den kompletterande värmekällan vid behov värmer vattnet i ackumulatortanken. Det finns även system utan ackumulatortank där ett fjärrvärmenäts kulvertar istället används för att ackumulera värmen. Lösningarna är många, så detta kapitlet är begränsat till de system där solvärme kombineras med fjärrvärme, då det är aktuellt för efterföljande kapitel.

### 3.2.1 System med ackumulatortank

För att förstå hur ett solfångarsystem med en ackumulatortank fungerar, studeras principen för ett enkelt villasystem. Utgångspunkt för alla värmeslingor är ackumulatortanken. Solfångarslingan har sin utgångspunkt i nedre delen av tanken där värmeväxlarna enligt figur 3.3 är placerade inuti ackumulatortanken. Värmebäraren kyls av till den lägsta temperatur som ackumulatorvattnet håller. Cirkulationspumpen som är placerad någonstans mellan rörmyningen på ackumulatortanken och infästningen på solfångaren, ser till att cirkulationen på värmebäraren i denna slinga blir den önskade. När värmebäraren sedan återvänder till ackumulatortanken skall temperatur vara minst ett par grader högre än när värmebäraren lämnade tanken. Om solfångarna har full instrålning höjs temperaturen betydligt mer. Ett rörbatteri som sträcker sig från en bit upp i tanken till tankens bottendel, växlar in värmen på en gynnsam nivå i tanken. Denna konstruktion kan ersättas av en konstruktion där en plattvärmeväxlare är placerad utanför tanken. Då solvärmen inte räcker till för att höja temperaturen i övre delen av ackumulatortanken till en önskad nivå, växlas fjärrvärme in via en plattvärmeväxlare.



Figur 3.3 Systemskiss över ett villasystem med ackumulatortank, där solvärmen kombineras med fjärrvärme och en elpatron. Systemet är kopplat för parallell drift. [Zinko H. 24]

För förbrukarslingan, till höger om ackumulatortanken i systemskissen ovan, ser värmeväxlingen i tanken något annorlunda ut jämfört med solslingan. Här förvärms kallvattnet lågt i tanken för att sedan spetsvärmas i den övre delen. Detta bidrar till den temperaturskiktning som önskas i ackumulatortanken. Systemet övervakas och styrs från en reglercentral som styr pumpar och ventiler beroende på driftsituation. För systemet i figur 3.3 finns utöver fjärrvärme en elpatron för tillsatsvärme. Behovet av elpatronen varierar beroende på systemets uppbyggnad.

### Växeldrift mellan solvärme och fjärrvärme

Solvärmeslingan och fjärrvärmeslingan kan kopplas till ackumulatortanken via en gemensam laddningskrets. Lösningen bygger på olika driftsfall mellan sommartid och vintertid. Under sommaren drivs systemet av solvärme med elektrisk tillsatsvärme och fjärrvärmen är därmed helt bortkopplad. Vintertid kopplas solfångarna bort så att värmen enbart växlas in från fjärrvärmenätet. En nackdel med detta är att solfångarnas produktion under vinterperioden inte kan tillvaratas, men lösningen blir enkel och produktionsbortfallet relativt litet. Vid omkoppling mellan sommar drift och vinter drift är det viktigt att systemet har konstruerats så att inte trycket i solfångarna överstiger det tillåtna. Normalt sätt är trycket på primärsidan i ett fjärrvärmenät högre än tillåtet tryck för solfångare. [Zinko H. 24]

## Paralleldrift med solvärme och fjärrvärme

Ett mer effektivt sätt att kombinera solvärmerna med fjärrvärme är att ansluta fjärrvärmerna via en separat plattvärmeväxlare till ackumulatortanken. På så sätt kan solfångarna drivas hela året och årsproduktionen från solfångarna kommer att bli större. Men detta innebär samtidigt ett mer komplext system och en ökad systemkostnad. Fjärrvärmerna kan användas som spetsvärme under hela året, men det går även att driva systemet med elpatronen som tillsatsvärm under sommaren och med fjärrvärme och solvärme på vintern. Systemskissen i figur 3.3 visar en sådan inkoppling. [Zinko H. 24]

Lösningen där både fjärrvärmerna och solvärmerna värmer vattnet i ackumulatortanken bygger på en modell av Heimo Zinko, Energiteknik AB, som går ut på att stänga av en del av fjärrvärmesystemet på sommaren. Om ett helt område har denna typ av solfångarsystem kan delar av ett fjärrvärmenät helt stängas av under sommartid. Priset på systemen kan dessutom bli låga, tack vare det stora antalet system som beställs samtidigt. Värmeförlusterna i fjärrvärmenätets kulvert nät försvinner under en period då fjärrvärmerna annars enbart hade använts i en liten mängd. Zinkos modell går ut på att solfångarsystem som drivs av ett fjärrvärmebolag kan producera solvärme billigare än konkurrerande energislag, tack vare att förlusterna i kulvertnätet försvinner. [Zinko H. 24]

## Solvärme som förvärmning

För att få ett effektivt solfångarsystem är ingångstemperaturen till solfångarna viktigt att hålla så låg som möjligt. Temperaturen i ackumulatortanken bör därför hållas låg. Med en systemlösning där både fjärrvärmerna och solvärmerna värmer ackumulatortanken måste temperaturen i ackumulatortanken ständigt hållas vid en nivå som krävs för konsumenterna. Ett alternativ är att endast förvärma förbrukarvattnet i ackumulatortanken, och spetsvärma med fjärrvärme. Det finns då inget temperaturkrav på vattnet i ackumulatortanken, utan temperaturen höjs först utanför tanken på förbrukarsidan. Under sommarmånaderna krävs troligen ingen spetsvärme alls, medan fjärrvärmerna står för i stort sätt hela uppvärmningen under vinterperioden. Systemet fungerar som två parallella värmesystem, där fjärrvärmens inverkan påverkas av tillgången till solvärme. Fördelen med denna typ av system är att utbytet från solfångarna blir stort genom att ackumulatortemperaturen hålls så låg. Systemlösningen används i flera anläggningar i Sverige där solvärme kombinerats med fjärrvärme och resultaten har varit mycket goda. I Markbacken

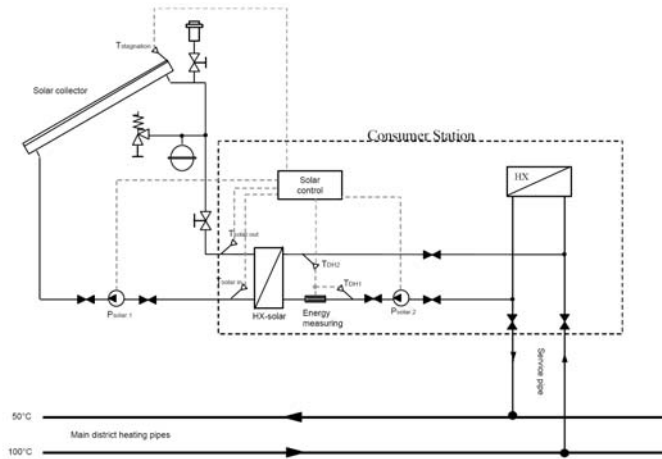




### 3.2.2 System utan ackumulatortank

Det finns ett antal anläggningar i Sverige där solfångare har kopplats direkt mot fjärrvärmenätet. Ett fjärrvärmenät förser ett stort antal fastigheter med värme och har ofta många olika energikällor. Lasten varierar mycket över året och sommarlasten utgör endast runt 10 % av vinterlasten. På sommaren består lasten endast av tappvarmvattenförbrukning och distributionsförluster. Driftstemperaturerna varierar över året. På vintern är det nödvändigt att framledningstemperaturen stiger till mellan 90°C och 100°C för att klara av att värma upp byggnader, medan det på sommaren räcker med temperaturer mellan 75°C och 80°C. I väl fungerande system som är anpassat för lägre temperaturer går temperaturen att sänka ännu lägre, vilket då minskar kulvertförlusterna. Temperaturen på returledningen brukar ligga ungefär 20°C under framledningstemperaturen. [Larsson S. 18]

Solfångare som är kopplade direkt mot ett fjärrvärmenät kopplas lämpligast in mellan retur- och framledning. På så vis kan solfångaranläggningen ses och köras precis som andra produktionsanläggning anslutna till fjärrvärmenätet. De flesta system där solfångare är kopplade till fjärrvärme är storskaliga projekt där ett fält med solfångare producerar värme som täcker baslasten under sommaren. Om solvärmesystemet producerar mer värme än fjärrvärmenätets lagringskapacitet, kan ackumulatortankar anslutas till fjärrvärmenätet så en större mängd värme kan lagras. Sveriges största solfångarfält är uppbyggt på detta sätt. Det är beläget i Kungälv och har en solfångaryta på 10 000 m<sup>2</sup>. [Calminder B. 8]



Figur 3.5 Systemskiss på ett solfångarsystem utan ackumulatortank, som är kopplat direkt till ett fjärrvärmenät. [Calmindler B. 9]

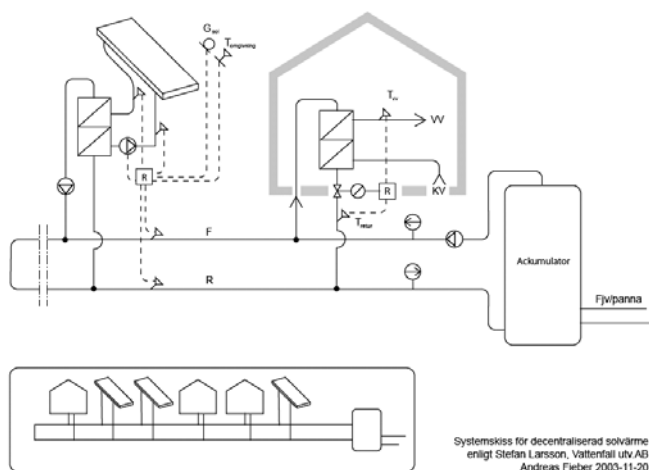
Inkopplingen av solfångarna till fjärrvärmenätet är en relativt enkel procedur, då det kallare vattnet i fjärrvärmens returledning cirkuleras i en krets fram till en plattvärmväxlare. Värmen från solfångarkretsen växlas här över till fjärrvärmvattnet som då leds in på framriktningen till en temperatur som motsvarar fjärrvärmenätets. För att skapa rätt temperaturförhållanden cirkuleras värmebäraren i solfångarkretsen och värmebäraren i fjärrvärmekretsen var för sig. En nackdel med att koppla solfångare direkt till ett fjärrvärmenät är den höga temperaturen som solfångarna måste uppnå för att kunna leverera energi till fjärrvärmenätets framledning. Temperaturkravet gör att förlusterna blir höga i solfångarna. [Larsson S. 18] Att placera solfångarna på ett fält och koppla in till fjärrvärmenätet kräver en uttemperatur från solfångarna på lägst 75°C. Solfångarna måste oftast placeras en bit ifrån konsumenterna, eftersom lediga markplatser i närheten av bostadsområden alltid medför en risk att de bli attraktiva platser för bostadsbyggnation i framtiden. Markplacerade solfångarfält ger däremot den billigaste solvärmen, då drift och övervakning är enkel. [Andersson G. 4]

En del fjärrvärmenät är dimensionerade för lägre temperaturer, så kallade lågtempererade fjärrvärmenät. Förutsättningarna för att installera solvärme i ett sådant nät blir således bättre. I de fall solvärmeanläggningen skall installeras i ett mindre fjärrvärmenät, med hög temperatur, kan det därför vara lönsamt att titta på om temperaturen i nätet går att

sänkas. Det finns en provanläggning i Älvkarleby, Riddersdal, där små ackumulatortankar, utrustade med elpatroner, installerats i vart hus trots att ackumuleringsvolymen var tillräcklig. De små tankarna gjorde det nämligen möjligt att sänka fjärrvärmes Temperaturen med över 20°C, vilket innebar att kulvertförlusterna halverades under sommarmånaderna. Dessutom ökade produktionen i solfångarna i medeltal med ungefär 100 kWh/m<sup>2</sup> och år. [Larsson S. 18]

### 3.2.3 Decentraliserade system med eller utan ackumulatortank

Ett decentraliserat solfångarsystem innebär ett system där utspridda solfångargrupper kopplas samman till en och samma ackumulator. I befintlig bebyggelse, där flertalet fastigheter är anslutna till ett lokalt fjärrvärmenät, skapas möjlighet att utnyttja de bäst lämpade takytorna för solvärme. Solfångarna kopplas in genom att värmebäraren i solfångarkretsen kyls mot fjärrvärmens returvatten, cirkulerar genom solfångaren för att sedan leverera värme in på fjärrvärmens framledning. Då kulvertnätet inte är tillräckligt stort för att lagra värmen från solfångarna, kan en ackumulatortank kopplas in för att öka värmelagringskapaciteten. Inkopplingen av solfångargrupperna kan se ut som i figur 3.6.



Figur 3.6 Systemskiss över ett decentraliserat solvärmesystem. [Fieber A. 32]

Då solfångarna producerar värme höjs trycket på framledningen och huvudpumpen till kulvertsystemet minskar sitt flöde. Detta gör att flö-

det i kulvertnätet ändrar riktning då produktionen är hög och värmen söker sig dit den behövs. Producerar solfångarna mer värme än vad alla byggnader förbrukar, leds värmen till ackumulatortanken. Det är därför viktigt att pumpar och ventiler designas så att flödet tillåts gå åt båda hållen utan att det påverkar systemet negativt. Temperaturen på framledningen hålls konstant genom att en pump med varvtalsreglering kontrollerar flödet genom solfångaren. Vid hög produktion ökas flödet istället för att temperaturen på framledningen stiger. Huvudpumpen till kulvertnätet är utrustat med en differensstryckmätare som känner av då värmeproduktionen överstiger kulvertnätets behov. När detta händer vänder pumpen på flödet och leder in värmen i ackumulatortanken med en låg inloppshastighet, för att få så stor skiktning som möjligt i ackumulatortanken. [Larsson S. 18]

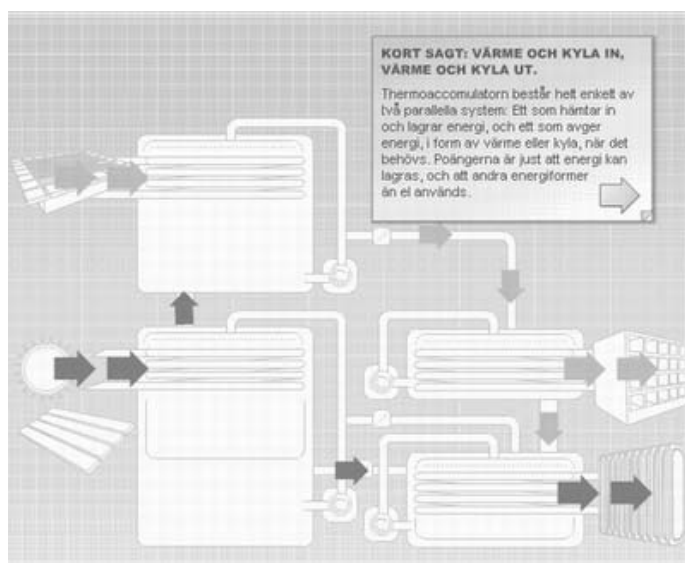
Decentraliserade system kan också förekomma i större fjärrvärmesystem där ackumulatortank inte är nödvändig, och flödet i kulvertarna är riktat åt samma håll. Solfångarna placeras då på befintliga tak och värmen pumpas in på fjärrvärmenätets framledning. Fördelen med den decentraliserade systemlösningen är att större solfångaresystem i bebyggd miljö inte behöver ta i anspråk dyrbar markyta och att ett fjärrvärmenät dessutom kan byggas ut successivt med solvärme alltefter behov, ekonomi och intresse. Då solfångarna är placerade i närhet till konsumenter, behöver värmebärarens temperatur från solfångarna inte överstiga 65°C eftersom förlusterna blir låga. Det gör att produktionen kan ökas jämfört med avlägsna solfångarfält på mark. Om krav på övervakning från fjärrvärmeverkets driftcentral krävs, som fallet är för Bo01 i Malmö, blir kostnaderna för mätutrustningen jämförelsevis höga. I de försök som har gjorts med decentraliserade system i Sverige har resultatet varit lovande och systemen har fungerat utan större komplikationer. För att systemen skall bli ekonomiskt intressanta krävs dock att solfångarna placeras i stora grupper för att hålla nere kostnaden för undercentraler. [Bernestål A. 6]

### 3.2.4 System med kemisk värmelagring

När värme från solfångarna skall tillvaratas är det klart vanligaste att värmen lagras i form av varmt vatten. Det har forskats på alternativa lagringsformer, med det har varit svårt att hitta en metod med samma energitäthet och som går att tillföra och föra bort värme ifrån tillräckligt snabbt. ClimateWell har däremot lyckats genom att lagra värmen som kemisk energi med hjälp av en saltlösning. En stor fördel med ClimateWells termoackumulator är att energin kan tas ut både som kyla och värme. Eftersom solinstrålningen är som störst när kylbehovet är som

störst, tros metoden kunna öka marknaden för solvärmeanläggningar. [Eriksson L. 26]

Metoden går ut på att två behållare är anslutna till varandra. I den ena finns en saltlösning och i den andra vanligt vatten. Då vattenmolekylerna är hårdare bundna till saltet kommer vattenmolekyler vandra från vattenbehållaren till saltbehållaren. På grund av avdunstningen sjunker temperaturen i vattenbehållaren. En varm och en kall behållare fås. Värme utvinns från den varma och kyla från den kalla behållaren. Genom att tillföra solvärme till den varma behållaren drivs vattenmolekylerna tillbaka till behållaren med enbart vatten, vilket gör att processen ej avstannar och kan fortsätta så länge värme tillförs. För att kunna ta ut kyla samtidigt som solvärme tillförs bereds lösningen i två behållarna, och energin tas ut genom ett slavsystäm. [Olofsson P. 40]



Figur 3.7 Med ClimateWells thermoackumulatör kan solvärme generera både värme och kyla. [ClimateWell 29]

Metoden har testats av Vattenfall Utveckling i Älvkarleby och resultaten har varit goda. Verkningsgraden för inmatning av värme via lagring och åter tillbaka till värmeenergi har en verkningsgrad på 88 %, medan verkningsgraden från värme till kyla ligger på 67 %. Den modell som tagits fram har en maximal kyleffekt på 10 kW och en maximal värmeeffekt på 38 kW. Lagringskapaciteten är uppmätt till 50 kWh kyla och

100 kWh värme. Kyleffekten beräknas räcka till att kyla en villa på 200 m<sup>2</sup>, samt ge värme till tappvarmvatten. [Karlsson B. 34]

Under 2003 påbörjades försäljningen av kylmaskinen och ett fåtal anläggningar är hittills i drift. Dessa har fungerat bra och potentialen för företaget förutspås vara stor, framförallt i varma områden där solinstrålningen är stor och kylbehovet är betydelsefullt.





## 4 Augustenborg

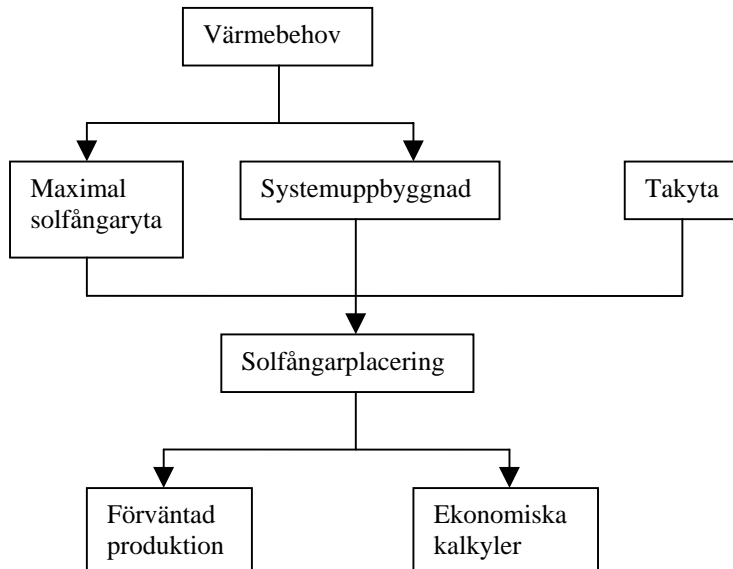
Augustenborg är en stadsdel i Malmö med en intressant historia. När kvarteret började byggas under tidigt 50-tal var det MKB: s, Malmö Kommunala Bostadsbolag, första flerbostadsprojekt. Området byggdes med målet att stadsdelen skulle bli en självförsörjande del i staden. Den inrättades med bland annat egen brandkår, skola, post och ett av Sveriges första snabbköp. Värmen producerades i ett lokalt koleldat fjärrvärmeverk, där även området sopor förbrändes. I början av 70-talet sjönk områdets popularitet, lägenheter stod tomma och förbränningsugnen stängdes av och ersattes av fjärrvärme från Malmös fjärrvärmenät. Bostadsbristen i Malmö på 90-talet gjorde att området åter befolkades. På grund av att stadsdelen präglades av sociala problem valde MKB att satsa på området för att återigen höja dess status. Augustenborg har nu blivit en ekologiskt anpassad stadsdel som åter står i fokus, både i Sverige och utomlands. [Graham T. 12]

Området som försetts med ett kombinerat spill- och dagvattensystem visade sig vara underdimensionerat, vilket ledde till översvämningsproblem under regniga perioder. För att lösa detta problem anlades ett öppet dagvattensystem med dammar som tar hand om vattnet. Även stora ytor med gröna tak anlades vilket minskar vattenavrinningen från taken. Gröna tak består av ett tunt vegetabiliskt skikt ofta bestående av sedumväxter som läggs på befintliga papptak. Augustenborgs gröna tak-anläggningen är Nordens största i sitt slag och fungerar både som utställning och forskningscenter för gröna tak. [Graham T. 12]

Nästa steg mot en ekologiskt anpassad stadsdel är att minska energiförbrukningen i området och öka andelen förnyelsebar energi. Genom att installera individuell värmemätning i alla lägenheter och använda dessa uppmätta värden som underlag för värmedebitering, skulle de boende kunna påverka sina boendekostnader med minskad värmeförbrukning. Värmeåtervinning från ventilationsluften planeras att tas till vara i det lokala fjärrvärmenätet. I ett samprojekt mellan MKB och Malmö Stad Stadsfastigheter planeras 1000 m<sup>2</sup> solfångare och 100 m<sup>2</sup> solceller att installeras, där Malmö Stad Stadsfastigheters andel finansie-



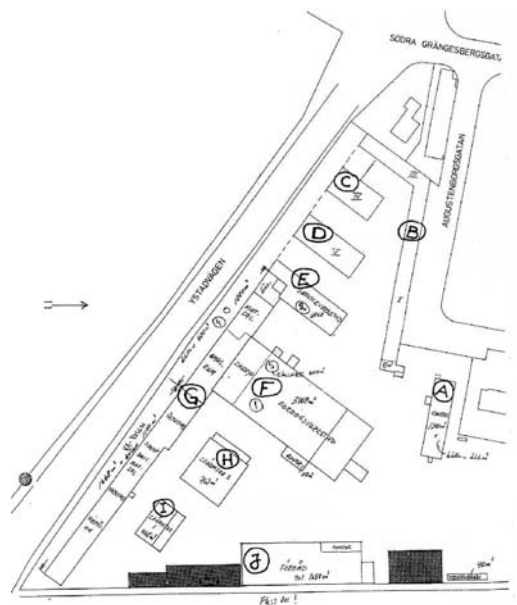
ler och förväntad produktion för systemet har slutligen beräknats. En skiss över arbetsgången ses i figur 4.2.



Figur 4.2 *Arbetsgång för framtagning av förslag till solfångarsystem på Augustenborg*

## 4.1 Förrådet 6

Förrådet 6 är ett kvarter bestående av cirka tio byggnader. Det är framförallt Kommunteknik som bedriver sin verksamhet här. En stor del av byggnaderna fungerar som kontor men här finns även verkstad för bland annat service och underhåll av tyngre fordon. En utbyggnad av kontorslokaler är på gång och flera av byggnaderna är under ombyggnad. En stor del av fastigheterna har belagts med sedumtak och Nordens största utställnings- och forskningsanläggning inom området har inrättats. Översiktsplan över området ses i figur 4.3.



Figur 4.3 Översiktsplan på Förrådet 6, ett område på Augustenborg som är aktuellt för solfångare.

I dagsläget sker ombyggnader i byggnad D och G som i framtiden kommer att fungera som kontorsbyggnader. Där byggnad E och G möts finns en utställningslokal för de gröna taken, vilka sträcker sig från byggnad B bort till byggnad G. I anslutning till dessa har det byggts en utanpåliggande gångbro längs takfoten runt byggnaderna, som gör det möjligt att beskåda takytorna på nära håll.

#### 4.1.1 Befintligt värmesystem

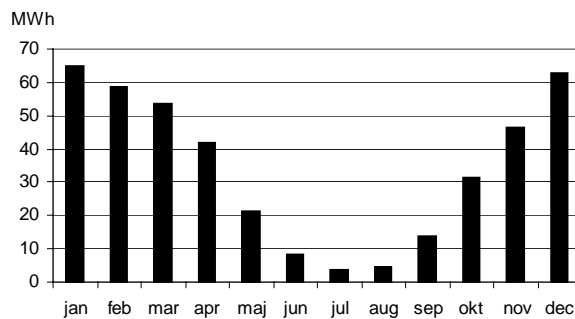
Hela Förrådet 6 förses i dagsläget med fjärrvärme som växlas in vid fyra olika värmecentraler. I tabell 4.1 ses förbrukningen på respektive central. Byggnad A försörjs med värme från B-byggnadens värmecentral och byggnaderna F, H, I och J försörjs från centralen i byggnad G. Detta innebär att det inte sker någon värmeväxling i de byggnader som inte finns med i tabellen.

Tabell 4.1 Årsförbrukningen av fjärrvärme för Förrådet 6. [Larsson J. 37]

Årsförbrukning fjärrvärme (MWh)				
	2000	2001	2002	2003
Byggnad B	396	421	385	419
Byggnad C	89	95	90	96
Byggnad D	120	143	125	ingen mätning
Byggnad G	1067	1751	1690	1646

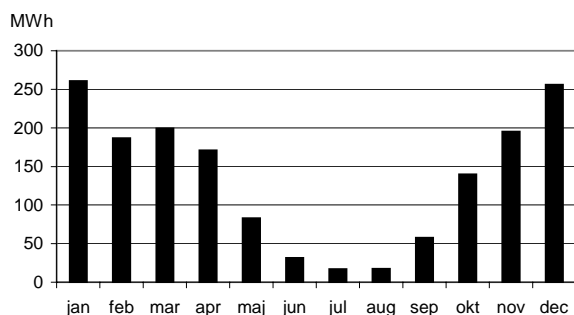
Som framgår av tabell 4.1 är värmeförbrukningen i central G betydligt större än i övriga centraler. Detta beror framförallt på att verksamheten som bedrivs där kräver mycket värme. Skillnader mellan olika år beror till största del på klimatvariationerna. Då inga större verksamhetsförändringar som påverkar värmeförbrukningen eller energibesparande åtgärder är planerade de närmaste åren, kommer energiförbrukningen bortsett från klimatförändringar att vara relativt konstant.

Vid dimensioneringen av ett solfångarsystem är en viktig faktor värmeförbrukningen under sommarmånaderna. Då är värmeproduktionen som störst och förbrukningen som minst och för att inte hamna i en situation då mer värme produceras än vad som förbrukas, måste ytan solfångare bestämmas utifrån sommarförbrukningen. Figur 4.4 och 4.5 visar hur energiförbrukningen fördelas över året för centralerna i byggnaderna B och G på Förrådet 6.



Figur 4.4

Fjärrvärmeförbrukningen per månad för värmecentralen i byggnad B, beräknat på data från de senaste fem åren. [Larsson J. 37]



Figur 4.5 Fjärrvärmeförbrukningen per månad för värmecentralen i byggnad G, beräknat på data från de senaste fem åren. [Larsson J. 37]

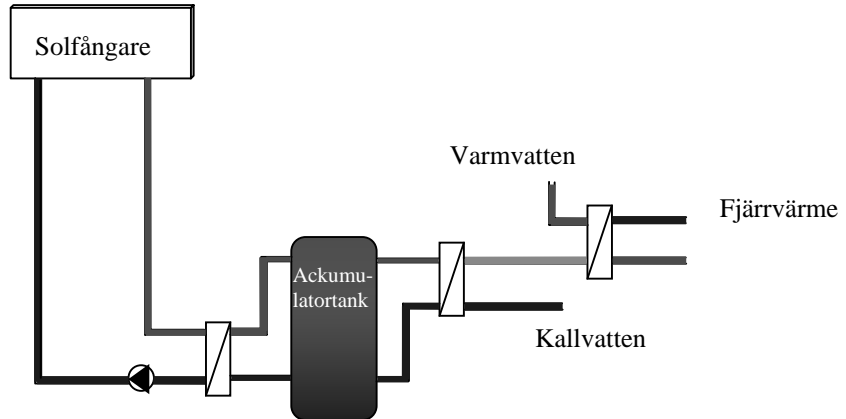
I diagrammen ses hur förbrukningen minskar kraftigt under sommar-månaderna. Eftersom det inte finns något behov av att värma upp byggnaderna sommartid används all värme till tappvarmvatten och resterande är cirkulationsförluster i systemet.

#### 4.1.2 Systemuppbyggnad

Då det finns fyra värmecentraler på Förrådet 6 blir en systemlösning där alla byggnader är inkluderade ett komplicerat och dyrt projekt, då hela det befintliga värmesystemet måste modifieras. Den lägsta förbrukningen finns vid centralerna i byggnad C och D. Taken på dessa hus är belagda med takträdgårdar vilket gör att solfångare inte kan placeras i nära anslutning till undercentralen. Utöver placeringsproblemen skulle installationen bli kostsam på grund av att ytan solfångare som krävs för att täcka förbrukningen skulle bli relativt liten. Då kostnaderna för att anpassa undercentralerna för solvärme i stort sett är oberoende av solfångarytan skulle energipriset för solvärme till dessa centraler bli högt. Ackumulatortank, som krävs för att utjämna dygnsproduktionen, finns det i dagsläget inget utrymme för, vilket fördyrar installationen ytterligare. Dessa faktorer gör det mindre lämpligt att ha solfångare anslutna till dessa centraler. De två centraler som därför är mest aktuella för solvärme är belägna i byggnad B och byggnad G.

För de flesta solfångarsystem som byggs i Sverige dimensioneras arean solfångare efter sommarbehovet av värme. Systemalternativet på Förrådet 6 bygger på denna modell, vilket innebär att solfångare instal-

leras i den mängd som motsvarar tappvarmvattenförbrukningen. Centralerna i byggnad B och G förses med liknande solfångarsystem med ackumulatortank, som är anpassad efter förbrukningen och där sedan fjärrvärme används som komplement till solvärmen.



Figur 4.6 Principskiss över ett solvärmesystem där solfångarna används för förvärmning. [Nilsson M.]

Genom att låta solfångarna fungera som förvärmning och sedan använda fjärrvärmen som spetsvärme, kan solfångarsystemet göras väldigt effektivt. Inkopplingen ses i figur 4.6. Systemlösning har fördelen att ackumulatortanken under stora delar av året håller en låg temperatur vilket ger effektivt utbyte i solfångarna. Systemet är dimensionerat så att värmeproduktionen inte övergår värmeförbrukningen under en längre tid. I Markbacken i Örebro har ett system med solfångare som förvärmare ritats av Gunnar Lennermo, Energianalys AB. Värmesystemet på Förrådet 6 har liknande förutsättningar som det i Markbacken, vilket gör att en likartad systemlösning kan användas här. Anläggningen i Markbacken har fungerat mycket bra och solvärme har kunnat produceras till en låg kostnad. [Nilsson L. 22]

När solfångare nyttjas i kombination med fjärrvärme behöver systemet konstrueras så att temperaturen på fjärrvärmenätets returledning inte blir för hög. Detta går att lösa på olika sätt, och lösningen är beroende på hur värmecentralen är uppbyggd. Skulle returtemperaturen bli för hög kan det leda till att straffavgifter tas ut av fjärrvärmeleverantören.

En konsekvens av systemalternativ med ackumulatortank är att tanken tar stor plats och problem med takhöjden uppstår ofta. Takhöjden

var inte tillräcklig för systemet i Markbacken, vilket har gjort att tre parallellkopplade ackumulatortankar används. För Förrådet 6 är lösningen med parallellkopplade tankar den mest fördelaktiga lösningen. Skulle en stor ackumulatortank användas skulle en utbyggnad behöva göras, vilket innebär stora kostnader.

### Systemalternativ med kylproduktion

Det sker en hel del ombyggnad på Förrådet 6 idag och lokaler byggs om för att användas som kontor. Värmeförbrukningen anses dock inte förändras märkbart inom en snar framtid. Däremot kan värmeförbrukningen öka om värme väljs att nyttjas för kylproduktion. Att använda solvärme för att producera kyla är mycket fördelaktigt eftersom solen lyser som mest när kylbehovet är som störst. I den utställningslokal som finns i byggnad G och matsalen som ligger i anslutning, finns ett stort behov av kyla. I A-byggnaden med kontor finns det redan ett kylaggregat. När detta behöver bytas ut skulle en soldriven kylanläggning kunna vara ett alternativ.

Det finns två olika metoder för att omvandla värme till kyla. En ny teknik som är introducerad på marknaden är utvecklad av ClimateWell AB och bygger på en kemisk värmelagring. Metoden är lovande och spås kunna hjälpa solvärmetekniken att kommersialiseras på allvar. Med hjälp av en saltlösning lagras energi kemiskt i en tank. Energin kan användas för att få ut antingen kyla eller värme beroende på vilket behov som finns. Anläggningen tar liten plats och skulle med cirka 30 m<sup>2</sup> solfångare kunna producera 10 kW kyla. Fram till idag har ett fåtal anläggningar prövats i Sverige med ett bra resultat. I och med att tekniken är ny så bör detta system inte vara sammankopplat med det övriga solvärmesystemet. Solfångarna som driver kylmaskinen kopplas i ett självständigt system med eget reglersystem. ClimateWell AB bör konsulteras för att få rätt förutsättningar för ett fungerande system. [Olofsson P. 40]

En mer beprövad metod är sorptionskylare som på Augustenborg skulle kunna drivas med solfångare. Sorptionskyla är ett effektivt sätt att producera kyla på och driftskostnaderna kan minskas med 30 - 40 % jämfört med konventionell kylteknik. I Sorptionskylmaskiner finns effektiva värmväxlare som sparar värme på vintern genom att värma tilluften med frånluften. Nackdelen med systemet är att kylmaskinen tar stor plats. Munters Europe AB är den största leverantören av dessa kylsystem i Sverige och flertalet anläggningar har utförts i kombination med solvärme. [Berggren T. 43]



## Alternativa systemuppbyggnader

En alternativ systemlösning som undersökts innebär att en del av den solproducerade värmen distribueras till MKB:s lokala värmenät. Centralen i byggnad G är oförändrad från föregående systemalternativ men lösningen för centralen i byggnad B skiljer sig helt från den i byggnad G. MKB växlar i dagsläget in värmen från Sydkrafts fjärrvärmenät till ett lokalt lågtempererat nät med en temperatur som håller sig runt 60°C. Den låga temperaturen är fördelaktig för inkoppling av solfångare, då solfångarna alltid kan drivas vid en gynnsam temperatur. Istället för att lagra värmen i en ackumulatortank ansluts centralen i byggnad B till MKB:s nät som kommer att användas som ackumulator. Detta lokala fjärrvärmenät är så pass stort att ytan solfångare inte längre behöver anpassas efter energiförbrukningen.

Fördelen med systemlösningen i byggnad B är att MKB:s nät är tillräckligt stort för att förbruka all den värme som produceras av solfångarna. Detta innebär att ingen ackumulatortank behövs och svårigheterna att få rätt cirkulation och temperaturskiktning i ackumulatortanken försvinner. Ytan solfångare kan dessutom väljas fritt och påverkar inte systemets effektivitet. Den egna förbrukningen av solvärme förändras däremot eftersom solvärmen inte lagras i anslutning till värmecentralen. Den del av den producerade solvärmen som förbrukas i det egna systemet blir vad värmeförbrukningen är vid produktionstillfället. Detta innebär att om solfångarna producerar mer värme än vad som för tillfället förbrukas kommer den överstigande delen att säljas in på MKB:s nät. Denna lösning innebär att mängden producerad värme är viktigare än en egen minskad fjärrvärmeförbrukning. Den yta solfångare som kan monteras i Stadsfastigheters regi blir större, men MKB:s bostadshus kommer att förbruka den mesta solvärmen. Från centralen i byggnad B finns det eventuellt en kulvert dragen som kopplar samman värmesystemet på Förrådet 6 med MKB:s fjärrvärmenät. Kulverten har inte används på flera år och skicket på dessa kulvertar är oviss och bör undersökas om alternativet blir aktuellt. Att dessa är i bra skick och inte behöver bytas ut är avgörande för att ett system i samverkan med MKB inte skall bli orimligt dyrt.

Ett mål med projektet är att kunna minska fjärrvärmeförbrukningen samtidigt som värme produceras till en rimlig kostnad. För att få en större täckning av årsförbrukningen av värme har möjligheterna att säsongslagra värme undersökts. Säsongslagring har provats på ett antal olika platser i Sverige, men ingen ekonomisk rimlig och fungerande metod finns idag. De system som byggs idag har vanligtvis ett lager som klarar att lagra värme upp till en vecka. Dessa lager består av en acku-

mulatortank med vatten som värms upp av solvärmen. Alternativet att öka volymen på tanken så att kapaciteten höjs till att lagra värme i ett par månader har undersökts. Vid långtidslagring krävs cirka 2 - 3 m<sup>3</sup> lagervolym per kvadratmeter solfångare. [Andrén L. 1] Tankens volym för säsongslager på förrådet 6 skulle behöva vara flera hundra kubikmeter stor och skulle väga upp mot 1 000 ton. Det skulle bli en dyr byggnation och förlusterna skulle vara mycket svåra att hålla nere. För att hålla förlusterna på en rimlig nivå lagras värmen vid en låg temperatur runt 30°C. Sedan används en värmepump för att höja temperaturen till nättemperatur. Då det åtgår energi för att höja temperaturen med värmepumpen minskar systemverkningsgraden ytterligare. Kontentan blir att kostnaderna för att bygga systemet för säsongslagring i stället för dygnslagring blir så oerhört stora i förhållande till vad systemet ger, att det inte blir försvarbart att göra detta val. De försök som har gjorts i Sverige med säsongslager är gjorda i betydligt större sammanhang där ytan solfångare uppgår till 10 000 m<sup>2</sup>. Detta är en förutsättning för att merkostnaden som säsongslagringen innebär fördelas på fler kilowattimmar. Solvärme kombinerat med bergvärme är en annan typ av säsongslagring. Den har provats i Anneberg i Stockholm, där 2 400 m<sup>2</sup> solfångare värmer upp ett 60 000 m<sup>3</sup> stort berg till 45°C. Värmen används på vintern och värmer bostäderna, med elvärme som komplement. Anläggningen stod klar våren 2002, men har fortfarande inte kunnat leverera någon värme på grund av driftsproblem. [Åfreds J. 27] Att använda solvärme kombinerat med bergslagring på Förrådet 6 är inte realistiskt, då det krävs stora solfångarytor och driftsäkerheten är osäker.

Ett effektivt sätt att utnyttja solvärmen är att koppla solfångarna till ett större system där förbrukningen överstiger produktionen. Ett alternativ att koppla ihop solvärmesystem på Förrådet 6 med Sydkrafts fjärrvärmenät är en möjlighet. Systemet skulle inte behöva ackumulatortank och överskottsvärmen levereras in på fjärrvärmenätet genom att vatten från fjärrvärmenätets returledning värms upp och pumpas in på framledningen. En förutsättning är att temperaturen i värmebäraren från solfångarna är minst lika hög som temperaturen i fjärrvärmenätet, det vill säga mellan 70 - 110°C beroende på utomhustemperaturen. Den årliga produktionen för en enkel plan solfångare som jobbar med en arbetstemperatur på 90°C är mindre än hälften så stor jämfört med en arbetstemperatur på 60°C. Detta gör att energikostnaden i ett sådant system kommer att bli avsevärt mycket högre än om arbetstemperaturen är låg.

### 4.1.3 Dimensionering

Grundregeln för att dimensionera ett solfångarsystem med ackumulatortank är att värmeförbrukningen under en sommarperiod inte får vara mindre än den totala produktionen från solfångarna under samma tid. Statistiken över värmeförbrukningen finns i avsnitt 4.1.1 *Befintligt värmesystem* och bygger på månadsavläsning av värmeförbrukningen. Den förväntade solvärmeproduktionen simuleras fram med hjälp av Winsun, som är ett simuleringsprogram framtaget av Vattenfall Utveckling AB som med hjälp av solfångartyp, vinkel och riktning kan beräkna solvärmeproduktionen. För att få en uppfattning av hur stor yta solfångare det rör sig om för de två tänkta systemen på Förrådet 6, har simuleringarna jämförts med värmeförbrukningen. Simuleringarna är gjorda för plana solfångare med en medeltemperatur på 60°C riktade rakt åt söder med en lutning på 45° från horisontalplanet. En mer noggrann produktionsberäkning tas upp i avsnitt 4.1.6. *Förväntad produktion.*

Då produktionen är störst och förbrukningen minst under sommarmånaderna är det endast juni, juli och augusti som behöver undersökas för att komma fram till största solfångarearea som inte medför överproduktion. I tabell 4.2 framgår värmeförbrukningen för byggnad B under de olika månaderna samt vad en plan solfångare producerar under samma period. Den begränsade arean beräknas enligt följande:

$$\text{Begränsad solfångarearea (m}^2\text{)} = \frac{\text{värmeförbrukning (kWh)}}{\text{värmeproduktion (kWh/m}^2\text{)}}$$

Tabell 4.2: Data över värmeförbrukning, förväntad solvärmeproduktion och därmed den begränsade solfångarytan på Förrådet 6. Beräkningarna är gjorda i Winsun för en plan solfångare med en medeltemperatur på 60°C och lutningen 45°.

Månad	Förbrukning	Solvärme-produktion	Begränsad area
Juni	8 MWh	43 kWh/m <sup>2</sup>	195 m <sup>2</sup>
Juli	4 MWh	60 kWh/m <sup>2</sup>	64 m <sup>2</sup>
Augusti	5 MWh	50 kWh/m <sup>2</sup>	96 m <sup>2</sup>

Som ses i tabell 4.2 är det juli månad som begränsar arean till 64 m<sup>2</sup>. Solfångarearea kan inte bestämmas exakt, då värmeförbrukningen skil-

jer mycket mellan olika år. Ett medelvärde för de senaste fem åren har därför använts. Ytan som beräknats fram har minskats något för att överproduktionen inte skall bli för hög under åren med låg värmeförbrukning. En lämplig area är ungefär  $50 \text{ m}^2$  solfångare kopplade till B-byggnadens undercentral.

Görs beräkningar på samma sätt för byggnad G ger det en lämplig area på  $220 \text{ m}^2$ . Denna area är framräknad för att täcka värmeförbrukningen. Skall solvärme användas för kylproduktion kan arean ökas med  $20 - 30 \text{ m}^2$  beroende på kylanläggningens värmebehov. Den exakta arean dimensioneras av tillverkarna efter det att placeringen av solfångarna är fastställd.

Akkumulatortankens volym beräknas med utgångspunkt att 80 liter tankvolym krävas till en kvadratmeter solfångare. [Lennermo G. 36] För solfångarsystemet kopplat till byggnad B motsvarar det en ackumulatortank på  $4 \text{ m}^3$ . Till G-byggnadens undercentral krävs att en ackumulatortank på  $17 \text{ m}^3$  installeras.

#### 4.1.4 Val och placering av solfångarna

Vid installationen av ett solfångarsystem finns det många faktorer att ta hänsyn till för att öka systemets lönsamhet. Förutom rätt lutning och riktning på solfångarna är det en fördel att placera solfångarna så nära värmecentralen som möjligt. Detta dels för att inte förlusterna skall bli stora och dels för att hålla nere kostnader för rördragningar mellan solfångarna och undercentralen.

#### B-byggnaden

Värmecentralen i byggnad B försörjer även byggnad A med värme. Taket på byggnad A ligger i rakt söderläge och har en lutning på  $30^\circ$  och är därmed en bra plats att placera solfångare på, se figur 4.7.



Figur 4.7 *A-byggnaden på Förrådet 6, där solfångare kan placeras direkt på taket. [Foto: Fieber A.. 32]*

Taklutningen gör att inga ställningar krävs för att få solfångarna i rätt lutning från horisontalplanet, utan dessa kan monteras direkt på det befintliga taket. Den relativt höga byggnaden gör att risken för skuggning av solfångarna är obefintlig, men innebär samtidigt att monteringen blir en mer komplicerad procedur och därmed ett något dyrare moment. Solfångarna som monteras på byggnad A kommer att anslutas till centralen i byggnad B. Problem kan uppstå med rördragningar mellan solfångarna och värmecentralen. Det finns kulvertar mellan A- och B-byggnaden som inte används, men skicket på dessa är dock tveksamt. Om kulvertarna ej fungerar kommer kostnaderna bli för höga för att dra nya kulvertar och alternativa placeringar bör undersökas i anslutning till B-byggnaden.

På grund av de gröna taken och den forskning som pågår där, gör att det inte är lämpligt att placera solfångare på B-byggnadens tak. Ett alternativ är att bygga ett fristående solskydd framför B-byggnaden. Byggs solskyddet med bredden 1 m och längden 50 m fås den önskade ytan på 50 m<sup>2</sup>. Solskyddet kan antingen byggas av plana solfångare eller av vakuumsolfångare. Då måtten på vakuumsolfångare på marknaden inte passar in i den tänkta utformningen av solskyddet, föreslås en konstruktion med plana solfångare. Arnes Plåtslageri AB, som tillverkar Aquasol, kan konstruera måttbeställda solfångare utan allt för höga prispåslag, där även tjockleken kan minskas för att passa ändamålet.

[Ståhl B. 35] Lutningen på solfångarna har valts till 20° från horisontalplanet. En skiss över solskyddet ses i figur 4.8. Då det är problem med hög värme i byggnad B under soliga sommardagar kommer solfångarna att ha dubbel effekt, då de skuggar instrålade sol och samtidigt producerar värme. Denna lösning blir troligen billigare än solfångarplacering på A-huset och får dessutom en pedagogiskt bättre syfte tack vare skuggningseffekten, den tydliga exponeringen och närheten till värmecentralen.



Figur 4.8 Skiss på förslag till solskydd för byggnad B. [Fieber A. 32]

## G-byggnaden

Eftersom i stort sett alla takytor på Förrådet 6 är täckta av gröna tak, har konstruktören Ulf Larsson från Konstruera i tidigt skede kontaktats för att undersöka takens bärighet. Denna utredning visar tyvärr på att i de fall som solfångarna placeras på tak täckta av gröna tak, måste ett fackverk monteras som lyfter upp solfångarna från taket för att minska takbelastningen. Fackverket tillverkas billigast i limträ och skulle också fungera som en ställning för att få solfångarna i en bra vinkel från horisontalplanet. [Larsson U. 44] Konstruktionen innebär dock en väldigt hög kostnad enbart för de bärande ställningar som krävs. Av de takytor som finns i anslutning till centralen i byggnad G är taket på byggnad F intressant eftersom stora takytor finns att tillgå. För att taket skall klara vikten från solfångare måste de gröna taken tas bort. En rimlig uppskattning är att de gröna taken väger lika mycket som en solfångare per

kvadratmeter, vilket innebär att samma yta gröna tak måste tas bort som ytan solfångare som blir installerad, eftersom taken redan är maximalt belastade. Detta antagande bör dock ses över av en konstruktör, så att vikten blir rätt fördelad över taket. Takytan som finns att tillgå på byggnad F är ungefär  $700 \text{ m}^2$  på vardera sidan om lanterninen uppe på den översta takdelen. Båda sidorna av taket är lämpliga för en solfångarplacering, men mest aktuell är den halvan av taket som kan ses från gröna tak-utställningen, det vill säga den västra delen. Lutningen på detta tak är  $10^\circ$  med västnordvästlig riktning. För att minska belastning på taket placeras plana solfångarna på ställningar på de bärande takreglarna. Dessa har ett inbördes avstånd på fem meter, vilket också blir avståndet mellan solfångarna. Placeras solfångarna diagonalt över två bärande pelarna kommer de att få en i princip rakt sydlig riktning. Solfångarna lutar med  $45^\circ$  från horisontalplanet för att få en så stor produktion som möjligt. Kostnader för ställningar och infästning uppskattas till  $1\,000 \text{ kr/m}^2$  solfångare. [Larsson U. 44] Mellan solfångarna kan reflektorer placeras. Enligt projektet på Markbacken i Örebro är det ekonomiskt lönsamt att installera reflektorer, då kostnaderna för systemet ökar med 16 % medan produktionen ökar med 22 %. [Nilsson L. 22]

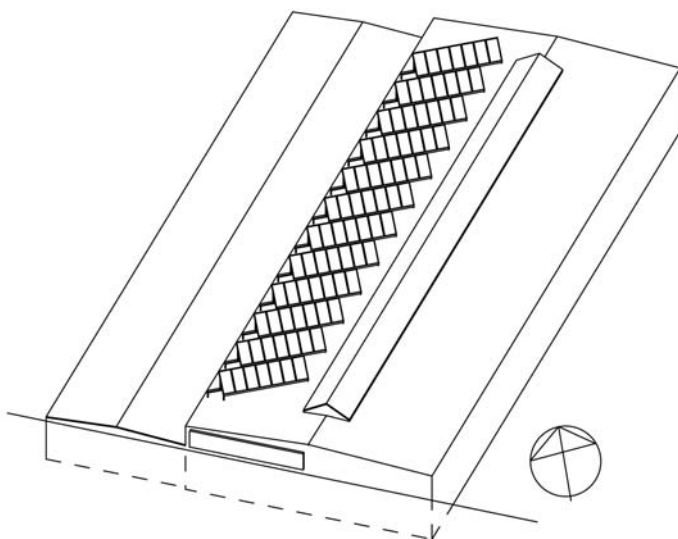
Aquasol har stor erfarenhet av större system och deras plana solfångare Big 10,5 är en lämplig solfångare att använda på F-byggnaden. Den har en höjd på 2 320 mm och med två moduler bredvid varandra blir bredden 9 520 mm. [Ståhl B. 35] Det får plats tolv rader, men tio rader med solfångare räcker för att nå arean  $220 \text{ m}^2$ , vilket behövs för att täcka värmeförbrukningen på sommaren.



Figur 4.9 Förslag till placering av  $250 \text{ m}^2$  solfångare på F-byggnaden, Förrådet 6. [Fieber A. 32]

Från uppdragsgivarens sida finns det önskemål om att bygga en demonstrationsanläggning som visar upp olika tekniker och modeller av solfångare. Denna anläggning önskas ligga i anslutning till den gröna takutställningen som finns på Förrådet 6. För att komma nära solfångarna undersöktes möjligheten att bygga en gångbana på F-byggnadens tak, där flera olika solfångartyper kan demonstreras enligt figur 4.9. På grund av säkerhetsskäl och höga kostnader blir detta alternativ ekonomiskt ogenomförbart. [Lindhqvist P. 41] Solfångarsystemet på F-byggnaden kommer därför bara innehålla en typ av solfångare och inga gångbroar kommer att byggas. Demonstrationen kommer istället ske i anslutning till befintliga gångbroar med solfångare som inte kommer att kopplas in till värmesystemet.

F-byggnaden har en gavel åt söder. På denna kan 20 m<sup>2</sup> vägg-MaReCo placeras i syfte att gynna solfångarens utveckling. En inkoppling med samma styrsystem som F-byggnadens solfångare gör att utbytet inte kommer att bli optimalt för vägg-MaReCo solfångarna men skall dessa få kvadratmeter styras separat kommer således kostnaden att bli hög i förhållande till energiutbytet. Syftet med att använda vägg-MaReCo är mera att visa upp ny teknik än att öka energiutbytet för solfångarsystemet.



Figur 4.10 Skiss över solfångarnas placering på F-byggnadens tak.  
[Fieber A. 32]



Utställningslokalen för ”gröna tak” -utställningen har en stor glasad fasad mot söder. Större delen av fasaden skuggas av solskyddslameller. I trapphuset däremot finns det stora glasytor som gör att lokalen blir mycket varm under soliga sommark dagar. Andreas Fieber har tagit fram en persiennlamell med kombinerad solfångare och solcell. [Fieber A. 32] En utförligare beskrivning återfinns i avsnitt 2.2.5 *Hybrider*. Denna typ av hybrid rekommenderas att installeras innanför glasfasaden. Varje ruta är 1,4 m<sup>2</sup> stor och installeras hybriderna i 6 av rutorna uppgår ytan på 8,4 m<sup>2</sup>. Ljusinsläppet genom fönstret kan regleras genom att fälla upp eller ner den reflekterande delen av hybriderna. Solfångarna kopplas till undercentralen i G-byggnaden. En skiss hur entrén skulle kunna se ut i framtiden ses i figur 4.11.



*Figur 4.11 Bild som illustrerar hur persiennlameller skulle kunna installeras i trapphuset i G-byggnaden på Förrådet 6. [Fieber A. 32]*

Persiennlamellen löser dock inte problemet med hög värme i utställningslokalen, utan behovet av en kylanläggning kommer att kvarstå. En intressant produkt är ClimateWells kylmaskin som med hjälp av värmen från solfångarna skapar kyla. Placering av solfångare som driver kylmaskinen görs lämpligast på F-byggnaden. Två rader med ClimateWells vakuumsolfångare placeras på den södra delen av taket. Exakt

area dimensioneras av ClimateWell. Kylanläggning kan placeras i källaren under utställningslokalen.

## Demonstrationssyftet

Ett mål med solfångarprojektet på Augustenborg är att solfångaranläggningarna skall demonstrera olika typer av solfångare. För att besökare skall få möjligheten att studera solfångarna på nära håll placeras de lämpligt i anslutning till de gångbryggor som finns runt byggnaderna, det vill säga vid utställningen av gröna tak. Att ansluta solfångarna till värmecentralen i byggnad G innebär förutom långa rördragningar ett komplicerat styrsystem, då olika solfångarmodeller har olika driftsparametrar. Eftersom det endast kommer att röra sig om någon kvadratmeter solfångare av varje modell innebär en inkoppling till värmecentralen en stor kostnad i förhållande till den värme som kan utvinnas och bör därför undvikas. Av utställningsbesökare kan detta dock tolkas som att solfångare inte är effektiva värmeproducenter om dessa inte är inkopplade till systemet. En display för vad solfångarna som är inkopplade producerar bör därför användas, för att visa att solfångare inte bara är utställningsföremål, utan även bidrar till minskad fjärrvärmeförbrukning.

Förslaget är alltså att montera de olika demonstrationssolfångarna utan att de blir inkopplade till värmesystemet. Detta kan av många uppfattas negativt, eftersom solfångarna inte fyller någon funktion förutom demonstrationssyftet. Det gäller då att lyfta fram monteringen av solfångare från andra synvinklar förutom värmeproduktionen. Forskning visar att växterna på de gröna taken trivs bättre i kombination med solfångare, genom att biodiversiteten ökar i de skuggade områdena. [Frith M. 39] Detta kan vara ett intressant område för forskarna inom gröna tak att undersöka närmare. Ett bra samarbete med ansvariga för gröna tak-utställningen skapar en möjlighet att forma en intressant miljö där solfångare kombineras med gröna tak. Värmen från de enskilda solfångarna kan om behovet finns höja temperaturen i små vattensystem som kan användas för de gröna taken. En inriktning mot en yngre generation kan skapa en lekfull miljö med solfångare. Skyltar i anslutning till de olika solfångarna som beskriver modellen med dess prestanda ger kunskap i området.

Dagens solfångarmodeller är beskrivna i kapitel 2.2, *Solfångarnas funktion och utformning*. De solfångaremodeller som är intressanta att demonstreras är den plana solfångaren, CPC-solfångaren, MaReCo-solfångaren, Vakuumsolrören samt någon form av Pool-solfångare. Dessa

modeller visar väsentliga tekniska skillnader och skapar tillsammans en uppfattning om vad som är viktigt i solfångarens konstruktion.

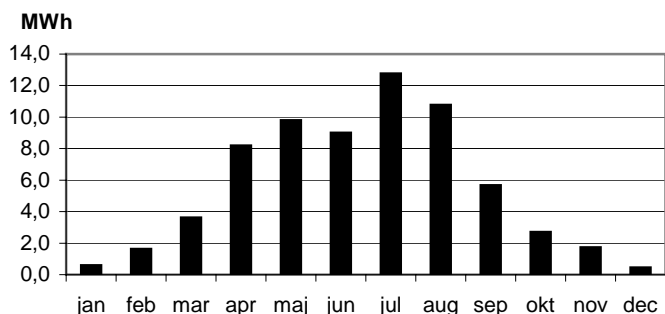
#### 4.1.5 Drift och underhåll

Ett solfångarsystem med bra reglersystem skall vara i princip självgående. Däremot krävs det övervakning över systemet så att driftproblem tidigt kan åtgärdas. Det är också viktigt att leverantörer i samband med slutbesiktningen lämnar över en drift- och skötselanvisning. Här bör finnas datablad för varje komponent som ingår i systemet, samt instruktioner för vissa funktioner som påfyllning av värmebärare och inställning av termostater. Normala driftparametrar för flöde och temperaturer bör ingå i anvisningarna. Driftkostnaderna uppskattas till 3 öre per producerad kilowattimme. [Andrén L. 1]

#### 4.1.6 Förväntad produktion

För att beräkna hur stor värmeproduktionen blir har programmet Winsun använts. Simuleringarna har gjorts för plana solfångare riktade åt söder men ingen hänsyn till specifika modeller görs, utan enbart vilken typ av solfångare som används. Medeltemperaturen i solfångaren har uppskattats till 60°C. Produktionen kan inte bestämmas exakt då den är väldigt beroende av vilken medeltemperatur systemet kommer att hålla. Solfångarnas verkliga produktion kan därför skilja sig något från simuleringarnas resultat.

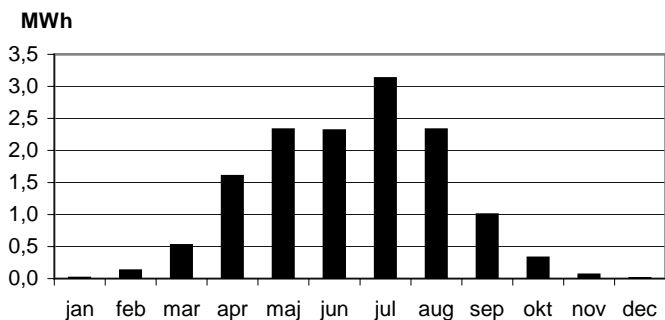
Simuleringen uppger att solfångarna på F-byggnaden kommer producera 300 kWh/m<sup>2</sup> och år. De 220 m<sup>2</sup> plana solfångare kommer att producera 65 MWh värme varje år. Med antagandet att reflektorer ger samma energitillskott som på Markbacken, 22 %, skulle solfångarna producera 80 MWh per år. Då det finns önskemål om att behålla vissa delar av gröna taken, kommer inte reflektorerna att tas med i beräkningarna. Produktionen utan reflektorer fördelar sig över året enligt figur 4.12.



Figur 4.12 Förväntad solvärmeproduktion från anläggningen kopplat till undercentralen i byggnad G på Förrådet 6.

Värmeproduktionen från vägg-MaReCo solfångarna och persiennhybriderna uppskattas till ungefär 170 kWh/m<sup>2</sup>. [Karlsson B. 34] Det skulle ge en årsproduktion på 3,4 MWh från vägg-MaReCo och 1,4 MWh för persiennhybriderna. Solvärmeanläggningen som kopplas till G-byggnadens undercentral kommer då årligen att producera 70 MWh, vilket motsvarar drygt 4 % av den totala årsvärmeförbrukningen.

Simuleringar i Winsun ger för solskyddet på 50 m<sup>2</sup> i anslutning till byggnad B en total årsproduktion på knappt 14 MWh. Eftersom lutningen på dessa endast är 20° kommer produktionen att koncentreras mer under sommaren jämfört med systemet på byggnad F. Månadsfördelningen ses i figur 4.13.



Figur 4.13 Förväntad produktion från 50 m<sup>2</sup> solfångare i anslutning till byggnad B på förrådet 6.

#### 4.1.7 Ekonomiska kalkyler

De ekonomiska kalkyler som gjorts bygger på ungefärliga kostnader för vad de olika delarna i solfångarsystemet kostat på liknande projekt och är framtagna i samråd med experter på respektive område. De uppskattade kostnaderna kan skilja sig från de verkliga då oförutsägbara kostnader uppkommer, så som förstärkning av golv för ackumulatortank med mera. De antaganden som har gjorts är följande:

Tabell 4.3 Uppskattade kostnader för byggnation av solfångaranläggningar som används i kommande ekonomiska kalkyler.

	Kostnad
Undercentraler med övervakning	200 000 kr
Akkumulatortank	3 500 kr/m <sup>3</sup>
Plana solfångare	1 800 kr/m <sup>2</sup>
MaReCo-solfångare	1600 kr/m <sup>2</sup>
Solfångarinfastning	1 000 kr/m <sup>2</sup>
Reflektorer	260 kr/m <sup>2</sup>

För solfångaranläggningen på F-byggnaden kopplad till G-byggnadens undercentral med 220 m<sup>2</sup> plana solfångare och ackumulatortank med volymen 17 m<sup>3</sup> fås en total kostnad enligt tabell 4.4.

Tabell 4.4 Kostnads kalkyl för installation av 220 m<sup>2</sup> solfångare och 20 m<sup>2</sup> vägg-MaReCo på byggnad F, Förrådet 6.

	Kostnad
Undercentraler med övervakning	200 000 kr
Akkumulatortank	80 000 kr
Solfångare	460 000 kr
Solfångarmontering	220 000 kr
<b>Totalt</b>	<b>960 000 kr</b>

Den totala kostnaden uppgår till 960 000 kr. Kostnaden för ackumulatortanken blir något högre än i tabell 4.3 eftersom flera mindre ackumulatortankar blir en något dyrare lösning än en stor tank. Alternativet till detta är att bygga en stor ackumulatortank i en separat tillbyggnad.

Detta uppskattas bli dyrare då en tillbyggnad beräknas kosta runt 70 000 kr.

En specifik investeringskostnad, det vill säga investeringen fördelad på en årlig produktion, blir för detta system 13,60 kr/(kWh/år). Driftskostnaderna uppskattas till 3 öre/producerad kWh, vilket för anläggningen på F-byggnaden skulle motsvara en årlig kostnad på 2 100 kr. [Andrén L. 1]

Beräkningarna ovan är gjorda utan persiennhybriderna. Kostnader för dessa går inte att uppskatta då hybriderna ännu inte har tillverkats mer än i testsyfte. Den specifika investeringskostnaden bygger därför på en produktion och kostnad utan hybridmodellen inräknad.

Uppskattade kostnaderna för solfångarsystemet kopplad till B-byggnadens central framgår av tabell 4.5.

Tabell 4.5 Kostnadskalkyl för installation av 50 m<sup>2</sup> solfångare på byggnad B, Förrådet 6.

	Kostnad
Undercentraler med övervakning	200 000 kr
Akkumulatortank	20 000 kr
Solfångare	90 000 kr
Solfångarinfästning	50 000 kr
<b>Totalt</b>	<b>360 000 kr</b>

Totala investeringskostnaden för systemet blir 360 000 kr. Detta motsvarar en specifik investeringskostnad på 25,70 kr/(kWh/år). Den höga specifika investeringskostnaden beror på att en liten yta solfångare kopplas till en dyr undercentral.

En installation av ClimateWells kylmaskin uppskattas till 180 000 kr. I det priset ingår kylmaskin med tillhörande solfångare och installation. Kylmaskinen kan producera maximalt 10 kW kyla. [Olofsson P. 40]

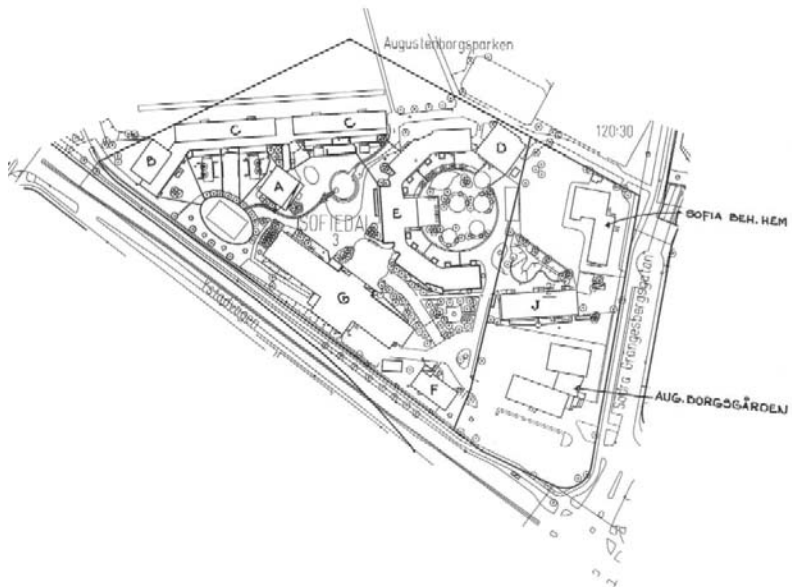
## 4.2 Augustenborgsskolan

Augustenborgsskolan är en av de bäst bevarade 50-talsskolorna i Malmö. Dess arkitektur är typisk för denna tidsperiod, se figur 4.14, och det anses viktigt att bevara denna stil så långt som möjligt. I skolområdet ingår en högstadiesbyggnad, byggnad C, en lågstadiesbygg-

nad, byggnad E, en skolmatsal, byggnad G samt en lärarbyggnad, byggnad A. Till både högstadie- och lågstadiedelen hör en gymnastikavdelning, byggnad B och D. Att installera solfångare på en skola kan ha en viktig pedagogisk funktion som påverkar elevernas miljötänkande.



Figur 4.14 50-talsskolan i Augustenborg som är aktuell för solfångarplacering. A-byggnaden till vänster och C-byggnaden till höger. [Foto: Nilsson M.]



Figur 4.15 Översiktsritning över Augustenborgsskolan, Augustenborggården och Sofiahemmet

### 4.2.1 Befintligt värmesystem

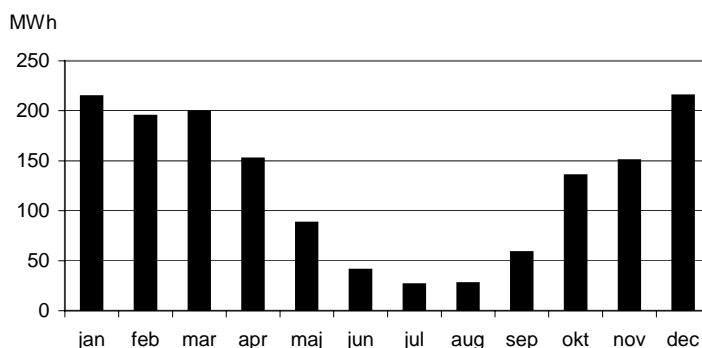
Tidigare var skolan kopplad till MKB:s lågtempererade nät, men försörjs nu direkt från Sydkrafts fjärrvärmenät. Skolan växlar in värme genom en huvudcentral i C-byggnaden. Därifrån distribueras värmen vidare ut till övriga byggnader, där undercentraler reglerar värmeflödet till varje byggnad. Även en tandläkarmottagning i byggnad F är ansluten till detta system. Värmeförbrukningen för hela området uppgår till ungefär 1 500 MWh om året. Det finns inga uppgifter på hur stor förbrukningen är för de sex olika undercentralerna som finns på området. Årsförbrukningen av fjärrvärme omfattar alltså alla skolans byggnader och kan ses i tabell 4.6. Statistiken bygger på mätningar gjorda under 2000 till 2003.

Tabell 4.6: Skolans energiförbrukning de senaste åren. [Larsson J. 37]

Årsförbrukning av värme (MWh)			
2000	2001	2002	2003
1 482	1 526	1 457	1 590

I den statistik som finns tillgänglig registreras värmeförbrukningen månadsvis. Detta är till stor nytta då ett solfångarsystem oftast dimensioneras efter värmeförbrukningen under sommarmånaderna. Figur 4.16 visar hur energiförbrukningen är fördelad på årets månader. Ett medelvärde över månadsförbrukningen de senaste fyra åren har använts.





Figur 4.16 *Fjärrvärmeförbrukningen på Augustenborgsskolan på månadsbasis beräknat på data från de senaste fem åren. [Larsson J. 37]*

Under sommarmånaderna ligger förbrukningen väldigt högt med tanke på den verksamhet som bedrivs under denna tid. För att få en uppfattning om hur stor del av värmeförbrukningen som är förluster har beräkningar genomförts. Under sommaren uppgår förbrukningen till 20 MWh per månad. Beräkningarna har utförts för juli månad 2002 då kallvattenförbrukningen var 59 m<sup>3</sup>. Normalt uppskattas att 20 % av kallvattenförbrukningen omvandlas till tappvarmvatten. [Lennermo G. 36] Då det är mestadels idrottshallarna som är aktiva på somrarna, uppskattas 50 % av kallvattenförbrukningen att värmas till tappvarmvatten. Värdet är en grov för att inte få ett överdrivet resultat av förlusterna. Den energi som går åt för att värma tappvarmvattnet beräknas till 2 MWh. Värmeförbrukningen samma månad uppgår till 20,6 MWh, vilket innebär att ungefär 90 % av värmeförbrukningen under den aktuella sommarmånaden är förluster. Denna månad är inte unik, utan förlusterna i systemet är generellt väldigt höga. Värmesystemet bör ses över för att hitta orsakerna till de höga förlusterna. Konstrueras solvärmesystemet på ett sätt som väsentligt minskar förlusterna kan en stor mängd värme sparas. Effektiviserat värmesystemet efter det att solvärmeanläggningen är installerad, är det viktigt att hänsyn tas till solfångarna. Minskade förluster i värmesystemet kan leda till en överproduktion av värme i solfångarsystemet, med kokning i systemet som följd.

## 4.2.2 Systemuppbyggnad

Ett vanligt problem vid införandet av solfångare på ett skolområde är att förbrukningen ofta är låg under sommaren. På Augustenborgsskolan är den dock så hög att det är motiverat med solfångare. Trots att stora delar av värmekonsumtionen på sommaren är förluster minskas ej motivet för införandet av solfångare så länge inga drastiska förändringar av värmesystemet planeras. Nedan ges ett förslag till systemlösning som är anpassad till de förutsättningarna som Augustenborgsskolans värmesystem har.

Den producerade solvärmens skall kunna distribueras ut till de olika skolbyggnaderna, vilket gör att centralen i byggnad C kommer bli huvudcentral för solfångarsystemet. För att utnyttja alla möjliga takytor på skolområdet krävs det en systemlösning där den producerade värmen transporteras till huvudcentralen. Den lösning som förespråkas av Stefan Larsson, Vattenfall Utveckling AB, är ett decentraliserat solvärmesystem med gemensam ackumulatortank. Det är en lösning som redan används på ett par anläggningar i Sverige. Modellen går ut på att använda befintliga kulvertar för att sprida värmen genom systemet. En utförlig beskrivning av ett decentraliserat system återfinns i kapitel 3.2.3, *Decentraliserat system med eller utan ackumulatortank*. Solfångarplaceringen är med denna typ av system inte beroende av värmecentralens placering, utan kan placeras på alla byggnader och sedan kopplas in via respektive undercentral. Där växlas värmen in på det befintliga kulvertnät som finns under hela skolan och transporteras genom detta till värmecentralen där ackumulatorn är placerad. För att inte kostnaderna för att justera undercentralerna skall bli för höga, bör endast en undercentral utöver huvudcentralen byggas, placerad i G-byggnaden. Systemlösningen innebär att temperaturen på värmebäraren som lämnar solfångarna måste hålla samma temperatur som finns i kulvertnätet. Detta ställer höga krav på det övriga systemet för att inte effektiviteten i solfångarna skall minska. Eftersom detta värmesystem till en början ingick i MKB:s lågtempererade fjärrvärmnät så ligger temperaturen gynnsamt runt 70°C.

Systemlösningen görs mindre komplex genom att samtliga solfångare anslutas till huvudcentralen. Enligt Gunnar Lennermo, Energianalys AB, är det så kallade centraliserade systemet en bättre lösning, då han anser att befintliga kulvertnät inte är anpassade för de förändringar som ett decentraliserat system innebär. Lennermo har stor erfarenhet av solfångarsystem och menar att decentraliserade system är riskfyllda, framför allt i system med gamla kulvertar som inte är dimensionerade för solfångarsystemet. Istället bör samtliga solfångare placeras på byggnad C

och A, för att kopplas direkt till den ackumulatortank som kommer att installeras vid byggnad C. Ytan solfångare på byggnad C bör i detta fall utökas till maximal utsträckning för att få så stor produktion som möjligt. Krävs större solfångararea och takytorna på byggnad G behöver utnyttjas, rekommenderar Lennermo att nya kulvertar dras för transport av solvärmen till huvudcentralen.

Med solfångarna som förvärmning och med fjärrvärme som spetsvärme fås ett effektivt solvärmesystem. Värmen lagras i en gemensam ackumulatortank för samtliga solfångare placerad vid fjärrvärmenätets huvudcentral i byggnad C. De krävs separata reglersystem för solfångarna på olika byggnader, eftersom riktningar, lutning och fabrikat påverkar styrningen.

### 4.2.3 Dimensionering

Solvärmeanläggningen dimensioneras efter sommarbehovet. Enligt figur 4.16 ligger sommarförbrukningen på Augustenborgsskolan på runt 20 MWh per månad. Dimensioneras solfångararea efter denna förbrukning skulle ytan kunna vara upp mot 400 m<sup>2</sup>. På grund av att förlusterna i systemet är så höga är det mer fördelaktigt att underdimensionera systemet. Om åtgärder görs för att minska förlusterna skall inte solfångarsystemet bli överdimensionerat. Ett underdimensionerat system för förvärmning fungerar bättre än ett överdimensionerat, eftersom temperaturen i ackumulatortankarna kan hållas lägre, vilket gör att effektiviteten för solfångarna blir hög. I samråd med Gunnar Lennermo, Energianalys AB, har en lämplig yta solfångare uppskattats till maximalt 250 m<sup>2</sup>.

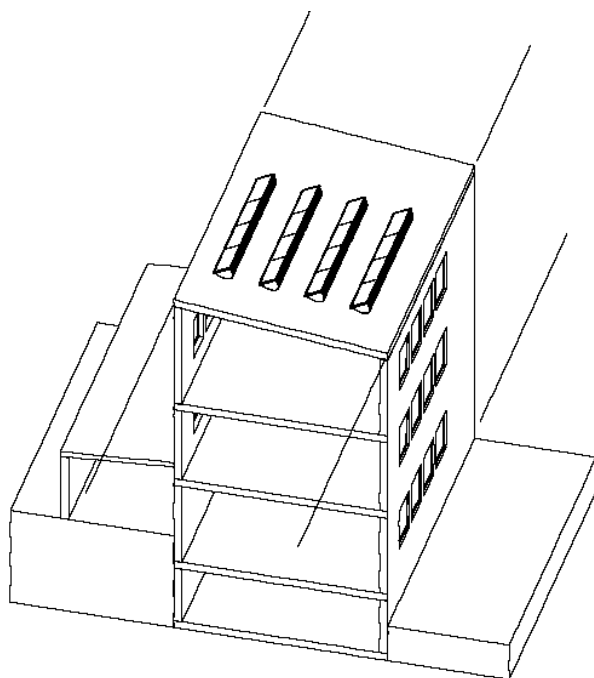
För att dimensionera ackumulatortanken används tumregeln 80 liter lagringsvolym per kvadratmeter solfångare. En ackumuleringsvolym på 20 m<sup>3</sup> är en realistisk uppskattning.

### 4.2.4 Val och placering av solfångarna

Augustenborgsskolan är en utmaning då det gäller att placera solfångarna så att de inte inverkar negativt på arkitekturen. Att bygga solfångare som smälter in i typisk 50-talsstil är svårt och det gäller därför att placera solfångarna så att de följer linjer och drag som finns i arkitekturen från femtiotalet. Taken på Augustenborgsskolan ligger ej optimalt med tanke på solvärmeproduktion, och det är därmed svårt att integrera solfångare i dem. I samråd med arkitekt Andreas Fieber, LTH, har ett förslag tagits fram för hur placering av solfångare kan realiseras.

## C-byggnaden

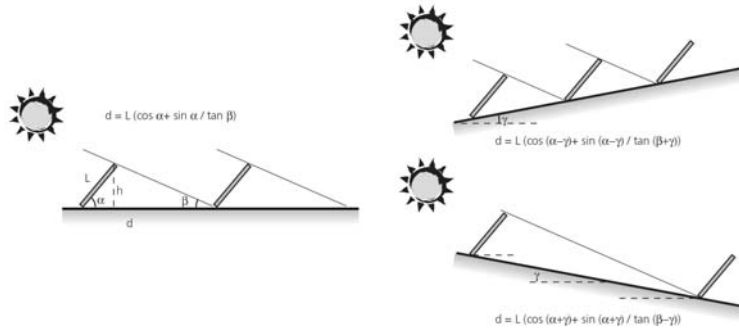
Ett tak som är intressant är det på byggnad C, där närheten till huvudcentralen är en stor fördel. Huset är riktat princip rakt åt söder och taket lutar 6,5° åt norr. Trots taklutningen är det möjligt att placera ett antal rader MaReCo på taket. Fördelen med MaReCo, som tillverkas av Vattenfall Utveckling AB, är att de är låga och inte skuggar varandra märkbart. Solfångarna kommer att synas från baksidan av byggnaden, men inte från skolgården. En skiss över placeringen ses i figur 4.17.



Figur 4.17 Skiss över placeringen av MaReCo på Augustenborgsskolans C-byggnad. [Fieber A. 32]

Solfångarna har valts att grupperas över fönstren för att bättre passa in i byggnadens arkitektur. En nackdel med att taket lutar åt norr är att solfångarna måste placeras något glesare jämfört med en sydlig taklutning. Den lägsta solhöjdsvinkeln, utan att solfångarna skuggar varandra, har efter erfarenheter från tidigare projekt bestämts till 26°. Det ger enligt formlerna i figur 4.18 att solfångarna kan placeras med

1,7 meters avstånd. MaReCo har en bredd för den glasade ytan på 65 cm och höjden över taket är maximalt 75 cm. Längden uppgår till 4 m och då två solfångare placeras efter varandra, blir varje rad 8 m lång.

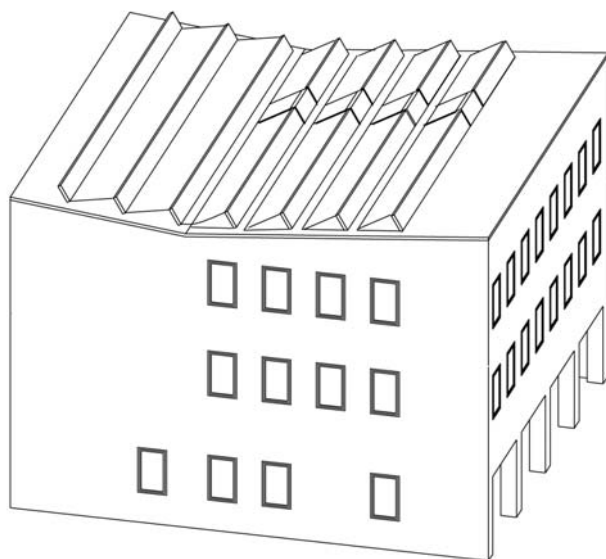


Figur 4.18 Bilden visar hur avståndet mellan solfångarrader kan bestämmas beroende av takets lutning och vilken solvinkel som önskas begränsa skuggningen. [Fieber A. 32]

Den totala arean på C-byggnaden uppgår till 150 m<sup>2</sup>. Då taket skall renoveras inom snar framtid är det lämpligt att samordna dessa projekt så att kostnaderna kan reduceras. Bygg- och plåtarbete kan kombineras så att exempelvis byggställningar kan användas för båda projekten.

## A-byggnaden

Byggnad A har ett svagt sluttande tak i sydväst-nordostläge med lanterniner. Med hjälp av plana solfångare kan linjen från lanterninerna användas för att få solfångarna att följa arkitekturen, se figur 4.19. Ytan solfångare blir 50 m<sup>2</sup> på byggnad A. För att solfångarna inte skall sticka upp ovanför lanterninerna har en solfångarhöjd på 50 cm valts, vilket kan måttbeställas från Arnes Plåtslageri AB. Lutningen för dessa solfångare väljs samma som lanterninerna, vilket är 60° från horisontalplanet. Avståndet mellan solfångarraderna blir för takdelen som lutar mot nordväst samma som avståndet mellan lanterninerna, det vill säga 1,7 m. På andra takdelen kan solfångarna placeras tätare i och med takets lutning. För att få den begränsade skugghöjden till 26°, blir minsta avståndet mellan raderna 0,9 m enligt formlerna i figur 4.18.



Figur 4.19 Skiss över solfångarplacering av 50 m<sup>2</sup> plana solfångare på A-byggnaden. Solfångarhöjden är 50 cm. [Fieber A. 32]

Värmeproduktionen från solfångarna kan ökas om reflektorer installeras mellan solfångarraderna. Priset på reflektormaterial är lågt, och genom att använda reflektorer kan stora delar av ljuset som träffar reflektor tas tillvara. Forskare vid Vattenfalls Älvkarlebylaboratorium visar att produktionen kan ökas med mellan 20 och 30 % med hjälp av reflektorer. [Karlsson B. 34] Solfångarraderna parallellkopplas med varandra och kopplas in på värmecentralen i C-byggnaden. Rördragningar sker genom befintliga byggnader och kulvertdragningar är ej nödvändiga.

Norr om högstadiebyggnaden finns det stora gröna markytor att placera solfångare på. En placering på mark anses dock olämplig då många barn bedriver aktiviteter i området och risken för skadegörelse anses vara stor.

Den totala ytan solfångare på Augustenborgsskolan uppgår till 200 m<sup>2</sup>. En ackumulatortankvolym på 16 m<sup>3</sup> är tillräcklig till denna yta. Det går inte att placera en så stor tank i undercentralen, då takhöjden ej är tillräcklig. Flera parallellkopplade tankar är den lösning som rekommenderas, vilka placeras i undercentralen i C-byggnaden. Solfångarean begränsas för skolan av den fysiska yta det är möjligt att placera solfångare på och blev 50 m<sup>2</sup> mindre än beräknat enligt

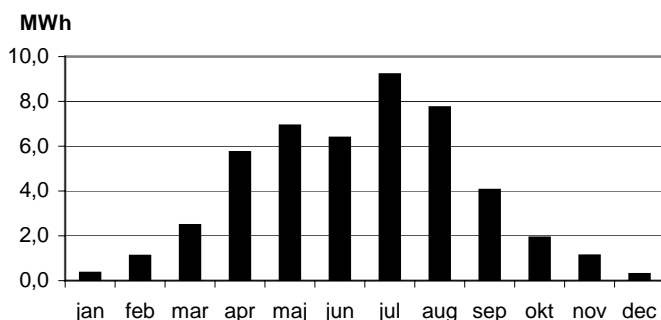
kapitel 4.2.3 Dimensionering. Då solvärmesystemet används som förvärmning är detta inte något som kommer få negativa konsekvenser på solfångarsystemet.

#### 4.2.5 Drift och underhåll

Solvärmesystemet för Augustenborgsskolan är likt systemet på Förrådet 6, vilket gör att drift och underhåll är liknande. System bör vara självgående och med en noggrann övervakning över systemet kan driftproblem tidigt åtgärdas. Det är viktigt att leverantörer i samband med slutbesiktningen lämnar över en drift och skötselanvisning med datablad för varje komponent som ingår i systemet samt instruktioner för vissa funktioner som påfyllning av värmebärare och inställning av termostater. Normala driftparametrar för flöde och temperaturer bör ingå i anvisningarna. Drifts- och underhållskostnaderna uppskattas till 3 öre per producerad kilowattimme. [Andrén L. 1]

#### 4.2.6 Förväntad produktion

Den förväntade produktionen har beräknats genom simuleringar i Winsun. Systemet är underdimensionerat och solvärmen fungerar som förvärmning av tappvarmvattnet, vilket gör att arbetstemperaturen är fördelaktig under stora delar av året. Simuleringar har gjorts med en medeltemperatur på 60°C i solfångarna. MaReCo-solfångarna placerade på C-byggnadens tak beräknas producera cirka 228 kWh/m<sup>2</sup> och år. En area på 150 m<sup>2</sup> producerar då 34 MWh/år. Detta kompletteras med 50 m<sup>2</sup> plana solfångare på A-huset, vilka producerar 220 kWh/m<sup>2</sup> och år utan reflektorer. Eftersom produktionen förväntas öka med 20 % om reflektorerna monteras, ökas produktionen för dessa 50 m<sup>2</sup> till 264 kWh/m<sup>2</sup> och år. Totalt producerar skolans solfångaranläggning ungefär 47 MWh/år, vilket motsvarar drygt 3 % av skolans totala årsvärmeförbrukningen. Värmeproduktionen för samtliga av skolans solfångarna fördelar sig enligt figur 4.20.



Figur 4.20 Beräknad värmeproduktion från solfångarna på Augustenborgsskolan.

#### 4.2.7 Ekonomiska kalkyler

Beräknade kostnader för att bygga solvärmesystemet på skolan redovisas i tabell 4.7.

Tabell 4.7 Uppskattade kostnader för uppförandet av 200 m<sup>2</sup> solfångare på Augustenborgsskolan.

	Kostnad
Undercentraler med övervakning	200 000 kr
Akkumulatortank	80 000 kr
Solfångare	330 000 kr
Solfångarinfästning	100 000 kr
Reflektorer	15 000 kr
<b>Totalt:</b>	<b>745 000 kr</b>

Beräkningarna är gjorda för 200 m<sup>2</sup> solfångare och en ackumulatortank på 16 m<sup>3</sup>. Investeringen uppgår till 745 000 kr, vilket motsvarar en specifik investeringskostnad på 15,90 kr/(kWh/år).

Driftskostnaderna uppskattas till 3 öre/producerad kWh, vilket för anläggningen på Augustenborgsskolan motsvarar en årlig kostnad på 1 400 kr. [Andrén L. 1]



## 4.3 Augustenborgsgården

Augustenborgsgården byggdes i början av 1800-talet och var då huvudbyggnad till en stor lantgård. Mot slutet av 1940-talet bebyggdes området runt gården och kvarteret fick sitt namn efter gården Augustenborg. Lantbruksverksamheten upphörde och gården hyrdes ut. 1998 tog Malmö Stad Stadsfastigheter över förvaltningen och gården renoverades för att anpassas efter nya behov. Husets ålder och kulturvärde gör att det anses viktigt att bevara byggnaden i sin ursprungliga utformning, vilket till viss del kommer att påverka en eventuell placering av solfångare. Gården har i dagsläget ett flertal verksamheter. Basen för projektet Ekostaden Augustenborg är beläget här och ett flertal kontorsplatser är inrättade på den nyrenoverade vinden. Data- och språkutbildning bedrivs i huset och även caféverksamhet. En tillbyggnad mot norr rymmer ett dagis samt en välutnyttjad aula. [Nilsson B. 33]



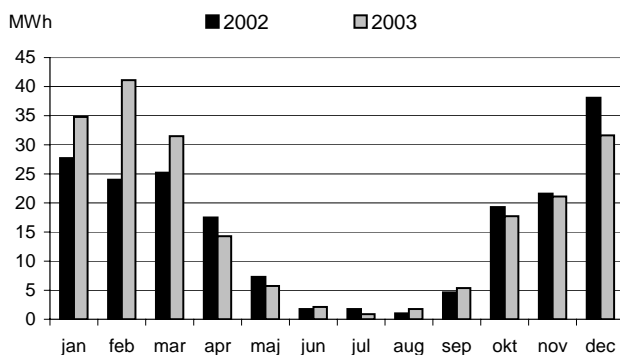
*Figur 4.21 Bilden till vänster visar Augustenborgsgården huvudbyggnad sett från sydväst. Till höger ses tillbyggnaden innehållande ett dagis och en aula fotograferat från väster. [Foto: Nilsson M.]*

### 4.3.1 Befintligt värmesystem

Augustenborgsgården har haft egen värmeförsörjning i form av en oljepanna fram till och med år 2001 då fjärrvärme kopplades in vid årsskiftet till 2002. Förbrukningen av fjärrvärme för de åren som är aktuella kan ses i tabell 4.8 och figur 4.22.

Tabell 4.8 Augustenborgsgårdens energiförbrukning de senaste åren. [Larsson J. 37]

Årsförbrukning av värme (MWh)	
2002	2003
190	208



Figur 4.22 Fjärrvärmeförbrukningen på Augustenborgsgården på månadsbasis för de senaste två åren. [Larsson J. 37]

### 4.3.2 Systemuppbyggnad

Augustenborgsgårdens relativt låga värmeförbrukning gör att solvärme-systemet kommer att bli relativt litet. Det är därför viktigt att kostnaderna för undercentralen kan hållas så låga som möjligt för att inte uppta en alltför stor del av den totala systemkostnaden. Det gör att möjligheten att utesluta fjärrstyrning och övervakning bör övervägas. Det mest lönsamma alternativet är att utnyttja ett standardpaket för villor. Priset på dessa paket är låga och driftsäkerheten är stor. Med systemet följer ett drivpaket med funktioner för påfyllning, luftning, drivning och övervakning av systemet. Även en display för avläsning av temperaturer och produktion medföljer. Borö AB är ett företag som specialiserat sig på villasystem med stor kunskap om ackumulatortankar. Deras solfångare är av typen CPC och solvärmesystemen finns i olika storlekar upp till 23 m<sup>2</sup>. Det är viktigt att installationen inte gör att returtemperaturen till fjärrvärmenätet blir för hög. Solvärmeanläggningen kopplas in som förvärmning av varmvattnet vilket ger störst utbyte för solfångarna. Ackumulatortank installeras i anslutning till befintlig värmecentral.

### 4.3.3 Dimensionering

För att täcka sommarbehovet av värme, skulle det räcka med att en solfångaryta på 15 m<sup>2</sup> plana solfångare placeras med en lutning på 45° rakt åt söder. Till detta krävs en ackumulatortank på 1,2 m<sup>3</sup>. En något större tank skulle minska risken för kokning i systemet på sommaren, men samtidigt kommer förlusterna att bli större under resten av året, då ackumulatortanken är i drift året runt.

### 4.3.4 Val och placering av solfångarna

Huvudbyggnadens tak har bra lutning och riktning för att placera solfångare, med byggnadens äldre stil har gjort att andra takytor har prioriterats. Tillbyggnadens svagt lutande tak kan nyttjas för solfångare, se figur 4.23. Denna yta ses tydligt från ett konferensrum på Augustenborgsgårdens övre våning vilket ger solfångarna en strategisk placering då Augustenborgsgården fungerar som ett miljöcentrum. Ytan är stor och alla solfångare som behövs för att täcka behovet kan placeras här. Borös solpaket 1300, med en solfångaryta på 19 m<sup>2</sup>, är ett system som skulle kunna fungera bra på Augustenborgsgården. Den något större ytan än vad som togs upp i kapitel 4.3.3 *Dimensionering* kompenseras av att Borös CPC-solfångare inte har lika hög produktion som en plan solfångare. Lutningen på solfångarna väljs till 45° för att få så stor årsproduktion som möjligt. Rördragning sker genom befintliga byggnader ner till undercentralen.



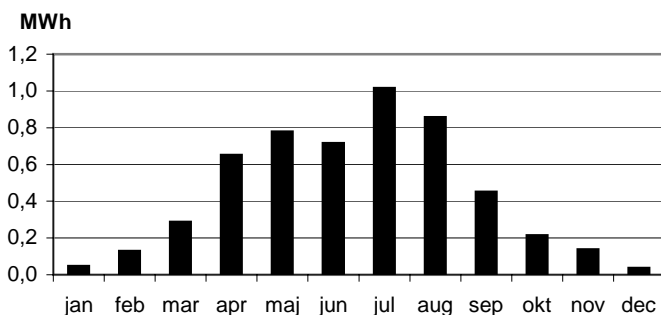
Figur 4.23 *Augustenborgsgårdens tak som är aktuellt för solfångarplacering.  
[Foto: Nilsson M.]*

### 4.3.5 Drift och underhåll

Det är viktigt att en tydlig driftbeskrivning skrivs, om ett system utan fjärrövervakning anläggs. För att få driftsdata rekommenderas att produktionen loggas och läses av manuellt. Mätutrusning för produktion är nödvändig för att följa systemets effektivitet.

### 4.3.6 Förväntad produktion

Enligt Borös hemsida producerar deras solfångare 280 kWh/m<sup>2</sup> och år vid en driftstemperatur på 60°C. Ett standardpaket från Borö på 19 m<sup>2</sup> solfångararea skulle producera drygt 5 MWh om året, vilket motsvarar 2,7 % av den totala värmeförbrukningen. Produktionen fördelar sig över året enligt figur 4.24.



Figur 4.24 Förväntad värmeproduktion vid solvärmeanläggning på Augustenborgsgården.

### 4.3.7 Ekonomiska kalkyler

Det är svårt att få ekonomisk lönsamhet i små solvärmesystem om kraven på systemövervakning är höga. Installeras en undercentral med noggrann övervakning skulle denna kosta närmare 200 000 kr, medan solfångarkostnaden skulle bli 25 000 kr. Detta är en orimlig kostnad och investeringen skulle bli långt ifrån lönsam. Ett billigare alternativ skulle vara att installera ett system utan fjärrövervakning, liknande ett villasystem. Installeras systemet korrekt bör det fungera utan större driftproblem och systemet skulle således vara betydligt lönsammare. Övervakningen sker manuellt genom att driftsdata loggas och avläses till exempel månadsvis. Ett villasystem från Borö med 19 m<sup>2</sup> solfångare

skulle uppskattningsvis kosta 60 000 kr. Inkoppling mot det befintliga värmesystemet och en anpassning av styrsystem uppskattas till 20 000 kr, vilket ger ett totalpris på 80 000 kr installerat och klart. Investeringen innebär en specifik investeringskostnad på 15,00 kr/(kWh/år).

Driftskostnaderna för anläggningen på Augustenborgsgården beror till stor del på hur övervakningen kommer att ske. Driftskostnaderna är därför svåra att uppskatta och är inte medräkande i de ekonomiska kalkylerna.

## 4.4 Sofia behandlingshem

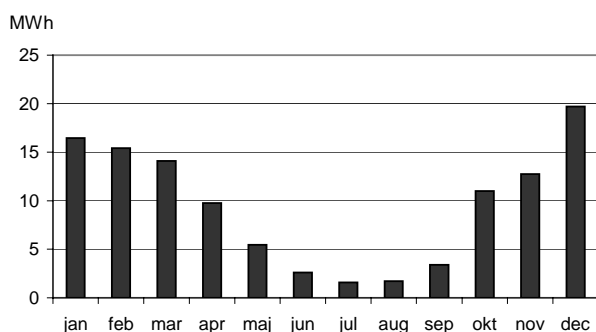
Sofia behandlingshem byggdes i början av 1960-talet och fungerar i dagsläget som ett stödboende för kvinnor med missbrukarproblem. Verksamheten är öppen året runt och omfattar ett tiotal vårdtagare.



Figur 4.25 Bild på Sofia behandlingshem från sydväst. [Foto: Nilsson M.]

### 4.4.1 Befintligt värmesystem

Sofia behandlingshem värms idag med fjärrvärme. Årsförbrukningen ligger drygt 100 MWh per år, och månadsförbrukningen på sommaren uppgår till 1 MWh. Förbrukningsstatistik redovisas i figur 4.26.



Figur 4.26 Fjärrvärmeförbrukningen på Sofia behandlingshem på månadsbasis beräknat på data från de senaste tre åren. [Larsson J. 37]

#### 4.4.2 Systemuppbyggnad

Då värmeförbrukningen på Sofia behandlingshem är relativt liten kommer ett fjärrövervakat system innebära stora kostnader och långt ifrån lönsamhet. Ett större villasystem skulle därför vara att rekommendera. Ett system av samma fabrikat som det på Augustenborgsgården bör användas på Sofia behandlingshem för att underlätta för övervakning och eventuellt underhåll. Systemet bör även här kopplas in som förvärmning av varmvattnet.

#### 4.4.3 Dimensionering

Simuleringar i Winsun ger att 20 m<sup>2</sup> solfångare är en tillräcklig solfångaryta för att täcka värmeförbrukningen under sommarmånaderna. 80 l ackumuleringsvolym per kvadratmeter solfångare blir volymen på ackumulatortanken 1,6 m<sup>3</sup>.

#### 4.4.4 Val och placering av solfångarna

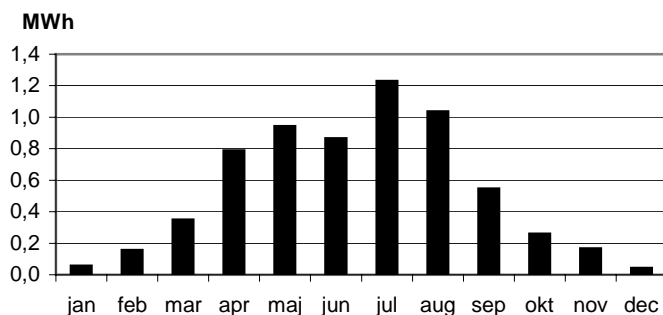
Sofiahemmet har ett relativt platt tak där det är fullt möjligt att placera solfångare på, se figur 4.25. Plana solfångare monterade i ställningar riktade mot söder är en lösning som rekommenderas. Lutningen bör vara 45° från horisontalplanet. Borös solpaket 1800, med en solfångaryta på 23 m<sup>2</sup> är ett system som rekommenderas att installeras på Sofia behandlingshem.

#### 4.4.5 Drift och underhåll

Det är viktigt att en tydlig driftbeskrivning skrivs, om ett system utan fjärrövervakning byggs. För att få driftsdata rekommenderas att produktionen loggas och avläses manuellt. Mätutrusning för produktion är nödvändig för att följa systemets effektivitet.

#### 4.4.6 Förväntad produktion

Enligt Borös hemsida producerar deras solfångare 280 kWh/m<sup>2</sup> och år vid en arbetstemperatur på 60°C. Borös solpaket 1800, med en solfångararea på 23 m<sup>2</sup> skulle alltså producera runt 6,4 MWh. Det motsvarar 6 % av den totala värmeförbrukningen på Sofia behandlingshem. Produktionen skulle fördela sig över året enligt figur 4.27.



Figur 4.27 Beräknad värmeproduktion från solvärmeanläggningen på Sofia behandlingshem

#### 4.4.7 Ekonomiska kalkyler

Genom att välja ett standardiserat villasystem kan kostnaderna för solfångaruppförande på Sofiahemmet hållas låga. Kostnaden för systemet förväntas uppgå till 70 000 kr för Borös villasystem med 23 m<sup>2</sup> solfångare och installationen 20 000 kr. Totalt blir det en investering på 90 000 kr vilket innebär en specifik investeringskostnad på 14,00 kr/(kWh/år).

Driftskostnaderna för anläggningen på Augustenborgsgården beror till stor del på hur övervakningen kommer att ske. Driftskostnaderna är därför svåra att uppskatta och är inte medräknade i de ekonomiska kalkylerna.

## 4.5 Augustenborgs förskola

Norr om skolområdet ligger en förskola som byggdes i mitten av 50-talet. Malmö Stad Stadsfastigheter förvaltar drygt 100 förskolor. Generellt för denna typ av fastigheter är att förbrukningen av el, värme och vatten är relativt hög, vilket beror på den verksamhet som bedrivs där. Detta gör det intressant att skaffa sig kunskap om och erfarenhet av solvärmesystem för denna typ av byggnader, då den i framtiden skulle kunna användas på ett stort antal byggnader. Solfångaranläggningar på förskolor har även en pedagogisk funktion som medverkar till att väcka intresse för barnens miljötankande.

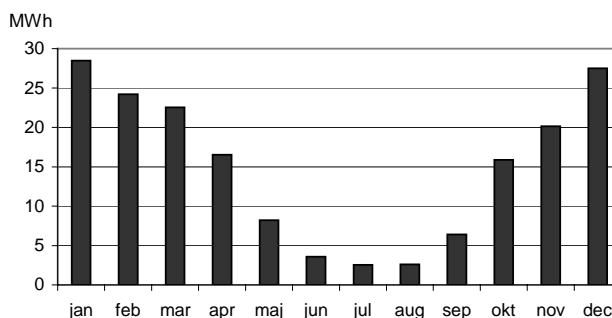


Figur 4.28 Augustenborgs förskola sedd från söder. [Foto: Nilsson M.]

### 4.5.1 Befintligt värmesystem

Byggnaden får idag sin värmeförsörjning genom en fjärrvärmevärmecentral belägen i husets källare. Den uppvärmda ytan är 1 380 m<sup>2</sup> med en total årlig värmeförbrukning på 180 MWh/år de senaste tre åren. Förbrukningen fördelar sig över året enligt figur 4.29.





Figur 4.29 Diagram över fjärrvärmeförbrukningen på månadsbasis för Augustenborgs förskola. [Larsson J. 37]

#### 4.5.2 Systemuppbyggnad

Sommarförbrukningen på förskolan ger att ett solfångarsystem på 40 m<sup>2</sup> skulle vara lämpligt att installera. För att hålla nere kostnaderna på små system måste systemuppbyggnaden vara så enkel som möjligt. Driftssäkerheten är dessutom viktig då underhållskostnader och produktionsstopp gör att lönsamheten minskar kraftigt. Den yta solfångare som är aktuell för Augustenborgs förskola är dock så liten att ett solfångarsystem med fjärrövervakning inte blir lönsamt. För att kunna få ett fjärrövervakat system ekonomiskt försvarbart bör ett stort antal liknande system byggas och identiska undercentraler användas på samtliga objekt. Framtagningen av styr- och övervakningssystemet är en stor kostnad och kan detta återanvändas kan priset pressas. Det gör att möjligheten att koppla in solfångare på samtliga av Malmö stads förskolor bör undersökas för att kunna få en realistisk kostnadsbild.

#### 4.5.3 Val och placering av solfångarna

Förskolan har endast ett takparti som det finns möjlighet att placera solfångare på. Detta tak är riktat rakt åt söder och har en bra lutning för att placera solfångare platt på taket, se figur 4.28. Takkupor gör dock solfångarplaceringen svår. Det är möjligt att tillverka solfångare som till viss mån följer takvinkeln och kupornas form. På detta sätt skapas en yta på 40 m<sup>2</sup> som täcker i princip hela taket. Installationen kommer dock att bli kostsam, vilket gör anläggningen orealistiskt dyr. Placering av solfångare på mark är inte aktuellt vid ett dagis, då barnens utom-

husaktiviteter medför en risk för skador på solfångarna. Följaktligen rekommenderas att solfångarsystem inte installeras i anslutning till Augustenborgs förskola, eftersom den dåliga lönsamheten kan leda till en negativ inställning till solfångaranläggningar på liknande objekt.

## 4.6 Sammanställning solfångarsystem

Tabell 4.9 Sammanställning över planerade solfångarsystem på Augustenborgsområdet.

	Yta solfångare [m <sup>2</sup> ]	Investeringskostnad [kr]	Nyttiggjord solvärme [MWh/år]	Specifik investeringskostnad [kr/(kWh/år)]	Specifik Nyttiggjord solvärme [kWh/(m <sup>2</sup> *år)]
Förrådet Byggnad G	240 (ej hybrider)	960 000	70	13,60	286
Förrådet 6 Byggnad B	50	360 000	14	25,70	280
Augustenborgsskolan	200	745 000	47	15,90	227
Augustenborgsgården	19	80 000	5	15,00	280
Sofia Behandlingshem	23	90 000	6	14,00	280
<b>Totalt</b>	<b>532 m<sup>2</sup></b>	<b>2 235 000 kr</b>	<b>142 MWh/år</b>	<b>15,70 kr/(kWh/år)</b>	<b>270 kWh/(m<sup>2</sup>*år)</b>

Enligt tabell 4.9 kan 532 m<sup>2</sup> solfångare installeras på Augustenborgsområdet. Till dessa tillkommer ett solfångarsystem på mellan 20 och 30 m<sup>2</sup> för kylproduktion och 8,4 m<sup>2</sup> som en persiennhybrid.

Samtliga simuleringar för förväntad produktion från solfångarna, är gjorda med en medeltemperatur i solfångarna på 60°C. I de systemval som har rekommenderats är denna temperatur högt satt jämfört med driftsdata från befintliga system. Den höga simuleringstemperaturen beror på att simuleringarna endast är gjorda för själva solfångaren och inte tar hänsyn till systemförluster. I utvärderingar från tidigare projekt framgår det dessutom att den förväntade medeltemperaturen i solfångarna har blivit högre än beräknat, vilket innebär att den verkliga produktionen inte blir så hög som förväntat. För att inte kalkyler för Au-

gustenborgsprojektet skall visa på en för hög produktion, har denna höga simuleringstemperatur valts.

Investeringskostnaden blir i genomsnitt 4 200 kr/m<sup>2</sup> solfångare. Eftersom ett LIP-bidrag täcker 50 % av kostnaderna kommer Malmö Stad att investera 2 100 kr/m<sup>2</sup> solfångare som installeras på Augustenborgsområdet. Det ger en total investering på cirka 1 120 000 kr.

## 4.7 Ekonomiska beräkningar

För att beräkna om en investering i en solvärmeanläggning är lönsam är det en rad olika faktorer som spelar in. Investeringen kan till exempel höja områdets status eller vara en del i ett företags miljösatning. Detta kapitel kommer dock bara behandla de strikt ekonomiska aspekterna och klargöra om en investering i en solvärmeanläggning kan bidra till ekonomisk lönsamhet.

Speciellt för solvärmeanläggningar är att driftskostnaderna är låga. I princip består kostnaderna för solvärmeanläggningen av en grundinvestering som sedan ger gratis energi en lång tid framåt. Lönsamheten är därför beroende av hur man finansierar grundinvesteringen. Augustenborgsprojektet finansieras till 50 % med bidrag och 50 % med egen investering. Internräntan för Malmö Stad ligger på 5,25 %. Internräntan är den ränta Stadsfastigheter räknar med då lönsamhets- och kostnadsanalyser görs för olika investeringar. I dagsläget är rörelseräntan och räntan på korta lån lägre än internräntan. Internräntan bygger på kommunens löneportfölj. Räntan är inte konstant under avskrivningstiden för ett lån, utan varierar med tiden. För tillfället är räntan mycket låg, men skulle den gå upp kraftigt skulle investeringen bli dyr att betala tillbaka. [Larsson J. 37]

### 4.7.1 Annuitetsmetoden

Annuitetsmetoden är en metod som brukar användas för att jämföra investeringen av en solvärmeanläggning med rådande energipriser. Den går ut på att investeringen med hjälp av en ränta och avskrivningstid räknas om till ett årligt lika stort belopp, en så kallad annuitet. Annuiteten räknas ut med annuitetsfaktorn som fås genom formeln:

$$\text{annuitetsfaktorn} = \frac{\frac{r_k}{100}}{1 - \left(1 + \frac{r_k}{100}\right)^{-n}}$$

där  $r_k$  är kalkylräntan (%) och  $n$  kalkylperioden (år)

För en solvärmeanläggning görs ofta beräkningar med en ekonomisk livslängd och avskrivningstid på 20 år. En avskrivningstid på 25 år är inte heller ovanligt då äldre projekt visar att solvärmeanläggningars livslängd oftast uppgår till över 25 år. [Andrén L 1] Under avskrivningstiden beräknas inga reinvesteringar behöva göras. För Augustenborgsprojektet med en kalkylränta på 5,25 % och en avskrivningstid för lånen på 20 år fås annuitetsfaktorn:

$$\text{annuitetsfaktorn} = \frac{0,0525}{1 - (1 + 0,0525)^{-20}} = 0,08195$$

Kostnaden för Augustenborgsprojektet beräknas uppgå till 2 235 000 kr. Av detta är 50 % bidrag, vilket gör att Malmö Stad Stadsfastigheters kommer att investera cirka 1 120 000 kr i projektet. Drifts- och underhållskostnaderna uppskattas till 3 öre/kWh, vilket för Augustenborgsprojektet ger en total driftskostnad på 5 000 kr/år. Med annuitetsfaktorn ovan fås följande årliga kostnad:

$$\text{Årlig kostnad} = 1\,120\,000 \text{ kr} * 0,08195 + 5000 \text{ kr} \approx 97\,000 \text{ kr/år}$$

Varje år producerar anläggningen cirka 142 MWh, vilket ger energikostnaden enligt följande:

$$\text{Energi kostnad} = 97\,000 \text{ kr/år} / 142\,000 \text{ kWh/år} = 0,68 \text{ kr/kWh}$$

Denna kostnad kan jämföras med fjärrvärmepriset som i dagsläget är 0,55 kr/kWh. Energipriset blir enligt denna modell dyrare för solvärme än för fjärrvärme.

Då räntan inte är konstant har en känslighetsanalys gjorts för att undersöka hur solvärmepriset varierar med ränteförändringen. Tabell 1 redogör för olika räntelägen. Solvärmepriset är uträknat med annuitetsmetoden enligt ovan.

Tabell 1: Ränteändringens påverkan på solvärmepriset.

Ränta (%)	Solvärmepris (kr/kWh)
4	0,61
5	0,66
6	0,71

Solvärmepriset påverkas enligt tabell 1 av räntan. Räntan är i dagsläget lägre än på mycket lång tid och investeringar i solvärmeanläggningar har goda förutsättningar att bli lönsamma. Tabellen visar också att om internräntan ökar påverkas inte solvärmepriset extremt mycket.

Solvärmen jämförs med annuitetsmetoden endast med dagens fjärrvärmepris och ingen hänsyn har tagits till energiprisökning, vilket påverkar fjärrvärmepriset, men inte solvärmepriset. Om en energiprisökning på 3 % per år antas inklusive inflationen skulle fjärrvärmepriset bli 1 kr/kWh om 20 år, medan solvärmen med en ränta på 5,25 % fortfarande kostar 0,68 kr/kWh, vilket visar att solvärmen klart kan konkurrera med fjärrvärmen.

#### 4.7.2 Nusummemetoden

För att kunna göra en mer exakt beräkning av lönsamheten för solvärmeanläggningen har livscykelkostnaderna, LCC, undersökts. LCC är summan av grundinvesteringen, energikostnaderna och underhållskostnaderna. Genom att använda nusummemetoden kan alla kommande kostnader räknas om till investeringsåret. Genom att räkna ut en nusummefaktor kan exempelvis fjärrvärmekostnaderna under en bestämd period räknas om till en total kostnad vid investeringstidpunkten. Nusummefaktorn beräknas med följande formel:

$$\text{Nusummefaktorn} = \frac{\left(1 + \frac{r_k}{100}\right)^n - 1}{\frac{r_k}{100} \left(1 + \frac{r_k}{100}\right)^n}$$

där  $r_k$  är internräntan (%) och  $n$  kalkylperioden (år).

För att nusummefaktorn även skall ta hänsyn till energiprisökningen kan en approximativ nusummefaktor räknas ut genom att  $r_k$  ersätts med  $r_k - e_{pö}$ , där  $e_{pö}$  är årlig energiprisökningen. Följande formel fås:

$$\text{Nusummefaktorn} = \frac{\left(1 + \frac{r_k - e_{pö}}{100}\right)^n - 1}{\frac{r_k - e_{pö}}{100} \left(1 + \frac{r_k - e_{pö}}{100}\right)^n}$$

[Nilsson A. 21]

Denna modell har en viss felmarginal, men då både systemkostnaderna och förväntad produktion är uppskattade värden, är detta fel försumbart.

Om en energiprisökning på 3 % per år antas kan nusummefaktorn beräknas med en internränta på 5,25 % enligt följande:

$$\text{Nusummefaktorn} = \frac{\left(1 + \frac{5,25 - 3}{100}\right)^{20} - 1}{\frac{5,25 - 3}{100} \left(1 + \frac{5,25 - 3}{100}\right)^{20}} = 15,963$$

För att undersöka om en investering i en solvärmeanläggning är ekonomiskt lönsam kan fjärrvärmekostnaderna som solvärmeanläggningen ersätter räknas om till en kostnad vid investeringstillfället med hjälp av nusummefaktorn. Livscykelkostnaderna för fjärrvärme beräknas med följande formel:

$$\text{LCC}_E = \text{nusummefaktorn} * \text{nuvarande energipriset} * \text{årlig energibesparing}$$

Med en antagen energiprisökning på 3 % skulle livscykelkostnaden för fjärrvärmerna bli enligt följande:

$$\text{LCC}_E = 15,963 * 0,55 * 142\,000 \approx 1\,250\,000 \text{ kr}$$

Denna kostnad är drygt 10 % högre än kostnaden för införandet av solvärmeanläggningen, vilket visar att solfångarna kan bidra till en minskad energikostnad.

Att förutse energiprisökningen för 20 år framåt är i princip omöjligt. För att få en ungefärlig uppfattning har ett antal olika scenarier använts. Tabellen nedan visar hur livscykelkostnaderna för fjärrvärmen beror av energiprisökningen. Beräkningarna är gjorda för den värme som solfångaranläggningen kommer att producera, med en internränta på 5,25 % och en avskrivningstid på 20 år.

Tabell 2 Livscykelkostnaderna beroende av energiprisökningen för den fjärrvärme som solfångaranläggningen på Augustenborg ersätter.

Årlig energiprisökning (%)	LCC för fjärrvärme (kr)
0	955 000
1	1 040 000
2	1 140 000
3	1 250 000
4	1 375 000
5	1 520 000
6	1 690 000

Livscykelkostnaden skall jämföras med kostnaden för solvärmeanläggningen som enligt ovan uppgår till 1 120 000 kr, vilket visar att investeringen är lönsam om energipriset ökar med 2 % eller mer per år.

Uppgår den årliga energiprisökningen till 5 % fås livscykelkostnaderna för fjärrvärmerna till 1 520 000 kr, vilket visar att stora besparingar kan göras genom att investera i solvärme.

Under de senaste sju åren har fjärrvärmepriset för Malmö Stad Stadsfastigheter ökat med 5,4 % per år i genomsnitt inklusive inflationen, vilken har varit mycket låg under denna tid. [Larsson J. 37] Jämförs svenska fjärrvärmepriser med europeisk prisnivå ligger Sverige under prisnivån i till exempel Tyskland, vilket tyder på att fjärrvärmepriset troligen kommer att fortsätta att öka. Detta visar att förutsättningarna för att solvärmeanläggningen skall bli en lönsam investering är god.





## 5 Diskussion

Under de förutsättningar som råder på Augustenborg och studier av befintliga system har slutsatsen dragits att det effektivaste sättet att nyttja solvärme är att dimensionera solvärmeanläggningen efter det egna värmebehovet och använda solvärmen som förvärmning av varmvatten. Den förväntade produktionen för systemen uppgår till  $270 \text{ kWh/m}^2$  och år i medeltal, vilket motsvarar en specifik investeringskostnad på  $15,70 \text{ kr}/(\text{kWh}/\text{år})$ . En osäker faktor i de ekonomiska kalkylerna är den förväntade produktionen från solfångarna. För att systemets lönsamhet inte skall bli sämre än beräknat har produktionen uppskattats i underkant. Om produktionen blir större kommer den ekonomiska lönsamheten snabbt att öka. Producenter solfångarna istället  $400 \text{ kWh/m}^2$  och år kommer energipriset med annuitetsmetoden att bli  $0,46 \text{ kr}/\text{kWh}$  jämfört med tidigare  $0,68 \text{ kr}/\text{kWh}$ . Enligt den systemuppbyggnad som har föreslagits och utvärderingar av liknande system, är det inte orimligt att nå en produktion på denna nivå.

Om ett solvärmesystem tvingas vara ur drift under långa sommarperioder kan detta ha en stor inverkan på den ekonomiska lönsamheten. En förutsättning för att solfångarsystem skall fungera stabilt är att projektet förankras hos såväl driftspersonal som förvaltare. Det är viktigt att de har en allmän kunskap om hur ett solfångarsystem är uppbyggt för att inte onödiga systemavbrott skall uppstå. En utförlig driftspärm bör finnas tillgänglig vid anläggningarna så att driftsproblem kan åtgärdas snabbt och enkelt.

Ett solfångarsystem har störst potential att producera billig värme om en stor solfångararea kan anslutas till en och samma värmecentral. Är arean liten blir ombyggnadskostnaderna för värmecentralen en stor del av systemkostnaden. I Augustenborg har installationer för både stora och små system rekommenderats. För att även de små systemen skall kunna producera värme till en rimlig kostnad har uteslutning av systemens fjärrövervakning föreslagits. Även de större systemen kan fungera utan fjärrövervakning, men en viktig aspekt med installationen av solfångarsystemen är att bidra till att öka Malmö Stad Stadsfastigheters

förståelse för solvärmens möjligheter. Genom att ständigt få in driftsdata från systemet kan en uppföljning av systemet lätt göras för att öka kunskapen i hur bra systemet fungerar.

En kartläggning av faktiska kostnader och den verkliga produktionen för systemvalet kan användas till att sätta upp riktlinjer för att i framtiden hitta möjliga objekt, där solvärme kan installeras till rimliga kostnader. Nedan redogörs ett nyckeltal för vilken värmeförbrukning som ett objekt bör ha sommartid för att solvärmens ekonomiskt skall konkurrera med fjärrvärmens. Antaganden är gjorda för ett fjärrövervakat system som kombinerar solvärme med fjärrvärme och har en systemlösning med ackumulatortank.

Kostnaden för undercentral och rördragning uppskattas till 250 000 kr. Solfångarkostnad inklusive montering antas vara 2 500 kr/m<sup>2</sup> och den förväntade produktionen är 300 kWh/m<sup>2</sup> och år. För att beräkna energipriset används annuitetsmetoden med en annuitetsfaktor på 0,08195. För att solvärmepriset med ett investeringsbidrag på 50 % skall motsvara dagens fjärrvärmepris på 0,55 kr/kWh krävs en solfångaryta,  $x$  m<sup>2</sup>, enligt formlerna nedan.

Årlig kostnad för solvärmens (kr):  $0,50 * 250\ 000 * 0,08195 + x * 0,5 * 0,08195 * 2500$

Årlig sparad fjärrvärmekostnad (kr):  $300 * 0,55 * x$

För att den årliga kostnaden för solvärmens skall motsvara årlig sparad fjärrvärmekostnad fås solfångarytan genom att  $x$  löses ut ur de två ekvationerna ovan.

Solfångarytan:  $x = 0,50 * 250\ 000 * 0,08195 / (300 * 0,55 - 0,5 * (0,08195 * 2500)) = 163\ m^2$

Den förväntade årsproduktionen på 300 kWh/m<sup>2</sup> innebär en sommarproduktion på ungefär 60 kWh/m<sup>2</sup> under en månad. 163 m<sup>2</sup> solfångare producerar under en sommarmånad då ungefär 10 MWh. Detta motsvarar den värmeförbrukning som ett objekt minst bör ha för att ett solfångarsystem i kombination med fjärrvärme skall innebära en ekonomisk lönsam investering, förutsatt att hälften av investeringen finansieras av bidrag. Detta är dock ett uppskattat riktmärke och det är många faktorer som kommer att påverka kostnadsbilden.

Då efterfrågan på kyla ökar och kyla är möjligt att framställa med hjälp av värme, öppnar sig ännu en marknad för solvärmens. Denna metod kan få stor genomslagskraft framförallt i varmare områden som

södra Europa men även i södra Sverige kan metoden bidra till en ökad användning av solfångare.

De förslag som har lagts fram i *"Solvärme i Augustenborg – en förstudie"* skall ligga till grund för hur utbyggnaden av solvärme i Augustenborg skall fortgå. De är inga definitiva lösningar, utan enbart olika möjligheter att på ett effektivt sätt utnyttja solenergin. Nästa steg i solfångarprojektet är att en VVS-konsult, med stor erfarenhet av solvärme, utifrån befintliga värmecentraler fastställer en systemlösning och därefter dimensionerar ingående komponenter.

De ekonomiska beräkningarna visar att solvärme utan bidrag i dagsläget inte kan konkurrera med fjärrvärmepriset. Med en fortsatt utbyggnad och ökad kunskap skapas mer standardiserade lösningar med bättre förutsättningar. I takt med att priset på solvärme sjunker och fjärrvärmepriset ökar kommer troligen antalet solvärmeanläggningar växa. Solvärme är bland de renaste energier som kan skapas, då inga utsläpp skapas, och tillverkningsprocessen av solfångarna är enkel. När solfångare installeras i fjärrvärmesystem kan dock miljönyttan under vissa förutsättningar bli mer tveksam. Vissa fjärrvärmenät försörjs till största del av spillvärme från industrier under sommarmånaderna, och installeras stora mängder solfångare i dessa system kan det leda till att spillvärme inte kan tas om hand. I de allra flesta fjärrvärmesystem bidrar dock solfångarna till att miljön i staden blir renare och att utsläppen av koldioxid minskar.

Solfångaranläggningen i Augustenborg bidrar otvivelaktigt till en miljönytta, inte bara genom att fjärrvärme kan sparas och värme produceras på ett renare sätt, utan framför allt genom att demonstrationsanläggningen av solfångare sprider kunskapen om solvärme till allmänheten. Därigenom kommer förhoppningsvis användandet av solfångare att öka och bidra till renare värmeproduktion, och därmed en renade miljö.



# Referenser

## Litteratur

- [1] Andrén L., *"Solenergi, Praktiska tillämpningar i bebyggelse"*, AB Svensk Byggtjänst, ISBN 91-7332-967-3, 2001
- [2] Andrén L., *"Solvärmeboken"*, ICA Förlaget AB, ISBN 91-534-1958-8, 1998

## Rapporter

- [3] Andersson B., *"Solvärmeteknik för badanläggningar i Arvidsjaurs kommun"*, Luleå Tekniska Universitet, ISSN: 1402-1617, 1999
- [4] Andersson G. m. fl., *"Storskalig solfjärrvärme i Stockholm"*, Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: U 03:27, 2002
- [5] Bales C. m.fl., *"Provning av ackumulatorsystem för solvärmeanläggningar"*, Högskolan Dalarna, ISSN: 1103-1816, 1995
- [6] Bernestål A., Isaksson H., *"Storskalig solfjärrvärme, Etapp 2, Decentraliserade inkopplingar"*, Vattenfall Utveckling, 2004
- [7] Calminder B. m.fl., *"Demonstrationsanläggningar för solvärme"*, K-Konsult Energi Stockholm AB, 2001
- [8] Calminder B. m. fl., *"Medelstora solvärmeanläggningar"*, K-Konsult Energi Stockholm AB, 2002
- [9] Calminder B., Isaksson H., *"Storskalig solfjärrvärme, generella förstudier. Etapp 1"*, K-Konsult, VUAB Rapportnr: U 02:94, 2002

- [10] ESTIF, ”*Sun in Action II – A Solar Thermal Strategy for Europe, volume 2*”, ESTIF - European Solar Thermal Industry Federation, 4.1030/C/00-002/2000, 2003
- [11] Fieber A., Karlsson B., ”Design, construction and performance of a multifunktional hybrid solar wall”, 2003
- [12] Graham T., ”*Augustenborg – ett hållbart folkhem*”, Tryckeri Wiking AB, 2002
- [13] Helgesson A. m.fl., ”*Solvärme, Slutrapport för FUD-program Solvärme 1996-99*”, Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: UD 00:12, 2000
- [14] Helgesson A. m. fl., ”*FUD-program Solvärme 2001-2003, Årsrapport 2002*”, Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: U 02:143, 2003
- [15] Helgesson A., Karlsson B., ”*System testing of a MaReCo with suppressed summer performance*”, Vattenfall Utveckling AB, 2003
- [16] Krohn P., ”*Uppföljning Nordens Ark 2002*”, Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: U 02:137, 2002
- [17] Kovács P., Pettersson U., ”Solvärmda kombisystem, En jämförelse mellan vakuumsör och plan solfångare genom mätning och simulering”, Energiteknik Borås, SP Rapport: 2002:20, 2002
- [18] Larsson S., ”*Riddersdal lågtemperatursystem*”, Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: UR 00:04, 2000
- [19] Larsson S., Perers B., ”*Utvärdering av Fränsta solvärmesystem*”, Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: U 02:07, 2002
- [20] Lennermo G., ”FUD-solvärme: Storfors Kommun, Förstudie avseende solvärmeanläggning med inkoppling mot fjärrvärme”, Energianalys AB, 2000
- [21] Nilsson A., ”*Kalkylera med LCC-energi, handledning*”, Bratts Tryckeri AB, Best nr: V060045, 2001
- [22] Nilsson L., Perers B., ”Takmonterade solfångare med reflektorer i Markbacken, Utvärdering”, NUTEK/STEM projekt nr P10683-1, 1999

- [23] Perers B. m. fl., "Normaliseringstal för solvärmeanläggningar i Sverige, Inverkan av prestanda, ekonomi och livslängd", Vattenfall Utveckling AB, VUAB Rapportnr: UD 02:142, 2003
- [24] Zinko H., "Solfjärrvärme för villaområden", ZW Energiteknik AB, ZW-03/05, 2003

### Artiklar

- [25] Jernberg P., "Här kommer solen att behövas", Vår bostad Nr 12, 2000
- [26] Eriksson L., "Kemisk lagring ger skjuts åt solvärme", Ny Teknik 14/8, 2002
- [27] Åfreds J., "Motvind för solvärme i Anneberg", Vår bostad Nr 2, 2004

### Internet

- [28] BoRö, [www.boroe.com](http://www.boroe.com), 2004-01-20
- [29] ClimateWell AB, [www.climatewell.se](http://www.climatewell.se), 2004-01-20
- [30] SP, "Förteckning över P-märkta och övriga solfångare", SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, [http://www.sp.se/energy/CertProd/P\\_solfangare\\_lista.htm#P-märkningstillstånd](http://www.sp.se/energy/CertProd/P_solfangare_lista.htm#P-märkningstillstånd), 2004-01-27
- [31] Viessmann Värmeteknik AB, [www.viessmann.se](http://www.viessmann.se), 2004-01-20

### Personliga kontakter

- [32] Andreas Fieber, LTH, tel. nr. 046-222 73 47
- [33] Bertil Nilsson, Fosie Stadsdelsförvaltning, tel. nr. 040-34 74 38
- [34] Björn Karlsson, Vattenfall Utveckling AB samt LTH, tel. nr. 046-222 72 61
- [35] Björn Ståhl, Arnes Plåtslageri AB, tel. nr. 019-16 56 80

- [36] Gunnar Lennermo, Energianalys AB, tel. nr. 0322-61 17 54
- [37] Johan Larsson, Malmö Stad Stadsfastigheter,  
tel. nr. 040-34 18 99
- [38] Lennart Andersson, Malmö Stad Stadsfastigheter,  
tel. nr. 040-34 17 92
- [39] Mathew Frith, Urban Adviser,  
mathew.frith@english-nature.org.uk
- [40] Per Olofsson, ClimateWell AB, tel. nr. 08-794 03 70
- [41] Peter Lindhqvist, Malmö Stad Serviceförvaltning,  
tel. nr. 040-34 14 81
- [42] Stefan Larsson, Vattenfall Utveckling AB,  
tel. nr. 026-838 01
- [43] Tomas Berggren, Munters Europe AB, tel. nr. 08-626 64 33
- [44] Ulf Larsson, Konstruera, tel. nr. 040-59 94 00