

CHALMERS



Solvärme för en skola i Lerum

Studier av olika systemalternativ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JOAKIM LIND & MARTIN NORDMARK

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg 2012
Examensarbete 2012:07

EXAMENSARBETE 2012:07

Solvärme för en skola i Lerum

Studier av olika systemalternativ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JOAKIM LIND & MARTIN NORDMARK

Institutionen för energi och miljö

Avdelningen för installationsteknik

CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA

Göteborg, 2012

Solvärme för en skola i Lerum
Studier av olika systemalternativ
Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet
Byggingenjör

JOAKIM LIND & MARTIN NORDMARK

© JOAKIM LIND & MARTIN NORDMARK, 2012

Examensarbete / Institutionen för energi och miljö,
Chalmers tekniska högskola 2012:07

Institutionen för energi och miljö
Avdelningen för installationsteknik
Chalmers tekniska högskola
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 10 00

Chalmers Reproservice

Göteborg 2012

Solvärme för en skola i Lerum

Studier av olika systemalternativ

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet

Byggingenjör

JOAKIM LIND & MARTIN NORDMARK

Institutionen för energi och miljö

Avdelningen för installationsteknik

Chalmers tekniska högskola

SAMMANFATTNING

I Gråbo (Lerums kommun) byggs under 2012 två grundskolor, Röselidsskolan och Ljungviksskolan, med solfångare för att värma skolornas tappvarmvatten. Under sommaren då störst mängd solenergi kan nyttiggöras, har skolor i allmänhet kraftigt minskad verksamhet på grund av elevernas sommarlov. Båda skolorna är anslutna till fjärrvärmenätet i Gråbo vilket gör det möjligt att låta värmen från solfångarna levereras till fjärrvärmenätet istället för att värma tappvarmvatten.

Syftet med examensarbetet är att utreda vilket av ovanstående systemalternativ (solvärme för att värma tappvarmvatten resp. solvärme till fjärrvärmenätet) som är mest lämpligt för en skola, samt att utvärdera Röselidsskolans anläggning.

Utifrån de förutsättningar som råder vid skolan, dimensionerades en solfångaranläggning av respektive typ, för att kunna dra slutsatser om vilken typ som är bäst lämpad vid en skola. Målsättningen med dimensioneringen var att anläggningarna i så hög grad som möjligt skulle ersätta ordinarie energitillförsel. Solfångaranläggningen för tappvarmvatten dimensionerades för att täcka 50 % av det årliga energibehovet för att värma tappvarmvatten. Anläggningen för leverans av värme till fjärrvärmenätet dimensionerades utgående från tillgänglig takarea på skolan och fjärrvärmens sommarlast. Dimensioneringen resulterade i följande solfångaranläggningar:

- För att värma tappvarmvatten: 35 m² solfångararea¹, 2,6 m³ ackumulatorvolym
- För värme till fjärrvärmenätet: 300 m² solfångararea

Den anläggning som är byggd på Röselidsskolan har 126 m² solfångararea och 4 m³ ackumulatorvolym. Det huvudsakliga skälet till att den byggda anläggningen är mycket större än den, i examensarbetet, dimensionerade anläggningen är att ett större tappvarmvattenbehov antagits då den byggda anläggningen dimensionerades. Varmvattenbehovet som ligger till grund för dimensioneringen av den byggda anläggningen är 15 kWh/m² uppvärmd area och år. Motsvarande siffra framtagen från tillgänglig statistik i arbetet med detta examensarbete är 3 - 5,5 kWh/m²,år. Statistiken för varmvattenanvändning i skolor är dock bristfällig.

¹ Aperturyta. Gäller för samtliga förekomster av ordet.

Alternativet att låta värmen från den byggda solfångaranläggningen levereras till fjärrvärmenätet har också studerats i syfte om att utreda om det vore fördelaktigt. Därmed har ytterligare två anläggningar studerats:

- För att värma tappvarmvatten: 126 m² solfångararea, 4 m³ ackumulatorvolym
- För värme till fjärrvärmenätet: 126 m² solfångararea

De fyra solfångaranläggningarna har simulerats med programvaran Polysun. Då varmvattenbehovet i skolan är osäkert simulerades de två solfångaranläggningarna för tappvarmvatten med tre olika värmelaster inom spannet 3 – 5,5 kWh/m²,år. Mängden varmvatten som tappas årligen fördelades över skolans verksamma timmar. Under skolloven antogs att 20 % av ordinarie verksamhet råder, och därmed 20 % av ordinarie tappvarmvattenanvändning.

Vidare beräknades överslagsmässigt den genomsnittliga kostnaden för solvärmen, för respektive anläggning, med annuitetsmetoden. Investeringskostnaden för ett komplett system antogs oberoende av storlek vara 10000 kr/m² solfångare för tappvarmvattensystemen och 7000 kr/m² solfångare för fjärrvärmesystemen. Tillsammans med antagande om 20 års avskrivning och 5 % kalkylränta ger det förhållandevis höga kostnader för solvärmen.

De viktigaste resultaten är:²

- Anläggningen med 35 m² solfångare och 2,6 m³ ackumulatorvolym beräknas ge 9 (12) MWh årligen, vilket blir 260 (345) kWh årligen per kvadratmeter solfångare. Kostnaden beräknades till 3,1 (2,3) kr per kWh.
- Anläggningen med 300 m² solfångare för värmeleverans till fjärrvärmenätet beräknas ge 84 MWh årligen vilket motsvaras av 280 kWh årligen per kvadratmeter solfångare. Kostnaden beräknades till 2,0 kr per kWh.
- Den på Röselidsskolan byggda anläggningen beräknas ge 13 (21) MWh årligen vilket motsvarar 100 (165) kWh årligen per kvadratmeter solfångare. Kostnaden beräknades till 8,0 (4,9) kr per kWh.
- Om solfångardelen av den byggda anläggningen istället skulle leverera värme till fjärrvärmenätet beräknas anläggningen ge 34 MWh årligen.

Följande slutsatser kan dras:

- För alternativet där solfångarna levererar värme till fjärrvärmenätet är potentialen att ersätta ordinarie energitillförsel ungefär 6 till 9 gånger större än för alternativet där solfångarna används för att värma tappvarmvatten. Kostnaden för energin blir upp 50 % högre för alternativet att låta solfångarna värma tappvarmvatten.
- Den solfångaranläggning som är byggd på Röselidsskolan har beräknats täcka 70 till 80 % av energibehovet för tappvarmvatten. Den höga täckningsgraden och skolans låga varmvattenanvändning sommartid gör anläggningen ineffektiv. Inkopplad till fjärrvärmenätet beräknas anläggningen ge 65 till 170 % mer nyttig energi.

Nyckelord: Solvärme, tappvarmvatten, skolbyggnad, fjärrvärme, energiförsörjning, datorsimulering

² Värden inom parentes är beräknat med hög varmvattenanvändning. Övriga värden beräknade med låg varmvattenanvändning.

Solar Heat for a School in Lerum
Analyses of different system designs
Diploma Thesis in the Engineering Programme
Building and Civil Engineering
MARTIN NORDMARK & JOAKIM LINDH
Department of Energy and Environment
Division of Building Services Engineering
Chalmers University of Technology

ABSTRACT

Two elementary schools are now being built in Gråbo (in the municipality of Lerum), Röselidsskolan and Ljungviksskolan, which are both designed with solar thermal collectors for the schools domestic water heating. During the summer while the largest amount of solar heat can be generated, the activity hence the domestic water use in the schools are heavily reduced. Both schools are connected to the local district heating system which makes it possible to use the solar collectors to deliver heat to the district heating.

The purpose of this thesis is to evaluate the two systems mentioned above and to determine which system is more suitable to apply on a school. The building which conditions were used for this evaluation is Röselidsskolan.

A solar heating plant of each system type was dimensioned from the expected and known conditions of the building. The purpose with the dimensioning was to make the solar plants replace the ordinary energy source as much as possible. The solar plant for domestic water heating was dimensioned to cover 50 % of the annual energy consumption for heating domestic water. The plant for delivering heat to the district heating system was dimensioned from available space on the roof of the building and the summer load of the district heating system. The dimensioning resulted in the following systems:

- Domestic water heating system: 35 m² collector³ area, 2.6 m³ accumulation tank volume
- Delivery to the district heating: 300 m² collector area

The solar plant which is built on Röselidsskolan has 126 m² collector area and 4 m³ accumulation tank volume. The reason for the size of this system being this much larger than that dimensioned in this thesis is that the dimensioning for the built system was based on a estimated consumption of domestic water, much higher than that estimated in this thesis. The built system was dimensioned from an expected hot water consumption of 15 kWh/m² per year, compare to 3 – 5,5 kWh/m² per year that was found for this thesis by reweaving available statistics. However, the statistics for domestic hot water consumption in schools are very poor.

³ Aperture area

The option of connecting the built solar collectors to the district heating is also evaluated in this thesis. This gives two additional systems:

- Domestic water heating system: 126 m² collector area, 4 m³ accumulation tank volume
- Delivery to the district heating: 126 m² collector area

The four solar plants mentioned above have been simulated with computer software called Polysun. Due to the uncertainty of the domestic water consumption, the two systems for domestic water heating was simulated with three different heating loads within the span 3 – 5,5 kWh/m²,year. The yearly water consumption is distributed over the schools active time with a reduction by 20 % during the school holidays.

Furthermore, the average cost for the solar energy for each solar plant is calculated with the annuity formula. The investment cost for a complete system where, with no regard to size, set to be 10000 kr/m² solar collector for the domestic water heating systems and 7000 kr/m² solar collector for the systems with delivery to the district heating. The investment cost, and the reasonable assumption of 20 years depreciation time and a cost of capital at 5 %, gave a relatively high cost for the solar energy.

The most important results are:⁴

- The plant with 35 m² collector area and 2.6 m³ accumulation tank volume is expected to generate 9 (12) MWh per year, and 260 (345) kWh/m² collector area and year. The energy cost was calculated to 3,1 (2,3) kr/kWh.
- The plant with 300 m² collector area for delivery to the district heating is expected to generate 84 MWh per year, and 280 kWh/m² collector area and year. The energy cost was calculated to 2,0 kr/kWh.
- The plant which is built on Röseldiskolan is expected to generate 13 (21) MWh per year, and 100 (165) kWh/m² collector area and year. The energy cost was calculated to 8,0 (4,9) kr/kWh.
- If the plant which is built on Röseldiskolan instead was to deliver heat to the district heating it was calculated to generate 34 MWh per year.

Following conclusions can be drawn:

- For the alternative where the solar collectors deliver heat to the district heating, the potential for replacing the ordinary energy source is 6 to 9 times higher than the alternative to heat the domestic water supply.
- The solar plant built on Röseldiskolan has been calculated to cover 70 to 80 percentage of the energy needed for hot water heating. This high coverage and the low hot water demand in the school during the summer makes the solar plant inefficient. If the plant instead was connected to deliver heat to the district heating it is expected to generate 65 to 170 percentage more useful energy.

Key words: Solar heat, domestic hot water, school building, district heat, energy supply, computer simulation

⁴Values within brackets correspond to high domestic hot water demand. Values without brackets correspond to low demand.

Innehåll

SAMMANFATTNING	I
ABSTRACT	III
INNEHÅLL	V
FÖRORD	VII
1 INLEDNING	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Syfte	2
1.3 Metod	2
2 TEKNIK BAKGRUND	5
2.1 Solinstrålning	5
2.2 Solfångare	7
2.2.1 Plana solfångare	8
2.2.2 Vakuumsolfångare	9
2.3 Ackumulatortank	9
2.4 Solfångarsystem för tappvarmvatten	9
2.5 Fjärrvärme	10
2.6 Dimensionering	11
2.6.1 Solfångare anslutna till fjärrvärmenätet	11
2.6.2 Solfångaranläggning för tappvarmvatten	11
3 RÖSELIDSSKOLAN	13
3.1 Byggnaden	14
3.2 Verksamhet	15
3.3 Varmvattenanvändning	16
3.3.1 Sveby	16
3.3.2 Offentliga Fastigheter	16
3.3.3 Bedömning	18
3.3.4 Tappningsprofil	19
3.4 Fjärrvärme	19
4 STUDERADE SOLFÅNGARANLÄGGNINGAR	21
4.1 Typsystem för att värma tappvarmvatten	21
4.1.1 Funktionsbeskrivning	22
4.1.2 Anläggning 1 – Ny dimensionering	22
4.1.3 Anläggning 3 – Byggd anläggning	23
4.2 Typsystem för värmeleverans till fjärrvärmenät	24
4.2.1 Funktionsbeskrivning	24
CHALMERS , <i>Energi och miljö</i> , Examensarbete 2012:07	V

4.2.2	Anläggning 2 – Ny dimensionering	25
4.2.3	Anläggning 4 – Byggd anläggning	28
5	SIMULERING	29
5.1	Polysun	29
5.2	Modellering av TVV-system	30
5.2.1	Varmvattenanvändning	30
5.2.2	Solfångarkretsen	30
5.2.3	Akkumulatortank-kretsen	31
5.2.4	Fjärrvärmekretsen	31
5.2.5	VVC	31
5.3	Modellering av SFV-system	31
5.3.1	Solfångarkretsen	32
5.3.2	Fjärrvärmen	32
5.4	Simuleringsfall	33
5.5	Simuleringsresultat	34
5.5.1	Anläggning 1 – Ny dimensionering	34
5.5.2	Anläggning 2 – Ny dimensionering	35
5.5.3	Anläggning 3 – Byggd anläggning	37
5.5.4	Jämförelse anläggning 1 och anläggning 3	38
5.5.5	Anläggning 4 – Byggd anläggning	38
5.5.6	Jämförelse av anläggning 3 och anläggning 4	39
5.6	Ekonomi	40
5.6.1	Förutsättningar	40
5.6.2	Beräkningar	41
6	SLUTSATSER OCH DISKUSSION	43
6.1	Ny dimensionering - jämförelse anläggning 1 och 2	43
6.2	Byggd anläggning	44
6.2.1	Anläggning 3	44
6.2.2	Anläggning 4	44
6.3	Rekommendationer	45
7	REFERENSER	46

Förord

Föreliggande examensarbete har genomförts på initiativ av Jenny Lindqvist, energiingenjör på Lerums kommun och Jan-Olof Dalenbäck, professor i installationsteknik på Chalmers tekniska högskola. Lerums kommun är en hårt satsande miljökommun och Jennys önskan med examensarbetet var att det ska guida kommunens arbete med att utnyttja solenergi.

Examensarbetet är det sista momentet byggingenjörsutbildning på Chalmers tekniska högskola, och omfattar 15 högskolepoäng.

Att arbetet var möjligt att genomföra är till stor del tack vare vår handledare på Chalmers, Jan-Olof Dalenbäck. Hans stora kunnande och erfarenhet inom energiteknik och hans kontakter inom branschen har kommit oss till stor nytta. Vi vill rikta ett stort tack till Jan-Olof för hans hjälp och guidning, men inte minst för hans tålamod!

Jenny Lindquist har fungerat som kontaktperson gentemot Lerums kommun, och flitigt försett oss med ritningar och annat underlag. Hon har också sett till att vi styrt arbetet så att kommunen verkligen kan dra nytta av resultatet av examensarbetet. Ett stort tack till dig Jenny, för din hjälp och ditt engagemang!

Övriga som på ett eller annat varit behjälpliga vill vi så klart också tacka, bl.a. Gunnar Sedén på Agera VVS Design och Pelle Pettersson på Gridcon.

Göteborg juni 2012

Joakim Lindh & Martin Nordmark

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Lerums kommun beslutade år 2009 om en vision, Vision 2025, att bli Sveriges ledande miljökommun år 2025 (Lerums kommun, 2012a).

En del i arbetet mot Vision 2025 är den klimatstrategi som kommunen antagit. Det övergripande målet är att minska utsläppen av växthusgaser, så att kommunen bidrar till att begränsa den globala temperaturökningen till två grader (Lerums kommun, 2010).

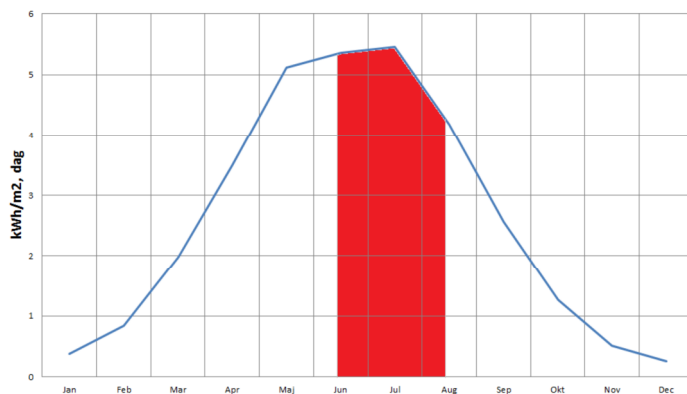
Ett delmål i klimatstrategin är att år 2020 ska uppvärmning inom den geografiska kommunen ske utan fossila bränslen (Lerums kommun, 2010), vilket innebär att andelen förnyelsebar energi måste öka. Kommunens möjlighet att påverka den geografiska kommunen mot dessa mål delas in i tre områden:

1. Ge förutsättningar
2. Förändra beteenden
3. Agera föredöme

Att ge förutsättningar kan handla om att ge invånarna tillgång till fjärrvärme som är i linje med kommunens energiplan. Att agera föredöme kan handla om att begränsa miljöpåverkan från kommunens egna fastigheter, bland annat genom krav på energieffektivitet och energiförsörjning vid nybyggnation. Ett krav som ställs vid nybyggnation, gällande kommunens egna fastigheter, är att solvärme skall användas för att värma tappvarmvatten. (Lerums kommun, 2008)

I Gråbo byggs nu, 2012, två nya skolor. I enighet med Energiplan 2008 (Lerums kommun, 2008) förses skolorna med solfångare för uppvärmning av tappvarmvatten. Båda skolorna är anslutna till fjärrvärmenätet som finns i Gråbo. Då skolornas verksamhet är begränsad under sommartid bör även behovet av tappvarmvatten vara begränsat under denna tid.

I Figur 1 nedan ses mängden instrålad solenergi per kvadratmeter och månad, för respektive månad. Det röda området i grafen motsvarar den solenergi som instrålas under sommarlovet, och är ca 30 % av den totala solenergin instrålad under ett år.



Figur 1: Solinstrålning i Gråbo, variation över året. Markerat område motsvarar instrålad solenergi under sommarlovet.

I ett solfångarsystem för tappvarmvatten används vanligtvis ackumulatortankar för att lagra värme, då tidpunkten för solinstrålning och varmvattenbehov inte alltid sammanfaller. Någon rimlig möjlighet att lagra den solenergi som instrålar under sommarlovet finns dock inte för vanliga solfångarsystem för tappvarmvatten, vilket innebär att energin kommer gå till spillo.

En av de två skolorna som nu byggs är Röselidsskolan. En preliminär energiberäkning för byggnaden gjordes 2010 och det tappvarmvattenbehov som då uppskattades låg till grund för förfrågningsunderlaget för solfångaranläggningen. I ett tidigt skede i arbetet med denna rapport granskades tillgänglig statistik över varmvattenanvändning i skolor. I statistiken angavs värden för varmvattenanvändning av storleksordningen en femtedel av det som använts i den preliminära energiberäkningen. Av denna anledning kan man förvänta att solfångaranläggningen är överdimensionerad.

1.2 Syfte

Huvudsyftet med denna rapport är att ur energisynpunkt jämföra ett solfångarsystem för tappvarmvatten med ett solfångarsystem där alstrad värme matas ut till fjärrvärmenätet. Förutsättningarna är att byggnaden som solfångarsystemet ska installeras på är en skola och försörjs av fjärrvärme. Ur energisynpunkt är målet med båda systemen att delar av det bränsle som används i fjärrvärmesystemet ska ersättas med solenergi. Rapporten kommer dock inte behandla vilka effekter solfångarsystemen har på fjärrvärmesystemet och dess energitillförsel mer än ytligt och förenklat. Resultatet av denna jämförelse kan sedan användas vid framtida planering av solfångarinstallationer på skolbyggnader samt generellt visa på möjligheten att distribuera solvärme via fjärrvärmesystem.

Vidare syftar rapporten till att ur energisynpunkt utvärdera den solfångaranläggning som byggts på Röselidsskolan och jämföra den med en anläggning med samma solfångarinstallation, men där värmen matas ut till fjärrvärmenätet. På så vis ges underlag för att bedöma om inkoppling av den befintliga solfångaranläggningen till fjärrvärmenätet skulle vara fördelaktig.

Rapporten ska också ge kunskap om solfångarsystem i allmänhet, och om de två systemtyperna som nämns ovan, i synnerhet.

Eventuella driftproblem, så som skador till följd av överhettning, har ej utretts.

1.3 Metod

Ur syftet för rapporten följer att fyra solfångaranläggningar ska studeras.

Anläggning 1:	En anläggning för att värma tappvarmvatten i Röselidsskolan
Anläggning 2:	En anläggning på Röselidsskolan med solfångarna anslutna till fjärrvärmenätet
Anläggning 3:	Den anläggning som är byggd på Röselidsskolan
Anläggning 4:	Den anläggning som är byggd på Röselidsskolan men med solfångarna anslutna till fjärrvärmenätet

Fall 1 och fall 2 rör syftet i rapporten att ta fram underlag för val av solfångarsystem i framtida projekt. Utgångspunkten i rapporten är att båda anläggningarna ska ersätta fjärrvärmesystems ordinarie energitillförsel i så hög grad som möjligt. En solfångaranläggning för tappvarmvatten kan uppenbarligen som mest ersätta det totala energibehovet för tappvarmvatten. Detta är dock inte realistiskt utan säsongslagring av värme, då varmvatten även används vintertid i skolan. I detta fall används ingen säsongslagring, utan samma systemlösning som för den byggda anläggningen har valts (vilken kan betecknas som ett typiskt system). Med detta system är det vanligt, med det klimat som råder i Sverige, att man dimensionerar anläggningen så att halva energibehovet för tappvarmvatten täcks av solfångaranläggningen. Med det som utgångspunkt dimensioneras anläggningen i fall 1. Anläggningen i fall 2 har inget beroende av tappvarmvattenbehovet i byggnaden, utan snarare av effektuttaget ur fjärrvärmets samt rent praktiska aspekter. Anläggning 2 dimensioneras fullständigt för maximal storlek och därmed energileverans.

Fall 3 och fall 4 behandlar syftet att ta fram underlag för bedömning av om det skulle vara fördelaktigt att inkoppla den byggda anläggningen på fjärrvärmenätet.

Systemuppbyggnaden i anläggningarna för värmeleverans till fjärrvärmenätet hämtas från ett typs-system för ändamålet, som används på flera håll i landet.

Alla anläggningar ovan studeras under lika förutsättningar, nämligen de som gäller vid Röselidsskolan.

Tappvarmvattenbehov uppskattas utifrån relevant statistik.

Anläggningarna modelleras och simuleras med datorprogrammet Polysun. Simuleringsresultaten används sedan för att dra de slutsatser som rapporten syftar till.

2 Teknik bakgrund

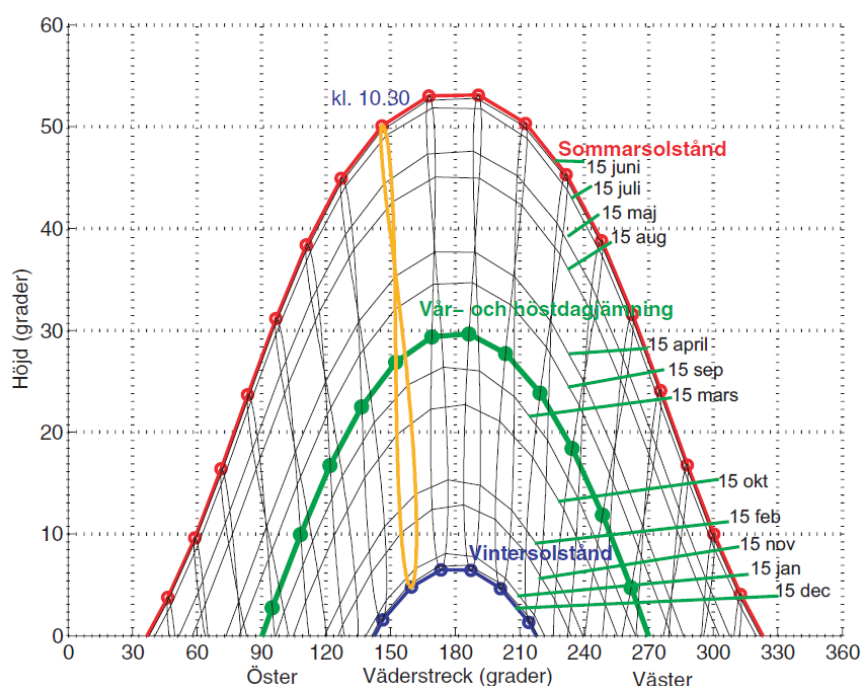
2.1 Solinstrålning

Solen är den viktigaste energikällan för oss på jorden då den är källan till alla kemiska och biologiska processer som skapar liv på jorden. Solenergi beskriver solljusets energiinnehåll och mäts i wattimme ($W \times h$). Definitionen av solinstrålning är den mängd solenergi som når en viss yta under en viss tidsrymd. Vanligen används enheten kWh/m^2 .

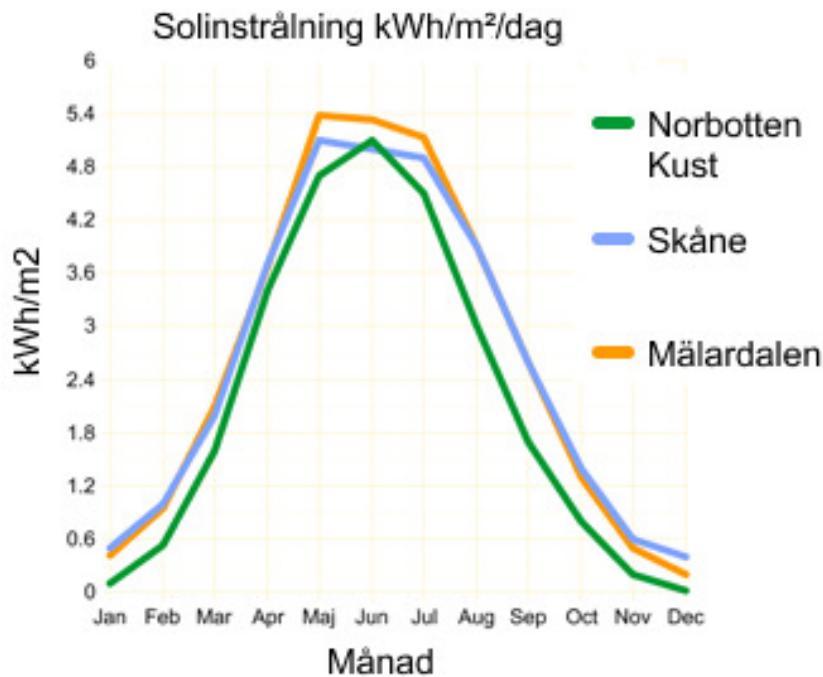
Då solljuset färdas genom atmosfären absorberas, reflekteras och sprids det då det träffar bl.a. luftmolekyler och partiklar vilket leder till energiförluster. Det solljus som når jorden efter att på detta sätt ha ändrat riktning kallas *diffust solljus*. När ljuset når jordytan från solen utan att ändra riktning kallas det *direkt solljus*. I detta fall färdas ljuset kortast möjliga väg från solen och innehåller därför mest energi. Summan av den direkta och den diffusa solinstrålningen kallas globalstrålning (The German Solar Society, 2005). Mängden solenergi som varje år når jordens yta består till ungefär lika stora delar av diffust som direkt solljus. Globalstrålning är vad som avses i denna rapport om inget annat anges.

Solens horisontalvinkel är av stor betydelse av hur mycket solenergi som når en yta. När solen står i zenit (vinkel 90°) är solens väg genom atmosfären som kortast. (The German Solar Society, 2005).

I Sverige är det vinter då nordpolen är vänd bort från solen, som då står lågt på himlen. Solens bana över himlen varierar med årstiden och ser olika ut för olika breddgrader. Den står som högst vid sommarsolståndet och som lägst vid vintersolståndet. Detta påverkar direkt den årliga variationen av solinstrålning. Solens bana över året kan ses i Figur 2 och solinstrålningens variation över året kan ses i Figur 3 (sid. 6).

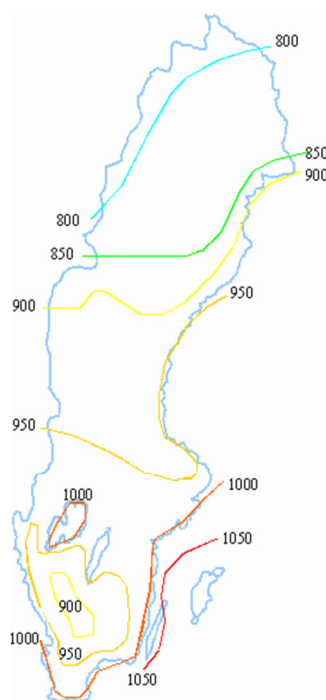


Figur 2: Solens höjd och vinkel över året nära Ludvika. (SMHI, 2007)



Figur 3: Solinstrålning enl. data från NASA. (boroe.com)

I Sveriges mellersta delar varierar instrålad energi under ett normalår mellan c:a 900-1000 kWh/m² på en horisontell yta (se Figur 4). Största mängd solenergi erhålls av en yta vänd mot söder som lutar 45° mot horisontalplanet. Mängden instrålad solenergi över en sådan yta ligger i Mellansverige mellan 1000-1200 kWh/m² och år (Svensk solenergi, 2010). En förändring från detta optimala läge resulterar i en minskad årlig mängd erhållen energi enligt Tabell 1 (sid. 7).



Figur 4: Årlig solinstrålning i kWh/m² i Sverige. (SMHI, 2007)

Tabell 1: Minskad solenergi (årligen) vid förändring av en ytas läge. (Svensk solenergi, 2010)

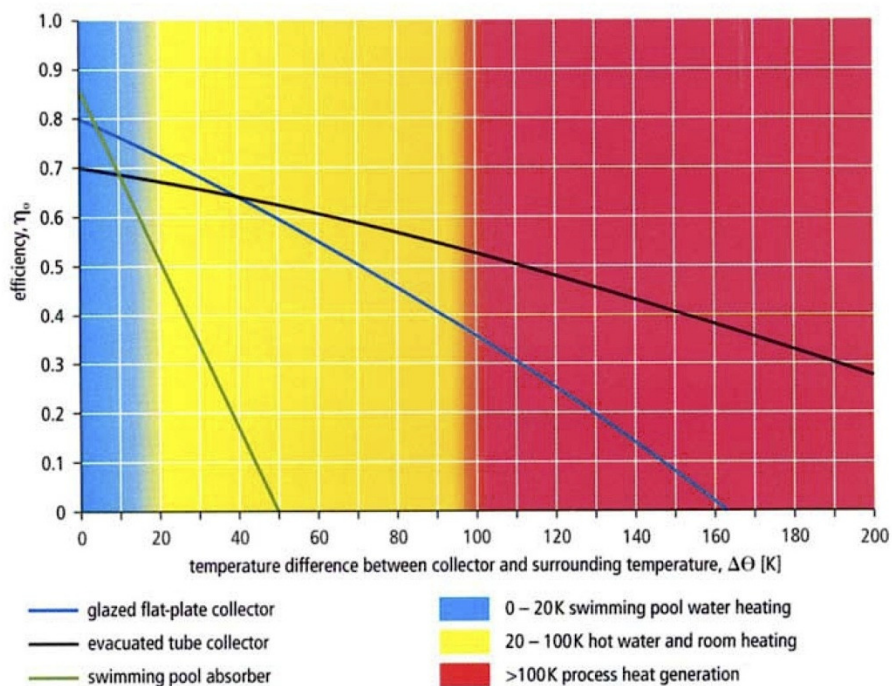
Orientering	Söder	Sydöst/sydväst Söder ± 45°	Öst/väst Söder ± 90°
Lutning 0°	-16 %	-16 %	-16 %
Lutning 15°	-6 %	-9 %	-17 %
Lutning 30°	-1 %	-6 %	-20 %
Lutning 45°	--	-6 %	-23 %
Lutning 60°	-4 %	-11 %	-29 %
Lutning 90°	-25 %	-30 %	-44 %

2.2 Solfångare

Solfångarens huvudsakliga funktion är att absorbera solljus och använda energin till att försörja ett värmesystem av något slag. Det gör den genom att en mörk plåt, s.k. absorptor, absorberar värmen i solljuset och överför den till ett medium (vanligtvis en vattenbaserad vätska).

En solfångares verkningsgrad beskriver förhållandet mellan, från solen tillförd energi och från solfångaren nyttiggjord energi (värmeutbytet). För en hög verkningsgrad är temperaturen på solfångarens yta och dess omgivning av stor betydelse. En liten temperaturskillnad mellan solfångaren och dess omgivning ger små värmeförluster. När solfångarens temperatur ökar och/eller omgivningstemperaturen minskar, minskar också solfångarens verkningsgrad (se Figur 5, sid.8). En låg arbetstemperatur på solfångaren möjliggör även fler drifttimmar under året (Andrén 2007).

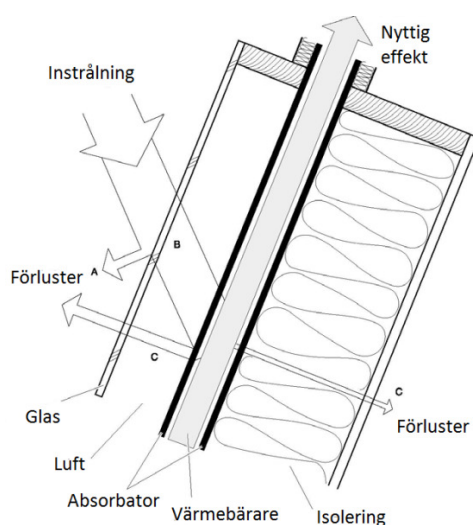
Det finns två typer av solfångare som dominerar marknaden: plana solfångare och vakuumrörsolfångare. Figur 5 visar hur verkningsgraden för några vanliga solfångarmodeller varierar med temperaturskillnaden mellan solfångaren och dess omgivning.



Figur 5: Verkningsgradskurvor för plan solfångare (glazed flat-plate collector), vakuumrörsolfångare (evacuated tube collector) samt swimmingpoolabsorbator (swimming pool absorber). (The German Solar Society, 2005)

2.2.1 Plana solfångare

En plan solfångare (se Figur 6) kan beskrivas som en låda som på kortsidor och baksidan är isolerad för en minskad värmeförlust. Framsidan består av en transparent täckplatta som ska släppa igenom solljus och skapa en s.k. växthuseffekt (hindrar värmestrålning och konvektion från absorbatorn) samtidigt som den fungerar som skydd för innehållet. I lådan sitter en svart platta (absorbator) som värms upp av inkommande solljus. Genom absorbatorn leds mediet som värms upp och transporterar värmeenergin till ett värmelager. (Svensk solenergi, 2010)

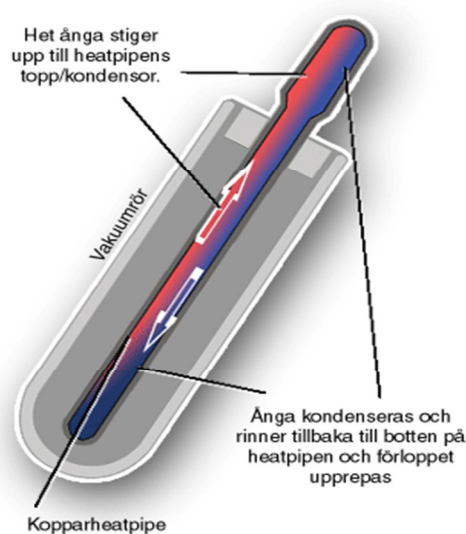


Figur 6: Plan solfångare. (Svensk solenergi, 2010)

2.2.2 Vakuurrörsofångare

Principen för vakuurrörsofångare (se Figur 7) är densamma som för plana solfångare. Skillnaden är att istället för att innesluta absorbatoren i en form, innesluts den i ett glasrör tömt på luft. Vakuumet mellan absorbatoren och glasröret förhindrar värmetransport från absorbatoren i större utsträckning än hos en plan solfångare. (The German Solar Society 2005)

Vakuurrörsofångare finns i två olika typer, med U-rör på absorbatoren eller med en "heatpipe" som överför värmen från absorbatoren till vätskekretsen.



Figur 7: Vakuurrörsofångare med heatpipe (Solenergiteknikern VVS, 2012)

2.3 Ackumulatortank

En ackumulatortank är i grunden en isolerad vattenbehållare. De används huvudsakligen i kombination med vedeldning och solvärme men kan även anpassas för andra värmekällor. De kan kopplas in så att de enbart försörjer tappvarmvatten alternativt byggnadsuppvärmningen och tappvarmvatten och kallas då kombinationssystem. För en solfångare som ger mest värme mitt på dagen, då det oftast inte är högst tappvarmvattenanvändning eller störst värmebehov i byggnaden, finns ett behov av att lagra värmen.

2.4 Solfångarsystem för tappvarmvatten

Trots att solfångaren kan göra stor nytta för en minskad mängd köpt energi för uppvärmning av tappvatten, duger den i Sverige inte som enda energikällan för detta ändamål (utan säsongslagring). Detta på grund av vinterns låga solinstrålning. Solvärmens kan kombineras med en annan energikälla på flera olika sätt. Vanliga kombinationer är solvärme-el, solvärme-gas/olja, solvärme-fastbränsle m.m. Denna rapport behandlar enbart solvärme-fjärrvärmekombination.

I solvärme-fjärrvärmesystem fungerar solen ofta som förvärme och fjärrvärmens som spetsvärme. Värmen från solfångarna flödar då, antingen via en ackumulatortank eller

direkt via en värmeväxlare och värmer inkommande kallvatten mot önskad temperatur. Då inte denna nås säkerställer fjärrvärmen att rätt temperatur uppnås.

Solfångarsystem används nästan uteslutande i kombination med någon annan energikälla, som tidigare nämnts. För att beskriva hur stor del av energibehovet som täcks av energi från solfångarsystemet används begreppet täckningsgrad:

$$\text{Täckningsgrad} = \frac{Q_{sol}}{Q_{tot}}$$

där Q_{sol} = energi från solfångarsystemet tillförd tappvarmvattnet under en bestämd tidsperiod

Q_{tot} = totalt energibehov för tappvarmvatten under samma tidsperiod

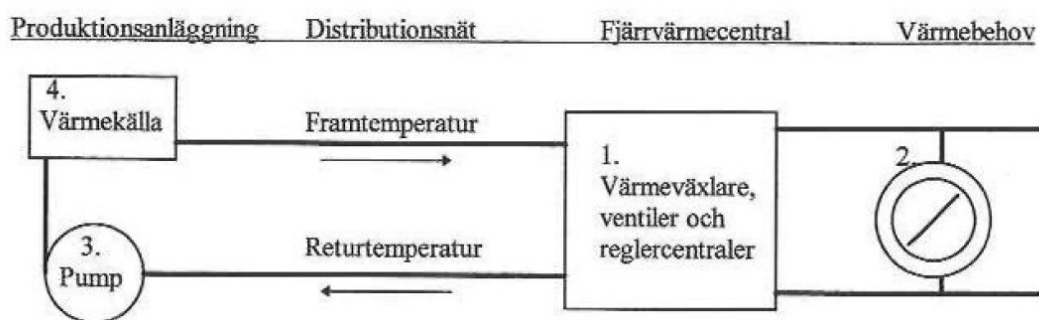
2.5 Fjärrvärme

Ett fjärrvärmesystem består av en eller flera värmecentraler, ett distributionssystem samt flertalet abonnenter. Vattnet i systemet värms med en värmekälla (t.ex. en panna) och cirkulerar via distributionssystemet genom abonnenternas s.k. fjärrvärmecentraler, där värme växlas från rörnätet till fastigheten för vidare användning till t.ex. värmning av tappvatten (Svensk fjärrvärme, 2012).

Reglering av fjärrvärmesystem sker genom fyra oberoende reglersystem (se Figur 8).

1. I fjärrvärmecentralen regleras som tidigare nämnts fjärrvärmeflödet så att t.ex. önskad temperatur på tappvarmvatten samt framledningstemperatur till radiatorer nås.
2. Flödet genom radiatorer regleras ofta genom termostatventiler som vid lägre temperatur än dess börvärde tillåter ökat flöde och vice versa.
3. Cirkulationspumpar varvtalsregleras så att det differenstryck som krävs för tillräckligt flöde i fjärrvärmecentralerna, erhålls.
4. Effekten i värmekällan regleras så att en viss framledningstemperatur nås.

(Werner, 1997)



Figur 8: Fjärrvärmesystemets oberoende reglersystem. (Werner, 1997)

Vid de tillfällen då man i ett fjärrvärmenät har en så låg förbrukning att pannornas minsta kapacitet underskrids, har man i flera fall en ackumulatortank till att lagra varmvattnet i, tills dess att förbrukningen ökar.

Solfångaranläggningar i fjärrvärmenät förekommer som centrala och som decentraliserade anläggningar. Stora centrala anläggningar finns i Sverige sedan 1980-talet och har generellt fungerat bra och problemfritt (Eriksson, 2001). En nackdel med stora centrala anläggningar är dock att de kräver stora investeringar vid en och samma tidpunkt (Eriksson, 2001). Solfångaranläggningar har svårt att konkurrera i stora fjärrvärmesystem med låga bränslekostnader (träflis, sopor m.m.).

Mindre decentraliserade solfångaranläggningar kan exempelvis placeras på lämpliga taktytor. Solfångare ansluts då med fördel mellan retur och framledning. Då påverkas inte returtemperaturen i nätet direkt (Zinko, 2002). En förutsättning för oförändrad returtemperatur är att effekten från solfångarna är anpassad efter effektuttaget i nätet. För att uppfylla detta villkor rekommenderas en total daglig täckningsgrad på 30 % sommartid (Eriksson, 2001), vilket ungefär motsvarar en årlig täckningsgrad på 2 – 4 %. För att uppnå högre täckningsgrad krävs alltså någon form av lagring av överskottsenergin från solfångarna.

Ett exempel på en decentraliserad anläggning finns i Gårdsten i Göteborg där en anläggning med 150 m² solfångare byggdes och togs i drift år 2011.

2.6 Dimensionering

2.6.1 Solfångare anslutna till fjärrvärmenätet

Uppåt begränsas anläggningens storlek av:

- Tillgänglig takyta och takets bärförmåga
- Servisledningens högst tillåtna flöde
- Momentant effektuttag från fjärrvärmenätet

Begränsningen från tillgänglig takyta behöver knappast förklaras.

För att undvika erosion och buller begränsas tillåten hastighet uppåt i fjärrvärmeledningar. För servisledningar förekommer begränsningar av hastigheten till 1,0 m/s (Frederiksen & Werner, 1993).

Då ingen värmelagring finns och med tanke på att solfångarna genererar värme då solen lyser oavsett effektbehov, bör solfångarna dimensioneras så dess genererade effekt alltid understiger effektuttaget ur nätet (Eriksson, 2001).

2.6.2 Solfångaranläggning för tappvarmvatten

Ett nyckelord vid dimensionering av solfångaranläggningar för tappvarmvattenuppvärmning är anläggningens täckningsgrad (se kapitel 2.4). Vid dimensioneringen bestämmer man vilken täckningsgrad som anläggningen ska ha. Om målet med anläggningen är att i så stor grad som möjligt ersätta den ordinarie energikällan är det vanligt att man dimensionerar anläggningen för 50 % årlig täckningsgrad (The German Solar Society, 2005). Denna årliga täckningsgrad motsvarar ca 100 % täckningsgrad under en sommarmånad förutsatt att man använder lika mycket varmvatten under de kallare årstiderna (Svensk Solenergi 2010).

Om man istället strävar efter att det specifika värmeutbytet från solfångarna ska bli stort dimensionerar man för en lägre täckningsgrad, till exempel 25 % (The German

Solar Society, 2005). Då kommer solfångaranläggningen endast förvärma tappvarmvattnet, även under sommartid. Det resulterar i att solfångarnas arbetstemperatur hålls låg och därmed blir dess verkningsgrad hög.

För att dimensionera solfångaranläggningens storlek så att önskad täckningsgrad uppnås finns till exempel följande tumregler:

Täckningsgrad:	50 %	25 %
Solfångaryta (yta_a):	$\frac{1,25 \cdot V_{VV / dag}}{50}$	$\frac{0,5 \cdot V_{VV / dag}}{50}$
Akkumulatorvolym (V_{ack}):	$yta_a \cdot 50 < V_{ack} < yta_a \cdot 70$	$yta_a \cdot 30 < V_{ack} < yta_a \cdot 50$

där yta_a = total aperaturyta för solfångare (m²)

$V_{VV / dag}$ = daglig varmvattenanvändning (l)

V_{ack} = akkumulatortanksvolym (l)

Sambandet gäller under förutsättning att:

- Varmvattentemperaturen är 60 °C
- Varmvattenanvändningen är likartad under året
- Solinstrålning 1000 kWh/år, m² och betonade årstider
- Vinkel för solfångare är 40° (relativt horisontalplanet) och orienterade mot söder
- Glasad solfångare med hög verkningsgrad

(The German Solar Society, 2005)

Det innebär att brukarens varmvattenanvändning noggrant bör utredas för att anläggningen ska ge önskad täckningsgrad.

3 Röselidsskolan

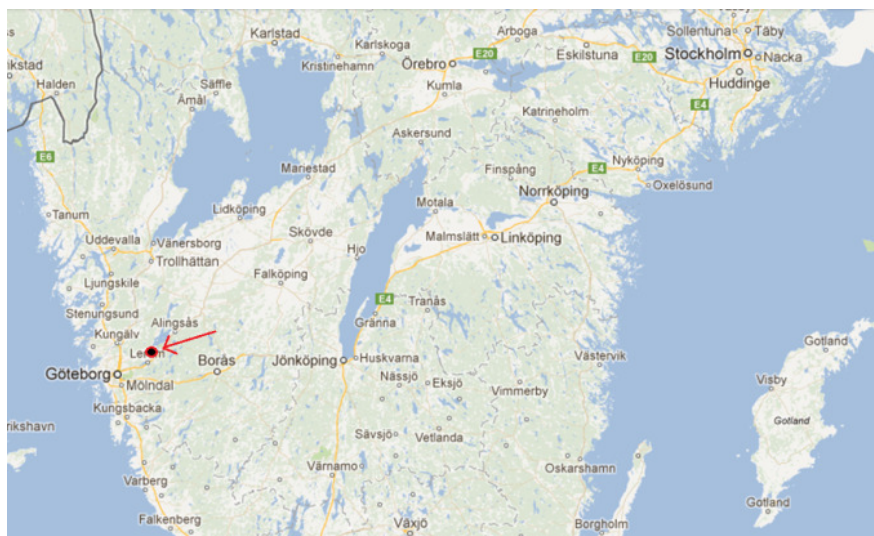
Efter att antalet grundskoleelever i Gråbo ökat har också behovet av plats på kommunens grundskolor ökat. Röselidsskolan beslutades därför att byggas om- och till för att kunna hysa ett större antal elever. Projektet utfördes som totalentreprenad med företaget AF Bygg Göteborg som entreprenör.

Kommunens krav att i nya byggnader skall tappvarmvattnet värmas av solvärme, tillämpades vid projektet. En konsult anlätades för att ta fram förfrågningsunderlaget för bl.a. solfångaranläggningen. Energibehovet för tappvarmvatten bedömdes av konsulten till 14,57 kWh/m²,år. Frågan om vad som låg till grund för detta värde har för denna rapport inte blivit besvarad.

Kravet i förfrågningsunderlaget blev att solfångarsystemet som ska byggas ”skall leverera mins 50 000 kWh/år ha en ackumulatorvolym på 4 m³” (Lerums kommun 2010).

Entreprenaden upphandlades av AF Bygg som i sin tur upphandlade företaget Gridcon som underentreprenör för solfångaranläggningen. Med byggnadens yttre förutsättningar dimensionerades en anläggning med 126 m² solfångare som, enligt Pelle Pettersson⁵, efter angivna förutsättningar ska ha kapacitet att leverera 50 000 kWh/år.

Röselidsskolan är belägen i Gråbo c:a 2 mil nordost om Göteborg (se Figur 9). Detta område har en årlig solinstrålning på c:a 950-1000 kWh/m² (se Figur 3, sid. 6).



Figur 9: Lokalisering. (Google Maps)

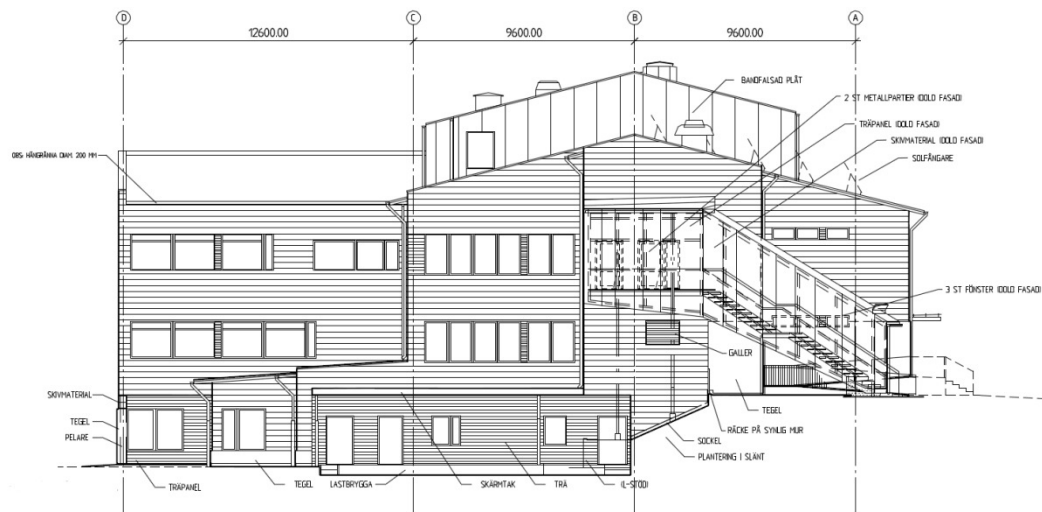
⁵ Pelle Pettersson, Gridcon, telefonintervju April 2012

3.1 Byggnaden



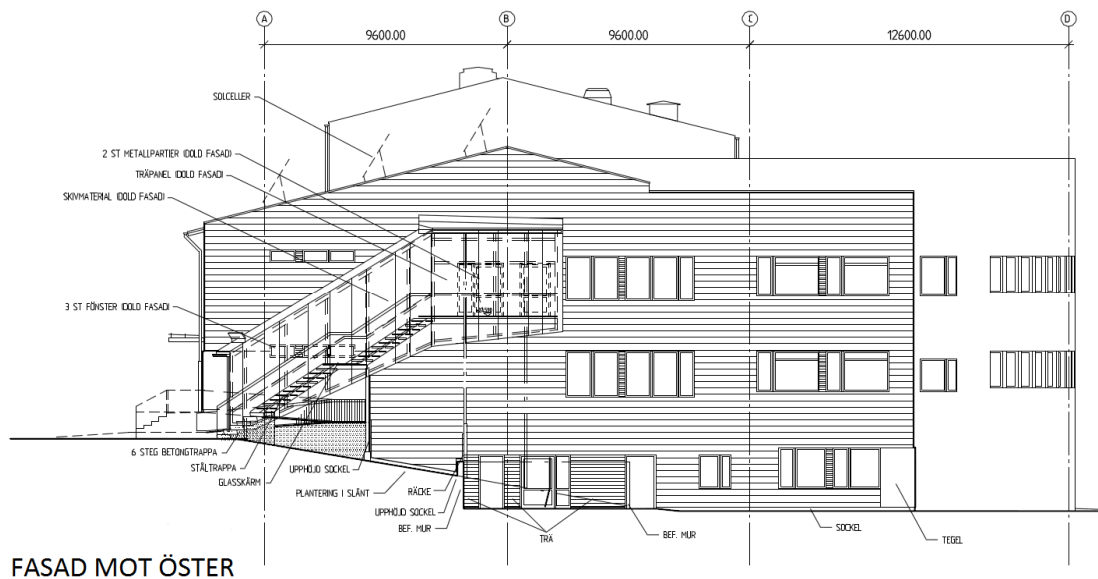
Figur 10: Roselidsskolan under byggnationen

Efter ombyggnaden ska Roselidsskolan bli 5485m^2 (A_{temp}). Byggnaden är högre än närliggande byggnader och hög nog att inte skuggas mycket av närliggande terräng. Dess långsida ligger i sydsydostlig riktning (19° öster om söder). Skolans tak åt söder har en lutning på 14° , vilket kan ses i Figur 11 och Figur 12.



FASAD MOT VÄSTER

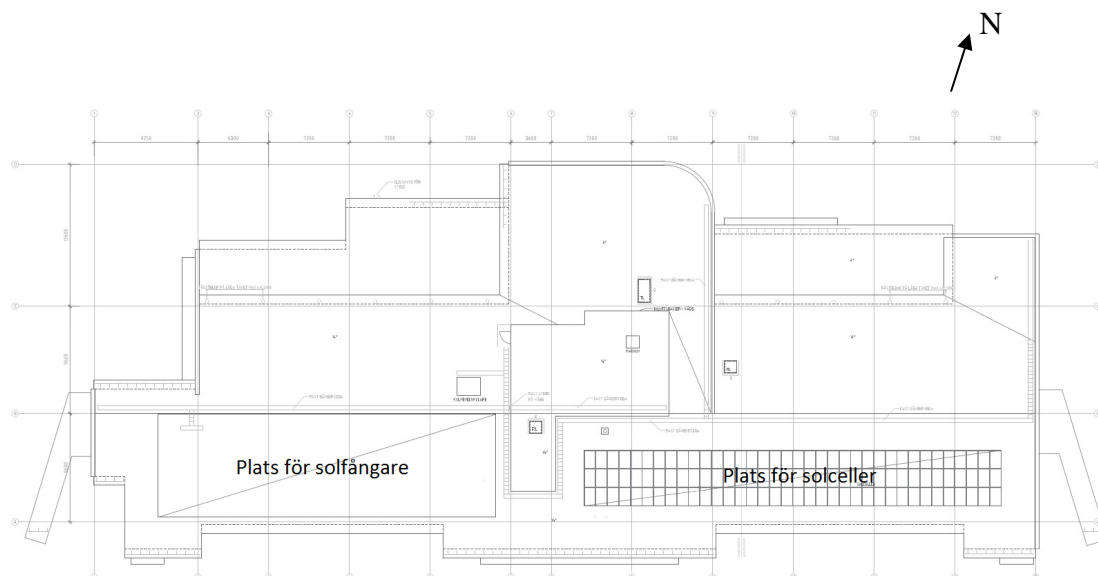
Figur 11: Fasad mot väster



FASAD MOT ÖSTER

Figur 12: Fasad mot öster

Figur 13 visar en takplanritning över skolan där områdena för de projekterade solenergiinstallationerna redovisas. Som kan ses i figuren är en betydande del av takytan åt söder upptagen av solpaneler som ska alstra elektrisitet. Borträknat fläktrummet har den söderliggande delen av taket en total area om c:a 960m².



Figur 13: Takplanritning

3.2 Verksamhet

Skolan kommer kunna hysa c:a 400 elever, fördelade i årskurser från förskola till årskurs 9. I skolan kommer det finnas ett tillagningskök som ska bereda mat till eleverna, samt flera undervisningskök då matkultur är en del av skolans profil (Lerums kommun, 2012b). Planer finns att undervisningsköken ska kunna användas kvällstid vid matlagningskurser för allmänheten. Förutom matlagningskurserna är ingen verksamhet på kvällar och helger planerad.

Under merparten av skolans lovveckor (veckonummer 1,7,14 ,25-28, 32,33,44,52) är fritidsverksamhet planerad att äga rum i skolan. Omfattningen av verksamheten är av kommunen uppskattad till 20 % av full verksamhet. Vecka 29-31 är skolan enligt uppgift från kommunen helt stängd.

Gymnastiksal ligger i en separat byggnad med egen varmvattenförsörjning.

3.3 Varmvattenanvändning

Riktlinjer för hur varmvattenanvändningen i skolor kan uppskattas, innan byggnaden tagits i bruk, finns i begränsad utsträckning. I denna rapport är kännedom om Röselidsskolans varmvattenanvändning viktig av två skäl:

- För att erhålla simuleringsresultat som så väl som möjligt överensstämmer med verkligheten. Nyttan från en solfångaranläggning för tappvarmvatten är direkt kopplad till tappvarmvattenanvändningen
- Vid dimensionering av en solfångaranläggning för tappvarmvatten är tappvarmvattenanvändningen utgångspunkten

Endast ett fåtal källor med relevant statistik har hittats och de redovisas nedan.

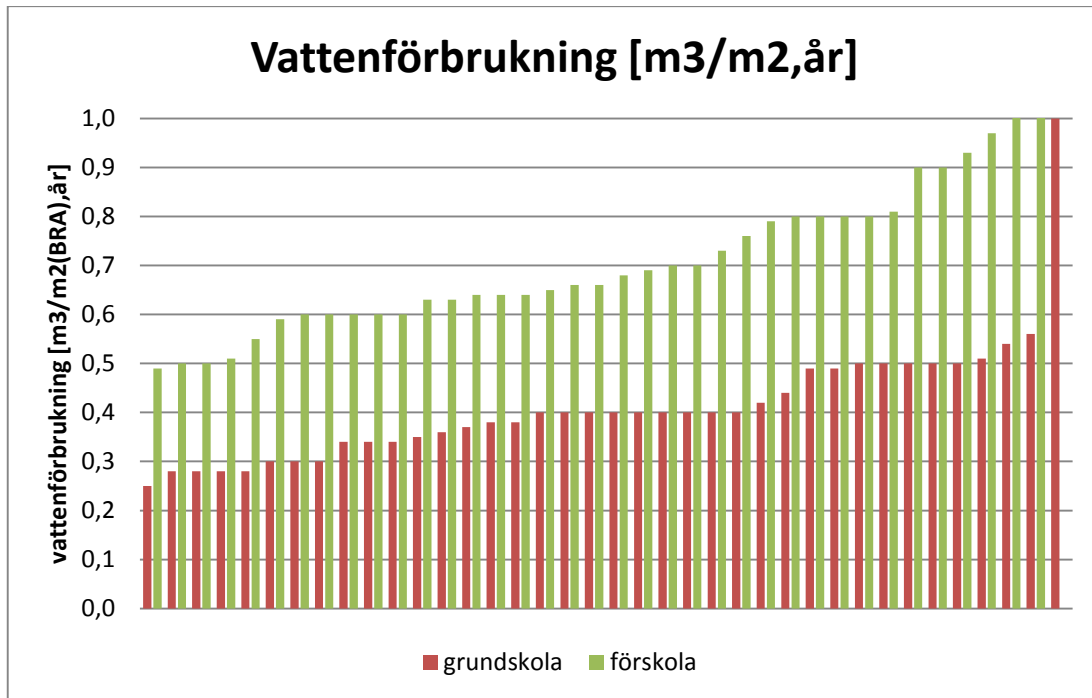
3.3.1 Sveby

Sveby är ett utvecklingsprogram som drivs av bygg- och fastighetsbranschen. Det har som syfte att skapa standardisering för energianvändning under ”normalt brukande” vilket ska fungera som en vägledande anvisning för beräkningar av energianvändning (Svebyprogrammet, 2010). För verksamhet av typ undervisning, där skolbyggnader rimligtvis inräknas, anges i dokumentet ”Brukarindata för energiberäkningar i kontor – vägledning” (Svebyprogrammet, 2010) ett årligt energibehov för uppvärmning av tappvatten på 10 kWh/m². Det skrivs dock i dokumentet att underlaget för detta värde är mycket begränsat. 10 kWh/m²,år resulterar i totalt 55 Mwh/år för Röselidsskolan. Jämförelsevis kan det nämnas att Sveby anger motsvarande värde för kontorbyggnader på 2 kWh/m²,år där underlaget är mer omfattande och bedöms vara förhållandevis tillförlitligt (Svebyprogrammet, 2010).

3.3.2 Offentliga Fastigheter

Kommuner och landsting samlar regelbundet in kostnadsnyckeltal som visar kostnadsutvecklingen för bl.a. offentliga fastigheters förvaltning. Den senaste sammanställningen av kostnadsnyckeltal rörande förvaltning av kommunala fastigheter publicerades 2006 och gäller kostnader under 2005 (Offentliga fastigheter, 2012). I materialet redovisas uppgifterna efter verksamhetstyp, bland annat grund- och förskola. Inget nyckeltal som beskriver varmvattenanvändningen finns redovisat. Däremot redovisas den totala vattenförbrukningen som med ett rimligt antagande om förhållandet mellan kall- och varmvattenförbrukning kan omräknas till varmvattenförbrukning.

Underlaget till sammanställningen publicerad 2006 bygger på uppgifter från 86 kommuner. Av dessa 86 kommuner har 38 kommuner redovisat vattenförbrukningen i grundskolor (totalt 834 objekt). 36 kommuner har redovisa vattenförbrukningen i förskolor. Redovisade uppgifter om vattenförbrukningen per kvadratmeter bruksarea (BRA) ses i diagrammet i Figur 14 på nästa sida.



Figur 14: Redovisade uppgifter över kommuners vattenanvändning i grundskolor resp. förskolor. Statistiken är hämtad från Offentliga fastigheter.

Som ses i diagrammet är vattenförbrukningen generellt betydligt högre i förskolor än i grundskolor. Dock är förskolan i Röselidsskolan en begränsad del av skolan i helhet. I Tabell 2 ses en sammanställning av redovisade uppgifter hämtad från offentligafastigheter.se.

Tabell 2: Sammanställning av redovisade uppgifter för vattenförbrukning. Låg är 10-percentilen, hög är 90-percentilen och medel är medelvärdet av värdena mellan låg och hög. Värdena avser årlig vattenförbrukning ($m^3/m^2, \text{år}$).

	Låg	Medel	Hög
Grundskola	0,28	0,40	0,51
Förskola	0,51	0,69	0,93

Den enda uppgiften om förhållandet mellan varm- och kallvattenanvändning i skolbyggnader som har hittats är hämtad från en utredning gjord 1979 i Sverige. Utredningen syftade till att bestämma ett samband mellan kall- och varmvattenanvändning i Kungliga Byggnadsstyrelsens fastighetsbestånd. I utredningen redovisas det sökta förhållandet för mätningar gjorda 1978 och 1979 (Byggnadsstyrelsen, 1980). 5 mätningar på skolor med restaurang redovisas och andelen varmvatten av total vattenförbrukning varierade mellan 17 och 22,5 % med medelvärde 17,6 %. Huruvida dessa uppgifter stämmer idag är naturligtvis svårt att

avgöra. Som schablonvärde väljs i denna rapport 20 % vilket kan kompensera för förskoledelens högre vattenanvändning. I Tabell 3 ses resulterande värden för varmvattenanvändning.

Tabell 3: Uppskattning av möjliga fall av varmvattenanvändning utgående från nyckeltal för grundskola.

Vattenförbrukning (m ³ /m ² BRA)		BRA (m ²)	Schablon andel varmvatten(%)	VV (m ³ /år)	Q _{VV} * (MWh/år)
Låg	0,28	5485	20	307	16
Medel	0,40	5485	20	439	23
Hög	0,51	5485	20	559	29

*Beräknad enligt:

$$Q = \frac{\rho \cdot c_p \cdot (T_{VV} - T_{KV}) \cdot V}{3600}$$

där: ρ = vattnets densitet (1000kg/m³)

c_p = vattnets specifika värmekapacitet (4,18 kJ/(kg °C))

T_{VV} = temperatur tappvarmvatten (55 °C)

T_{KV} = temperatur kallvatten (10 °C)

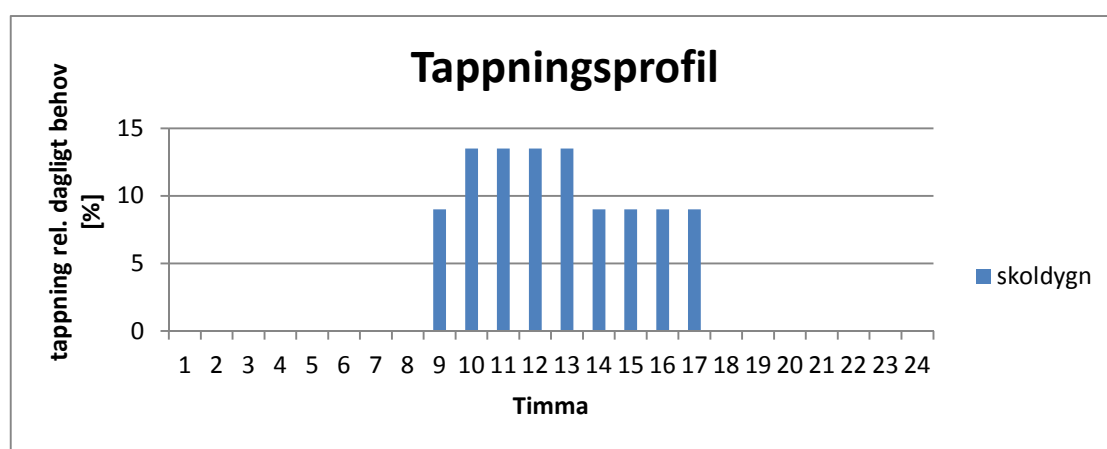
V = vattnets volym (m³)

3.3.3 Bedömning

Nyckeltalet 10 kWh/m²,år, angivet av Svebyprogrammet (2010) resulterar i ett årligt energibehov på ca 55 MWh/år för uppvärmning av tappvarmvatten i Röselidsskolan. Detta värde är markant högre än vad som kan uppskattas med hjälp av offentliga fastigheters statistik, där det högsta fallet anses vara ca 30 MWh/år. Då det uttryckligen står i Svebyprogrammet (2010) att deras underlag för byggnader för undervisning är mycket begränsat och då det avviker i hög grad från övriga värden anses det ej trovärdigt. Simuleringarna görs därför endast med varmvattenanvändning enligt Tabell 3. Då Röselidsskolan är nybyggd kan man möjligtvis anta att varmvattenanvändningen blir lägre än genomsnittet för skolor, men för att visa på hur nyttan beror av varmvattenanvändningen görs simuleringarna för låg, medel och hög användning enligt Tabell 3. Det är dock osäkert om en genomsnittlig skola har fritidsverksamhet i samma utsträckning som Röselidsskolan. Vid dimensioneringen av solfångaranläggningen för tappvarmvatten väljs det lägre värdet för att undvika överdimensionering.

3.3.4 Tappningsprofil

Med tappningsprofil menas hur tappningen av vatten är fördelad över tid. Tappningsprofilen bör således ha en viss inverkan på solfångaranläggningens nytta, då värmeförluster förekommer när värme från solfångarna lagras i ackumulatortankar. Då det i en skola förefaller högst troligt att all varmvattenanvändning sker dagtid har någon noggrann undersökning av tappningsprofilen inte gjorts. En viss topp i förbrukningen har ansatts under lunchtid, samt timmarna före lunch då tillagningsköket troligtvis är aktivt. Samma tappningsprofil har antagits gälla i fallet med ordinarie skoldag som i fallet då endast fritidsverksamhet råder. I det senare fallet antas dock den dagliga användningen vara 20 % av normalfallet. Den dagliga tappningsprofilen som i rapporten är antagen ses i diagrammet i Figur 15.



Figur 15: Timvis tappning som procent av den dagliga förbrukningen.

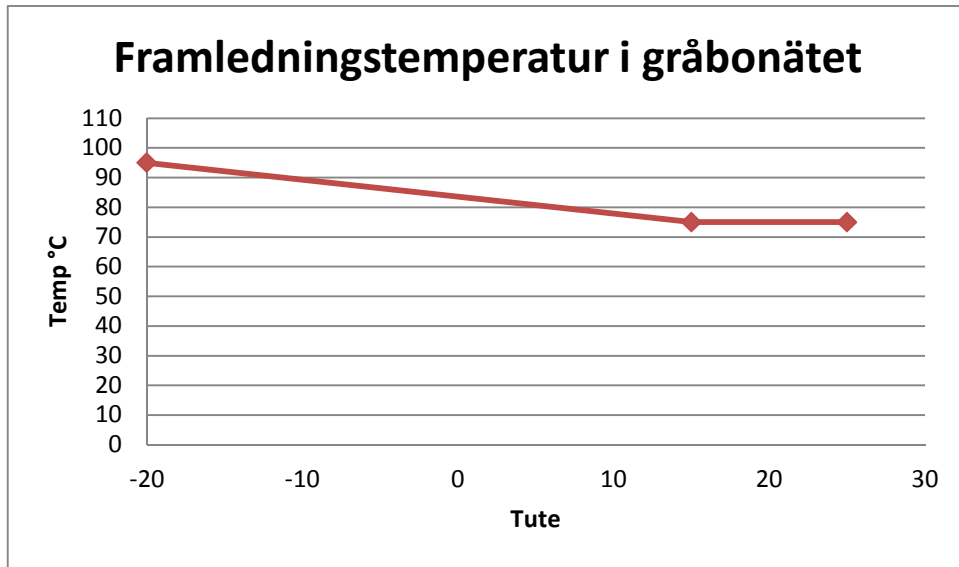
3.4 Fjärrvärme

Lerum fjärrvärme förser Röselidsskolan med fjärrvärme. Bolaget driver ett flertal fjärrvärmenät i Lerums kommun, och ett av dem är det i Gråbo. I värmecentralen i Gråbonätet sker, enligt Håkan Danielsson⁶ uppvärmning med två fastbränslepannor för briketter/pellets samt en oljepanna som spetspanna vintertid. Fastbränsle pannorna är på 1500 kW vardera. Totalt levererar värmecentralen ca 10 GWh värme årligen varav 95 % från biobränsle och 5 % från olja (Lerum kommun, 2008). Gråbonätet saknar ackumulatortank.

Sommartid (maj-september) används endast en av fastbränslepannorna. Pannan har en minimieffekt på 20 % av märkeffekten, alltså 300 kW, vilket även är det minsta effektuttaget ur nätet under sommartid. Om pannans minimieffekt underskrivs leder det till att pannan når sin maxtemperatur och automatiskt stoppas. Sedan måste pannan svalna och manuellt startas om (Håkan Danielsson⁶).

Framledningstemperaturen styrs beroende av utetemperaturen enligt diagrammet i Figur 16 (sid. 20). Returtemperaturen ligger mellan 40 och 50 hela året (Håkan Danielsson⁶).

⁶ Håkan Danielsson VD Lerum fjärrvärme, konversation via e-mail, Mars 2012



Figur 16: Framledningstemperatur i Gråbo fjärrvärmenät beroende av utetemperatur.

4 Studerade solfångaranläggningar

I detta kapitel redovisas de solfångarsystem som kan anses vara typs-system för tappvarmvatten respektive för värmeleverans till fjärrvärmenät. Systemet för tappvarmvatten är hämtat från de aktuella systembeskrivningarna för solfångaranläggningen som byggts på Röselidsskolan. För att göra texten i rapporten mer lättläst benämns de två olika systemtyperna i fortsättningen som följer:

-Solfångarsystem för att värma tappvarmvatten benämns TVV-system (TAPPVARMVATTEN-system)

-Solfångarsystem för leverans av värme till fjärrvärmenät benämns SFV-system (SOLFJARRVARME-system)

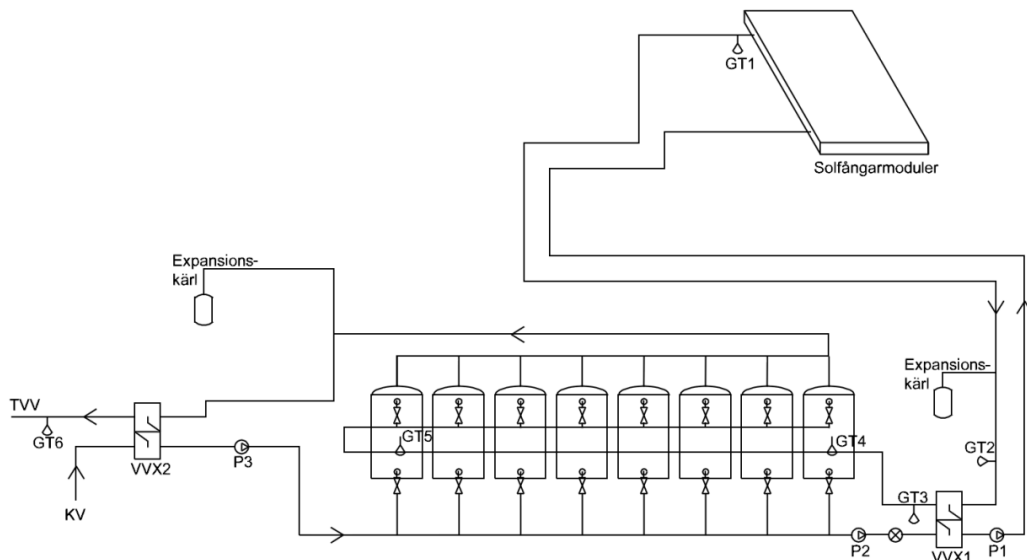
För respektive systemtyp redovisas först systemets funktion. Därefter följer de komponenter och flöden som, ihop med funktionsbeskrivningen, definierar anläggningen. Som tidigare nämnts i metodkapitlet har fyra solfångaranläggningar studerats:

Anläggning 1:	En anläggning för att värma tappvarmvatten i Röselidsskolan
Anläggning 2:	En anläggning på Röselidsskolan med solfångarna anslutna till fjärrvärmenätet
Anläggning 3:	Den anläggning som är byggd på Röselidsskolan
Anläggning 4:	Den anläggning som är byggd på Röselidsskolan men med solfångarna anslutna till fjärrvärmenätet

Anläggning 1 och 2 ska dimensioneras efter de försättningar som gäller för Röselidsskolan. Dimensioneringen av systemen redovisas i samband med respektive anläggnings beskrivning.

4.1 Typsystem för att värma tappvarmvatten

Det system som är byggt på Röselidsskolan kan anses vara typiskt för att värma tappvarmvatten för byggnader med fjärrvärme. I Figur 17 (sid. 22) ses ett principschema över systemet. I nästföljande kapitel följer en beskrivning av systemets funktion, där beteckningar för komponenter syftar på beteckningarna i principschemat.



Figur 17: Principschema för projekterat system

4.1.1 Funktionsbeskrivning

Inkommande kallvatten förvärmis med värme från kylaggregat i köket genom att kallvattnet passerar genom värmeväxlare i en ackumulatortank på kylkretsen. Detta finns dock inte med i Figur 17. Vidare värms vattnet genom värmeväxling med värme från ackumulatortankar i solkretsen, så att temperaturen efter värmeväxlaren ej överskrider 60 °C. Då värme från solkretsen ej är tillräcklig för att nå 60 °C eftervärms vattnet via värmeväxling med fjärrvärme.

Laddning av ackumulatortankar

Då utgångstemperaturen i solfångarfältet är högre än temperaturen i tanken, startar pumpen i solkretsen (P1). Då temperaturen i rörledningen från solfångarfältet, innan värmeväxlaren, är 5 grader varmare än den i tanken startar även pumpen i laddningskretsen (pump P2). Både pump P1 och pump P2 går med fast varvtal. Någon aktiv temperaturskiktning av vattnet i tankarna sker inte, utan lika stort flöde tillförs samtliga tankar genom anslutningar i toppen. Uttag av kall vätska från tankarna sker genom anslutningar nederst.

Urladdning av ackumulatortankar

Uttag av värme från tankarna sker i tankarnas översta del och returneras sedan nederst. Flödes styrs genom reglering av pump P3 så att vid flöde till VWX 2 styrs flödet så att 60 °C nås i vattnet utgående från VWX 2.

4.1.2 Anläggning 1 – Ny dimensionering

För att beräkna lämplig solfångaryta och ackumulatorvolym används metod beskriven i kap 2.6.2. För att undvika överdimensionering görs dimensioneringen utgående från det lägsta troliga varmvattenbehovet, alltså 307 m³/år. Med aktuell fördelning av den årliga mängden varmvatten över året erhålls ett dagligt behov på 1,4 m³ under en normal skoldag. Beräkningen av lämplig solfångaryta blir som följer:

$$yta_a = \frac{1,25 \cdot V_{VV/dag}}{50} = \frac{1,25 \cdot 1400}{50} = 35 m^2$$

$$yta_a \cdot 50 < V_{ack} < yta_a \cdot 100 \Leftrightarrow 1750l < V_{ack} < 3500l$$

där yta_a = total areal för solfångare (m^2)

$V_{VV/dag}$ = daglig varmvattenanvändning (l)

V_{ack} = ackumulatortanksvolym (l)

Då varmvattenbehovet är mycket osäkert tas ingen hänsyn till att förutsättningarna i dimensioneringsmetoden ej är uppfyllda.

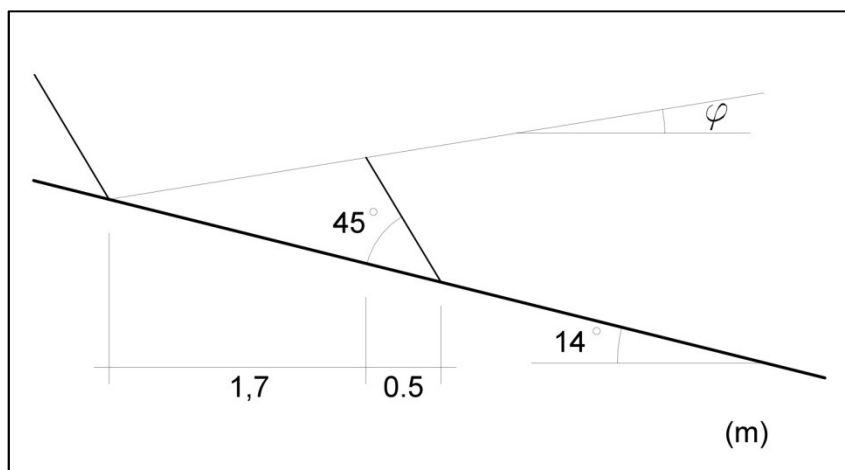
Övriga parametrar/egenskaper för anläggningen behålls som i den byggda anläggningen. Rördimensioner anpassas dock efter tryckfall 100 Pa/m. Lutningen av solfångarna väljs till 59° relativt horisontalplanet samt i taklutningen (14°). 59° är den lutning av solfångarna som är i den anläggning som är byggd på skolan (anläggning 3) och antas vara nära optimal då mest tappvarmvatten används under vår och höst.

Tabell 4: Data för anläggning 1

Solfångare		Specifika flöden	
Typ:	Plan, hög verkningsgrad	Solkrets:	15 l/h,m ²
		Laddkrets:	15 l/h,m ²
Total solfångaryta:	35 m ²		
Horisontallutning:	59° (taklutning 14° + stativ 45°) resp. 14°		
Ackumulatortank		Rörledning	
Typ:	--	Rör:	Cu 15-32 mm
Total volym:	2,6 m ³	Isolering:	Serie 43
Isolering:	70 mm mineralull		

4.1.3 Anläggning 3 – Byggd anläggning

I Tabell 5 (sid. 24) återfinns data för den anläggning som är projekterad och byggd. Avståndet mellan solfångarraderna (för att förhindra att solfångarna skuggar varandra) är enligt skissen i Figur 18 (sid. 24). Utgående från måtten i skissen fås att solfångarna är helt skuggfria för infallsvinklar (φ) större än 9°.



Figur 18: Skiss över tvärsnitt längs taklutningen. Måtten är tagna från ritning, och ungefärliga.

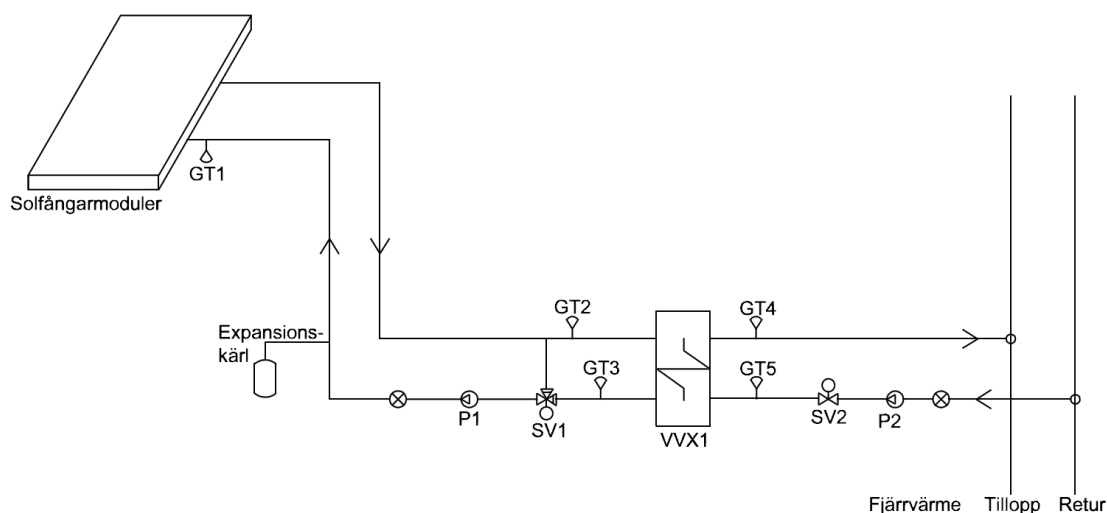
Tabell 5: Data för anläggning 3

Solfångare		Specifika flöden	
Typ:	Aquasol Long AR 4,0 (28 st)	Solkrets:	15 l/h,m ²
	Aquasol Long AR 2,0 (4 st)	Laddkrets:	15 l/h,m ²
Total solfångaryta:	126 m ²		
Horisontallutning:	59° (taklutning 14° + stativ 45°)		
Ackumulatortank		Rörledningar	
Typ:	Strömsnäspannan TS500L (8 st)	Rör:	Cu 15-32 mm
Total volym:	4 m ³	Isolering:	Serie 43
Isolering:	70 mm mineralull		

4.2 Typsystem för värmeleverans till fjärrvärmenät

4.2.1 Funktionsbeskrivning

Den alternativa systemlösning som beskrivs nedan är av standardtyp för system där värme från solfångare ska levereras till fjärrvärmenätet. Principschema över systemet ses i Figur 19 (sid. 25). Då temperaturen i solfångarna överstiger den i fjärrvärmenätets framledning styrs flöde från nätets returledning, som värms via värmewäxling med solkretsen, och levereras till nätets framledning. Då detta sker samtidigt som byggnaden har värmebehov, kommer flödet från solfångarsystemet automatiskt att gå till byggnaden, och endast överskottet levereras ut till nätet.



Figur 19: Principschema för typsystem för värmeleverans till fjärrvärmenät

Då temperaturen i solfångarna är högre än inställt börvärde (exempelvis temperaturen på fjärrvärmens returledning) startar pump P1 och flödet i kretsen värmer upp rörledningarna. Pump P1 kan gå på fast varvtal, så att konstant flöde i kretsen erhålls.

Då temperaturen i solkretsen, före värmeväxlaren, överstiger inställt börvärde (exempelvis några grader högre än vad som ska levereras ut till nätet) startar pump P2 så att flöde från nätets returledning går genom värmeväxlaren och till nätets framledning. Flödet styrs genom styrventil SV2 så att från fjärrvärmeleverantören krävd temperatur nås på flödet som levereras ut. Befintliga fjärrvärmeledningar sätter gränsen på flödet till 2,4 l/s (se kapitel 4.2.2).

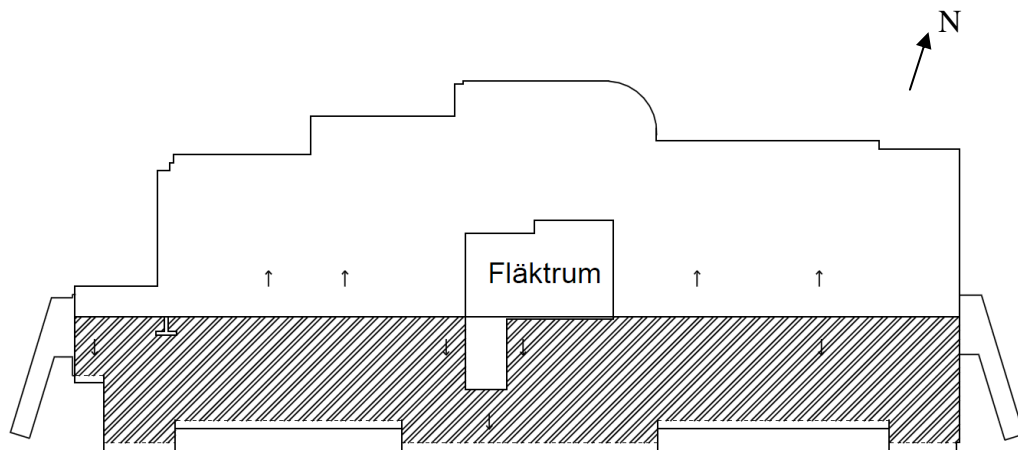
Då detta system, till skillnad mot tidigare beskrivet projekterat system, i allra högsta grad är i drift under de soligaste och varmaste dagarna på året, kan man inte förvänta överhettning i annat fall än t.ex. vid pumpstopp till följd av strömavbrott eller pumphaveri.

4.2.2 Anläggning 2 – Ny dimensionering

Enligt kap 2.6 begränsas solfångarytan av följande faktorer:

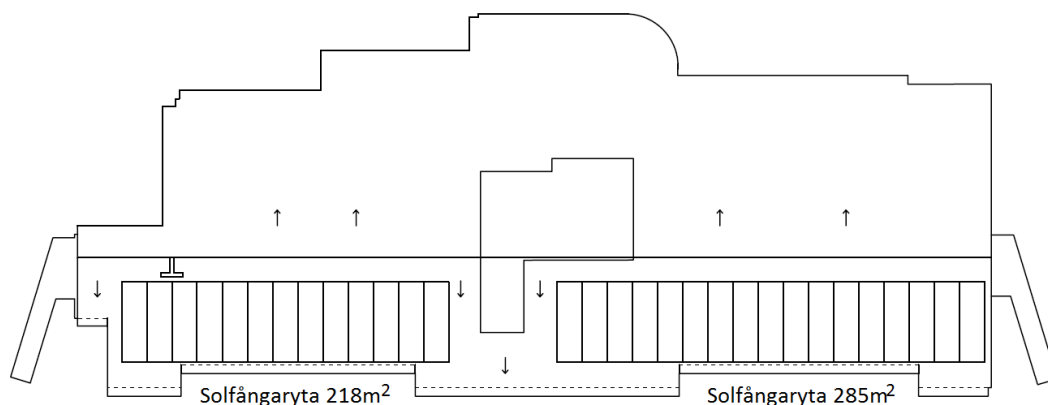
- Tillgänglig takyta och takets bärförmåga
- Servisledningens högsta tillåtna flöde
- Minsta momentana effektuttag i fjärrvärmesystemet

Då Röselidskolan är orienterad så att en del av taket är sluttande i sydostlig riktning och en del sluttande i nordvästlig riktning, begränsas lämplig yta för placering av solfångare enligt Figur 20 (sid. 26). Som ses i kap 3.1 Figur 13 (sid. 15) är en del av denna yta upptagen av solceller. I denna rapport är det dock av intresse att studera effekten av en maximal solfångaryta, och då skulle även en del av den upptagna ytan vara lämplig för solfångare.



Figur 20: Takyta med lämplig lutning och orientering (streckat område)

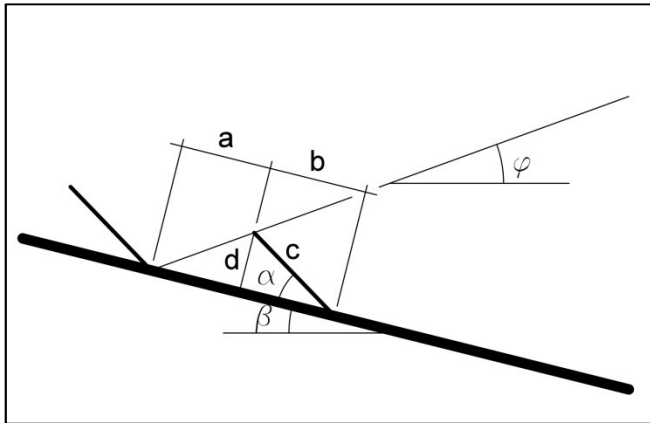
Då fläktrummet skuggar en del av ytan under eftermiddagen begränsas solfångarytan till c:a 500 m² enligt Figur 21.



Figur 21: Takritning med solfångare i takets lutning (14°)

I det fall då solfångarna monteras uppvinklade från taklutningen måste avståndet mellan raderna vara tillräckligt för att undvika att raderna skuggar varandra i allt för hög utsträckning. Nedan följer en beräkning av förhållandet mellan solfångarnas aperturyta och takyta, sådant att solfångarna är helt skuggfria då solljusets infallsvinkel är större än 20°. Lutning av solfångarna (inkl. taklutningen) antas vara optimal vid ca 45°. Lutningen väljs i denna anläggning till 44° relativt horisontalplanet (14° + 30°).

En skiss på ett tvärsnitt längs taklutningen ses i Figur 22 (sid. 27). I beräkningen som följer används beteckningar enligt figuren.



Figur 22: Skiss på tvärsektion genom tak samt solfångare, i taklutningens riktning

Det sökta förhållandet är $c/(a+b)$, beroende av infallsvinkel (φ), solfångarvinkel relativt takplanet (α) samt taklutningen (β).

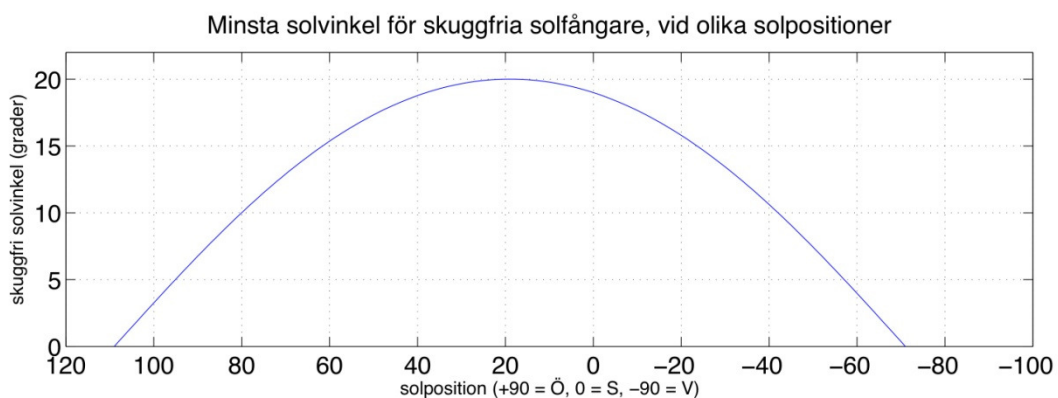
Ur figuren erhålles med hjälp av trigonometriska samband:

$$b = c \cdot \cos(\alpha)$$

$$d = c \cdot \sin(\alpha)$$

$$a = \frac{d}{\tan(\varphi + \beta)} = \frac{c \cdot \sin(\alpha)}{\tan(\varphi + \beta)}$$

Med $\varphi = 20^\circ$, $\alpha = 30^\circ$ och $\beta = 14^\circ$ blir den sökta kvoten $c/(a+b) = 0.62$. Då solfångarnas aperturyta är något mindre än dess byggyta antas $c/(a+b) = 0.6$ vara tillräckligt för att solfångarna ska vara skuggfria vid infallsvinklar över 20° . Den infallsvinkel då solfångarna är skuggfria, då solen rör sig från öster till väster, med den framtagna geometrin, ses i Figur 23.



Figur 23: I grafen ses vid vilken infallsvinkel som solfångarna är skuggfria, beroende av solens position.

500 m² takyta funnits lämplig för solfångare i taklutningen (se föregående sida). Med det framtagna förhållandet mellan takyta och aperturyta vid 44° lutning av solfångarna ryms $0.6 \times 500 = 300$ m² solfångare i på taket.

Ingen hänsyn tas till takets bärförmåga.

Enligt fjärrvärmeleverantören bedöms befintlig servisledning klara ett flöde om 1 m/s, vilket med ledningens dimension ger ett maximalt flöde på 2,4 l/s. Vid retur/framledningstemperatur på 50 °C/75 °C, fjärrvärmevattnets densitet 1 kg/l och dess specifika värmekapacitet 4,19 kJ/K fås en maximal tillåten effekt från solfångarna på 250 kW. Under förutsättning att solfångarnas maximala effekt är 600 W/m² solfångare begränsas alltså solfångarytan till c:a 400 m².

Enligt kap 3.4 är momentant effektuttag sommartid ur fjärrvärmenätet i Gråbo 300 kW.

För solfångare i taklutningen begränsas solfångarytan av servisledningen till 400 m². För solfångare uppvinklade till 44° begränsas solfångarytan till 300 m² av takets storlek. Då det är av intresse att visa på inverkan på anläggningarnas prestanda från solfångarnas lutning görs simuleringarna med 300 m² solfångare i båda fallen.

Ovanstående resonemang leder till två varianter av anläggningen. Nämligen:

- 300 m² solfångaryta med solfångare i taklutningen
- 300 m² solfångaryta med solfångare med 44° lutning

I Tabell 6 nedan återfinns data för ovanstående varianter.

Tabell 6: Data för anläggning 2

Solfångare		Rörledningar	
Typ:	Plan, hög verkningsgrad	Rör:	Cu 54 mm
Total aperturyta:	300 m ²	Isolering:	Serie 43
Horisontallutning:	59° resp. 14°		
Specifika flöden			
Solkrets:	15 l/h, m ²		
Fjärrvärmekrets:	13 l/h, m ²		

4.2.3 Anläggning 4 – Byggd anläggning

I anläggning 4 är solfångardelen identisk med den i den byggda anläggningen. Data för anläggning 4 ses i Tabell 7.

Tabell 7: Data för anläggning 4

Solfångare		Rörledningar	
Typ:	Plan, hög verkningsgrad	Rör:	Cu 15-32 mm
Total aperturyta:	126 m ²	Isolering:	Serie 43
Horisontallutning:	59°		
Specifika flöden			
Solkrets:	15 l/h, m ²		
Fjärrvärmekrets:	15 l/h, m ²		

5 Simulering

5.1 Polysun

Polysun används bl.a. av Centrum för Solenergiforskning, SERC. En validering av programmet gjordes exempelvis i en rapport av Klaus Lorenz (Lorenz, 2010) där ett referenssystem simulerades med både Polysun och Trnsys och resultaten visades överensstämma mycket väl.

I Polysun kan man bygga upp system med ett begränsat antal typer av komponenter. För varje typ av komponent kan man dock noggrant specificera dess egenskaper eller välja en fördefinierad komponent ur ett produktbibliotek.

Översta hierarkinivån i Polysun består av ett ”projekt”, där projektets lokalisering och platsens horisontlinje anges. Projektet i sin tur innehåller så kallade ”varianter”, som innehåller all information om solfångarsystemet. I Polysun finns ett stort antal befintliga system, s.k. ”standard modeller”, att välja mellan för simuleringar. Dessa går att modifiera efter behov genom att byta ut komponenter, ändra styrningar m.m. Alternativt kan man bygga ett eget system från grunden genom en sammansättning av komponenter och rör, vilket har valts som metod för rapportens simuleringar.

I Polysun beräknas mängden solljus på solfångarna i ett system med hjälp av Polysuns väderdatabas som innehåller värden från 8000 väderstationer världen över. Det är då möjligt att välja lokalisering för systemet via en markering på en karta eller via ett postnummer för att programmet ska kunna beräkna ljusets intensitet och dess horisontlinje. I simuleringen uppdateras solens position var fjärde minut (Polysun, 2012).

Den solinstrålning som Polysun utgår från vid Röselidsskolans position för ytor med olika lutning (orienterade 19° öster om söder) har sammanställts i Tabell 8.

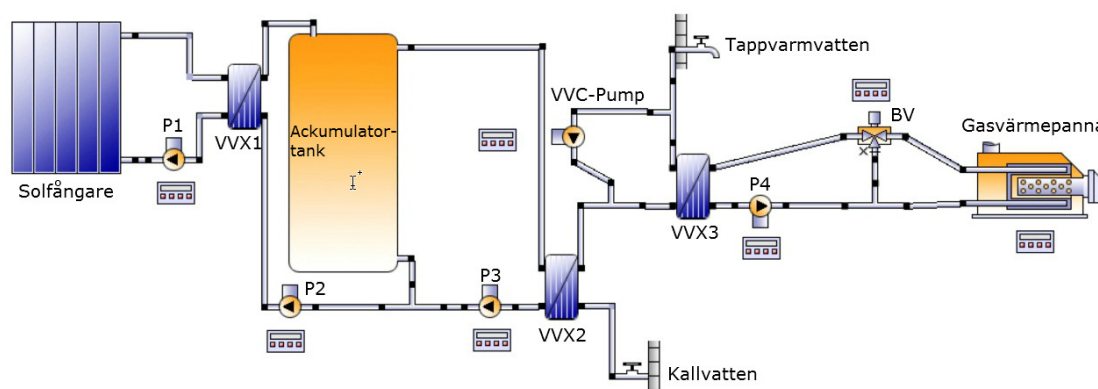
Tabell 8: Solinstrålning (kWh/m^2 vid Röselidsskolan, beroende av lutning)

Lutning	År	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
0°	941	11	25	59	104	153	161	164	125	77	38	15	8
14°	1039	17	34	70	116	161	164	171	135	90	47	23	11
44°	1113	26	47	85	125	158	152	165	138	104	60	34	18
59°	1073	29	50	86	120	146	137	151	130	104	62	38	20

Som tidigare nämnts ligger taket på skolan högt och skuggfritt. Horisonten har i Polysun ställts in till att ligga 10° upp relativt horisontalplanet. Det innebär att det enda simuleringsfallet där solfångarnas skuggning av varandra får någon inverkan är i anläggning 2 vid 44° solfångarvinkel. Den del av kurvan som beskriver vid vilken infallsvinkel som solfångarna är skuggfria (Figur 23, sid. 27) som överstiger 10° läggs in i Polysun som en modifiering av horisontlinjen då anläggning 2 simuleras med 44° solfångarvinkel.

5.2 Modellering av TVV-system

I simuleringen har systemet för förvärmning av tappvattnet med värme från kylaggregat ej inkluderats. Systemet kommer minska nyttan av solfångarna. I Figur 24 ses den grafiska representationen av modellen i Polysun.



Figur 24: Grafisk representation i Polysun av uppbyggd modell av TVV-systemet.

5.2.1 Varmvattenanvändning

Mängden vatten som tappas timvis specificeras i en indatafil, definierad enligt kapitel 3.3.4 (sid 19). I Polysun anger man även ett s.k. nominellt flöde:

Under en viss timma är specificerad tappning x liter. Om det nominella flödet är y liter/h kommer först under denna timma x liter tappas med flödet y liter/h. Under resten av timman sker ingen tappning. Det nominella flödet har för simuleringen ansatts så att under den timma som mest vatten tappas, så varar tappningen under 20 minuter.

Temperatur på kallvattentillförsel och varmvatten har ansatts enligt kap 3.3 (sid 16) till 10°C för kallvattnet och 55°C för varmvattnet.

Årlig varmvattenanvändningen anges beroende av fall. Värdena i indatafilen korrigeras då så att summan överensstämmer med den årliga varmvattenanvändningen.

5.2.2 Solfångarkretsen

För solfångarmodulernas utformning finns ett antal verkliga solfångarmodeller som har testats av exempelvis SP Sveriges tekniska forskningsinstitut. Då modellen som använts på Rösledsskolan, *Aquasol Long Ar*, inte finns med bland dessa, har modellen *Arcon HT 28/8* istället använts för att dess optiska- och termiska verkningsgrad överensstämmer med *Aquasol Long Ar*.

Rörledningar och isolering ställs in enligt Figur 17 (sid. 22) och Tabell 5 (sid. 24) för respektive simuleringsfall.

Styrning av pumpen i solkretsen ställs in enligt systembeskrivningen i kapitel 4.1.1 (sid. 22).

Solfångarnas totala aperturyta och deras lutning anges beroende av fall.

5.2.3 Ackumulatortank-kretsen

I det projekterade och byggda systemet sitter 8 parallellkopplade tankar (se Figur 17, sid. 22). Detta förenklas i simuleringen genom att istället använda en tank med samma totala volym, då funktionen i detta fall antas bli likvärdig. Skillnaden är tankarnas omslutande area som blir större för 8 tankar än för en. Då detta påverkar värmeförlusten från ackumulatortank kompenseras det genom att för simuleringen minska tankens isolering.

Pumparna i kretsen styrs som tidigare beskrivet i kapitel 4.1.1 (sid. 22).

Total ackumulatortankvolym anges beroende av fall.

5.2.4 Fjärrvärmekretsen

Fjärrvärmenätet som energikälla har i simuleringen ersatts av en gasvärmepanna med en maxeffekt på 100 kW. Detta för att säkerställa att temperaturen på den varma sidan alltid kan uppnå den temperatur som motsvarar fjärrvärmens framledningstemperatur. Trevägsventilen i kretsen styr temperaturen på vattnet in i värmeväxlaren till 75 °C.

Då inte solvärmens räckvidd räcker till för att uppnå den önskade tappvattentemperaturen, styr pump P4 så att utgående färskvattentemperatur når 60 °C. Pumpen fungerar som ersättning för fjärrvärmens tryckkupsättning samt reglerventilen i fjärrvärmecentralen. Energi överförd i värmeväxlare 3 motsvarar den energi, köpt fjärrvärme skulle ha levererat.

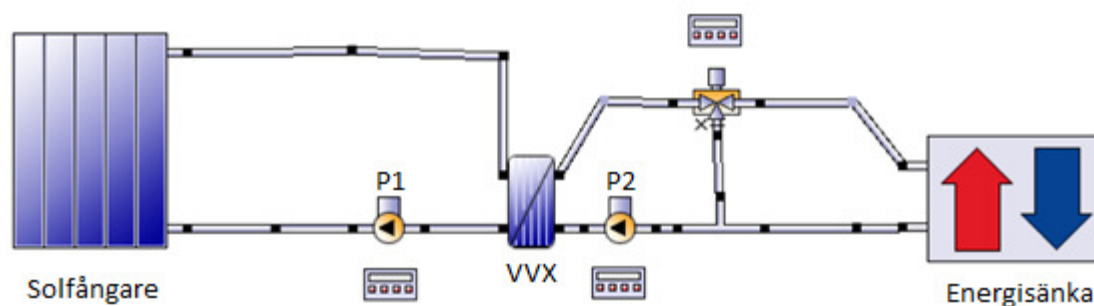
5.2.5 VVC

VVC-pumpen i färskvattenkretsen startar då temperaturen på vattnet i rören före fjärrvärmeväxlaren understiger 50 °C, för att förhindra tillväxt av legionella.

5.3 Modellering av SFV-system

Reglering av flödet på sekundärsidan, så att önskad temperatur till fjärrvärmenätet uppnås, var ej möjlig att åstadkomma i Polysun. En förändring av systemet fick göras som troligtvis ger sämre prestanda. I Figur 25 ses den grafiska representationen av modellen i Polysun.

Huruvida flödet till framledningen går ut på nätet eller används i byggnaden tas i modellen ingen hänsyn till. Detta påverkar naturligtvis inte mängden nyttiggjord solenergi i solfångarsystemet.



Figur 25: Grafisk representation i Polysun av uppbyggd modell av SFV-systemet.

5.3.1 Solfångarkretsen

Solfångarmoduler på samma sätt som Kap 5.2.2 (sid. 30)

Rörledningar och isolering ställs in enligt Figur 19 (sid. 25) och Tabell 6 (sid. 28) för respektive simuleringsfall.

Styrning för pumpen i solkretsen ställs in enligt systembeskrivningen i Kap 4.2.1 (sid. 24)

Solfångarnas totala aperturyta och deras lutning anges beroende av fall.

5.3.2 Fjärrvärmem

Komponenten benämnd energisänka kyler inkommande flöde så att utgående flöde får temperatur motsvarande fjärrvärmensätets returtemperatur. Pump P2 ger fast flöde enligt Tabell 6 (sid. 28), då flöde reglerat mot önskad temperatur ut till nätet ej var möjlig att genomföra i programmet. För att undvika att temperaturer under önskad temperatur levereras ut, används en trevägsventil som öppnar för flöde ut till nätet då temperaturen efter VVX är 2 °C högre än önskad temperatur ut till nätet och stänger då temperaturen understiger densamma. Beroende av simuleringsfall har både ett fast värde (75 °C) samt varierande enligt nätets framledningstemperatur (75-95 °C), använts som önskad temperatur ut till nätet (i Tabell 10 (sid. 34) kallad "fast" respektive "var.").

Fjärrvärmensätets temperaturnivåer definieras, i en indatafil, timvis över året. För att beräkna framledningstemperaturen vid varje timma användes Polysuns data för utomhustemperaturer i Gråbo. Beroende av utomhustemperaturen erhöles således en viss framledningstemperatur på det sätt som beskrivs i kapitel 3.4 (sid. 19). Returtemperaturen ansattes till 50 °C.

I verkligheten måste, som tidigare nämnts, pumpen övervinna differenstrycket i nätet för att skapa flöde från returledningen till framledningen. I komponenten "energisänka" saknas detta differenstryck. Pumpen ger alltid det flöde som den ställs in för.

5.4 Simuleringsfall

Samtliga simuleringsfall redovisas sammanfattningsvis i Tabell 9 (TVV-system) och i Tabell 10 (SFV-system) nedan.

För att visa hur den dimensionerade TVV-anläggningen (anläggning 1) presterar vid användning året runt har den även simulerats med det dagliga varmvattenbehov som den dimensionerades utgående från, fast tappat varje dag under året (som vid en bostad). Det dagliga varmvattenbehovet var 1,4 m³, vilket vid tappning året runt ger ett årligt varmvatten behov på 511 m³.

Tabell 9: Simuleringsfall, TVV-system

	Parameter nr.	1	2	3	4
Beskrivning	Benämning	Apperturyta (m ²)	Ack. volym (m ³)	TVV (m ³ /år)	Lutning
Anl. 1, låg TVV-last	1L	35	2.6	307	59°
Anl. 1, medel TVV-last	1M	35	2.6	439	59°
Anl. 1, hög TVV-last	1H	35	2.6	559	59°
Anl. 1, solf. i taklutning	1M14	35	2.6	439	14°
Anl. 1, tappning året runt	1B	35	2.6	511	59°
Anl. 3, låg TVV-last	3L	126	4	307	59°
Anl. 3, medel TVV-last	3M	126	4	439	59°
Anl. 3, hög TVV-last	3H	126	4	559	59°

Tabell 10: Simuleringsfall, SFV-system

	Parameter nr.	1	2	3
Beskrivning	Benämning	Apperturyta (m ²)	Utgående temp.	Lutning
Anl. 2	2a	300	fast	44°
Anl. 2	2b	300	var.	44°
Anl. 2	2c	300	fast	14°
Anl. 4	4	126	fast	59°

5.5 Simuleringsresultat

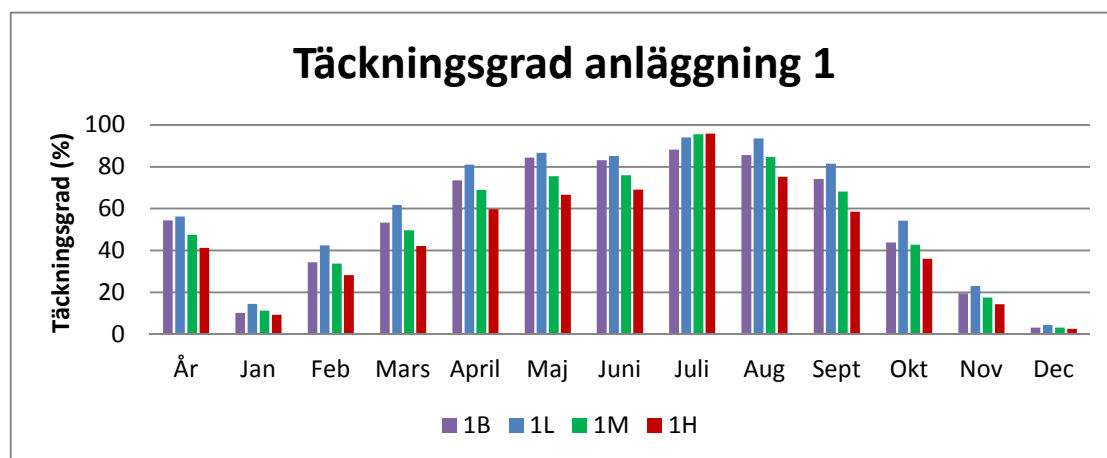
5.5.1 Anläggning 1 – Ny dimensionering

I Tabell 11 visas hur mycket energi som överförs från anläggning 1 till tappvattnet för de tidigare redovisade möjliga fall av varmvattenanvändning i Röselidsskolan (se kapitel 3.3). Fall 1B simulerades i syfte att få en uppskattning om hur mycket anläggningen kan ge i de fall då tappning av varmvatten sker lika mycket under hela året för att på så vis få ett referensvärde för modellen som simulerats.

Tabell 11: Nyttig energi från anläggning 1 under olika antaganden om skolans varmvattenanvändning.

Simuleringsfall	TVV	Energibehov TVV	Energi till TVV från solfångaranl.	Energi till TVV från s.f./m ²
	(m ³ /år)	(MWh/år)	(MWh/år)	(kWh/år,m ²)
1L	307	16	9,1	260
1M	439	23	10,9	311
1H	559	29	12,1	345
1M14	439	23	9,4	269
1B	511	27	14,5	415

Som ses i Tabell 11 minskar fjärrvärmebehovet för skolan med mellan 9,1 MWh/år och 12,1 MWh/år genom anläggning 1.



Figur 26: Årlig och månadsvis täckningsgrad för anläggning 1 under olika antaganden om varmvattenanvändning.

Anläggningen dimensionerades (se kap.4.1.2, sid. 22) så att täckningsgraden under den varmaste och soligaste månaden skulle bli nära 100 % (under antagandet om en varmvattenanvändning om 307 m³/år), vilket skulle medföra en årlig täckningsgrad om 50 %. Som ses i Figur 26 är den beräknade årliga täckningsgraden i fallet med varmvattenanvändning om 307 m³/år nära 55 %.

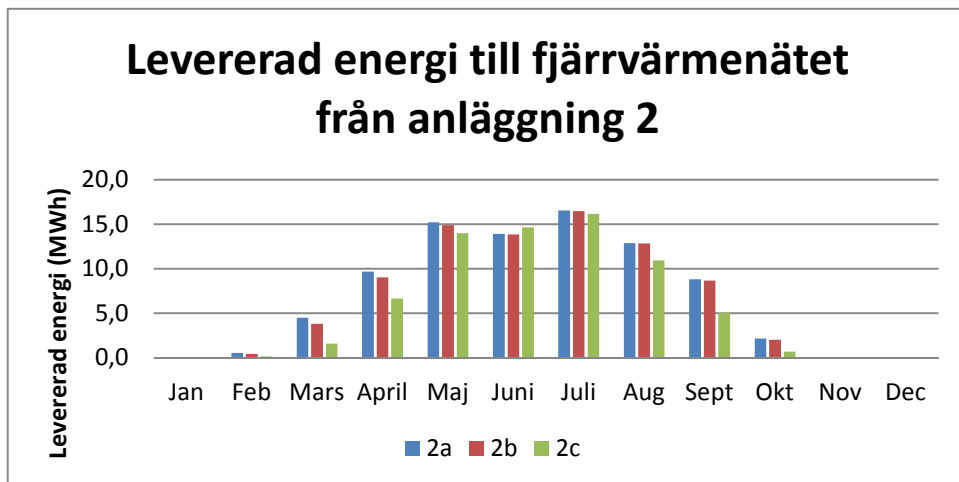
5.5.2 Anläggning 2 – Ny dimensionering

Anläggning 2 simulerades för två olika horisontalvinklar för solfångarna, 44° och 14° samt med fast respektive variabel temperatur till fjärrvärmenätet (se kap 5.3.2). Huvudresultaten av simuleringen ses i Tabell 12.

Tabell 12: Årlig levererad energi till fjärrvärmenätet vid olika lutning av solfångarna och med olika krav på temperaturen till fjärrvärmenätet.

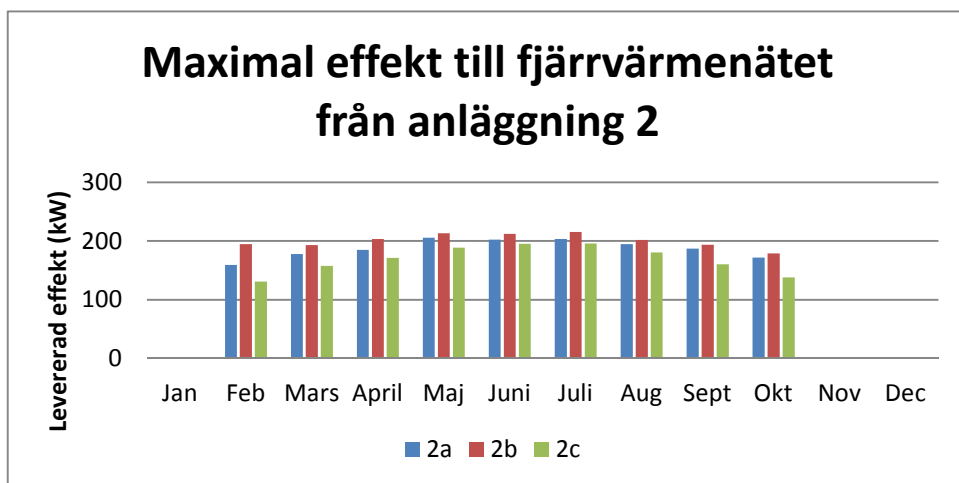
Simuleringsfall	Lutning	Utgående temp.	Levererad energi till fjärrvärmenätet	Levererad energi till fjärrvärmenätet
			(MWh/år)	(kWh/år,m ²)
2a	44°	fast	84,3	281
2b	44°	var.	82,1	274
2c	14°	fast	70,0	233

Leveransen av värme till fjärrvärmenätet är fördelad över året enligt diagram i Figur 27.



Figur 27: Värmeleveransens fördelning över året för anläggning 2.

Maximal utlevererad effekt är under sommaren ca 200 kW oavsett variant av anläggningen (se Figur 28).



Figur 28: Till fjärrvärmenätet maximal levererad effekt för respektive månad under året.

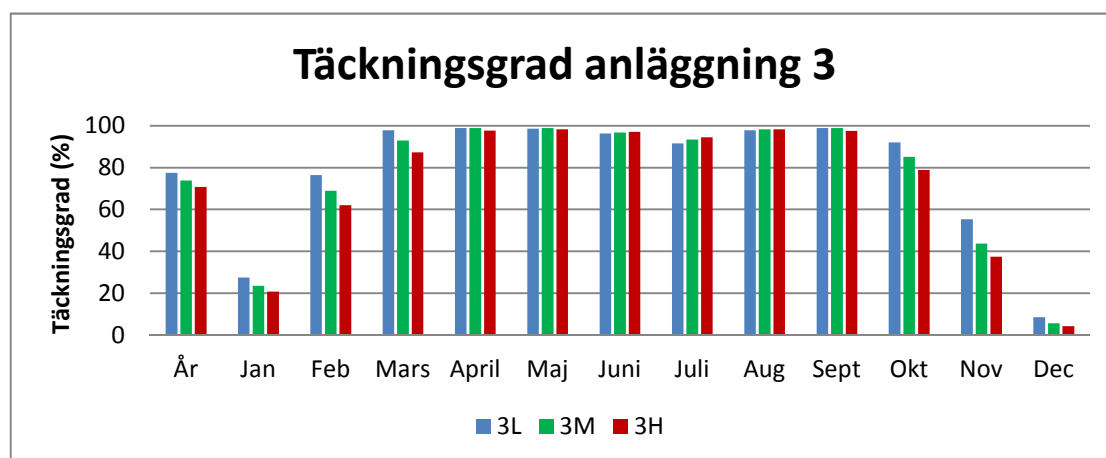
5.5.3 Anläggning 3 – Byggd anläggning

I Tabell 13 framgår hur mycket energi som överförs från solfångaranläggningen till tappvattnet för de tidigare redovisade möjliga fall av varmvattenanvändning i skolan (se kapitel 3.3, sid. 16).

Tabell 13: Nyttig energi från anläggning 3 under olika antaganden om skolans varmvattenanvändning.

Simuleringsfall	VV	Energibehov VV	Energi till VV från s.f.	Energi till VV från s.f./m ²
	(m ³ /år)	(MWh/år)	(MWh/år)	(kWh/år,m ²)
3L	307	16	12,7	100
3M	439	23	17,1	136
3H	559	29	20,8	165

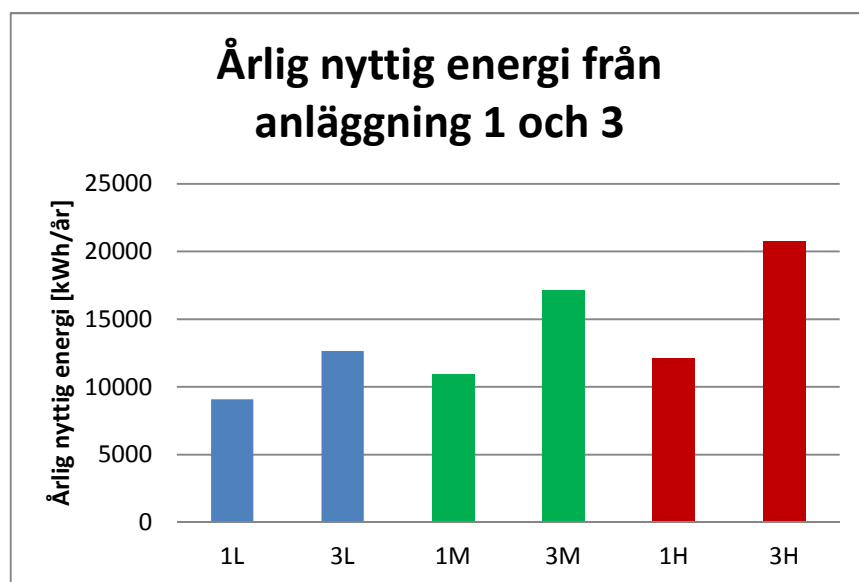
I Figur 29 ses täckningsgraden för anläggning 3 i de tre fallen.



Figur 29: Årlig och månadsvis täckningsgrad för anläggning 3 under olika antaganden om varmvattenanvändning.

5.5.4 Jämförelse anläggning 1 och anläggning 3

Skillnaden i nyttig energi från anläggning 1 jämfört med anläggning 3 är mellan 3,6 MWh/år och 8,7 MWh/år, beroende på varmvattenanvändning i skolan (se Figur 30). I fallet med varmvattenanvändning om 307 m³/år ökar mängden nyttiggjord solenergi då man går från anläggning 1 till anläggning 3 med 39 % medan solfångarytan ökar med 360 %. I fallet med varmvattenanvändning om 559 m³/år ökar den nyttiga energin med 72 %.



Figur 30: Diagrammet visar nyttig energi från anläggning 1 och anläggning 3.

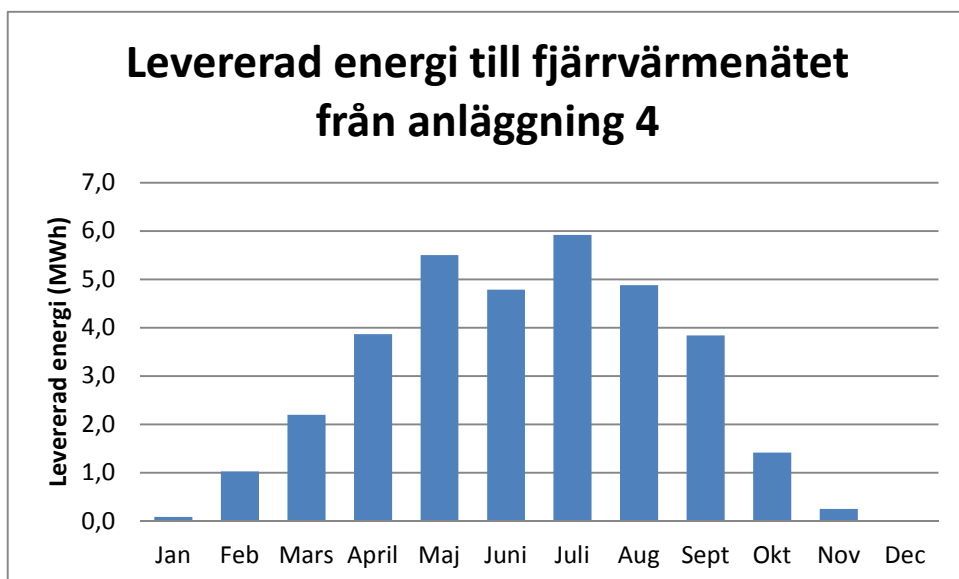
5.5.5 Anläggning 4 – Byggd anläggning

Beräknad värmeleverans till fjärrvärmenätet från anläggning 4 är 33,8 MWh/år, vilket motsvaras av 268 kWh/m²,år (se Tabell 14).

Tabell 14: Årlig levererad energi till fjärrvärmenätet från anläggning 4

Simuleringsfall	Lutning	Utgående temp.	Levererad energi till fjärrvärmenätet	Levererad energi till fjärrvärmenätet
			(MWh/år)	(kWh/år,m ²)
4	59°	fast	33,8	268

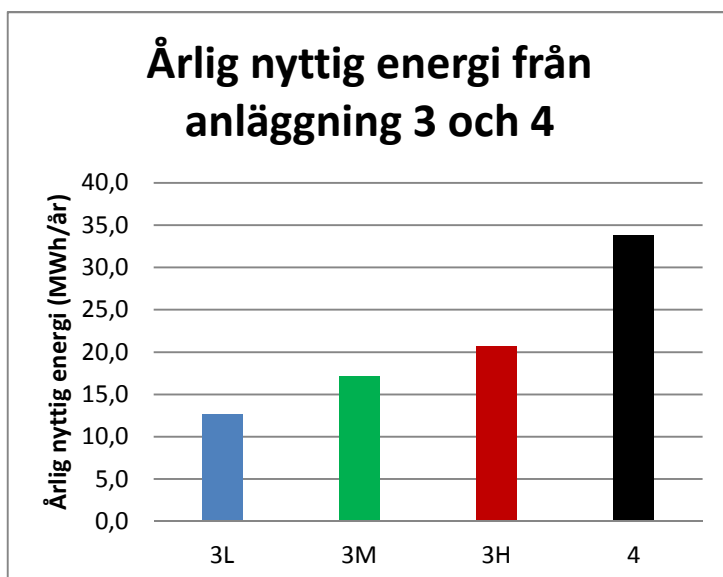
Leveransen är fördelad över året enligt diagram i Figur 31. Högsta utleverade effekt är 84 kW.



Figur 31: Månadsvis värmeleverans till fjärrvärmenätet från anläggning 4

5.5.6 Jämförelse av anläggning 3 och anläggning 4

Beroende på varmvattenanvändningen i skolan är beräknad årlig nyttig energi från anläggning 4 13 till 21 MWh mer än den nyttiga energin från anläggning 3, vilket innebär en ökning med mellan 63 och 167 % (se Figur 32).



Figur 32: Nyttig energi från anläggning 3 under olika antaganden om varmvattenanvändning samt energi levererad till fjärrvärmenätets framledning från anläggning 4.

5.6 Ekonomi

5.6.1 Förutsättningar

Det finns flera olika metoder för att ekonomiskt värdesätta och jämföra investeringar. I fallet med solfångaranläggningar är det fördelaktigt att visa på hur mycket den vunna solenergin kommer att ”kosta”, för att kunna jämföra kostnaden med den för en alternativ energikälla. För detta ändamål är annuitetsmetoden ett bra verktyg och har därför använts i rapporten för att ekonomiskt jämföra anläggningarna med varandra. Resultaten redovisas i kr/kWh och kan då också jämföras med det aktuella priset för fjärrvärme. Annuitetsmetoden beskrivs i kap 5.6.2 (sid. 41).

För en ekonomisk jämförelse mellan de olika anläggningarna behövs en investeringskostnad som ligger så nära verkligheten som möjligt. Då investeringskostnaden för den byggda anläggningen är känd men den för de alternativa lösningarna inte är det, skulle man för en rättvis jämförelse behöva en verklig kostnad för även de andra fallen. Detta skulle kräva att be entreprenören om anbud för alla alternativ på lösningar vilket inte ligger i deras direkta intresse då det är ett tidskrävande arbete. I stället görs en grov uppskattning av total investeringskostnad för anläggningarna. Kostanden för ett SFV-system i storleksordningen 150 m² solfångare, antas ligga på 7000 kr/m² solfångare. Motsvarande kostnad för TVV-systemen antas ligga på 10000 kr/m² solfångare. Vid en mindre solfångaryta närmar sig dessa värden varandra och för större anläggningar ökar skillnaderna. I detta värde ingår samtliga kostnader för anläggningarna.

Utöver investeringskostnaden behövs mer information om systemen för att kunna utvärdera deras ekonomiska hållbarhet med annuitetsmetoden. Nedan följer en del av den information som behövs för kostnadskalkylerna:

- En solfångares *livslängd* beräknas ofta för investeringskalkyler vara 20 år, trots att de kan förväntas fungera och generera värme längre än så (S-Solar, 2009). För rapportens kostnadskalkyler används därför denna livslängd.
- *Kalkylräntan* (räntesatsen som uttrycker avkastningskrav på investerat kapital) beräknas för Lerum kommuns kostnadskalkyler, för närvarande ligga på 5 %. Den räntan används vid kalkylerna då Lerums kommun har ekonomiskt ansvar för solfångaranläggningen på Röselidsskolan och då rapporten delvis syftar till att skapa underlag för framtida beslut av kommunen.
- *Driftkostnaden* för ett solfångarsystem antas vara försumbar.
- Solfångarnas *restvärde*, det vill säga deras ekonomiska värde då deras livstid är slut, antas för kalkylerna vara 0 kr.

Sammanställning av förutsättningarna ses i Tabell 15.

Tabell 15: Indata till de ekonomiska kalkylerna

System	Investeringskostnad (kr/m ²)	Livslängd (år)	Kalkylränta (%)
SFV-system	7 000	20	5
TVV-system	10 000	20	5

5.6.2 Beräkningar

En annuitet är summan av en kapitaldel och en räntedel i en ekonomisk kalkyl. Med metoden beräknar man summan av kapitalkostnaderna (summan av avskrivningar och ränta) och fördelar den jämnt över produktens livstid, så en genomsnittlig årlig kostnad (annuitet) erhålls (Expowera, 2012). Detta kan göras genom att multiplicera investeringskostnaden med en annuitetsfaktor:

$$\text{Annuitetsfaktor} = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-n}}$$

där: r = kalkylräntan

 n = antal perioder (år)

En livstid på 20 år och en kalkylränta på 5 % ger annuitetsfaktorn 0,0802.

$$\text{Investeringskostnad} = \text{Grundinvestering} - \text{Restvärde}$$

$$\text{Annuitet} = \text{Investeringskostnad} \times \text{Annuitetsfaktor}$$

Ex: Primärkopplat system, 126 m²:

$$7000 \text{ kr} \times 126 \text{ m}^2 - 0 \text{ kr} = 882'000$$

$$882'000 \text{ kr} \times 0,074 = 65268 \text{ kr/år}$$

Annuiteten divideras sedan med den årliga energibesparingen:

$$65268 / 25957,3 = 2,51 \text{ kr/kWh}$$

I Tabell 16 har detta värde för respektive simuleringsfall sammanställts.

Tabell 16: Beräknad kostnad för solvärme för respektive anläggning.

Simuleringsfall	Grundinvestering (kr)	Nyttiggjord solenergi (kWh/år)	Kostnad solenergi (kr/kWh)
1L	350 000	9 085	3,1
1M	350 000	10 901	2,6
1H	350 000	12 076	2,3
1M14	350 000	9 417	3,0
1B	350 000	14 531	1,9
2a	2 100 000	84 297	2,0
2b	2 100 000	82 087	2,1
2c	2 100 000	69 980	2,4
3L	1 260 000	12 654	8,0
3M	1 260 000	17 147	5,9
3H	1 260 000	20 756	4,9
4	882 000	33 780	2,1

Tabellen ovan visar vad solvärmen från respektive system kommer att kosta under solfångarnas antagna livstid. Beroende på val av system varierar som synes kostnaden kraftigt. Dyrast är solvärmen från det byggda systemet som är upp till 400 % dyrare än alternativen.

6 Slutsatser och diskussion

6.1 Ny dimensionering - jämförelse anläggning 1 och 2

Anläggning 1 är en solfångaranläggning för att värma tappvarmvatten i Röselidsskolan. Anläggningen dimensionerades utgående från statistik över varmvattenanvändning i skolor, vilket resulterade i 35 m² solfångaryta. Som alternativ till anläggning 1 dimensionerades en solfångaranläggning som levererar värme till fjärrvärmenätets framledning. Anläggningen dimensionerades för maximal storlek vilket resulterade i 300 m² solfångaryta.

Anläggning 1 beräknas ge mellan 260 och 345 kWh/m² solfångare och år, beroende på skolans varmvattenanvändning och solfångarnas lutning. Om anläggningen istället användes året runt, med 54 % täckningsgrad, beräknas anläggningen ge 415 kWh/m² solfångare och år. Några större skillnader mellan modell i Polysun och det verkliga systemet antas inte existera, så resultatet av simuleringen bör stämma väl överens med verkligheten.

Anläggning 2 beräknades ge mellan 233 och 281 kWh/m² solfångare och år under antagandet att temperaturen i fjärrvärmenätet är enligt uppgift från fjärrvärmeleverantören. Under sommartid blir dock temperaturen på värmebäraren ut till framledningen högre än nödvändigt med den modell som byggdes upp av systemet i Polysun, med sämre verkningsgrad för anläggningen som följd.

Trots det högre specifika värmeutbytet i anläggning 1 blir kostnaden per kWh nyttiggjord solenergi högre för anläggning 1 än 2, p.g.a. den lägre investeringskostnaden per kvadratmeter solfångare för anläggning 2.

Lägst kostnad för nyttiggjord solenergi från anläggning 1 blir i fallet med hög varmvattenanvändning, vilken resulterade i en årstäckningsgrad på 40 %. För att åstadkomma en anläggning med en bestämd täckningsgrad krävs att man på förhand vet varmvattenbehovet. För skolor är som tidigare nämnts information om hur varmvattenanvändning i skolor kan bedömas mycket begränsad. För att anläggningen inte ska bli för stor, med andra ord inte få för hög täckningsgrad, bör man vid dimensioneringen utgå från ett något lägre behov än vad som uppskattats. På så sätt begränsas täckningsgraden i praktiken ytterligare.

I anläggning 2 finns inget beroende av tappvarmvattenanvändning men däremot av fjärrvärmesystemets sommarlast. Sommarlasten bör vara jämförelsevis enkel att uppskatta genom driftdata. Så länge som anläggningen dimensioneras så dess utmatade effekt alltid underskrider effektuttaget ur fjärrvärmenätet blir då kostnaden per kWh nyttiggjord solenergi möjlig att bedöma på förhand.

Med solfångare på kommunens byggnader ges möjlighet att ersätta en andel av ordinarie energitillförsel med solvärme. Med TVV-system begränsas kommunens direkta påverkan till att endast "så stor andel av totalt energibehov i den geografiska kommunen som kommunens egna fastigheter utgör" kan ersättas med solvärme. Men föregår med "gott exempel" och kanske väljer fler inom geografiska kommunen att göra så. Med SFV-system ges kommunen möjlighet att, genom fjärrvärmesystem, ersätta ordinarie energitillförsel för samtliga anslutna byggnader i nätet.

Anläggning 2 har beräknats leverera 70-85 MWh årligen till fjärrvärmesystemet medan anläggning 1 har beräknats minska behovet av fjärrvärme för Röselidsskolan

med ca 9-12 MWh. Potentialen att minska behovet av köpt energi för den geografiska kommunen är därmed 6 till 9 gånger större med anläggning 2 än anläggning 1.

6.2 Byggd anläggning

Den anläggning som är byggd på Röselidsskolan har 126 m² solfångaryta och skolans tappvarmvatten. Anläggning 3 modellerad för att i hög grad efterlikna den byggda anläggningen. I anläggning 4 är solfångardelen identisk med den i anläggning 3, men levererar istället värme till fjärrvärmenätet.

6.2.1 Anläggning 3

I förfrågningsunderlaget anges att solfångaranläggningen till Röselidsskolan ska leverera 50 MWh/år. För att det över huvud taget ska vara möjligt krävs naturligtvis ett energibehov för uppvärmning av tappvatten som är högre än 50 MWh/år. Energiberäkningen som ligger till grund för detta krav visade på ett energibehov för tappvarmvatten på 14,6 kWh/m²,år vilket ger totalt 80 MWh/år. Den tänkta täckningsgraden för solfångaranläggningen borde rimligtvis då varit $50/80=62\%$. Utgående från Offentliga Fastigheters statistik är medelvärdet för energibehov för värmning av tappvatten i en skola c:a 4 kWh/m²,år under antagandet att 20 % av vattenförbrukningen blir tappvarmvatten. Medianvärdet av de 10 % skolor med högst förbrukning ger motsvarande energibehov på 5 kWh/m²,år. Statistiken bygger på uppgifter om vattenförbrukning från 38 svenska kommuner. Hur mycket varmvatten skolan faktiskt kommer att använda är omöjligt att veta, men det förefaller otroligt att den skulle använda 3 gånger så mycket som de skolor med högst användning i Offentliga fastigheters statistik.

Då årstäckningsgraden för anläggningen beräknats för behov utgående från tidigare nämnd statistik, blev resultatet mellan 70 och 80 %. Solvärmens man investerar i blir då förhållandevis dyr, mellan 5 och 8 kr/kWh. Om anläggningen hade gett 50 MWh årligen hade priset för solenergin blivit 2 kr/kWh.

Anläggningen beräknas ge mellan 12,7MWh/år och 20,8 MWh/år vilket alltså endast är mellan 25 % och 42 % av kravet i förfrågningsunderlaget på 50MWh/år.

6.2.2 Anläggning 4

Inkopplad för värmeleverans till fjärrvärmenätet skulle den byggda anläggningen kunna leverera 33,8 MWh/år till nätet.

Minsta effektuttag ur fjärrvärmenätet är under sommaren ca 300 kW, vilket även är minimieffekt i värmeverkets fastbränslepanna. Högsta timmedeleffekt från solfångaranläggningen beräknades för anläggning 4 till c:a 85 kW. Värmetillskottet till fjärrvärmenätet riskerar då att pannans minimieffekt underskrids vilket leder till att pannan når sin maxtemperatur och automatiskt stoppas. Sedan måste pannan svalna och manuellt startas om. För att inkoppling av solfångaranläggningen till fjärrvärmenätet ska vara meningsfullt måste, från solfångaranläggningen inmatad energi medföra ett minskat eldningsbehov av ungefär samma storleksordning i värmeverket. Givetvis bör inte heller inkopplingen medföra några betydande praktiska olägenheter för driften av fjärrvärmesystemet. Med rådande förutsättningar verkar dessa villkor inte kunna uppfyllas.

6.3 Rekommendationer

Solfångare inkopplade för leverans av värme till fjärrvärmenätet framstår som en ”lysande” väg, med stor potential, för Lerums kommun att minska den geografiska kommunens behov av köpt energi. Som visats krävs dock att fjärrvärmesystemet anpassas för att ta emot värme från solfångaranläggningar. Rekommendationen blir således att kommunen och fjärrvärmebolaget i Lerum samordnar sina planer för hur solvärme ska användas inom kommunen.

För skolbyggnader som inte är anslutna till fjärrvärmenät rekommenderas att använda solfångare för att värma tappvarmvatten, men då med en låg täckningsgrad. För att åstadkomma en specifik täckningsgrad måste den förväntade varmvattenanvändningen noggrant utredas.

7 Referenser

- Andrén, L. (2007). *Solvärmeboken*. 3. uppl. Västerås: ICA
- Eriksson, L. (2001). *Implementation of multiple solar heating systems into existing heat distribution networks*. Stockholm: Svenska fjärrvärmeföreningen
- Expowera (2012). *Annuitetsmetoden*. Tillgänglig: http://www.expowera.se/mentor/ekonomi/kalkylering_investering_annuitet.htm [20 Feb. 2012]
- Forell, H. E. (1980). *Varmvattenförbrukning*. (Byggnadsstyrelsen Tekniska byråns information, 1980:17) Tillgänglig: http://130.28.2.132/Publications%5CITB_17%5CITB_17.pdf [20 Feb. 2012]
- Frederiksen, S., Werner, S. (1993) *Fjärrvärme : teori, teknik och funktion*. Lund : Studentlitteratur
- Lerums kommun (2008). *Energiplan 2008 – för lerums kommun*. Tillgänglig: <http://www.lerum.se/Vision2025/Energi/Energieffektiv-kommun/Energiplan/> [20 Feb. 2012]
- Lerums kommun (2010). *Klimatstrategi för Lerums kommun*. Tillgänglig: <http://www.lerum.se/Documents/Dokumenthanteraren/Trafik,%20v%C3%A4gar%20och%20resande/Fakta,%20info/Klimat%20och%20miljo/Klimatstrategi%202010.pdf?epslanguage=sv> [20 Feb. 2012]
- Lerums kommun (2012a). *Vision 2025*. Tillgänglig: <http://www.lerum.se/Vision2025/> [20 Feb. 2012]
- Lerums kommun (2012b). *Gråbo nya skolor*. Tillgänglig: <http://lerum.se/Utbildning-och-barnomsorg/Grabo-nya-skolor/> [20 Feb. 2012]
- Lerum fjärrvärme (2012). *Våra centraler*. Tillgänglig: http://www.lerumfjarrvarme.se/Fjarrvarmenatet/Vara_anlaggningar/Varmecentraler [20 Feb. 2012]
- Lorenz, K. (2010). *Solvärme i nybyggda hus*. Region Gävleborg (SWX Energi rapport, 2010:12)
- Offentliga fastigheter (2006). *Förvaltningskostnader i sammandrag - Grundskolor*. Tillgänglig: <http://www.offentligafastigheter.se/web/page.aspx?refId=40> [20 Feb. 2012]
- Polysun (2012). Tillgänglig: http://www.polysun.ch/vs2/index.php?article_id=8&clang=1 [20 Feb. 2012]

SMHI (2007). *Solinstrålning*. (Faktablad SMHI, 2007:31) Tillgänglig:
http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.6403!faktablad_solstralning%5B1%5D.pdf [20 Feb. 2012]

S-Solar (2009). *Plana glasade solfångare*. Tillgänglig:
<http://www.ssolar.com/ProdukterAnvändningsområden/Planaglasadesolfångare/Långlivslängd/tabid/304/Default.aspx> [1 Sept. 2012]

Svensk solenergi (2010). *Solvärmesystem för småhus - Kursmaterial för installatörer*. Kursmaterial under revidering i samarbete med SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut.

Svebyprogrammet (2010). *Brukarindata för energiberäkningar i kontor – vägledning*. Stockholm: Svebyprogrammet (Svebyprogrammet projektrapport, 2010) Tillgänglig:
<http://www.sveby.org/wp-content/uploads/2012/01/Brukarindata-Kontor.pdf> [20 Feb. 2012]

Svensk fjärrvärme (2012). *Så funkar fjärrvärme*. Tillgänglig:
<http://www.svenskfjarrvarme.se/Fjarrvarme/Sa-funkar-fjarrvarme/> [20 Feb. 2012]

The German Solar Society (2005). *Planning and Installing Solar Thermal Systems - A Guide for Installers, Architects and Engineers*. Earthscan. Tillgänglig:
http://www.knovel.com/web/portal/browse/display?_EXT_KNOVEL_DISPLAY_bookid=2285&VerticalID=0 [20 Feb. 2012]

Werner, S (1997). *Dynamiska värmelaster från fiktiva värmebehov*. Stockholm: Svenska fjärrvärmeföreningens service AB (Fjärrvärmeföreningen, 1997:10)

Zinko, H (2002). Tekniska specifikationer för stora solvärmesystem. I *Storskalig solfjärrvärme – generella förstudier*, red. H. Isaksson, ss. 8-31. Energimyndigheten. Tillgänglig:
<http://www.energimyndigheten.se/Global/Forskning/Bygg/Storskalig%20solfj%C3%A4rrv%C3%A4rme.pdf> [20 Feb. 2012]

Bildreferenser:

Boroe (2012). *Solenergi - framtidens energikälla*. Tillgänglig:
<http://www.boroe.com/solfangarsystem.php> [20 Feb. 2012]

Solenergiteknikern VVS (2012). Tillgänglig: solenergitekniker.se [20 Feb. 2012]