

Solhus med minimalt transmissions- og ventilationstab

Peter Fritzel
Karoline Geneser
Annette Taudorf
Niels Kristian Vejen



MEDDELELSE NR. 280
DECEMBER 1995
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET

FORORD

Denne rapport indeholder en energimæssig analyse af en boligtype, der er opført i et let byggesystem. Energibesparelsen i bygningen opnås ved, at der i taget er integreret en luft-solfanger, mens facaderne består af solvægge, aktive såvel som passive.

Projektitel : "Solhus med minimalt transmissions- og ventilationstab"

Projektet er finansieret af Energistyrelsens forskningsprogram for vedvarende energi og har journal nummer: 1213/94-0008.

Projektet er gennemført ved Laboratoriet for Varmeisolering og Institut for Husbygning med deltagelse af følgende:

Jesper Engelmark	Arkitekt	IfH
Peter Fritzel	Akademiingeniør	LfV
Karoline Geneser	Civilingeniør	LfV
Søren Koch	Arkitekt	IfH
Svend Svendsen	Professor, projektleder	LfV
Annette Taudorf	Civilingeniør	LfV
Niels Kristian Vejen	Civilingeniør	LfV

INDHOLDSFORTEGNELSE

RESUMÉ	1
SUMMARY	2
1 INDLEDNING	3
2 SOLVÆGSHUSET	3
2.1 Bygningen	3
2.2 Varmeanlæg	5
2.3 Ventilationssystem	8
2.3.1 Styringsstrategi	10
3 MÅLINGER	10
3.1 Beskrivelse af målesystem	10
3.1.1 Måleudstyr	11
3.1.2 Målepunkter	11
3.2 Måleresultater	13
3.2.1 Indeklima	13
3.2.2 Stenlager	16
3.2.3 Ventilation	18
3.3 Sammenfatning	27
4 BEREGNINGSVÆRKTØJ	28
4.1 tsbi3	28
4.2 EMGP3	29
4.3 EMGP3-model	29
5 TEST AF EMGP3.	31
6 VILLA SOL	36
6.1 Parametervariationer	37
6.1.1 Følerplacering	38
6.1.2 Ventilation	39
6.1.3 Afskærmning og udluftning	40
6.1.4 Lagerstørrelse	42
6.1.5 Cirkulerede luftmængder	42
6.1.6 Taghældning	44
6.1.7 Solfangerareal	47

6.1.8 Glasareal	48
6.1.9 Dæklag	50
6.2 Endelig model	52
6.3 Livscyklusanalyse	53
7 KONKLUSION	54
REFERENCER	56

RESUMÉ

I dette projekt arbejdes der med at kombinere et let byggesystem og solvarmeudnyttelse. Udgangspunktet tages i et forsøgshus, opført af Laboratoriet for Varmeisolering under et tidligere projekt. I forsøgshuset er der installeret et ventilationssystem, der henter friskluft ind gennem to solvægge. I disse to solvægge på hhv. den øst- og vestvendte facade forvarmes friskluften inden den, via en krydsvarmeveksler, sendes ind i rummet. Taget og den sydvendte facade er konstrueret som luftsolfangere og tjener til opvarmning af et stenlager under huset. Varmen fra stenlageret udnyttes ved, at sende opvarmet luft rundt i loft, gulv og vægge i et hulrum imellem de indvendige gipsplader og isoleringen.

Energiforbruget til opvarmning søges minimeret til et niveau under, hvad det forventes at være i allerede opførte lavenergibyggerier, så det kan bruges som idé, til hvordan næste generation af lavenergihuse kan udføres.

Baggrunden for at bruge et let byggesystem af gips og stålprofiler sammen med luftbaseret solvarmeudnyttelse er, at det åbner mulighed for en styret udnyttelse af den akkumulerede varme. Ved at placere den varmeakkumulerende masse, i form af et stenlager, under huset kan man ved hjælp af et system af spjæld og kanaler sørge for, at varmen kommer op til rummene, når behovet er der. Gipsvæggen vil med deres lave varmeakkumuleringssevne bevirke, at den solvarme, der kommer ind gennem vinduerne, vil give en hurtig opvarmning af rumluften, hurtigere end hvis der var tale om almindelige teglstensvægge. I tilfælde af overtemperaturer vil udluftning hurtigt kunne bringe temperaturerne ned.

I projektet måles der på friskluftforsyningen i forsøgshuset, og resultaterne herfra skal give et indtryk af, hvor stort besparelspotentialet vil være i en større bygning. Endvidere anvendes en række af tidligere målinger som reference i forbindelse med brugen af beregningsprogrammet EMGP3. Beregningerne med en model af forsøgshuset viser en god overensstemmelse mellem målte og beregnede data. På baggrund af disse resultater er der udført en parameteranalyse på en bolig, kaldet Villa Sol, opbygget efter det samme princip som forsøgshuset.

Resultaterne fra forsøget med ventilationsanlægget kombineret med solvæggene viser, at det er muligt at få varmet friskluften op uden brug af suppleringsvarme, hvilket hovedsagligt skyldes varmeveksleren. For at få maksimal udnyttelse af ventilationsanlægget bør prioriteringen mellem det og varmeanlægget med stenlager styres sådan, at det anlæg, der kan udnyttes bedst, er igang.

Beregninger af Villa Sol viser, at 41% af energibehovet kan dækkes af stenlageret og med denne dækningsgrad kommer behovet for suppleringsvarme til at ligge under det halve af det tilladte jf. BR 95. Hvis man sammenligner energibehovet med gennemsnittet for en række lavenergihuse opført i forbindelse med et IEA-projekt (task 13), er det først, når huset isoleres yderligere, at energibehovet kommer under deres energibehov, men det har den følgevirkning, at udbyttet fra stenlageret mindskes. Opvarmningssystemet omkring stenlageret skal udføres, så der ikke er muligheder for, at den varme luft siver ind i det indre system i opladningsfasen. Termofølerne, der styrer opladningen af stenlageret, skal placeres i tagsolfangeren for at give de bedste resultater.

SUMMARY

This project deals with the combining of a light building system and solar heating utilization. The starting point is taken in an experimental house built by Thermal Insulation Laboratory during a previous project. In the experimental house a ventilating system is installed which draws in fresh air through two solar walls. In these two solar walls on the front facing east and west respectively the fresh air is preheated before it is sent into the room through a cross heat exchanger. The roof and the front facing south are designed as air solar collectors and serve as heating of a rock bin under the house. The heat from the rock bin is utilized through heated air that is circulated in the roof, floor and walls in a cavity between the inner gypsum-plates and the insulation. It is attempted to minimize the energy consumption for heating to a level under what it is expected to be in already constructed low-energy buildings in order that it may be used as an idea of how the next generation of low-energy houses can be made.

The background for using a light building system of gypsum and steel sections together with air based solar heating utilization is that it permits a controlled utilization of the accumulated heat. By placing the heat accumulating mass, in the form of a rock bin, under the house it is possible by means of a system of dampers and pipes to lead the heat into the rooms when needed. The low heat accumulating capacity of the gypsum walls will cause the solar energy coming through the windows to heat the room air quickly, quicker than if it had been ordinary brick walls. In case of over temperatures it will be possible to bring down the temperatures quickly by means of ventilation.

In the project the supply of fresh air in the experimental house is measured and the results shall give an impression of how large the potential saving will be in a larger building. Further a series of previous measurements are used as reference in connection with the utilization of the calculation program EMGP3. The calculations with a model of the experimental house show a good similarity between measured and calculated data. On the background of these results a parameter analysis has been carried out on a house called Villa Sol, which is built according to the same principle as the experimental house.

The results from the test with the ventilating system combined with the solar walls show that it is possible to heat the fresh air without the use of supplementing heat, which is primarily due to the heat exchanger. To obtain maximum performance of the ventilating system the priority between the ventilating system and the heat system with rock bin should be controlled in such a way that the system that can be utilized best is working.

Calculations of Villa Sol show that 41 % of the energy requirement can be covered by the rock bin and with this ratio the demand for supplementing heat will lie under half of what is allowed, of the Danish Building Regulations BR 95. If the energy requirement is compared to the average for a range of low-energy houses built in connection with an IEA-project (task 13) it is only when the house is further insulated that the energy requirement gets under their energy requirement, but it has the side-effect that the yield from the rock bin is reduced. The heating system around the rock bin shall be made in a way that there is no possibility of the hot air leaking into the inner system in the charging phase. The thermo sensors controlling the charge of the rock bin shall be placed in the roof solar collector to give the best results.

1 INDLEDNING

Formålet med dette projekt er at videreføre arbejdet med lette byggesystemer. Med hensyn til ressourcer og energi samt økonomi har det nogle kvaliteter, der vil være gavnlige for en bygning i den levetid, det typisk har.

Et hus bestående af et let byggesystem vil være en attraktiv byggeform, f.eks. som eksportartikel, da denne boligtype med et lavt energibehov kan opføres forholdsvis hurtigt og billigt. En stor del af forarbejdet kan udføres på produktionsstedet således, at det resterende arbejde kan udføres af lokal arbejdskraft ved hjælp af få værktøjer.

I dette projekt tages der udgangspunkt i et opført forsøgshus, hvor der foretages enkelte energimæssige forbedringer, videregående målinger samt udarbejdes en systemløsning til grundlag for projektering af højisolerede solhuse. Systemløsningen skal være baseret på et byggesystem med et dobbelt stålskelet beklædt med gipsplader og glas. En del af varmebehovet skal dækkes af et bygningsintegreret solvarmesystem med ud- og indvendige luftspalter samt et stenvarmelager under huset.

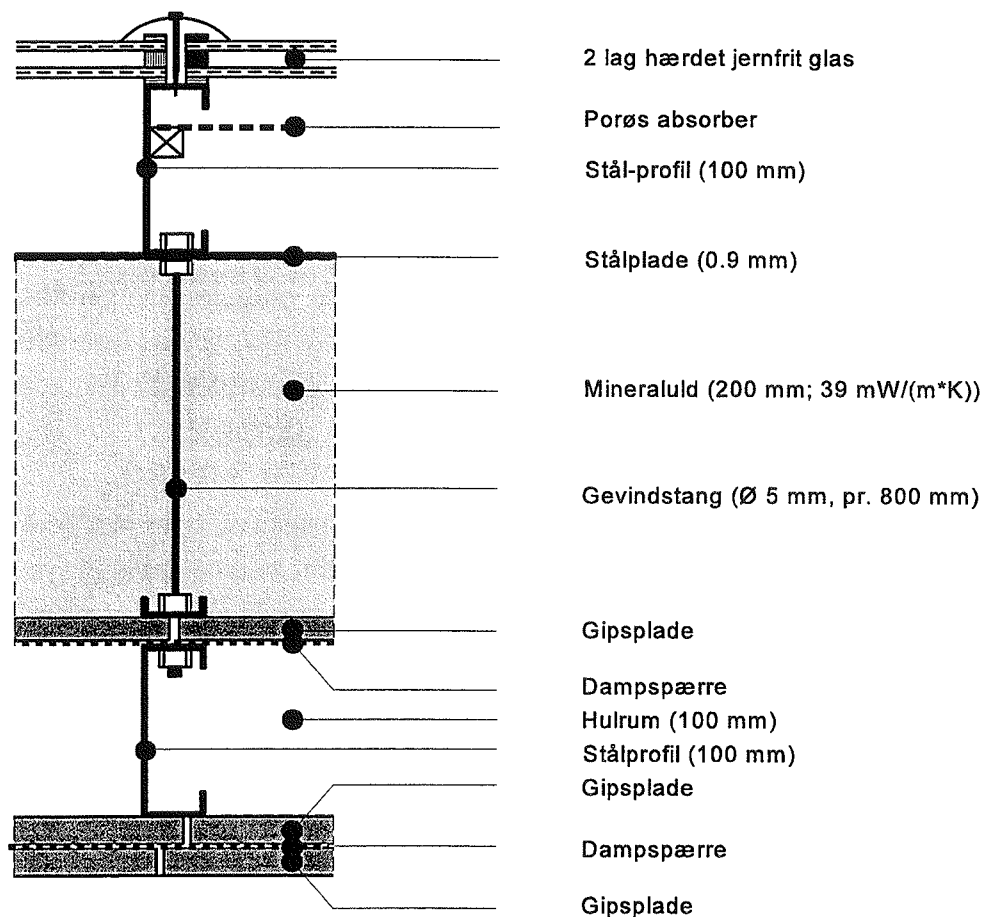
2 SOLVÆGSHUSET

Projektet tager sit udgangspunkt i det forsøgshus, som er opført i 1991 på Laboratoriet for Varmeisolerings forsøgsareal på Nordvej. Måledata opsamlet i solvægshuset i forbindelse med et tidligere projekt bruges til at validere beregningsresultater fra en EMGP3 model. I forbindelse med dette projekt er der etableret et ventilationsanlæg til friskluft forsyning og solvægge til forvarmning af luften.

2.1 Bygningen

Huset er en isoleret let konstruktion bestående af gipsplader, stålplader og mineraluld og har et indvendigt areal på 26,5 m². Det består af et enkelt rum med et vindue mod øst og vest og døre mod syd og nord. Døren mod syd er en glasdør.

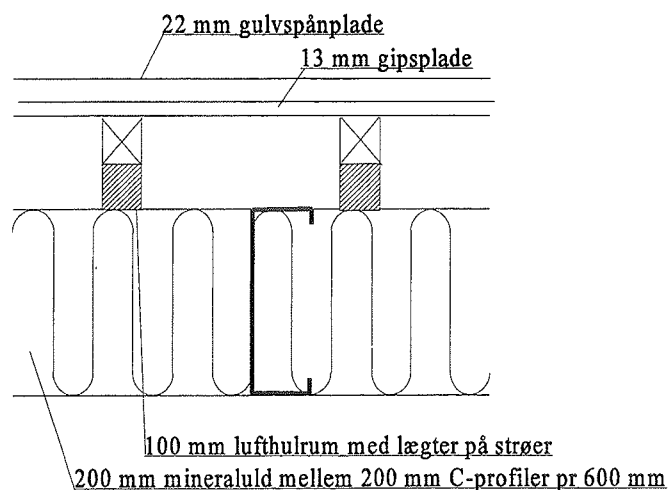
Væggene i forsøgshuset består set indefra, som vist på figur 2.1, af to gipsplader, 100 mm hulrum med C-profiler pr. 1200 mm, en gipsplade, 200 mm mineraluld, absorber, 100 mm hulrum med C-profiler pr. 1200 mm og 2 lag glas. Loftet består set indefra af to gipsplader, 100 mm luft, en gipsplade og 200 mm mineraluld.



Figur 2.1 Vandret snit i væg mod syd

Tagrummet er opbygget på næsten samme måde som yderdelen af væggene. Her har dæklag og absorber blot en hældning på 11° mod syd. Solvæggene og syd-solfangeren har et dæklag bestående af 2 lag jernfrit glas. Tagsolfangerens dæklag er et lag polycarbonat. Solfangeren mod syd og tagsolfangeren har en porøs filtabsorber, mens solvæggene mod øst, vest og nord har en absorber bestående af en sortmalet stålplade.

Gulvet, der ses på figur 2.2, er set indefra opbygget af en gulvspånplade, en gipsplade, 100 mm hulrum, 200 mm mineraluld og derunder stenlager.



Figur 2.2 Lodret snit i gulv

For nærmere beskrivelse af forsøgshuset henvises til / 1 / og / 2 /.

2.2 Varmeanlæg

Varmeanlægget består af et stenlager, et udvendigt luftsystem til opvarmning af stenlageret og et indvendigt system til opvarmning af boligen fra stenlageret. Stenlageret er 0,90 m højt og fylder stort set hele gulvarealet. Stenene er vaskede strandsten og har en diameter på 5-20 cm. Som supplement til varmeanlægget er der opstillet en el-radiator.

Opvarmning af lager

Det ydre system består af det ydre hulrum i sydfacaden og i taget, stenlageret samt en indvendig kanal i nordsiden fra tagsolfangeren til lageret. Luften trækkes fra stenlagerets kolde side op gennem luftsofangeren i sydfacaden og videre gennem tagsolfangeren. Undervejs opvarmes den af solen ved passage af en porøs filt-absorber i de to solfangere. Fra taget ledes den gennem en kanal i nordsiden ned til det 0,90 m dybe stenlager under huset, som dermed opvarmes. Fra stenlageret trækkes luften atter op i sydfacaden. Dette system kører, når der er varmere i solfangerne, end der er i stenlageret.

Opvarmning af rum

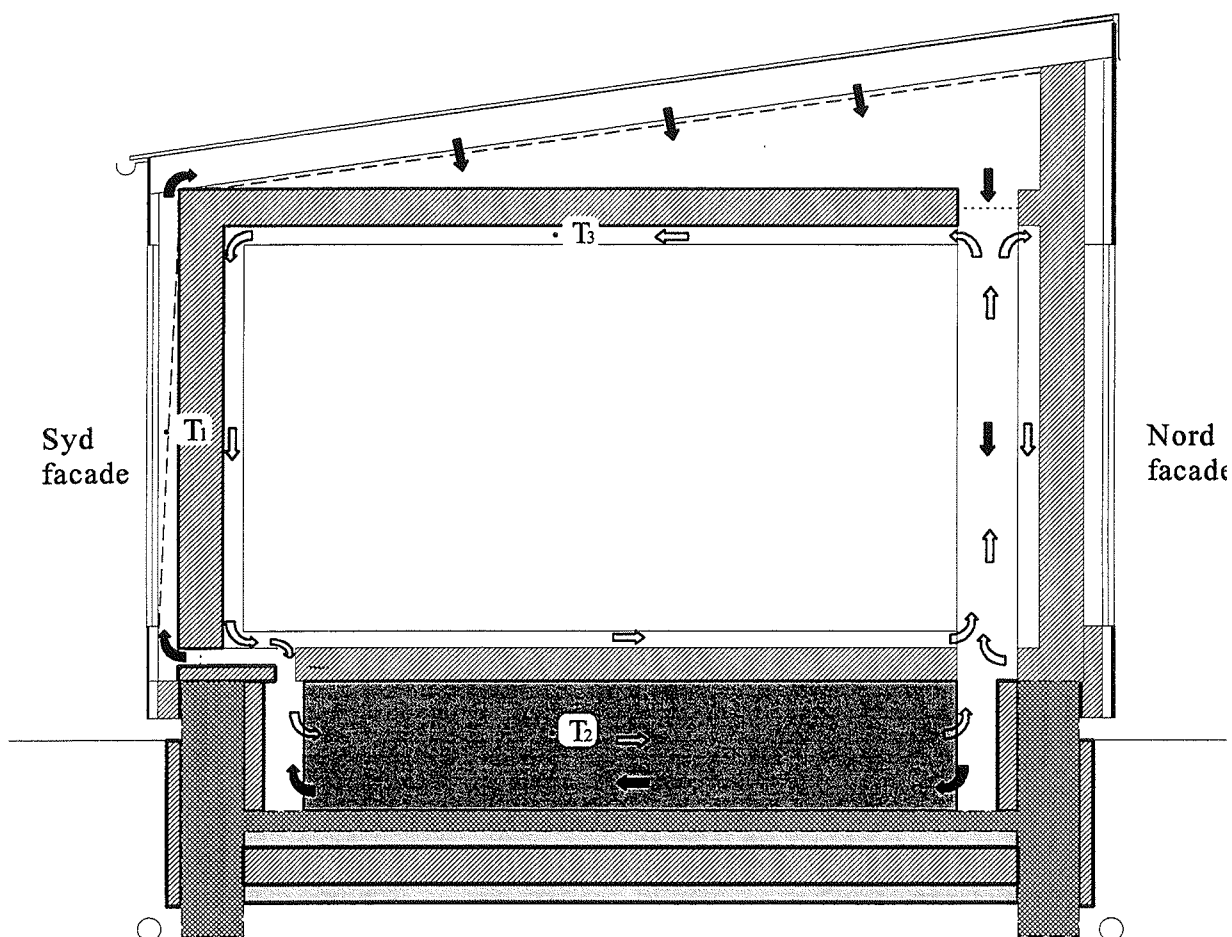
Det indre system består af de indre hulrum i vægge, loft, og gulv, stenlageret samt en kanal i nordsiden fra stenlageret til loftshulrummet. Fra stenlageret ledes varm luft gennem kanalen i nordsiden - via hulrummet i loftet - til de øvrige indvendige hulrum. Fra hulrummene ledes luften tilbage til stenlageret. Denne opvarmningsmåde bevirker, at både loft og gulv samt alle

fire vægge virker som varmeafgivere.

Hvis luften fra stenlageret er for varm, er der mulighed for at recirkulere luften i hulrummene istedet for at trække luft fra stenlageret. Der er også mulighed for at blande den recirkulerede luft med luften fra stenlageret og på denne måde regulere temperaturen i hulrummene. Opvarmningsluften forbliver i et separat system, der ikke kommer i forbindelse med rumluften. Herved undgås problemer med luftkvaliteten.

Dette system kører på to betingelser. Stenlageret skal være varmere end hulrummene og temperaturen i hulrummene må ikke overstige en fastsat setpunktstemperatur.

Derudover er de to systemer styret således, at det ydre system har fortrinsret frem for det indre. Det er altså vigtigst at få varmet stenlageret op. Princippet i opvarmningssystemet er vist på figur 2.3.



Figur 2.3 Placering af termofølere til styring af stenlageret

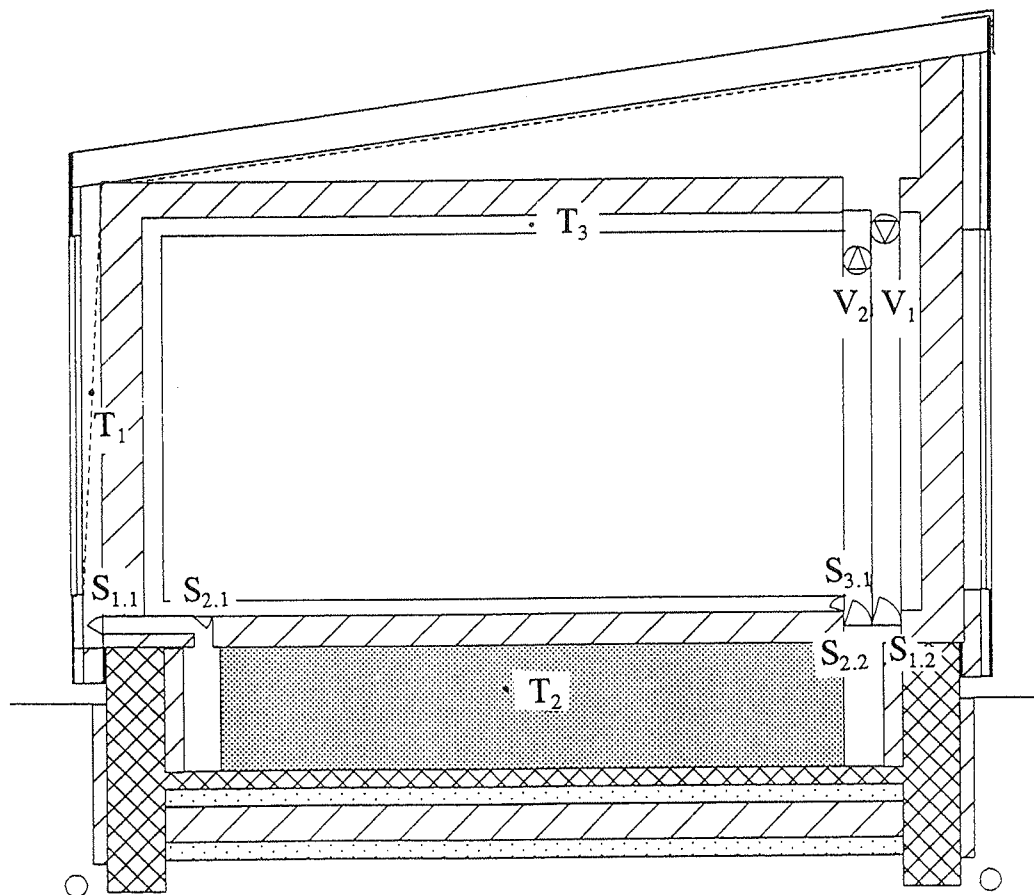
Sorte pile = opvarmning af stenlager

Hvide pile = rumopvarmning

Der er lidt støj, når ventilatorerne er i drift, men i et større hus vil man have mulighed for at placere kanaler og ventilatorer således, at støj ikke vil generer beboerne.

Varmesystemet kan som nævnt opdeles i to separate systemer: Opvarmning af lageret og opvarmning af det indvendige hulrum. Hvilket af de to systemer, der skal køre bestemmes af temperaturen tre forskellige steder. Termoelement 1 (T_1) er placeret på absorberfilteren i det ventilerede hulrum på sydsiden, termoelement 2 (T_2) er stukket ned i stenlageret, og termoelement 3 (T_3) ligger i det indvendige hulrum over loftbeklædningen.

På figur 2.4 er placeringen af ventilatorer (V), spjæld (S) og termofølere (T) skitseret.



Figur 2.4 Placering af ventilatorer, spjæld og termofølere.

Hvis $T_1 - T_2 \geq 0^\circ\text{C}$, vil der foregå en opvarmning af lageret, og ventilatorer og spjæld vil reagere således:

Skema 1: Indstillinger ved opvarmning af lageret.

V_1	V_2	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{3,1}$
tændt	slukket	åben	åben	lukket	lukket	-

Hvis $T_1 - T_2 < 0^\circ\text{C}$ og $T_2 - T_3 \geq 0^\circ\text{C}$ og $T_3 < 20^\circ\text{C}$, vil der foregå en opvarmning af det indvendige hulrum. Ventilatorer og spjæld indstiller sig således:

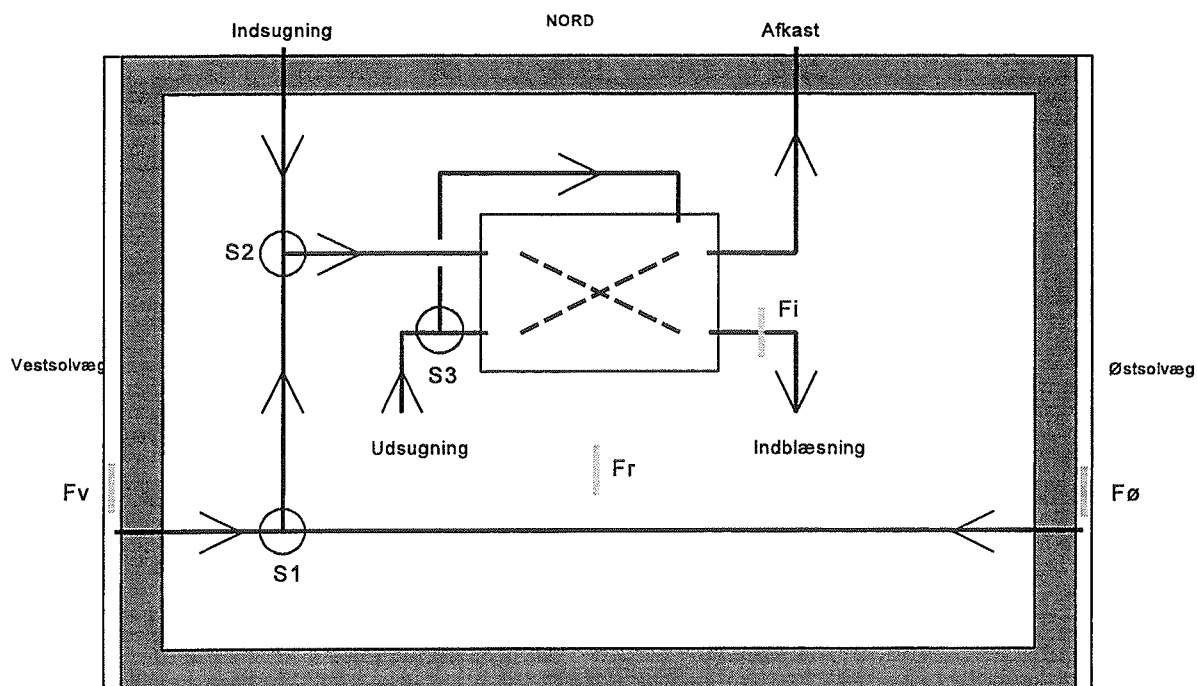
Skema 2: Indstilling ved opvarmning af det indvendige hulrum.

V_1	V_2	$S_{1,1}$	$S_{1,2}$	$S_{2,1}$	$S_{2,2}$	$S_{3,1}$
Slukket	tændt	lukket	lukket	åben	styres	styres

Ventilatorerne og spjældene styres elektronisk. Man har naturligvis mulighed for at ændre setpunkterne på ulighederne, hvis denne styreindstilling ikke fungerer tilfredsstillende, ligesom der er mulighed for at indstille ventilatoren, der blæser luft ned i stenlageret, på tre forskellige hastigheder. Ved opvarmning af hulrum er det angivet i skemaet, at spjældene $S_{2,2}$ og $S_{3,1}$ "styres". Dette bevirker, at såfremt lagerets temperatur er for høj, kan luften herfra blandes med den koldere luft under gulvet, inden den blæses ind i det indvendige hulrum. Det bemærkes, at opvarmningen af lageret og hulrummet ikke kan ske samtidigt.

2.3 Ventilationssystem

Der er installeret et ventilationsanlæg i rummet, der skal medvirke til opretholdelse af et godt indeklima. Ventilationsanlægget består af et komplet ventilationsaggregat (Genvex 200) indeholdende krydsvarmeveksler, indblæsnings- og udsugningsventilatorer, filter og mulighed for by-pass. Derudover består ventilationsanlægget af rørstrækninger, styrespjæld og to ventilerede solvægge, en med orientering mod øst og en med orientering mod vest. På figur 2.5 er der vist en principskitse af ventilationssystemet med markering af spjæld og temperaturfølere til styring af ventilationssystemet.



Figur 2.5 Principskitse af ventilationsanlægget.

Temperaturfølere :

Fr	:	Rumluft temperatur.
Fi	:	Indblæsnings temperatur.
Fø	:	Temperatur i østsolvæg.
Fv	:	Temperatur i vestsolvæg.

Spjæld :

S1	:	Indblæsningsluft tages fra enten øst- eller vestsolvæggen.
S2	:	Indblæsningsluften tages enten fra udeluft eller fra en af solvæggene.
S3	:	By-pass så afkastluften strømmer igennem eller uden om varmeveksleren.

Den tilførte friskluft til rummet kan forvarmes af solvæggene eller den kan tages direkte fra udeluften uden forvarmning.

Afkastluften kan enten varmeveksles med indblæsningsluften inden den bortkastes, eller den kan bortkastes direkte uden varmeveksling med indblæsningsluften.

2.3.1 Styringsstrategi

Ventilationssystemet styres ud fra temperaturen i øst- og vestsolvæggen samt indblæsningstemperaturen og rumlufttemperaturen.

Den ønskede rumtemperatur er sat til 21°C , hvilket ventilationssystemet forsøger at opretholde.

Føleren F_i bestemmer den ønskede indblæsningstemperatur ud fra rumtemperaturen, dvs. hvis rumtemperaturen er på de ønskede 21°C , er den ønskede indblæsningstemperatur også 21°C . Hvis derimod rumtemperaturen er over 21°C , bliver den ønskede indblæsningstemperatur lavere end 21°C og omvendt, hvis rumtemperaturen er lavere end 21°C .

Den ønskede indblæsningstemperatur opnås (hvis det er muligt) ved at styresystemet regulerer på spjældene S_1 , S_2 og S_3 .

Når der er opvarmningsbehov i rummet ($F_r < 21^{\circ}\text{C}$) tages ventilationsluften fra den solvæg (øst eller vest), der har den højeste temperatur. Hvis denne temperatur er højere end rumtemperaturen, varmeveksles indblæsningsluften ikke med afkastluften. Er indblæsningsluftens temperatur derimod lavere end rumluftens, når den kommer fra den varmeste solvæg, vil den blive varmevekslet med afkastluften.

Hvis rummet har den ønskede temperatur, forsøger styringen at regulere på spjældene, så indblæsningsluften også får denne temperatur.

Endeligt hvis der er behov for køling af rummet, er der ingen varmeveksling med afkastluften, og indblæsningsluften tages i første omgang fra den solvæg, der har den laveste temperatur. Hvis dette ikke giver tilstrækkelig kold indblæsningsluft, tages luften direkte fra udeluften, uden den først bliver forvarmet i en solvæg.

3 MÅLINGER

3.1 Beskrivelse af målesystem

I dette kapitel beskrives det anvendte måleudstyr samt målepunktenes placering og formål.

Der er foretaget spotmålinger af lufthastigheder og der er i en periode fra den 19. maj til den 13. juni 1995 løbende foretaget temperatur og solbestrålingsmålinger.

3.1.1 Måleudstyr

Der er foretaget målinger af lufthastigheden gennem indblæsningsventilen til rummet. Målingerne er foretaget ved hjælp af tragt (ALNOR Type AM-300) og varmetrådsanemometer (Wallac Type GGA 23s).

Den totale solbestråling er målt med pyranometre fra Kipp & Zonen, model CM5.

Temperaturmålingerne er foretaget med kobber-konstantan termotråd (Type P-26-TT).

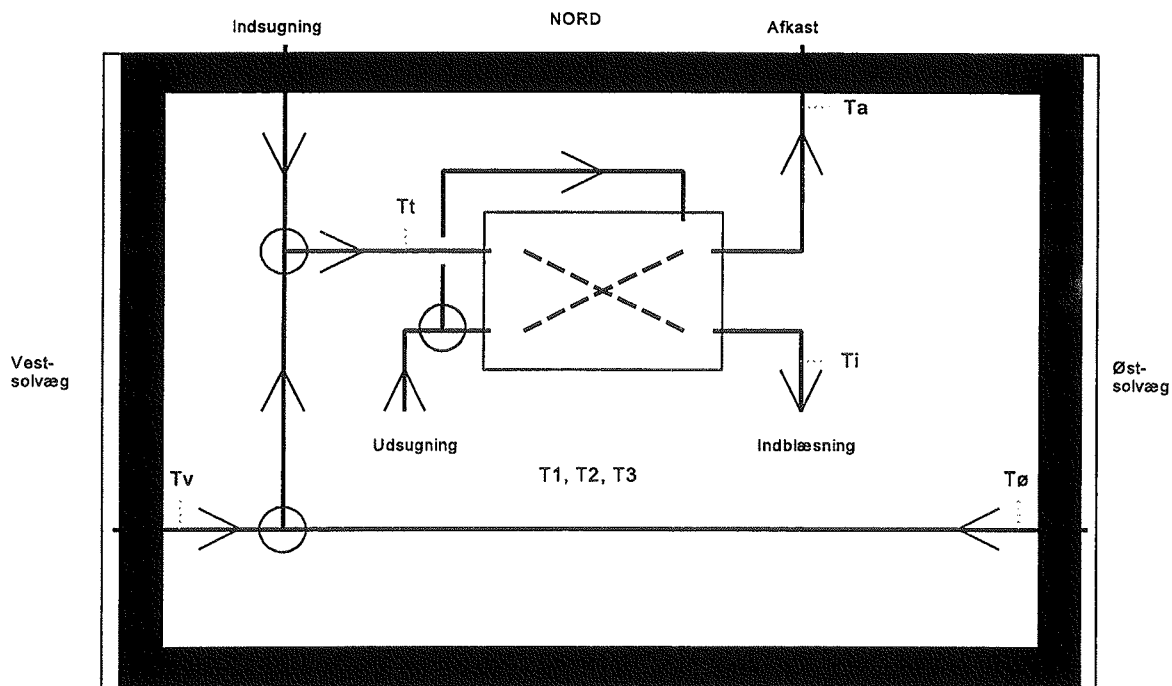
Målingerne opsamles i to Grant Squirrel datalogger serie 1200. Dataloggeren skanner hvert minut og gemmer middelværdierne for hver 5 minutter.

3.1.2 Målepunkter

Der er benyttet termofølere, som er placeret i stenlagret, i solvæggene, i tagsolfangeren, i kanalerne, i de indvendige hulrum, i rummet og i udeluften. Derudover er der benyttet solari-metere placeret mod øst, syd, vest og på taget. Dette måleudstyr er installeret i forbindelse med et tidligere projekt under opførelsen af forsøgshuset, og det er beskrevet i rapporterne: "Solvægshus med integreret varmeanlæg - projektering og opbygning", rapport nr. 92-39 / 1 / og "Solvægshus med integreret varmeanlæg - Målinger og beregninger", meddelelse nr. 263 / 2 /. Der henvises til disse rapporter, for nærmere beskrivelse af dette måleudstyr.

I forbindelse med dette projekt er der som nævnt i kap. 2 installeret et ventilationssystem og nogle termefølere, der vil blive beskrevet i det følgende.

På figur 3.1 er målepunkterne vist, og i efterfølgende skema er der en kort beskrivelse af temperaturmålepunkternes placering og formål.



Figur 3.1 Placering af målepunkter i forbindelse med ventilationssystemet.

Skema 3: Beskrivelse af temperaturmålepunkter.

Føler	Måling	Følerplacering	Formål med måling
T1	Rumlufttemperatur, afkastluftens temperatur ind i varmeveksleren.	Lige under loftet.	Indeklima. Energiforhold for rummet, afkastluften og varmeveksler.
T2	Rumlufttemperatur.	Midt mellem gulv og loft.	Indeklima.
T3	Rumlufttemperatur.	Lidt over gulvet.	Indeklima.
Tø	Lufttemperatur fra østsølvæggen.	I luftkanal lige efter indløb fra østsølvæggen.	Energiforhold for østsølvæggen og ventilationsluften.
Tv	Lufttemperatur fra vestsølvæggen.	I luftkanal lige efter indløb fra vestsølvæggen.	Energiforhold for vestsølvæggen og ventilationsluften.
Tt	Temperatur af friskluften ind i varmeveksleren.	I friskluftkanal lige før varmeveksleren.	Energiforhold for ventilationsluft og varmeveksler.
Ti	Temperaturen af friskluften ind i rummet.	I friskluftindblæsningen til rummet.	Energiforhold for rummet og varmeveksler.
Ta	Temperaturen af afkastluften.	I afkastkanal efter varmeveksler.	Energiforhold for rummet, afkastluften og varmeveksler.

3.2 Måleresultater

I dette afsnit beskrives energiberegninger for solvægshuset og resultaterne heraf.

Energiberegningerne er foretaget ud fra målte temperaturer, ventilationsluftens volumenstrøm og styring af spjældene.

Følgende værdier er benyttet i beregningerne:

$\rho = 1,205 \text{ kg/m}^3$ for massefylden af luft (tør luft ved 20°C , / 3 /)

$C_p = 1007 \text{ J/kg}\cdot^\circ\text{C}$ for varmekapaciteten af luft (tør luft ved 20°C , / 3 /)

$V = 38 \text{ m}^3/\text{h}$ er volumenstrømmen af ventilationsluften.

$V = 1640 \text{ m}^3/\text{h}$ er volumenstrømmen i det ydre system til opladning af stenlageret.

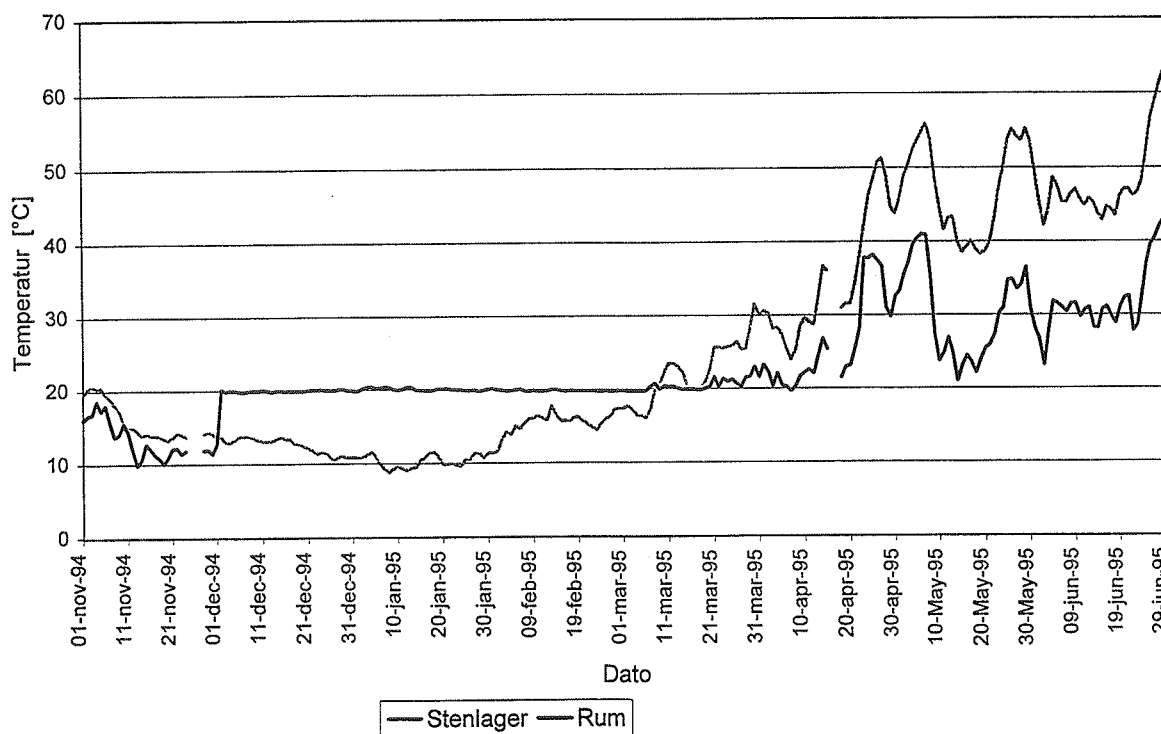
$V = 520 \text{ m}^3/\text{h}$ er volumenstrømmen i det indre system til afladning af stenlageret.

$A_o = A_v = A_s = 10,6 \text{ m}^2$ er arealet af solvæggene mod henholdsvis øst, vest og syd.

$A_t = 33,45 \text{ m}^2$ er arealet af den transparente del af tagfladen.

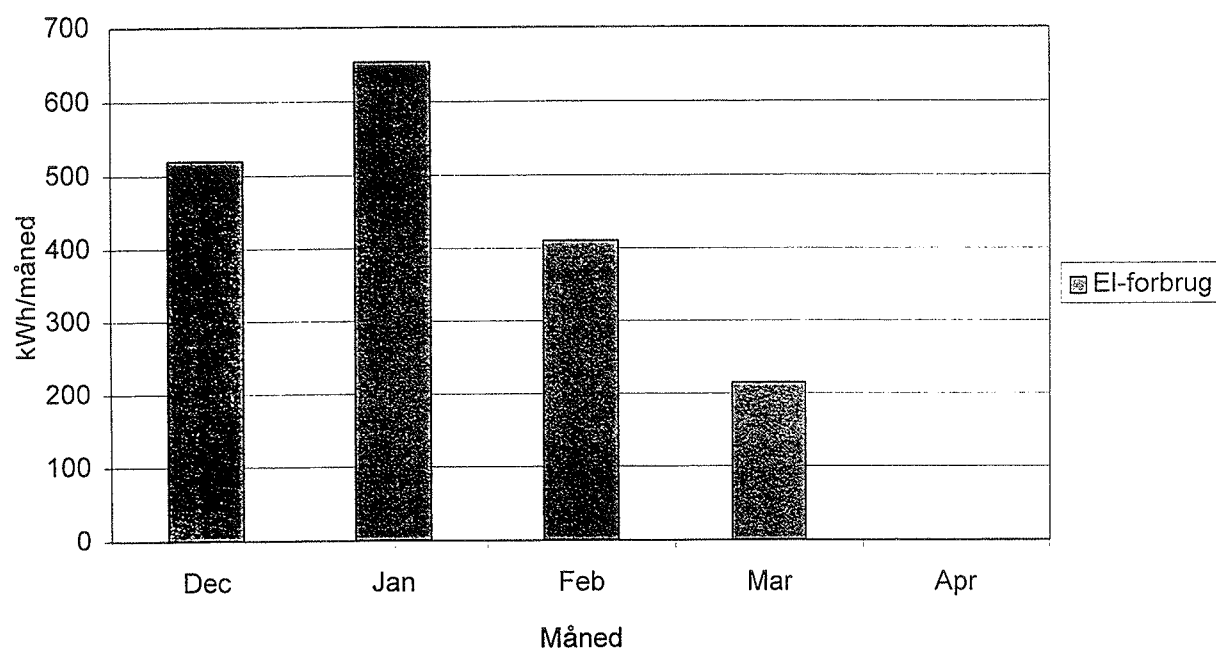
3.2.1 Indeklima

Figur 3.2 viser døgnmiddeltemperaturen i rummet og i stenlageret. Hullerne i graferne skyldes manglende måledata.



Figur 3.2 Døgnmiddeltemperaturen i rummet og i stenlageret.

For at opretholde en temperatur i rummet på 20°C, er der installeret en el-radiator i rummet. El-radiatoren har været tilsluttet i perioden 1. december 1994 til 31. marts 1995. El-radiatorens energiforbrug er vist i figur 3.3.



Figur 3.3 Effekt afsat i el-radiatoren i rummet.

Af figur 3.2 fremgår det, at temperaturen i stenlageret i perioden fra 1. november til 5. marts ikke har haft et niveau, som har kunnet anvendes til rumopvarmning.

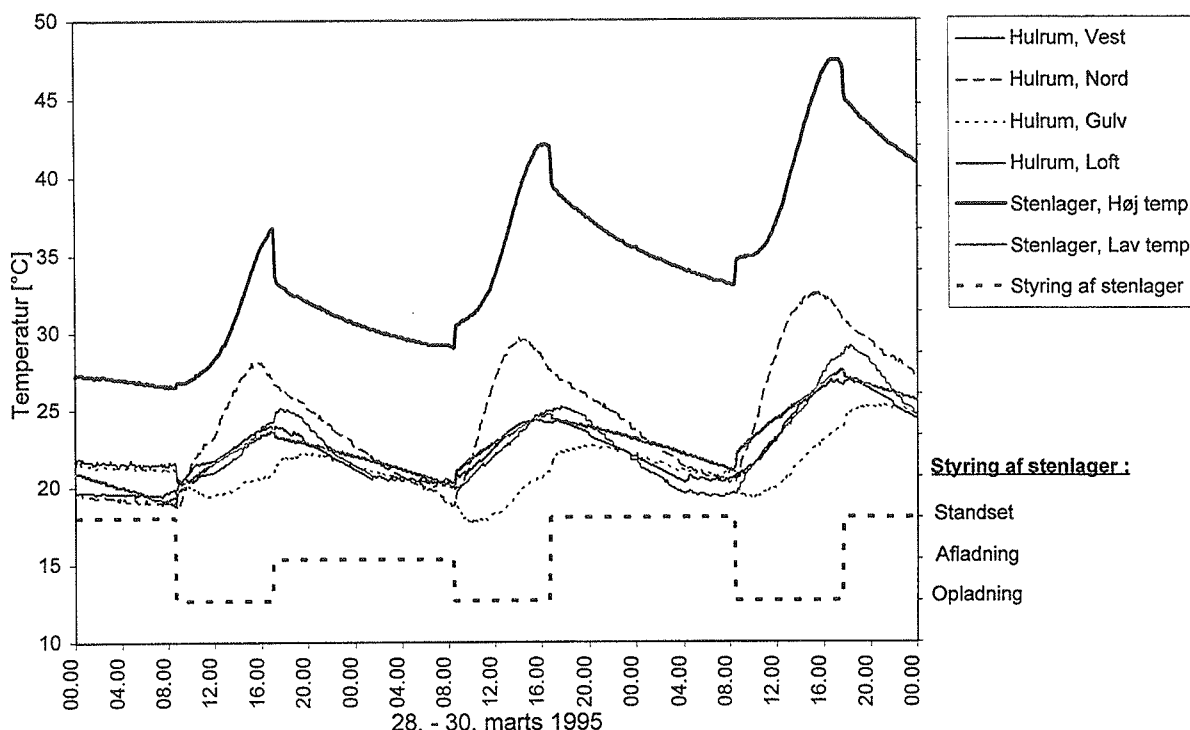
Det fremgår, at det er en forholdsvis kort periode fra ca. 5. marts til ca. 20. april og herefter i kortere perioder, at der er et opvarmningsbehov samtidigt med, at der kan leveres varme fra stenlageret.

Fra 5. marts sker der en gradvis stigning i stenlagertemperaturen fra ca. 20°C til over 60°C i slutningen af juni.

Det ses, at rumtemperaturen i denne periode følger stenlagertemperaturen dog på et niveau 10-20°C under.

De høje temperaturer i rummet skyldes flere faktorer. Der er en energitilførsel ved solstråling gennem vinduerne. Når der er et stort solindfald og temperaturen i solvæggene derfor bliver høje, kommer der et bidrag som følge af ledning gennem konstruktionsdelene. Der er også energitilførsel til rummet gennem gulvet ved ledning fra stenlageret. Denne energitilførsel er dog forholdsvis lille, da rummet er adskilt fra stenlageret med 200 mm Rockwool.

At rumtemperaturen følger stenlagertemperaturen så nøje, skyldes i højere grad det solindfald, der er gennem vinduerne og sandsynligvis også, at der sker en utilsigtet sivning fra stenlageret til de indre hulrum (opvarmningssystemet), når det ydre system (opladning af stenlager) er i drift. Det sidste underbygges af figur 3.4, der viser, at temperaturen i de indvendige hulrum stiger betydeligt i de perioder, hvor der foregår en opladning af stenlageret.

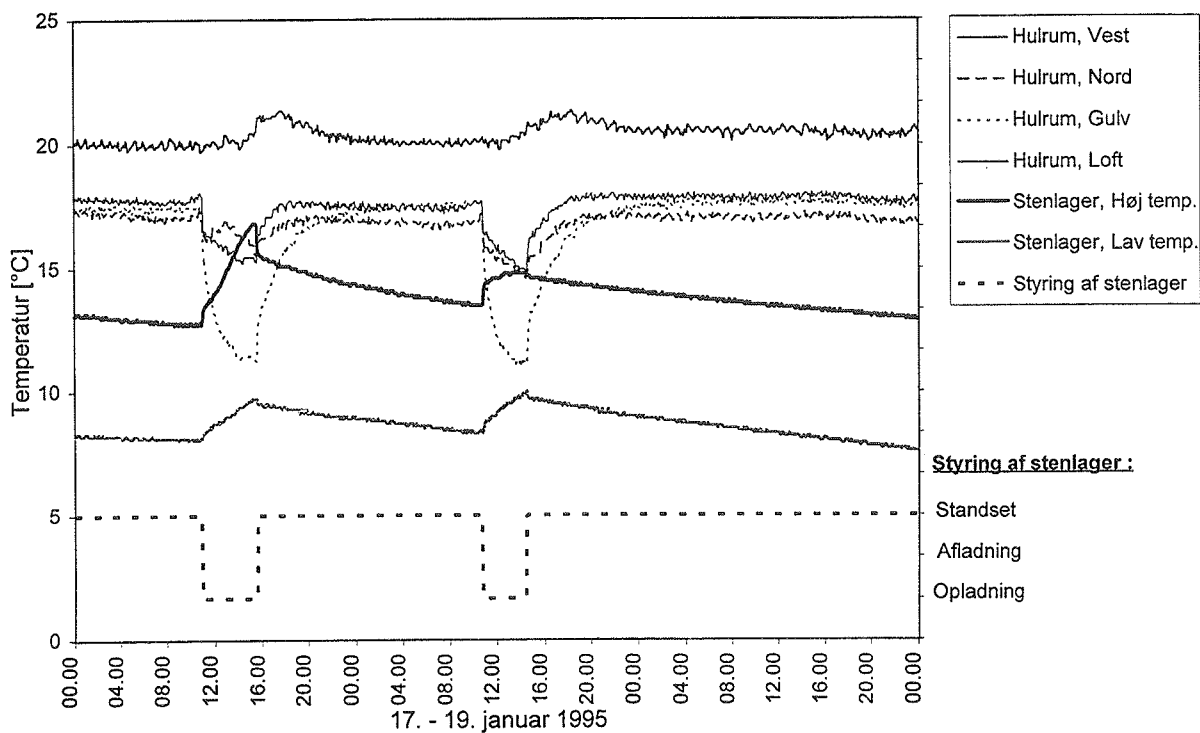


Figur 3.4 Utilsigtet sivning i opvarmningssystemet når opladningssystemet er i drift.

Tilsvarende ses af figur 3.5 for en periode med lav stenlagertemperatur. Her falder temperaturen i de indvendige luftspalter, når der er foregår en opladning af stenlageret.

Den utilsigtede sivning i de indvendige hulrum, når der sker en opladning af stenlageret, har altså den uheldige effekt, at der sker en opvarmning af rummet, når der ikke er et opvarmnings behov, og en afkøling af rummet, når der er et behov for opvarmning.

Konklusionen er, at systemet skal udformes, så den utilsigtede sivning ikke kan forekomme. Dette kan f.eks. gøres ved, at systemerne til op- og afladning af stenlageret føres i færdige ventilationsrør til og fra stenlageret og med færdige ventilationsspjæld, der kan lukke helt tæt, så de to systemer er adskilt.



Figur 3.5 Temperatur i indvendigt hulrum og stenlager samt styringen af stenlager.

3.2.2 Stenlager

Beregningen af Solstrålingen på solfangeren mod syd, $Q_{sol,S}$, og på taget, $Q_{sol,T}$ i de perioder, hvor systemet til opladning af stenlageret er i drift.

$$Q_{sol,S} = A_S \cdot I_S \cdot \Delta t / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

$$Q_{sol,T} = A_T \cdot I_T \cdot \Delta t / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

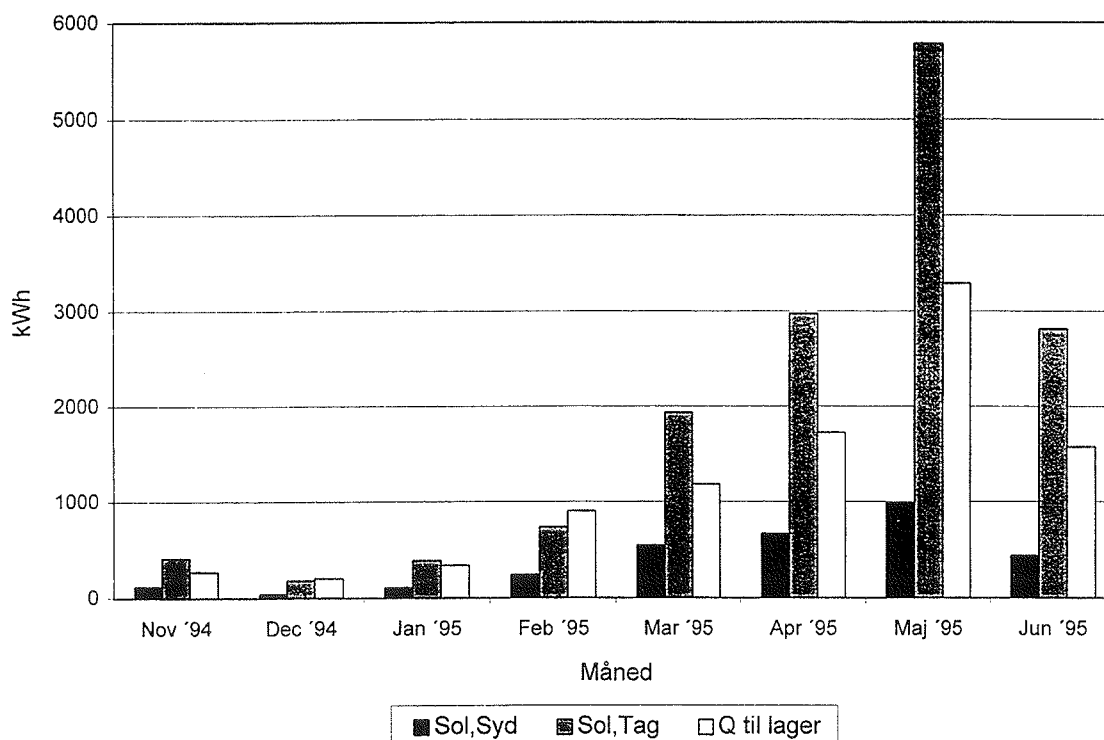
A_S	: Arealet af solfangeren mod syd.	[m ²]
I_S	: Solbestrålingsstyrken målt mod syd.	[W/m ²]
A_T	: Arealet af taget.	[m ²]
I_T	: Solbestrålingsstyrken målt på taget.	[W/m ²]
Δt	: Tiden som systemet til opladning af stenlageret er i drift.	[s]

Energitilførslen til **stenlageret under opladning**, $Q_{\text{lager,oplad}}$ er beregnet ud fra volumenstrømmen af luft gennem stenlageret samt de målte temperaturer af luften ind og ud af stenlageret. Det antages, at volumenstrømmen af luft i opladningssystemet er konstant under opladning af stenlageret. Volumenstrømmen gennem stenlageret er målt til 1640 m³/h.

$$Q_{\text{lager,oplad}} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{ind}} - T_{\text{ud}}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [\text{kWh}]$$

T_{ind} : Temperaturen af luften ind i stenlageret. [°C]
 T_{ud} : Temperaturen af luften ud af stenlageret. [°C]
 V : Volumenstrømmen af luften gennem stenlageret. [m³/h]

I figur 3.6 er resultatet af beregningerne af solstrålingen på sydsolfangeren og på tagsolfangeren vist sammen med energitilførslen til stenlageret.



Figur 3.6 Solstrålingen på syd- og tagsolfangeren samt energitilførslen til stenlageret.

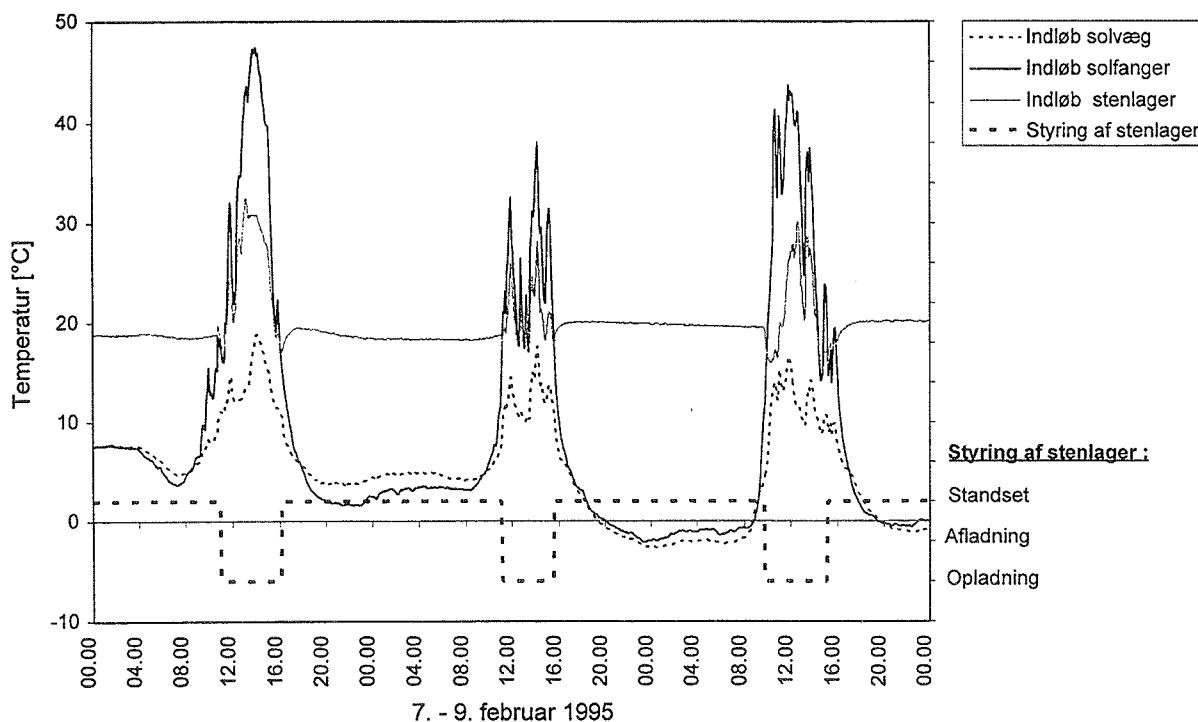
Det ses, at stort set alt den energi, solen tilfører solfangerne bliver overført til stenlageret i månederne november til februar. På trods af det er, den energimængde der tilføres til stenlageret begrænset, og stenlagertemperaturen bliver da heller ikke høj nok til at kunne bruges til rumopvarmning.

I den følgende periode bliver den energimængde, der tilføres fra solen betydeligt større end

den, der tilføres til stenlageret. Det skyldes, at temperaturen i solfangerne samt i stenlageret bliver høj, og dermed falder virkningsgraden. Der tilføres dog stadig store energimængder til stenlageret.

Styringen af opladningen af stenlageret er baseret på en temperaturføler, der er placeret øverst i solfangeren mod syd. Når denne temperatur bliver højere end temperaturen i den kolde ende af stenlageret, starter opladningen af stenlageret. Placeringen af føleren øverst i sydsolfangeren har vist sig ikke at være den mest hensigtsmæssige. I de perioder (sene efterår, vinter og tidlige forår), hvor solen står lavt på himlen, vil føleren blive opvarmet og opladningen af stenlageret begynde. Da solen står lavt, er der ikke megen solstråling på tagsolfangeren og den varme luft, der kommer fra sydsolfangeren, bliver afkølet i tagsolfangeren, inden den strømmer ned i stenlageret.

I figur 3.7 ses det, at temperaturen af luften fra tagsolfangeren ind i stenlageret er lavere end temperaturen af luften fra sydsolfangeren ind i tagsolfangeren i de perioder, hvor opladningen foregår. Der sker altså en afkøling af luften i tagsolfangeren.



Figur 3.7 Temperaturer i opladningssystemet til stenlageret.

3.2.3 Ventilation

Der er foretaget energiberegninger for de enkelte dele i ventilationssystemet. Ventilationssystemet består af ventilerede solvægge mod øst og vest, et ventilationsaggregat og et

styresystem. Ventilationsaggregatet har en krydsvarmeveksler med mulighed for by-pass. Styresystemet bestemmer hvor friskluften skal tages fra (øst, vest eller nord), og om friskluften skal varmeveksles med afkastluften eller ej (by-pass).

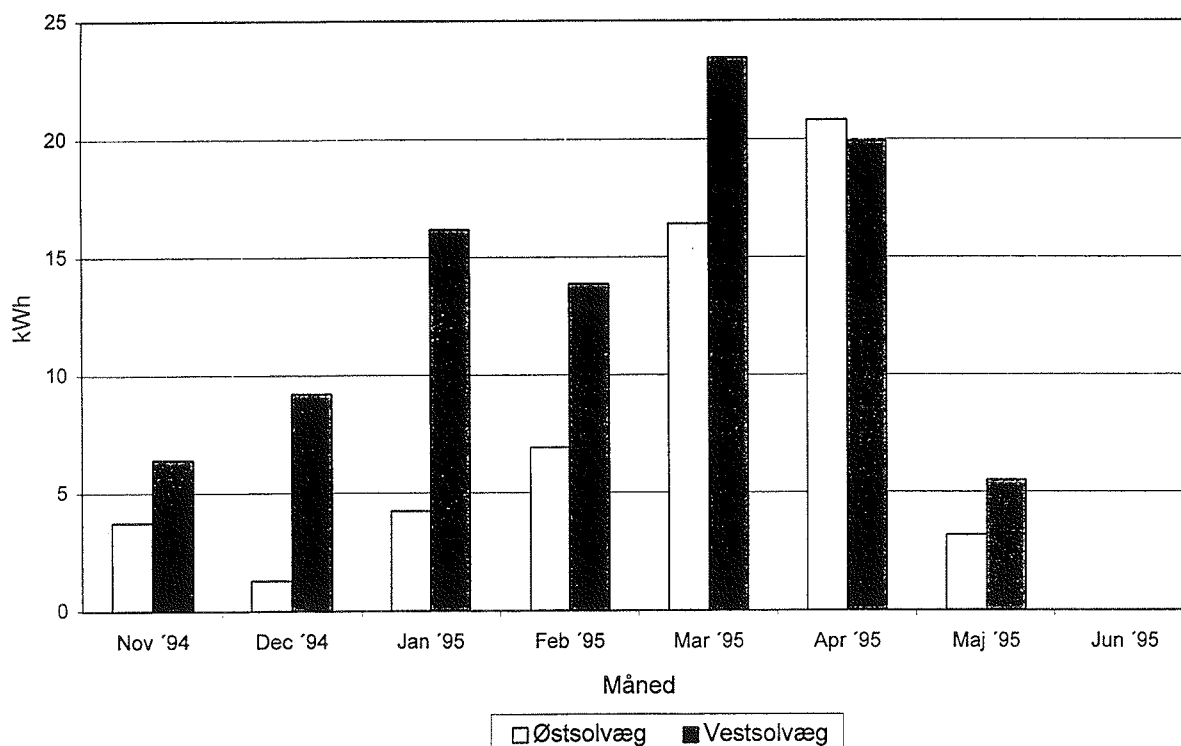
Energitilførslen til friskluften i solvæggene mod øst, $Q_{\text{solvæg},\emptyset}$, og i solvæggene mod vest, $Q_{\text{solvæg},V}$, er beregnet ud fra udelufttemperaturen og lufttemperaturen efter gennemløb af solvæggen samt volumenstrømmen af luft gennem solvæggen. Volumenstrømmen gennem den solvæg, der tages friskluft fra er 38 m³/h. Når der ikke tages friskluft fra en solvæg, er volumenstrømmen nul.

$$Q_{\text{solvæg},\emptyset} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{ud},\emptyset} - T_{\text{udeluft}}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{\text{solvæg},V} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{\text{ud},V} - T_{\text{udeluft}}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [\text{kWh}]$$

T_{udeluft}	: Udelufttemperatur.	[°C]
$T_{\text{ud},\emptyset}$	: Lufttemperatur efter gennemløb af solvæggen.	[°C]
$T_{\text{ud},V}$	: Lufttemperatur efter gennemløb af solvæggen.	[°C]
V	: Volumenstrøm gennem solvæggen.	[m ³ /h]

I figur 3.8 vises resultatet af beregningerne af energitilførslen til friskluften i øst- og vestsolvæggene.



Figur 3.8 Tilførsel af energi fra solen til friskluften i øst- og vestsolvæggen.

Det ses, at der er en betydeligt større energitilførsel til friskluften i vestsolvæggen end i østsolvæggen i månederne november til marts. Det skyldes, at friskluften for det meste tages fra vestsolvæggen om natten, hvor der sker en lille opvarmning af luften, selv når der ingen solbestråling er. Den største energitilførsel til friskluften i solvæggene sker i marts og april, hvorefter den falder drastisk. Det skyldes, at der fra maj og sommeren igennem kun er et meget begrænset behov for opvarmning i rummet. Derimod er et behov for køling, hvorfor friskluften hentes direkte fra det fri på nordsiden af huset.

Den samlede energitilførsel til friskluften i solvæggene mod øst og vest er vist i følgende skema.

Skema 4: Energitilførslen til friskluften.

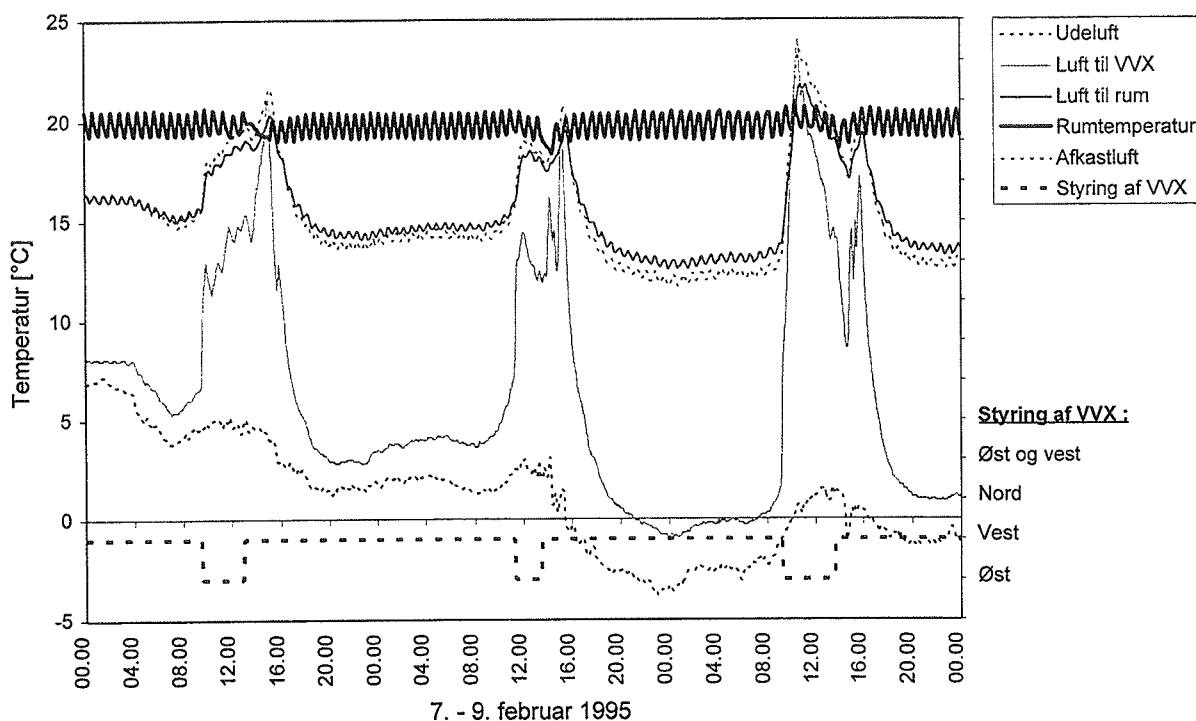
Måned	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun
Energitilførsel til friskluften i solvæggene. [kWh/måned]	10,1	10,5	20,4	20,8	39,8	40,7	8,7	0,0

Hvis temperaturen i rummet havde været på et acceptabelt niveau (20 - 25°C) efter marts måned, må det formodes, at energitilførslen til friskluften i solvæggene ville have været større. I stedet for at køle rummet ville man kunne udnytte varmen fra solvæggene i en længere periode. Man kan også sige, at ventilationssystemet med forvarmning af friskluften i

solvæggene og opvarmningssystemet med stenlageret er konkurrerende systemer. For at få den bedste udnyttelse af begge systemer kræver det et styresystem, der kan prioritere, hvornår det skal udnytte energien fra det ene eller det andet anlæg.

I de følgende to figurer er der set nærmere på temperaturforløbet i ventilationssystemet.

Figur 3.9 viser tre vinterdage fra den 7. til den 9. februar.

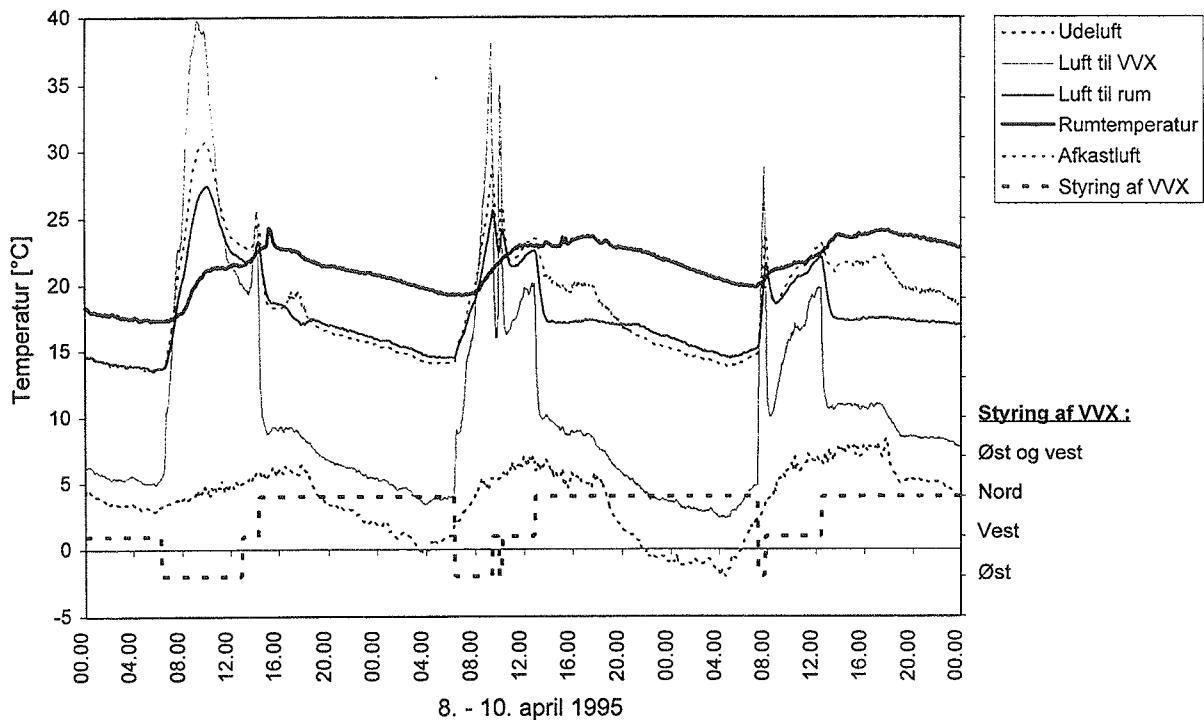


Figur 3.9 Temperaturer i ventilationssystemet.

Rumtemperaturen ses at svinge omkring 20°C. Svingningerne skyldes el-radiatoren, der opvarmer rummet. Styringen viser, at friskluften tages fra den solvæg, der er varmest, da der er opvarmningsbehov i rummet. "Luft til VVX" er den temperatur, friskluften har, inden den strømmer ind i varmeveksleren. Det ses, at der er sket en opvarmning af friskluften i forhold til udeluften i solvæggene. Specielt om dagen, hvor der er sol, sker der en betydelig opvarmning af luften, men også om natten bliver luften varmet lidt op. "Luft til rum" er friskluftens temperatur, når den bliver tilført til rummet, efter den har været igennem varmeveksleren. Det ses, at der sker en betydelig opvarmning af friskluften i varmeveksleren især om natten, men også om dagen bliver temperaturen hævet yderligere nogle grader ud over det, den allerede er blevet hævet i solvæggene.

Solvæggene og varmeveksleren er konkurrerende elementer, så effektiviteten af varmeveksleren falder om dagen, hvor friskluften bliver opvarmet i solvæggene. I varmeveksleren afkøles afkastluften fra rumtemperaturen og til den temperatur, der i figuren er vist som "Afkastluft".

Figur 3.10 viser temperaturprofiler i tre forårsdage fra den 8. til den 10. april.



Figur 3.10 Temperaturer i ventilationssystemet.

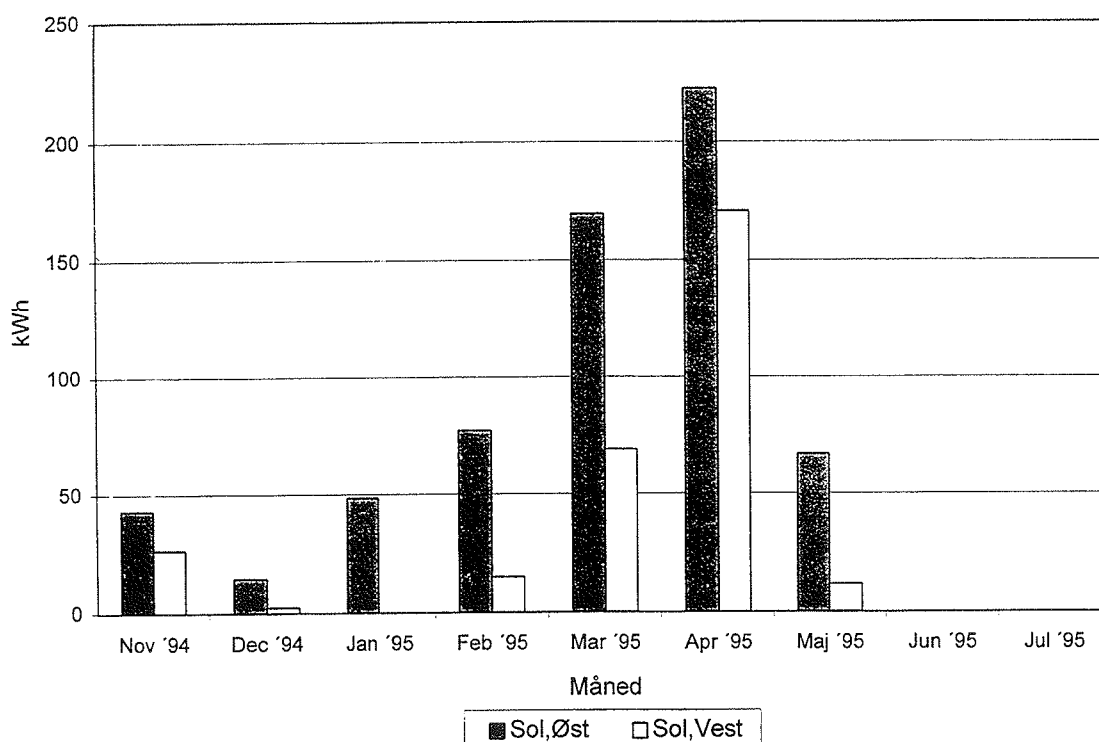
Rumtemperaturen i denne periode ligger også omkring 20°C, men har i modsætning til vinterperioden en døgnsvingning. Der er ingen opvarmning med el-radiator i denne periode. "Styring af VVX" viser, at friskluften en stor del af tiden tages fra nord, dvs. at friskluften tages direkte fra udeluften uden opvarmning i solvæggene. Ventilationssystemet forsøger i disse perioder at køle rummet. Betragter man temperaturen af "Luft til VVX", "Luft til rum" og "Afkastluft" den 8. april om formiddagen ses det, at temperaturen af friskluften ind i varmeveksleren er betydeligt højere end temperaturen af friskluften til rummet, og at afkastluftens temperatur ligger mellem disse to. Der sker altså en afkøling af friskluften og en opvarmning af afkastluften i varmeveksleren. Det skyldes, at friskluften efter passage af solvæggen er betydeligt varmere end rumluften.

Solstrålingen på solvæggen mod øst, $Q_{sol,\emptyset}$, og vest, $Q_{sol,V}$ i de perioder, hvor friskluften bliver trukket gennem den pågældende solvæg, bliver beregnet efter følgende formler.

$$Q_{sol,\emptyset} = A_{\emptyset} \cdot I_{\emptyset} \cdot \Delta t / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

$$Q_{sol,V} = A_V \cdot I_V \cdot \Delta t / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

- $A_\emptyset$: Arealet af solvæggen mod øst. [m²]
 $I_\emptyset$: Solbestrålingsstyrken mod øst målt. [W/m²]
 A_V : Arealet af solvæggen mod vest. [m²]
 I_V : Solbestrålingsstyrken målt mod vest. [W/m²]
 Δt : Tiden som ventilationsluften trækkes gennem solvæggen. [s]



Figur 3.11 Solbestrålingen på øst- og vestsolvæggene i de perioder den pågældende solvæg er ventileret.

Det ses, at solbestrålingen er betydeligt større end energiudbyttet fra solvæggene, se figur 3.8. Det skyldes tildels, at ikke al solenergien kommer igennem dæklaget og ind i solvæggen.

I ventilationsaggregatets varmeveksler sker der en overførsel af energi fra afkastluften til friskluften.

Energitalet fra **afkastluften** i ventilationsaggregatet, $Q_{afkast, VVX}$, er beregnet ud fra temperaturen af henholdsvis afkastluften ind og ud af ventilationsaggregatet samt volumenstrømmen af afkastluften.

$$Q_{afkast,VVX} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ind} - T_{ud}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

T_{ind} : Temperatur af afkastluft ind i ventilationsaggregatet. [°C]

T_{ud} : Temperatur af afkastluft ud af ventilationsaggregatet. [°C]

V : Volumenstrøm af afkastluft. [m³/h]

Energitilførslen til **friskluften** i ventilationsaggregatet, $Q_{friskluft,VVX}$, er beregnet ud fra temperaturen af friskluften ind og ud af ventilationsaggregatet samt volumenstrømmen af friskluften gennem ventilationsaggregatet.

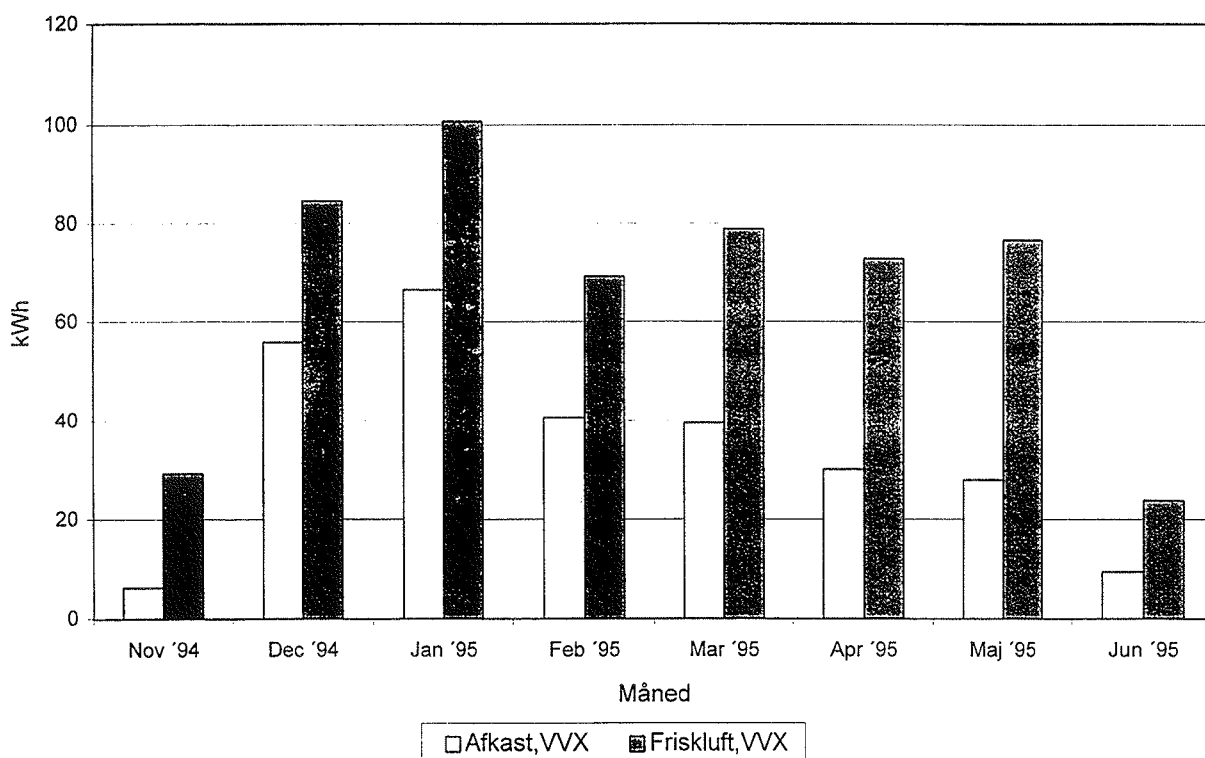
$$Q_{friskluft,VVX} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ud} - T_{ind}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

T_{ind} : Temperatur af friskluften ind i ventilationsaggregatet. [°C]

T_{ud} : Temperatur af friskluften ud af ventilationsaggregatet. [°C]

V : Volumenstrøm af friskluften. [m³/h]

Figur 3.12 viser resultaterne af beregningerne af energitabet fra afkastluften og den energitilførsel til friskluften, der sker i varmeveksleren.



Figur 3.12 Energioverførslen i varmeveksleren.

Det ses, at man får den største energitilførsel til friskluften i de kolde måneder, hvor der er størst forskel mellem inde- og udetemperaturen. November ses at være en undtagelse, det skyldes, at rumtemperaturen i november (se figur 3.2) har været betydeligt under, hvad der er acceptabelt, da der ikke har været nogen opvarmning i rummet.

Derudover ses det, at der tilføres betydeligt mere energi til friskluften, end der tages fra afkastluften. Det skyldes, at motorerne i ventilationsaggregatet er placeret, så både friskluften og afkastluften får tilført energi (fra motorerne), efter at de har passeret krydsvarmeveksleren. Det vil sige, at temperaturforskellen for friskluften bliver større over ventilationsaggregatet, mens temperaturforskellen for afkastluften bliver mindre.

Ventilatorerne i ventilationsaggregatet har et el-forbrug på $2 \cdot 25 \text{ W}$. Det svarer til en forskel mellem $Q_{afkast, VVX}$ og $Q_{friskluft, VVX}$ på ca. 36 kWh pr. måned, hvilket svarer nogenlunde til forskellen, der fremgår af figur 3.12.

Ventilationsluftens påvirkning på energibalancen for rummet er afhængig af det system, der forvarmer ventilationsluften, inden den blæses ind i rummet. Idet følgende er der foretaget en beregning af varmevekslerens betydning.

Energitilskud til rummet med ventilationsluften med varmeveksler, $Q_{Med VVX}$, er beregnet ud fra volumenstrømmen af ventilationsluften samt de målte temperaturer af luften til rummet og afkastluftens temperatur.

$$Q_{Med VVX} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ind} - T_{ud}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [\text{kWh}]$$

T_{ind}	: Temperaturen af friskluften til rummet.	[°C]
T_{ud}	: Temperaturen af afkastluften.	[°C]
V	: Volumenstrømmen af ventilationsluften.	[m ³ /h]

Energitilskud til rummet med ventilationsluften uden varmeveksler, $Q_{Uden VVX}$, er beregnet ud fra volumenstrømmen af ventilationsluften samt de målte temperaturer af friskluften til varmeveksleren og den øverste rumlufttemperatur, som ville have været temperaturen af afkastluften, hvis der ingen varmeveksler havde været. Temperaturen af friskluften til varmeveksleren er her defineret på tre måder: 1) Som temperaturen fra den solvæg der bliver suget fra. 2) Som middeltemperaturen af luften fra begge solvægge, hvis der bliver suget fra begge solvægge samtidigt. 3) Som udelufttemperaturen, hvis friskluften tages direkte udefra.

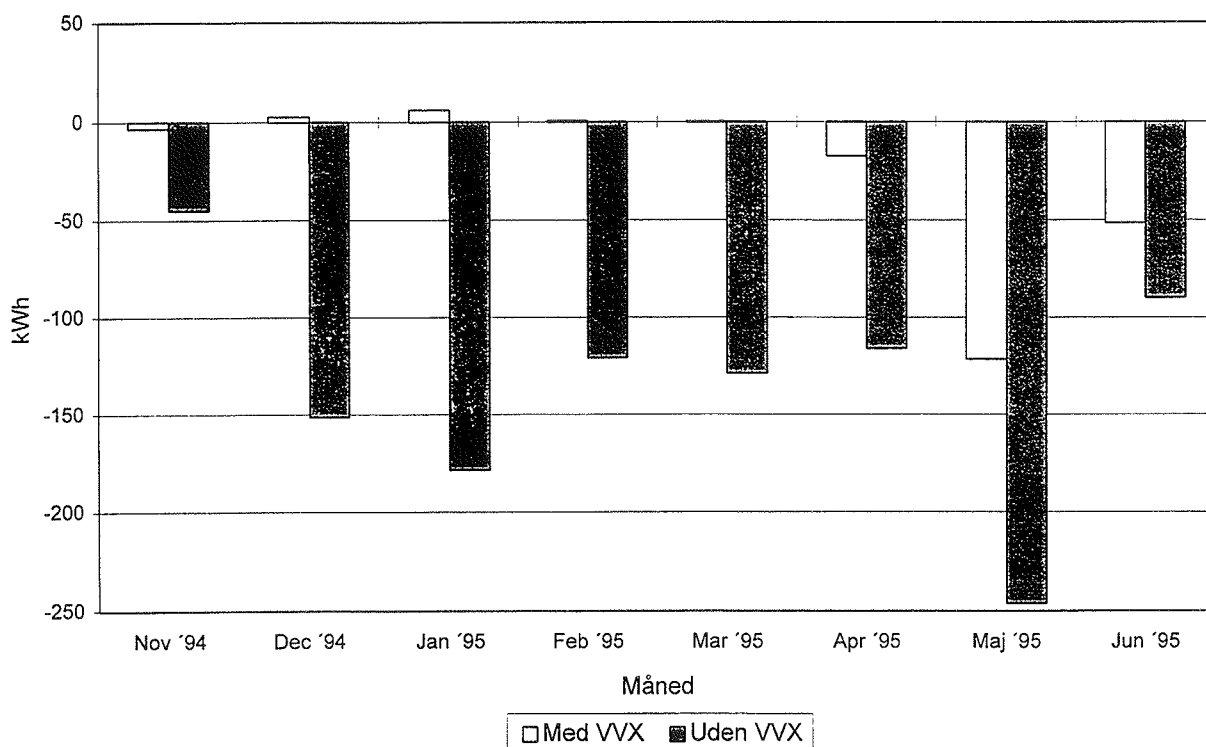
$$Q_{UdenV VX} = V \cdot \rho \cdot C_p \cdot (T_{ind} - T_{ud}) / 3,6 \cdot 10^6 \quad [kWh]$$

T_{ind} : Temperaturen af luften fra solvæggene eller udeluften. [°C]

T_{ud} : Temperaturen af den øverste rumlufttemperatur. [°C]

V : Volumenstrømmen af ventilationsluften. [m³/h]

Figur 3.13 viser det energitilskud, der er til rummet fra ventilationsluften med og uden varmeveksler beregnet som beskrevet.



Figur 3.13 Energitilskud til rummet med og uden varmeveksler.

Det ses, at systemet med solvægge og varmeveksler på månedsbasis stort set ikke påvirker energibalancen for rummet. I vintermånederne er der en tilførsel af energi med friskluften til rummet, hvorved energiforbruget til opvarmning bliver gjort mindre.

Energiforbruget til opvarmning af friskluft ville have været betydeligt større, hvis der kun havde været solvægge, men ingen varmeveksler.

Beregningerne for april, men specielt maj og juni viser et betydeligt energitab fra rummet med ventilationsluften. Det skyldes, at rumtemperaturen i disse måneder har været så høje, (over 25°C i store dele af tiden), at ventilationssystemet har forsøgt at køle rummet, dvs. at temperaturen af afkastluften har været højere end temperaturen af friskluften.

3.3 Sammenfatning

Ud fra målingerne og erfaringerne fra forsøgshuset kan man drage en række konklusioner, der kan være nyttige i forbindelse med opførelse af et fuldskalahus.

Med et opvarmningssystem som det i forsøgshuset har det vist sig, at det er yderst vigtigt, at systemet til opladning af stenlageret (det ydre system) og systemet til opvarmning af rummet (det indre system) udformes, så der ikke kan forekomme utilsigtet sivning i det ene system, mens det andet system er i drift.

Placeringen øverst i sydsolvæggen af temperaturføleren til styring af opladningen af stenlageret har vist sig ikke at være den mest hensigtsmæssige, da der i perioder, hvor solen står lavt på himlen, kan ske en afkøling af stenlageret istedet for en opvarmning. Føleren bør istedet placeres i tagsolfangeren.

Da ventilationsystemet med forvarmning af friskluft i solvæggene og opvarmningssystemet er konkurrerende systemer, bør der, for at få den bedste udnyttelse af begge systemer, være et styresystem, der kan prioriterer, hvornår det ene eller det andet anlæg skal udnyttes.

Solvæggene og varmeveksleren i ventilationssystemet er ligeledes konkurrerende elementer, men et system uden en varmeveksler vil medføre et betydeligt større energiforbrug til opvarmning af ventilationsluft. Så i forbindelse med et ventilationssystem bør der under alle omstændigheder være en varmeveksler.

Resultaterne fra ventilationsanlægget i forsøgshuset viser i perioden december-marts, hvor der har været et opvarmningsbehov i rummet, at det med kombinationen af solvægge og varmeveksleren har været muligt at dække energibehovet, der kræves for at opvarme friskluften. Energitilførslen til friskluften er hovedsageligt sket i varmeveksleren, mens solvæggenes bidrag har været begrænset. I følgende skema er energitilførslen til ventilationsluften vist.

Skema 5: Nøgletal fra figur 3.8 og figur 3.13

Måned	KWh/måned			
	Dec	Jan	Feb	Mar
Energitilførsel i solvæggene	11	20	21	40
Energitilførsel i varmeveksleren	154	185	122	129
Energitilførsel fra friskluften til rummet	3	7	1	0

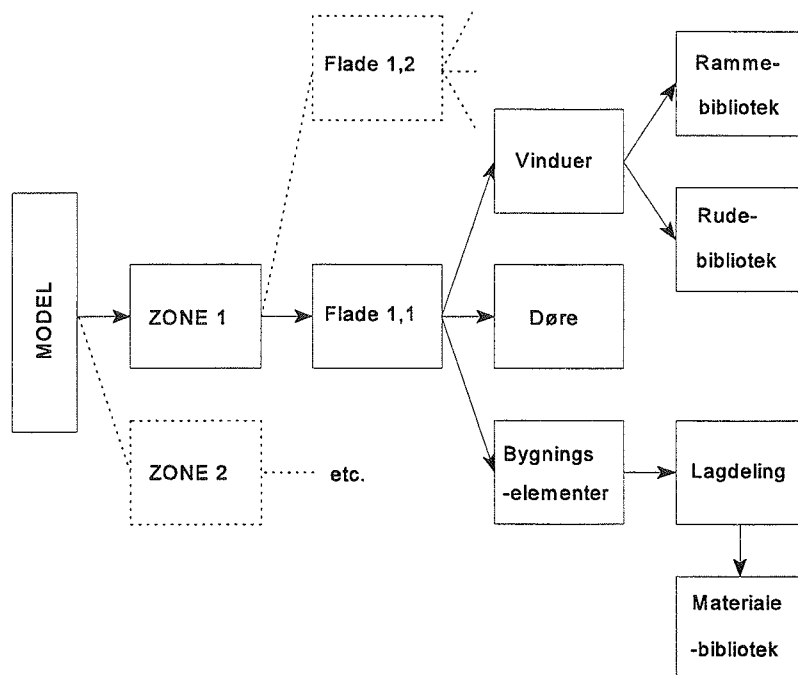
4 BEREGNINGSVÆRKTØJ

I dette kapitel gives først en kort introduktion til de beregningsprogrammer, der er benyttet til simuleringer af bygningens energiforbrug og indeklima. Derefter er der en beskrivelse af den model, der er opbygget i beregningsprogrammet til simulering af bygningen.

4.1 tsbi3

Til brug ved vurderingen af indeklimaet anvendes edb-programmet tsbi3 / 4 /, udviklet af Statens Byggeforskningsinstitut. tsbi3 (Termisk Simulering af Bygninger og Indeklima), er beregnet til brug på en almindelig DOS-baseret computer. tsbi3 kan regne på en model bestående af flere rum uden forudgående håndberegninger. I programmet medtages alle konstruktionselementer i den termiske beregning, idet de beskrives detaljeret ved materialernes densitet, varmekapacitet, varmeledningsevne og soltransmittans. Endvidere kan der defineres forskellige installationer med tilhørende reguleringstabeller og tidsprofiler. tsbi3 indeholder ikke muligheder for at medregne energibidrag fra solfangere og stenlagre.

Der er tale om et stort antal parametre som programmet skal have opgivet. Dette bliver lettet ved at indtastninger af data foregår i en række "pop-up" -menuer, hvor brugeren har mulighed for, på en overskuelig måde, at indtaste parametrene, se figur 4.1.



Figur 4.1 Princippet i opbygningen af tsbi3.

4.2 EMGP3

EMGP3 / 5 / er et simuleringsprogram til beregning af rørsystemer med solfangere, radiatorer, lagre og kedler.

Som input til dette program defineres en matematisk model af det system, man ønsker at analysere. EMGP3 stiller en række elementer, måleinstrumenter, følere og påtrykte funktioner til rådighed. En påtrykt funktion kan f.eks. være solstråling på en flade eller et varmebehov i en bygning. Ved hjælp af følere opstilles en styring af systemet, det vil sige, at det skal angives hvilke elementer og instrumenter, der er i funktion, når følerne er hhv. slået til og fra.

Programmet er ikke direkte beregnet til brug i forbindelse med bygningsanalyser. Det er f.eks. ikke muligt at definere en egentlig rummodel. Et rum kan kun defineres som et element med en varmekapacitet og et varmetab til omgivelserne, hvilket gør det muligt at beregne én indetemperatur, der er gældende for hele rummet.

Der findes ikke mange edb-programmer, der kan regne på en rummodel og på luftsolfangere på samme tid. Disse specielle forhold er til stede i dette projekt, som gør EMGP3 egnet til at beregne udbyttet af en bygningsintegreret solfanger med tilhørende stenlager.

4.3 EMGP3-model

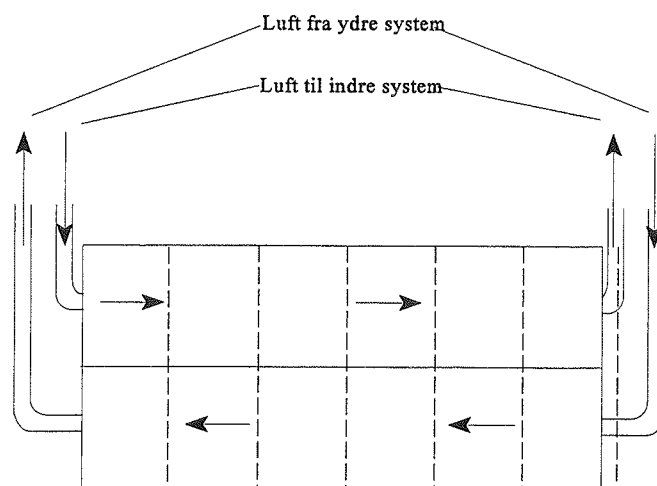
Solvægshuset simuleres i EMGP3 ved hjælp af bygningselementer, der beskriver de egentlige rum og hulrum i huset. I rum, hvor der er defineret vinduer, medregnes det solindfald, der bidrager til opvarmningen. Rummene har varmetab til de udendørs omgivelser - gennem vinduer og døre og varmeveksling med hulrummene. Hulrummene har varmetab til de udendørs omgivelser, varmeveksling med rummene, og får et varmetilskud i form af bagsidetab fra solvægge/solfangere.

Stenlageret under huset simuleres ved to separate stenlagre, der hver især består af et antal lag med tilknyttede rørelementer til transport af luften. Lagdelingen er foretaget for at opnå et mere nuanceret billede af temperaturfordelingen i stenlageret.

Det ene stenlager tilknyttes det indre system, og det andet tilknyttes det ydre system. Der simuleres en fuldstændig varmeoverførsel mellem de to lagdelte stenlagerelementer. Denne opdeling af stenlageret er nødvendig af hensyn til transport af luften i forskellige retninger. Figur 4.2 viser den principielle opdeling af stenlageret.

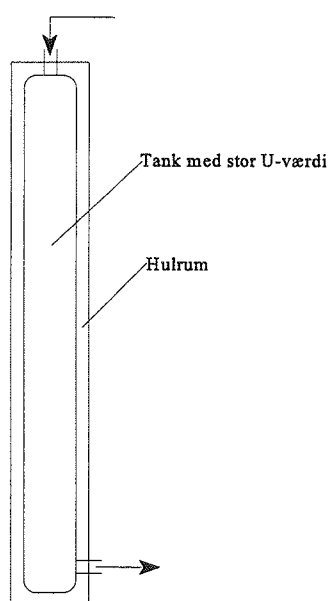
En passiv solvæg simuleres som en solfanger uden fluid og med bagsidetab til det bagvedliggende hulrum.

Det ydre system beskrives som tre luftsolfangere, der ved hjælp af rør uden varmekapacitet forsyner stenlageret med varm luft. Den ene luftsolfanger repræsenterer sydfacaden på forsøgshuset, mens de to andre repræsenterer taget.



Figur 4.2 Stenlagerets opdeling og lufttransport gennem det

Det indre system forbinder stenlageret med hulrummene. Da det ikke er muligt at transportere et fluid i et bygningselement, simuleres dette med indsættelse af en lagertank, med stort varmetab i hulrummene, se figur 4.3. Grunden til, at der er valgt en tank i hulrummene og ikke blot et langt rør med et stort varmetab, er, at der opnås bedre varmeudveksling med hulrummene ved at benytte en tank. Luften transporteres mellem tankene i korte rør uden varmekapacitet.



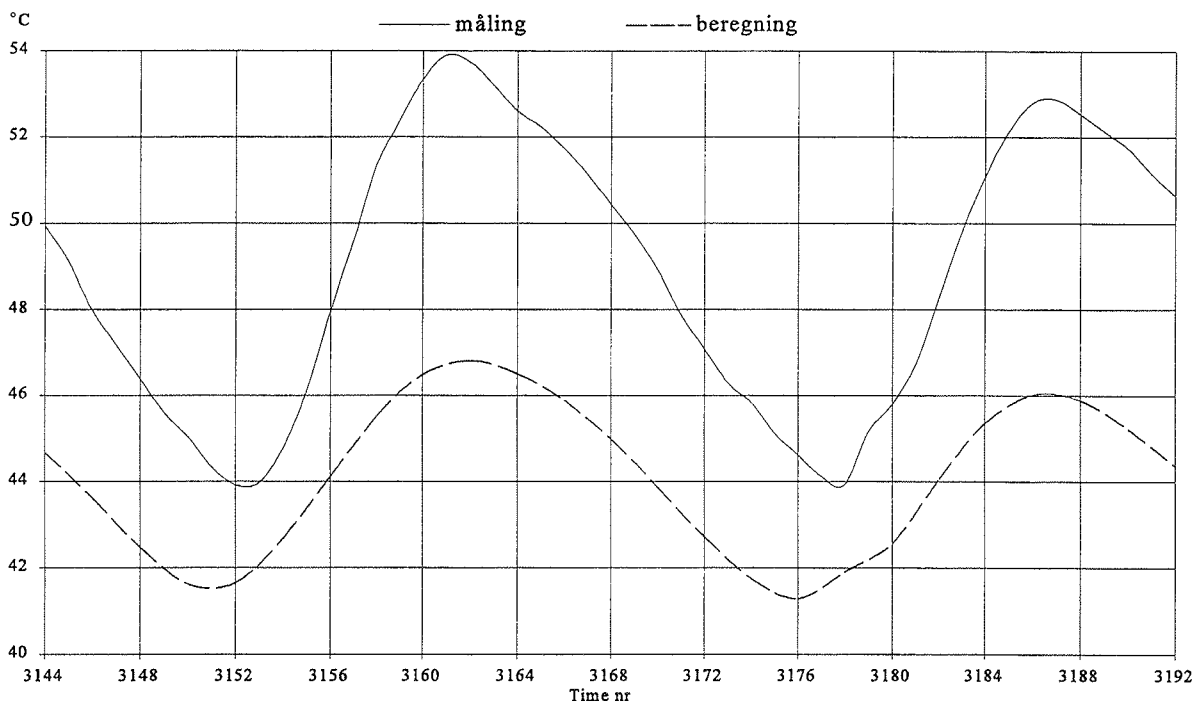
Figur 4.3 Tanke placeret i et hulrum

Fra stenlageret transporteres luften - via en kanal - op til lofthulrummet, hvorfra den fordeles til væghulrummene. Fra væggene løber luften under gulvet og enten ned i stenlageret igen, eller til kanalen, hvor den blandes med luft fra stenlageret.

5 TEST AF EMGP3.

For at kontrollere om programmet kan udføre de nødvendige energiberegninger tilfredsstillende er der indledningsvis foretaget beregninger på forsøgshuset. En sammenligning af beregningsresultater med måledata fra forsøgshuset giver det bedste udgangspunkt for at afgøre om det kan lade sig gøre.

Når man sammenligner rumtemperaturen fra beregningerne med den målte, ses det af figur 5.1, at temperaturerne følger hinanden i døgnsvingningerne, men at målingerne ligger højere end beregningerne.

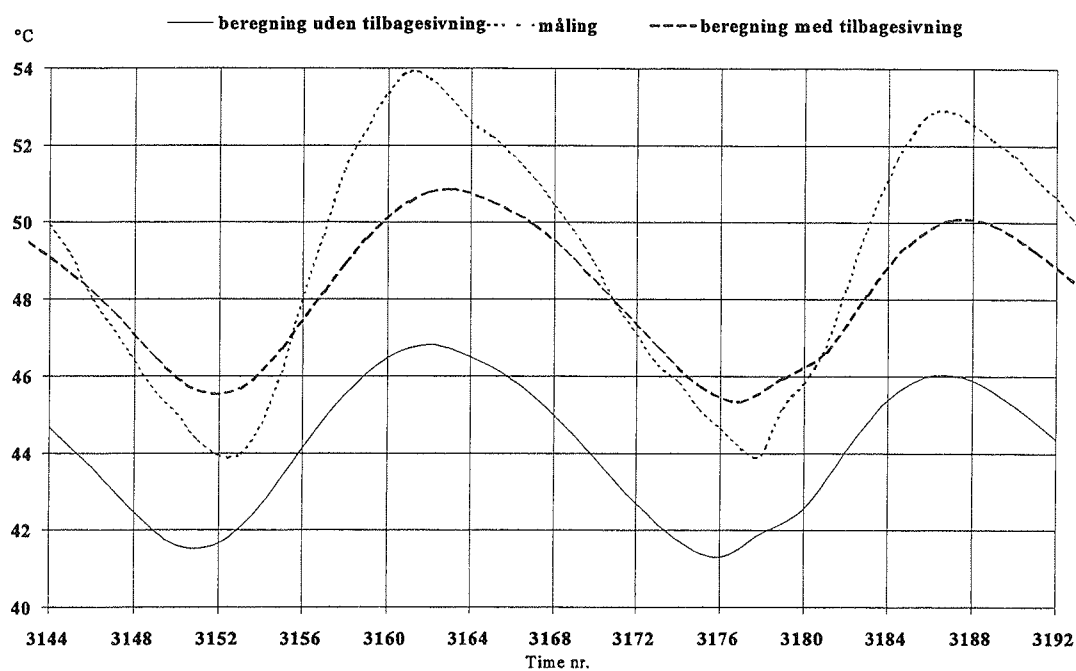


Figur 5.1 Temperatur i rummet den 12. og 13. maj 1993

Denne forskel kan skyldes, at spjældene i forsøgshuset ikke er tætte nok, så der siver luft fra stenlageret ind til det indre system i nogle perioder, hvor der ikke bør cirkulere noget, fordi der er varmt nok i rummet. Det høje temperaturniveau skyldes, at der er regnet på en model uden solafskærmning og udluftning.

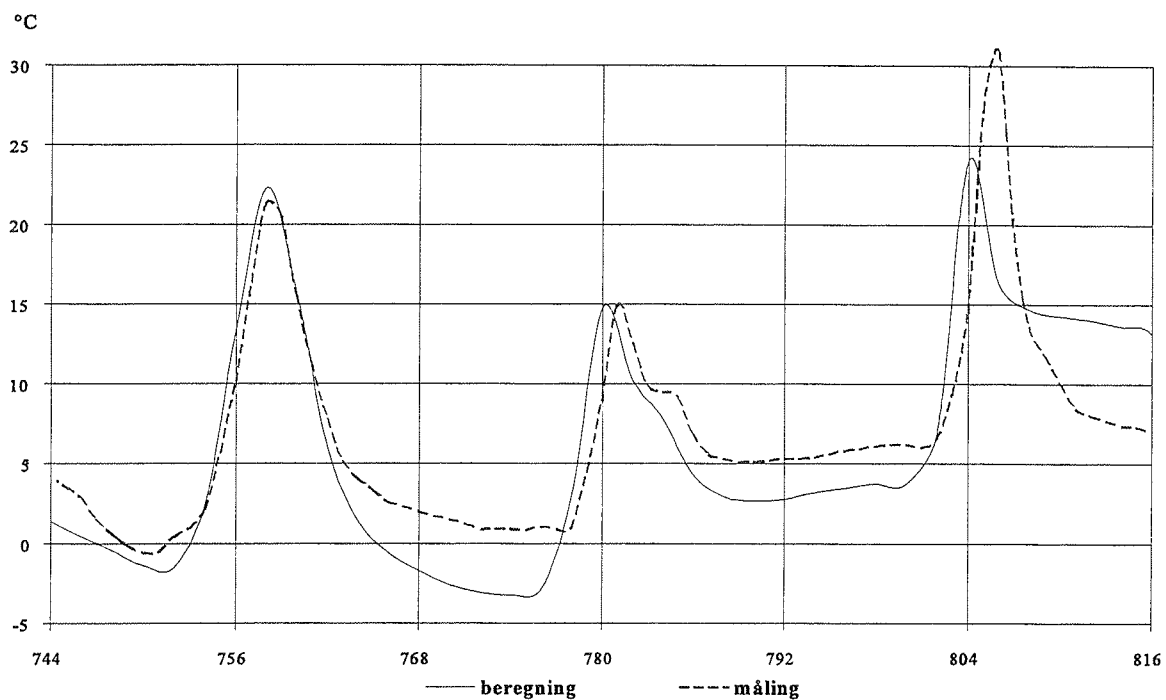
I EMGP3 kan tilbagesivning simuleres det ved at lade det indre system køre i en varm periode med en lille luftmængde samtidig med, at det ydre system kører som normalt. Resultatet af en

simulering med tilbagesivning giver, som det ses af figur 5.2, en bedre overensstemmelse mellem de målte og beregnede temperaturer.



Figur 5.2 Temperatur i rummet den 12. og 13. maj 1993 hhv med og uden sivning

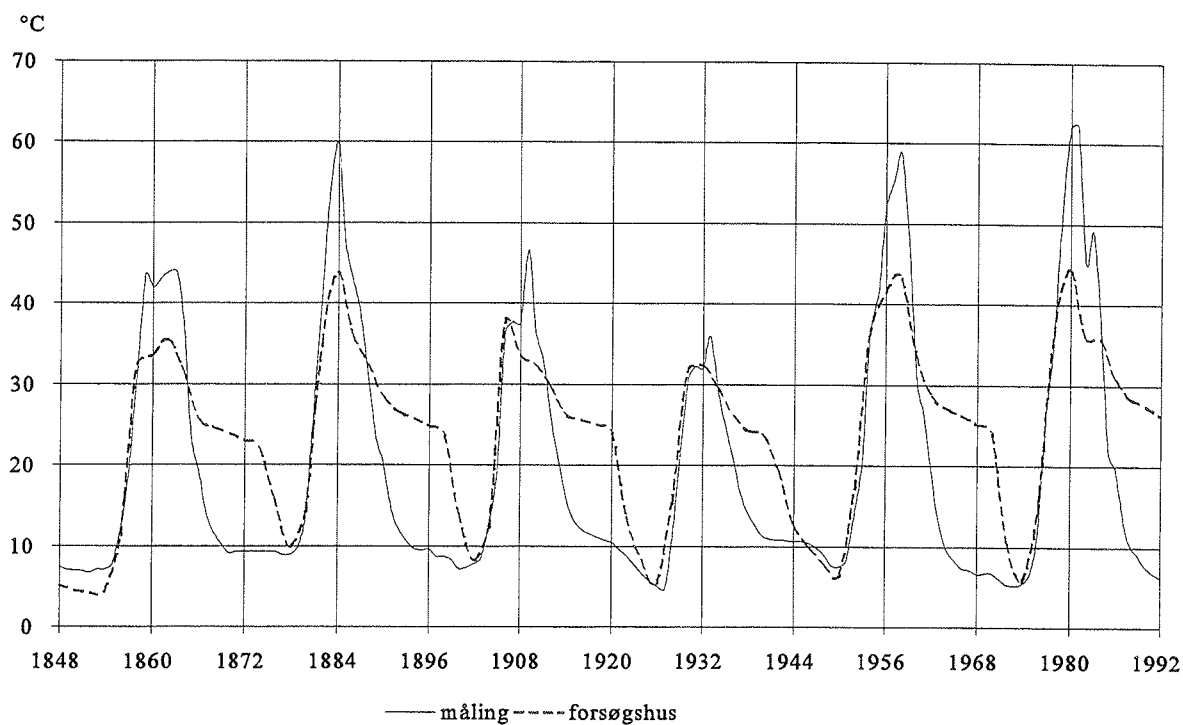
Den unøjagtighed, der nu er mellem måling og beregning, kan skyldes endnu en utæthed, som forårsager, at der siver luft direkte fra solfangeren ind i det indre system.



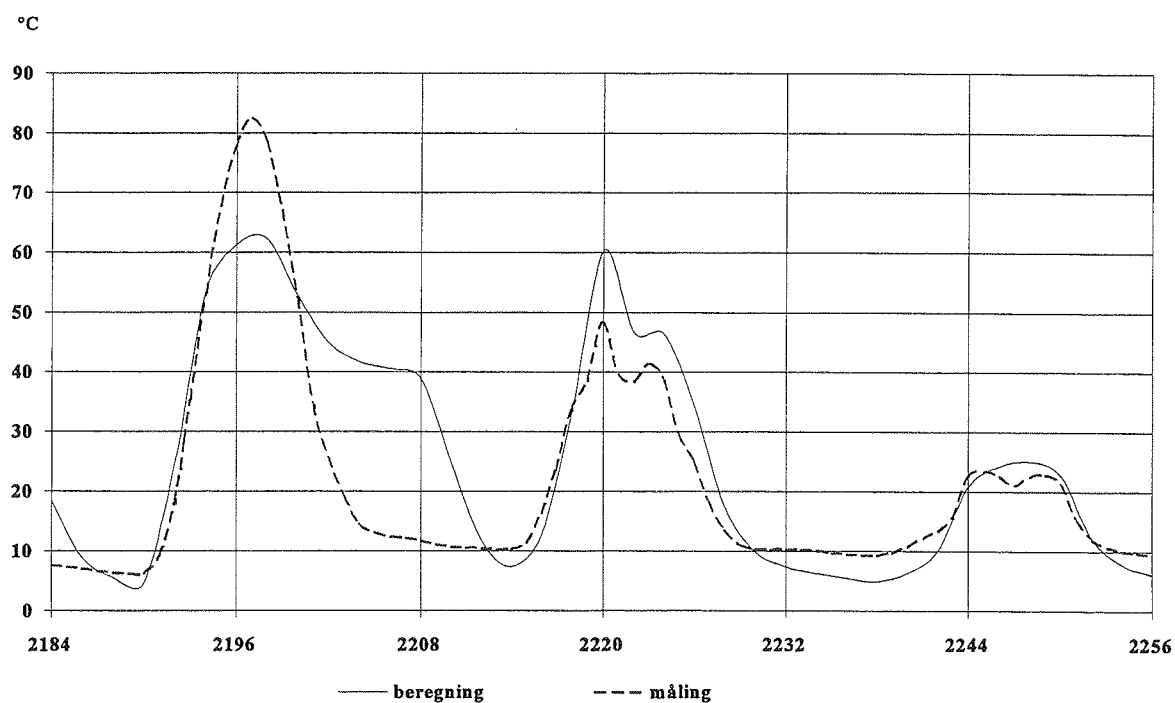
Figur 5.3 Temperatur i tagsolfangeren 1.-3. februar 1993

Figur 5.3 viser temperaturen i tagsolfangeren i perioden 1. - 3. februar 1993.

Man ser, at temperaturen i beregningerne følger temperaturen fundet ved måling rimelig godt. Der er dog enkelte tidspunkter, hvor temperaturen afviger temmeligt meget, se figur 5.4 og figur 5.5. Disse afvigelser finder sted ved spidstemperaturer og umiddelbart efter, hvor der kan komme store temperaturforskelle op igennem en solfanger. Afvigelserne kan derfor skyldes, at EMGP3 regner med en et-knude model for solfangeren, mens den målte temperatur, der sammenlignes med, afspejler en mere specifik placering af føleren i solfangeren.



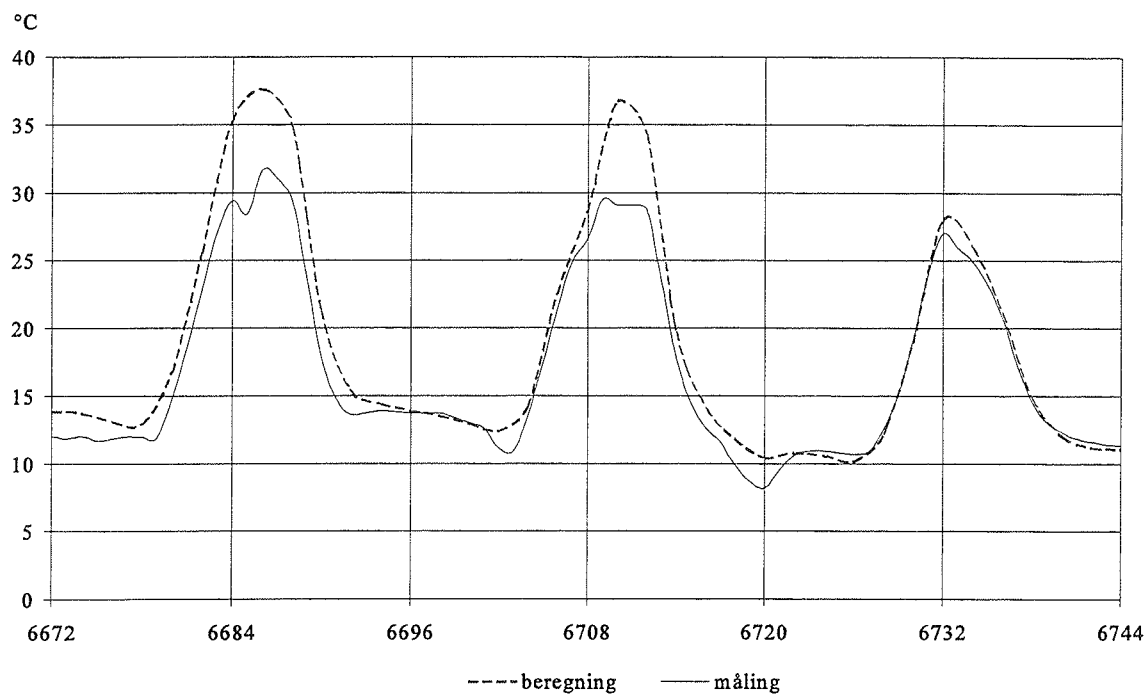
Figur 5.4 Temperatur i tagsolfanger 19.-24. marts 1993



Figur 5.5 Temperatur i tagsolfanger 2.-4. april 1993

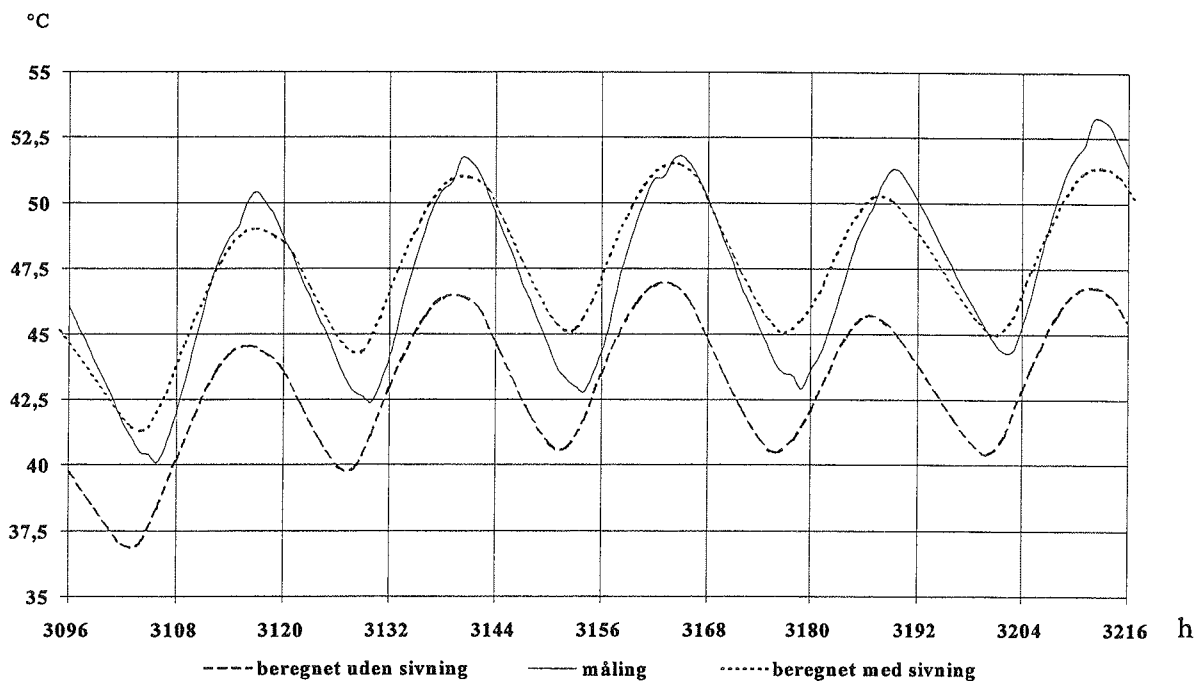
Sammenlignes målingerne med beregningsresultaterne i den nordlige passive solfanger følges

temperaturerne, pænt ad, når man undtager spidstidspunkterne se figur 5.6.



Figur 5.6 Temperaturen i den nordvendte passive solvæg 6.-8. oktober

Den beregnede temperatur i lofthulrummet stemmer ikke overens med målingerne, men det har som nævnt vist sig, at der siver lidt luft fra stenlageret ind i det indre system, ved en beregning med denne sivning viser det sig, at temperaturerne følges pænt, se figur 5.7.



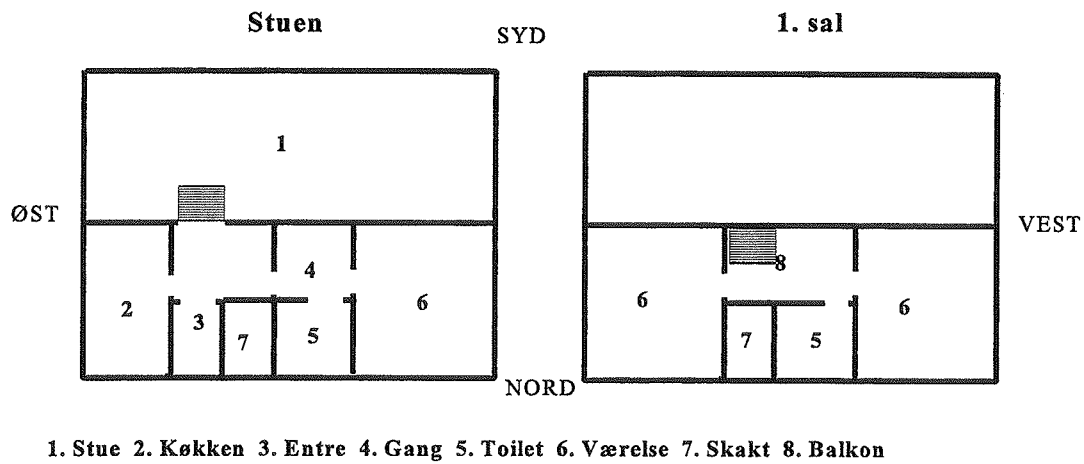
Figur 5.7 Temperatur i sydlig hulrum 10.-15. maj 1993

Den rimelige overensstemmelse der er opnået mellem de målte og de beregnede temperaturer gør, at resultaterne fra de videre beregninger på Villa Sol kan betragtes som realistiske.

6 VILLA SOL

Arkitekterne Søren Koch og Jesper Engelmark, begge fra Institutet for Husbygning, har tegnet enfamiliehuset Villa Sol / 6 /. Huset er i 1½ etage med et grundareal på $7,20 \times 10,80$ m. I underetagens nordside er der entre, bad, køkken, skabsgang og værelse. I sydsiden er der en lang stue med trappe til etagen ovenover. Førstesalen har to værelser, et toilet samt en balkon mod stuen. Ruminddelingen er vist på figur 6.1.

Taget har en hældning på 33° . I hver gavl er der to vinduesbånd, som går fra fundament til tag. Derudover kommer der dagslys gennem et lysbånd i den sydlige facade og den nedre del af taget. Konstruktionen af ydervægge, gulv og tag er som i forsøgshuset. Opvarmningssystemet svarer til det i forsøgshuset, idet der er stenlager under hele huset. I sydfacaden og i taget er der luftsolfangere. De øvrige facader er passive solvægge.



Figur 6.1 Plan og snit af Villa Sol

6.1 Parametervariationer

For at undersøge hvilken betydning forskellige designmæssige detaljer har for det energimæssige udbytte af Villa Sol, foretages der en række parametervariationer. På baggrund af disse udformes et hus med optimal udnyttelse af stenlageret.

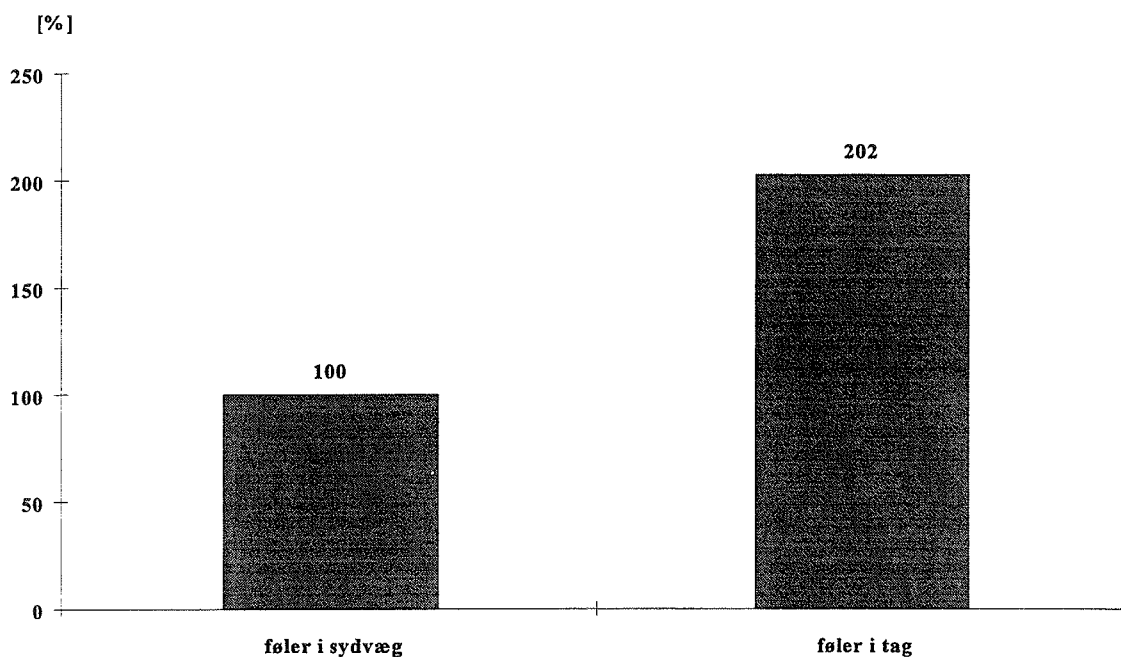
Som referencehus for parametervariationerne på Villa Sol benyttes et hus med følgende data:

Solfangere / solvægge	100 % af husets overfladeareal
Sprosser i solfangere / solvægge	ingen
Stenlagerdybde	90 cm

Luftmængde i ydre system	1640 m ³ /h
Luftmængde i indre system	520 m ³ /h
Infiltration	0,5 h ⁻¹ ingen forvarmning
Solafskærmning	ingen
Taghældning	33°
Dæklag	2 lag jernfrit glas

6.1.1 Følerplacering

I solvægshuset sidder den føler, der bestemmer om det ydre system skal køre, i sydvæggen. Figur 5.2 viser, hvad der sker, hvis føleren placeres i taget istedet for. Beregningerne er i dette tilfælde foretaget på referencehuset.



Figur 6.2 Udbytte af stenlageret ved to forskellige følerplaceringer

Udbyttet fra stenlageret mere end fordobles, når føleren flyttes til toppen af taget. Det skyldes, at tagsolfangeren har en relativ stor overflade. Om vinteren kommer der ikke solenergi nok ind på solfangeren til at opretholde den temperatur, luften har, når den kommer op fra sydsolfangeren. Det vil sige, at luften bliver afkølet hen over tagsolfangeren, hvorved dens temperatur, når den kommer tilbage til stenlageret, i visse tilfælde bliver lavere end den føleren i sydsolfangeren har registreret. Når føleren flyttes op i tagsolfangeren, vil det ydre system være i drift i kortere tid, men luften, der kommer ned i stenlageret, vil have en højere temperatur. Dette er nok til, at stenlageret bliver varmere, end det gør med føleren placeret i sydsolfan-

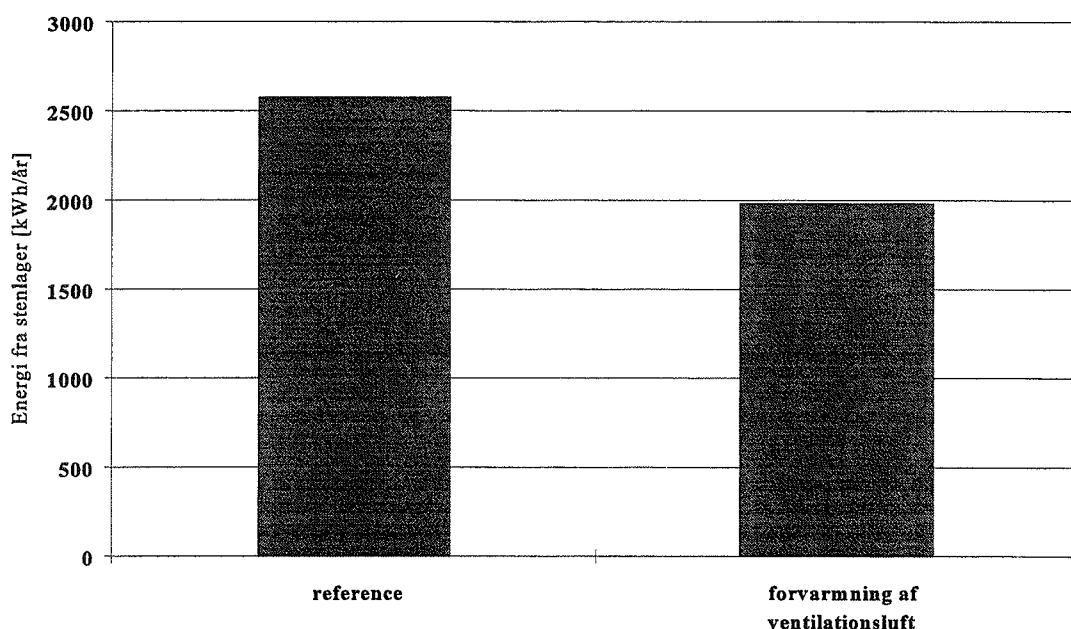
geren. En følge heraf vil være, at det indre system er i drift i kortere tid, men ved en højere temperatur. Forskellen i udbyttet på de to følerplaceringer vil naturligvis være mere udpræget ved en lav taghældning.

Alle efterfølgende parametervariationer er foretaget med føleren placeret i tagsolfangeren.

6.1.2 Ventilation

I solvægshuset ventileres der med forvarmet ventilationsluft. Luften forvarmes i øst- og vestsolvæggen. Systemet er styret, så der trækkes luft fra den solvæg, der er varmest. Når der ikke er behov for opvarmning i rummet, trækkes ventilationsluften direkte udefra.

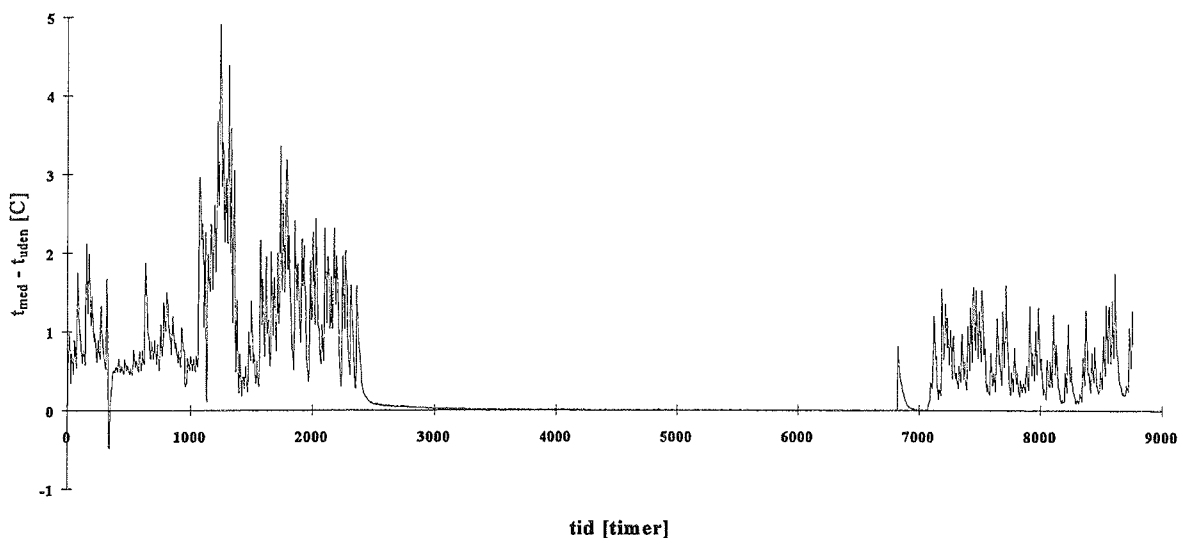
Det er i EMGP3 ikke muligt at styre friskluftindtaget, så der trækkes luft fra den varmeste solvæg. Den bedste tilnærmelse er at trække lige store luftmængder fra de to solvægge og blande dem. Når indetemperaturen kommer over setpunktet på 24 °C, trækkes luften direkte udefra ind i huset, på samme måde som i solhuset. På figur 6.3 er vist energiudbyttet fra stenlageret i referencehuset med og uden forvarmning af ventilationsluften. I referencehuset ventileres der 0,5 h⁻¹ med udeluft alene.



Figur 6.3 Forvarmning af ventilationsluft

Udbyttet fra stenlageret falder ca. 23 %. Det betyder ikke, at effektiviteten af stenlageret falder, det aflades bare ikke nær så meget som før. Varmen fra solvæggene får nemlig fortrinsret i forhold til varmen, der hentes i stenlageret. På figur 6.4 vises forskellen i

indetemperaturer mellem de to modeller. Her ses det, at temperaturen øges med op til 5 °C, når ventilationsluften forvarmes via solvæggene, hvilket som nævnt medfører, at opvarmningssystemet kommer til at køre i kortere tid.



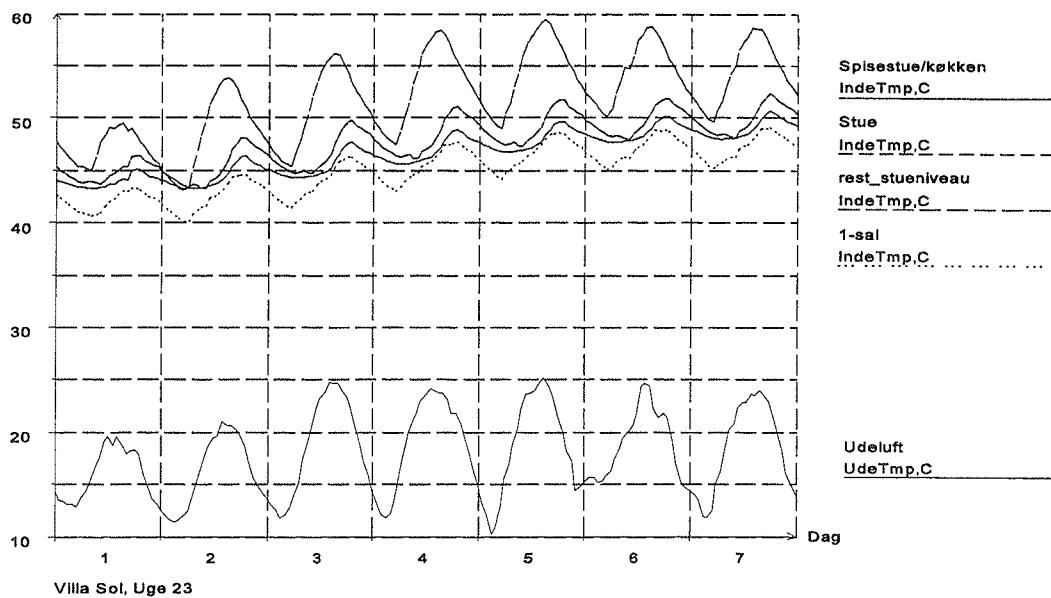
Figur 6.4 Temperaturdifferens med og uden forvarmet ventilationsluft

6.1.3 Afskærmning og udluftning

Der kan opstå risiko for høje indetemperaturer i sommerperioden som følge af et stort solindfald, især når der sættes vinduer i taget. En anden årsag kan være, at solvægge og stenlager opnår høje temperaturer, også om sommeren, hvilket giver et varmebidrag via vægge, gulv og loft. EMGP3 kan ikke simulere temperaturstyret solafskærmning og udluftning, derfor er indeklimateanalysen udført ved hjælp af edb-programmet tsbi3.

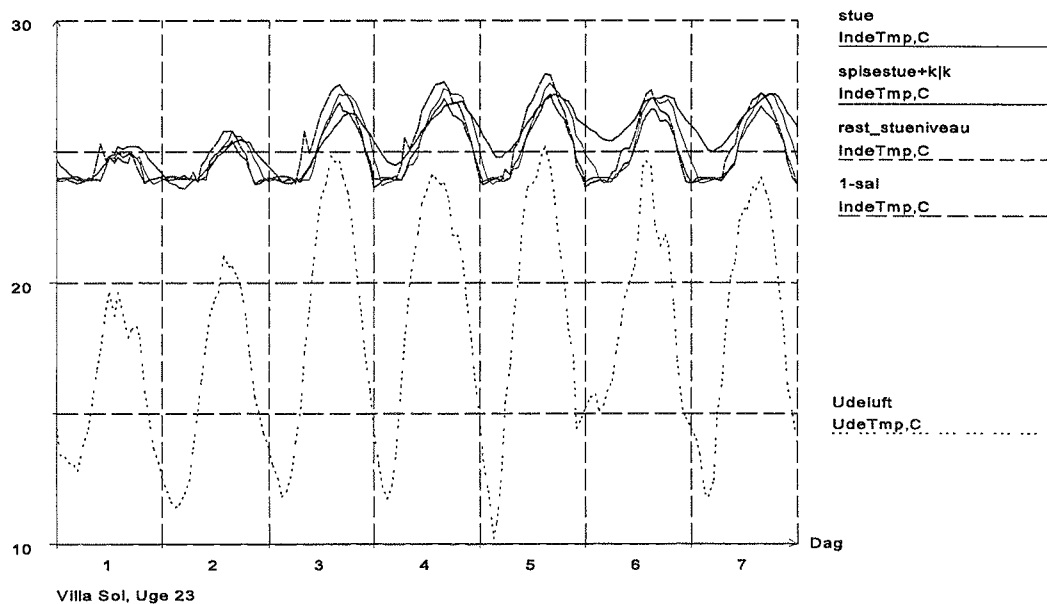
Figur 6.5 viser indetemperaturene i uge 23, som er referenceårets varmeste. Her ses det, at indetemperaturene kommer op på ca. 60 °C. Disse alt for høje temperaturer opstår, når der hverken er solafskærmning eller udluftning i bygningen. Samtidig regnes der med et varmebidrag fra solvægge og stenlager svarende til temperaturdifferens på 80 °C midt på dagen.

Indeklimaet kan godt bringes ned på et acceptabelt niveau ved at etablere solafskærmning og udluftning, sådan at temperaturen højest bliver ca. 28 °C ved en udetemperatur på 25 °C, se figur 6.6. Afskærmningsfaktoren er her sat til 0,2 svarende til en udvendig persienne og luftskiftet ved udluftning er sat til 3,5 h⁻¹.



Figur 6.5 Indetemperaturer i Villa Sol, uden udluftning og solafskærmning

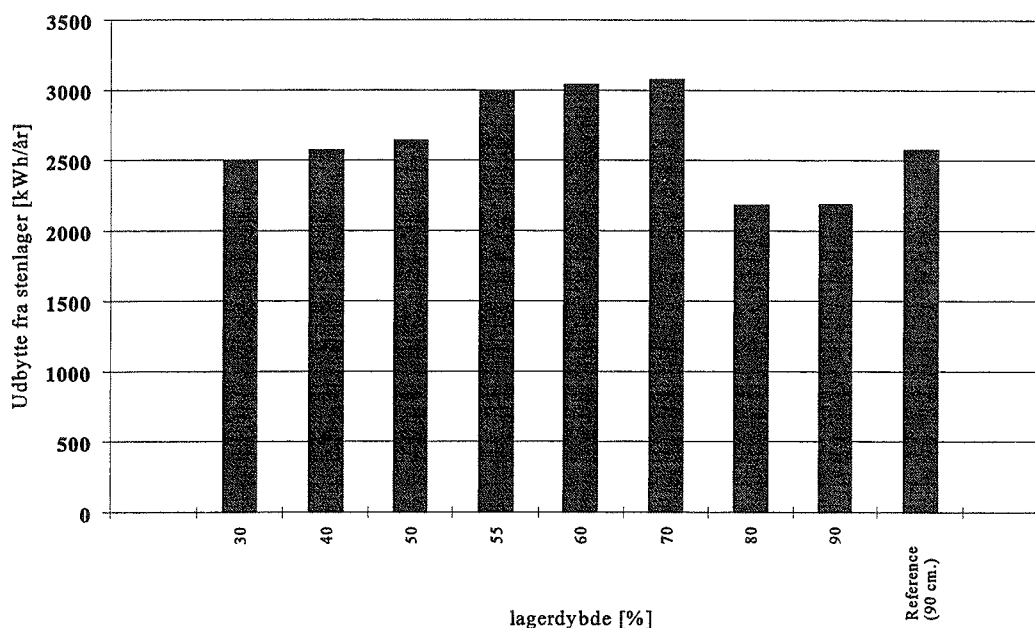
Overtemperaturerne skyldes i overvejende grad solindfaldet, mens stenlagerets effekt bidrager med en temperaturforøgelse på omkring 2-3 °C.



Figur 6.6 Indetemperaturer i Villa Sol, med udluftning og solafskærmning

6.1.4 Lagerstørrelse

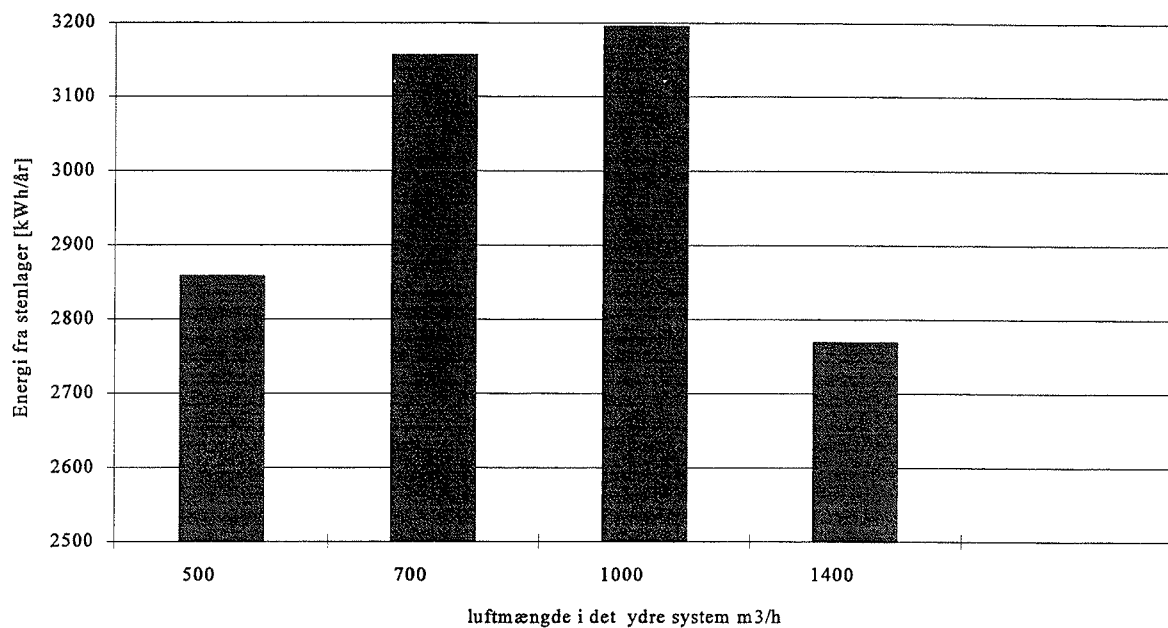
Stenlagerets effektivitet afhænger af dets størrelse. For at finde den optimale størrelse er der foretaget simuleringer med varierende lagerdybder. Lageret under referencehuset er 90 cm dybt. Simuleringerne er foretaget med lagerdybder, der varierer fra 30 % til 90 % af det eksisterende lager, som er 100 %. På figur 6.7 vises den energi, der tappes fra stenlageret. Det ses, at det maksimale udbytte fra stenlageret opnås for en lagerstørrelse, der er 70 % af referencehusets lager. Det svarer til en dybde på ca. 63 cm. Energiudbyttet fra et stenlager, der har en dybde på 55 % af referencehusets lager, er ikke meget lavere. Den optimale lagerdybde er derfor sat til 55 % af referencehusets, svarende til ca. 0,5 m.



Figur 6.7 Varierende lagerdybder

6.1.5 Cirkulerede luftmængder

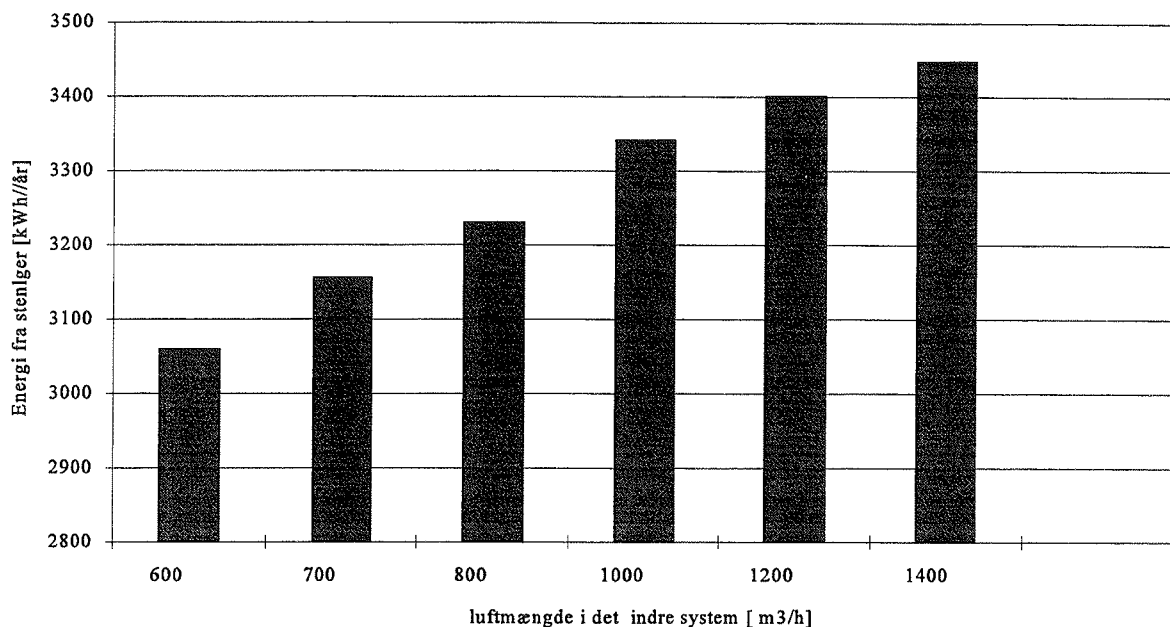
Mængden af luft, der cirkuleres i det indre og det ydre system har betydning for udbyttet af stenlageret. Denne parametervariation er foretaget ved først at fastholde den indre luftmængde på 700 m³/h og variere på den ydre luftmængde, se figur 6.8. Dette giver et maksimum i udbyttet fra stenlageret på ca. 3200 kWh årligt ved 1000 m³/h i det ydre system. Dette er kun en forøgelse på 1 % i forhold til udbyttet ved 700 m³/h i det ydre system. Derfor er 700 m³/h valgt som det optimale.



Figur 6.8 Ydelse ved forskellige luftmængder i det ydre system

Dernæst er den ydre luftmængde fastholdt på disse 700 m³/h og der er varieret på den indre luftmængde. Resultatet af denne variation ses i figur 6.9. Udbyttet af stenlageret stiger med stigende luftmængder i det indre system. Denne forøgelse af udbyttet skyldes, at varmen i højere grad kan udnyttes til at dække selve husets varmetab, idet varmeoverføringsforholdene forbedres, både i stenlager og hulrum.

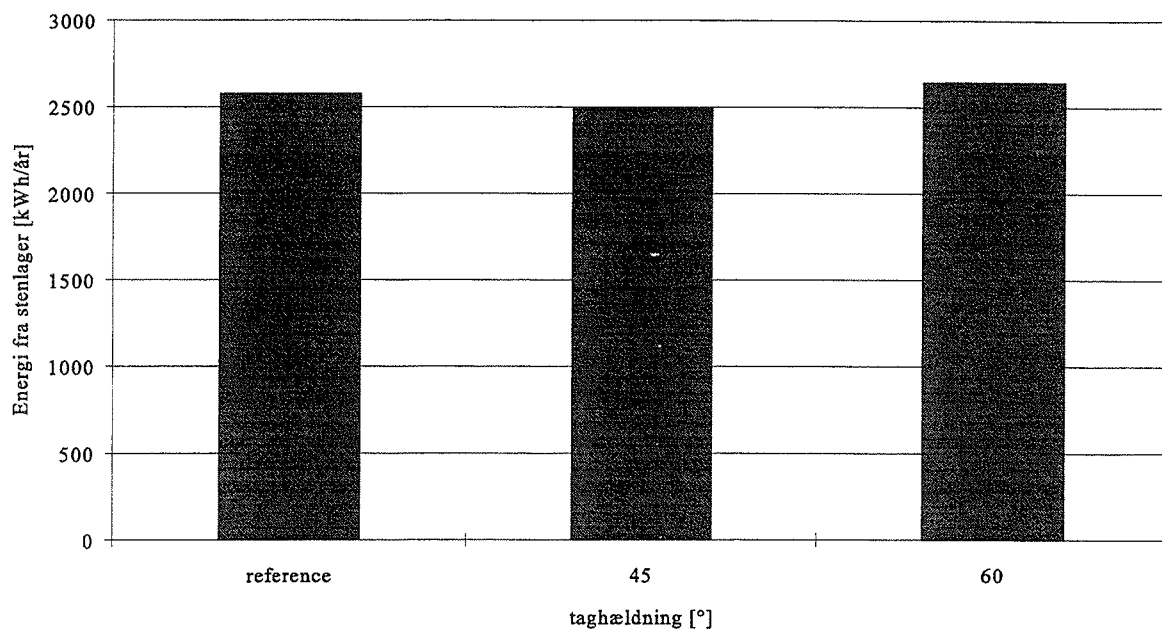
En øget luftmængde medfører et uønsket større elforbrug til drift af ventilatorer. Endvidere vil der være støjgener forbundet ved cirkulation af store luftmængder. Ud fra disse resultater er der valgt at holde sig til en luftmængde på 1000 m³/h.



Figur 6.9 Ydelser ved forskellige luftmængder i det indre system

6.1.6 Taghældning

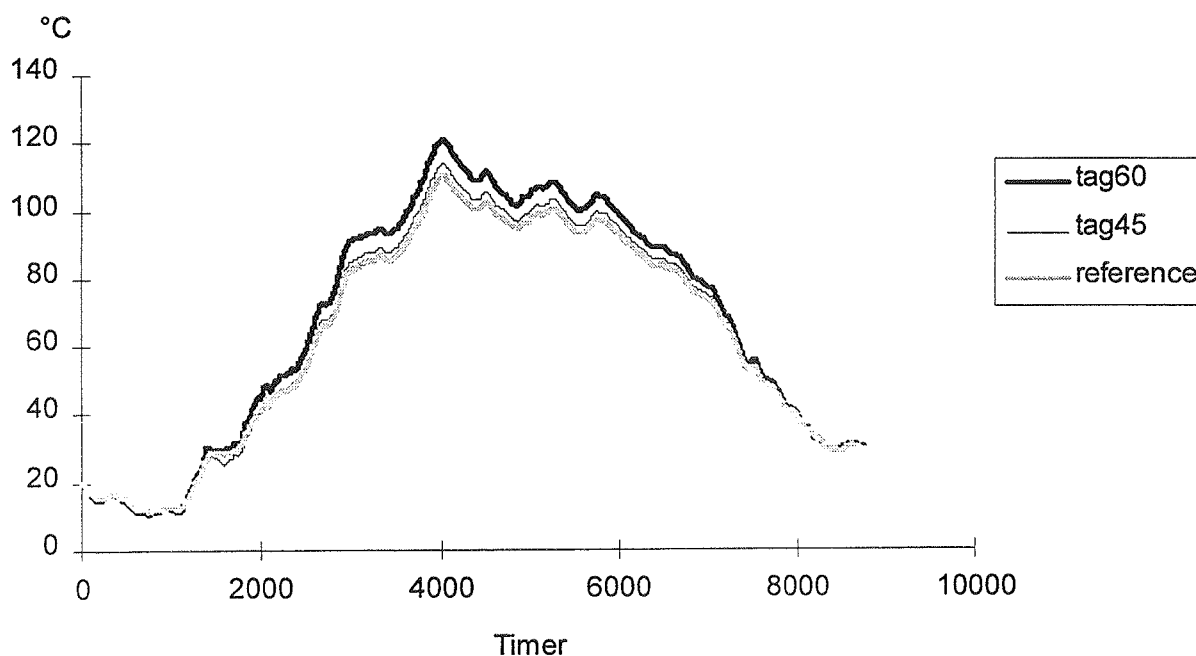
Tagets hældning kan have betydning for, hvor meget solenergi, der udnyttes. Specielt om vinteren, hvor solen står lavt på himlen, vil det have stor betydning, om taget er fladt, eller har en hældning på f.eks. 60°. Referencehuset har en taghældning på 33°, derudover er der foretaget beregninger med to andre taghældninger på hhv. 45 og 60°. Arealerne af tagsolfangeren og solvæggene i øst-, vest- og nordsiden er ændret, når taghældningen er ændret. Figur 6.10 viser energiudbyttet fra stenlageret for de forskellige taghældninger.



Figur 6.10 Udbytte fra stenlager for varierende taghældninger

Når taghældningen øges fra 33° til 45° sker der et fald i udbyttet fra stenlageret på 75 kWh årligt. Når hældningen øges yderligere til 60°, sker der en stigning i udbyttet på 75 kWh årligt i forhold til referencehuset.

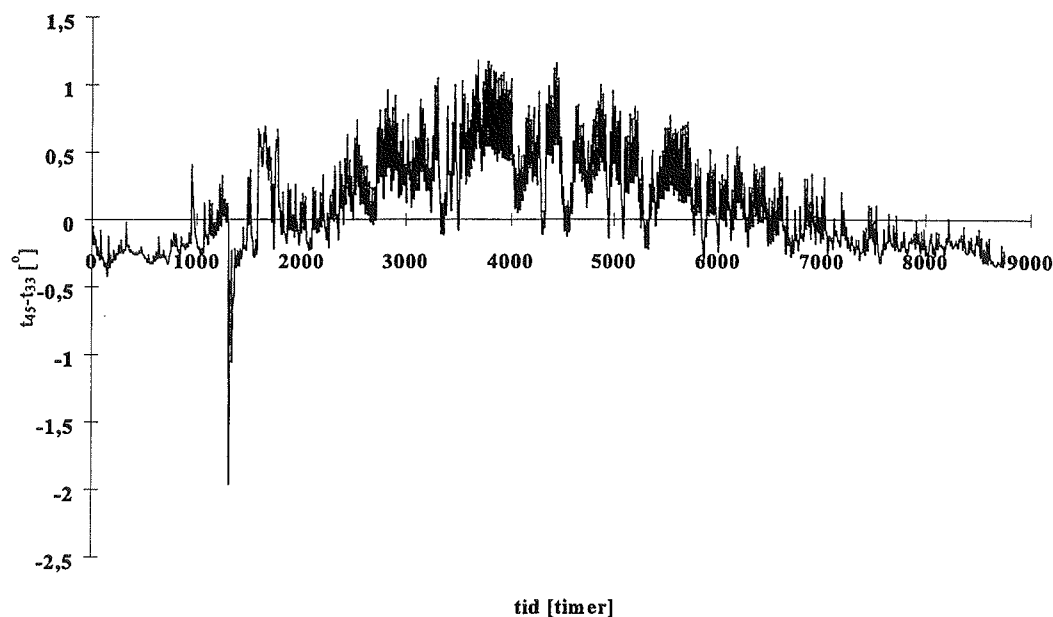
På figur 6.11 ses, at lagertemperaturerne, som ventet, stiger når taghældningen øges.



Figur 6.11 Stenlagertemperaturer ved forskellige taghældninger

Figur 6.12 viser ændringen i indetemperaturen, når taghældningen ændres fra 33° til 45°. Det ses, at indetemperaturen stiger med øget taghældning i sommerhalvåret, men i vinterhalvåret - hvor der er behov for opvarmning - er indetemperaturen højest for en taghældning på 33°. Der er tale om temperaturdifferencer på under 0,5°C i fyringssæsonen.

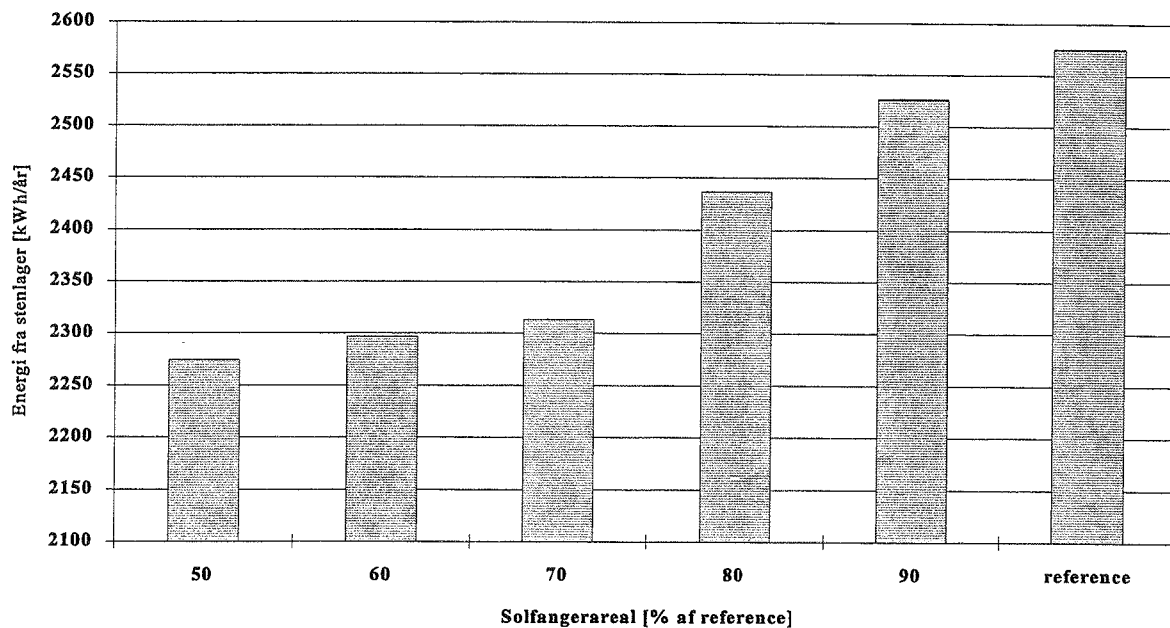
Det skyldes, at husets overfladeareal - og dermed varmetabet i vinterhalvåret - stiger når taghældningen øges. Ved 60° er den øgede lagertemperatur nok til at kompensere for varmetabet. Gevinsten ved en øget taghældning er stort set negligerbar, og det der kan forbedres ved at øge taghældningen, er systemets driftstider.



Figur 6.12 Forskel i rumtemperatur ved 33 og 45° taghældning

6.1.7 Solfangerareal

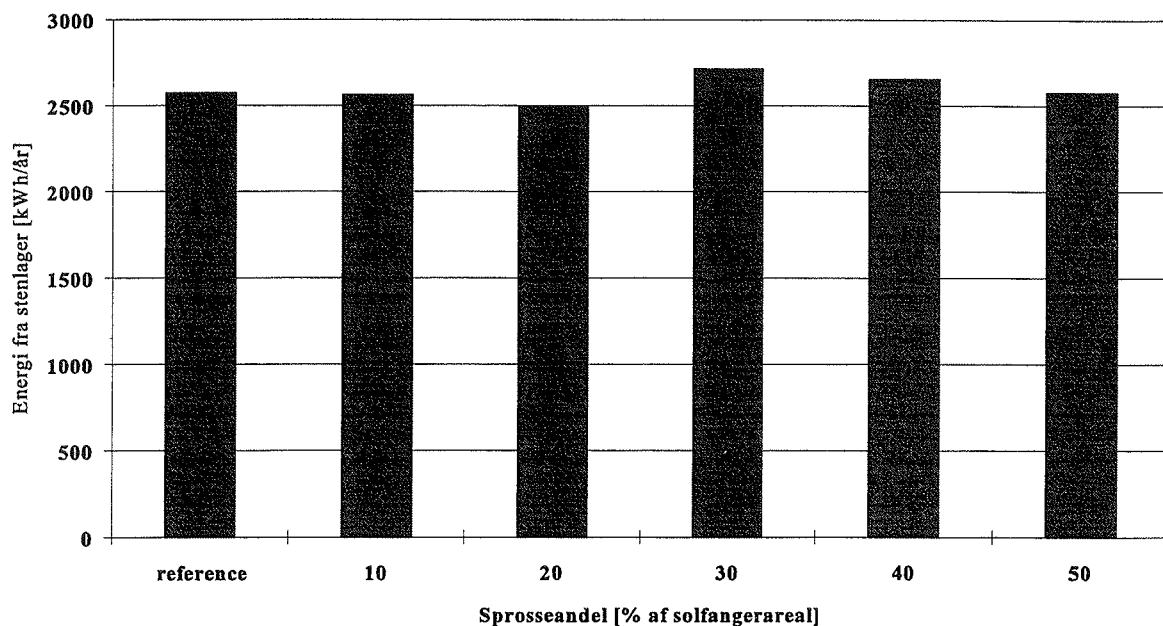
For at undersøge hvor stor indflydelse solfanger/solvægsarealet har på udbyttet fra stenlageret foretages parametervariationer, hvor solfangerarealet er hhv. 90, 80, 70, 60 og 50% af arealet på referencehuset, som er 100 % dækket med solfangere/solvægge. Figur 6.13 viser ændringen af udbyttet fra stenlageret for de forskellige solfangerarealer. Udbyttet varierer fra ca. 2600 kWh årligt for referencehuset til ca. 2300 kWh årligt for 50 % solfangerareal. Det svarer til et fald på ca. 11 %, når solfangerarealet reduceres til det halve.



Figur 6.13 Variation af solfangerareal

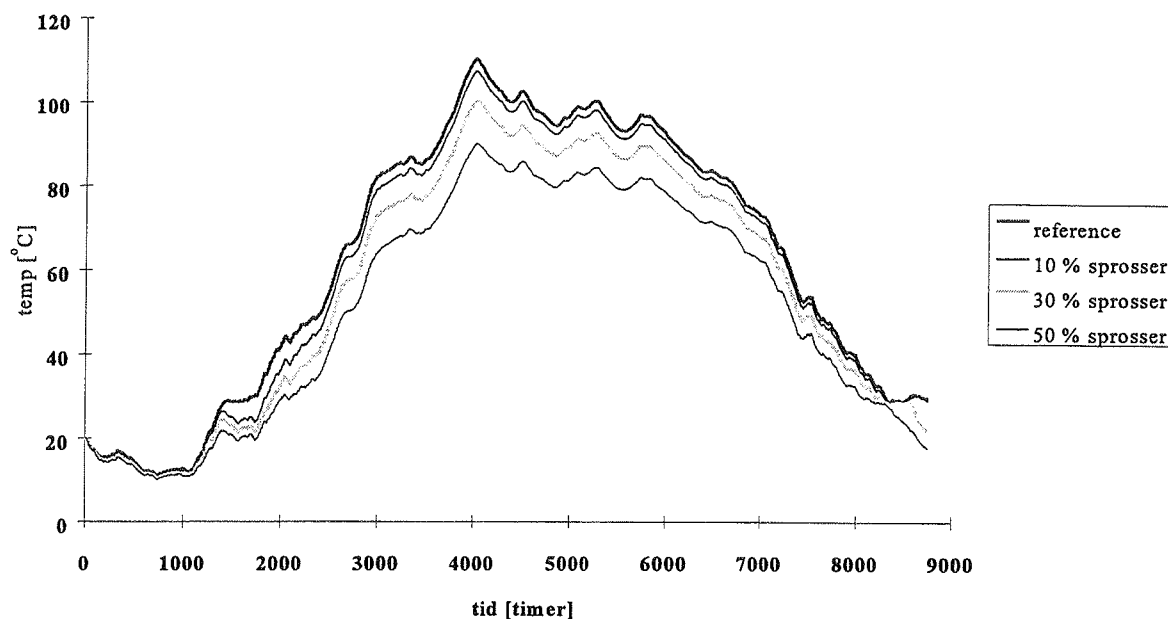
6.1.8 Glasareal

Af arkitektoniske grunde kunne man godt forestille sig, at glasset blev forsynet med "tegninger" eller sprosser. Det vil naturligvis have indflydelse på udbyttet fra stenlageret. Der er derfor foretaget beregninger hvor glasset dækkes med hhv. 10, 20, 30, 40 og 50% sprosser. Figur 6.14 viser udbyttet af stenlageret i forhold til referencehuset, som er uden sprosser.



Figur 6.14 Varieret sprosseandel

På årsbasis ændres energiudbyttet 220 kWh når man ændrer sprossearealet fra 20 % til 30 %. Det ses, at energiudbyttet er maksimalt for en sprosseandel på 30 %. Der er dog kun tale om en forøgelse på ca. 35 kWh årligt i forhold til referencehuset. Når glasset belægges med sprosser bliver temperaturen i solfangerne lavere. Dermed bliver stenlageret koldere og rumtemperaturerne bliver lavere. Samtidig med at alle temperaturerne bliver lavere, falder varmetabet fra huset. Dels fordi huset får en større U-værdi, men også fordi forskellen mellem inde- og udetemperaturer i fyringssæsonen bliver mindre. Figur 6.15 viser stenlagertemperaturerne, når facaden belægges med sprosser.

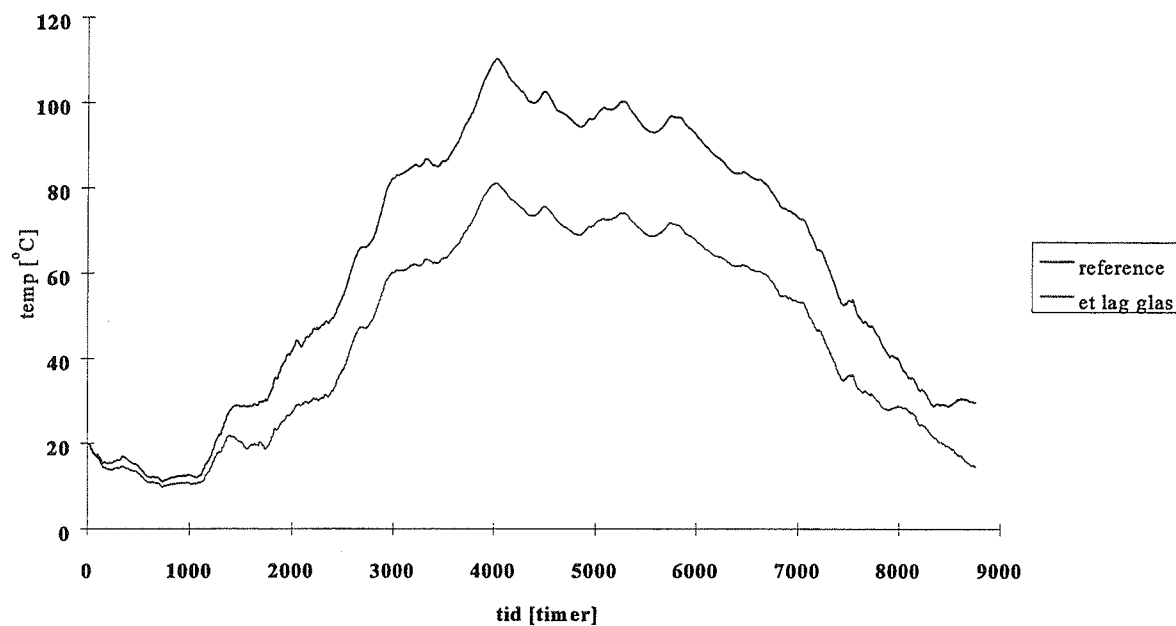


Figur 6.15 Stenlagertemperaturer ved forskellige sprosseandele

Med sprosser bliver temperaturniveauerne lavere end for referencehuset, men samtidig er varmetabet også lavere. For 30 % sprosser opnås den bedste balance mellem disse to størrelser. Udfra et økonomisk synspunkt er det dog stadig referencehuset, der er det optimale, idet ekstraudgiften ved en 30 % sprosseandel sandsynligvis ikke kan vindes ved det ekstra energiudbytte.

6.1.9 Dæklag

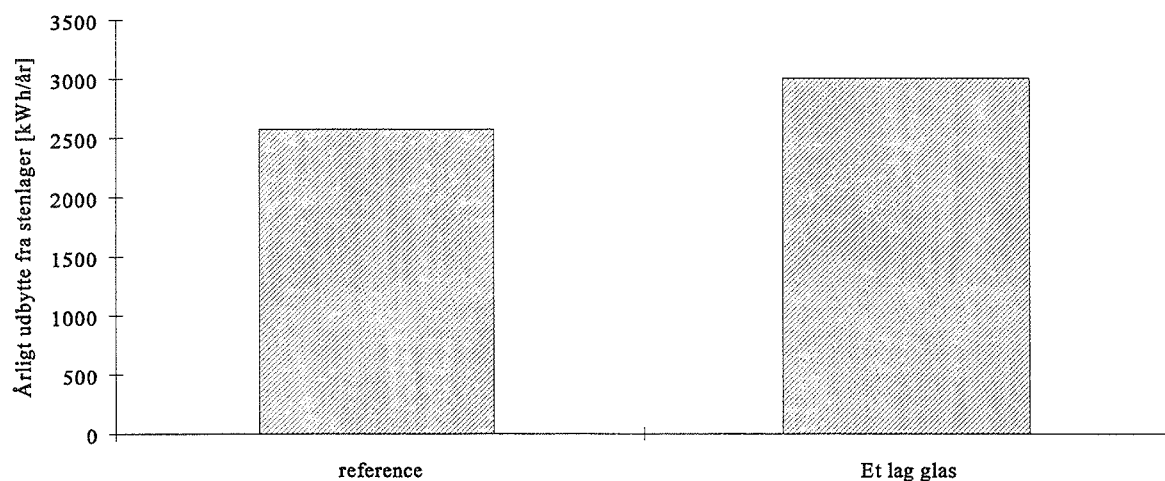
Dæklaget på referencehusets solfangere og solvægge er to lag jernfrit glas. Det ville naturligvis være billigere, hvis man kunne nøjes med et lag glas. Beregningerne viser, at udbyttet fra stenlageret stiger ca. 16 %, når dæklaget kun er et lag glas. Det skyldes, at temperaturen i solfangeren falder lidt, når dæklaget ændres. På figur 6.16 ses stenlagertemperaturerne, der falder som følge af faldet i solfangernes temperatur.



Figur 6.16 Stenlagertemperaturer med forskellige dæklag

De lavere temperaturer gør, at det ydre system kører kortere tid. Dermed bliver der mere tid, hvor det indre system kan køre, da det - p.g.a. styresystemet - kun er muligt at have et system kørende ad gangen. Temperaturen i huset stiger ikke, selvom udbyttet fra stenlageret stiger en anelse. Det skyldes, at huset bliver dårligere isoleret, når dæklaget udskiftes.

Nedenstående figur 6.17 viser energiudbyttet for referencehuset og når dæklaget er et lag glas.



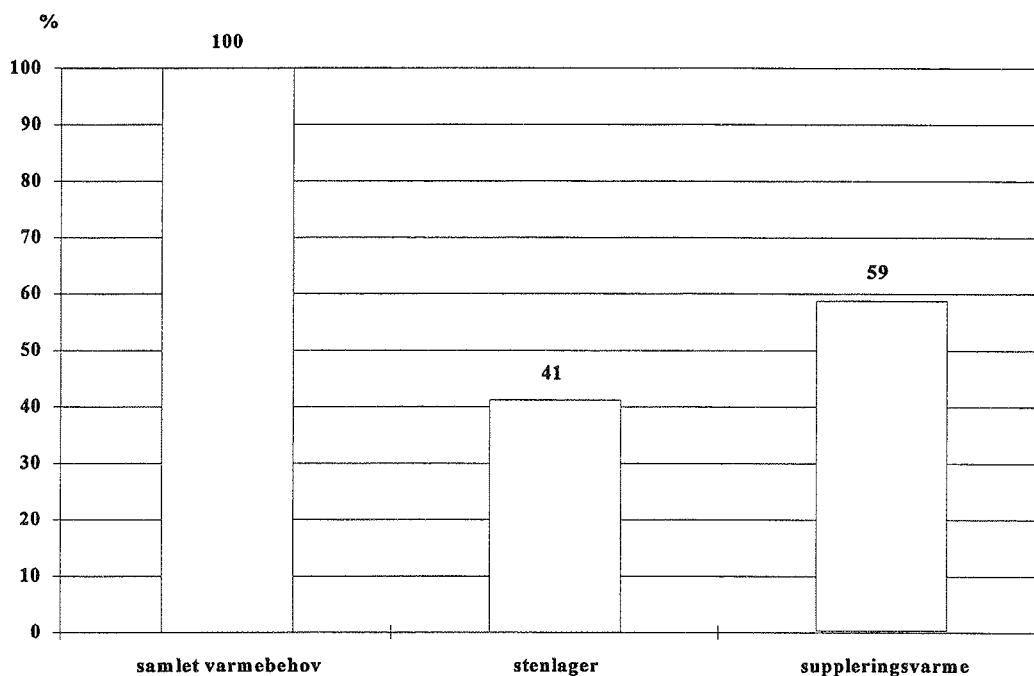
Figur 6.17 Ændring af dæklag

6.2 Endelig model

Ud fra parametervariationerne udformes en optimal model af enfamiliehuset, Villa Sol. Lagerdybden bliver da 55 % af lagerdybden i referencehuset. Dette svarer ca. til 50 cm. Af komfortmæssige grunde ventileres med forvarmet ventilationsluft. De cirkulerede luftmængder er 700 m³/h i det ydre system og 1000 m³/h i det indre system. Taghældningen forbliver 33°, da huset er designet således. For at opnå maksimalt udbytte regnes med 100 % solfangerareal. Som nævnt tidligere vil det optimale - økonomien taget i betragtning - være en sprosseandel på 0 %. Dæklaget er her bevaret som i referencehuset af hensyn til de foregående beregninger, men der er i øvrigt ikke noget, der hindrer brugen af et lag glas.

Villa Sols opvarmningsbehov er v.h.a. tsbi3 beregnet til 5900 kWh årligt. Der kan udvindes 2400 kWh årligt fra stenlageret. Det vil sige, at behovet for supplerende energi til opvarmning er 3500 kWh årligt.

Figur 6.18 viser den procentuelle fordeling af opvarmningen i Villa Sol, heraf ses det, at ca. 41 % af energibehovet kan dækkes ved hjælp af stenlageret.



Figur 6.18 Procentuel fordeling af opvarmningen i Villa Sol

Energirammen for Villa Sol er ifølge BR95 / 7 / 7300 kWh/år og med et behov for suppleringsvarme på 3500 kWh/år, hvilket svarer til 48%, kan huset klassificeres som et lavenergihus jf. BR85-S / 8 /. Det skal nævnes, at denne klassificering blev til, da behovet for suppleringsvarme var af en

anden størrelsesorden - så et energibehov på lige under det halve af det tilladte må siges at være godt.

Til sammenligning har en bygning på samme størrelse, bare med lavenergiruder ($U=0,8$ W/m²K) og 300 mm isolering i væggene et energibehov på 3200 kWh. Energibidraget fra stenlageret er reduceret til 1100 kWh, hvilket giver et behov for suppleringsvarme på 2100 kWh, som svarer til 29% af energirammen. Suppleringsvarmen svarer til et energiforbrug på 17,5 kWh/m² mod et gennemsnitligt forbrug på 20 kWh/m² i en række lignende lavenergihuse opført i forbindelse med et IEA-projekt / 9 /.

Skema 6: Tal for varmebehovet i Villa Sol og en tilsvarende bygning med en højere isoleringsgrad.

[kWh]	Energi- ramme	Bidrag fra stenlager	Opvarmnings behov	Forskel i %	Suppleringsvarme	
					i alt	pr. m ²
Villa sol	7300	2400	5900	41	3500	29,2
Lavenergihus	7300	1100	3200	34	2100	17,5
Ændring i %	0	54	46		60	

Stenlagerets andel af opvarmningsbehovet mindskes med mere isolering i væggene. Det skyldes, at der bliver ændret på tidspunkterne for, hvornår der er behov for supplerende varme og dermed på, hvornår stenlageret aflades. Tilføjes der isolerende skodder sænkes energibehovet yderligere og dermed også udnyttelsen af stenlageret. Et højisoleret hus vil have lille udbytte af at have et varmesystem baseret på luft og stenlager.

6.3 Livscyklusanalyse

En livscyklusanalyse, foretaget efter anvisningerne i SBI-rapport 224 / 10 /, af Villa Sol viser, at totalenergiforbruget bliver væsentligt lavere, når der anvendes et let byggesystem, se nedenstående skema.

Skema 7: Sammenligning af totalt energiforbrug og emissioner.

	Total energiforbrug [MJ/m ²]	Total SO ₂ -emission [kg/m ²]	Total CO ₂ -emission [ton/m ²]
Villa sol	23000	2,52	1,38
*Teglstenshus i et plan	53000	24,75	4,66

* kilde: SBI-meddelelse 108 / 11 /.

Villa Sols totale energiforbrug er væsentligt bedre end et mere traditionelt hus, og det skyldes hovedsagligt det lave fyringsbehov. Byggematerialerne hører til i den energitunge ende og et alternativ kan for eksempel være at anvende træ til det bærende system i stedet for stålprofiler.

7 KONKLUSION

Lette byggesystemer giver mulighed for at opføre boliger forholdsvis hurtigt og billigt. En stor del af forarbejdet kan udføres på produktionsstedet sådan, at det, der resterer, er at samle de tilskårne dele på byggepladsen. Det vil være en attraktiv byggeform på steder, hvor lokal arbejdskraft, f.eks. i forbindelse med eksport, ved hjælp af få værktøjer og en arbejdstegning kan samle deres huse. Et godt salgsargument vil altid være et lavt energiforbrug, hvilket denne boligtype kan få.

Det nye danske bygningsreglement indeholder et krav om, at der skal være et luftskifte på en halv gang i timen i en bolig. En friskluft forsyning vil, uanset om det sker naturligt eller mekanisk, påføre en bolig et ekstra opvarmningsbehov. Derfor er der lavet et forsøg med tvungen ventilation i solvægshuset. Dette giver mulighed for at dække en del af behovet ved udnyttelse af solenergi til forvarmning af ventilationsluft.

Ud fra målingerne og erfaringerne fra forsøgshuset kan man drage en række konklusioner, der kan være nyttige i forbindelse med opførelse af et fuldskalahus.

Med et opvarmningssystem som det i forsøgshuset har det vist sig, at det er yderst vigtigt, at systemet til opladning af stenlagret (det ydre system) og systemet til opvarmning af rummet (det indre system) udformes, så der ikke kan forekomme utilsigtet sivning i det ene system, mens det andet system er i drift.

Placeringen af temperaturføleren, der styrer opladningen af stenlagret, øverst i sydsolfangeren har vist sig ikke at være den mest hensigtsmæssige. I perioder, hvor solen står lavt på himlen, kan der ske en afkøling af stenlagret i stedet for en opvarmning. Føleren bør i stedet placeres i tagsolfangeren.

Da ventilationsystemet med forvarmning af friskluft i solvæggene og opvarmningssystemet er konkurrerende systemer, bør der, for at få den bedste udnyttelse af begge systemer, være et styresystem, der kan prioritere, hvornår det ene eller det andet anlæg skal udnyttes.

Solvæggene og varmeveksleren i ventilationssystemet er også konkurrerende elementer. Et system uden en varmeveksler vil medføre et betydeligt større energiforbrug til opvarmning af

friskluft, så i forbindelse med et ventilationssystem bør der under alle omstændigheder være en varmeveksler. Udbyttet af solvæggene er derimod forholdsvist begrænset på nær en kort periode om foråret og om efteråret.

Ved hjælp af beregningsprogrammerne tsbi3 og EMGP3 er der foretaget nogle parameteranalyser på fuldskalahuset Villa Sol.

Beregningerne viser, at stenlageret kan dække 41 % af energibehovet i Villa Sol. Med den dækningsgrad fra stenlageret kommer behovet for suppleringsvarme til at ligge på under det halve af, hvad BR 95 angiver som maksimum. Med en isoleringsgrad svarende til hvad der er i nutidige lavenergihuse, kommer behovet for supplerende energi i Villa Sol også til at ligge under gennemsnittet i nutidige lavenergihuse.

Den energimængde, der hentes fra stenlagere, afhænger af hvor, godt huset isoleres. En ekstra isolering af Villa Sols klimaskærm giver en reduktion af effekten fra stenlageret. Resultatet heraf er, at stenlagret kommer til at dække en mindre del af det totale energibehov ca. 34%.

Der kan være en risiko for høje indetemperaturer i sommerperioden, som følge af et stort solindfald, især når der sættes et lysbånd i taget på Villa Sol. En anden årsag kan være, at solvæggene og stenlageret også opnår høje temperaturer om sommeren, hvilket kan give et varmebidrag via vægge, gulv og loft. Indeklimaet kan godt bringes ned på et acceptabelt niveau ved hjælp af udluftning og solafskærmning, sådan at temperaturen kommer op på ca. 28 °C ved en udetemperatur på 25 °C. Overtemperaturerne skyldes i overvejende grad solindfaldet, mens stenlagerets effekt bidrager med en mindre del af temperaturforøgelsen på omkring 2-3 °C.

En bygning bestående af et let byggesystem og med en klimaskærm alene af glas skal nok ikke have et solvarmesystem udelukkende baseret på stenlager og luft. Der skal snarere konstrueres en løsning, der inkluderer andre energibesparende elementer. Det kan f.eks. være lagring i enkelte vægelementer, eller en by-pass-funktion således at den luft, der ellers var beregnet for stenlageret, føres direkte ind i rummene. Forvarmningen af friskluften kunne også ske via en energidiode. En energidiode består af en solopvarmet mineraluldsplade som friskluften trækkes igennem, hvorved de høje temperaturer, der opstår i overfladen udnyttes.

En sådan løsning må anses for opnåelig med den viden, der er opnået i dette og tidligere projekter, hvorfor det næste skridt kunne være at opføre en version af Villa Sol indeholdende en række af disse energibesparende foranstaltninger.

REFERENCER

- / 1 / Olaf Bruun Jørgensen og Svend Svendsen: Solvægshus med integreret varmeanlæg, Projektering og opbygning. Rapport nr. 92-39, LfV, DTU, December 1992.
- / 2 / Kaj Lynggaard Isaksen: Solvægshus med integreret varmeanlæg, Målinger og beregninger. Meddelelse nr. 263, LfV, DTU, september 1994. ISSN 0905-1511.
- / 3 / H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen, Ole B. Stampe: Danvak Varme- og climateknisk Grundbog. DANVAK Aps.
- / 4 / Kjeld Johnsen, Karl Grau, Jørgen E. Christensen: tsbi3, Edb-program til termisk simulering af bygninger og installationer, Brugervejledning. Statens Byggeforskningsinstitut 1993. ISBN 87-563-0836-1.
- / 5 / Willie L. Duetré: Simulation of thermal systems, A Modular Program with an Interactive Preprocessor (EMGP3). Kluwer Academic Publishers, 1991. ISBN 0-7923-1235-X.
- / 6 / Jesper Engelmark og Søren Koch: Villa Sol. Rapport nr. 202, IFH, DTU, 1995.
- / 7 / Bygningsreglement 1995, Boligministeriet, Bygge- og Boligstyrelsen. ISBN 87-90247-01-9.
- / 8 / BR-S 85, Bygningsreglement for småhuse, Byggestyrelsen 1985.
- / 9 / IEA: Solar Low Energy Houses of IEA Task13. James & James (Science Publishers) Ltd, January 1995. ISBN 1-873936-37-0.
- / 10 / SBI-rapport 224: Livscyklus-baseret bygningsprojektering. Energi- og miljøanalyse-model, beregningsværktøj og database. 1993.
- / 11 / SBI-meddelelse108: Energi- og miljøanalyser af bygninger. 1995.