



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

R80:1979

A149 (652)

**Solfångar- och värme-
pumpänläggning med
grundvatten som värme-
ackumulator**

Förstudie: vårdskola i Borås

Thore Abrahamsson

Byggforskningen

R80:1979

SOLFÅNGAR- OCH VÄRMEPUMPANLÄGGNING
MED GRUNDVATTEN SOM VÄRMEACKUMULATOR

Förstudie: vårdskola i Borås

Thore Abrahamsson

Denna rapport hänförs till forskningsanslag 780942-5
från Statens råd för byggnadsforskning till Älvsborgs
läns landsting, Göteborg.

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

R80:1979

ISBN 91-540-3054-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1979 954933

FÖRORD

Statens råd för byggnadsforskning har gett Älvsborgs läns landsting ekonomiskt bidrag för en förstudie avseende möjligheterna att nyttja ett befintligt grundvattenmagasin som värmeackumulator och värmekälla för en solfångar- resp. värmepumpinstallation.

Landstingets byggnadsavdelning har varit anslagsmottagare med byggnadsingenjör Gösta Söderqvist som handläggare. Thore Abrahamsson, RNK installationskonsult AB, Göteborg har varit projektledare och har svarat för genomförandet. För rådgivning och upplysning avseende grundvattenmagasinet och den statiska konstruktionen har AB Jacobson & Widmark anlåtats.

INNEHÅLL

0	SAMMANFATTNING	4
1	INLEDNING	5
1.1	Problemställning	5
1.2	Projektet	5
2	BETECKNINGAR OCH BEGREPP	6
3	SYSTEMBESKRIVNING	8
3.1	Förutsättningar	8
3.1.0	Allmänt	8
3.1.1	Varmvattenvärmebehov	8
3.1.2	Ventilationsvärmebehov	8
3.1.3	Grundvattenmagasin	8
3.2	Principlösning	9
3.3	Dimensionerande data	9
4	EFFEKT- OCH ENERGIBERÄKNINGAR	12
4.1	Förutsättningar	12
4.2	Specifika kollektordata	13
4.3	Vattenflöden	13
4.4	Temperaturer	13
4.5	Energibalans	14
5	KOSTNADER	16
5.1	Initialkostnader	16
5.2	Driftkostnader	16
6	SLUTSATS	17
7	REFERENSER	19

TABELLER

B 1	Soldata latitud 58° N	21
B 2	Solinstrålning mot söderorienterad yta med lutning 70°	24
B33	Termisk förlusteffekt från solfångare	26
B 4	Beräkning av insamlad energi-Borås	27
B 5	Infångad energi. Dygns- och månadssummor-Borås	29

BILAGOR

1	Principschema	30
2	Situationsplan	31
3	Varaktighetsdiagram	32

Föreliggande utredning belyser möjligheterna att nyttja ett befintligt grundvattemagasin som värmeackumulator och värmekälla för en värmepumpänläggning. Energittillskottet till ackumulatortillgodoses via solfångare. Värmepumpänläggningen nyttjas för beredning av förbrukningsvarmvatten samt indirekt för värmning av ventilationsluft.

Lösningen har studerats för ett pågående nybyggnadsprojekt - en vårdskola - vid Borås lasarett. Värmebehovet för varmvatten uppgår till maximalt 200 kW resp. 600 kWh/dygn. För ventilation är värmebehovet maximalt 480 kW medan årsbehovet beräknats till 280 MWh. Anläggningen är endast i drift under dagtid. Luftkonditioneringsanläggningen är utrustad för värmeåtervinning med $\eta = 70\%$.

Akkumulatortorn är en naturlig bergsgryta med en volym av ca 10 000 m³ som fyllts med sprängsten. Vattenvolymen beräknas uppgå till ca 25 %. Ackumulatortornets specifika värmekapacitet beräknas med ledning därav vara i genomsnitt ca 2 650 kWh/m³·°C.

Solfångarytan har med hänsyn till föreliggande värmebehov och disponibel takyta valts till 400 m². Värmepumpeffekten har med beaktande av nyttjandegraden och tillgänglig energi dimensionerats för en maximal effekt av 200 kW vid förångningstemperaturen -10°C och kondenseringstemperaturen +55°C.

Beräkningarna visar att värmepumpänläggningen kan leverera ca 360 MWh/år, vilket motsvarar 75 % av det totala värmebehovet för varmvatten och ventilation. Erforderlig drivenergi är ca 110 MWh/år, vilket ger en netto energibesparing av 250 MWh/år.

Akkumulatortorn är delvis belägen under den aktuella byggnaden. Genom temperaturhöjningen av grundvattnet uppstår ett ökat ångtryck, vilket ställer extra krav på diffusionstätheten i byggnadens bottenplatta och därmed ökade kostnader. Även om man skulle bortse från detta speciella förhållande blir initialkostnaden av storleksordningen 1 miljon kronor. I förhållande till kalkylerad driftkostnadsbesparing av storleksordningen 5.000 kr/år är detta en orimlig investering. Man får således konstatera att lösningen ej är realistisk med hänsyn till kostnaderna.

1 INLEDNING

1.1 Problemställning

I den långsiktiga utvecklingen av teknik för nyttjande av förnyelsebara energikällor kommer ofta sol-, mark- och vindenergi i förgrunden. Vad avser solvärme utgör energilagringen ett problem och speciellt vid långtidslagring erfordras mycket stora ackumuleringsvolymer.

Akkumuleringsförmågan är en funktion av bl a ackumulatorns volym samt ackumuleringsmediets specifika värmekapacitet, temperaturförändring och eventuella fasomvandling. Liten volym kan kompenseras med en stor differens mellan högsta och lägsta ackumulator-temperatur. Hög ackumulator-temperatur reducerar dock effekten på solfångarna samt ökar värmeförlusterna. Stor ackumulatorvolym och låg temperatur är därför önskvärd, men vållar problem av utrymmesskäl och kräver ofta relativt höga initialkostnader.

Solfångaranläggningar kombineras ibland med värmepump - speciellt i de fall man vill arbeta med låga ackumulator-temperaturer. Med en sådan kombination kan man eventuellt nyttja jorden eller någon naturlig grundvattenbassäng som värmeackumulator i syfte att reducera utrymmesbehovet och förhoppningsvis även kostnaderna.

Jorden som värmeackumulator och värmekälla har behandlats i andra sammanhang och kommer ej att beröras här. Undersökningen i denna rapport kommer att helt koncentreras till möjligheterna att nyttja en befintlig grundvattenbassäng som värmeackumulator för solenergi avseende ett specifikt objekt.

1.2 Projektet

Det aktuella objektet är en ny vårdskola som skall uppföras av Älvsborgs läns landsting inom Borås lasarett. Byggnaden skall placeras på ett f d mossområde, som fyllts upp med sprängsten på en naturlig bergsgryta. Viss del av bergsgrytan får bassängkaraktär genom invallning och kan nyttjas som värmeackumulator utan större omsättning på vattnet. Vid behov kan dock regn och grundvatten tillföras bassängen.

Bassängen är till väsentlig del belägen under byggnaden, vilket är till fördel med hänsyn till de tekniska installationerna. Belägenheten innebär dock nackdelar avseende ångtryck och diffusions-spärr i bottenplatta.

Projektet är en förstudie som skall resultera i en principredovisning med komponentval samt redovisning av förväntade initialkostnader och energi- och driftkostnadsförändringar. Resultatet skall tjäna som underlag för ställningstagande i frågan om eventuell bearbetning.

2 BETECKNINGAR OCH BEGREPP

Använda beteckningar följer SIS-rekommendationer, vilket innebär:

Storhet	Enhet	Beteckning
Densitet	kg/m ³	ρ
Effekt	kW	P
Energi	Wh	W
Entalpitet	kJ/kg	i
Flöde	m ³ /s	q
Temperatur	°C	t
Temperatur	K	T
Värmegenomgångstal	W/m ² , °C	k
Verkningsgrad	-	η
Värmefaktor	-	ϕ

Beräkningar av insamlad solenergi via solfångare har baserats på den beräkningsmodell som redovisas i arbetsrapporten "Solvärmsystem för husuppvärmning i Skandinavien," upprättad av Valdis Girdo, Kungl. Tekniska Högskolan.

Följande ekvationer har tillämpats vid beräkning av söderorienterad yta som lutar 70° relativt horisontalplanet.

Helklart väder (I)

Direkt strålning

$$I_{D70}^I = I_{DN} (\sin h \cdot \cos 70 + \cos i_v \cdot \sin 70)$$

Diffus strålning

$$I_{d70}^I = I_{DN} [0,134 \cdot f + 0,066 (0,1 + \sin h)]$$

Halvklart väder (II)

Direkt strålning

$$I_{D70}^{II} = 0,5 I_{D70}^I$$

Diffus strålning

$$I_{d70}^{II} = I_{DN} [(1,139 \cdot f + 0,0561) (\sin h + 0,1) - 0,67 \cdot f \cdot \sin h]$$

Mulet väder (III)

Direkt strålning

$$I_{D70}^{III} = 0$$

Diffus strålning

$$I_{d70}^{III} = I_{DN} \cdot (\sin h + 0,1) (0,3752 \cdot f + 0,01848)$$

där I_{DN} = direkt strålning mot strålningens normalplan enligt tabellerna B1.

f = Threlkelds omräkningsfaktor för diffus strålning.

h = solens höjdvinkel, °

i_v = solens vertikala infallsvinkel mot söder, °C

I beräkningar och tabeller har vidare följande beteckningar använts:

a = solasimuten räknat från söder, °

τ_D/τ_N = approximativ korrektion för transmissionsabsorptionskoefficientens beroende av strålningens infallsvinkel.

Q_{vi} = temperaturen på solfångarvätskan vid absorbatorns inlopp, °C

3 SYSTEMBESKRIVNING

3.1 Förutsättningar

3.1.0 Allmänt

Avsikten är att den aktuella solfångar/värmepumpanläggningen skall nyttjas för beredning av förbrukningsvarmvatten samt för viss uppvärmning av ventilationsluften.

3.1.1 Varmvattenvärmebehov

Varmvattenbehovet inom byggnaden beräknas uppgå till ca 600 kWh/dygn resp. 18 MWh/mån. Det maximala effektbehovet har beräknats till 200 kW.

3.1.2 Ventilationsvärmebehov

Byggnadens luftkonditioneringsanläggning är försedd med värmeåtervinningsutrustning med temperaturverkningsgraden $\eta = 70 \%$.

Det maximala värmeeffektbehovet för ventilation är 480 kW vid en dimensionerande utetemperatur av -20°C . Anläggningen är endast i drift under dagtid. Energibehovet blir 280 MWh för ett genomsnittsår och fördelas på olika månader enligt följande tabell.

TAB. 1. Energibehov för ventilation

Månad	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Summa
MWh	25	50	75	70	50	10	280

Med en önskad tilluftstemperatur i centralaggregatet av $+18^{\circ}\text{C}$ och en frånluftstemperatur av $+22^{\circ}\text{C}$ tillgodoser värmeåtervinningen hela värmebehovet i centralaggregatet vid utemperaturer överstigande ca $+7^{\circ}\text{C}$. Detta senare förhållande innebär att det för ventilationsanläggningen ej föreligger något behov av "prima energi" under tiden 15 april - 31 oktober.

3.1.3 Grundvattenmagasin

Ursprungligen bedömdes det aktuella grundvattenmagasinet omfatta en total volym av ca $20\,000\text{ m}^3$. Genom nödvändig invallning har dock den användbara magasinvolymen reducerats till hälften.

Det invallade magasinet omfattar en yta av ca $50 \times 60 = 3\,000\text{ m}^2$. Totala djupet är i genomsnitt ca 3,5 m. I botten med en tjocklek av ca 0,4 m, finns krossmaterial med dimensionen 0 - 200 mm. På detta lager ligger bergsfyllning med en tjocklek av ca 2,5 m. Den sammanlagda volymen av dessa två skikt blir ca $8\,700\text{ m}^3$, varav 30 % eller $2\,600\text{ m}^3$ beräknas vara vatten. Däröver finns ett täcklager med ca 0,5 m krossmaterial motsvarande en volym

av ca 1.500 m^3 .

Med ledning av angivna volymer beräknas den genomsnittliga värmekapaciteten för hela magasinet vara ca $2\,650 \text{ kWh/m}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ resp. totalt ca $7\,500 \text{ kWh}/^\circ\text{C}$.

3.2 Principlösning

Den principiella utformningen redovisas i bilaga 1 och kan i korthet beskrivas enligt följande.

I vardera ändan av grundvattenmagasinet anordnas en brunn betecknad A resp. B. Solfångare placeras på byggnadens tak med orientering mot söder och med lutningen 70° relativt horisontalplanet. Solfångaranläggningen utformas som ett slutet system med glykolblandat vatten som värmebärare, eftersom den också skall vara i funktion vintertid. Värmeväxling anordnas mellan solfångarkrets och grundvatten.

Värmeförsörjning från grundvattenmagasinet tillgodoses med hjälp av värmepump. Värmepumpen skall arbeta med en förångningstemperatur omkring $+0^\circ\text{C}$, vilket möjliggör nedkylning av grundvattnet till ca $+3^\circ\text{C}$. Kondenseringstemperaturen väljs till $+55^\circ\text{C}$.

Uppladdning med hjälp av solenergi sker med pumpcirkulation av grundvattnet från brunn A via värmeväxlaren till brunn B. Därifrån strömmar det uppvärmda vattnet genom stermagasinet tillbaka till brunn A och fördelar på vägen den insamlade energin över magasinet.

Vid urladdning är strömbilden motsatt. Grundvattnet hämtas då från den varmare brunn B och transporteras med hjälp av en cirkulationspump via värmepumpens förångare till brunn A. Det nedkylda vattnet strömmar via stermagasinet tillbaka till brunn B och upptar på vägen lagrad energi från magasinet.

Styrning av solfångar- resp. värmepumpkrets sker separat och oberoende av varandra som två fristående enheter. Flödet i solfångarsystemet styrs så att inkommande vatten från värmeväxlaren till brunn B har en lägsta temperatur av ca $+5^\circ\text{C}$. Styrningen sker i det fallet på grundvattenflödet.

Som alternativ kan diskuteras att utföra solfångarna av plast och låta grundvattnet passera direkt genom solfångarna utan värmeväxling. I detta fall töms systemet då frysrisk föreligger. Då anläggningen även skall vara i drift vintertid bedöms det dock vara svårt att var eller varannan dag tömma och effektivt dränera systemet för att förhindra frysning.

Anläggningens planmässiga förläggning framgår av bilaga 2.

3.3 Dimensionerande data

Enligt förutsättningarna är anläggningen i drift endast under dagtid. Värmebehovet för varmvatten uppgår till maximalt ca 200 kW resp. 600 kWh/dygn . Det maximala värmebehovet för ventilation är 480 kW och energiförbrukningen beräknas till 280 MWh/år .

Variationen av effektbehovet för ventilation samt motsvarande energiförbrukning redovisas i varaktighetsdiagram, bilaga 3. Det maximala effektbehovet föreligger under mycket kort tid per år och det kan därför ej vara ekonomiskt försvarbart att dimensionera värmepump- och solfångaranläggningarna efter denna effekt. Det är med all säkerhet bättre att dimensionera anläggningarna för en mindre effekt och tillgodose topeffekterna med "prima" energi från den centrala värmeförsörjningsanläggningen.

Teoretisk nyttjandegrad och årlig värmeenergi som funktion av installerad värmepumpeffekt utan hänsyn till värmekällans eventuella begränsning framgår av följande tabell 2.

TAB. 2. Möjlig nyttjandegrad och värmeenergi som funktion av installerad värmepumpeffekt och föreliggande värmebehov.

Effektalternativ, kW	100	200	300	400	500	600	700
Energi för VVB, MWh/år	200	200	200	200	200	200	200
Energi för ventilation, MWh/år	80	210	250	270	275	278	280
Summa energiuttag, MWh/år	280	410	450	470	475	478	480
Nyttjandegrad vid max. effekt, h/år:							
a) Totalt	2 800	2 050	1 500	1 175	950	790	685
b) Av marginell effekt	-	1 300	400	200	50	30	20

Den marginella energivinsten och nyttjandegraden vid installerad effekt överstigande 200 kW är synnerligen liten. Erfarenhetsmässigt och utan närmare studium kan man dra slutsatsen att marginella förändringar över denna gräns ej är ekonomiskt försvarbara.

Värmeanläggningen för ventilationsanläggningen är dimensionerad för en vattentemperatur av 70/50 °C vid +10/+18 °C på tilluften. Med utgångspunkt därifrån kan erforderlig framledningstemperatur beräknas vid olika lufttemperaturer före batteri. I följande tabell 3 redovisas den lägsta utetemperatur vid vilken installerad värmepumpeffekt kan tillgodose värmebehovet samt motsvarande erforderliga framledningstemperatur vid bibehållen dimensionering av värmeanläggningen.

TAB. 3. Dimensionerande lägsta utetemperatur för värmepumpen samt motsvarande erforderlig framledningstemperatur.

Effektalternativ, kw	100	200	300	400	500	600	700
Temperatur före batteri, °C	+16,2	+14,7	+13	+11,3	+10	+10	+10
Erforderlig framledningstemperatur, °C	+29	+40	+51	+61	+70	+70	+70

Värmepumpenläggningen dimensioneras för en kondenseringstemperatur av +55°C. Värmeväxling sker primärt till förbrukningsvarmvattnet, som kan få en temperatur av ca +50°C. Från varmvattnet sker en sekundär värmeväxling till värmevattnet, som därigenom kan få en temperatur av högst ca +45°C. Detta innebär att man skulle kunna tillgodogöra sig en värmepumpeffekt av ca 245 kW utan kostnadskrävande uppdimensionering av värmeanläggningen. Temperaturdifferensen över värmeväxlaren blir dock liten med relativt stor värmeväxlaryta som följd.

Med hänsyn till ovanstående samt till tidigare angivna synpunkter avseende nyttjandegraden synes det motiverat att begränsa värmepumpeffekten till ca 200 kW. Detta innebär att värmeväxlaren mellan förbrukningsvarmvatten och värmevatten kan dimensioneras efter följande data:

Maximal effekt	200 kW
Förbrukningsvarmvatten, tillopp	+50°C
Förbrukningsvarmvatten, utlopp	+40°C
Värmevatten, tillopp	+32°C
Värmevatten, utlopp	+40°C

4.1 Förutsättningar

Solenergi insamlas via solfångare och lagras i grundvattenmagasinet. Med hjälp av värmepump används den lagrade energin för varmvattenberedning och värmning av ventilationsluft.

Magasinsvolymen uppgår till totalt ca 10 000 m³, varav ca 2 600 m³ beräknas vara vatten. Den specifika värmekapaciteten är i genomsnitt 2 650 kWs/m³, °C. Magasinets tvärsnittsarea är ca 150 m², varav ca 40 m² är fria area genom vilken vattnet kan strömma.

Med en förångningstemperatur av ± 0 à +10°C beroende på årstiden och en kondenseringstemperatur av +55°C blir värmepumpens värmefaktor ca 3,5. Den önskade energileveransen från värmepumpen vid 200 kW installerad effekt är 410 MWh/år enligt tabell 2. Därav utgör ca 120 MWh/år drivenergi (el) medan resterande 290 MWh/år således skall hämtas från magasinet.

Ingående temperatur till solfångarna är under vinterhalvåret omkring +10°C och sommartid något högre, sannolikt omkring +20°C. Tidigare beräkningar har visat att enkelglaskollektor vid dessa temperaturer kan insamla ca 700 kW/m², år. För att tillgodose angivet värmebehov skulle med ledning därav ca 400 m² kollektoryta erfordras. Detta är också den praktiska övre gränsen på aktuell byggnad.

Vid beräkning av energibalansen för olika månader utgår vi från följande värden, hämtade från "Klimatdata för Sverige".

TAB. 4. Klimatdata för Borås.

Månad	Medeltemperatur		Molnighet dagar/månad		
	Under dagen kl. 08-18	Under dygnet	Klart	Halv- klart	Milet
1	- 2,5	- 2,9	3,1	6,8	20,1
2	- 1,8	- 3,0	3,8	10,8	15,4
3	+ 1,7	- 0,4	7,5	9,7	12,8
4	+ 7,4	+ 4,7	6,3	11,7	12,0
5	+13,2	+10,5	8,0	13,0	9,0
6	+16,2	+14,2	5,8	14,6	9,6
7	+19,1	+16,5	5,1	14,9	10,0
8	+18,0	+15,4	5,4	14,2	10,4
9	+13,4	+11,4	4,8	13,4	11,8
10	+ 8,1	+ 6,7	3,9	9,7	16,4
11	+ 3,1	+ 2,7	1,8	6,7	21,5
12	+ 0,1	- 0,1	2,2	5,2	22,6
Året	-	+ 6,3	57,7	130,7	171,6

Beräkningsmässigt antas varje månad omfatta 30 dagar.

Grunddata avseende solintensitet, solhöjd, asimut och infallsvinkel i_v mot vertikal yta redovisas för olika klockslag och månader v i bilagda tabell B1.

4.2 Specifika kollektordata

Med utgångspunkt från angivna sol- och temperaturdata har insamlad solenergi beräknats timvis för olika månader och med olika molnighet. Med ledning av respektive månads molnförhållanden har därefter insamlad solenergi per månad beräknats. Beräkningen har utförts för 1-glas svartmålad kollektor.

Exempel på beräkningen visas i bilagda tabeller B2, B3 och B4.

Resultaten för olika månader och olika kollektortemperaturer har sammanställts och redovisas i bilagda tabell B5.

4.3 Vattenflöden

Vattenflödet genom solfångarna beräknas uppgå till ca 40 l/h, m^2 , vilket ger en temperaturhöjning vid maximal effekt av ca 17°C . Under klara dagar vintertid blir temperaturhöjningen ca 8 à 9°C . Med 400 m^2 kollektoryta blir totalflödet $16 \text{ m}^3/\text{h}$.

Den insamlade solenergin överföres till grundvattenmagasinet via en värmeväxlare. Grundvattenflödet genom denna växlare väljs till $25 \text{ m}^3/\text{h}$ för att hålla temperaturhöjningen och därmed värmeförlusterna inom rimliga gränser.

Värmepumpens kondensoreffekt har angivits till maximalt 200 kW . Med en värmefaktor av ca $3,5$ blir förångareffekten ca 140 kW . Med en temperatursänkning på vattnet av ca 3°C blir erforderligt vattenflöde ca $40 \text{ m}^3/\text{h}$.

4.4 Temperaturer

Avståndet mellan de två brunnarna A resp. B är ca 60 m . Värme-lagrets fria tvärsnittsarea bedöms vara 40 m^2 . Med angivna vattenflöden blir vattenhastigheten och temperaturvägen genom magasinet låg, i genomsnitt ca $0,5$ à 1 m/h .

Vid uppladdning av grundvattenmagasinet hämtas kallt vatten från brunn A och levereras varmare solvämt vatten till brunn B. Det varmare vattnet strömmar sedan via stenmagasinet tillbaka till brunn A. Vid urladdning är strömningsförloppet omvänt, varvid kallt vatten från värmepumpen levereras i brunn A. Såväl laddning som urladdning förekommer endast under dagtid.

Med ovan angivna förhållanden kommer temperaturvägen att röra sig relativt sakta genom magasinet. Det kan på goda grunder antas att temperaturen i brunn A relativt väl överensstämmer med temperaturen på det kylda grundvattenflödet från värmepumpen. Temperaturen i brunn B är däremot mera varierande och är en funktion av energitillskott via solen, värmepumpens värmeuttag och genomsnittlig magasinstemperatur.

4.5 Energibalans

Med ledning av redovisade specifika data över insamlad solenergi, månatligt värmeuttag samt grundvattenmagasinets värmeförluster resp. tillskott via begränsningsytorna görs en överslagsmässig energibalans för resp. månad. Det antas därvid att temperaturen i jordlagret 2 meter under grundvattenmagasinets botten är $+8^{\circ}\text{C}$. Massan däremellan antas ha ett värmeledningstal av $1,4 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$, vilket ger ett k-värde av $0,7 \text{ W/m}^2,^{\circ}\text{C}$. Förluster och tillskott via den övre begränsningsytan mot det fria bedöms med ledning av en undersökning gjord i Utby, Göteborg (3).

Beräkningen inleds med april månad, då magasinet förutsätts vara urladdat och ha en begynnelsestemperatur av ca $+3^{\circ}\text{C}$. I tabell 5 redovisas beräkningen i sammandrag.

TAB. 5. Energiflöden

Månad	Medel- ute- temp. dagtid °C	Energibehov MWh/mån		Ack-temp. i början av månaden, °C			Energiflöden till/från grund- vattenack., MWh/mån				Grund- vatten- temp. från värmep. °C	Vär- me- fek- tor ϕ vp	Drivenergi, MWh/mån		
		Tot.	Via värme- pump	Brunn A	20 m från	40 m från	Brunn B	Sol- energi	Via under- jorden	Via märk- ytan			Via värme- pumpen	Summa	Värme- pump
Apr	+ 7,4	28	28	+ 3	+ 3	+ 3	+ 7	+ 6	+ 20	+ 33	+ 4	3,5	8,0	0,8	8,8
Maj	+13,2	18	18	+10	+ 8	+ 6	- 8	+ 6	- 13,3	+30,7	+ 9	3,8	4,7	1,0	5,7
Jun	+16,2	18	18	+14	+12	+10	-10	+ 6	- 13,7	+26,3	+13	4,2	4,3	1,0	5,3
Jul	+19,1	18	18	+18	+15	+13	-14	+ 4	- 13,8	+19,2	+14	4,3	4,2	1,0	5,2
Aug	+18,0	18	18	+19	+17	+15	-16	+ 3	- 13,8	+13,2	+14	4,3	4,2	1,0	5,2
Sep	+13,4	18	18	+20	+18	+17	-15	+ 2	- 13,8	+ 3,2	+14	4,3	4,2	1,0	5,2
Okt	+ 8,1	18	18	+19	+19	+18	-14	- 4	- 13,7	-16,7	+13	4,2	4,3	0,9	5,2
Nov	+ 3,1	43	43	+17	+17	+16	-13	- 6	- 31,7	-44,7	+ 9	3,8	11,3	0,8	12,1
Dec	+ 0,1	68	68	+11	+11	+ 9	- 4	- 6	- 48,5	-54,5	+ 3	3,5	19,5	0,7	20,2
Jan	- 2,5	93	30,5	+ 3	+ 3	+ 3	+10	- 4	- 21,7	-11,7	+ 3	3,5	8,8	0,5	9,3
Feb	- 1,8	88	35,2	+ 3	+ 3	+ 3	+10	- 2	- 25	\pm 0	+ 3	3,5	10,2	0,6	10,8
Mar	+ 1,7	68	56,3	+ 3	+ 3	+ 3	+10	- 2	- 40	\pm 0	+ 3	3,5	16,3	0,7	17,0
Tot.	-	496	360,3				+326	+ 3	-260,3	\pm 0	-	3,6	100,0	10,0	110,0

$$\phi_{\text{tot}} = 3,2$$

5 KOSTNADER

5.1 Initialkostnader

Den relativt sett höga temperaturen i grundvattenmagasinet sommartid ger ett högre ångtryck än normalt. Då ca halva magasinet är beläget under byggnaden krävs extra diffusionsspärr i bottenplattan för att begränsa fuktvandringen. Mot denna bakgrund beräknas initialkostnaderna bli ungefär följande:

Värmepumpanläggning (200 kW)	130.000
Cirkulationspump och rörledn. dito	50.000
Solfångare 400 m ²	350.000
Stativ dito	100.000
Rörledningar dito	200.000
Värmeväxlare	15.000
Cirkulationspumpar (2 st)	20.000
Solfångarvätska	25.000
Styranläggning	50.000
Elinstallation	50.000
Nytt apparatrum	20.000
Extra diffusionsspärr	100.000
Pumpgröpar och fördelningsrör	25.000
<u>Summa kronor</u>	<u>1.135.000</u>

5.2 Driftkostnader

Enligt gjorda energiberäkningar kan värmepumpanläggningen leverera ca 360 MWh/år, varav 110 MWh/år består av köpt elenergi för driften. Med ledning därav blir driftkostnadsförändringarna ungefär följande:

Besparad oljeenergi		
360 MWh/år à 70 kr/MWh	-	25.200
Elkostnader		
Eleffektavg. 50 kW à 160 kr/kW,år	+	8.000
Elenergi 110 MWh/år à 120 kr/MWh	+	13.200
Underhåll, säg ca 1 % av initialkostn.	+	100.000
<u>Totalt kronor/år</u>	+	<u>96.000</u>

Den studerade anläggningen kan teoretiskt leverera ca 360 MWh/år, varav ca 110 MWh/år är drivenergi. Trots en netto energibesparing av 250 MWh/år är förändringen av de årliga energikostnaderna obetydlig och driftkostnaderna inkl. underhåll ökar med storleksordningen 100.000 kr/år. Härtill kommer kapitalkostnaderna för en investering av storleksordningen 1 miljon kronor. Det kan således lätt konstateras att lösningen ej är intressant ur ekonomisk synpunkt. Tekniskt sett medför lösningen i detta speciella fall också problem avseende huskonstruktionen med hänsyn till kravet på extra diffusionsspärr i bottenplattan.

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.

Rosenblad, Gösta och Berntsson, Thore: Förstudie av byggnadsuppvärmning med jordvärmepump. (Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm.) BFR-rapport 770609-7.

Tabell Bl. Soldata lat. 58°N

Mån.	Kl.	h°	a°	$\cos i_u$	f	$I_{DN} \text{ W/m}^2$
Januari/November	7	0	-	-		-
	8	0	-	-		-
	9	3,4	41,7	0,745	1,05	280
	10	3,0	28,3	0,872	1,15	485
	11	11,0	14,3	0,951	1,25	570
	12	11,9	0,0	0,979	1,30	595

Februari/Oktober	7	0	-	-		-
	8	5,3	58,6	0,519	0,80	380
	9	11,5	45,0	0,693	0,95	585
	10	16,3	30,2	0,830	1,15	685
	11	19,5	15,6	0,908	1,20	735
	12	20,5	0,0	0,937	1,25	745

Mars/September	7	7,9	77,2	0,219	0,65	485
	8	15,3	64,0	0,428	0,75	670
	9	22,0	49,7	0,600	0,90	765
	10	27,4	34,3	0,733	1,05	805
	11	30,8	17,6	0,819	1,10	830
	12	32,0	0,0	0,848	1,15	840

Tabell Bl. Soldata lat. 58°N

Mån.	Kl.	h°	a°	$\cos i_u$	f	$I_{DN} \text{ W/m}^2$
April/Augusti	6	9,7	96,2	-0,106	0,50	540
	7	17,7	83,4	0,109	0,60	715
	8	25,4	69,9	0,310	0,70	795
	9	32,4	55,2	0,482	0,80	835
	10	38,2	38,6	0,614	0,90	860
	11	42,1	20,0	0,697	0,95	870
	12	43,5	0,0	0,725	1,05	880

Maj/juli	6	17,0	101,0	-0,182	0,50	700
	7	24,9	88,5	0,024	0,55	790
	8	32,7	75,2	0,215	0,65	840
	9	40,1	60,3	0,379	0,70	865
	10	46,3	42,9	0,506	0,80	880
	11	50,6	22,6	0,586	0,85	890
	12	52,2	0,0	0,613	0,90	900

Juni	6	19,8	103,0	-0,212	0,50	740
	7	27,6	90,7	-0,011	0,55	810
	8	35,8	78,9	0,156	0,60	850
	9	42,9	62,5	0,338	0,70	870
	10	49,3	44,9	0,462	0,80	890
	11	53,8	23,8	0,540	0,85	900
	12	55,4	0,0	0,568	0,85	900

Tabell Bl. Soldata lat. 58°N

Mån.	Kl.	h°	a°	$\cos i_u$	f	$I_{DN} \text{ W/m}^2$
December	7	-	-			-
	8	-	-			-
	9	1,0	40,5	0,760	1,05	95
	10	4,8	27,4	0,884	1,20	355
	11	7,6	13,9	0,962	1,25	470
	12	8,6	0,0	0,989	1,30	500

Tabell B2. Solinstrålning mot söderorienterad yta med lutningen 70°

Lat. 58° Månad: Januari/November

Kl	I Helklart			II Halvklart			III Mulet	i = arccos I_{D70}^I / I_{DN}^I	τ_D / τ_N
	I_{D70}^I	I_{d70}^I	I_{T70}^I	I_{D70}^{II}	I_{d70}^{II}	I_{T70}^{II}	$I_{d70}^{III} - I_{T70}^{III}$		
09	201,7	42,3	244,0	100,8	44,2	145,0	18,4	44	1,0
10	420,5	82,4	502,9	210,2	106,4	316,6	52,2	30	1,0
11	546,6	106,4	653,0	273,3	154,2	427,5	80,8	16	1,0
12	589,3	115,7	705,0	294,6	173,1	467,7	92,2	8	1,0
Dygn	2926,9	577,9	3504,8	1463,2	782,7	2245,9	395,0		

Tabell B2. Solinstrålning mot söderorienterad yta med lutningen 70°

Lat. 58° Månad: Februari/Oktober

Kl	I Helklart			II Halvklart			III Mulet	i = arccos I_{D70}^I / I_{DN}^I	τ_D / τ_N
	I_{D70}^I	I_{d70}^I	I_{T70}^I	I_{D70}^{II}	I_{d70}^{II}	I_{T70}^{II}	$I_{d70}^{III} - I_{T70}^{III}$		
08	197,0	45,6	242,6	98,5	51,9	150,4	23,3	59	0,95
09	420,8	86,0	506,8	210,4	125,1	335,5	65,6	44	1,00
10	600,0	122,8	722,8	300,0	208,0	508,0	117,3	29	1,00
11	711,0	139,2	850,2	355,5	256,4	611,9	149,4	15	1,00
12	745,0	146,9	891,9	372,5	277,8	650,3	163,5	0	1,00
Dygn	4602,5	934,1	5536,6	2301,3	1560,6	3861,9	874,7		

Tabell B2. Solinstrålning mot söderorienterad yta med lutningen 70°

Lat. 58° Månad: Mars/September

Kl	I Helklart			II Halvklart			III Mulet	i = arccos I_{D70}^I / I_{DN}^I	τ_D / τ_N
	I_{D70}^I	I_{d70}^I	I_{T70}^I	I_{D70}^{II}	I_{d70}^{II}	I_{T70}^{II}	$I_{d70}^{III} - I_{T70}^{III}$		
07	122,6	49,8	172,4	61,3	62,7	124,0	30,2	75	0,63
08	329,9	83,4	413,3	165,0	133,1	298,1	73,1	60	0,95
09	529,3	116,2	645,5	264,6	219,8	484,4	129,3	46	1,00
10	681,2	143,0	824,2	340,6	304,0	644,6	186,0	32	1,00
11	788,1	155,9	944,0	394,0	351,7	745,7	219,0	18	1,00
12	821,6	164,4	986,0	410,8	379,8	790,6	238,1	12	1,00
Dygn	5723,8	1261,0	6984,8	2861,8	2522,4	5384,2	1513,3		

Tabell B2. Solinstrålning mot söderorienterad yta med lutningen 70°

Lat. 58° Månad: April/Augusti

Kl	I Helklart			II Halvklart			III Mulet	i = arccos I_{D70}^I / I_{DN}^I	τ_D / τ_N
	I_{D70}^I	I_{d70}^I	I_{T70}^I	I_{D70}^{II}	I_{d70}^{II}	I_{T70}^{II}	$I_{d70}^{III} - I_{T70}^{III}$		
06	0	45,7	45,7	0	60,2	60,2	30,0		
07	147,6	76,5	224,1	73,8	126,2	200,0	70,0	78	0,50
08	348,2	102,3	450,5	174,1	199,0	373,1	118,0	64	0,88
09	531,2	124,5	655,7	265,6	273,7	539,3	169,0	50	0,98
10	678,1	144,5	822,6	339,0	347,3	686,3	220,0	38	1,00
11	769,3	155,0	924,3	384,6	391,6	776,2	251,0	28	1,00
12	806,7	169,6	976,3	403,3	442,4	845,7	286,0	24	1,00
Dygn	5755,5	1466,6	7222,1	2877,5	3238,4	6115,9	2002,0		

Tabell B3. Termisk förlusteffekt från solkollektor

Lutad söderyta 70° mot horisontalplanet

$$f = k \cdot (Q_{vi} - q) \text{ W/m}^2$$

Mån	Medel- temp. kl.08-18	$Q_{vi} = 0^\circ\text{C}$			$Q_{vi} = 20^\circ\text{C}$			$Q_{vi} = 40^\circ\text{C}$		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
Jan	- 2,5	-12,5	- 5	- 6,5	-124	-56	-59	-268	-128	-111
Feb	- 1,8	- 9	- 4	- 5	-120	-55	-57	-263	-125	-109
Mar	+ 1,7	+ 8,5	+ 4	+ 4	-100	-47	-49	-241	-115	- 99
Apr	+ 7,4	+37	+15	+19	- 70	-33	-35	-205	- 98	- 85
Maj	+13,2	+66	+26	+34	- 38	-18	-19	-169	- 80	- 70
Jun	+16,2	+81	+32	+42	- 21	-10	-11	-150	- 71	- 62
Jul	+19,1	+95	+38	+50	- 5	- 3	- 3	-132	- 63	- 54
Aug	+18,0	+90	+36	+47	- 11	- 5	- 5	-139	- 66	- 57
Sep	+13,4	+67	+27	+35	- 36	-17	-18	-168	- 80	- 69
Okt	+ 8,1	+40	+16	+21	- 66	-31	-33	-201	- 96	- 83
Nov	+ 3,1	+15	+ 6	+ 8	- 93	-44	-46	-232	-110	- 96
Dec	+ 0,1	+ 0	+ 0	+ 0	-110	-52	-54	-251	-120	-104

A = 1-glas svartmålat

B = 1-glas selektiv

C = 2-glas svartmålat

Tabell B4. Beräkning av insamlad energi - Borås

Lat. 58°Nb Månad: Januari

Lutad söderyta 70° mot horisontalplanet. l-glas svartmålad kollektor.

Kl.	$0,78 \cdot \frac{\tau_D}{\tau_N} \cdot I_D \cdot \frac{Wh}{m^2}$		$0,74 \cdot I_D \cdot \frac{Wh}{m^2}$		$k \cdot (Q_{vi} - Q_p) \cdot \frac{Wh}{m^2}$		$q = \max \left(\begin{matrix} 0,78 \cdot \frac{\tau_D}{\tau_N} \cdot I_D + 0,74 \cdot I_D - k \cdot (Q_{vi} - Q_p) \\ 0 \end{matrix} \right) \cdot \frac{Wh}{m^2}$									
	hel-klart	halv-mulet	hel-klart	halv-mulet	$Q_{vi} = 0^\circ C$	$Q_{vi} = 20^\circ C$	$Q_{vi} = 40^\circ C$	hel-klart 0°C	halv-klart 0°C	mulet 0°C	hel-klart 20°C	halv-klart 20°C	mulet 20°C	hel-klart 40°C	halv-klart 40°C	mulet 40°C
03																
04																
05																
06																
07																
08																
09	157	79	31	32	13	124	268	175	98	0	64	0	0	0	0	0
10	328	164	61	78	38	124	268	376	229	25	265	118	0	121	0	0
11	426	213	78	114	60	124	268	491	314	47	380	203	0	236	59	0
12	460	230	85	128	68	124	268	532	345	55	421	234	0	277	90	0
Dygns- summa	2282	1142	425	533	290			2616	1627	199	1839	876	0	991	208	0
2x (kl. 03-11) +kl. 12																

$t_1 = 3,1$ dagar
 $t_2 = 6,8$ dagar
 $t_3 = 20,1$ dagar

$Q_{vi} = 0^\circ C$
 23 kWh/m²
 19,1 kWh/m²

$Q_{vi} = 20^\circ C$
 11,6 kWh/m²

$Q_{vi} = 40^\circ C$
 4,5 kWh/m²

D:o exkl. mulna dagar

Tabell B4. Beräkning av insamlad energi - Borås

Lat. 53°Nb Månad: Februari

Lutad söderyta 70° mot horisontalplanet. I-glas svartmålad kollektor.

Kl.	$0,78 \cdot \frac{\tau_D}{\tau_N} \cdot I_D \cdot \frac{Wh}{m^2}$		$0,74 \cdot \frac{I_D \cdot Wh}{m^2}$		$k \cdot (Q_{vi} - Q_e) \cdot \frac{Wh}{m^2}$		$q = \max \begin{matrix} 0,78 \\ 0 \end{matrix} \cdot \frac{\tau_D}{\tau_N} \cdot I_D + 0,74 \cdot I_D - k \cdot (Q_{vi} - Q_e) \cdot \frac{Wh}{m^2}$									
	hel-klart	halv-mulet	hel-klart	halv-mulet	$Q_{vi} = 0^\circ C$	$Q_{vi} = 20^\circ C$	hel-klart $0^\circ C$	halv-klart $0^\circ C$	mulet $0^\circ C$	hel-klart $20^\circ C$	halv-klart $20^\circ C$	mulet $20^\circ C$	hel-klart $40^\circ C$	halv-klart $40^\circ C$	mulet $40^\circ C$	
03																
04																
05																
06																
07																
08	146	72	33	36	9	120	263	170	99	7	59	0	0	0	0	
09	328	164	67	92	9	120	263	386	247	39	275	136	0	132	0	
10	468	234	90	153	9	120	263	549	378	77	438	267	0	295	124	
11	554	277	103	189	9	120	263	648	457	101	537	346	0	394	203	
12	581	290	108	205	9	120	263	680	486	111	569	375	0	426	232	
Dygns- summa								4186	2848	559	3187	1873	0	2068	886	0
2x (kl. 03-11)	3573	1784	694	1145	640											
+kl. 12																

$t_1 = 3,8$ dagar
 $t_2 = 10,8$ dagar
 $t_3 = 15,4$ dagar

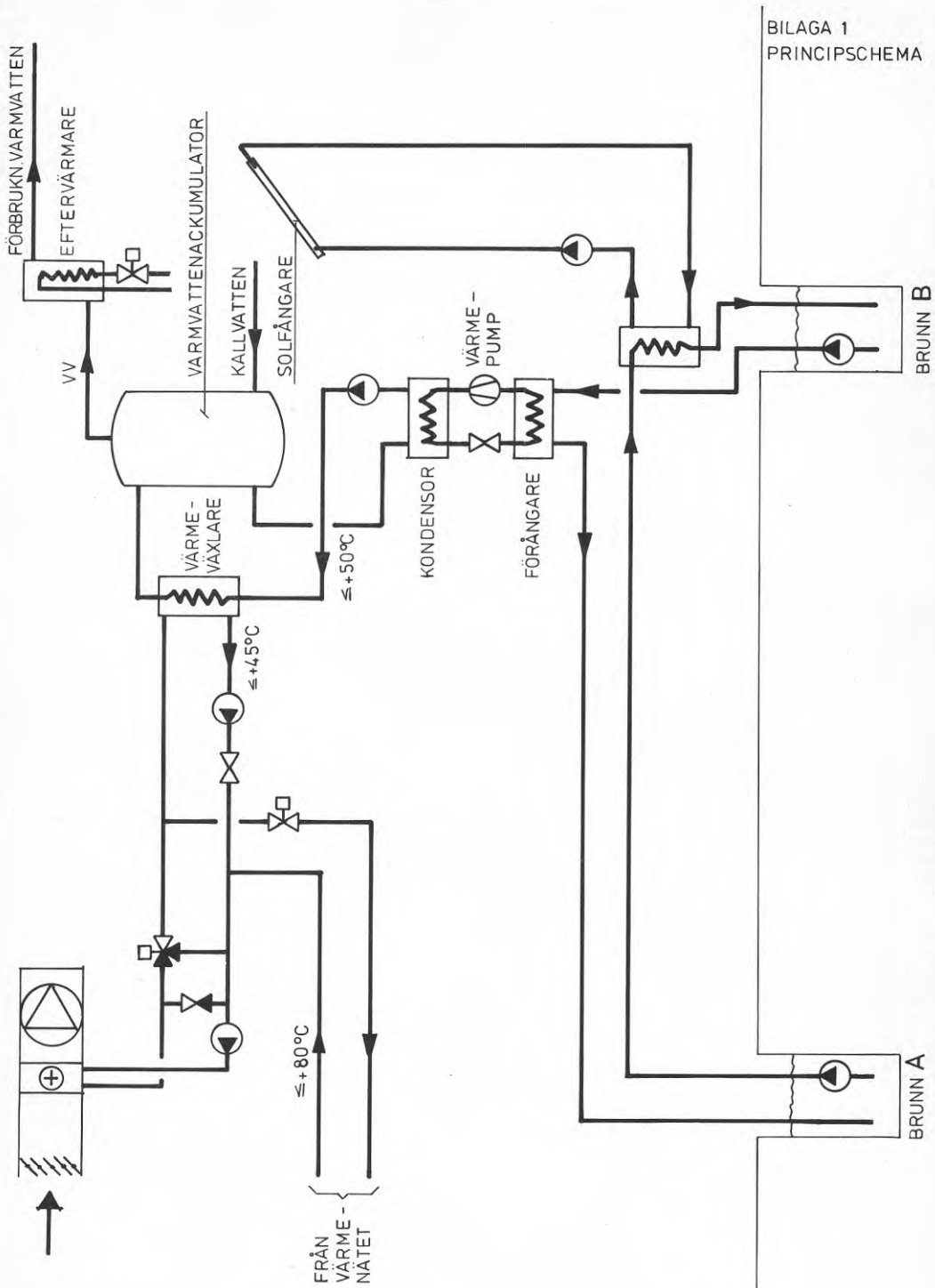
$q = t_1 \cdot \sum q_1 + t_2 \cdot \sum q_2 + t_3 \cdot \sum q_3$
 $Q_{vi} = 0^\circ C$
 55,2 kWh/m²
 46,6 kWh/m²
 $Q_{vi} = 20^\circ C$
 32,3 kWh/m²
 $Q_{vi} = 40^\circ C$
 17,4 kWh/m²

D:o exkl. mulna dagar

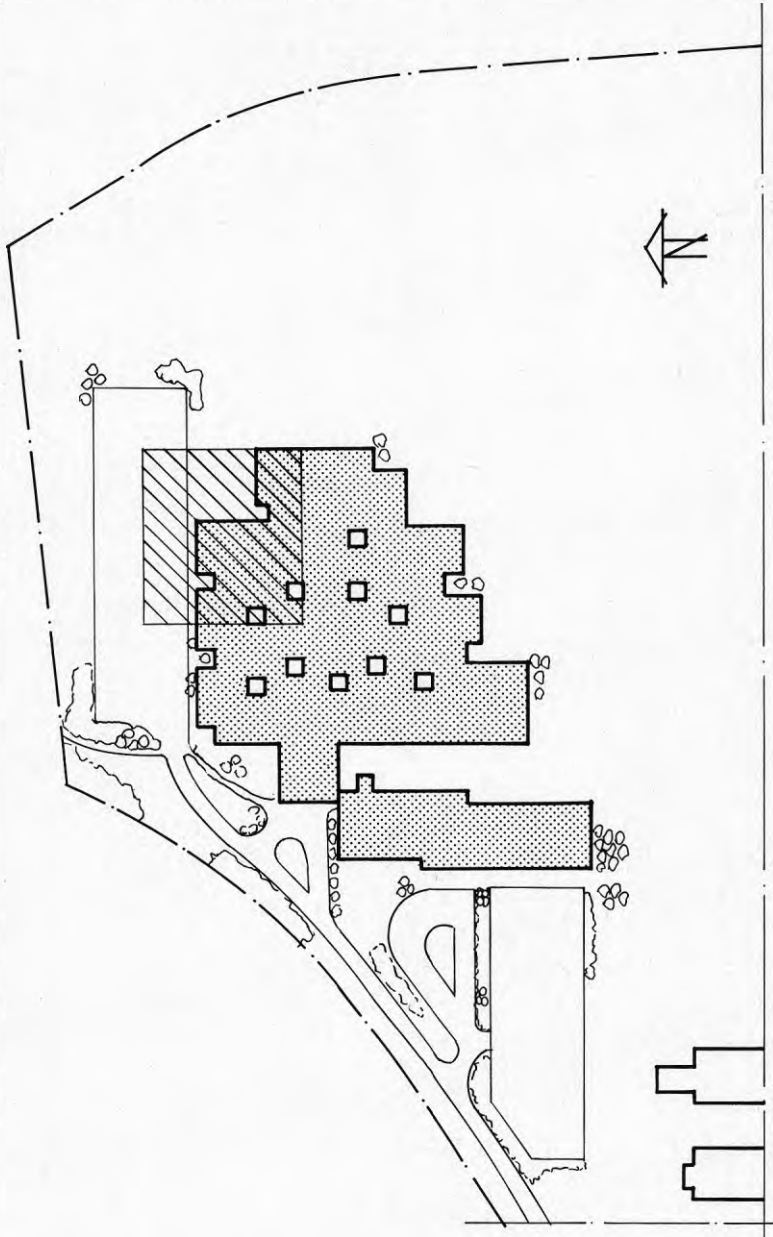
Tabell B5. Infångad energi. Dygnssummor och månadssummor - Borås

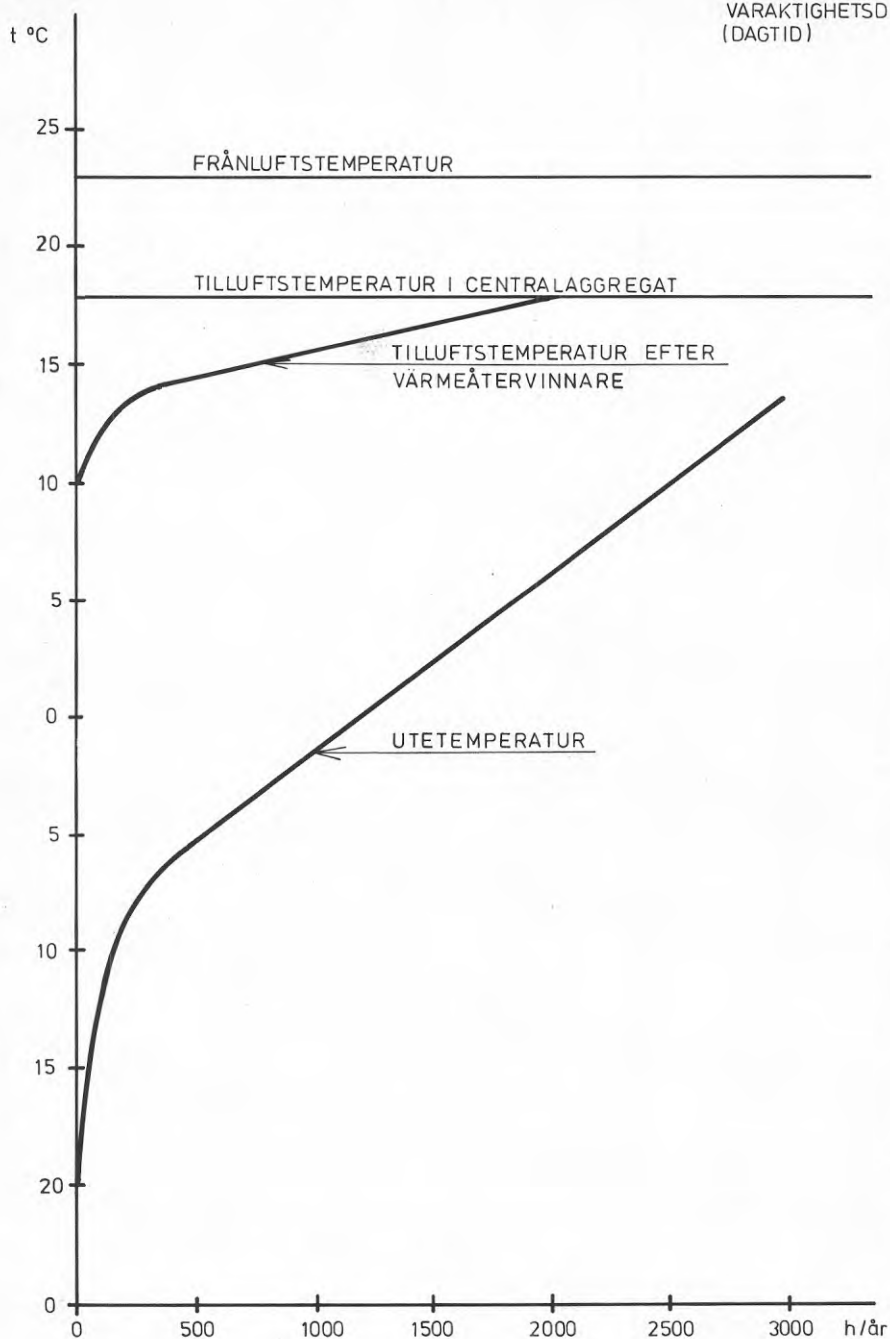
Lat. 58'Nb Lutande yta 70°. 2-glas svartmålad kollektor inkl. mulna dagar

Mån	$Q_{vi} = 0^{\circ}\text{C}$				$Q_{vi} = 20^{\circ}\text{C}$				$Q_{vi} = 40^{\circ}\text{C}$			
	helklart $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	halvklart $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	mulet ₂ $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	totalt $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{mån.}}$	helklart $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	halvklart $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	mulet ₂ $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	totalt $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{mån.}}$	helklart $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	halvklart $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	mulet ₂ $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{d}}$	totalt $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{mån.}}$
Jan	2,5	1,54	0,24	23,1	2,17	1,07	0,01	14,2	1,66	0,58	0	9,1
Feb	4,02	2,70	0,60	53,7	3,55	2,15	0,23	40,3	2,96	1,52	0,01	27,8
Mär	5,07	3,82	1,16	89,9	4,47	3,20	0,63	72,6	4,02	2,54	0,28	58,4
Apr	5,34	4,47	1,72	106,6	4,65	3,76	1,05	85,9	4,06	3,18	0,56	69,5
Maj	5,27	4,70	2,07	121,9	4,58	4,01	1,38	101,2	3,90	3,23	0,78	80,2
Jun	5,19	4,81	2,26	122,0	4,50	4,12	1,57	101,3	3,80	3,28	0,93	78,9
Juli	5,48	4,31	2,28	115,0	4,79	3,62	1,59	94,3	4,04	3,36	0,95	80,2
Aug	5,71	4,83	2,09	121,2	5,03	4,16	1,41	100,9	4,31	3,41	0,82	80,2
Sep	5,41	4,16	1,50	99,4	4,69	3,48	0,92	80,0	4,23	3,02	0,48	66,4
Oktober	4,25	2,94	0,83	58,7	3,76	2,45	0,38	44,7	3,14	1,96	0,10	32,9
Nov	2,63	1,63	0,35	23,2	2,26	1,26	0,05	13,6	1,74	0,89	0	9,1
Dec	1,86	1,13	0,17	13,8	1,48	0,79	0	7,4	1,23	0,16	0	3,5

BILAGA 1
PRINCIPSCHEMA

BILAGA 2
SITUATIONSPLAN



BILAGA 3
VARAKTIGHETSDIAGRAM
(DAGTID)

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 780942-5 från
Statens råd för byggnadsforskning till Älvsborgs läns landsting,
Göteborg**

R80:1979

ISBN 91-540-3054-4

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600980

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 20 kr exkl moms