



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.



SUN-SEC: Serieanpassat solhus

Förstudie till energi-experiment

Gunnar Nordfeldt
Rolf Pettersson
Yngve Karlsson

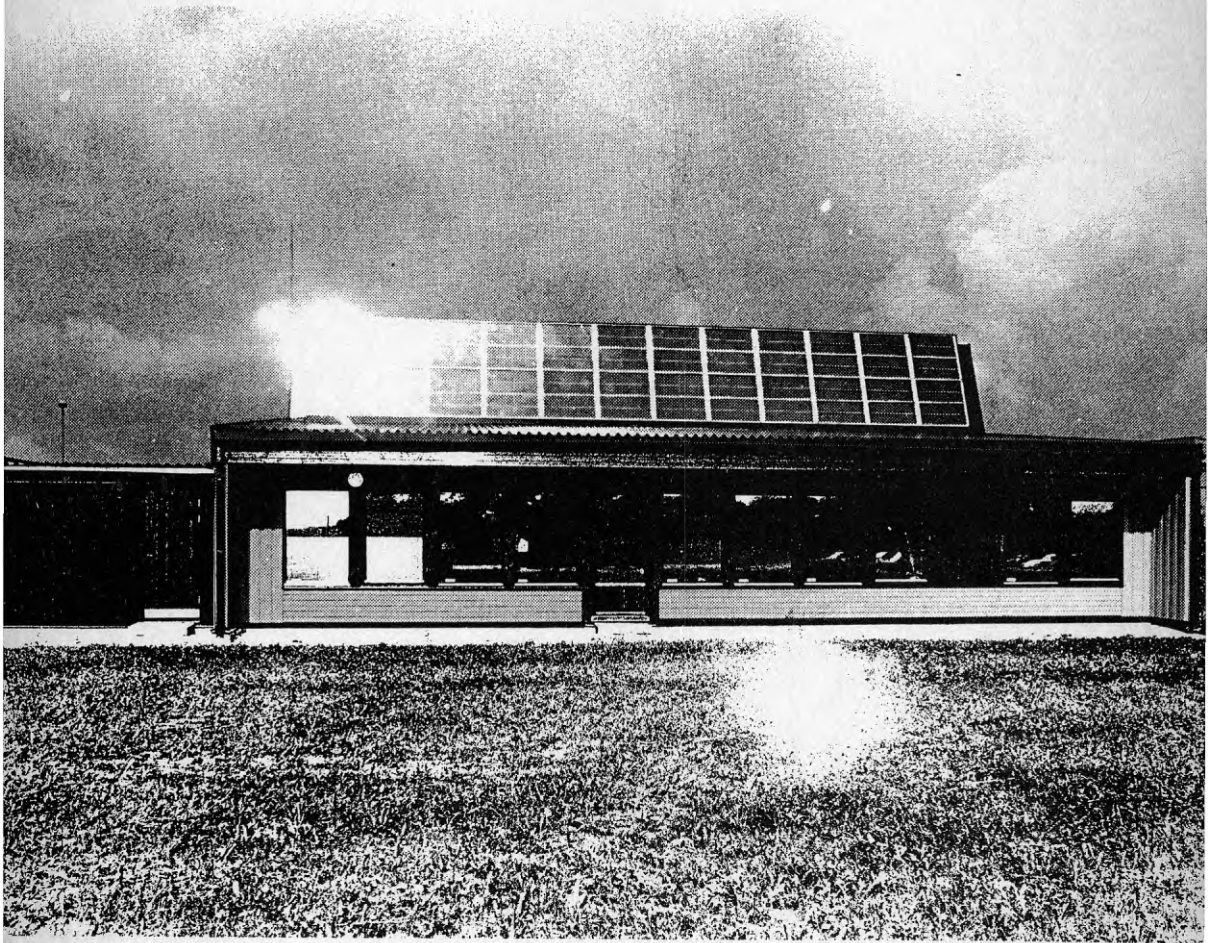
INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-0666
Plac	ser

R/100

R41:1980

SUN-SEC: SERIEANPASSAT SOLHUS
Förstudie till energi-experiment.

Gunnar Nordfeldt
Rolf Pettersson
Yngve Karlsson



Figur. SUN-SEC huset. Foto Jan Dejmo.

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag från Statens råd för byggnadsforskning nr 770359-5 och 780086-2 till avdelningen för projekteringsmetodik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, samt nr 780087-7 till AB Skånska Cementgjuteriet, Göteborg.

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

R41:1980

ISBN 91-540-3218-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 051417

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

FÖRORD		5
1	INLEDNING	6
1.1	Bakgrund	6
1.2	Metod	7
1.3	Syfte	7
1.4	Problemformulering	7
1.5	Genomförande	8
2	TEORETISKA STUDIER	9
2.1	Begränsningar	9
2.2	Klimatförutsättningar	11
2.3	Värmekapacitet	11
2.4	Transmissionsförluster	11
2.5	Transmissionsförluster - kylbehov	12
2.6	Överhäng	12
2.7	Söderorienterade fönster	13
2.8	Övertemperaturer	14
2.9	Mekanisk ventilation	15
2.10	Energitillskott	16
3	SYSTEMSTUDIER	18
3.1	Solvärmesystem	18
3.2	Solvärmesystem i kombination med värmepump	20
4	BYGGNADSUTFORMNING	22
4.1	Lokalisering	23
4.1.1	Experimenthusets läge	23
4.1.2	Klimatförutsättningar	25
4.2	Planutformning	26
4.3	Torpargrund	26
4.4	Byggnadsstomme och isolering	27
4.5	Täthet	28
4.6	Serieanpassning	29
4.7	Tekniska installationer	29
5	SYSTEMUTFORMNING	31
5.1	Solvärmesystemet	31
5.2	Temperaturkrav	31
5.3	Solfångare	32
5.4	Frysning, kokning	35
5.5	Fläktar, pumpar	35
5.6	Golvvärme	36
5.7	Värmepump	37
5.8	Reserv och tillsatsvärme	38
5.9	Avlopps- och luftvärmeväxlare	38
5.10	Funktionsbeskrivning	38
5.10.1	Funktionsbeskrivning allmänt	38
5.10.2	Funktionsbeskrivning, systemet	39
5.10.2.1	Laddning av vattenvärmare med solvärme	40
5.10.2.2	Uppvärmningssystemet	40
5.10.2.3	Golvvärmesystemets reglering	41
5.11	Apparatrum	41

6	BERÄKNINGAR	43
6.1	Allmänt	43
6.2	Överslagsberäkning	43
6.2.1	Beräkningsförutsättningar, specifikt för SUN-SEC huset	44
6.2.2	Värmebehov	45
6.3	Beräkningar avseende SUN-SEC huset	45
6.4	Beräkningar avseende solvärmesystemet	46
6.4.1	Energiflödena i experimenthuset	48
7	MÄTNING OCH UTVÄRDERING	52
7.1	Syfte	52
7.2	Mätpunkter, mätutrustning	52
7.2.1	Mätpunkter	52
7.2.2	Absoluta temperaturer i systemet	54
7.2.3	Driftstider i systemet	54
7.2.4	Tillförd elektrisk energi	55
7.2.5	Uteklimatet	55
7.2.6	Temperaturer i huset	56
7.2.7	Temperaturer i ventilationsvärme- växlare	57
7.2.8	Solinfall genom fönstren	57
7.3	Insamlingsrutiner	57
7.3.1	Överföring till dataloggern	57
7.3.2	Dataloggern	58
7.4	Behandling av mätresultaten	58
8	KOMMENTAR	59
9	DATABILAGOR A. B. C.	60
10	LITTERATURFÖRTECKNING	64

FÖRORD

Detta arbete har bedrivits med anslag från Nordisk Industrifond och Statens råd för byggnadsforskning till avdelningen för projekteringsmetodik vid Chalmers tekniska högskola och AB Skånska Cementgjuteriet. Denna rapport utgör en delrapport och avser de teoretiska förstudierna till det föreslagna experimentbyggnadsprojektet.

Under 1976 och 1977 har genom samarbete med institutionen för värmeisolering vid Danmarks tekniska högskola, en forskningsstudie av samspelet och växelverkan mellan passiva och aktiva åtgärder utförts. Studien har utförts på ett statligt belåningsbart småhus med varierande planutformning och byggnadsteknisk utformning.

För experimentprojektets genomförande bildades en projektgrupp bestående av Skånska Cementgjuteriet, den kommunala bostadsstiftelsen EKSTA, Chalmers, (SEC) samt AGA-CTC och Danfoss A/S.

Ett givande och stimulerande samarbete har ägt rum med professor Vagn Korsgaard och tekn dr Torben Esbensen som utfört databeräkningarna vid DTH, ingenjör Gösta Svensson, AGA-CTC, har ansvarat för solfångarenhet och värmepumpens systemanpassning, ingenjör Knut Hallgren Danfoss A/S har utvecklat styrenheten för golvvärmesystemet. Projektansvarig från AB Skånska Cementgjuteriet har civilingenjör Kurt Ivarsson varit. Ingenjör Yngve Karlsson har samordnat projekteringen och bidragit med värdefulla synpunkter på den byggnadstekniska utformningen och ingenjör Lennart Karlsson har ansvarat för den VVS- och eltekniska samordningen från Skånska Cementgjuteriets sida.

Mät- och insamlingsprogrammet är utarbetat av tekn dr Antal Rajnak och tekn dr Kjell Schroeder vid mätcentralen på Chalmers tekniska högskola. Programmet är en utveckling av det i rapporten skisserade mätprogrammet.

De mätningar som nu genomförs på det uppförda experimenthuset syftar till att klargöra relationen mellan aktiva system och passiva åtgärder.

Göteborg i november 1979


 Gunnar Nordfeldt


 Rolf Pettersson

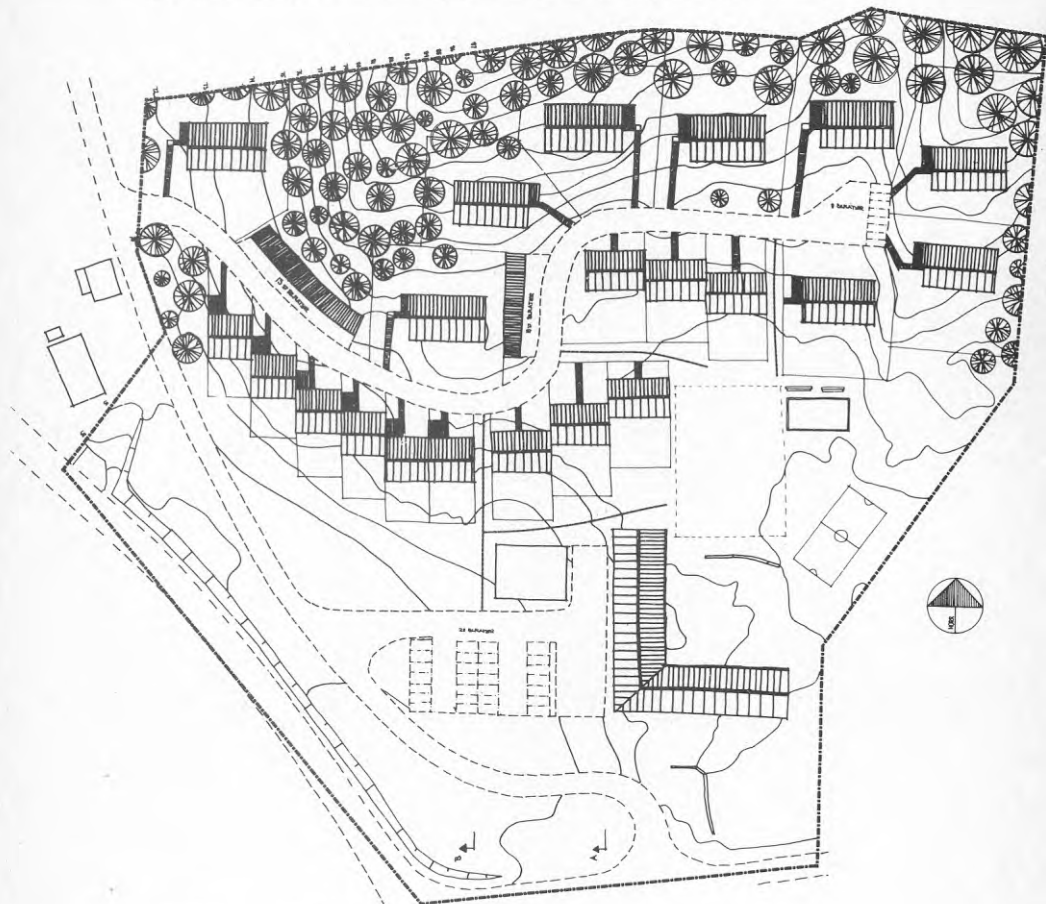

 Hans Nordenström
 Projektledare

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Hösten 1975 utarbetade undertecknade ett förslag till områdesplan för Gällinge, Kungsbacka kommun. Planen omfattade 11 friliggande, 2 parhus och 6 st sammanbyggda småhus med lägenhetsstorlekar 2 och 3 rum och kök samt en enparallellig lågstadieskola. Samtliga hus skulle täcka sitt huvudsakliga värmebehov genom en kombination av ett aktivt och passivt solvärmesystem.

Den kommunala bostadsstiftelsen Eksta som allt sedan energikrisen 1973 har arbetat med energibesparande åtgärder inom sina fastigheter ställde välvilligt en tomt till förfogande. Erfarenheterna från detta experimenthuset skall ligga till grund för utformningen av ett större bostadsområde i Kungsbacka kommun.



Figur. Gällinge stadsplaneförslag.

Under 1976 och 1977 bedrevs vid avdelningen samarbete med institutionen för värmeisolering vid DTH med stöd

från Nordisk Industrifond. Systemutvecklingsarbetet avsåg ett allmängiltigt solvärmesystem för småhus med förhöjd isolering. För att bredda projektet knöts industrier med erfarenheter från olika solvärmesystem till gruppen. Danfoss, som tillsammans med DTH har utvecklat ett flertal reglersystem, bl a för nollenergihuset i Köpenhamn samt flera av systemen i lågenergihusen i Skive har deltagit vid utformningen av reglersystemet.

1.2 Metod

De teoretiska förstudiernas huvudsyfte har varit att klarlägga konfliktpunkter mellan passiva och aktiva åtgärder och att göra en sammanvägning av olika överlagrade arkitektoniska, byggnadstekniska och systemtekniska krav. Genom detta passningsförfarande har olika alternativa planutformningar och byggnadstekniska lösningar kombinerats med varierande utformning av soluppvärmningssystemet.

Dessa studier har sedan fått utgöra utgångspunkt för projekteringen av det nu byggda serieanpassade soluppvärmda SUN-SEC-huset.

1.3 Syfte

Att med de teoretiska förstudierna som underlag projektera och bygga:

en med hänsyn till energiförbrukning och serie-
mässigt tillämpade byggmetoder lämplig arkitek-
toniskt och byggnadstekniskt utformad byggnad,

ett med hänsyn till de under vintermånaderna kor-
ta solperioderna lämpligt solvärmesystem,

att göra ett för solvärmesystemet lämpligt
komponentval,

att upprätta en detaljplan för fullskaleförsöket,

att upprätta en detaljplan för uppföljning och
utvärdering.

1.4 Problemformulering

Oljepriset har under 70-talet stigit språngartat vid ett flertal tillfällen. Ändå har nuvarande oljepris i princip bara anpassats till den nivå den skulle ha haft om oljeproducenterna följt prisindex under senare hälften av 50-talet och 60-talet. Kommer även fortsättningsvis oljan att stiga lika språngartat blir det ur energisynpunkt omöjligt att finna optimala lösningar mellan alla de samverkande tekniska komponenter som har betydelse för ett hus energibehov. Detta medför att en byggnads transmissions- och ventilationsförluster skall reduceras i mycket stor utsträckning (halveras mot SBN -75). Energiutvecklingen kan indelas i följande punkter:

- transmissionsförluster (golv, väggar, tak och fönster)
- frivilliga och ofrivilliga ventilationsförluster
- energiförluster genom avloppsvattnet.

Inom byggnaden finns olika möjligheter att ta till vara den energi som kommer huset till godo dels genom direkt och diffus solinstrålning och dels den "gratis" energi som elektriska apparater och människor alstrar.

I ett hus utformat efter passiva principer (hög isolering, små fönsterytor åt norr, stora fönsterytor åt söder, återvinning på ventilationsluften etc) krävs ändå ett externt energitillskott. Detta energitillskott skall i första hand täcka varmvattenbehovet och uppvärmningsbehovet under vinterhalvåret.

Arbetet har koncentrerats på att finna en lämplig avvägning mellan tekniska och arkitektoniska lösningar.

Problemen i samband med systemutformningen har främst varit att finna en lämplig kombination av väl fungerande komponenter och rätt storlekar:

- att finna en liten driftsäker värmepump, effekt ca 2-4 kW,
- att finna en solfångare med snabb reaktionstid, vilket möjliggör hög effektivitet vintertid,
- att finna ett lämpligt golvvärmesystem utan dolda skarvar,
- att välja kända, väl fungerande komponenter och därigenom minimera drift och skötselproblemen.

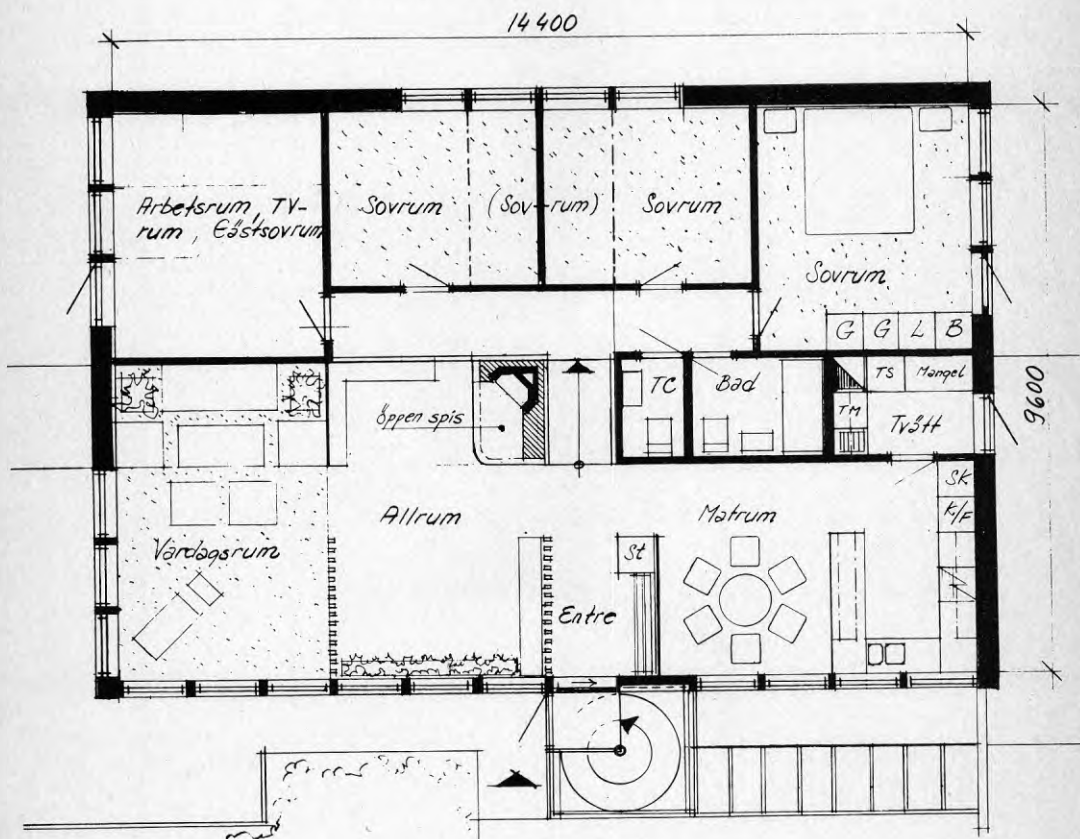
1.5 Genomförande

Det i rapporten redovisade solvärmesystemet och experimenthuset skall mätas och utvärderas under en 18-månadersperiod med start hösten 1979. Uppvärmningssystemet och byggnadens samverkan måste fastställas genom synnerligen noggranna mätningar. Trots en stor strävan att finna enkla och okomplicerade lösningar framträder skötsel- och driftsfrågorna som några av de väsentligaste problemområdena att få belysta. Detta faktum har lett till att denna rapport utgör en allmän redovisning av projektets väg från teoretiska studier fram till förverkligandet.

I ett lågenergihus kan det externa energitillskottet inskränka sig till den elenergi som åtgår för drift av uppvärmningssystemet och hushållsapparater. All övrig energi kan teoretiskt sett fås från ett solvärmesystem. För att detta skall vara möjligt krävs dessutom att så många passiva åtgärder som möjligt har vidtagits så att husets värmebehov har reducerats till ett minimum. I samarbete med DTH har databeräkningar för hus med varierande värmekapacitet, isolertjocklekar, fönsterytor, överhäng och zonindelning utförts. Vissa generaliseringar och förenklingar har varit nödvändiga att göra i samband med beräkningarna.

2.1 Begränsningar

Studien avser en byggnad belägen i Göteborg och med utformning enligt fig.



Figur. Ursprunglig planutformning som legat till grund för de teoretiska förstudierna

Måtten på husets golv är 167 m^2 , väggar 94 m^2 och tak 202 m^2 . Takytan är större än golvytan på grund av att isoleringen följer takets lutningar. Fönstren fördelar sig med 25 m^2 sydvänt och skyddat av ett taköverhäng på $0,9 \text{ m}$ samt 1 m^2 sydvänt takfönster, vilket saknar taköverhäng. Övriga fönsterytor fördelar sig med i nord $2,5 \text{ m}^2$, i öst $0,4 \text{ m}^2$ och i väst $3,3 \text{ m}^2$, samtliga dessa saknar taköverhäng.

I den studerade basvarianten av huset har väggar och golv isolerats med 300 mm mineralull samt taket isolerats med 450 mm mineralull. Dessa värden har hållits konstant när andra variabler studerats.

Marktemperaturen närmast under huset har i beräkningarna satts till 8°C , konstant under hela året. Luftinflöde genom kontrollerad ventilation har satts till 200 m^3 per timma, vilket med 80%-ig värmeåtervinning motsvarar $13,3 \text{ W}/^\circ\text{C}$. Luftinflöde genom infiltration begränsas till $0,15$ omsättningar per timma, vilket motsvarar $25 \text{ W}/^\circ\text{C}$.

Värmeförlusterna genom tak, väggar, dörrar och fönster är vid basvarianten beräknade till totalt $100 \text{ W}/^\circ\text{C}$ utan hänsyn till lätt eller tungt system. Förlusterna till mark är $25 \text{ W}/^\circ\text{C}$ och ventilations- plus infiltrationsförluster är $38,3 \text{ W}/^\circ\text{C}$ ($13,3 + 25$). Med utgångspunkt från klimatdata för Sverige har medelgraddygnstalet beräknats till $3\ 120$ under uppvärmningsperioden 24/9 till 7/5. Utan fönsterluckor blir enligt beräkning det totala energibehovet för uppvärmning ca $10,4 \text{ MWh}$. Från detta får sedan dras den energivinst som erhålls genom att solen lyser på husets ytterytor under uppvärmnings-säsongen.

För dörrar har k -värdet ansatts till $1,0 \text{ W}/^\circ\text{Cm}^2$, för fönster dagtid $1,8 \text{ W}/^\circ\text{Cm}^2$ och nattetid $0,6 \text{ W}/^\circ\text{Cm}^2$ på grund av att luckor för fönstren har medräknats. Luckorna används under perioden 28/10 - 9/4. Inomhus-temperaturen har satts till minimum 21°C den kallaste dagen på året. Den högsta tillåtna inomhus-temperaturen en solig vårdag har satts till 27°C . Vid högre temperaturer startar automatiskt den mekaniska ventilationen.

Med givna förutsättningar i fråga om utformning och ytor har inverkan av olika åtgärder för husets energiförbrukning studerats.

Noggrannheten hos beräkningar av denna typ beror vid sidan av andra faktorer mycket på den tidsintervall över året med vilka beräkningarna genomförs. Vid beräkningar i detta projekt har intervallen varit varje halvtimme.

2.2 Klimatförutsättningar

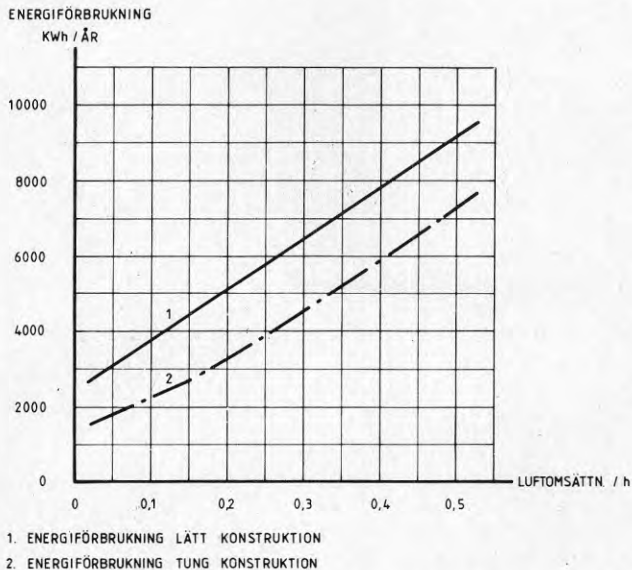
Kallaste månad är februari med $-1,2^{\circ}\text{C}$ i månadsmedeltemperatur. Varmaste månad är juli med $+17,5^{\circ}\text{C}$ i månadsmedeltemperatur. Observationsplats är Göteborg. Årlig regn- och snömängd i Göteborg under normalåret är 704 mm (1931-1960). Antal graddagar $24/9 - 7/5 = 3\ 120$ d/år. Antal gradtimmar $74\ 830$ h/år.

2.3 Värme kapacitet

Vid beräkningarna har en lätt variant, i princip motsvarande trästomme, med en värmekapacitet på $3\ \text{MWh}/^{\circ}\text{C}$ och en tung variant motsvarande i princip betongstomme, med en värmekapacitet på $15\ \text{MWh}/^{\circ}\text{C}$, studerats.

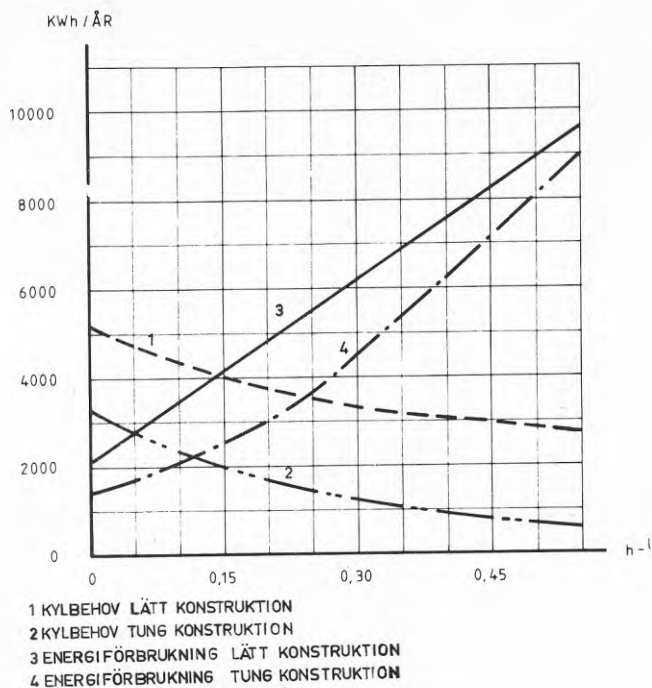
2.4 Transmissionsförluster

Transmissionsförlusterna (konvektion, strålning, ledning) kan i första hand påverkas och minskas genom ökad isolering. Ekonomisk isoleringstjocklek kommer att vara beroende av oljepriset och inflationen. Vidare av byggnadstekniska eller energibesparande åtgärder som kan vara mer lönsamma att genomföra än att isolera. Den ofrivilliga ventilationen som idag uppgår till ca $0,5 - 0,7$ luftomsättning/h (ett genomsnittsvärde för småhus) är det område där åtgärder snabbt blir räntabla. En förutsättning att långsiktigt lyckas med en låg ofrivillig ventilation är att tätskiktet byggs in i konstruktionen på ett sådant sätt att den ej kan skadas i framtiden.



Figur. Den ofrivilliga ventilationens betydelse för energiförbrukning i förhållande till luftomsättningen.

2.5 Transmissionsförluster - kylbehov



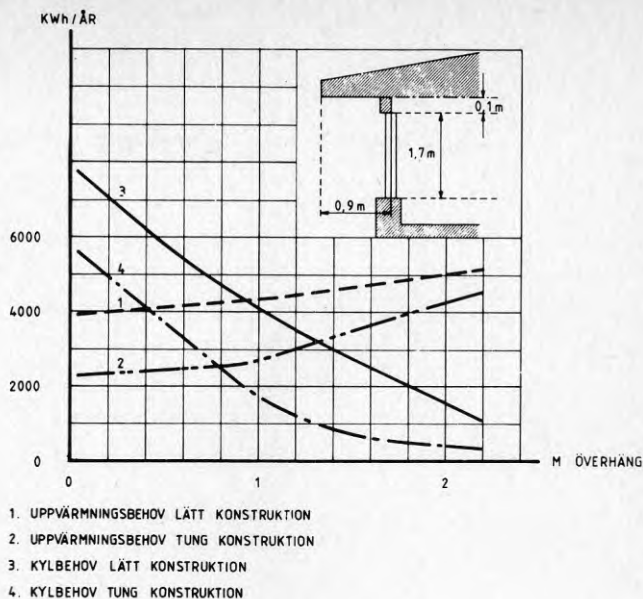
Figur. Ökad energiförbrukning resp kylbehov för en tung resp lätt huskonstruktion med avseende på den ofrivilliga ventilationen.

Energiförbrukningen för lätt respektive tung och lätt konstruktion skiljer sig ej särskilt mycket vid de normalt förekommande luftväxlingarna $< 0,45$ luftomsättning/h. Däremot har den tunga konstruktionen ett betydligt mindre kylbehov vilket beror på den tunga konstruktionens större värmekapacitet ($15 \text{ MWh}/^{\circ}\text{C}$ mot $3,0 \text{ MWh}/^{\circ}\text{C}$).

Med en antagen luftväxling på $0,15$ oms/h har den lätta konstruktionen dubbelt så stor energiförbrukning och kylbehov som motsvarande tunga konstruktion.

2.6 Överhäng

Stora södervända fönster medför speciella problem ur in- och utstrålningssynpunkt och ur byggnadsteknisk synpunkt. Solinfall av storleksordningen 200 W/m^2 , vilket lätt kan inträffa under våren, ger ett energitillskott av storleken 5 kW . Överhettning kan undvikas antingen genom överhäng eller kylning genom ökad ventilation.

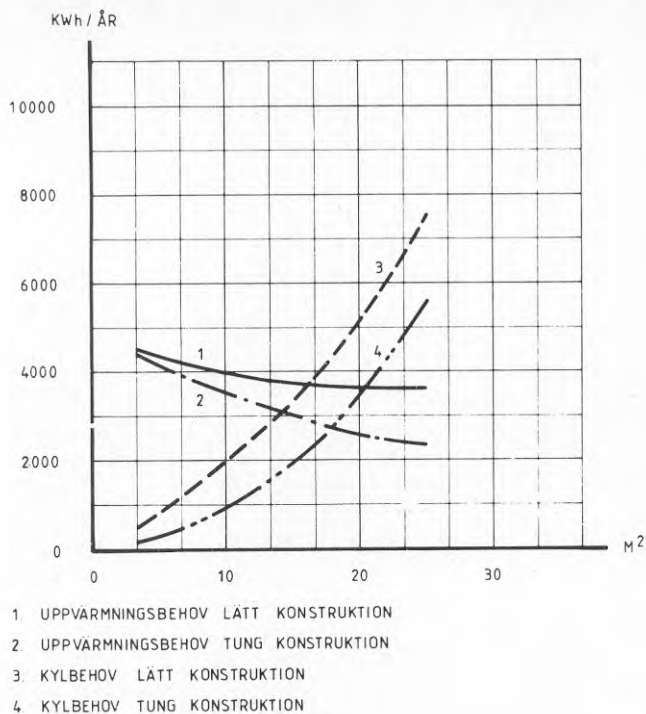


Figur. Överhängets betydelse för såväl kylnings- som uppvärmningsbehovet.

Det optimala överhängets längd för tung resp lätt konstruktion är i stort sett densamma. Där kurva 1 och 3 skär varandra (överhänget = 0,9 m) föreligger den optimala längden för den lätta varianten.

2.7 Söderorienterade fönster

Energibehovet kan både ökas och minskas genom felaktigt valda fönsterstorlekar åt söder. I SBN -75 anges 15% av golvarealen som en optimal storlek på hela fönstertytan. Vid de genomförda databeräkningarna har vi funnit att detta värde gäller för så väl lätta som tunga konstruktioner. Vid varierande fönsterstorlekar har värmekapaciteten en avgörande betydelse så väl för kylbehovet som för energiförbrukningen.

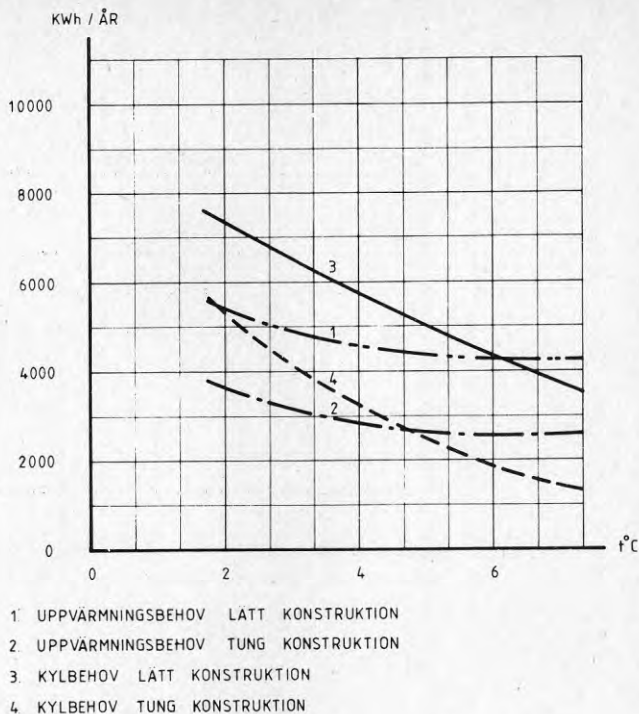


Figur. Söderorienterade fönsters betydelse för uppvärmnings- och kylbehovet (treglasfönster).

För den lätta konstruktionen medför exempelvis en fördubbling av fönsterarean från 10 m² till 20 m² en ytterst marginell sänkning av uppvärmningsbehovet, däremot ökar kylbehovet avsevärt från 2 000 kWh/år till 5 000 kWh/år. I detta fall har ej hänsyn tagits till överhäng eller andra avskärningsmöjligheter.

2.8 Övertemperaturer

Inomhustemperaturen har i samtliga beräkningar satts till minimum 21°C den kallaste dagen på året.

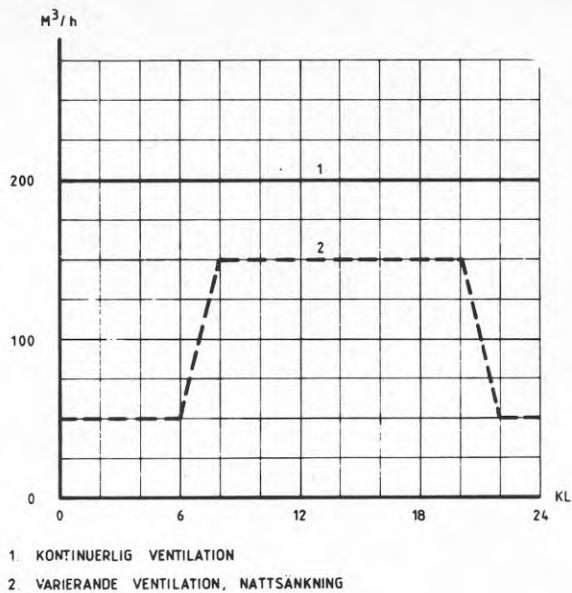


Figur. Kyl- och uppvärmningsbehovets variation med avseende på tillåten övertemperatur ($21^{\circ}\text{C} + \Delta t$).

I beräkningarna har en övertemperatur på $\Delta t = 6,0^{\circ}\text{C} - 27^{\circ}\text{C}$ tillåtits. Vid temperaturer över 27°C bortföres överskottsenergin antingen genom vädring (typ fönster öppnas) eller genom forcerad mekanisk ventilation.

2.9 Mekanisk ventilation

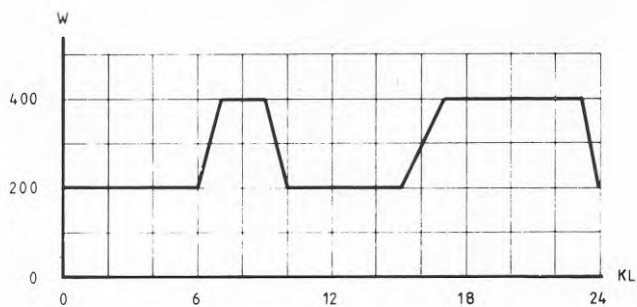
Den mekaniska ventilationen är anpassad till de krav som gäller för lägsta godtagbara inomhusmiljö nattetid med en minimiventilation på $50 \text{ m}^3/\text{h}$ mellan kl 22.00 och 06.00.



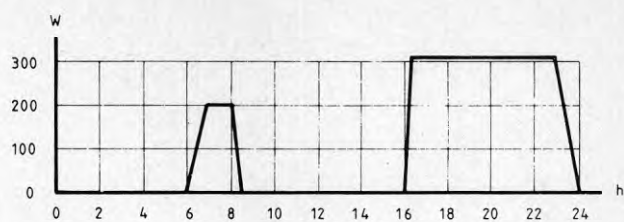
Figur. Reducering nattetid av den mekaniska ventilationen.

2.10 Energitillskott

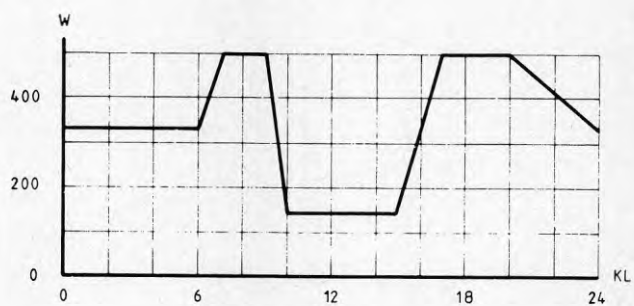
Energitillskott från elinstallationer, elektrisk belysning och personer.



Figur. Energitillskott från elinstallationer

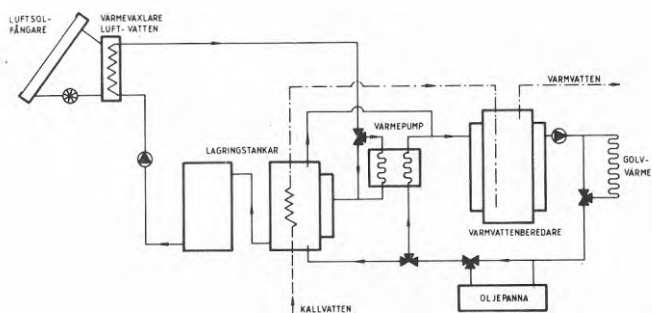


Figur. Energitillskott från elektrisk belysning



Figur. Energitillskott från personer

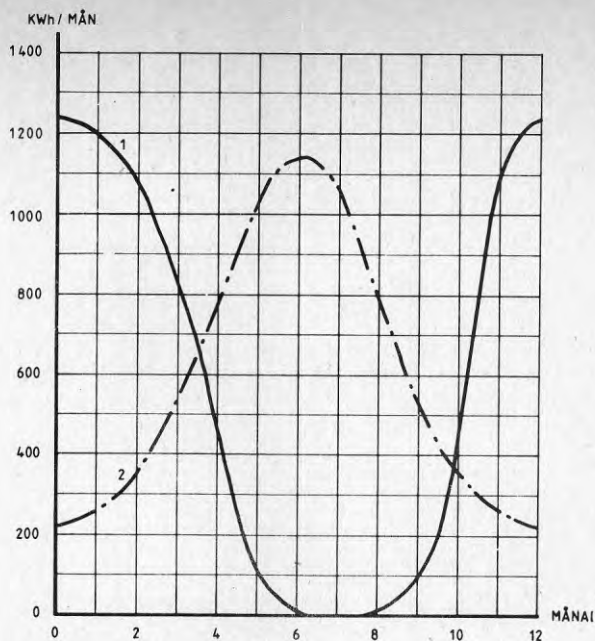
Utgående från de erfarenheter som institutionen för värmeisolering har fått genom experimentprojektet "0-energihuset vid DTH" skisserades ett lämpligt referenssystem. Detta system var avpassat för att täcka basvariantens uppvärmnings- och tappvarmvattensbehov. Systemet kännetecknas av relativt små solfångarytor, hanterlig storlek på lagringsvolymen(er) och golvvärmsystem. Den i systemet ingående värmepumpen förutsattes ha en liten effekt, ca 3,0 kW.



Figur. Preliminär systemskiss.

3.1 Solvärmesystem

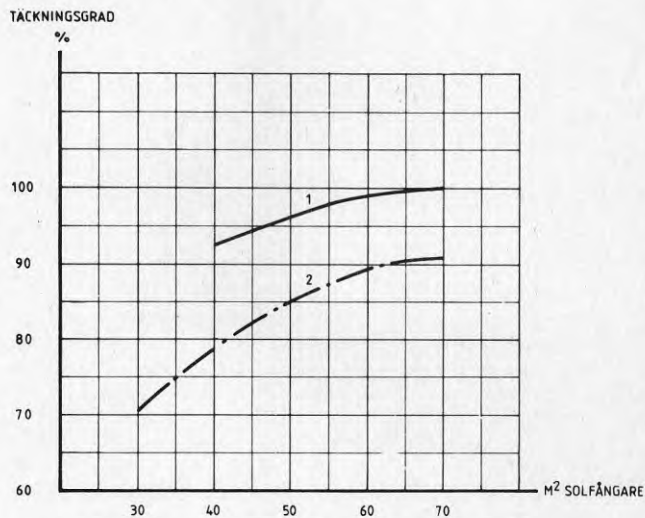
De utförda beräkningarna har främst syftat till att beskriva olika förhållanden inom ramarna för det skisserade systemet. Det totala energibehovet som systemet skall täcka är för basvarianten 8 200 kWh/år.



1. ENERGIFÖRBRUKNING FÖR UPPVÄRMNING
2. SOLENERGI FRÅN SOLFÅNGAREN, VATTENBUREN, 20 M²,
LUTNING 75° ETT TÄCKGLAS.

Figur. Insamlad energimängd i förhållande till uppvärmningsbehov (exkl tappvarmvatten).

Diagrammet beskriver systemet utan någon värmepump in-kopplad, som framgår kan detta system endast täcka 38% av uppvärmningsbehovet.



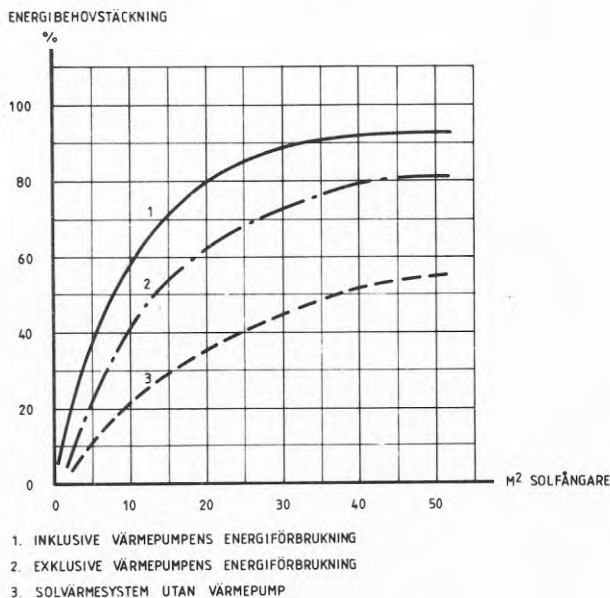
1. ACKUMULERINGSTANK 90 M³, VARMVATTENBEREDARE 10 M³
2. ACKUMULERINGSTANK 100 L/M² SOLFÅNGARE, VARMVATTENBEREDARE 1,0 M³

Figur. Täckningsgrad.

Om ett "rent" solvärmesystem skall kunna täcka större delen av ett välisolerat hus energibehov krävs antingen en mycket stor solfångaryta eller en mycket stor ackumuleringstank. Båda dessa krav medför speciella byggnadstekniska och arkitektoniska problem.

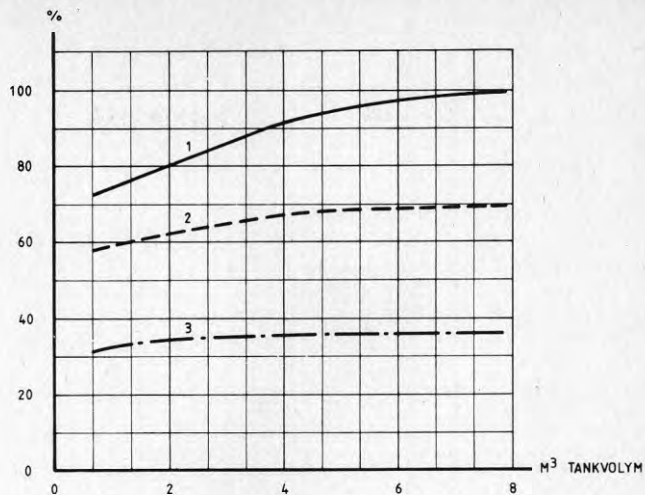
3.2 Solvärmesystem i kombination med värmepump

Beräkningarna har utförts med två värmepumpar med något varierande utförande. Systemets täckningsgrad ökar väsentligt när värmepumpen kopplas in även om man räknar bort värmepumpens drivenergi.



Figur. Täckningsgrad i förhållande till solfångarytan.

Skillnaden mellan kurva 2 och 3 är vid 20 m² solfångaryta synnerligen stor. Värmepumpen medför en avsevärd sänkning av lagringsvolymen och dessutom en nära nog fördubbling av täckningsgraden. Av kurva 1 framgår att den optimala storleken på solfångarytan ligger i storleksordningen 20 m² för ett solbaserat värmepumpsystem med en lagringsvolym på ca 3,0 m³. Det medför även att systemet skulle fungera mycket dåligt som rent solvärmesystem då tankvolymen är för liten. Ur arkitektonisk synpunkt innebär detta att solfångarytan kommer att bli ett nytt spännande element som säkert befrämjar arkitekturen.

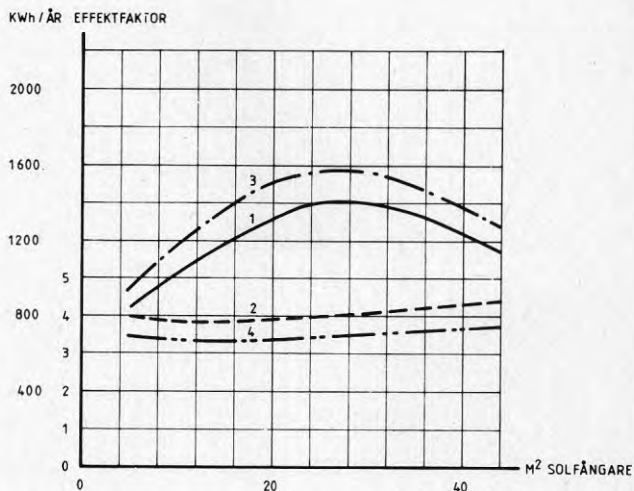


- 1 INKLUSIVE VÄRMEPUMPENS ENERGI FÖRBRUKNING
- 2 EXKLUSIVE VÄRMEPUMPENS ENERGI FÖRBRUKNING
- 3 SOLVÄRME SYSTEM UTAN VÄRMEPUMP

Figur. Täckningsgrad i förhållande till tankvolym.

Värmepumpens energiförbrukning och effektfaktor är vid en lagringsvolym större än 2,0 m³ tämligen okänslig för en variation av lagringstanken.

Värmepumpens energiförbrukning är dock känslig för variationer på solfångarsidan.



1. VÄRMEPUMPS 1. ENERGI FÖRBRUKNING
2. VÄRMEPUMPS 1. EFFEKTFAKTOR
3. VÄRMEPUMPS 2. ENERGI FÖRBRUKNING
4. VÄRMEPUMPS 2. EFFEKTFAKTOR

Figur. Värmepumpens energiförbrukning och effektfaktor i förhållande till solfångarytan.

De i föregående kapitel redovisade studierna har legat till grund för de modifieringar och förändringar som genomförts av husets byggnadstekniska och arkitektoniska utformning.

För att anpassa byggnaden till de krav som en serietillverkning ställer har byggnaden i princip utformats som en rektangulär låda med fönster mot söder. Ovanpå denna låda har lagts ett vattentak med plats för och lutning anpassad till solfångare. Vid sidan av huvudkroppen har sedan lagts carport och förråd.

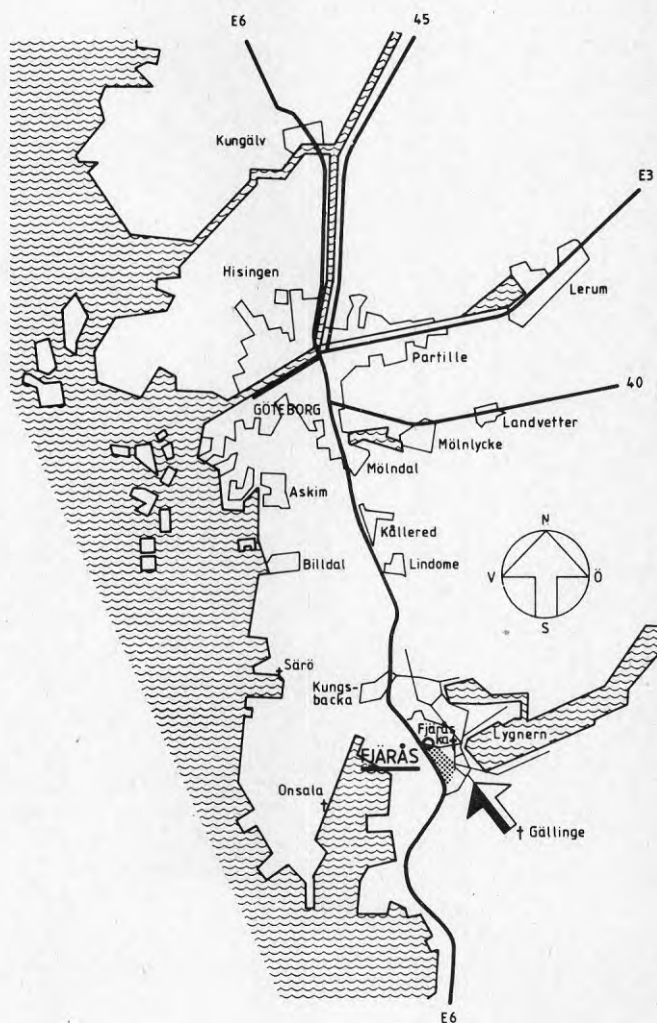


Figur. Fasader SUN-SEC-huset

4.1 Lokalisering

4.1.1 Experimenthusets läge

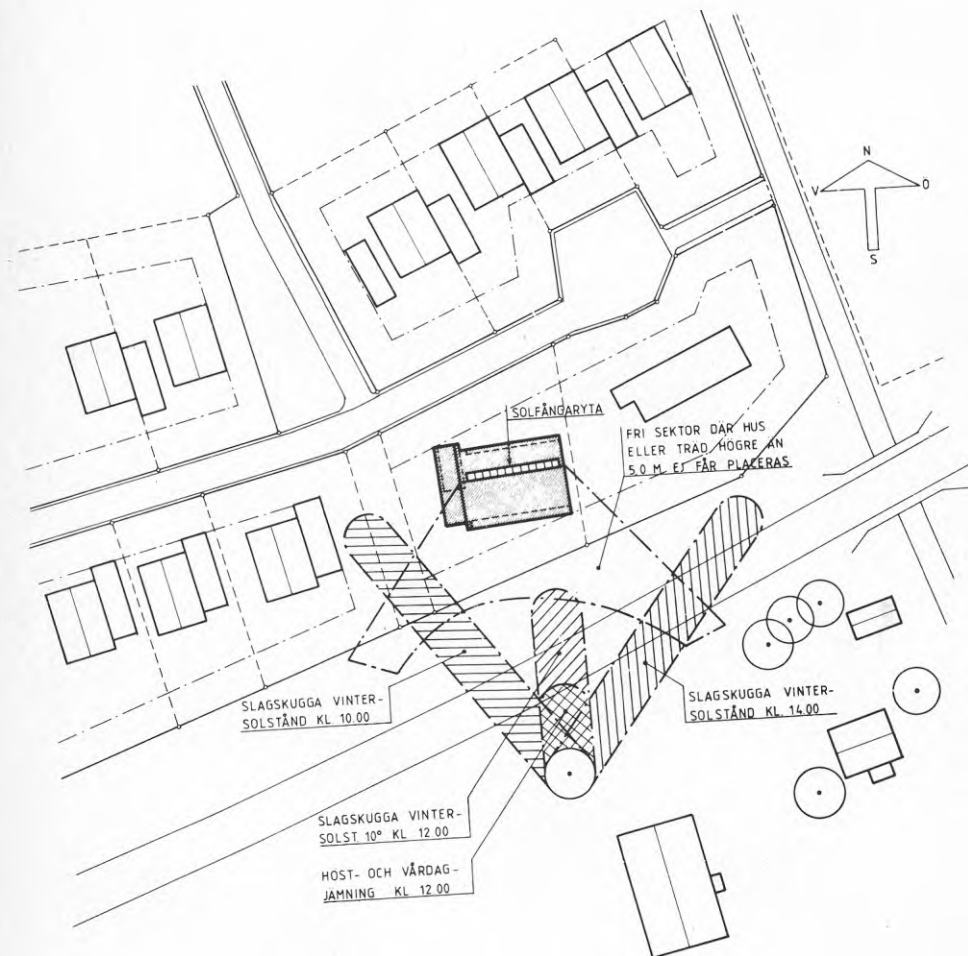
Föreslaget läge för experimenthuset är Fjärås, adress Rågvägen 10, Kungsbacka kommun, 36 km söder om Göteborg. Avstånd till havet ca 3,0 km i väster. Geografisk belägenhet: Latitud $57^{\circ} 24'$, Longitud $12^{\circ} 10'$.



Figur. SUN-SEC-husets läge.

Byggnaden föreslås bli placerad med den långa söderfasaden något vriden åt sydost (3°). Den omgivande

terrängen, som består av jordbrukslandskap, är plan och öppen. Huset ligger helt fritt mot söder intill ett avstånd av ca 40 m, där ett ca 6 m högt lövträd står. Ytterligare ca 20 m längre bort finns ekonomibyggnader belägna, höjd 8 m vid taknock. Som framgår av skuggstudien kommer lövträdet ej att skapa någon besvärande skugga, ej heller ekonomibyggnaderna. Lövträdet, som ännu ej nått sin fulla höjd, kommer med största sannolikhet inte heller i framtiden att utgöra något hinder, då ett avlövat träd reducerar solstrålningen minimalt.

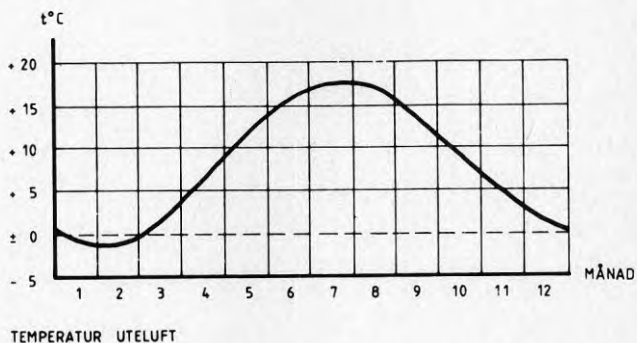


Figur. Skuggstudier.

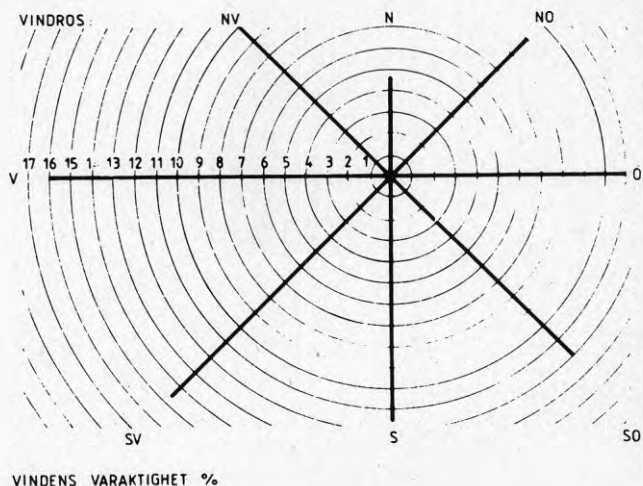
4.1.2 Klimatförutsättningar

Kallaste månad är februari med $-1,2^{\circ}\text{C}$ i månadsmedeltemperatur. Varmaste månad är juli med $+17,5^{\circ}\text{C}$ i månadsmedeltemperatur. Observationsplats är Göteborg. Årlig regn- och snömängd i Göteborg i mm är normalt 704 mm (1931-1960). Antal gradtimmar är 74 880 h/år.

Den förhärskande vindriktningen under sommar och vinter är olika. Under sommarhalvåret är vindar från väst och sydväst förhärskande samtidigt också de kraftigaste. Vintertid sker en vindkantring åt nordväst till nord, samtidigt som vinden blir något svagare.



Figur. Medeltemperaturens variation under året.

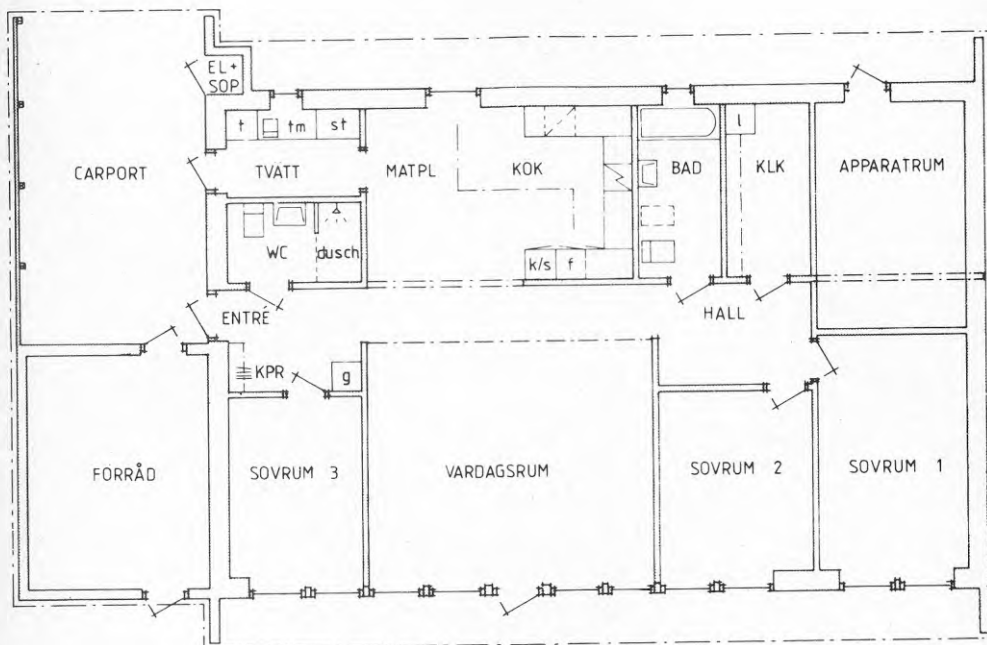


Figur. Vindens procentuella fördelning för respektive väderstreck.

4.2 Planutformning

Planutformningen kännetecknas av att samtliga sovrum och umgäengesrum är placerade i husets ljusa och södra del. Den norra delen av huset innehåller framförallt våtenheter såsom tvätt, bad, WC och apparatrum, vidare klädkammare och kök. Dessa rum utom köket har mycket små eller inga krav på dagsljus, vilket medför att den norra fasaden kan göras relativt sluten. Denna grundidé med en sluten norrfasad och en öppen söderfasad leder till ett långsträckt hus.

Söderfasadens fönster har placerats så att mellanväggarnas läge kan väljas fritt mellan fönstren. Hela södra delen av husets planyta kan genom detta och den bärande stommens utformning disponeras enligt de boendes önskemål, både vid byggande och vid eventuella framtida ändringar av rumsindelningen.



Figur. SUN-SEC-husets planlösning.

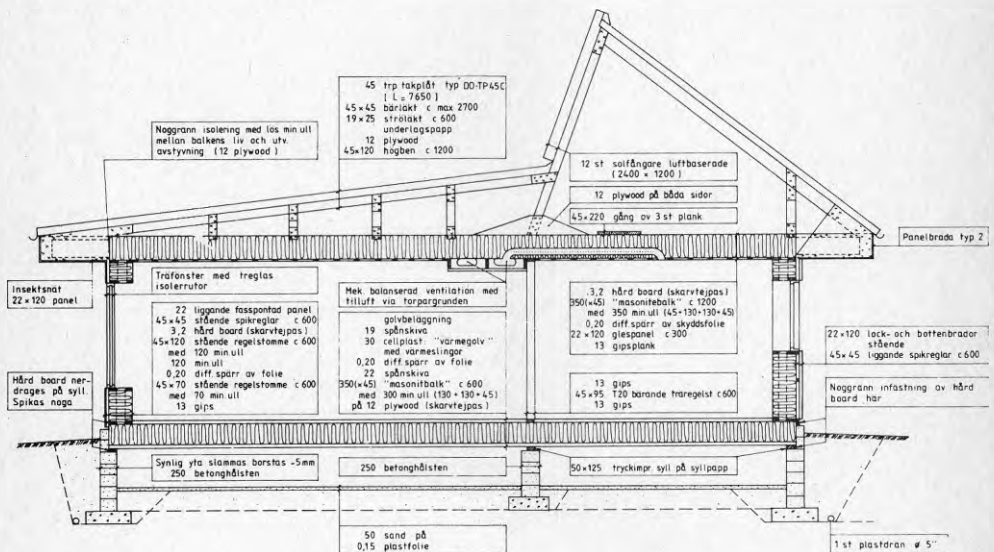
4.3 Torpargrund

I välisolerade hus föreligger alltid speciella problem med konventionell grundläggning med platta på mark. Torpargrunden har i huvudsak valts av tre skäl:

- Genom den kraftiga bjälklagsisoleringen reduceras värmeläckaget neråt, vilket skulle kunna leda till uppfrysning och sprickbildning i en konstruktion med platta på mark.
- I det uppvärmda kryputrymmet kommer avloppsvattnet att uppdelas i två separata ledningar. Det varma "gråvattnet" leds i järnrör med svag lutning, vilket ger en lång uppehållstid i kryputrymmet. Vattnet avger därvid värme som höjer temperaturen under huset. Denna värme återföres till huset via ventilationssystemet.
- Torpargrunden medför att hustypen går att placera på tomter med varierande terrängförhållanden.

4.4 Byggnadsstomme och isolering

Husets uppbyggnad med en byggnadstekniskt enkel utformning med hela och släta omgivningsytor utan veck ger goda förutsättningar för att erhålla en tät och välisolerad byggnad.



Figur. Sektion genom SUN-SEC-huset

Byggnadens knutpunkter blir enkla att utföra och vindtätheten blir därför god. Montering av diffusionsspärren underlättas genom att golv och tak är parallella och att mellanväggar saknas när detta arbete utförs. Den rektangulära byggnadskroppen har relativt liten omslutningsyta i förhållande till byggnadsvolymen och en ur passiv solenergisynpunkt gynnsam fördelning av södervänd glasyta i förhållande till omslut-

ningsytan.

Att vattentaket avdelats från den isolerade lådformade byggnadsdelen gör att isolerings- och täthetskraven enklare kan tillgodoses både konstruktivt och arbetsmässigt. Samtidigt kan vattentaket enkelt utformas så att solfångarnas krav på underlag och lutning tillfredsställs.

För ytterväggarna har en utformning, med en yttre och en inre, isolerad regelkonstruktion med mellanliggande obruten isolering valts. Utformningen medför att diffusionsspärren kan monteras utan punkteringar innanför det obrutna isoleringsskiktet. Den del av väggen som ligger innanför diffusionsspärren ger plats för inbyggnad av nödvändiga installationer utan att diffusionsspärren skadas. Samma sak gäller vid de boendes monteringen av vägghängda inredningsföremål efter inflyttningen. Den yttre regelkonstruktionen svarar för bäring och stabilitet hos byggnaden.

Bjälklagen har utförts med boardbalkar, vilket ger små köldbryggor och bra utrymme för stora isolertjocklekar.

Diffusionsspärren har här placerats på undergolvet under golvvärmesystemet. Som vindskydd fungerar en på boardbalkens underflänsar upplagd noggrant tillpassad plywoodskiva med tätade skarvar. Anslutningen av vindskyddet mellan vägg och bjälklag är en detalj som är känslig för läckage. Vid utformning av denna detalj har därför ytterväggens vindskyddande board dragits ned och fästs mot syllen samtidigt som grundmuren dragits upp ovanför anslutningspunkten. Den plåtkappa som täcker den uppdragna grundmuren bidrar ytterligare till att öka vindtätheten.

För att föra ned lasterna från tak och väggar till grunden har förstärkningar placerats på bägge sidor om boardbalkens liv vid fasaderna. Förstärkningen utgör samtidigt fäste för fasadens vindskyddsskiva. För att för framtiden bevara tätheten i bjälklagskonstruktionen har nedböjningarna begränsats till värden som ej är större än för normala fukt- och temperaturrörelser.

Bjälklaget över bostadsutrymmet vilar förutom på ytterväggarna även på en bärande innervägg belägen ungefär mitt i huset med sträckning i husets längdriktning.

4.5 Täthet

Byggnadens vindskydd utgörs av hård board, spikad på väggreglarna och boardbalkarna på utsidan av isoleringen, med skarvarna tejpade. Diffusionsspärren är monterad i underkant av takbalkarna. För att skydda folien från perforering och ge plats för elinstallationer finns mellan innertak och diffusionsspärr en glespanel med sådan tjocklek att installationen får plats.

Vindskyddets anslutning vid mötet mellan tak-vägg sker genom spikning i en träregel och tejpnings.

Genom att huvuddelen av fönsterytan är orienterad mot söder och huset har mycket små värmeförluster, kan övertemperaturer uppstå under en stor del av dagen vissa tider på året. Detta trots de kraftiga taköverhängen. För att kunna sänka rumstemperaturen genom vädring, har ett fönster i varje rum gjorts öppningsbart trots de nackdelar detta innebär ur täthetssynpunkt under övriga delar av året och dygnet. Samtliga fönster i huset är utförda som 3-glas hermetiska isolerrutor.

Konstruktionen och detaljutformningen har inriktats på att nå en praktisk infiltration under eldningssäsongen på mindre än 0,2 luftomsättningar i genomsnitt per timma vid under för årstiden normala vindförhållanden. Några klara och entydiga samband mellan praktisk infiltration, vindtryck och vindriktning i förhållande till olika byggnadshöjder, byggnadsutformning, byggnadens orientering och byggdetaljer finns inte tillgängliga. Enkla samband saknas också mellan de i SBN föreskrivna täthetskraven vid 50 Pa tryckskillnad ute-inne och praktisk infiltration.

En bedömning har dock gjorts med utgångspunkt från uppgifter ur rapporter och artiklar i ämnet samt erfarenheter från DTH. Bedömningen har lett till att en tryckprovad täthet på mindre än en luftomsättning per timma vid 50 Pa tryckskillnad ute-inne ungefär motsvarar en praktisk infiltration av storleksordningen 0,1-0,2 luftomsättningar per timma.

Som ett konstruktions- och byggnadstekniskt krav har därför ställts att den färdiga byggnaden skall ha ett läckage mindre än en luftomsättning per timma vid provning enligt den i SBN beskrivna tryckmetoden.

4.6 Serieanpassning

Byggnaden har utformats på ett sådant sätt att en uppdelning i stora planelement är enkel att utföra vid en kommande serieproduktion. Vatten- och avloppsinstallationen ligger väl samlad i två enheter, en vid entré - tvätt och en vid kök - bad. Denna placering av våtenheterna ger möjligheter att utföra dessa delar som prefabricerade volymer.

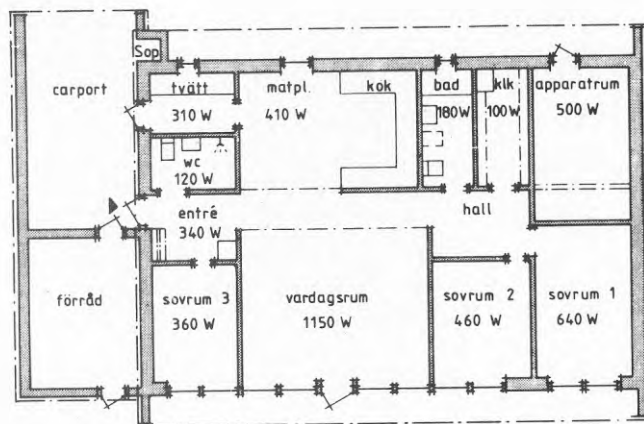
4.7 Tekniska installationer

Apparatrummet har placerats innanför husets isolering för att energiförluster från de olika apparaterna och tankarna som finns i rummet skall komma byggnaderna tillgodo. Då ljudproblem härvid kan uppstå har väggar-na mot den övriga delen av byggnaden utformats speciellt med hänsyn till detta.

Den apparat som främst bedöms ge störande ljud är kompressorn i värmepumpen. Värmepumpen kommer därför att ges en extra ljudisolering. Dessutom har lagringstankarna med sin kraftiga isolering och stora massa placerats som ljudbarriär mot föräldrasovrum och hall. I övrigt har planlösningen utformats så att ev problem i form av störande ljud skall minimeras i största möjliga utsträckning. Därför har klädkammaren som normalt innehåller kläder o d, vilket gör rummet till en utmärkt ljudabsorbator, placerats mot den återstående apparatrumsväggen. Intill klädkammaren har det mindre ljudkänsliga badrummet placerats. Anledningen till att så stora ansträngningar läggs ned på att begränsa de tämligen moderata ljudproblemen är att vid byggnader av denna typ med kraftig isolering, god täthet och 3-glas isolerrutor blir den invändiga ljudnivån, orsakad av utomhusbullret, mycket låg och även svaga ljud kan bli mycket störande.

Vid planering av en byggnad med mål att reducera uppvärmningsbehovet så långt som möjligt kan det verka tilltalande att utforma tvätt- och badrum helt utan fönster. Härigenom skulle man minska transmissionsförlusterna och minska infiltrationen, samtidigt som energin som åtgår till belysning under uppvärmnings-säsongen kommer huset tillgodo i form av tillsatsvärme.

Risken för kondensvattenutfällning på de kalla glasytorna i dessa tidvis mycket fuktiga utrymmen skulle härigenom försvinna. Här måste en avvägning ske mellan komfort och energibesparing. Tvätt och bad har därför utformats med relativt små fönster för att tillfredsställa bägge önskemålen.



Figur. SUN-SEC-husets planlösning och varje rums dimensionerande effektbehov.

Genom de genomförda systemstudierna och genom bildandet av projektgruppen SUN-SEC där komponenttillverkare och systemtekniker representerade olika specialiteter ingick, kunde nu ett nytt solsystem skisseras.

5.1 Solvärmesystemet

Solfångare, med liten värmetröghet och hög verkningsgrad, yta $32,4 \text{ m}^2$.

Värmepump, med en tillförd effekt av ca 2 kW och en värmefaktor över året på 3 i det aktuella systemet.

Lagringstankar, med en sammanlagd volym på 3 m^3 .

Värmeavgivande golv, med stor reglersnabbhet och låg framledningstemperatur, max 40°C .

Reserv och tillsatsvärme, var i ett tidigt skede planerat i form av en liten oljepanna, mindre än 10 kW, men har i det slutliga systemet ersatts med elektriska värmesköldar på varmvattenberedaren om 6 kW (3+3). Anledningen till detta är dels att pannor med denna effekt (10 kW eller mindre) ej serietillverkas och dels att pannans gångtid blir liten och därmed får en mycket dålig verkningsgrad. Dessutom kan startsvårigheter uppstå efter sommarens stilleståndsperiod.

Avlopps- och luftvärmväxlare, ingår inte direkt i uppvärmningssystemet men är apparater som bidrar till minskat energibehov.

Separering av tappvarmvattnet från värmvattnet har framstått som ett viktigt krav då detta medför att utbytet från systemet totalt sett kan ökas relativt ett oseparatorat system. De skilda temperaturkraven har tillgodosetts genom den föreslagna systemutformningen.

5.2 Temperaturkrav

Metoderna att tillfredsställa separationsbehovet kan variera och olika metoder har diskuterats från separat eftervärme till temperaturskiktning i varmvattentanken. Man bör vid utformning av denna detalj lägga märke till att sett över året utgör varmvattenförbrukningen i denna typ av byggnader den dominerande energiförbrukaren, större än värmebehovet under 7 av årets månader. Varmvattenuttaget är ojämnt fördelat över dygnet, men är sett dygn för dygn i princip ett konstant belopp året runt. Värmvattnets energiförbrukning varierar tidsmässigt jämnare över dygnet och har en mindre varia-

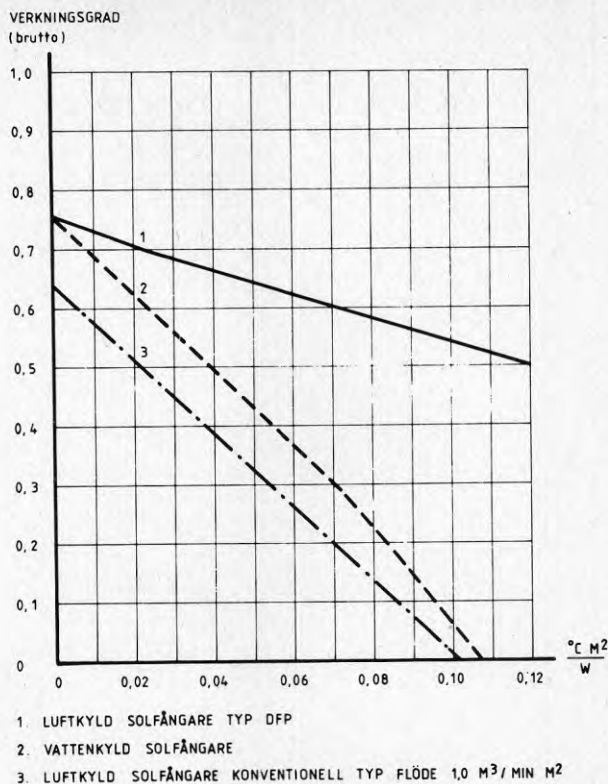
tionsamplitud, men här tillkommer den överlagrade årsvariationen. Varmvattnets temperaturkrav är konstant över dygnet och året. Uppvärmningsvattnets temperaturkrav varierar över året från maximum under vinterns uppvärmningssäsong till noll under sommarperioden.

Man kan inte tillåta tappvarmvattnets temperaturkrav på 55°C att styra uppvärmningsvattnets temperatur, då i så fall uppvärmningsvattnet måste shuntas ned till lämplig framledningstemperatur för golvvärmesystemet. Solfångarens vatten, som har tillräcklig temperatur för uppvärmning men inte för varmvatten, kan i detta läge inte utnyttjas. För att få största möjliga utbyte av solvärmesystemet har detta förhållande beaktats vid utformning av systemet.

5.3 Solfångare

Genom användning av solfångare med liten värmetröghet och därigenom snabb reaktion på kortvariga solinfall förväntas utbytet från solfångarna öka relativt tidigare konstruktioner. Härigenom kan en ökning av den tillvaratagna energin erhållas dels genom att tillräcklig hög temperatur för direktanvändning är tillgänglig under en större del av året och dels genom att den snabba reaktionen ger värmepumpen en lämplig arbetstemperatur på förångarsidan under större delen av dess drifttid.

Solfångarnas förmåga att leverera varmvatten med användbar temperatur beror dels av solfångarens verkningsgrad och reaktionstid dels av "användbar temperatur" absoluta nivå. Värmesystemet utformas därför på ett sådant sätt, genom separering av uppvärmnings- och varmvatten samt med golvvärme, att temperaturkraven minimeras och därmed energiutbytet från solfångarna maximeras.



Figur. Diagrammet redovisar verkningsgraden som funktion av $(T_{vt} - T_a) / I$ skillnaden mellan utgående och ingående luft $^{\circ}\text{C}$ dividerat med instrålningen W/m^2 .

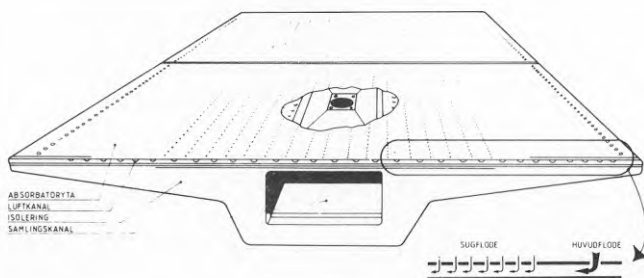
Solfångarens verkningsgrad och förmåga att reagera för korta solinfall och att därigenom avge energi vid användbar temperatur har betydelse för systemets funktion.

För att erhålla en solfångare som uppfyller dessa krav måste förlusterna i solfångare genom ledning, strålning och konvektion begränsas.

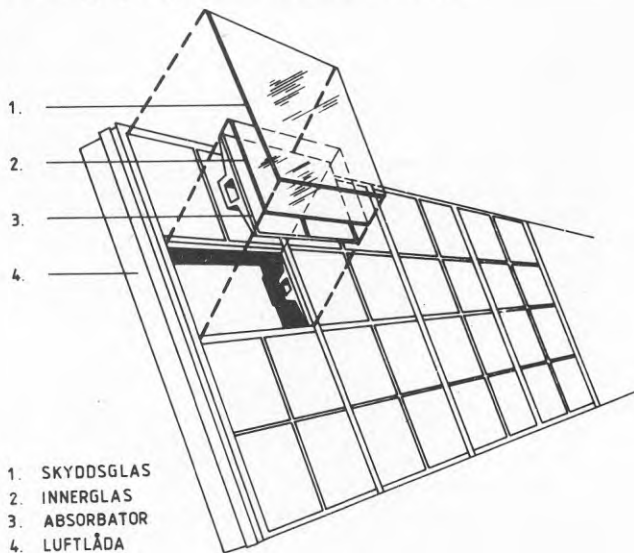
Ledningsförlusterna reduceras genom isolering och är normalt av marginell betydelse. Strålningsförlusterna är beroende av solfångarens ytemperatur och emissionskoefficient vid aktuell temperatur. Även skyddsglasets transmission och absorption inom aktuella strålningsband påverkar förlusterna. Konvektionsförlusterna är svåra att angripa och påverkas av vindhastigheten på utsidan solfångaren, glasets strålningsabsorption och solfångarens inre utformning, solfångarens lutning och avståndet i kanalen mellan glas och absorberyta samt kanalens råhet och sammanlagda höjd påverkar också denna typ av förluster. Absorbatorytans termiska massa har

betydelse för energiutbytet under perioder med kortvarigt solinfall. Molnigheten en "halvmulen" dag enligt Klimatdataboken är ofta uppbruten i kortare perioder med klar sol omväxlande med perioder av soltäckande moln.

Den för detta projekt valda solfångaren har genom sin konstruktion angripit och i viss mån reducerat ovan nämnda förlustkällor. Utformningen med luft som värmebärare medför att värmetrögheten blir relativt liten, se figur.



Figur. Principfigur för ett enskilt element.



Figur. Principfigur av AGA:s luftsolfångare.

5.4 Frysning, kokning

Vid konstruktion av solvärmesystem med vattensolfångare utgör i vårt klimat risken för kokning och frysning två faktorer som ställer krav på systemet. Kokning kan undvikas antingen genom tömning av systemet eller genom att problemet konstrueras att klara aktuellt övertryck. Frysproblemet kan lösas genom tömning av systemet eller användning av frostskyddsmedel. Metoden att tömma systemet vid kok- eller frysrisk medför problem ur korrosionssynpunkt. Metoden att konstruera systemet för övertryck för att undvika kokning ställer krav på att samtliga komponenter i solvärmekretsen tryckprovas samt att anläggningen förses med säkerhetsventiler och övriga säkerhetsdetaljer. Användning av luft som värmebärare i solfångaren gör att dessa problem minskar.

Även risken för fuktskador på underliggande byggnadsdelar vid läckage i systemet reduceras vid användning av luftbaserade solfångare.

5.5 Fläktar, pumpar

En begränsning i ett luftburet system är den förbrukade fläktenergin. Utformning av kanalsystem, värmeväxlare och absorbatör i den valda luftsolfångaren medför små tryckfall och fläkteffekten är därför mindre än 10 V per kvadratmeter solfångaryta.

Avsikten är att fläkten skall kapacitetregleras efter tillvaratagen energimängd. Härigenom erhålls tillräckligt hög temperatur och minskas fläktdriftens energibehov.

I ett värmesystem för en byggnad med mycket små energibehov kommer energi för drift av fläktar och pumpar att utgöra en relativt stor andel av tillskottsenergin. Cirkulationspumpar i ett vanligt hus med konventionella installationer förbrukar däremot en relativt liten del av den totala förbrukade energimängden.

Av denna anledning har på marknaden tillgängliga cirkulationspumpar låg verkningsgrad och dålig reglerbarhet. I normala installationer regleras därför ofta mängden per tidsenhet genom strypning av flödet i stället för nedreglering av pumpeffekten. Verkningsgraden hos en ordinär cirkulationspump minskar normalt med minskat motorvarv. Om varvtalsreglering görs på en sådan pump står inte energivinsterna i proportion till effektminskningen. Pumparna i ett värmesystem har långa gångtider över året och även relativt små effektivitetsvinster påverkar därför det totala energibehovet märkbart. Här saknas alltså på marknaden idag en viktig komponent i ett lågenergisystem, en pump med hög verkningsgrad vid både låg och hög kapacitet vilken är möjlig att kapacitetsreglera direkt på motorn, för att undvika energislösande strypreglering.

5.6 Golvvärme

Uppvärmningen av huset är planerad att ske genom lågtemperaturvärmare. Olika typer av värmare har studerats. Normala radiatorer ger mycket stora ytor som är svårplacerade i rummen och kan därför inte accepteras. Konvektorer av den typ som utformats som en längs rummens hela vägglängd monterad golvsoclel har ej heller de tillräckliga kapacitet för vissa rum.

Som ett resultat av denna inventering av mer konventionella värmeavgivare gjordes försök och mätningar på golvvärmesystem av olika utformning hos Statens Provningsanstalt i Borås under våren 1978. Erfarenheterna från dessa mätningar har medfört att golvvärme valts för värmeförseln i huset.

I lågtemperatursystem är det nödvändigt att den värmeavgivande ytan, oavsett om det är en radiator, flänsbatterier eller ett golvvärmesystem, skall arbeta med låga framledningstemperaturer, $+40^{\circ}\text{C}$. Den vanligaste lösningen på detta problem är att välja ett luftburet värmesystem. Sett ur planlösning-, underhålls- och miljömässiga synpunkter framstår dock ett golvvärmesystem som det mest fördelaktiga. Den värmeavgivande ytan blir tillräckligt stor utan att ställa krav på planlösningen eller själva huskonstruktionen, vilket ett radiator- eller luftburet system gör.

Huvudmålsättningen med golvvärmesystemet är:

- att skapa gynnsamma arbetstemperaturer för värmepumpen,
- att möjliggöra en uppvärmning med vatten direkt från solfångarsystemet.

Vid mätningar på en med vårt golvvärmesystem nära nog identisk golvvärme konstruktion har följande värmeavgivande värden uppmätts:

Ingångsdata

Framloppstemperatur	ca 40°C
Avkylning över golvet	2°C vid rumstemp 20°C
Ytskiktstemperaturen	27°C

Avgiven effekt vid

Heltäckningsmatta	43 W/m^2
Nålfiltmatta	57 W/m^2
Linoleum (3,2 mm)	75 W/m^2

Det skisserade systemets värmetröghet utgör endast ca 2% av värmetrögheten i ett motsvarande betonggolvsystem, vilket medför att reaktionstiden för golvet reduceras väsentligt.

Det värmeavgivande golvet kan genom sin stora värmeavgivande yta ges en låg yttemperatur. Låg temperatur på framledningstvattnet (här max 40°C) gör att värmepumpen får bättre arbetsförhållanden på kondensorsidan, vilket ökar värmefaktorn och därmed verkningsgraden. Solvärmesystemet kan också härigenom under en längre del av året värma byggnaden direkt utan tillsatsenergi. Under nästan hela året och under vissa hela år kommer temperaturen i golvsystemet att vara lägre än maximala 40°C . De låga framledningstemperaturerna gör att vikten av separation av tappvarmvattnet från uppvärmningstvattnet blir av stor betydelse.

Snabba men kanske kortvariga energitillskott från hushållsapparater och solinfall genom fönster skall inte leda till övertemperaturer och därmed ökade energiförluster genom att värmesystemet fortsätter att mata ut energi till rummen trots det minskade energibehovet. Ett snabbt golvvärmesystem med liten termisk massa bidrar till att minska byggnadens energibehov och öka komforten samtidigt som solenergin kan utnyttjas bättre och härigenom öka sin täckningsdel av byggnadens energibehov.

5.7 Värmepump

Värmepumpens gångtid begränsas av direkt tillgänglig solenergi och av användbar temperatur utan värmepumpning. Under den tid när det i solvärmesystemet finns vatten av tillräcklig hög temperatur utnyttjas inte värmepumpen utan energi tas direkt till varmvattenberedning eller uppvärmning.

När temperaturen i lagringstankarna sjunker under användbar temperatur för direktanvändning, arbetar värmepumpen och höjer temperaturen till rätt nivå. Värmepumpen kommer härigenom att arbeta mer och mer ju mindre och kortvarigare solinfallet på solfångarna blir. När värmepumpen arbetar höjs temperaturen på uppvärmnings- och tappvarmvatten, samtidigt som temperaturen på solfångarsidan sänks. Denna sänkning av temperaturen i solfångarna medför minskade strålnings- och ledningsförluster och ökad verkningsgrad och därmed ökas möjligheterna att utnyttja både diffus och direkt strålningsenergi. Detta gäller under den period på året då den tillgängliga energin är minst och behovet av energi är som störst.

När temperaturen i lagringstankar och solfångare närmar sig 0°C kan tillfälligt inte mer energi tas ur solvärmesystemet via värmepumpen utan risk för sönderfrysning. Vid dessa tillfällen startas tillsatsvärme och ger den kompletterande energimängd som behövs vid det aktuella tillfället.

5.8 Reserv och tillsatsvärme

I relativt oprövade värmesystem av denna typ måste finnas någon typ av reserv för att klara byggnadens värmebehov om någon del i solvärmesystemet skulle upphöra att fungera. Även för att täcka den del av byggnadens energibehov som ej täcks av solvärmesystemet behövs en energikälla av mer konventionell typ. Här har valts elektriska värmesköldar på totalt 6 kW (3+3).

5.9 Avlopps- och luftvärmeväxlare

Utöver själva värmesystemet och dess komponenter ingår i byggnaden ytterligare två delar som har betydelse ur energisynpunkt. I avloppssystemet sker en uppdelning av vattnet i grå- och svartvatten. Svartvattnet leds direkt ut till gatan via konventionellt avlopp. Gråvattnet avleds långsamt i en lång slinga med mycket svagt fall. Avsikten är att en del av värmen från avloppsvattnet skall tillföras utrymmet under byggnaden.

Detta utrymme ventileras genom att tilluften till byggnaden via det mekaniska ventilationssystemet tas härifrån. Energivinsterna av dessa åtgärder är svåra att beräkningsmässigt förutsäga, men vid normal ventilation bör dessa enkla installationer ge en viss energivinst.

5.10 Funktionsbeskrivning

5.10.1 Funktionsbeskrivning allmänt

Det föreslagna systemet skall täcka byggnadens energibehov för uppvärmning och varmvatten under hela året. Avsikten är att solen skall svara för huvuddelen av energibehovet jämfört med ett normalt hus.

Solenergin tas under sommar, höst och vår, när tillräcklig energi finns tillgänglig direkt in i uppvärmningssystemet i form av varmt vatten från luft-vattenvärmeväxlaren bakom solfångarna. När det finns mer solenergi tillgänglig än byggnaden förbrukar, lagras överskottet i lagringstankar. När dessa är fulladdade stoppas energitillförseln från solfångarna för att inte kokning och därmed övertryck skall uppstå i systemet.

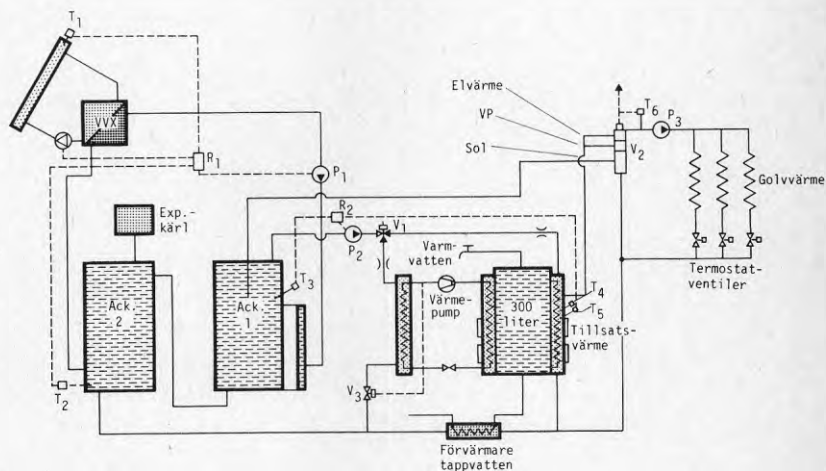
Under mörka, mulna dagar under höst och vår uttages värme från lagringstankarna. När lagringstankarnas vattentemperatur genom uttag av energi för tappvarmvatten och uppvärmningsvatten sjunker under den direkt användbara startar värmepumpen och håller genom sitt arbete vattentemperaturen på förbrukningssidan tillräckligt hög. Samtidigt frånges förbrukningssidans direktkoppling till lagringstankar och solfångare ge-

nom automatiska ventiler.

Värmepumpen kommer om energiuttaget fortsätter utan motsvarande energitillskott från solfångarna att successivt kyla ned lagringstankarna. Nedkylningen av tankarna gör att vatten med allt lägre temperatur från solfångarna kommer att vara varmare än vattnet i tankarna och därför kan fortsätta att tillföra energi till dessa.

5.10.2 Funktionsbeskrivning systemet

Systemet består i huvudsak av solkollektorer, ackumuleringsstankar för värmelagring, värmepump, elektrisk tillsatsvärme samt reglerutrustning.



Figur. Systemskiss

Data

Kollektorer AGA DFP 32,4 m².

Värmeväxlare luft/vatten, lufttemperaturer 80 - 40°C, vattentemperaturer 30 - 70°C vid max solinstrålning.

Fläkt typ EKE 225-4 med luftflöde max 1 150 m³/h och min 384 m³/h.

Akkumulator av stål för vatten, 2 x 1,5 m³ isolerade med 200 mm mineralull.

Värmepump Thermia JBC 400 med uteeffekt ca 5 kW, köldmedel R 12.

Vattenvärmare 300 liter dubbelmantlad monterad tillsammans med värmepumpen.

Värmesköldar 6 kW (3+3) för montering på värmepump avsett som tillsatsvärme.

Kollektorerna arbetar med luft som värmebärare. En fläkt transporterar luften till en värmeväxlare placerad under kollektorerna, där växling av värmen från luft till vatten sker.

Värmen magasineras i två ackumulatortankar fyllda med vatten. Dessa tankar kopplas till golvvärmesystemet, vattenvärmaren och värmepumpens förångarsida. Golvvärmesystemet matas med antingen direkt solvärme, värme från värmepump eller direkt elvärme beroende på tillgänglig energi och temperaturbehov.

I systemet ingår en värmeväxlare i returledningen från golvvärmesystemet som förvärmer det inkommande kallvattnet.

Fläkt och pump P1 startar då temperaturen T1 i kollektorn är ca 10°C högre än T2 i ackumulatortank 2. Vattnet från värmeväxlaren tillföres ackumulator 1 genom ett fördelningsrör. Vattnet i detta fördelningsrör stiger uppåt om detta är varmare än vattnet i tanken och laddning sker från övre delen av tanken. Om vattnet i fördelningsröret är kallare än vattnet i utloppet i tank 1 går det via botten av tank 1 till inloppet i toppen av tank 2. Se systemskiss.

5.10.2.1 Laddning av vattenvärmare med solvärme

Om T3 T4 och T5 50°C startar pump P2. Ventil V1 i rakt läge. Varmvatten från ackumulatortankarna införes i vattenvärmarens yttermantel enligt figur.

Tappvarmvattnet förvärmas av returvattnet från vattenvärmaren och från golvvärmesystemet.

5.10.2.2 Uppvärmningssystemet

Om T6 T7 och V2 ej är fullt öppen får golvvärmesystemet varmt vatten direkt från ackumulatortankarna.

Då T6 = T7 och V2 är fullt öppen startar värmepumpen för att tillgodose värmegolvets behov. Värmepumpens förångare tar sin värme från ackumulatortankarna, pumpen P2 är i drift och ventil V1 står i vinkelläge, varmvattenberedningen sker med värmepumpen. Ventilen V3 begränsar trycket i värmepumpens freonkrets genom strypning av förångarens vattenflöde.

När T3 har sjunkit till 0°C stannar värmepumpen, samtidigt inkopplas tillsatsvärmen. Denna värmer såväl uppvärmnings- som tappvarmvattnet. Värmesköldarna på varmvattenberedarens yttermantel värmer vattnet för

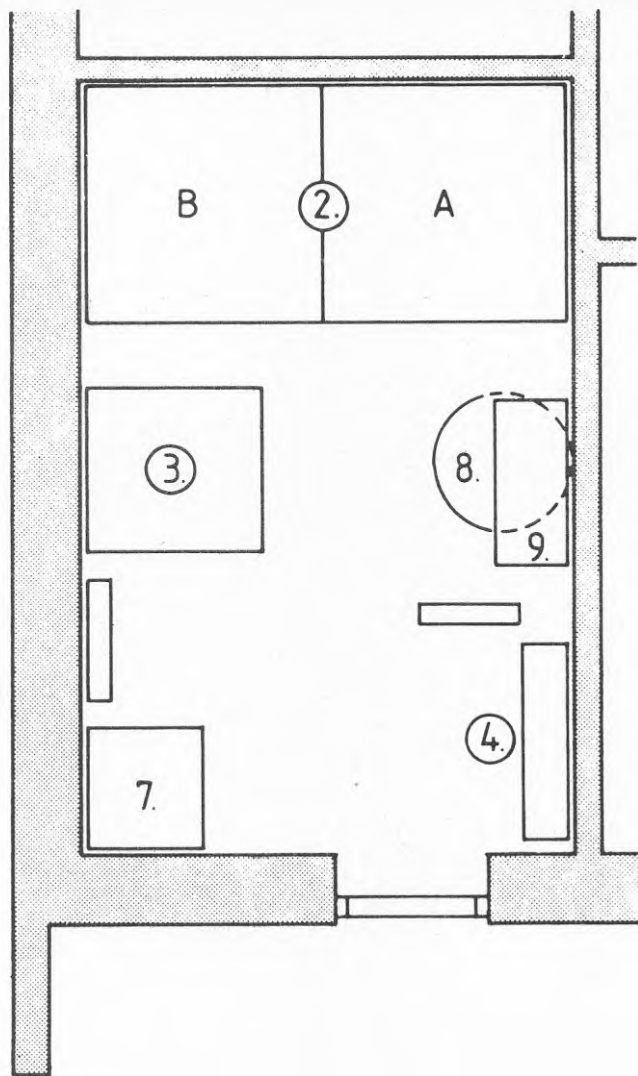
golvvärmesystemet, som i sin tur värmer tappvarmvatt-
net.

5.10.2.3 Golvvärmesystemets reglering

Uppvärmningssystemets framledningstemperatur styrs med ett nytt reglersystem, s k selektiv referensrums-reglering, som reglerar framledningstemperaturen efter de mest belastade rummens värmebehov. I detta fall jämföres de två mest belastade rummen med ett normalrum. Övriga rum regleras med egna termostater.

5.11 Apparatrum

Apparatrummets planmått är 3,0 x 4,7 m. Rummets form ger stora väggytor med goda möjligheter till placering av ventiler, pumpar och mätutrustning. Längst in mot rummets borte kortvägg har lagringstankarna sin plats. Värmepumpen har placerats mot den ena långväggen framför lagringstankarna. Till vänster om pumpen sitter flödesmätare med respektive anslutningar ovanför varandra. Placeringen har valts för att underlätta monteringen och mätning. Till vänster innanför dörren står värmeväxlaren som med hjälp av returvattnet från golvvärmesystemet förvärmer tappvarmvattnet. På den motsatta långväggen har expansionskärl och reglercentral sin placering. Ovanför expansionskärlet sitter ventilationsvärmeväxlaren, utrustad med vattenburen tillsatsvärme.



Figur. Apparatrum.

- A & B = Ackumuleringstankar 2 x 1,5.
 3 = Värmepumpen
 4 = Styrcentralen
 7 = Varmvattenberedaren
 8 = Expansionskärl
 9 = Värmeväxlare

6 BERÄKNINGAR

6.1 Allmänt

Beräkning av byggnadens värmebehov och energitillskott från solvärmesystemet över året är gjorda för varje halvtimme under ett år. Klimatdata är tagna från det danska "referensåret" som omfattar 8 760 timvärden för en stor mängd olika klimatuppgifter insamlade under 30 år. Referensåret har bearbetats till att motsvara klimatet i Göteborgstrakten. Beräkningarna tar hänsyn till byggnadens värmekapacitet innanför isolerskikten, d v s byggnadsmaterialens och inredningens värmetröghet. Solinstrålningen mot byggnadens omgivningsytor bidrar till att minska temperaturskillnaden på ömse sidor om isolerskikten och påverkar härigenom energiförbrukningen. Här har det korta beräkningsintervallet stor betydelse för att få en riktig beskrivning av byggnadens energi-behov. In- och utstrålning genom fönsterytor samt skuggning från de fasta taköverhängen och sidoskärmar-na har beaktats vid beräkningen.

Hänsyn har även tagits till byggnadens otäthet i sam-band med beräkningarna. Den ofrivilliga ventilationen har störst betydelse under den kalla årstiden och varierar med vindhastigheten, men har beräkningsmässigt satts till 0,15 luftomsättningar per timma under hela året. Värmeåtervinningen från den mekaniska ventila-tionens värmeväxlare varierar över året på grund av temperaturskillnaden ute och inne under olika årstider. När utetemperatur och innetemperatur endast skiljer några få grader blir verkningsgraden låg och utbytet litet. Vid stora temperaturskillnader mellan uteluft och ineluft blir verkningsgraden hög och utbytet stort. Dessa effekter har inte helt beaktats vid be-räkningarna. En generalisering av verkningsgraden till 60% under fläktens gångtid har använts som kompromiss.

6.2 Överslagsberäkning

Ett flertal parametrar har varierats i olika beräk-ningsomgångar för att studera effekterna av olika åtgärder på det totala systemet inklusive byggnaden. Ar-betet med beräkningarna inleddes med en överslagsbe-räkning av byggnadens totala energibehov för uppvärm-ning (transmission, ventilation, infiltration) och varmvattenförbrukning. Effektbehovet för uppvärmning beräknades rum för rum samt dessutom för tappvarmvatt-net.

Vid denna första överslagsberäkning gällde nedanståen-de förutsättningar:

Inomhustemperatur:	20°C konstant över dygnet och uppvärmningssäsongen
Lägst utetemperatur	- 16°C

Infiltration:	0,2 luftomsättningar per timme
Mekanisk ventilation:	0,35 l/s och m^2_3 golvyta, motsvarande 165 m^3/h
Luftvärmeväxlare:	70% energiåtervinning
Varmvattenförbrukning:	300 l per dygn för 4 personer, 40°C temperatur och 50% energiåtervinning.

Reduktion av energibehovet för uppvärmning gjordes med 5 000 kWh/år (uppskattat) med hänsyn till personvärme och värme från belysning m m. Bostadsytan i det beräknade huset var ca 130 m^2 . K-värden hos dörrar, fönster och väggar överensstämmer i stort med senare beräkningar. Resultatet blev ett effektbehov av 5 kW inklusive varmvatten och ett årsenergibehov av ca 6,5 MWh/år.

Med utgångspunkt från dessa översiktliga beräkningar för det aktuella huset och erfarenheter från generella beräkningar som utförts i en tidigare del av projektet bearbetades planlösningen vidare och en noggrannare husutformning genomfördes.

Den första databeräkningen genomfördes för det bearbetade huset.

6.2.1 Beräkningsförutsättningar, specifikt för SUN-SEC huset

Isolertjocklek ytterväggar	310 mm	$K=0,14$	W/m^2	$^{\circ}C$
Isolertjocklek tak	350 mm	$K=0,11$	W/m^2	$^{\circ}C$
Isolertjocklek golv	330 mm	$K=0,12$	W/m^2	$^{\circ}C$
Fönster, 3-glas, isolerrutor		$K=1,8$	W/m^2	$^{\circ}C$
Ytterdörrar		$K=1,0$	W/m^2	$^{\circ}C$

Ytor

Förråd och apparatrum är inte medräknade i husets värmebehov.

Ventilation

Styrd mekanisk ventilation:	0,35 l/s och m^2_3 , motsvarande 165 m^3/h .
Värmeåtervinning:	70%
Infiltration:	0,2 luftomsättningar/timme, motsvarande 65 m^3/h

Temperaturer

Inomhustemperatur:	21°C konstant
Utetemperatur:	Referensårets

Gratisvärme

Personvärme, totalt 8 kWh per dygn.

Värmetillskottet från fasta elektriska installationer är 250 W, totalt 6 kWh per dygn.

Värmetillskottet från belysning varierar beroende på dagsljusintensiteten. Om dagsljusintensiteten är mindre än 500 + kompletteras med elektrisk belysning. Värmetillskottet från belysning motsvarar totalt 2,5 kWh per dygn.

6.2.2 Värmebehov

Under ovannämnda förutsättningar har husets årliga energibehov för uppvärmning beräknats till 4 061 kWh.

Förklaring till datautskrift A.

Det årliga medelvärdet av rumstemperaturen är 24,5°C. Under vintermånaderna ligger temperaturen på en acceptabel nivå av 21,5°C till 23,0°C utan vädring eller andra åtgärder. Under sommarmånaderna ligger medeltemperaturen över 28°C. Detta beroende på att man ej räknat med rörliga solavskärmningar eller extra ventilation. Temperaturvariationerna är redovisade i tabellen. Januari månad består av 31 x 24 x 2 = 1 488 halvtimmar; under 1 159 av dessa ligger rumstemperaturen mellan 21°C och 22°C, under 58 halvtimmar ligger temperaturen mellan 22°C och 23°C osv.

QTOT	anger huset värmebehov månad för månad och totalt över året.
QSOL	anger den solenergimängd som transmitteras genom fönstren.
QELYS	anger värmetillskottet från den varierande elektriska belysningen.
QQ+	anger tillförd uppvärmningsenergi och är lika med värmebehovet.
QQ	anger bortförd kylenergi, här lika med noll.

6.3 Beräkningar avseende SUN-SEC huset

Beräkningar har genomförts för 4-glas isolerrutor i stället för 3-glas (se datautskrift B). Med 4-glas i alla fönster reduceras det årliga värmebehovet från 4 061 kWh till 3 830 kWh, en reduktion med 231 kWh/år eller med 6%.

Om den fasta solavskärmningen, taköverhäng och gavel-skivor slopas minskas det årliga värmebehovet från 4 061 kWh till 3 690 kWh, en reduktion med 371 kWh/år

eller 9%. I gengäld stiger rumstemperaturerna väsentligt (se datautskrift C) och en ökad vädring måste ske.

Den avslutande databeräkningen av byggnadens energibehov i dess slutgiltiga utformning, där hänsyn tagits till minskade värmeförluster genom väggen till förrådet och där apparatrummet medräknats i den uppvärmda ytan. Vid dessa beräkningar har också hänsyn tagits till nattsänkning 17°C mellan klockan 22.00-06.00 alla dagar under uppvärmningssäsongen. Den slutliga energiförbrukningen för uppvärmning är beräknad till 4 356 kWh/år under ett "normalår".

6.4 Beräkningar avseende solvärmesystemet

Ett flertal alternativa solvärmesystem har tillsammans med husets varierande belastningar över året jämförts genom databeräkningar. Ett av de solvärmesystem som beräknades visas nedan.

Flera alternativa storlekar på solfångare, ackumulatortankar och varmvattenberedare har genomräknats.

Solfångarareans betydelse för årsbehovet av köpt el-energi för uppvärmning studerades för tre olika areor med övriga parametrar fixa:

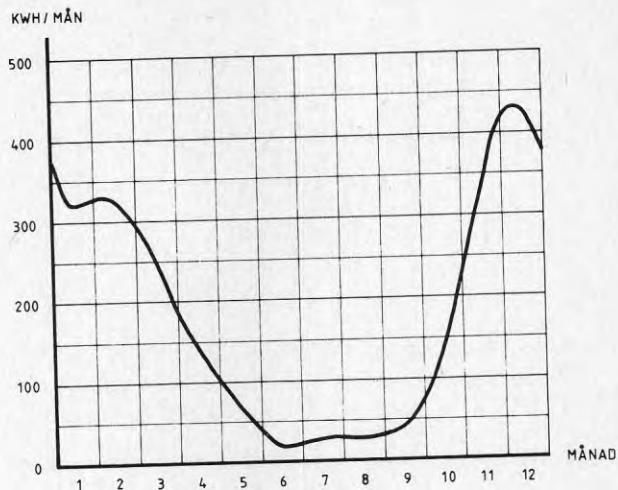
Area	Erforderlig tillskottsenergi	Erforderlig el till värmepump
32,4 m ²	1 088 kWh = 100%	1 742 kWh = 100%
27,0 m ²	1 261 kWh = 116%	1 872 kWh = 107%
21,6 m ²	1 554 kWh = 143%	1 994 kWh = 114%

Inverkan av ackumulatortankarnas sammanlagda volym på behovet av tillskottsenergi över året har också studerats för tre olika tankvolymmer med övriga parametrar fixa:

Volym	Erforderlig tillskottsenergi	Erforderlig el till värmepump
2 m ³	1 481 kWh = 136%	1 623 kWh = 93%
4 m ³	1 088 kWh = 100%	1 742 kWh = 100%
6 m ³	925 kWh = 85%	1 818 kWh = 104%

Även inverkan av varmvattenberedarens volym på tillsatsenergibehovet har studerats över året för tre olika tankvolymmer med övriga parametrar fixa:

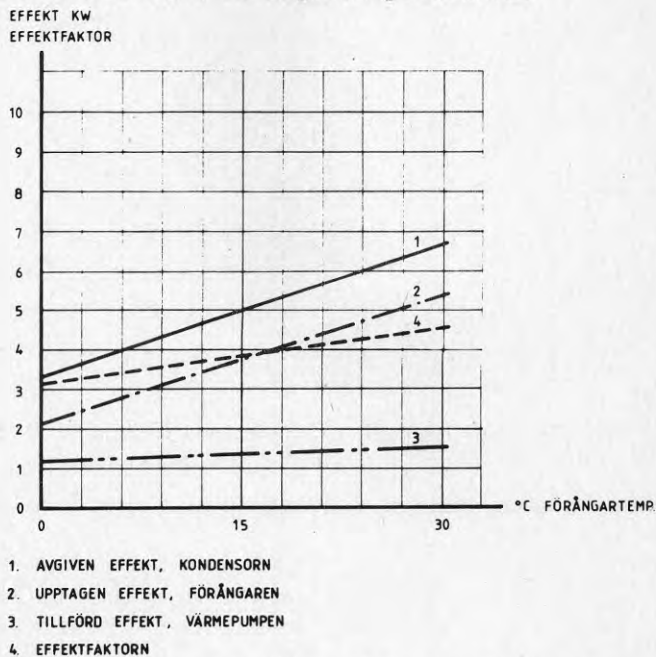
Volym	Erforderlig tillskottsenergi	Erforderlig el till värmepump
0,3 m ³	1 088 kWh = 100%	1 742 kWh = 100%
0,6 m ³	1 107 kWh = 102%	1 781 kWh = 102%
1,0 m ³	1 134 kWh = 104%	1 817 kWh = 104%



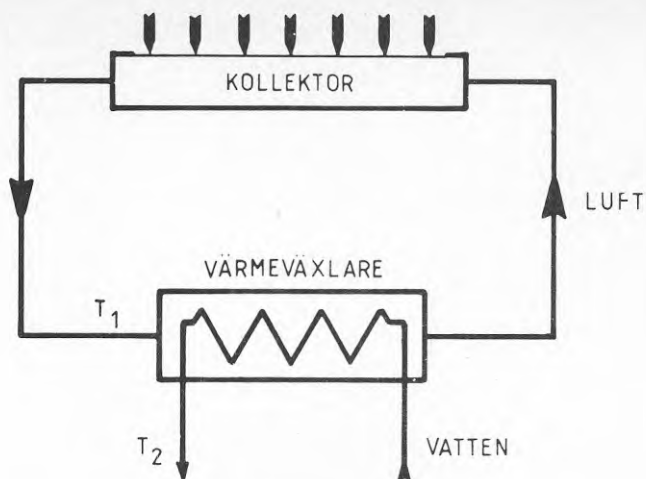
VÄRMEPUMPENS ENERGI FÖRBRUKNING

Figur. Värmepumpens energiförbrukning över året

Kondenseringstemperaturer för värmepumpen påverkar tillskottsenergiebehovet över året. Beräkningar har gjorts för varierande förångartemperaturer.



Figur. Värmepumpens effektfaktor vid varierande förångartemperatur



Figur. Värmeväxlaren i solfångarenheten.

Temperaturfallet över luft/vattenvärmeväxlaren i solfångarkretsen har beräknats enligt följande:

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

$$\Delta T = I \times (0,01 - 0,0388 \times \theta)$$

För $\theta = 0,1$ och $I = 500 \text{ W/m}^2$ är

$$\Delta T = 500 \times (0,01 - 0,0388 \times 0,1) = 3^\circ\text{C}.$$

För $\theta = 0,05$ och $I = 1\,000 \text{ W/m}^2$ är

$$\Delta T = 1\,000 \times (0,01 - 0,0388 \times 0,05) = 8,1^\circ\text{C}.$$

I = solinstrålningen i W/m^2 .

$\theta = \frac{T_i - T_a}{I}$ där T_i = lufttemperatur från kollektorn
 T_a = omgivningens temperatur.

6.4.1 Energiflödena i experimenthuset

Förutsättningar för de slutliga beräkningarna har varit:

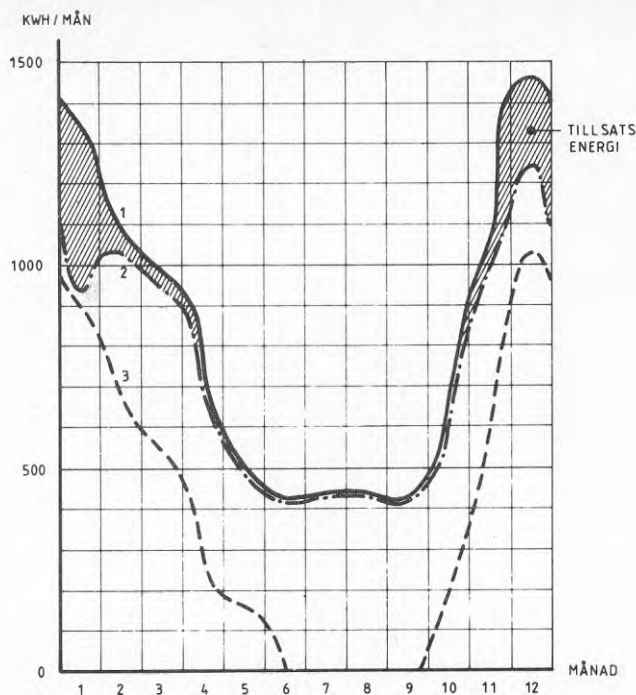
Byggnaden enligt de i rapporten tidigare redovisade figurerna.

Luftsolfångare av den tidigare omnämnda typen från AGA med bruttoverkningsgrad enligt figur. I figuren har även som jämförelse en vattensolfångare och en mer kon-

ventionell luftsolångare redovisats.

Övriga förutsättningar är:

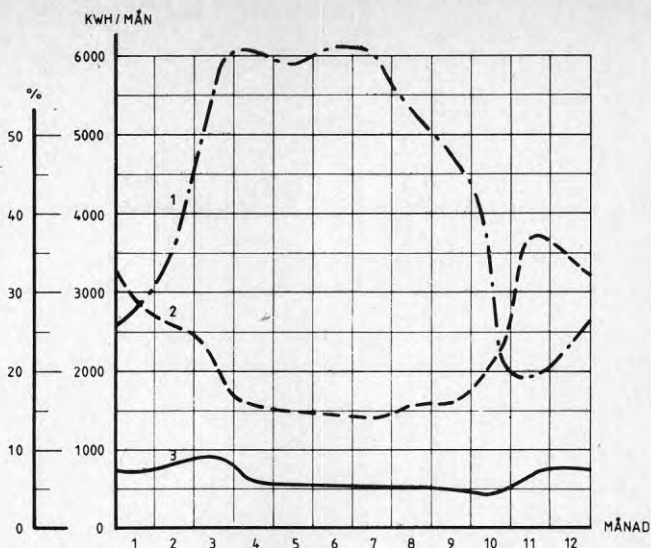
Solfångararea	32,4 m ²
Lutning solångare	70°
Orientering solångare	Syd
Jordreflektion	0,20
Akkumulatorvolym	2 x 1,5 m ³
Isolering ackumulatorer	20 cm mineralull
Min temperatur ackumulatorer	0°C
Max temperatur ackumulatorer	95°C
Värmeväxlareffektivitet solångare	0,5
Luftströmning solångare	1 m ³ /min och m ²
Beredarvolym varmvatten	300 l
Isolering varmvattenberedare	6 cm mineralull
Topptemperatur i varmvattenberedare	55°C
Varmvattenförbrukning	250 l per dygn temperaturhöjning från 10°C till 55°C
Max förångningstemperatur för värmepump	30°C
Min förångningstemperatur för värmepump	0°C



1. ENERGIBEHOV INKL. VARMVATTEN
2. NYTTIGGJORD ENERGI FRÅN SOLVÄRMESYSTEMET
3. ENERGIBEHOV EXKL. VARMVATTEN

Figur. Byggnadens energibehov och solvärmesystemets beräknade energitillskott månadsvis över året.

Tillsatsenergin till systemet är för pumpar och fläktar 2 000 kWh/år och 2 100 kWh/år är drivenergi till värmepumpen. Dessutom tillkommer 3 900 kWh/år till hushållsel.



1. INSTRÅLNING MOT SOLFÅNGARE
2. SOLFÅNGARENS VERKNINGSGRAD %
3. NYTTIGGJORD SOLENERGI

Figur. Fig redovisar instrålad energimängd mot solfångaren samt verkningsgrad och utnyttjad energimängd.

Solfångarens medelverkningsgrad över året har beräknats till 20%, med en maximal månadsmedelverkningsgrad av 37% under november. Det totala energibehovet för värme och tappvarmvatten har beräknats till ca 9 400 kWh ett "normalår". Av detta täcks 8 700 kWh av solvärmesystemet.

7 MÄTNING OCH UTVÄRDERING

7.1 Syfte

Mätningarnas syfte är dels att verifiera de teoretiska beräkningar, som är gjorda över husets energibehov, genom registrering av energiflöden och inomhusklimat, dels att utröna betydelsen av de konstruktions- och arkitektoniska principer, som har varit styrande vid utformningen av huset. Vidare önskas svar på om dessa åtgärder leder till den antagna reduktionen i husets energiförbrukning samt den passiva instrålningens betydelse för husets värmebalans.

Husets energibehov bestäms genom mätningar av de energimängder, som tillförs huset från solenergisystemet samt från tillskottsvärmen. För att kunna göra en sammanvägning med de tidigare gjorda beräkningarna, mäts aktuella uteklimatdata samt motsvarande inomhustemperaturer kontinuerligt.

Energisystemets avgivna energimängd och de enskilda komponenternas bidrag bestäms genom mätningar på ett flertal ställen i systemet. Dessutom mäts drifttider och tillförda energimängder till luftvattenvärmeväxlaren, samtliga cirkulationspumpar och värmepumpen. Vidare utförs mätningar med och utan inkopplad värmepump vid olika driftbetingelser för att mera exakt kunna bedöma värmepumpens roll i energisystemet.

De energibesparande principer som ligger till grund för husutformningen utvärderas med hjälp av de temperaturmätningar som görs vertikalt och horisontellt utmed fasaderna.

7.2 Mätpunkter, mätutrustning

7.2.1 Mätpunkter

Samtliga energiflöden i systemet mäts med elektroniska värmemätare, som integrerar flödesmängd och temperaturdifferens mellan framlednings- och returflödet:

De elektriska impulserna från värmemätaren överförs via speciellt konstruerade tryckta kretskort till en dator. De sammanräknade energimängderna överföres till en datalogger 1 gång i timman.

$$F \frac{(\text{kg})}{\text{h}} \times t(^{\circ}\text{C}) \times 1,16 \frac{(\text{W} \times \text{h})}{(\text{kg} \text{ } ^{\circ}\text{C})} \times 1\text{h} = 1,16 \times F \times t(\text{W} \times \text{h})$$

För mätning av energiflöden i vattensystemet används Karnstrup-Meterelektronisk Värmemätare, som har en mätnoggrannhet av + 5,0%.

För mätning av energiflöden i luftsolfångaren används

vinghjulsanemometer med 2 temperaturkännare och en specialbyggd integrator (tryckta kretskort), som summerar energimängden och överför den till datorn 1 gång per timma.

- a) Mätning av den i luftsolångaren nyttiggjorda solenergimängden för bestämning av luftsolångarens verkningsgrad i det aktuella systemet

$$F_{10}, t_{10}$$

- b) Mätning av från luftsolångaren nyttiggjord solenergimängd på sekundärsidan av luft/vattenvärmeväxlaren för bestämning av energiförlusterna i växlaren

$$F_{11}, t_{11}$$

- c) Mätning av energiflödet från ackumulatortank till golvvärmsystem för bestämning av solvärmsystemets bidrag till husets uppvärmning

$$F_{11}, t_{12}$$

- d) Mätning av energiflödet från ackumulatortanken till varmvattenberedaren för bestämning av solvärmsystemets bidrag till husets varmvattenförbrukning

$$F_{13}, t_{13}$$

- e) Mätning av energiflödet från ackumulatortank till värmepumpens förångare

$$F_{14}, t_{14}$$

- f) Mätning av energiåtgången till förvärmning av tappvarmvatten i värmeväxlaren och golvvärmsystemets returledning

$$F_{15}, t_{15}$$

- g) Mätning av tillskottsenergin för tappvarmvatten. Denna energimängd är summan av energitillskottet direkt från ackumulatortanken, från värmepumpen och från tillsatsvärmen

$$F_{16}, t_{16}$$

- h) Mätning av energiflödet från varmvattenberedaren till golvvärmsystemet. Denna energimängd är summan av tillskottet från värmepumpen och tillsatsvärmen

$$F_{17}, t_{17}$$

7.2.2 Absoluta temperaturer i systemet

Absoluta temperaturer i energisystemet mätes med termoelement, som via ett referensblock är anslutna till dataloggern.

Temperaturerna registreras en gång per timma med en mätnoggrannhet på $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

- a) Temperaturen på utgående luft från solfångaren
 t_{18}

Utöver kunskap om temperaturstegringen i solfångaren, t_{10} , är det väsentligt att få vetskap om luftens absoluta temperaturnivå.

- b) Framledningstemperaturen till golvvärmesystemet
 t_{19}

Det är väsentligt att registrera hur hög framledningstemperatur som erfordras för ett golvvärmesystem i hus med förhöjd isolering.

- c) Framledningstemperaturen till tappvarmvattnet
 t_{20}

Det är av intresse att se vilken temperatur som erfordras på tappvarmvattnet för att uppfylla komfortkraven.

- d) För att konstatera om det är möjligt att upprätthålla en väsentlig temperaturgradient i ackumulatortank, mäts temperaturen på tre nivåer:

3 nivåer i ackumulatortank 1: t_{22} , t_{22} , t_{23} .

3 nivåer i ackumulatortank 2: t_{24} , t_{25} , t_{26} .

3 nivåer i varmvattenberedaren: t_{27} , t_{28} , t_{29} .

7.2.3 Driftstider i systemet

Driftstider för ingående komponenter registreras med hjälp av tidräknare typ AEG Z 300, som avläses manuellt en gång i veckan.

Driftstider registreras för följande komponenter:

- a) Fläkt i solfångarkretsen
 D_1
- b) Cirkulationspump P_1 i ackumulatorkretsen
 D_2
- c) Cirkulationspump P_2 i värmepumpskretsen
 D_3

- d) Värmepump
D₄
- e) Cirkulationspump P₃ i golvvärmekretsen
D₅

7.2.4 Tillförd elektrisk energi

Den elektriska energiförbrukningen registreras med hjälp av konventionella elenergimätare med pulsutgång, vilken anslutes till datorn.

Den summerade elförbrukningen överförs till dataloggern en gång per timma.

- a) Mätning av husets totala elenergiförbrukning
EL₁
- b) Mätning av den till värmepumpen tillförda el-energin för bestämning av pumpens effektfaktor
EL₂
- c) Mätning av den nödvändiga tillsatsenergin, som tillförs varmvattenberedaren
EL₃
- d) Mätning av den elenergi, som åtgår till drift av fläkt och cirkulationspumpar i energisystemet
EL₄
- e) Mätning av den elektriska energi, som åtgår till drift av mätsystemet då detta är speciellt för försökshuset
EL₅

7.2.5 Uteklimat

Soldata mäts med Kipp & Zonen solarimetrar, som anslutes till datorn. På grund av den kraftiga variationen av solintensiteten registreras soldata var 10:e minut med en noggrannhet av 5%.

Vinddata mäts med ett instrument, Windmaster Mark II, som anger vindriktning och vindhastighet, noggrannhet 0,6 m/s. Vinddata registreras i datorn var 10:e minut.

Utetemperaturen mäts med thermoelement anslutna till datorn. Temperaturen registreras en gång per timma med en noggrannhet av $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

- a) Mätning av det totala solinfallet mot solfångaren för bestämning av solfångarens verkningsgrad
SOL₁
- b) Mätning av det totala horisontella solinfallet för

jämförelse med solinfallet under referensåret, vilket ligger till grund för de företagna ADB-berekningsarna

SOL₂

- c) Mätning av den diffusa solstrålningen med avskärmed solarimeter för fördelningen mellan diffus och direkt solinstrålning
SOL₃
- d) Mätning av vindhastigheten och vindriktning som underlag för värdering av värmeförluster från solfångaren samt för värdering av gavelskivornas reduktion av värmeförlusterna längs husets fasader
VIND₁
- e) Uteluftstemperaturen på sydsidan och norrsidan av huset
 t_{30} , t_{31}
- f) Temperaturen på varje halvmeter från sockel till taköverhäng på nord- och ostfasaden. 4 mätpunkter på vardera fasaden. Fastställande av taköverhängets reduktion av utstrålningen. Denna mätning kommer ej att ske kontinuerligt utan under vissa intensivperioder då stor utstrålning föreligger.
- g) Mätning av 8 temperaturer på varannan meter längs nordfasaden, som har gavelskivor, och 5 temperaturer på varannan meter längs ostfasaden utan gavelskivor. Mätningarna är till för att värdera gavelskivornas inverkan på värmeförlusterna från huset, förorsakade av minskade vindhastigheter längs fasaderna. Mätningarna kommer ej att ske kontinuerligt, utan under vissa perioder utföres intensivmätningar.

7.2.6 Temperaturer i huset

Rumstemperaturer mätes med thermoelement anslutna till datorn. Temperaturerna registreras en gång per timma med en noggrannhet av $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

- a) Mätning av temperaturer i husets 13 utrymmen för bestämning av husets medeltemperatur samt för bestämning av inneklimatet i den öppna södra delen av huset i förhållande till den norra delen
 t_{32} - t_{44}
- b) Mätning av temperaturen på vinden för bestämning av värmeförlusten genom vindsbjälklaget
 t_{45}
- c) Mätning av temperaturen i kryputrymmet under huset för bestämning av värmeförlusterna genom bottenbjälklaget
 t_{46}

7.2.7 Temperaturer i ventilations- värmväxlare

Mätning av 4 temperaturer i ventilationsvärmväxlaren (Rexovent med vattenvärmare) för bestämning av växlarens verkningsgrad. Dessa thermoelement anslutes ej till datorn, utan registreras under representativa perioder med hjälp av skrivare.

7.2.8 Solinfall genom fönstren

Solinfallet genom fönstren kommer att mätas med en Kipp + Zonen solarimeter, som placeras omedelbart innanför ett fönster i det sydvästra rummet. På grund av den kraftiga variationen på solintensiteten registreras solinfallet var 10:e minut med en mätnoggrannhet på 5%.

Mätningen sker för att utvärdera överhängets betydelse för att minska solinfallet genom fönstren under sommaren samt för att klarlägga sydfasadens betydelse som passiv solfångare under vinterhalvåret SOL₄.

7.3 Insamlingsrutiner

Mätprogrammet innehåller följande mätpunkter:

8 st energimängder registreras en gång per timma av dataloggern.

29 st temperaturer registreras en gång per timma av dataloggern.

5 st elenergimängder registreras en gång per timma av dataloggern.

4 st soldata registreras var 10:e minut av dataloggern.

2 st vinddata registreras var 10:e minut av dataloggern.

Summa 48 st mätpunkter registreras av dataloggern.

25 st temperaturer registreras särskilt av skrivare.

5 st driftstider avläses manuellt.

7.3.1 Överföring till dataloggern

De elektriska impulserna från energimängdmätarna överförs via speciellt byggda tryckta kretskort till dataloggern.

Elektriska impulser från thermoelementen överförs via referenspunkter till dataloggern.

Elektriska impulser från elmätare överförs direkt till dataloggern.

Elektriska impulser från solarimetrarna överförs via referenspunkter till dataloggern.

Elektriska impulser från vindmätarna överförs direkt till dataloggern.

7.3.2 Dataloggern

Som datalogger används en Philips PM 4000 med 60 kanaler och kassetbandspelare.

50 kanaler registreras en gång per timma.

10 kanaler registreras 6 gånger per timma.

Datalogger med kassetbandspelare installeras i byggnaden. Kassetbandet byts 1 till 2 gånger per vecka och sänds till DTH, där en Facit kassetbandspelare installeras. Denna kassetbandspelare returneras antingen till CTH eller BFR efter mätperiodens slut.

7.4 Behandling av mätresultaten

Vid Danmarks Tekniska Högskola kommer ett ADB-program som skall behandla de insamlade mätresultaten att utarbetas.

Utifrån de insamlade värdena är det möjligt att uppfylla den målsättning som tidigare beskrivits:

- a) Fastställande av husets totala värmebehov för rumsuppvärmning och tappvarmvatten.
- b) Fastställande av solvärme- och värmepumpssystemets täckningsgrad samt de enskilda komponenternas bidrag till täckning av energibehovet.

Med hjälp av representativa mätningar av de 21 fasadtemperaturerna kan en värdering av den energibesparande husutformningen göras.

Genom de erfarenheter som gjorts vid DTH:s nollenergi-hus plus andra objekt som DTH deltagit i, framgår bekräftande noggrannheten av mätningar, mätprogram och mätutrustning att en större noggrannhet än 10% är oerhört kostsam och ej tillför projektet något väsentligt.

Föreliggande rapport redovisar de teoretiska beräkningarna för några principiella solvärmesystem och konsekvenserna för systemen om de placeras på ett hus där olika byggnadstekniska åtgärder redan är vidtagna som på ett väsentligt sätt sänker energibehovet för uppvärmning.

En huvudsaklig målsättning har varit att genomföra de byggnadstekniska åtgärder vilka med rimlig säkerhet kan bedömas vara lönsamma inom en 5-årsperiod.

Mätprogrammet är anpassat till de tidsintervaller som används vid de teoretiska beräkningarna. Mätningar sker kontinuerligt och är uppdelade så att effekten av de passiva principerna med stor säkerhet kan fastställas.

För att underlätta utvärderingen och även kunna kontrollera att systemets funktion, olika komponenter och systemets olika driftsfall fungerar som det skall finns dels möjlighet på bildskärmen i apparatrummet avläsa olika temperaturer, flöden och energimängder i systemet och dels göres en genomgång varje vecka av insamlade mätdata.

Ett litet projekt i projektet men av allmänt intresse är jämförelserna mellan Kipozon solarimeter och Pynamometer. Kontrollen gäller såväl horisontell som vertikal instrålning.

Mätprogrammet och insamlingsprogrammet är utarbetat vid den nya mätcentralen på Chalmers och anpassat till centralens utrustning.

Samarbetet mellan olika högskolor har givit oss en mängd värdefulla synpunkter och positiva erfarenheter såväl ur vetenskaplig som ur personlig synpunkt.

LUFTEMPERATUR, I TIDEN KL 0.0 - 24.00

HALVTIMER I	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	AARET
21.0-	1159	914	860	775	333	0	0	0	0	643	1178	1257	7119
22.0-	58	92	99	165	269	0	0	0	25	132	86	87	1013
23.0-	62	77	100	151	199	0	22	7	87	132	58	45	1964
24.0-	54	61	83	123	238	16	73	26	179	108	47	30	1038
25.0-	41	67	80	88	140	154	90	158	186	102	29	27	1162
26.0-	33	54	74	71	132	238	119	215	173	84	18	23	1234
27.0-	34	30	67	36	101	320	183	258	225	69	10	7	1340
28.0-	25	21	59	29	40	271	259	265	140	66	10	5	1190
29.0-	15	17	32	2	29	166	212	200	134	45	0	2	858
30.0-	4	8	26	0	7	110	225	142	101	32	0	3	658
31.0-	3	3	8	0	0	178	167	97	170	26	0	2	454
32.0-	0	0	0	0	0	31	85	86	46	16	0	0	204
33.0-	0	0	0	0	0	43	48	27	27	18	0	0	163
34.0-	0	0	0	0	0	13	5	7	20	1	0	0	146
35.0-	0	0	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	14
36.0-	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	6
37.0-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
38.0-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39.0-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
MIDDELVAERDI I GRADER C	21.9	22.3	23.0	22.6	23.9	28.2	28.9	28.5	27.6	23.8	21.6	21.5	24.5

00- KWH

00-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00+	857.5	636.0	518.2	250.7	60.1	0.0	0.0	0.0	0.0	179.3	567.3	992.3	4061.3
OPRIM KWH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OTOT KWH	857.5	636.0	518.2	250.7	60.1	0.0	0.0	0.0	0.0	179.3	567.3	992.3	4061.3
CSOL KWH	749.6	910.4	1061.1	878.0	719.1	726.9	757.8	748.3	855.4	722.4	504.2	623.1	9256.2
GELYS KWH	78.3	66.9	68.4	57.4	53.3	43.3	47.4	55.5	63.7	74.1	75.3	78.3	761.9
UVG. HALVTIMER	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
CTOT OKTOBER - APRIL INCL.	21.9	22.3	23.0	22.6	23.9	28.2	28.9	28.5	27.6	23.8	21.6	21.5	24.5

CTOT OKTOBER - APRIL INCL. 4001.3

LUFTEMPERATUR, I TIDEN KL 0.0 - 24.00

HALVTIMER I	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	AARET
21.0-22	1147	881	700	448	67	0	0	0	0	563	1157	1249	6212
22.0-23	62	90	96	62	45	0	0	0	0	111	91	85	642
23.0-24	58	84	66	56	103	0	0	0	0	108	67	48	590
24.0-25	55	62	66	58	136	0	0	0	41	129	41	33	621
25.0-26	45	61	76	90	142	0	0	0	75	110	38	25	678
26.0-27	38	62	72	120	156	0	16	28	134	84	20	25	784
27.0-28	28	41	59	101	121	24	45	48	151	80	19	10	736
28.0-29	28	22	62	108	139	63	64	106	153	63	19	6	812
29.0-30	18	27	58	92	138	88	88	171	151	57	7	2	964
30.0-31	9	9	54	77	113	155	115	210	172	57	0	2	1003
31.0-32	4	5	41	55	87	191	102	174	134	55	0	3	827
32.0-33	0	0	41	54	70	190	159	188	111	31	0	3	843
33.0-34	0	0	30	45	57	151	146	161	91	30	0	0	702
34.0-35	0	0	17	34	52	124	112	123	71	21	0	0	554
35.0-36	0	0	20	31	22	175	111	96	52	11	0	0	418
36.0-37	0	0	20	18	19	94	126	73	44	12	0	0	406
37.0-38	0	0	10	1	12	40	109	48	19	2	0	0	241
38.0-39	0	0	0	0	9	46	176	33	17	0	0	0	181
39.0-40	0	0	0	0	0	26	56	21	9	0	0	0	112
OVER 40 GDC	0	0	0	0	0	70	100	8	15	0	0	0	193

MIDDELVAERDI I GRADER C

	22.0	22.5	24.6	26.1	28.0	33.1	33.7	32.3	30.4	24.7	21.7	21.5	26.7
00- KWH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
00+ KWH	839.9	593.5	426.0	147.7	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	152.2	546.2	976.3	3690.2
OPRIM KWH	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
OTOT KWH	839.9	593.5	426.0	147.7	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	152.2	546.2	976.3	3690.2
OSOL KWH	773.1	971.6	1351.2	1318.5	1190.7	1207.0	1229.0	1133.1	1120.3	823.4	531.9	642.9	12292.6
CELYS KWH	78.3	66.4	64.8	54.8	48.8	38.2	43.3	52.1	60.2	73.1	75.3	78.3	733.7
UVG. HALVTIMER	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
QTOT OKTOBER - APRIL INCL.			3681.7										

- Adamson, B, Värmetransport genom fönster, kompendium 1972, LTH.
- Adamson, B, Källblad, K, Dags för treglasfönster. Väg- och vattenbyggaren 1-2, 1975, Stockholm.
- AIA Research Corporation, US Department of Housing and Urban Development, Solar Dwelling Design Concepts, Washington DC, 1976.
- Anderson, Bruce, Solar energy fundamentals in building design, Total Environmental Action 1977, ISBN 0-07-001751-4.
- Bankvall, C, m fl, Fältprovning i samband med byggnaders energiförbrukning, teknisk rapport SP-Rapport 1978:6.
- Beyersdorf, P, Solar Architecture, Deutsches Sonnenforum 1977.
- Brown, G, Solvärme genom fönster och solskydd. BFR-rapport R11:1966.
- Brown, G och Isfält, E, Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar. BFR-rapport R19:1969.
- Elmroth, A, Höglund, I, Värmebalans i småhus. BFR-rapport Stockholm.
- Esbensen, T, V, O-energihuset. Bygeindustrien nr 3, mars 1975.
- Glaumann, M, Sol i bebyggelseplanering. BFR T-skrift T33:1976.
- Hagman, F, Fönster som energifaktor. BFR-rapport R43:1975.
- IVA-rapport 67, Solenergi i Sverige, Stockholm 1974.
- Horsgaard, V, og Esbensen, T, V, Nul-energihusprojektet ved DTH. Laboratoriet for Varmeisolering, meddelse nr 35.
- Laboratoriet for Varmeisolering, Solenergidagen juni 1976, Danmarks tekniska højskole.
- Larsson, B, m fl, Träfönsters reaktion på klimatpåfrestningar, avdelningen för husbyggnad, CTH-A-HB-1978:8, Chalmers tekniska högskola.
- Lawaetz, H, Beräkning av ett solvärmesystem, DTH, meddelse nr 40, november 1975.
- Lindskoog, N-E, Energi till byggnader 1975-2000. BFR T-skrift T9:1977.

Lund, H, Program BA 4 till beräkningar av rumstemperaturer och värme och kylbehov. Laboratoriet för Varmeisolering, DTH, juli 1974.

Matthöfer, H, Sonnen Energie, 1976, Frankfurt am Main, ISBN 3-524-10002-3.

Meinel, A, B, & Meinel, M, P, Applied Solar Energy, An Introduction, Addison-Wesley Publishing Company, 1976.

Munther, K, E, Energiförbrukning i småhus, BFR-rapport R58:1974, Stockholm.

Nordenström, H, et al, Byggande, energi och ekologi - rapport från en resa i USA, BFR T-skrift, T11:1975.

Peterson, F, Wettermark, G, Solenergi boken. Ingenjörsläroverket, Stockholm, maj 1977.

Ragnarsson, P, Förnyelsebara energikällor. Sekretariatet för framtidsstudier, juni 1977.

Referenceåret, Vejrdata for VVS-beregninger. Statens Byggeforskningsinstitut, rapport nr 89, 1974.

Reitzel, E, m fl, Energi, Boliger, Byggeri, Köpenhamn 1975. ISBN 87-557-0599-5.

Samuelsson, I, 20 fuktskador, BFR T-skrift T11:1978.

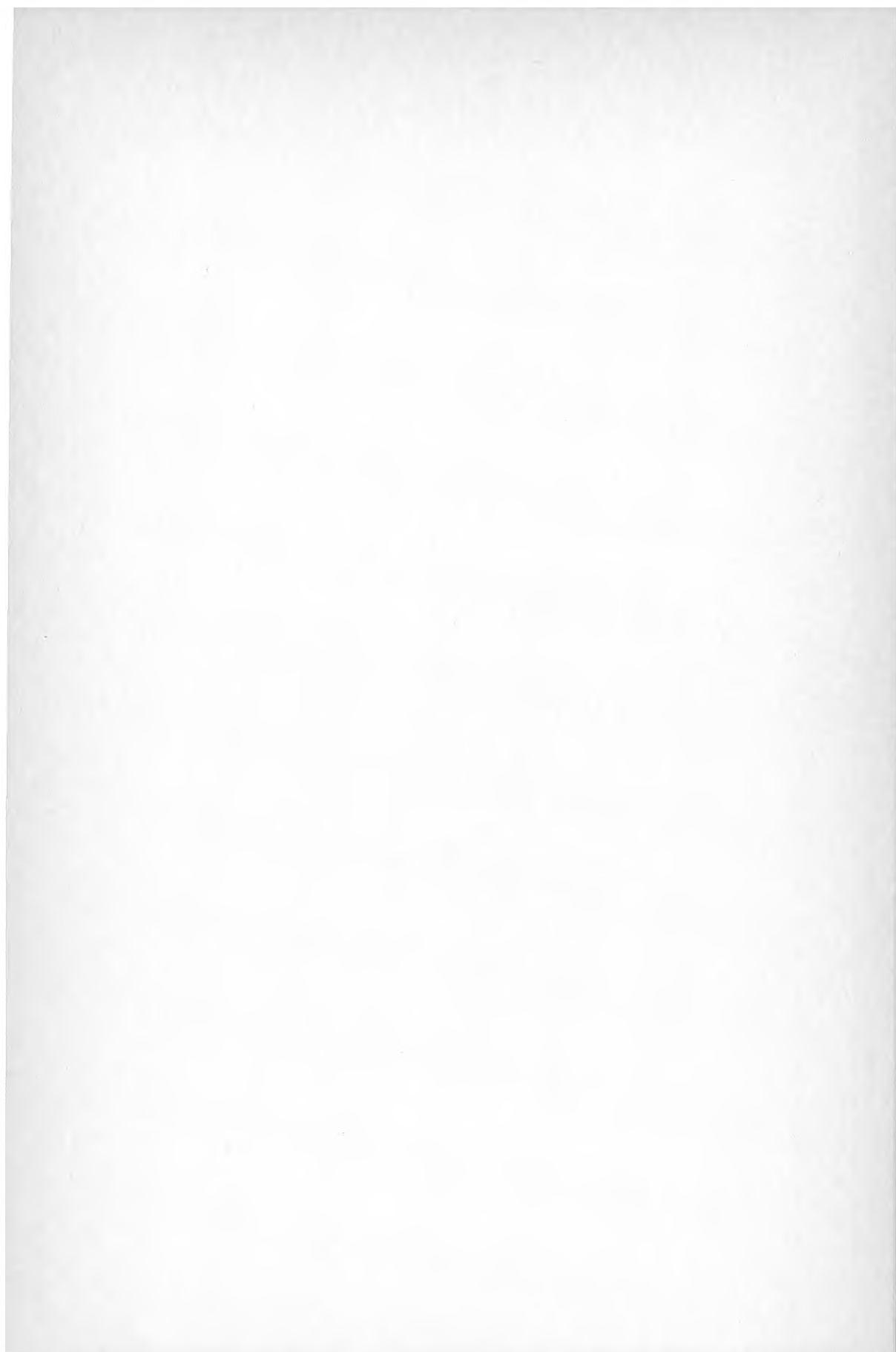
Scheuchl, R, W, Advantages of low temperature heating systems with regard to heating comfort, thermodynamics and energy supply, Deutsches Sonnenforum 1977.

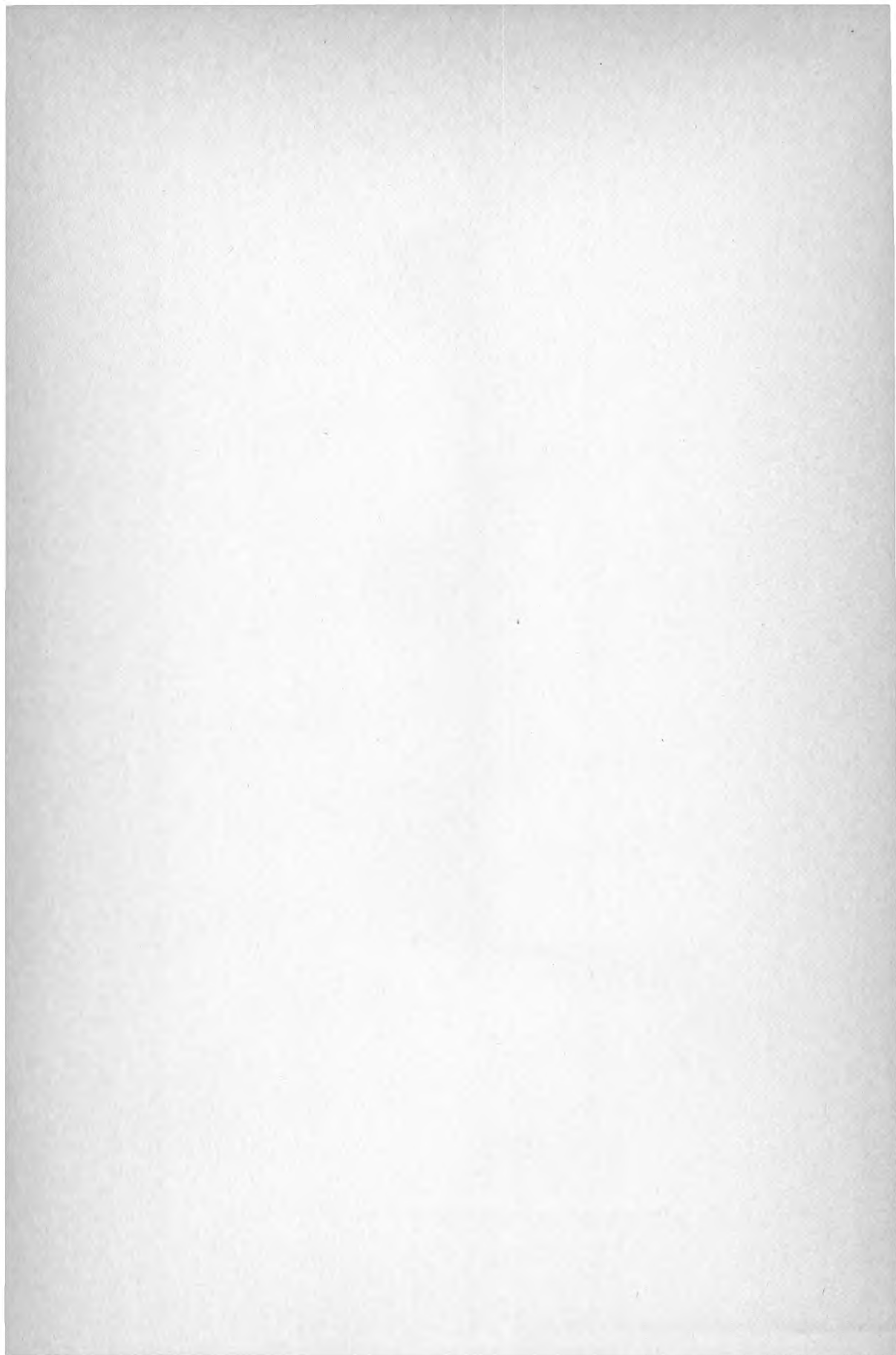
Taesler, Roger, Klimatdata för Sverige. Byggeforskningsrådet, ISBN 91-540-2012-3.

Vale, Brenda & Robert, The autonomous house, 1975, Thames and Hudson Ltd, Printed by Unwin Brothers Limited.

Wells, Malcolm, How to buy solar heating without getting burnt! ISBN 0-87857-199-X.

Wettermark, G, Kowalewska, J, Storage of low temperature heat. Solar energy thermal storage, BFR september 1976.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag från
Statens råd för byggnadsforskning nr 770359-5 och
780086-2 till avdelningen för projekteringsmetodik,
Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg, samt nr 780087-7
till AB Skånska Cementgjuteriet, Göteborg.**

R41: 1980

ISBN 91-540-3218-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700141

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirka pris: 30 kr exkl moms