



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

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



Rapport

R12:1979

Energi från solvärmd vind

**Beredning av varmvatten eller
förvärmning av ventilationsluft
Förstudie**

Thore Abrahamsson

Byggforskningen

R12:1979

ENERGI FRÅN SOLVÄRMD VIND

Beredning av varmvatten eller förvärmning
av ventilationsluft
Förstudie

Thore Abrahamsson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780894-9
från Statens råd för byggnadsforskning till Vårgårda
kommun, Tekniska avd., Centrala byggnadskommittén.

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

R12:1979

ISBN 91-540-2974-0
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 950261

INNEHÅLL

SAMMANFATTNING	5
1. INLEDNING	7
1.1 Problemställning	7
1.2 Projektet	7
2. BETECKNINGAR OCH BEGREPP	9
3. BERÄKNINGAR	11
3.1 Förvärmning av ventilationsluft	11
3.1.1 Förutsättningar	11
3.1.2 Systembeskrivning	11
3.1.3 Energiberäkningar	12
3.1.4 Initialkostnader	14
3.1.5 Lönsamhetsanalys	14
3.2 Varmvattenberedning	14
3.2.1 Förutsättningar	14
3.2.2 Systembeskrivning	14
3.2.3 Energiberäkningar	15
3.2.4 Initialkostnader	17
3.2.5 Lönsamhetsanalys	18
3.2.6 Ekonomisk jämförelse med renodlad sol- fångaranläggning	19
BILAGOR	21
REFERENSER	25

SAMMANFATTNING

Föreliggande utredning belyser möjligheterna att för uppvärmningsändamål nyttja den solenergi som via yttertaket läcker in på en byggnads vind. Studien omfattar två alternativa användningsområden, nämligen att använda energin antingen för förvärmning av tilluft eller som primär värmekälla för en värmepumpänläggning för varmvattenberedning. En aktuell tillbyggnad av ett äldre bostadshem - Kullingshemmet - i Vårgårda kommun används som studieobjekt.

Nybyggnationen vid Kullingshemmet omfattar fyra huskroppar med olika funktion. Samtliga hus kommer att få yttertak av trä med betongpannor. Avsikten är att idémässigt nyttja tegelpannorna samt luftspalten mellan dessa och underliggande trätak som naturliga solfångarytor för förvärmning av luft. I två av husen - byggnad D och C1 - skall därvid tilluften till husen intagas via nämnda luftspalter och på så sätt förvärmas innan luften når respektive tilluftsaggregat. I det tredje huset - byggnad E - skall luften nyttjas som värmekälla för en värmepumpänläggning för beredning av förbrukningsvarmvatten. Det fjärde huset - C2 - ingår ej i undersökningen.

Byggnad D har endast ett tilluftsaggregat. Aggregatet är utrustat för regenerativ värmeåtervinning med verkningsgraden $\eta = 70\%$. Luftflödet uppgår till $5,55 \text{ m}^3/\text{sek.}$ och anläggningen har 100% driftstid. Taket har en yta av 720 m^2 åt öster och lika mycket åt väster. På grund av värmeåtervinningen är en förvärmning med solenergi till en temperatur över $+13^\circ\text{C}$ ej intressant och ger ingen energibesparing. Mot denna bakgrund visar beräkningarna på en energivinst av c:a $37 \text{ MWh}/\text{år}$, motsvarande ett värde av $3.250 \text{ kr}/\text{år}$ vid dagens energipris. Ställer man detta i relation till en merinvestering av c:a 10.000 kronor erhålls en pay off-tid om c:a 3 år.

Byggnad C1 innehåller två tilluftsaggregat å $1,95$ resp. $2,5 \text{ m}^3/\text{sek.}$ Båda aggregaten är endast i drift under dagtid. Det förstnämnda har ingen värmeåtervinning, medan det andra har regenerativ värmeåtervinning med $\eta = 70\%$. Utan värmeåtervinning blir förvärmning upp till c:a $+18^\circ\text{C}$ meningsfull. Med värmeåtervinning gäller samma temperaturgräns som för hus D, d v s $+13^\circ\text{C}$. Besparingen har beräknats till c:a 13 resp. $10 \text{ MWh}/\text{år}$, motsvarande ett värde av 1000 resp. $800 \text{ kr}/\text{år}$. Med en kalkylerad merinvestering av 4.000 respektive 5.000 kronor erhålles en pay off-tid av c:a 4 resp. $6,5$ år.

I byggnad E uppgår takytan till 500 m^2 åt vardera öst och väst. En värmepump installeras för varmvattenberedning, varvid dess förångningsbatteri placeras på vinden. Två alternativ har studerats. I det ena alternativet dimensioneras värmepumpen för en kondensoreffekt av 100 kW och i det andra för 50 kW . I båda alternativen gäller förångningstemperaturen $+5^\circ\text{C}$ och kondenseringstemperaturen $+55^\circ\text{C}$ som dimensioneringsförutsättningar.

Luftflödet genom förångningsbatteriet är $5,55$ resp. $2,77 \text{ m}^3/\text{sek.}$, varav $0,83 \text{ m}^3/\text{sek.}$ i form av frånluft och resten uteluft som förvärmas av solen vid passage via yttertak och vindsutrymme. Initialkostnaderna har beräknats till c:a 120.000 resp. 90.000 kronor.

Värmepumpanläggningen beräknas kunna leverera c:a 240 respektive 165 MWh/år för varmvattenberedning. Drivenergin härför är 60 respektive 42 MWh/år. Detta ger en genomsnittlig årlig värmefaktor av storleksordningen 4. Beroende på höga effektagifter för el samt det faktum att elenergi är c:a 50 % dyrare än olja blir driftkostnadsbesparingen endast c:a 5.000 respektive 3.900 kr/år, vilket ej kan amortera och förränta angiven investering. "Pay off"-tiden blir c:a 24 resp. 23 år med dagens energipriser. Man får således konstatera att lösningen ej är ekonomiskt motiverad. Ett eventuellt externt ekonomiskt bidrag till investeringen av storleksordningen 50 % kan emellertid göra installationen attraktiv för nyttjaren.

I sammanhanget kan noteras, att netto energibesparing med värmepump enligt ovan uppgår till 180 resp. 120 MWh/år beroende på installerad effekt. Om man skall uppnå samma besparing med en renodlad solfångaranläggning utan värmepump erfordras en kollektoryta av storleksordningen 300 resp. 200 m². Med erforderlig rörinstallation och övrig kringutrustning ger detta en investering av lägst c:a 340.000:- resp. 245.000:- kronor. I detta fall blir driftkostnadsbesparingen c:a 12.000:- resp. 8.000:- kr/år, vilket ger en "pay off"-tid av lägst 30 år.

Slutsatsen blir således att en lösning med värmepump ger väsentligt lägre initialkostnad och förefaller bli mera lönsam än en solfångaranläggning med samma nettoenergibesparing vid dagens energipriser.

1. INLEDNING

1.1 Problemställning

Under senare år har det blivit alltmer aktuellt att söka nyttja de s.k. förnyelsebara energikällorna för uppvärmningsändamål. Installation av solkollektorer för varmvattenberedning och/eller lokaluppvärmning är ett exempel i detta avseende.

Solfångaranläggningar kräver vanligen relativt höga initialkostnader. I jämförelse med erhållna energi- och driftkostnadsbesparingar är därför dylika installationer ännu ej ekonomiskt intressanta. Kostnadsbilden är speciellt ogynnsam om kollektortorna av exempelvis byggnadstekniska skäl måste orienteras mot öst eller väst i stället för mot söder.

Mot denna bakgrund vill man gärna studera möjligheten att utan kostnadskrävande kollektorinstallationer tillgodo göra sig solenergi för uppvärmningsändamål. En intressant möjlighet är därvid, att nyttja det konventionella yttertaket som kollektor för exempelvis värmning av tilluft. Den via yttertaket insamlade solenergin kan också nyttjas som primär värmekälla för en värmepump, exempelvis för varmvattenberedning. Dessa möjligheter skall studeras i det följande.

1.2 Projektet

I Vårgårda kommun skall befintligt ålderdomshem - Kullingshemmet - utvidgas med ett antal tillbyggnader, vilka här kommer att nyttjas som studieobjekt. Den aktuella nybyggnationen omfattar fyra byggnadskroppar med beteckningar enligt bilagda situationsplan (bilaga 1).

Byggnad D innehåller pensionärsavdelningar med vårdrum etc., byggnad C2 är dagcenter och byggnad C1 kök, medan byggnad E innehåller pensionärslägenheter. Avsikten är att i byggnaderna D och C1 nyttja yttertaket som solfångare för förvärmning av tilluften, varvid respektive tilluftsaggregat placeras i vindsutrymme. I byggnad E skall yttertaket och vinden nyttjas som solfångare och värmekälla för en värmepumpänläggning för beredning av förbrukningsvarmvatten. Byggnad C2:s ventilationstekniska förutsättningar är sådana, att den lämnas utanför undersökningen.

Yttertaket och underliggande vindsutrymme skall enligt ovan nyttjas som solfångare. För att reducera värmetrögheten i taket var den ursprungliga tanken att utföra yttertaket av profilerad plåt i stället för tegel. Det har dock senare visat sig vara svårt att er-hålla plåt med acceptabla garantier från leverantören avseende färgens hållbarhet. Av denna anledning kommer yttertaket att utföras på konventionellt sätt med råspont och betongpannor, varvid tilluften tas in mellan spont och pannor.

2. BETECKNINGAR OCH BEGREPP

Följande beteckningar har använts:

I	solstrålningens intensitet i strålningsriktningen	W/m^2
I _d	diffus strålning	W/m^2
a	absorptionskoefficient	o
i	solstrålars infallsvinkel relativt takytan	o
P _{sut}	strålningseffekt från taket mot det fria	W/m^2
P _{sin}	strålningseffekt från taket in mot vinden	W/m^2
P _{kut}	konvektionseffekt på takets utsida	W/m^2
P _{kin}	konvektionseffekt på takets insida	W/m^2
P _{uppv}	tilluftens uppvärmning p.g.a. solenergi	W/m^2
P _{bj}	transmissionseffekt via vindsbjälklag	W/m^2
α _s	värmeövergångstal för strålning	$W/m^2, ^\circ C$
α _k	värmeövergångstal för konvektion	$W/m^2, ^\circ C$
k _{bj}	k-värde för vindsbjälklag	$W/m^2, ^\circ C$
q	luftflöde per m ² takyta	m ³ /s, m ²
c _p	specifik värmekapacitet för luft	Ws/kg, ^\circ C
ρ	densitet för luft	kg/m ³
t	temperatur	^\circ C
t _{tak}	yttertaketets temperatur	^\circ C
t _{ute}	uteluftens temperatur	^\circ C
t _{luft}	temperatur på tilluft uppvärmd av solvärme	^\circ C
t _{bl}	temperatur efter blandning av solvärm� tilluft/frånluft	^\circ C
t _{rum}	innetemperatur	^\circ C
v	lufthastighet	m/s
h	solens höjdinkel	o
γ	höjd vinkel för takytans normal relativt horisontal-	o
β	horisontal vinkel mellan tak och solasimut planet	o
T _m	medeltemperatur av yttertaket och luft	k
C ₁₂	strålningskoefficient mellan takyta och uteluft	$W/m^2, (\frac{K}{100})^4$
C _s	strålningskoefficient från absolut svart kropp = 5.67	$W/m^2, (\frac{K}{100})^4$

Värmebalansen för taket beräknas enligt följande:

$$a(I \cdot \cos i + I_d) = P_{\text{sut}} + P_{\text{kut}} + P_{\text{sin}} + P_{\text{kin}} \quad (1)$$

För tilluften gäller följande värmebalans före inträdet i tilluftsaggregatet resp. värmepumpens förångare:

$$P_{\text{uppv}} = P_{\text{sin}} + P_{\text{kin}} + P_{\text{bj}} \quad (2)$$

Vidare gäller:

$$P_{\text{sin}} = \alpha_s (t_{\text{tak}} - t_{\text{luft}}) \quad (3)$$

$$P_{\text{sut}} = \alpha_s (t_{\text{tak}} - t_{\text{ute}}) \quad (4)$$

$$P_{\text{kin}} = \alpha_k (t_{\text{tak}} - t_{\text{luft}}) \quad (5)$$

$$P_{\text{kut}} = \alpha_k (t_{\text{tak}} - t_{\text{ute}}) \quad (6)$$

$$P_{\text{bj}} = k_{\text{bj}} (t_{\text{rum}} - t_{\text{luft}}) \quad (7)$$

$$\alpha_s = 0,23 \frac{C_{12}}{C_s} \cdot \left(\frac{T_m}{100}\right)^3 \quad (8)$$

$$\alpha_k = 5,8 + 3,95 v \quad (9)$$

$$\cos i = \sin h \cdot \sin \gamma + \cos h \cdot \cos \beta \cdot \cos \gamma \quad (10)$$

Beräkningarna baseras på statistiska dagsmedelvärden över utetemperaturer för olika månader och utföres för respektive klara, halvklara och mulna dagar. Med ledning av statistiska värden över antalet dagar med olika molnighetsgrad beräknas den insamlade nyttiggjorda energin per månad.

3. BERÄKNINGAR

3.1 Förvärmning av ventilationsluft

3.1.1 Förutsättningar

Byggnad D är en renodlad vårdbyggnad som skall utrustas med till- och frånluftsaggregat för balanserad ventilation. Aggregaten placeras på vinden och förses med anordning för regenerativ värmeåtervinning mellan till- och frånluftslödena. Luftväxlingen uppgår till $5,55 \text{ m}^3/\text{sek.}$ ($20\,000 \text{ m}^3/\text{h}$).

Verkningsgraden för värmeåtervinningsutrustningen har beräknats bli c:a 70 %. Vid en önskad tilluftstemperatur av $+20^\circ\text{C}$ och en frånluftstemperatur av $+23^\circ\text{C}$ kan därvid hela värmebehovet för ventilation tillgodoses med värmeåtervinningsutrustningen om inkommande temperatur är $+13^\circ\text{C}$ eller högre. Detta innebär att man endast kan tillgodoräkna sig solenergi för förvärmning av tillluften vid utetemperaturer under $+13^\circ\text{C}$.

Byggnad C1 inrymmer kök samt terapi- och gymnastiklokaler. Ventilationen tillgodoses med två aggregat, ett för kök och ett för övriga lokaler. Köket planeras ha en luftväxling av c:a $1,95 \text{ m}^3/\text{sek.}$ ($7\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) och ventilationen är endast i drift under dagtid mellan c:a kl. 06.00 - 18.00. Anläggningen är ej utrustad för värmeåtervinning. Övriga lokaler, vars ventilationsanläggning kommer att utrustas med regenerativ värmeåtervinning ($\eta = 70\%$) har en luftväxling av $2,5 \text{ m}^3/\text{sek.}$ ($9\,000 \text{ m}^3/\text{h}$) och ventilationen beräknas vara i drift mellan c:a kl. 07.00 och 21.00.

Tilluften till kök kan tillgodogöra sig en förvärmning med solenergi till en temperatur av c:a $+18^\circ\text{C}$. Motsvarande värde för det andra tilluftsaggregatet är $+13^\circ\text{C}$ med hänsyn till värmeåtervinningen.

De aktuella taken utformas som sadeltak med takfallet $22,5^\circ$ relativt horisontalplanet. På byggnad D har taket en yta av 720 m^2 mot öst och lika mycket mot väst. Byggnad C1 har samma orientering med 270 m^2 åt vardera väderstrecket.

3.1.2 Systembeskrivning

Den principiella utformningen av "solfångare" samt de centrala tilluftsaggregaten visas i bilaga 2.

Tilluften tas in via takfoten mellan takpannorna och underliggande trätak samt sugs in på vinden vid taknock. Vindsutrymmet fungerar således som sugkammare. Genom spjällarrangemang anordnas möjlighet att hämta luft direkt utifrån till respektive aggregat utan passage via takytan (solfångarytan). Detta senare driftsförhållande tillämpas dels då tilluften blir för varm p.g.a. solvärme, dels då värmeutstrålningen från taket - exempelvis nattetid - förorsakar en kylning av inkommande tilluft.

Aktuell spjällomställning styrs dels av en trumtermostat som anpassar temperaturen efter inställt börvärde, dels av två temperaturgivare

som jämför taktemperaturen med utetemperaturen. Om ytttemperaturen på taket är lika med eller lägre än utetemperaturen omkopplas spjällen så att luften hämtas direkt utifrån.

Beräkningarna baseras på förutsättningarna att betongpannorna är svarta med absorptionskoefficienten $a = 0,9$.

3.1.3 Energiberäkningar

Värmeåtervinningsanläggningarna i byggnad D resp. "C1 - övriga lokaler" medför enligt förutsättningarna att man ej kan erhålla någon energivinst vid förvärmning av tilluften över $+13^{\circ}\text{C}$. Detta innebär att någon solenergi ej kan tillgodoräknas under tiden maj-september, eftersom utetemperaturen dagtid då överstiger $+13^{\circ}\text{C}$. För köket kan man dock tillgodoräkna sig energi vid förvärmning upp mot $+18^{\circ}\text{C}$.

Beräkningar utföres timvis för klara, halvklara och mulna dagar under respektive månad. Uppgifter om antalet dagar med olika molninghetsgrad samt utetemperaturen under dagtid för de olika månaderna under ett syntetiskt normalår har hämtats från VVS-handboken. Utetemperaturens variation beaktas i beräkningarna, varvid temperaturen antas variera sinusformigt under dygnet.

Anläggningarna utformas så att inkommande tilluft passerar vindsutrymmet endast under de perioder då solen ger ett energitillskott till luften. Under övrig tid tas tilluften direkt utifrån. Detta innebär att energitillskott p.g.a. transmissionsförluster via vindsbjälklaget endast kan tillgodoräknas under "solskenstid".

Insamlad solenergi per m^2 takyta är bl.a. en funktion av lufthastigheten i luftspalten under takpannorna. Detta innebär att effektiviteten är olika för hus C och hus D. Hus C har en takyta av 540 m^2 och ett totalt luftflöde av $4,44 \text{ m}^3/\text{sek.}$, vilket ger $8,23 \text{ l/sek, m}^2$. Motsvarande värde för hus D är $1\,440 \text{ m}^3$, $5,55 \text{ m}^3/\text{sek.}$ respektive $3,85 \text{ l/sek, m}^2$.

Framräknade specifika energidata för de två husen sammanställs i följande två tabeller.

Tabell 1. Specifika energidata, hus C

Månad	Antal dagar			Insamlad solenergi				Energi via vindsbjälklag under solskenstid $\text{kWh/m}^2, \text{mån.}$
	Klara	Halvklara	Mulna	$\text{Wh/m}^2, \text{dag}$			$\text{kWh/m}^2, \text{mån}$	
				Klar dag	Halvklar dag	Mulna dag		
Jan.	3,1	6,8	20,1	110	90	5	1,05	0,2
Febr.	3,8	10,8	15,4	290	230	40	4,20	0,4
Mars	5,6	11,1	13,3	550	430	75	8,85	1,0
April	4,6	12,1	13,3	1.085	840	125	16,82	0,8
Maj	5,9	13,2	10,9	1.240	1.045	170	22,96	0,5
Sept.	4,0	13,6	12,4	550	430	70	8,92	0,2
Okt.	3,1	10,8	16,1	290	230	40	4,03	0,5
Nov.	1,7	7,6	20,7	110	90	5	0,97	0,2
Dec.	1,7	7,0	22,3	75	40	-	0,40	0,1

Tabell 2. Specifika energidata, hus D

Månad	Antal dagar			Insamlad solenergi			Energi via vindsbjälklag under solskenstid kWh/m ² , mån.	
				Wh/m ² , dag				
	Klara	Halvklara	Mulna	Klar dag	Halvklar dag	Mulna dag		kWh/m ² , mån
Jan.	3,1	6,8	20,1	95	75	5	0,90	0,2
Febr.	3,8	10,8	15,4	245	190	35	3,52	0,4
Mars	5,6	11,1	13,3	460	360	60	7,37	1,0
April	4,6	12,1	13,3	905	700	105	14,03	0,8
Maj	5,9	13,2	10,9	1.035	870	140	19,11	0,5
Sept.	4,0	13,6	12,4	460	360	60	7,48	0,2
Okt.	3,1	10,8	16,1	240	190	35	3,36	0,5
Nov.	1,7	7,6	20,7	90	75	5	0,83	0,2
Dec.	1,7	7,0	22,3	65	35	-	0,35	0,1

I tabellerna redovisade energimängder avser medelvärde för ostlig och västlig orientering. Noteras bör, att varje månad här antagits omfatta 30 dagar.

Med ledning av redovisade specifika data, aktuella ytstorlekar samt energibehoven för uppvärmning från vid varje tidpunkt gällande ute-temperatur till en maximal nyttiggjord förvärmningstemperatur av +13 resp. +18°C har den nyttiggjorda energin beräknats. Resultaten sammanställs i följande tabell 3.

Tabell 3. Nyttiggjord energi, kWh/månad

Månad	Cl - kök			Cl - Övrigt			D		
	Sol-energi	Transmiss. via bjälkl.	Summa	Sol-energi	Transmiss. via bjälkl.	Summa	Sol-energi	Transmiss. via bjälkl.	Summa
Jan.	245	45	290	315	55	370	1.300	260	1.560
Febr.	990	85	1.075	1.275	110	1.385	5.070	520	5.590
Mars	2.090	220	2.310	2.690	280	2.970	10.610	1.320	11.930
April	3.970	175	4.145	3.980	100	4.080	10.480	425	10.905
Maj	1.865	60	1.925	-	-	-	-	-	-
Sept.	2.215	50	2.265	-	-	-	-	-	-
Okt.	950	110	1.060	1.220	140	1.360	5.020	280	5.300
Nov.	230	40	270	290	50	340	1.195	260	1.455
Dec.	95	20	115	120	25	145	505	125	630
Totalt	12.650	805	13.455	9.890	760	10.650	34.180	3.190	37.370

Besparingen beräknas enligt ovan således uppgå till c:a 13, 10 och 37 MWh/år för tilluftsaggregaten för resp. "Cl-kök", "Cl-övrigt" och "D". Detta motsvarar 10, 40 resp. 25 % av totala årliga netto energibehovet för resp. ventilationsanläggning. Med "netto energibehov" avses det kvarvarande energibehov som ej kan tillgodoses med värmeåtervinningsutrustningen mellan till- och frånluftsflödena.

3.1.4 Initialkostnader

Den aktuella lösningen påverkar ej kostnaden för yttertaket. Enda tillkommande kostnad förorsakas av spjällarrangemanget med tillhörande ställdon och styrutrustning. Initialkostnaderna kan därvid sammanställs enligt följande.

Tabell 4. Marginella initialkostnader, kr

Avsnitt	Byggnad C1		Byggnad D
	Kök	Övr. lokaler	
Summa för spjäll, don etc.	4.000:--	5.000:--	10.000:--

3.1.5 Lönsamhetsanalys

Den aktuella lösningen förorsakar inga nämndvärda ökade tryckfall på ventilationssidan och ej heller några andra installationer som kräver ökad eleffekt eller -energi. Den framräknade energivinsten är således rent netto.

Oljepriset är i dag c:a 600 kr/m³, vilket med en pannverkningsgrad av 80 % ger ett energipris av c:a 76 kr/MWh. Redovisad energivinst skulle då innebära en driftkostnadsbesparing av c:a 1.000, 800 respektive 3.250 kr/år.

Med ledning av ovanstående samt redovisad merinvestering erhålls en "pay off"-tid av c:a 4 resp. 6,5 och 3 år med dagens energipris. Lösningen är således klart ekonomiskt försvarbar för samtliga tre objekt.

3.2 Varmvattenberedning

3.2.1 Förutsättningar

Värmebehovet för varmvattenberedning beräknas uppgå till maximalt 200 kW resp. 1,1 MWh/dygn. Förvärmning av förbrukningsvarmvattnet till en maximal temperatur av c:a +50°C åstadkommes med hjälp av värmepump, vars förångare är placerad på vinden. Erforderlig eftervärmning till önskad varmvattentemperatur sker med värmevatten från värmecentral.

3.2.2 Systembeskrivning

Luften till värmepumpens förångare hämtas utifrån via spalten mellan trätak och betongpannor, där viss temperaturhöjning åstadkommes med genom taket inläckt solenergi. Den värmda luften blandas med frånluftsflödet från huset innan luftblandningen passerar förångarbatteriet för nedkylning och utblåsning till det fria. Takytan uppgår här till 1 000 m², fördelat liksom tidigare på två halvor - en mot öst och en mot väst. Frånluftsflödet uppgår till c:a 0,83 m³/sek. (3 000 m³/h). Principlösningen redovisas på bilaga 3.

Med ledning av aktuellt varmvattenbehov samt möjligt energitillskott via taket dimensioneras värmepumpen för en effekt av 100 kW vid en förångningstemperatur av $+5^{\circ}\text{C}$ och en kondenseringstemperatur av $+55^{\circ}\text{C}$. Luftflödet genom förångaren har valts till $5,55 \text{ m}^3/\text{sek}$. ($20\,000 \text{ m}^3/\text{h}$), varav enligt ovan c:a $0,83 \text{ m}^3/\text{sek}$. i form av inblandad frånluft och resten uteluft.

Dimensionerande tillstånd för värmepumpen föreligger vid en inkommande lufttemperatur av $+19^{\circ}\text{C}$ till förångarbatteriet. Då upptages 70 kW i förångaren, varvid luften kyles till c:a $+10^{\circ}\text{C}$. Driveffekten är då 30 kW och värmefaktorn c:a 3,35. Vid exempelvis $+30^{\circ}\text{C}$ inkommande lufttemperatur ökar förångareffekten till 85 kW med ungefär oförändrad driveffekt. Värmefaktorn blir då c:a 3,85. Den lägsta tillufttemperatur till förångaren som kan nyttjas med hänsyn till påfrysning på batteriet har satts till $+6,5^{\circ}\text{C}$, varvid förångareffekten blir c:a 50 kW och driveffekten 28 kW. Värmefaktorn är då 2,8. Denna gräns är något hög och beräkningsresultaten får därför anses innehålla viss säkerhetsmarginal. Noteras bör, att såväl kondenserings- som förvärmningstemperaturen sänks vid reducerad tillgänglig effekt.

Som alternativ studeras också motsvarande lösning med en värmepump-effekt av 50 kW och med ett luftflöde genom förångaren av $2,8 \text{ m}^3/\text{sek}$. ($10\,000 \text{ m}^3/\text{h}$).

3.2.3 Energiberäkningar

Beräkning av insamlad solenergi och upppoffrad drivenergi har beräknats för klara, halvklara och mulna dagar under respektive månad. Beräkningarna har utförts timvis för dagar med olika molnighetsgrad.

Som tidigare framgått studeras två alternativ med dimensionerande värmepumpeffekt av 100 resp. 50 kW. I alternativet med 100 kW är tillgänglig värmepumpenergi under klara dagar i månaderna maj, juni och juli större än behovet, varvid energiuttaget begränsas till det senare värdet.

Vid 50 kW installerad värmepumpeffekt reduceras uteluftflödet via taket från $4,72$, som gäller för 100 kW, till $1,94 \text{ m}^3/\text{sek}$. Detta innebär ökad temperaturhöjning på luften och därmed större värmeförluster samt mindre insamlad solenergi per tidsenhet. Under vintermånaderna kompenseras dock detta delvis av förhållandet att anläggningen, p.g.a. en större procentuell andel frånluft kan vara i drift flera timmar per dygn.

Beräkningsresultaten sammanställs i följande två tabeller.

Tabell 5. Nyttiggjord värmepumpenergi vid dim. effekt av 100 kW

Månad	Inläckt solenergi MWh/mån.	Förångarenergi MWh/mån.	Drivenergi MWh/mån.			Kondensorerenergi till VVB MWh/mån.	Genomsnittl. värmefaktor $\bar{\phi}$
			Värmepump	Fläkt	Summa		
Jan.	0,09	0,15	0,06	0,01	0,07	0,21	3,0
Febr.	2,42	3,2	1,28	0,08	1,36	4,48	3,3
Mars	8,8	11,4	4,25	0,24	4,49	15,65	3,5
April	16,65	22,3	7,55	0,42	7,97	29,85	3,7
Maj	22,05	25,8	7,20	0,47	7,67	33,00	4,3
Juni	23,85	25,9	7,10	0,47	7,57	33,00	4,4
Juli	24,3	26,1	6,90	0,47	7,37	33,00	4,5
Aug.	16,15	25,7	7,30	0,47	7,82	33,00	4,2
Sept.	11,05	22,4	6,90	0,40	7,30	29,30	4,0
Okt.	6,7	18,6	7,00	0,40	7,40	25,60	3,5
Nov.	1,3	3,6	1,40	0,08	1,48	5,00	3,4
Dec.	0,1	0,25	0,10	0,01	0,11	0,35	3,2
Summa	133,46	185,4	57,04	3,52	60,56	242,44	4,06

Tabell 6. Nyttiggjord värmepumpenergi vid dim. effekt av 50 kW

Månad	Inläckt solenergi MWh/mån.	Förångarenergi MWh/mån.	Drivenergi MWh/mån.			Kondensorerenergi till VVB MWh/mån.	Genomsnittl. värmefaktor $\bar{\phi}$
			Värmepump	Fläkt	Summa		
Jan.	0,3	0,8	0,25	0,02	0,27	1,05	3,89
Febr.	2,4	5,7	1,75	0,14	1,89	7,45	3,94
Mars	5,2	8,4	2,7	0,18	2,88	11,10	3,85
April	9,6	11,7	3,75	0,23	3,98	15,45	3,88
Maj	13,5	14,1	4,45	0,26	4,71	18,55	3,93
Juni	14,9	15,3	4,6	0,26	4,86	19,9	4,09
Juli	14,1	15,2	4,6	0,26	4,86	19,8	4,07
Aug.	10,7	14,4	4,4	0,26	4,66	18,8	4,03
Sept.	5,9	11,6	3,8	0,22	4,02	15,4	3,83
Okt.	3,4	10,4	3,35	0,22	3,57	13,75	3,85
Nov.	0,6	9,3	2,95	0,22	3,17	12,25	3,86
Dec.	0,1	8,8	2,75	0,22	2,97	11,55	3,88
Summa	80,7	125,7	39,35	2,49	41,84	165,05	3,94

Beräkningarna visar att en värmepump med dimensionerande effekt av 100 kW kan leverera c:a 240 MWh/år för varmvattenberedning, vilket motsvarar c:a 60 % av det kalkylerade totala behovet för varmvattenberedning. Erforderlig drivenergi uppgår till c:a 60 MWh/år. Netto besparing är således 180 MWh/år, varav c:a 100 MWh/år genom solenergi och resterande 80 MWh/år från ute- respektive frånluft.

Med 50 kW dimensionerande värmepumpeffekt reduceras den levererade värmeenergin till 165 MWh/år och drivenergin till c:a 42 eller såg 45 MWh/år. Av en nettobesparing på 120 MWh/år erhålls c:a 80 MWh/år från solen och resterande 45 MWh/år från ute- resp. frånluft.

3.2.4 Initialkostnader

De marginella initialkostnaderna för här aktuella installationer beräknas bli enligt följande tabell 7.

Tabell 7. Marginella initialkostnader för värmepumpanläggning, kronor

Installerad effekt, kW	100		50	
VÄRMEPUMP				
Kylkompressor	38.000		21.000	
Vätskeavskiljare	2.000		2.000	
Automatik	4.000		4.000	
Luftkylare	19.000		15.000	
Montage	<u>12.000</u>	75.000	<u>10.000</u>	52.000
VENTILATION				
Fläkt	10.000		8.000	
Spjäll	1.000		500	
Galler	500		500	
Kanaler	1.500		1.000	
Filter	1.000		1.000	
Trycklåda	<u>4.000</u>	18.000	<u>3.000</u>	14.000
RÖRINSTALLATION				
Pump	2.000		1.500	
Ackumulator 4 m ³	8.000		8.000	
Rörledningar	<u>5.000</u>	15.000	<u>3.500</u>	13.000
ELINSTALLATION		10.000		8.000
BYGG Fundament etc.		<u>2.000</u>		<u>2.000</u>
	<u>Summa</u>	<u>120.000</u>	<u>Summa</u>	<u>89.000</u>

3.2.5 Lönsamhetsanalys

Driftskostnaderna baseras på följande effekt- och energipriser:

Olja	600 kr/m ³ = 76 kr/MWh
Elkostnader	
Abonnemangsavgift	45 kr/kW, år
Högbelastningsavg.	270 kr/kW, år
Energiavgift maj-aug.	6,8 öre/kW
Energiavgift övrig tid	7,8 öre/kW

På ovanstående elkostnader tillkommer 10 % i indextillägg. Vidare tillkommer 3 öre/kWh i energipristillägg.

Högbelastningsavgiften erläggs för medelvärdet av de fyra högsta månadsvärdena under året - dock högst ett månadsvärde från perioden maj-augusti - för uttagen medeleffekt per period om 6 timmar, dock lägst 25 % av abonnerad effekt. P.g.a. begränsningen för tiden maj-augusti samt med hänsyn till att det avser 6 timmars medelvärdet, bedöms det vara rimligt att basera elgiften på 25 % av effektabonnementet.

Det maximala driveffektbehovet för en värmepumpänläggning à 100 kW uppgår till c:a 35 kW. Högbelastningsavgiften baseras enligt ovan på 9 kW. Motsvarande värde för 50 kW dimensionerande värmepump-effekt är 15 resp. 3,75 kW.

Mot ovanstående bakgrund samt redovisade effekt- och energidata beräknas driftkostnaderna förändras enligt följande vid 100 kW installerad värmepump-effekt:

Abonnemangsavgift el,	35 . 45 . 1,1 = + 1.735:- kr/år
Högbelastn. avgift el,	9 . 270 . 1,1 = + 2.675:- kr/år
Drivenergi maj-aug.	30(68 + 30) . 1,1 = + 3.235:- kr/år
Drivenergi övr. tid	30(78 + 30) . 1,1 = + 3.565:- kr/år
Besparad värmeenergi	- 240 . 76 = - 18.240:- kr/år
Underhåll värmepump	+ 2.000:- kr/år
Driftkostnadsförändring	- 5.030:- kr/år

Besparingen uppgår således till c:a 5.000:- kr/år, vilket skall ställas i relation till merinvesteringen 120.000:- kronor. Utan ekonomiskt bidrag ger detta en "pay off"-tid av c:a 24 år vid bibehållet energipris, vilket gör lösningen ekonomiskt ointressant.

Med 50 kW installerad värmepump-effekt erhålls motsvarande förändringar:

Abonnemangsavgift el,	15 . 45 . 1,1 = + 745:- kr/år
Högbelastn. avgift el,	3,75 . 270 . 1,1 = + 1.115:- kr/år
Drivenergi maj-aug.	19(68 + 30) . 1,1 = + 2.050:- kr/år
Drivenergi övr. tid	23(78 + 30) . 1,1 = + 2.735:- kr/år
Besparad värmeenergi	- 165 . 76 = - 12.540:- kr/år
Underhåll värmepump	+ 2.000:- kr/år
Driftkostnadsförändring	- 3.895:- kr/år

I detta fall blir besparingen c:a 3.900 kronor per år, vilket skall ställas i relation till en merinvestering av 89.000:- kronor. "Pay off"-tiden blir således här ungefär lika lång som i föregående alternativ eller närmare bestämt c:a 23 år. Det måste konstateras att även detta alternativ är ekonomiskt ointressant. Med ett statligt investeringsbidrag av storleksordningen 50 % kan dock lösningen närma sig gränsen för ekonomiskt försvarbar ur nyttjarens synpunkt.

I sammanhanget bör noteras, att den väsentliga orsaken till olönsamhet är den stora skillnaden i pris mellan el- och oljeenergi. Redovisad besparing av oljebaserad värmeenergi är c:a 4 gånger större än uppkostad elenergi för driften. Detta innebär 75 % netto energireduktion. Genom att det sammanlagda effekt- och energipriset för el är dubbelt så hög som oljeenergipriset blir dock driftkostnadsbesparingen endast hälften, d v s c:a 37,5 %.

3.2.6 Ekonomisk jämförelse med renodlad solfångaranläggning.

Studerad värmepumpinstallation ger enligt det föregående en netto energibesparing av 180 MWh/år vid 100 kW installerad värmepump-effekt. Motsvarande värde vid 50 kW installerad effekt är 120 MWh/år.

En renodlad vattengenomströmd solfångaranläggning för varmvattenberedning kan med erfarenhet från en liknande utredning insamla i storleksordningen 600 kWh/m², år vid orientering mot söder. Med väst- eller östlig orientering reduceras värdet till c:a 500 kWh/m², år. Med ledning härav skall det erfordras lägst c:a 300 resp. 200 m² solfångaryta för att uppnå samma netto energibesparing som med värmepump å 100 alternativt 50 kW installerad effekt.

Initialkostnaderna för en dylik solfångaranläggning beräknas bli ungefär följande.

Tabell 8. Initialkostnad för solfångaranläggning, kr

Kollektoryta, m ²	300	200
Solfångare	200.000	135.000
Rörledningar	80.000	60.000
Akkumulator, cirk.pumpar, styrutrustning etc.	35.000	30.000
Frys-skyddsvätska	25.000	20.000
Summa	340.000	245.000

Med gynnsammast orientering av solfångare skulle initialkostnaderna enligt ovan bli c:a 340.000 resp. 245.000 kronor.

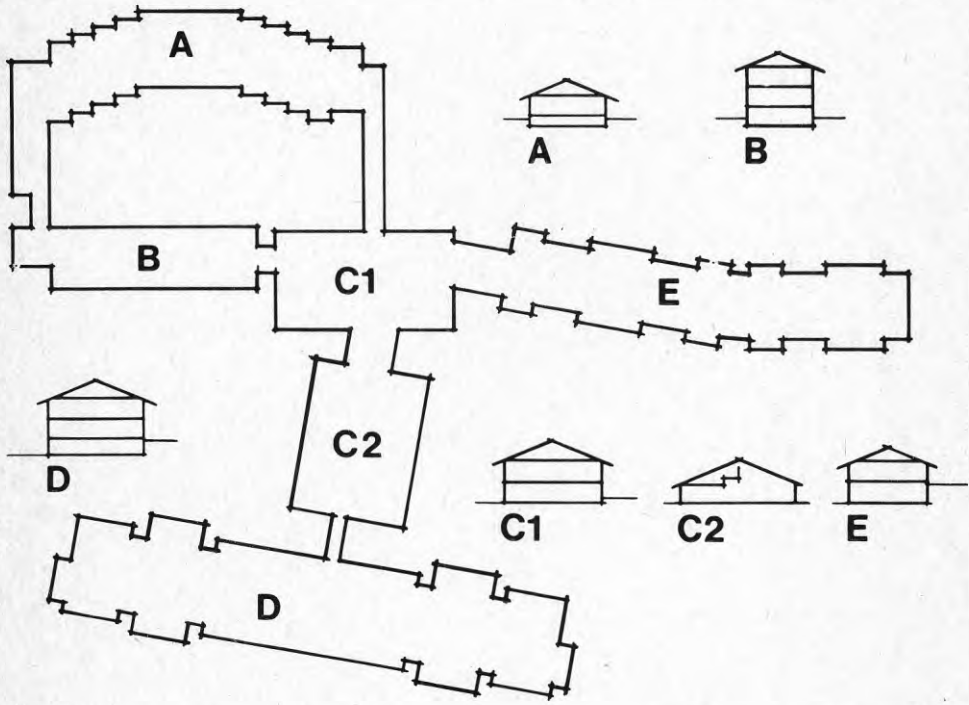
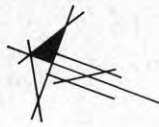
Erforderlig driveffekt för i anläggningen erforderliga två cirkulationspumpar blir c:a 1,5 resp. 1 kW och motsvarande årsenergi c:a 3,5 resp. 2,4 MWh. Driftkostnadsförändringen för anläggningen blir därvid överslagsmässigt följande.

Tabell 9. Driftkostnadsförändring med solfångare, kr/år

Kollektoryta, m ²	300	200
Abonnemangsavgift el	+ 75:--	+ 50:--
Högbelastningsavgift el	+ 450:--	+ 300:--
Drivenergi el	+ 385:--	+ 265:--
Besparad värmeenergi	- 13.680:--	- 9.120:--
Underhåll	+ 1.000:--	+ 750:--
Summa driftkostnadsförändring	- 11.770:--	- 7.755:--

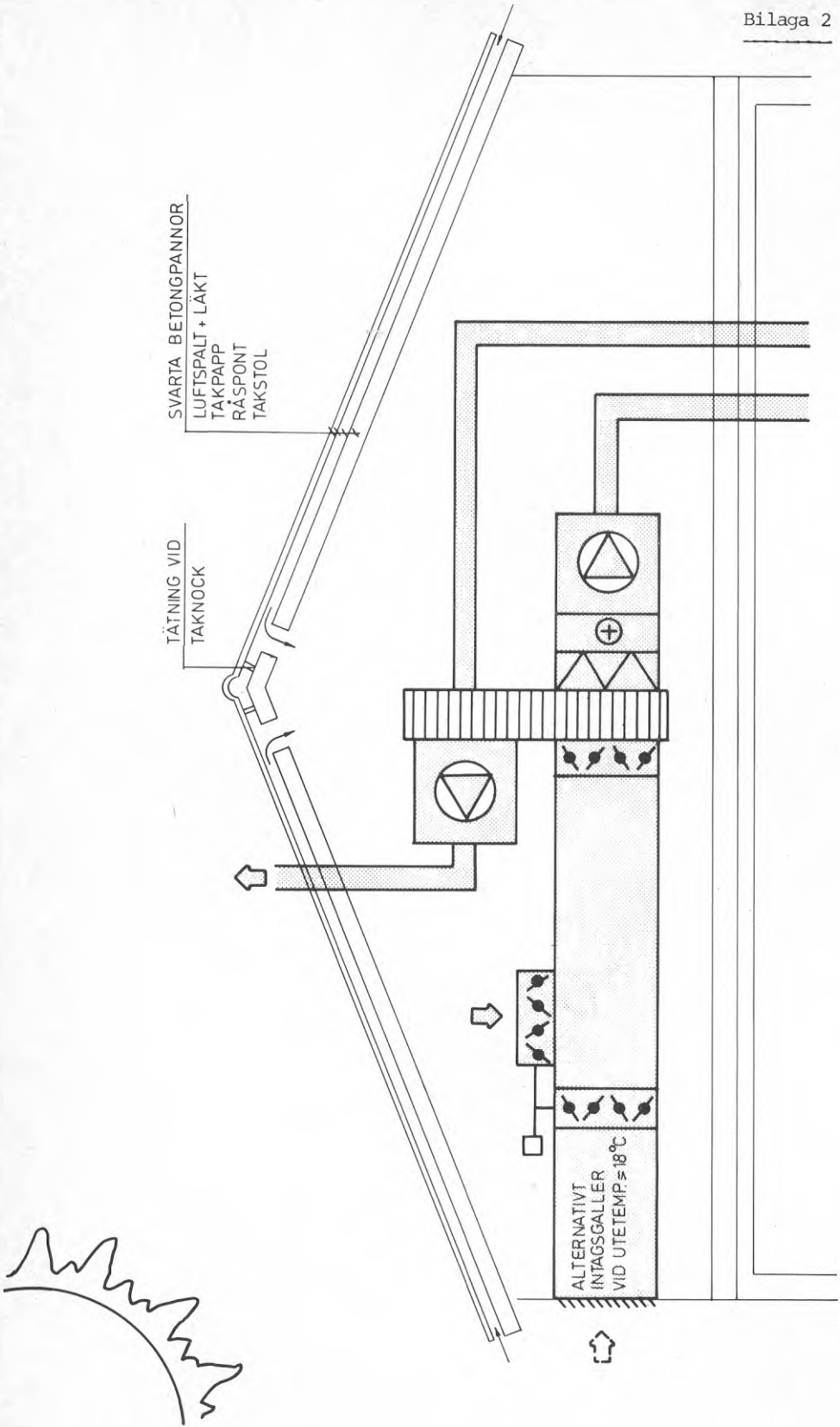
Vid jämförelse mellan beräknade initialkostnader och motsvarande driftkostnadsbesparing erhålles en "pay off"-tid av storleksordningen 30 år vid dagens energipriser för solfångaranläggningen. Motsvarande värde för värmepumpenläggningen är c:a 24 år.

Slutsatsen skulle således bli att värmepumpen i dagsläget är mera intressant ur ekonomisk synpunkt än en solfångaranläggning med samma netto energibesparing. Relationen mellan de två lösningarna kommer ej heller att påverkas vid en likvärdig procentuell ökning av alla energipriser. Om däremot elenergipriset skulle öka snabbare än oljeenergipriset kommer detta att vara till fördel för solfångaranläggningen och reducera skillnaden mellan det ekonomiska resultatet för denna och värmepumpenläggningen. Skulle i stället oljeenergipriset öka snabbare än elenergipriset är detta till fördel för en värmepumpenläggning och gör denna lösning gynnsammare.

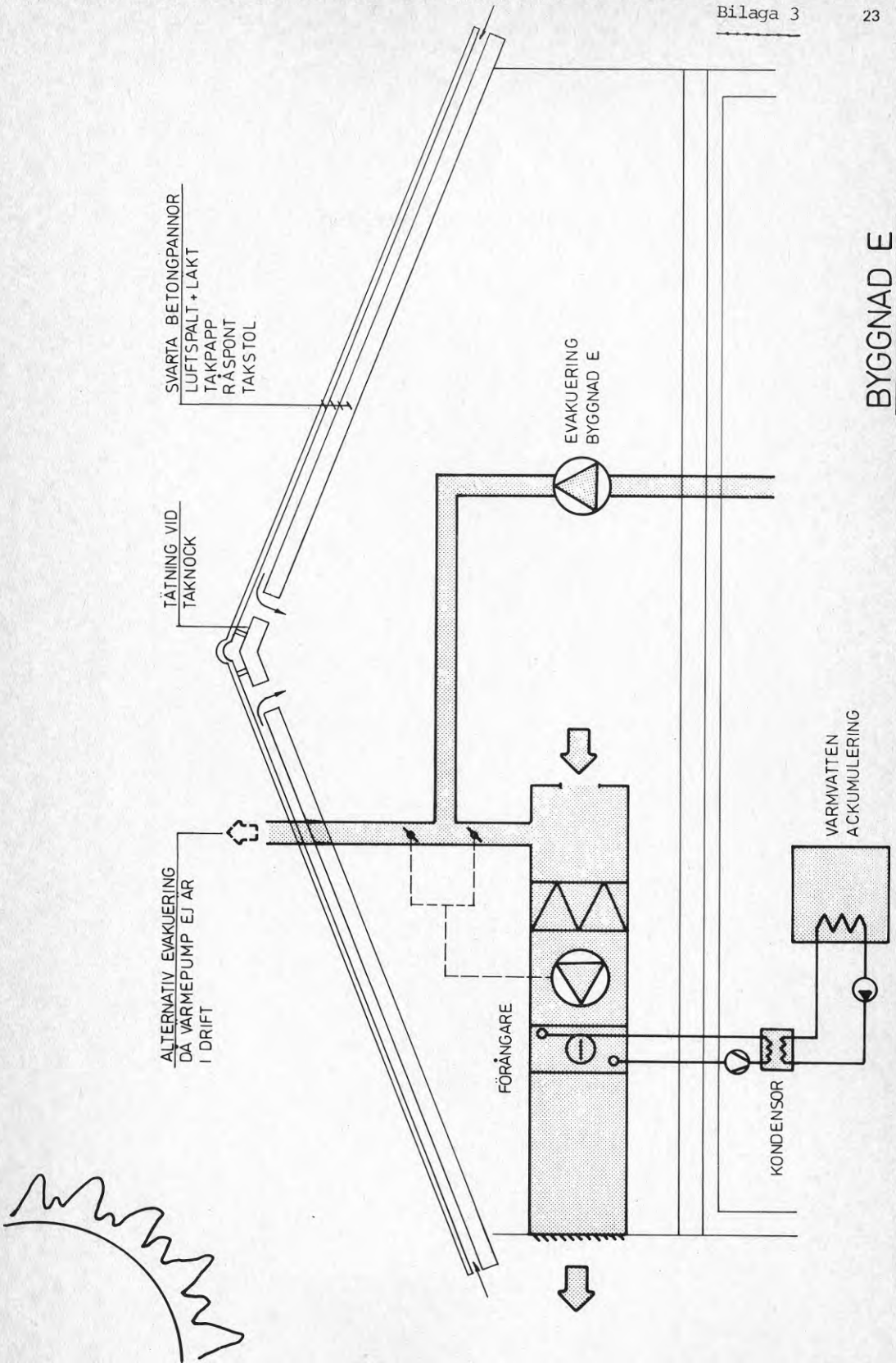


SITUATIONSPLAN

BYGGNAD C1 OCH D



BYGGNAD E



REFERENSER

Abrahamsson, Thore: Program för experiment med energihushållning i småhusbebyggelse - Teoretiska förutsättningar och beräkningar. (Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.) Bilaga 2 till rapport nr 771036-2.

Girdo, Valdis: Solvärmesystem för husuppvärmning i Skandinavien. (Institutionerna Byggnadsteknik och Fysikalisk kemi, KTH, Stockholm.) Arbetsrapport, 1976.

Larsson, Bertil: Fasaden som solfångare - Värme i luftspalt. (CIH Arkitektur och Husbyggnad, Göteborg.) Rapport.

Mörtstedt, Sten-Erik: Data och diagram. (Svenska Bokförlaget.)

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780894-9
från Statens råd för byggnadsforskning till
Vårgårda kommun.**

R12:1979

ISBN 91-540-2974-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600912

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirka pris: 15 kr exkl moms