

Birkerød solhus

Beregninger og målinger

Niels Mejlhede Jensen



LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

BIRKERØD SOLHUS

BEREGNINGER OG MÅLINGER

NIELS MEJLHEDE JENSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING

DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

DECEMBER 1983

MEDDELELSE NR. 145

Projektgruppe

Fra Laboratoriet for Varmeisolering:

Niels Mejlhede Jensen, lic.techn.

Jan Erik Larsen, akademiing.

Jørgen Erik Christensen, stud. lic. techn.

Lars Olsen, civ. ing.

Preben Nordgaard Hansen, lic. techn.

Vagn Korsgaard, professor

Vagn Ussing, institutbestyrer

Kim Puggaard, elektronikmekaniker

Birthe Friis, sekretær

Elin van Kooten, sekretær

Hanne Holmgreen, assistent

Kenneth Sørensen, teknisk tegner

Udefra:

Søren Hansen, kyndig husejer

Bente Thomsen, kyndig husejer

Bata Zivkovic, ingeniør, bygherre

INDHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	1
BIRKERØD SOLHUS	2
RESUMÉ	2
INDLEDNING	2
KONKLUSION	2
AFSNIT I BESKRIVELSE AF HUSET	4
HUSETS BELIGGENHED	4
HUSETS OPBYGNING	9
Vinduer	9
Sol og skygge	10
Husets opvarmning	10
AFSNIT II BEREKNINGER	11
BEREGNINGSFORMEN	11
ISOLERINGSVÆRDIER	13
VARMETABSBEREGNING	15
SOLVARME	17
FYRINGSBEHOV	19
SOLOVEROPHEDNING	20
HUSETS VARMEKAPACITET	22
VARMEBALANCE MÅNEDSVIS	24
UDNYTTET SOLINDFALD	27
SKYGGE	28
GRATISVARME FRA PERSONER OG BELYSNING M.V.	29
EDB-BEREGNING	30
AFSNIT III MÅLINGER	32
DE FØRSTE MÅLERESULTATER	32
SENERE MÅLERESULTATER	36
MÅLT FYRINGSFORBRUG	49
ANDRE PROJEKTER	51
AFSNIT IV ÆNDRINGER OG ØKONOMI	53
BR-77 HUS	54
VARMEREKNSKAB FOR EKSTRA VINDUER MOD SYDØST	55
ØKONOMI I EKSTRA ISOLERING	56

ØKONOMI I VINDUER	57
ØKONOMI I OPVARMNING	58
SOLAFSKÆRMNING	58
ÆNDRINGER I HUSETS OPBYGNING	59
REFERENCER	71
Projektorganisation	72
Liste over udkomne rapporter	73
Summary	74

FORORD

Laboratoriet for Varmeisolering, (LfV), ved Danmarks Tekniske Højskole inviterede i 1982 arkitekter og ingeniører til et samarbejde om opførelse af og måling på en bolig, der udnytter passiv solenergi. Det resulterede kun i få henvendelser. Ingeniør Zivkovic havde projekteret og opført et solorienteret lavenergihus ved Birkerød Sø, og han var interesseret i at få målt nærmere på dette hus. Han sendte tegninger til LfV og formidlede kontakten til husets beboere, Bente Thomsen og Søren Hansen. Huset fandtes udmærket egnet til måleopgaven.

Måleprojektet udføres af LfV for Energiministeriets solenergiforskningsprogram.

Vi takker ingeniør Zivkovic samt Bente Thomsen og Søren Hansen for venlig medvirken i dette projekt.

BIRKERØD SOLHUS

RESUME

På en solbeskinnet grund nord for Birkerød Sø er der i 1981 bygget et parcelhus, der er planlagt til i vid udstrækning at kunne udnytte den passive solvarme. Vinduerne er (på nær 4 små ruder) orienteret mod syd-øst og syd-vest. Huset har en "tung" stueetage og en "let" tagetage. Laboratoriet for Varmeisolering har udført målinger på dette hus for nærmere at bestemme varmebrug, overtemperaturer og solvarmebidrag.

INDLEDNING

Laboratoriet for Varmeisolering har arbejdet med udformningen af almindelige parcelhuse, bl.a. med henblik på en god udnyttelse af den passive solvarme. Det har derfor været et ønske at få mulighed for at måle på et egnet hus i praksis for at kunne sammenligne med beregninger og derved få et bedre eller mere sikkert beregningsgrundlag.

KONKLUSION

Ifølge beregninger skulle huset i Birkerød på (de få) vinterdøgn med solskin få dækket halvdelen af opvarmningen ved passivt solindfald gennem vinduerne. På årsbasis skulle solvarmen dække 1/4 af opvarmningsbehovet. Måleresultater bekræfter disse resultater.

På sommerdage, uden ekstra ventilering af huset, giver overslagsmæssige beregninger overtemperaturer på op til 3°C i den sydvendte del af stueetagen og ca. 15°C i tagetagen. Da huset er meget velisoleret, er det årlige fyringsbehov lavt - godt 5.000 kWh/år til rumopvarmning af 200 m² bruttoetageareal ifølge målinger og beregninger.



Fig. 1. Birkerød Solhus set fra syd - fotograferet fra den isbelagte Birkerød Sø den 23. februar 1983 kl. 11.

Næsten alle vinduer er placeret i facaden mod sydøst og gavlen mod sydvest. Stueetagens sydvestvinduer er dog hovedsagelig i skygge af den overliggende terrasse.

Før installation af brændeovn blev der på et normalår målt et forbrug på godt 5.000 kWh el til rumopvarmning af 200 m² etageareal. Det lave forbrug skyldes bl.a. et velisoleret hus og et tilskud af passiv solvarme.

AFSNIT I BESKRIVELSE AF HUSET

HUSETS BELIGGENHED

Huset ejes og beboes af ægteparret Søren Hansen og Bente Thomsen, som begge er udearbejdende tandlæger. De har ingen børn og bor alene i huset.

Huset er beliggende på en godt 1000 m² stor grund ned til nordbredden af Birkerød Sø i et ellers ældre byområde.

Huset er 13 m langt og 8,5 m bredt og har 45° sadeltag og er orienteret med en facade mod sydøst og en gavl mod sydvest (de to ydervægge med vinduerne).

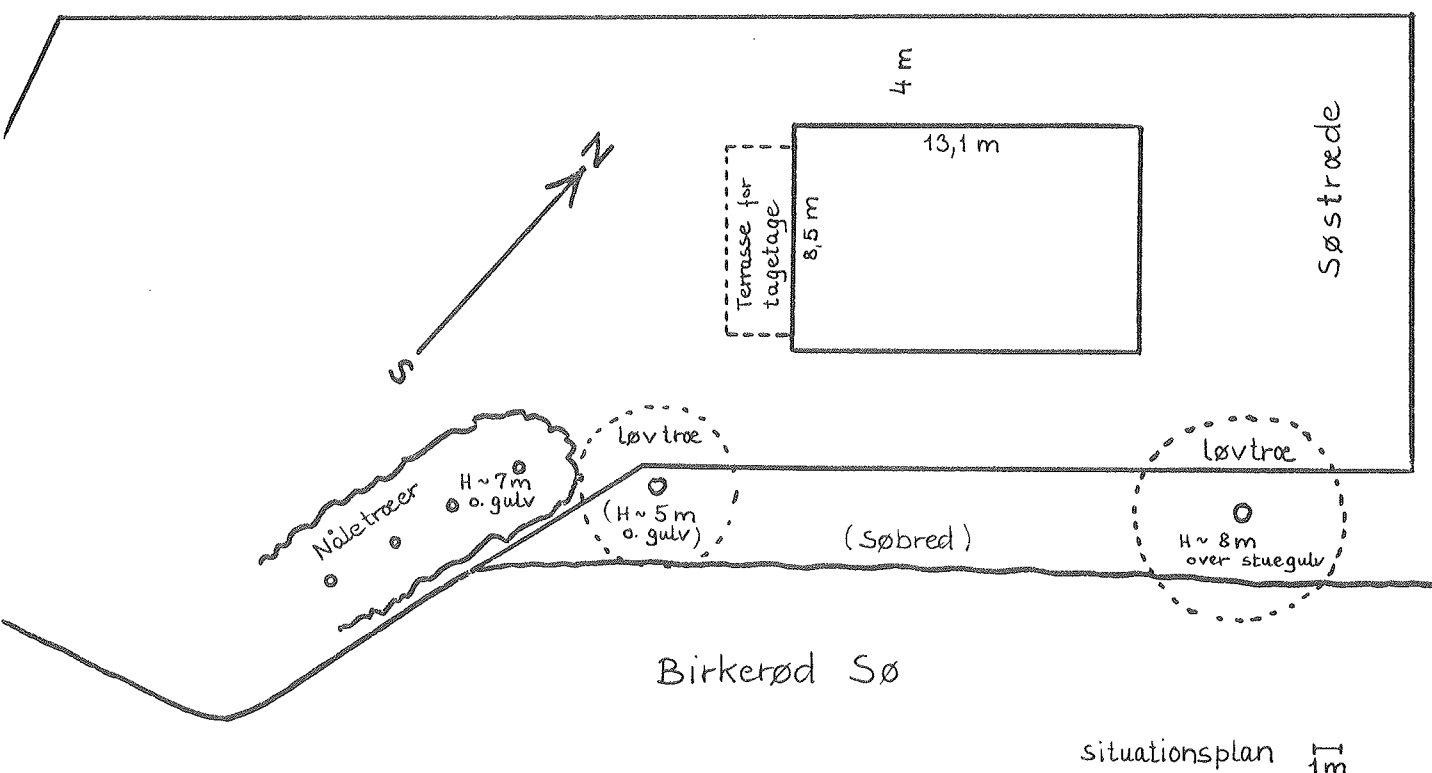
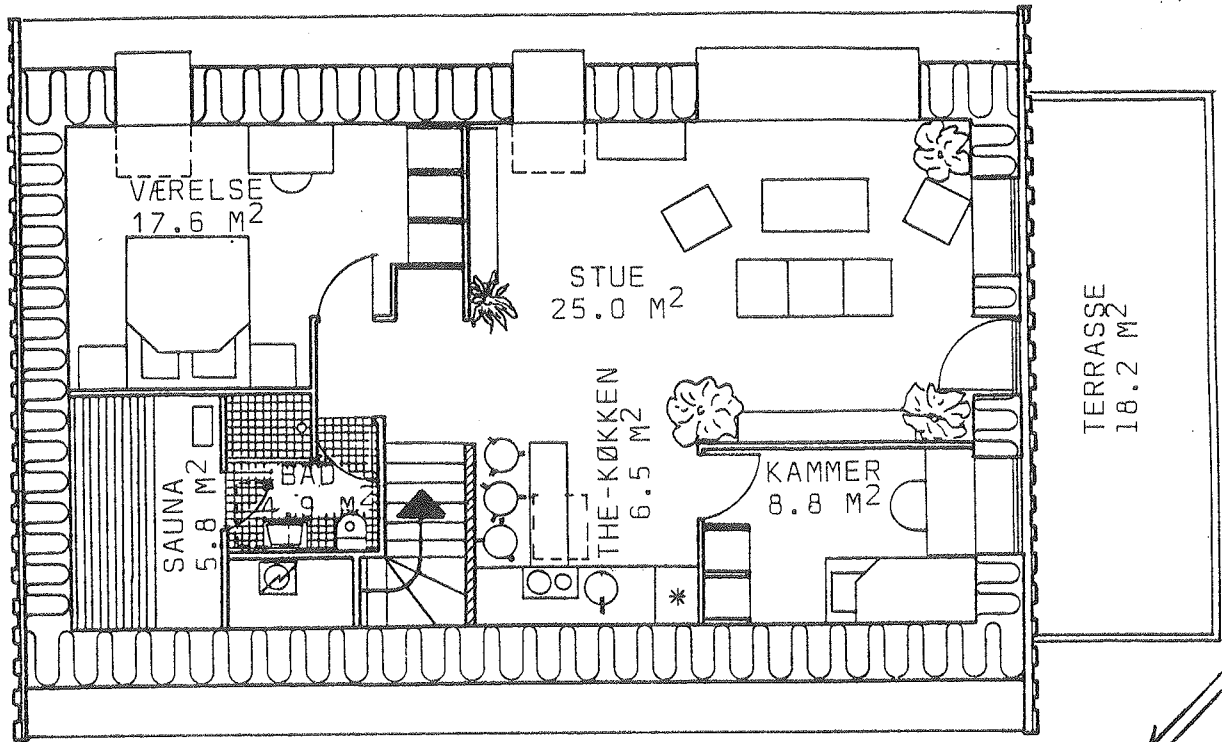
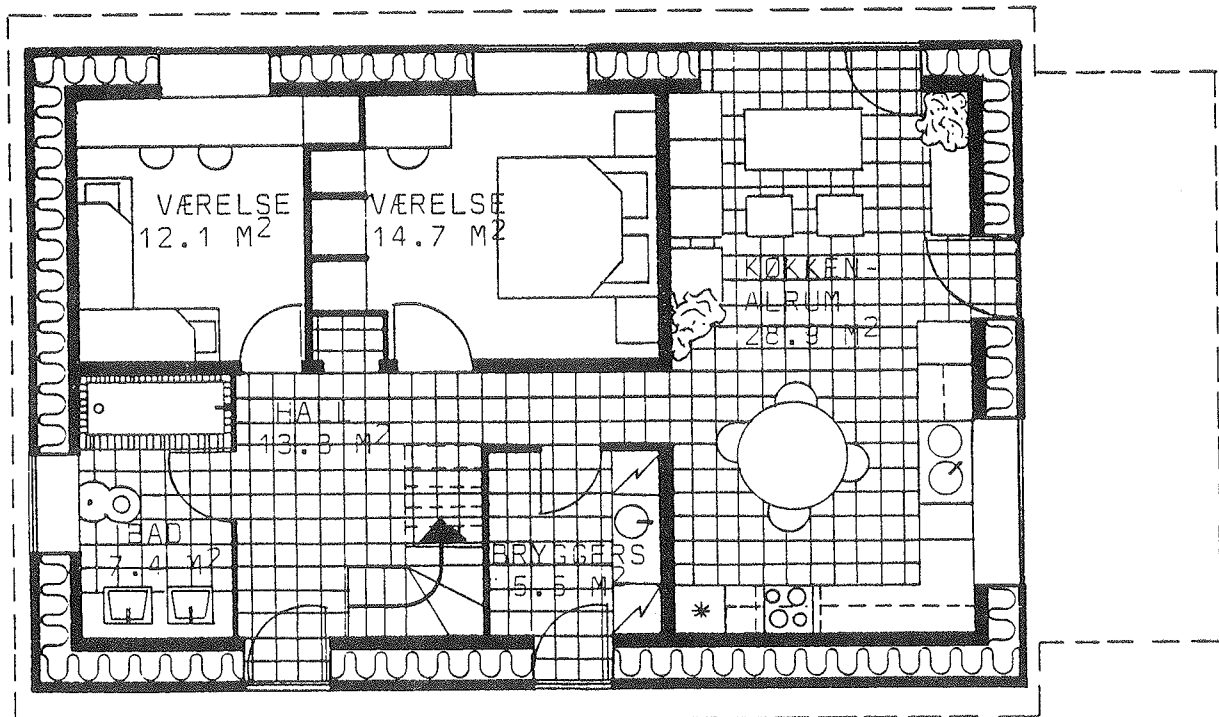


Fig. 2. Situationsplan med husets beliggenhed og med angivelse af skyggegivende træer



TAGETAGE 1:100



STUEPLAN 1:100

Fig. 3. Plan af huset. Det udførte projekt afviger på enkelte punkter fra disse tegninger.

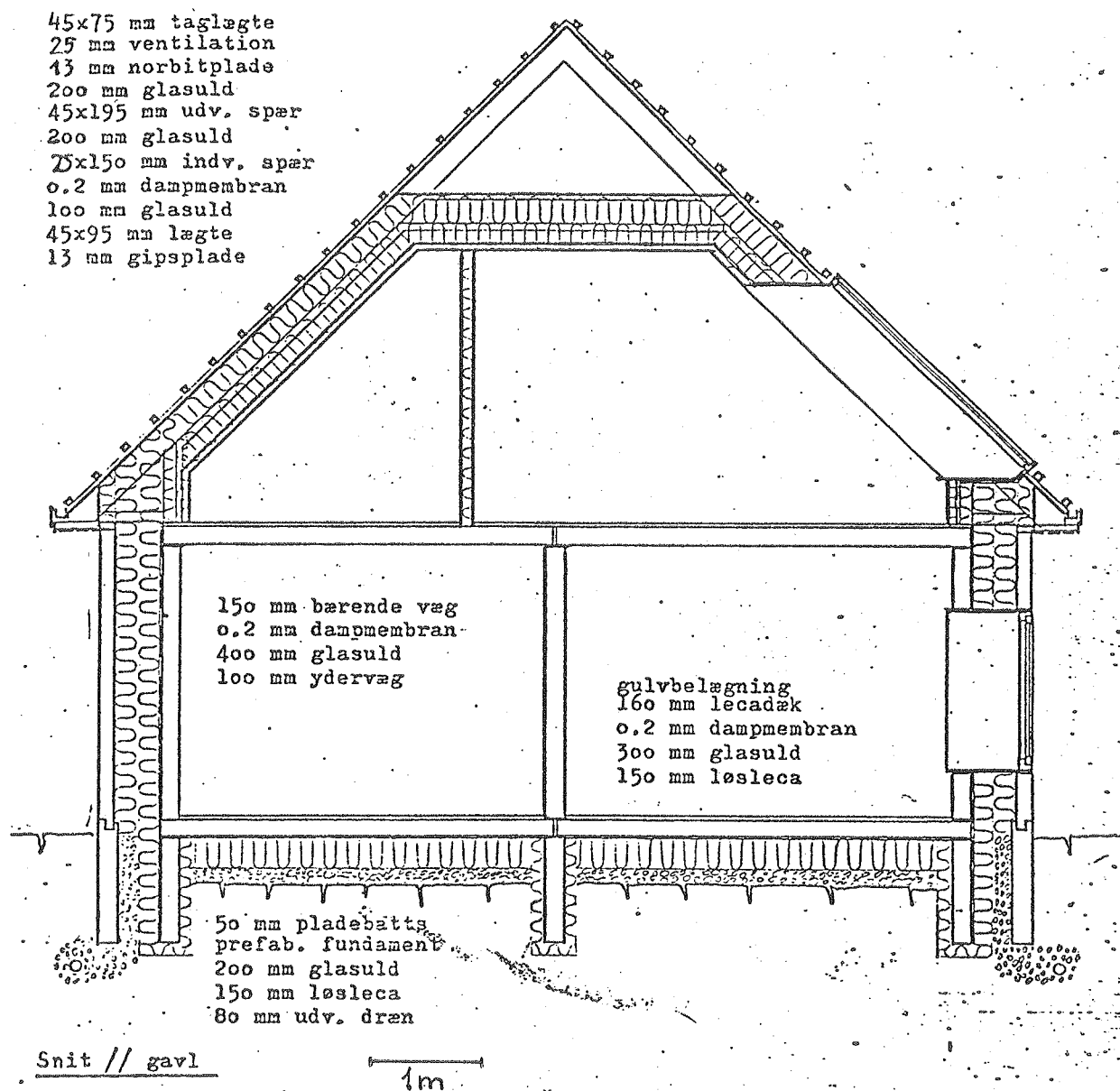


Fig. 4. Lodret tværsnit af huset. Det udførte projekt har i tagetagen fået lidt andre mål.

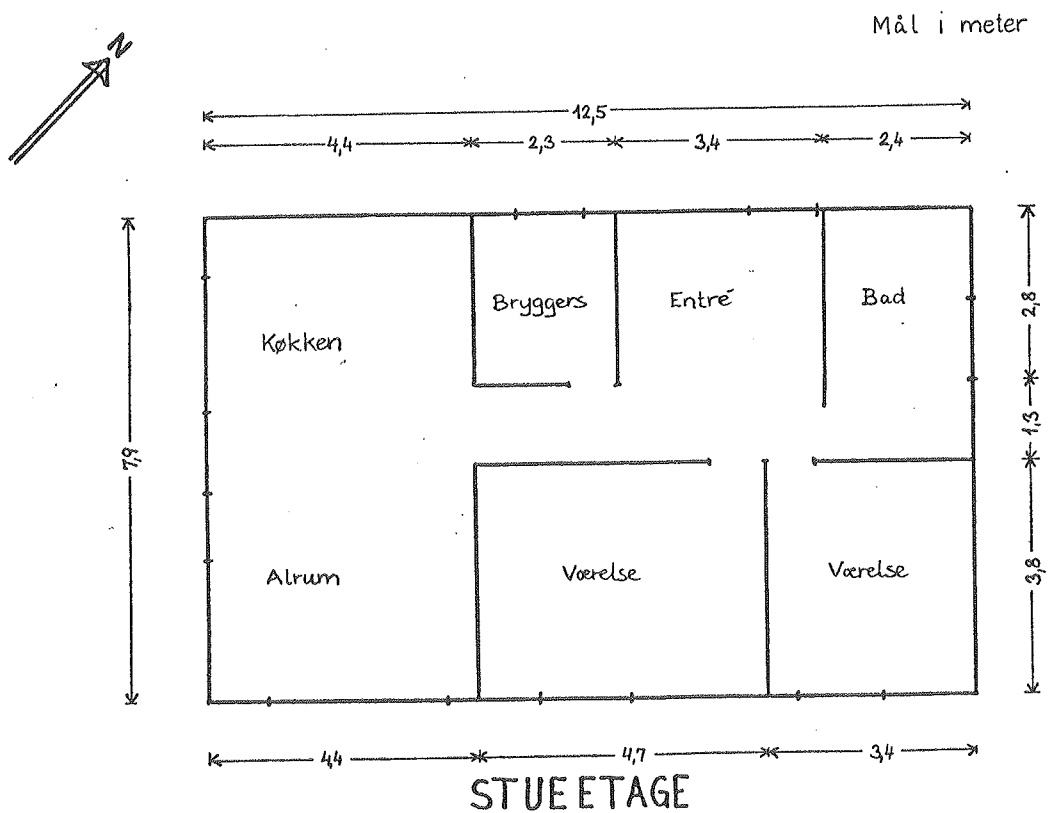
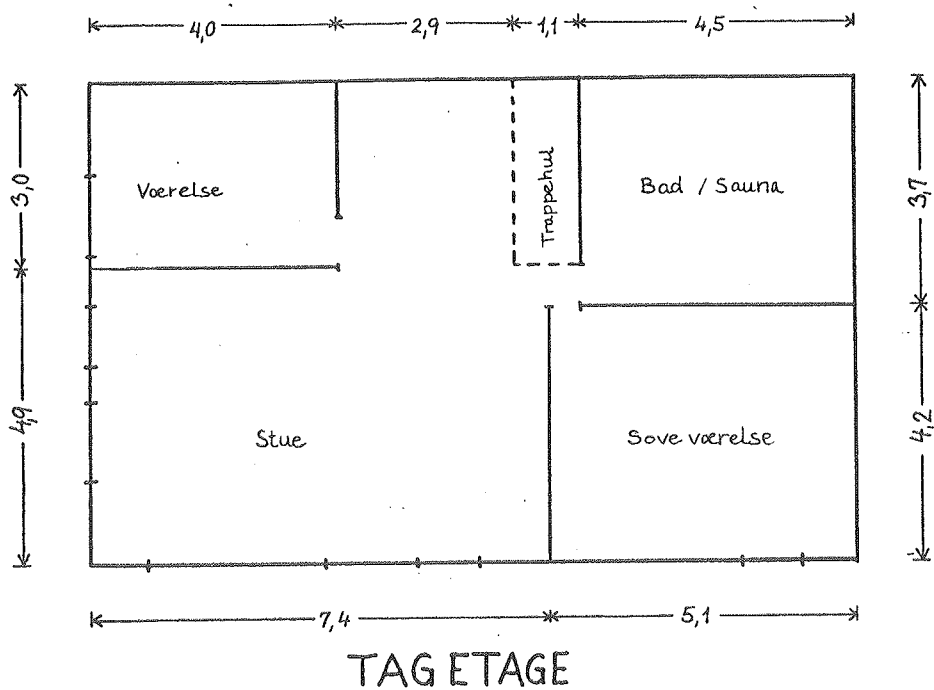


Fig. 5. Forenklet plan af hus (udformet til EDB-beregninger).

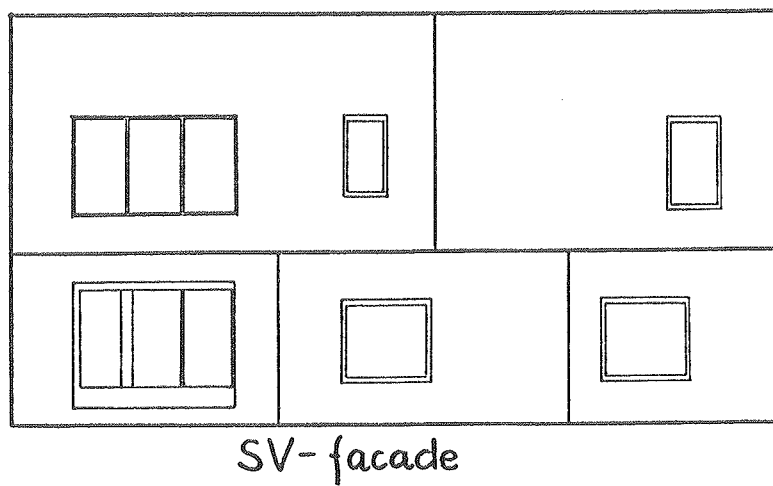
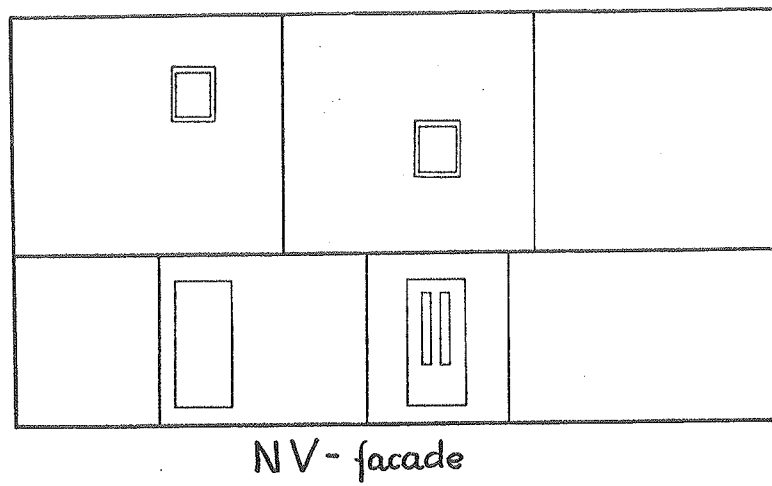
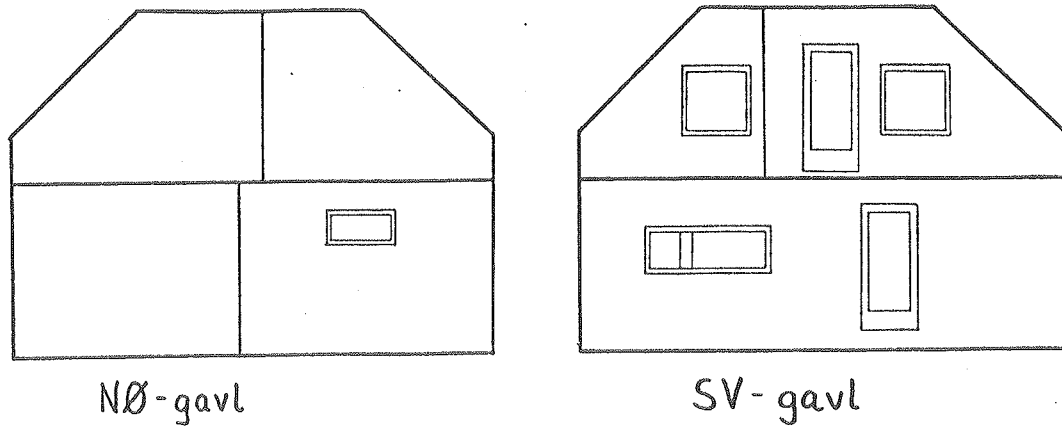


Fig. 6. Forenklede facadetegninger (til EDB-beregninger), som "varme-flader" set udefra. Vægge er afbildet lodret, mens tag er afbildet skråt.

HUSETS OPBYGNING

Huset er på 1 1/2 etager uden kælder med et bebygget areal på 110 m² (13 x 8,5 m) og et brutto-etageareal på ca. 200 m². Ydervægge er 0,65 m tykke og optager således 26 m² i hver etage, altså ca. 1/4 af bruttoetagearealet.

Huset er udpræget velisoleret - med 0,4 - 0,5 m tykt mineraluld og med 3-lags termoruder. Der er ingen kuldebroer, idet der er lavet en ydre selvstændig konstruktion og en indre selvstændig konstruktion, der kun er forbundet i et for varmetransport ubetydeligt omfang.

Den indre konstruktion består i stueetagen af "Leca"-etagedæk til loft og gulv og af "Leca"-vægelementer af Leca-beton 1200. Gulvbelægning er af klinker i bad, entré og bryggers, og ellers af træ, og loftet er beklædt med gipsplader med kunsttræbelægning. I tagetagen er vægge og loft af gipsplader på træskelet, og gulv af træ. Stueetagen er altså ret tung og varmeakkumulerende, og tagetagen let og ikke videre varmeakkumulerende.

Den store entré i stueetagen og stuen på 1' sal er i åben forbindelse via en trappeopgang.

Der er ikke vindfang i entréen, men i det daglige vil det evt. være naturligt at kunne benytte bryggersdøren (for familier med børn).

Vinduer

Huset har ialt 26 m² vinduer (3-lags termoruder) med 70% glas, dvs. ialt 19 m² glas.

Vinduesarealet er altså 13% af bruttoetagearealet, dvs. lidt mindre end de maksimale 15%, der umiddelbart tillades for to-lags ruder i et hus, der kun er isoleret efter minimumskravene i bygningsreglementet, BR 77. Med tre-lags ruder og ekstra isolering tillades noget større glasareal.

Glasarealet er fordelt med:

12,3 m ²	mod	SØ	(6,6 m ² i stueetage;	5,7 m ² i loftsetage)
5,2 m ²	mod	SV	(2,1 - " -	3,1 - " -
1,3 m ²	mod	NV	(0,4 - " -	0,9 - " -
0,4 m ²	mod	NØ	(0,4 - " -	0 - " -

Tagvinduerne er uden ydre afskærmning. For de lodrette vinduer er der om sommeren nogen solafskærmning fra tagudhæng. Ved syd-vestgavlen er der en terrasse for loftetagen, som for SV-vinduerne i stueetagen afskærmer for næsten al sol.

Sol og skygge

Husets beliggenhed fremgår af situationsplanen. Fra Birkerød Sø er der fri adgang for solstrålerne fra sydøst også fra den lave vintersol. Ind imellem kan der, især om eftermiddagen, dog komme nogen skygge fra nogle træer langs søbredden.

Husets opvarmning

Huset har elvarme, med vægradiatorer med en samlet effekt på 8,2 kW. Opvarmningen kan både styres med central termostat og ved de enkelte el-ovne.

Den centrale termostat sidder bekvemt for manuel regulering, og beboerne indstiller denne til 16-17°C om natten, og når de ikke er hjemme (begge er udearbejdende), således at yderligere opvarmning kun er påkrævet om aftenen og på fridage (når solindfald gennem vinduerne ikke har været tilstrækkeligt). Under ferier sænkes minimumstemperaturen til 10°C.

Fra december 1982 er der desuden installeret en brændeovn i stueetagen.

AFSNIT II BEREKNINGER

BEREGNINGSFORMEN

I de følgende afsnit er der vist nogle beregninger for varmebalancen for solhuset i Birkerød. Beregningerne er overslagsmæssige - af samme art som dem man i en del ingeniørfirmaer ville lade supplere detaljerede mindre gennemskuelige EDB-beregninger. Man får hermed en oversigt over størrelsen af de forskellige bidrag til varmebalancen, så der ikke arbejdes unødigt med vanskeligheder i bestemmelsen af mindre væsentlige bidrag. Derved fås en simpel ingeniørmæssig parallel til de avancerede EDB-beregninger, som samtidig er igang for dette forskningsprojekt.

Den her benyttede beregning går ud fra den helt traditionelle beregningsmetode, som blot modificeres med henblik på at tage nærmere hensyn til passiv solvarme og anden gratisvarme. Den traditionelle beregningsmetode har været brugt til utallige praktiske opgaver i tidens løb, og man har således erfaring med nøjagtigheden af beregningsresultaterne. Da der i forudsætningerne indgår upræcise forhold som beboernes levevis, vejret fra år til år m.v., kan det være vanskeligt at opnå helt præcise resultater. Ved beregning af solindfald kommer dertil en vurdering af skyggeforhold både for det direkte og det diffuse solskin, evt. gardiners virkning, m.v.

Først beregnes varmetabet på sædvanlig vis. Der er ganske vist mulighed for teoretiske overvejelser af vigtige randproblemer med to- og tredimensionale og ikke-stationære varmestrømme, fx i hjørner og i nærheden af vinduer i et hus med så tyk isolering. Men af det samlede resultat fremgår det, at det væsentlige bidrag til usikkerheden i varmetabsberegningen er at finde i bestemmelsen af husets ventilation.

Ud fra nogle få tal for solindfald gennem ruder hentet fra litteraturen beregnes solvarmebidraget til ca. 2500 kWh/år, dvs. ca. 1/4 af opvarmningsbehovet ved sænket stuetemperatur. Beregningen her udelader sommermånederne med det største solindfald,

og de øvrige måneders bidrag reduceres for overskudssolvarme, som nærmere angivet i senere afsnit. Huset er velbeliggende nord for en sø, så skygge fra omgivelserne spiller en mindre rolle, også om vinteren. Det er fundet, at ca. 40% af solindstrålingen forår og efterår ikke kan nyttiggøres. Dette tal afhænger dels noget af husets varmeakkumulerende virkning og dels af rudearealets størrelse.

Når der er overskud af solvarme, stiger rumtemperaturen (hvis ikke varmen ventileres bort), og temperaturstigningerne på solskinsdage er løseligt beregnet, dels for den lette tagetage med ovenlysruder, og dels for den mere tunge stueetage med lodrette vinduer under tagudhæng. Resulterende overtemperaturer er, ud over temperaturstigningen som beregnet, afhængigt af en række mindre præcise omstændigheder, som udetemperaturen, åbne indvendige (og udvendige) døre og husets brug m.v. Så det kan være vanskeligt at lave en præcis praktisk relevant beregning af resulterende overtemperaturer. Stueetagen ses ikke at få problemer med overtemperaturer.



Udsigt over Birkørød Sø fra midt-værelset i stueetagen. Ved tyk vægisolering kan det være vanskeligt at komme helt tæt på ruden.

ISOLERINGSVÆRDIER

Varmetransmissionskoefficienter (k-værdier) og arealer af gulv og vægge m.v. beregnes efter DIF's varmetabsregler (ref. 6).

Der er benyttet følgende byggematerialer:

Praktisk varmeledningsevne

	W/m°C
Glasuld A	0,039
Træ	0,17
Løs leca som kapilarbrydende lag	0,13
Lecabetonelementer	0,5

Isolansværdier:

	m ² °C/W
0,25 m glasuld	$m = \frac{0,25}{0,039} = 6,4$
0,30 m - " -	7,7
0,40 m - " -	10,3
0,50 m - " -	12,8
0,15 m løs Leca	$\frac{0,15}{0,13} = 1,2$
0,10 m lecabetonelementer	$\frac{0,10}{0,5} = 0,2$
0,15 m - " -	0,3
0,16 m lecadæk	0,3
0,02 m træ	$\frac{0,02}{0,17} = 0,1$
Overgangsisolans mod luft $m_i + m_u$	0,2
Overgang mod jord $t_{\text{jord}} = 8^{\circ}\text{C}$	1,5
Overgang mod jord $t_{\text{jord}} = -12^{\circ}\text{C}$	0,7
Ventileret 10 mm luftspalte: $m_l = 0,13 - 0,07 = 0,1$	

Transmissionskoefficienter, k-værdier

<u>Gulv</u> , 12 x 7 = 84 m ²	m
<u>Indre randfelt</u> , 10 x 5 = 50 m ²	
0,16 m lecadæk	0,3
0,3 m glasuld	7,7
0,15 m løs leca	1,2
Overgang mod jord	<u>1,5</u>
Ialt Σ m	<u>10,7</u>

$$k = \frac{1}{10,7} = \underline{\underline{0,09}} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

<u>Gulv ydre randfelt</u> , 34 m ²	
0,16 m lecadæk	0,3
0,3 m glasuld	7,7
0,15 m løs leca	1,2
Randisolering 0,25 m glasuld	6,4
0,15 m løs leca	1,2
Overgang mod jord	<u>0,7</u>
Ialt Σ m	<u>17,5</u>

$$k = \frac{1}{17,5} = \underline{\underline{0,06}} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

<u>Ydervæg</u>	
0,15 m lecabeton	0,3
0,40 m glasuld	10,3
0,10 m lecabeton	0,2
m _i + m _u	<u>0,2</u>
Ialt Σ m	<u>11,0</u>

$$k = \frac{1}{11,0} = \underline{\underline{0,09}} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

<u>Tag</u>	
0,5 m glasuld	12,8
Ventileret tag + undertag	0,3
m _i + m _u	<u>0,2</u>
Ialt Σ m	<u>13,3</u>

$$k = \frac{1}{13,3} + 10\% = \underline{\underline{0,08}} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Lidt isolering (5%) er dog udskiftet med tømmer til at bære tag og loft. Tømmer er ikke gennemgående, så k-værdi er over-slagsmæssigt øget med 10%.

Gavl-trekanter

0,5 m glasuld	12,8
Ventileret luftlag	0,1
0,02 m træ	0,1
$m_i + m_u$	<u>0,2</u>
Ialt Σm	<u>13,2</u>

$$k = \frac{1}{13,2} = \underline{\underline{0,08}} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

VARMETABSBEREGNING

Dimensionerende varmetabsberegning for indetemperaturen $t_i = 20^\circ\text{C}$, beregnet efter DIF's varmetabsregler (ref 6), giver:

	Areal m^2	k $\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$	Φ_{32} kW
Gulv, indre randfelt, $t_{\text{jord}} = 8^\circ\text{C}$	50	0,09	0,05
Gulv, ydre randfelt, $t_{\text{ude}} = -12^\circ\text{C}$	34	0,06	0,07
Ydervægge $78-17 =$	61	0,09	0,17
Gavltrekanter $2 \times 14 - 5 =$	23	0,08	0,05
Tag, $t_{\text{him}} = -17^\circ\text{C}$ $120 - 8 =$	112	0,08	0,33
Vinduer, stueetage	13	2,1	0,87
Vinduer, lodrette, tagetage	5	2,1	0,34
Vinduer, skrå, tagetage, $t_{\text{him}} = -17^\circ\text{C}$	8	2,1	0,62
Døre	4	1,5	0,19
Ventilation $n = 0,4$ gang pr. time			
Stueetage, 200 m^3			0,87
Tagetage, 150 m^3			<u>0,65</u>
Ialt for hele huset			<u>4,2 kW</u>

Stueetage:

Gulv + vægge	0,29 (13%)
Vinduer + døre	1,06 (48%)
Ventilation	<u>0,87 (39%)</u>
Ialt	<u>2,2 kW</u>

Tagetage

Loft + vægge	0,38 (19%)
Vinduer	0,96 (48%)
Ventilation	<u>0,65 (33%)</u>
Ialt	<u>2,0 kW</u>

Hele huset:

Årligt opvarmningsbehov for $t_i = 17^{\circ}\text{C}$
 og ingen gratisvarme: $2,25 \times 4,2 \times 10^3$ = 9.500 kWh

Årligt opvarmningsbehov for $t_i = 20^{\circ}\text{C}$
 og ingen gratisvarme: $1,25 \times 9.500$ = 12.000 kWh

Ved sædvanlig ingeniørmæssig dimensionering benytter man resultater for $t_i = 17^{\circ}\text{C}$ som fyringsudgifter, idet man så siger, at gratisvarmen hæver indetemperaturen yderligere ca. 3°C . Når gratisvarmen beregnes særskilt, som her, benyttes normalt $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ bl.a. også for at få et relevant sammenligningsgrundlag. I det aktuelle tilfælde har beboerne som regel varmeanlægget indstillet til at holde minimumstemperaturen 17°C om natten, og da de begge er udearbejdende, også 17°C om dagen. Ved hjemkomsten om aftenen har solvarmen så ofte hævet temperaturen nogle grader. Når det ikke er tilfældet, kan beboerne tilslutte mere el-varme. Derved kan det årlige opvarmningsbehov i det aktuelle tilfælde sættes til 10.000 kWh. (Heraf dækkes så halvdelen af gratisvarme, som det skal vises, således at fyringsudgiften bliver godt 5.000 kWh pr. år. Dette resultat stemmer med måleresultatet for det første år).

SOLVARME

Solindfald gennem to-lagsruder i kWh/m² er ifølge EDB-beregninger (ref 5) for de vigtigste måneder i gennemsnitsåret:

	året	feb	jun	sep	dec
SØ, SV lodret	590	30	80	50	20
45° skrå	810	30	130	70	20
NØ, NV lodret	340	10	60	30	3
45° skrå	510	10	100	40	5

(Oversigt for samtlige måneder er givet senere).

For tre-lagsruder er solindfaldet 10% (9 - 12%) lavere, på grund af især refleksion fra endnu et lag glas. Med de opmålte glasarealer fås så kWh solindfald:

	året	feb	jun	sep	dec
Stue, tagetage					
4,7 m ² skrå SØ	3400	140	550	300	80
2,1 m ² lodret SV	1100	60	150	100	40
0,4 m ² skrå NV	180	4	35	14	2
Ialt kWh	4700	210	730	420	120
Soveværelse tagetage					
1,0 m ² skrå SØ	730	30	120	60	20
Værelse, tagetage					
1,0 m ² lodret	530	30	70	50	20
Ialt tagetage kWh	<u>6000</u>	<u>270</u>	<u>920</u>	<u>530</u>	<u>150</u>

	året	feb	jun	sep	dec
Alrum, stueetage					
3,5 m ² lodret SØ	1800	100	250	170	60

(Øvrige vinduer er under SV terrasse og medregnes ikke)

Værelse, 2 stk.					
1,5 m ² lodret SØ	800	40	110	70	30
Ialt stueetage kWh	<u>3400</u>	<u>180</u>	<u>470</u>	<u>320</u>	<u>120</u>
Ialt hele huset kWh	<u>9400</u>	<u>450</u>	<u>1390</u>	<u>850</u>	<u>270</u>

(De små vinduer mod NV og NØ til badeværelser er ikke medregnet).

Året deles i 3 x 4 måneder:

4 sommermåneder	4 x 1300 = 5200 kWh
4 vintermåneder	4 x 300 = 1200 -
4 forårs- og efterårsmåneder	4 x 700 = 3000 -
	<u>9400 kWh</u>

Fyringssæsonen medregner ikke sommeren, selv om lidt solindfald her også er at foretrække. I mange praktiske tilfælde kan man ikke få nogen videre glæde af den lave vintersol på grund af skygge fra anden bebyggelse m.v., men her der er gunstige forhold på grund af beliggenheden ved Birkerød Sø, så vintermånederne medtages. I forårs- og efterårsmånederne vil der ofte komme mere solindfald, end der kan udnyttes, således at ca. 40% af solvarmen (som det vises senere) "spildes" på grund af overtemperaturer. Desuden er der reduktion af solindfald på grund af skygge fra træer og tagudhæng. Som det vises senere, kan skygge for nyttig solvarme for dette hus dog sættes til en ret lav værdi.

Årsregnskabet for solvarme bliver dermed:

Året - sommer	9400 - 5200 = 4200
40% overtemperaturspild forår og efterår	~ 1200
Skygge for nyttig solvarme	~ 300
Nyttig solvarme (afrundet)	~ <u>2500 kWh/år</u>

Anden gratisvarme

En bolig med 2 - 3 personer vil få tilført varme fra personerne, fra elektrisk belysning, fra madlavning, m.v. Det vil her blive sat til 2000 kWh pr. år, som begrundet lidt nærmere senere.

FYRINGSBEHOV

Med en stuetemperatur på $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ fås:

Opvarmningsbehov	12.000 kWh/år
Gratisvarme fra personer og el. m.v.	2.000 kWh/år
Solvarme	<u>2.500 kWh/år</u>
Fyringsbehov (eller suppleringsvarme)	<u>7.500 kWh/år</u>

Beboerne benytter ved fyring stort set $t_i = 17^{\circ}\text{C}$ det meste af tiden, men hævet til $t_i = 20^{\circ}\text{C}$ nogle dage og timer (fx vinteraftener på dage uden solskin). Så fås:

Opvarmningsbehov	10.000 kWh/år
Gratisvarme	2.000 kWh/år
Solvarme	<u>2.500 kWh/år</u>
Fyringsbehov	<u>5.500 kWh/år</u>

Der kan udnyttes mere solindfald ved den lave stuetemperatur, når større temperaturstigninger accepteres, men ved denne beregning med "runde" tal er det ikke af betydning.

SOLOVEROPHEDNING

På alle tider af året kan der i nogle timer komme mere solvarme ind gennem vinduerne end der er behov for til at dække varmetabet. Derved vil der komme en temperaturstigning, som især om sommeren i tagetagen kan bevirke uønskede overtemperaturer.

Af solbeskinnede ruder er der i tagetagen $5,7 \text{ m}^2$ glas mod SØ med 45° hældning og $3,1 \text{ m}^2$ lodret glas mod SV. I stueetagen er der $6,6 \text{ m}^2$ glas mod SØ, og vinduerne mod SV er stort set i skygge.

På gode solskinsdage kommer der for alle årstider på den lodrette sydflade en indstråling på $0,5 \text{ kW/m}^2$ over 4 - 5 timer, og på SØ- og SV-flader kan der her regnes med samme værdier. Tre-lagsruder har ca. 30% tab til refleksion m.v. Desuden er der reduktion på grund af skråt indfald noget af tiden, således at den resulterende middelsolindstråling kan regnes til ca. 60% af $0,5 \text{ kW/m}^2$, dvs. $0,3 \text{ kW/m}^2$. For de skrå ruder mod SØ fås ved tilnærmet at benytte tabelværdierne fra EDB-beregninger (side 16), at det maksimale solindstråling over 4 - 5 timer er ca. $130/80 \times 0,3 = 0,5 \text{ kW/m}^2$ om sommeren og ca. det samme som for de lodrette ruder resten af året.

Dermed fås for det samlede middelsolindstråling:

Tagetage

$5,7 \text{ m}^2$ skrå glas mod SØ, sommer	$5,7 \times 0,5 = 2,8 \text{ kW}$
$5,7 \text{ m}^2$ skrå glas mod SØ, året iøvrigt	$5,7 \times 0,3 = 1,7 \text{ kW}$
$3,1 \text{ m}^2$ lodret glas mod SV, hele året	$3,1 \times 0,3 = 0,9 \text{ kW}$

Stueetage

$6,6 \text{ m}^2$ lodret glas mod SØ, hele året	$6,6 \times 0,3 = 2,0 \text{ kW}$
---	-----------------------------------

Huset har et dimensionerende varmetab på $\Phi_{32} = 4,2 \text{ kW}$, hvoraf $1,5 \text{ kW}$ er ventilation. En stille dag, hvor huset ikke benyttes, er ventilationen måske det halve, dvs. $\Phi_{32}^* \approx 3,5 \text{ kW}$. Med en indendørs temperatur på $t_i = 20^\circ\text{C}$ og en vinterudetemperatur på $t_u = 0^\circ\text{C}$ fås $\Phi_{20}^* = 3,5 \times 20/32 = 2,2 \text{ kW}$. Dvs. varmetabet er ca.

1 kW fra hver etage på almindelige, stille gennemsnitsvinterdage (mellem udluftninger).

Tagetagen er på 90 m² brutto, med netto gulvareal på 75 m² og med 110 m² skråvægge + loft og 110 m² vægge iøvrigt. Stueetagen er på 110 m² brutto med netto gulvareal på 85 m² og med 196 m² indvendig vægoverflade. Til beregning af overtemperaturer ved fig. 3 i ref. 4 benyttes da, at tagetagen er 90/100 x normalhus med gipsvægge, gipsloft og trægulv, og stueetagen er 110/100 x normalhus af letbeton.

Ved kun at regne med varmetab om vinteren fås derved følgende temperaturstigninger over 4 - 5 timer.

	Varmerover- skud kW		Temp. stig- ning °C
Tagetage, sol fra SØ			
Sommer	2,8	$\frac{100}{90} \times \frac{2,8}{2,0} \times 5 =$	8
Forår, efterår	1,7	$\frac{100}{90} \times \frac{2,8}{2,0} \times 5 =$	5
Vinter	1,7 - 1,0 = 0,7	$\frac{100}{90} \times \frac{0,7}{2,0} \times 5 =$	2
Tagetage, sol fra SV			
Sommer	0,9	$\frac{100}{90} \times \frac{0,9}{2,0} \times 5 =$	2,5
Forår, efterår	0,9	$\frac{100}{90} \times \frac{0,9}{2,0} \times 5 =$	2,5
Vinter	0,9 - 1,0 = -0,1		= 0
Vinter, 2 første timer	0,9	$\frac{100}{90} \times \frac{0,9}{2,1} \times 2 =$	1
Stueetage			
Sommer 50% x 2,0 =	1,0	$\frac{100}{110} \times \frac{1,0}{2,0} \times 3 =$	1,5
Forår, efterår	2,0	$\frac{100}{110} \times \frac{2,0}{2,0} \times 3 =$	2,5
Vinter	2,0 - 1,0 = 1,0		1,5

Om sommeren afskærer tagudhængen ca. 50% af solindstrålingen i stueetagen. Tagetagen får i et par timer sol fra både SØ og SV, så der er soloverskuddet større. Da varmen kun langsomt fordeles sig over hele stueetagen og i tagetagen til den sidste 1/5 med bad og sauna, kan den sydlige del af etagen få store temperaturstigninger, dvs. der fås som maksimale temperaturstigninger:

		temperatur- stigning i sydlige del
Tagetage sydlige 4/5 del		
Sommer	$(8 + 2,5) \times 1,2$	13°C
Forår, efterår	$(5 + 2,5) \times 1,2$	9°C
Vinter	$(2 + 1) \times 1,2$	4°C
Stueetage sydlige halvdel:		
Sommer	$1,5 \times 2$	3°C
Forår, efterår	$2,5 \times 2$	5°C
Vinter	$1,5 \times 2$	3°C

Disse store regningsmæssige temperaturstigninger kan reduceres for ikke indregnet varmetab forår, efterår og sommer og ved en bedre varmfordeling i huset.

Ifølge disse beregninger skulle der således om sommeren kunne blive 30°C varmt i tagetagen med 35°C i den sydlige del, mens stueetagen med en starttemperatur på 20°C om morgenen skulle holde sig nede på max. 23°C, dvs. eventuelt køligere end mid-dagsudelufttemperaturen.

HUSETS VARMEKAPACITET

Huset har, inden for den ydre isolering, en termisk masse i de indvendige konstruktioner, som kan lagre varme i korte eller længere tid. Der er:

Stueetage

72 m ²	(indvendig) ydervæg	af 150 mm Leca 1200
62 m ²	skillevæg	af - " -
83 m ²	gulv	af 22 mm træ + 160 mm Leca
83 m ²	loft	af 160 mm Leca

Tagetage

108 m ²	skråvægge + loft	af 13 mm gips
26 m ²	gavle	af - " -
42 m ²	skillevægge	af 2 x 13 mm gips
76 m ²	gulv	af 22 mm træ

(De nævnte arealer er de indvendige overfladearealer, så der er desuden lidt ekstra konstruktioner i hjørnerne). Dermed fås for den termiske masse:

Leca	47 m ³	0,50 kWh/m ³ °C	23 kWh/°C
Gips	3 m ³	0,36 - " -	1
Træ	3 m ³	0,50 - " -	2
Ialt, varmekapacitet			<u>26 kWh/°C</u>

Etageadskillelsen af lecadæk vil udveksle varme både med stueetagen og tagetagen, når der betragtes en passende lang periode, men ellers findes langt det meste af husets samlede varmekapacitet i stueetagen.

Ved kortere opvarmningsperioder fungerer huset imidlertid med en meget mindre tilsyneladende varmekapacitet. Ved beregning af soloverophedning blev det vist, at over 4 - 5 timer vil der komme en temperaturstigning i tagetagen på 8°C ved 13 kWh varmeoverskud og i stueetagen på 25°C ved 9 kWh varmeoverskud. Det vil sige, at "korttidsvarmekapaciteten" er 1,6 kWh/°C i tagetagen og 3,6 kWh/°C i stueetagen, altså ialt for hele huset: 5 kWh/°C. Sammenholdes dette med de 26 kWh/°C ovenfor, kan det siges, at i løbet af en periode med 4 - 5 timers stærk sol er det kun 1/5 af den termiske masse, der når at træde i funktion. Men over en længere periode, fx med en varm uge efterfulgt af en

kølig uge, vil hele den termiske masse kunne medvirke til varmeudjævning.

VARMEBALANCE MÅNEDSVIS

September har i normalåret 40 graddage. Med et dimensionerende varmetab på $\Phi_{32} = 4,2 \text{ kW}$ giver det et fyringsbehov på:

$$4,2 \times 1/32 \times 24 \times 40 = 130 \text{ kWh}$$

Derved opnås en temperatur på $t_i = 17^\circ\text{C}$. For at få $t_i = 20^\circ\text{C}$ må der tilføjes lidt mindre end 3 x 30 graddage, og så er der ialt brug for 400 kWh. Solindfaldet i september fandtes til ca. 800 kWh, dvs. at mindst halvdelen af solvarmen i september kan ikke nyttiggøres i fyringsregnskabet. For de enkelte måneder i fyringssæsonen fås for hele huset:

	graddage	Varmetab		solindfald	max mulig solvarmedækning
		$t_i=17^\circ\text{C}$	$t_i=20^\circ\text{C}$		
		kWh	kWh		
sept	40	130	410	850	>>100%
okt	250	790	1070	550	70%
nov	390	1230	1510	310	25%
dec	500	1580	1860	270	17%
jan	530	1670	1950	200	12%
feb	490	1540	1830	450	30%
mar	450	1420	1700	570	40%
apr	290	910	1200	1060	>100%
(maj	60	190	470	1280	>>100%)

kWh sol på SØ og SV	JAN	FEB	MAR	APR	MAJ	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEC	ÅRET	Sommer M+J+J+A	Forår + efterår M+A+S+O	Vinter J+F+N+D	Fyrings- sæson
Lodret 1 m ² to-lag	15	31	36	65	76	80	75	74	54	37	22	20	587	305	193	88	281
45° skrå - " -	15	34	47	92	115	130	116	107	71	43	22	18	810	468	253	90	343
Lodret 2 m ² tre-lag	13	28	33	59	68	72	67	67	49	33	20	18	528	274	174	79	253
- " 1,5 m ² - " -	20	42	49	88	103	108	101	100	73	50	30	28	792	412	260	120	380
- " - 2,1 m ² - " -	28	59	69	123	144	151	141	140	103	70	42	39	1109	576	365	168	533
- " - 3,5 m ² - " -	46	98	115	206	240	252	235	233	171	117	70	64	1848	960	609	278	887
45° skrå 1 m ² - " -	13	31	42	83	103	117	104	90	64	39	20	17	729	420	228	81	309
- " - 4,7 m ² - " -	62	145	199	388	486	548	491	453	301	182	95	78	3428	1978	1070	380	1450
4,7 m ² skrå + 2,1 m ² lodret	90	204	268	511	630	699	632	593	404	252	137	117	4536	2554	1435	548	1983
S = lodret (3,5+2 · 1,5) m ²	86	182	213	382	445	469	437	433	318	218	129	120	3432	1784	1131	517	1648
T = (4,7+1,0)m ² skrå + (2,1+1,0)m ² lodret	116	263	343	653	801	888	803	756	517	324	177	152	5793	3248	1837	706	2545
S+T (Stueetage + Tagetage)	202	445	556	1035	1246	1357	1240	1189	835	542	306	272	9225	5032	2968	1225	4193
(0,4 m ² skrå NV tre-lag	2	4	10	20	30	35	32	24	14	7	3	2	183	121	51	11	62)

Beregnet solvarmeindfald måned for måned gennem vinduerne i Birkerød-huset uden reduktion på grund af skygge fra træer og tagudhæng, (ref. 5)

Maj regnes normalt ikke med til fyringssæsonen (eller det meste af maj og noget af september). Gratisvarmebidraget på 2000 kWh/år fra personvarme og el-belysning m.v. kan i gennemsnit hæve temperaturen med 2°C.

De viste tal for max. mulig solvarmedækning forudsætter, at al solvarme modtaget over en måned kan udjævnes og nyttiggøres til at give $t_i = 17^\circ\text{C}$. I praksis vil en del af solvarmen i stedet give overtemperaturer, især i de solrige måneder. Fordelt på de to etager fås med en rumtemperatur på $t_i = 17^\circ\text{C}$:

	Tagetage			Stueetage		
	varme- tab	solind- fald	max mulig solvarme- dækning	varme- tab	solind- fald	max mulig solvarme- dækning
	kWh	kWh		kWh	kWh	
sept	60	530	>>100%	70	320	>100%
okt	380	330	90%	410	220	53%
nov	590	180	30%	640	130	20%
dec	750	150	20%	830	120	14%
jan	800	120	15%	870	90	10%
feb	730	270	37%	810	180	22%
mar	680	350	52%	740	210	28%
apr	430	670	>100%	480	380	80%
(maj	90	830	>>100%	100	445	>100%)

Det ses, at det relative solvarmebidrag er ca. 1 1/2 så stort for tagetagen som for stueetagen. Da tagetagen er med lette konstruktioner, kan solvarmebidraget her desuden dårligere udjævnes end for stueetagen, så en hel del af solvarmen vil ikke kunne udnyttes, men give anledning til overtemperaturer.

UDNYTTET SOLINDFALD

En del af solvarmen fra det passive solindfald gennem vinduerne kan ikke medregnes til reduktion af fyringsbehovet, da der til tider kommer mere sol, end både varmetabet og lagermulighederne kan udnytte.

For det første medregnes de 4 sommermåneder ikke. Så ses der på fyringsbehov og solindfald summeret måned for måned. Da huset ikke kan gemme varme fra den ene måned til den næste, skal eventuelt soloverskud bortkastes.

Dernæst vurderes solrige døgn på samme måde. Da huset tilnærmet vil siges ikke at kunne gemme varme fra et døgn til det næste uden for store temperaturspring, må solrige døgns varmeoverskud bortkastes.

Til sidst vurderes solrige timer. Da den lette tagetage kan få uacceptable temperaturer ved solindfald på døgn, der ellers har fyringsbehov, må noget af solskinstimernes overskudsvarme bortkastes. Den tungere stueetage kan lagre overskudsvarmen til natten, hvis der accepteres temperaturstigninger på 3°C i gennemsnit eller 5°C i den sydlige del (som den tidligere beregning af overtemperaturer viste). De summerede månedsværdier viser, at september og april har et overskud af solvarme på 1000 kWh, som så må fradrages i regnskabet for nyttig solvarme.

I visse døgn vil det samlede solindfald være større end varmetabet. Ved sammenligning med måleresultater af solindfaldet på den lodrette sydflade i oktober 1980 (i Næstved), ses stueetagen at få et døgnoverskud af solvarme (3, 19 og 31 oktober) på ialt ca. 7 kWh. Sammenholdt med et samlet solvarmebidrag på over 200 kWh er dette dog et spild på kun 3%. For tagetagen med større vinduer og lidt mindre varmetab er der døgnoverskud 9 dage i oktober 1980 med ca. 50 kWh, altså ca. 15% spild af det samlede solvarmebidrag på 330 kWh.

Kortvarige "varmeoverskudspidser" for tagetagen beregnes tilnærmeth. Døgnet's samlede solindfald fordeles på 8 timer. Må temperaturstigningen over 8 timer blive 3°C , fås varmeoverskuddet (beregnet ved ref. 4) til $3/8 \times 2 = 0,8 \text{ kW}$. I november er varmetabet $0,8 \text{ kW}$, dvs. der kan accepteres en solindstråling på $1,6 \text{ kW}$ i 8 timer gennem de $8,8 \text{ m}^2$ glas, altså $1,5 \text{ kWh/m}^2/\text{døgn}$. Da tre-lagsruder reflekterer 30%, og da SØ og SV får 20% mindre sol end syd, fås, at solindstrålingen på den lodrette sydflade højst må være $2,6 \text{ kWh/m}^2/\text{døgn}$. I november 1982 overskrides denne værdi 3, 5, 6, 7 og 15 november med 0,5, 2,0, 1,0, 1,5 og $0,2 \text{ kWh/m}^2$. Det bliver ialt til $5,2 \times 0,8 \times 0,7 \times 8,8 = 25 \text{ kWh}$ uudenyttet solvarmeoverskud i tagetagen ud af et samlet solindfald på 1280 kWh. Der spildes altså 10 - 15% af solvarmen i tagetagen under disse betingelser eller under 10% for hele huset. Beboerne accepterer større temperaturudsving, så de beholder det meste af de 25 kWh. For oktober findes på samme måde varmeoverskudsspidsene til ca. 75 kWh, altså 50% mere end fundet ved døgnoverskudsberegningen.

Ud fra disse betragtninger af april, september og oktober findes det rimeligt at sætte "overtemperaturspildet" forår og efterår til de benyttede 1200 kWh, dvs. 40%. I vintermånederne er reduktionen uvæsentlig. Det meste (nemlig 1000 kWh) af dette overtemperaturspild kunne altså beregnes ret simpelt, som et månedsoverskud.

Mange af de her betragtede varmeoverskudsspidses vil alligevel ikke forekomme på grund af nogen eftermiddagsskygge fra nogle få træer.

SKYGGE

Langs søen står der nogle træer, der er høje nok til at kunne skygge lidt for tagetagen om vinteren. Skygge af væsentlig betydning fås dog kun på det store SØ-vindue til alrummet i stueetagen. Her vil en del træer, bl.a. nåletræer kaste skygge

i fyringssæsonen fra ca. kl. 12. Det $3,5 \text{ m}^2$ store vindue mod SØ kan regnes at få sol kl. 8 - 14. Med skygge kl. 12 - 14 mistes altså $1/3$ af solindfaldet. Der ses for det første bort fra de 4 sommermåneder. I september og april kunne en stor del af solvarmen alligevel ikke udnyttes på grund af mange døgn med varmeoverskud, så der ses også bort fra skyggereduktion disse to måneder. I de 6 måneder oktober - marts får vinduet beregningsmæssigt et solindfald på 510 kWh. Skygge reducerer således denne størrelse med $1/3 \times 510 = 170 \text{ kWh}$. Da dette er et ret lille tal i varmebalancen, behøver der ikke at blive regnet nøje på skyggereduktion. Skygge iøvrigt for hele huset, inklusive vinterskygge fra SØ tagudhæng, samt fra nogle dages snedække på ovenlysruderne, kan derfor rundt regnet sættes til, at der ialt må reduceres med 300 kWh/år i solindfaldet i opvarmningsregnskabet. Ved at fælde træerne kan man således vinde ca. 300 kWh pr. år.

GRATISVARME FRA PERSONER OG BELYSNING M.V.

Varmeafgivelsen fra personer og forbrug af elektricitet til belysning og husholdning er her sat lavere end i en del andre forskningsprojekter.

I nutidens og den nære fremtids familieliv indgår der ikke mange personer, så 3 personer pr. bolig, der i gennemsnit er indendørs 12 timer pr. døgn, er et relevant grundlag. De bruger ca. 3.000 kWh elektricitet pr. år til belysning og husholdning, hvoraf noget varme spildes.

Dermed fås:

Personvarme	200 W pr. 3 personer i 12 timer/døgn	1.000 kWh/år
Elektricitet	3.000 kWh/år med 30% spild	<u>2.000 kWh/år</u>
Ialt		<u>3.000 kWh/år</u>
Heraf i fyringssæson	2/3, dvs.	<u>2.000 kWh/år</u>

Dette tal er også benyttet for huset i Birkerød, selv om de der kun er 2 personer.

Ifølge NESA-nyt nr. 27, 1983 har det gennemsnitlige årsforbrug af el til almindelig husholdning og lys m.v. for 1982 været 3910 kWh pr. bolig (svarende til en årlig eludgift på ca. 2.835 kr.). For 21.775 enfamiliehuse med elvarme var det gennemsnitlige årsforbrug 16.083 kWh incl. el til varme, varmt vand, almindelig husholdning, lys, m.v. (For huset i Birkerød er det målte forbrug angivet i et senere afsnit).

Ifølge Nørgaard i rapport 4 fra DEMO, 1979 kan det årlige elforbrug til husholdninger med tørretumbler, vaskemaskine, opvaske-maskine, fryser, elkomfur m.v. (som de har i Birkerød) sættes til godt 3000 kWh for 1980 udstyr (med 50% større forbrug for ældre udstyr og kun det halve forbrug engang i fremtiden).

EDB-BEREGNING

Der er brugt en stor indsats på at beregne husets varmeenergibal-
 lance og temperaturforløb med det store amerikanske EDB-program
 BLAST (Building Load Analysis and System Thermodynamics) fra US
 Army Construction Engineering Research Laboratory (fra ca.
 1980). Beregningerne udføres af Jørgen Christensen, og resulta-
 terne forventes videregivet i en licentiattrapport. Der er endnu
 ikke (december 1983) kommet resultater uden mindre uklarheder.

Først skal huset beskrives til programmet. Dertil tilnærmes
 huset lidt som vist i fig. 5 og 6. Da programmet på oversigts-
 form giver en "linieskriveroptegning" af de givne geometriske
 oplysninger, er der rimelige muligheder for at rette fejl. Ven-
 tilation og infiltration skal oplyses, og det bliver så ved et
 "kvalificeret gæt", som benyttet ved varmetabsberegningen. Da
 ventilationstabet er godt 1/3 af det dimensionerende varmetab,
 er der her en kilde til mindre præcision i det samlede resultat,
 trods stor indsats for at beskrive geometri og bygningsmateria-

ler præcist. Gratisvarmebidraget fra personer og husholdninger baserer sig ligeledes delvis på "kvalificerede gæt".

Programmet kan så beregne energiforbrug og temperatur i de enkelte rum, men en stor del af varmeudvekslingen rummene imellem vil ske gennem eventuelt åbne døre. Denne indtastes som en fast luftudveksling ("kvalificeret gæt"), men burde kunne gives som temperaturafhængig luftudveksling.

Når først EDB-beregningen virker, er det imidlertid let at foretage visse ændringer på huset såsom at dreje huset eller at ændre på tagudhængets størrelse. Derved fås desuden en mulighed for at vurdere resultaternes troværdighed.



SV-vinduer i stuen i tagetagen set fra SØ-ovenlysvinduet (12 juli 1983).

AFSNIT III MÅLINGER

DE FØRSTE MÅLERESULTATER

Zivkovic, der har projekteret huset, har ved aflæsning af el-måleren og redegørelse for varmtvandsforbrug og elforbrug iøvrigt fundet det første års forbrug af el til rumopvarmning til 5.000 kWh. Den første vinter, 1981-82, huskes som en kold vinter med meget sne og hårde frostgrader, men graddageantallet for hele fyringssæsonen blev ca. det samme som for normalåret. Det lave forbrug til rumopvarmning er bl.a. opnået ved, det meste af døgnet, først at kræve fyring, når temperaturen kommer under 17°C . Beregning giver et fyringsbehov på 5.500 kWh/år for $t_i = 17^{\circ}\text{C}$ og 7.500 kWh/år for $t_i = 20^{\circ}\text{C}$.

Fra 1982.11.10 er der opstillet en termohygrograf på gulvet under det store ovenlysvindue i stuen. Den registrerer konstant rumlufttemperatur og relativ luftfugtighed med papirskift hver uge. Fra 1983.02.22 registreres desuden rumtemperaturen i 4 rum i hver etage i ca. 1 1/2 m højde (på steder uden direkte solskin). Resultaterne registreres af en 30-kanal-skriver (Phillips Multipoint Data Recorder PM8237A). Den skulle have været velegnet til temperaturmåling, men muligvis på grund af elektriske forstyrrelser i et el-opvarmet hus, har den været besværlig at få til at virke brugbart.

Solindstråling og udetemperatur måles ved "Lavenergieksperimenthuset" ved Laboratoriet for Varmeisolering på Danmarks Tekniske Højskole.

I januar 1983 har der været typiske vinterdage med udetemperaturen $t_{ude} = 0^{\circ}\text{C}$ både som gråvejrsdage helt uden sol og som solskinsdage. Den 18. januar var en gråvejrsdag med $t_{ude} = 4^{\circ}\text{C}$ (i middel) og $0,4 \text{ kWh/m}^2/\text{døgn}$ solindstråling på den lodrette sydflade, mens 19. januar var en solskinsdag med $t_{ude} = 0^{\circ}\text{C}$ og $2,5 \text{ kWh/m}^2/\text{døgn}$ solindstråling med maksimum på godt $0,5 \text{ kW/m}^2$.

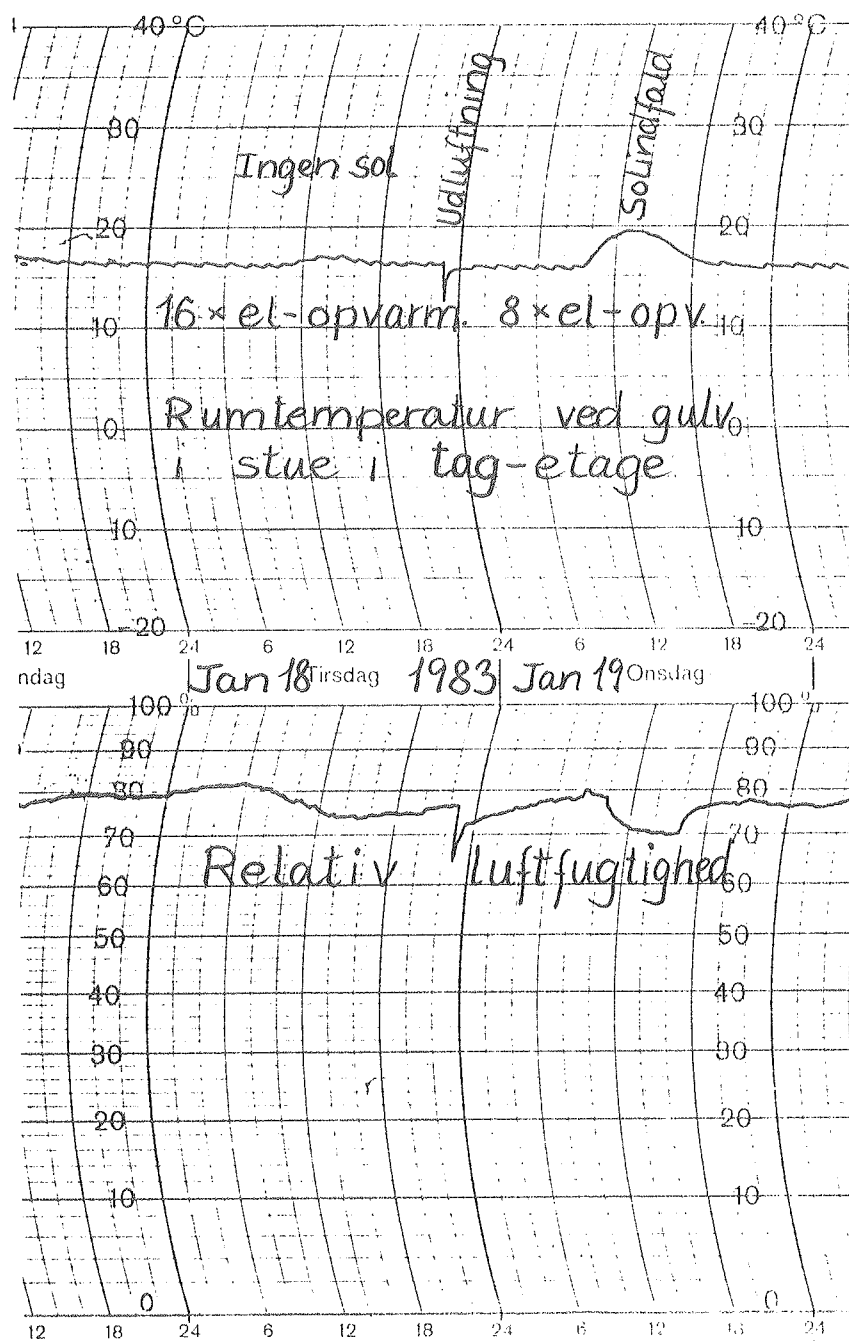


Fig. 7. Rumlufttemperatur to frostfrie vinterdage, en dag uden sol og en dag med sol, målt med termohydrograf ved stuegulv i tagetagen. Ved solindflad stiger temperaturen 3°C og døgnets opvarmningsudgifter er halveret. (Se beregning side 31).

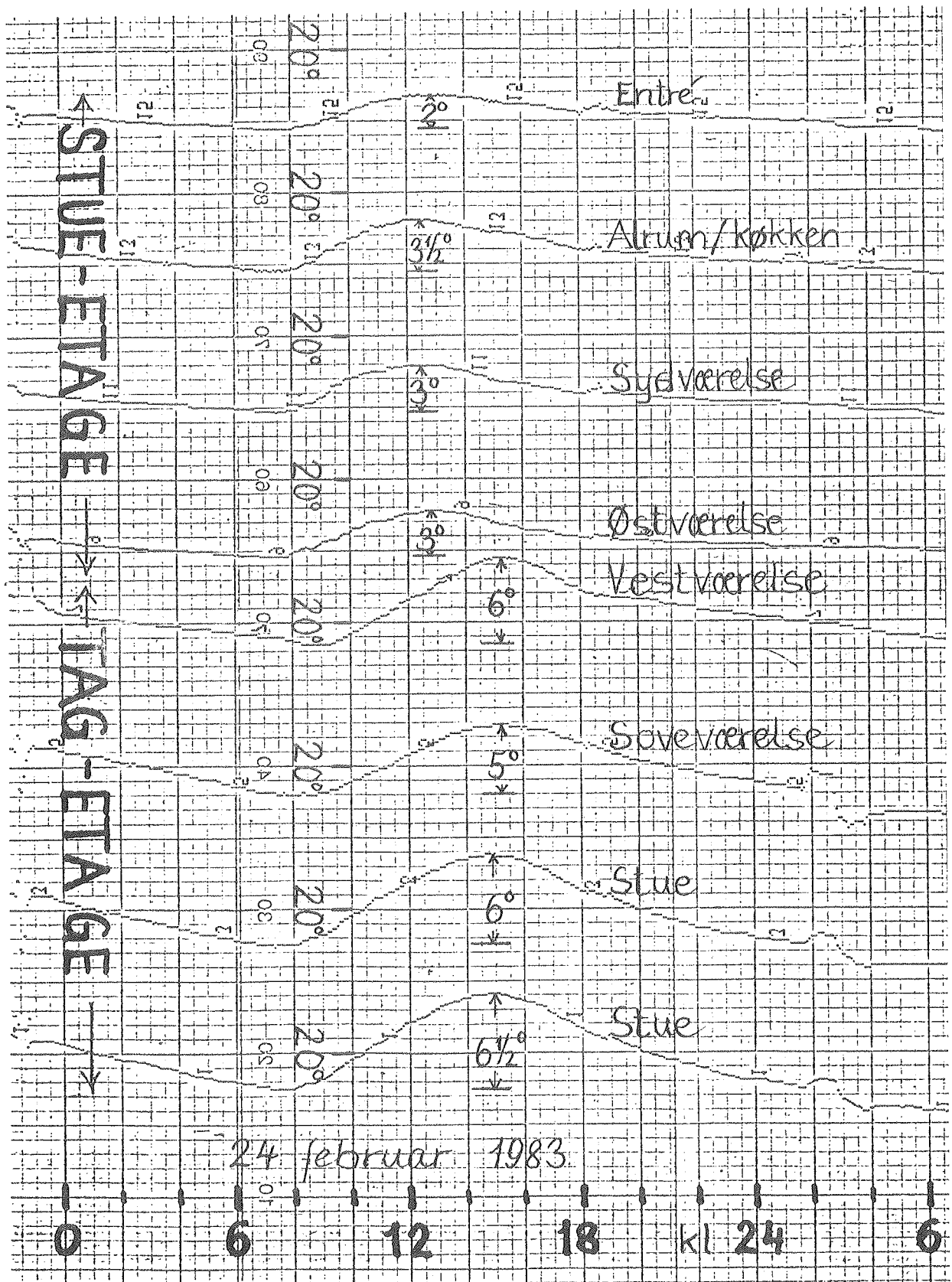


Fig. 8. Temperaturforløbet i de enkelte rum en vinterdag med solskin, 24. februar 1983. Udetemperaturen varierer fra nattefrost på -6°C til eftermiddagsvarme på 8°C , med gennemsnit på 1°C . Solindfaldet på den lodrette sydflade når op på 670 W/m^2 og giver en døgnværdi på $4,0 \text{ kWh}$.

18. januar måles der et forbrug til elopvarmning på 40 kWh/døgn og dagen efter med solskin halveres elforbruget til 20 kWh/døgn. Indendørs er temperaturen 17°C . Med et beregnet varmetab på $\Phi_{32} = 4,2 \text{ kW}$ fås med $\Phi_{16} = 2,1 \text{ kW}$ et varmeforbrug på 50 kWh/døgn, hvoraf ca. 5 kWh i middel dækkes af gratisvarme fra personer og el-belysning m.v. Der er ialt 15 m^2 solbeskinnede glas mod SØ og SV. SØ og SV får i januar en solindstråling på ca. 70% af solindstrålingen på syd. Tre-lagsruder har et refleksionstab på ca. 30%, så solindstrålingen giver den 19. januar ialt en varmebesparelse på $15 \times 0,7 \times (1 - 0,3) \times 2,5 = 18 \text{ kWh}$, altså en halvering af varmeforbruget. Der er således under disse forhold god overensstemmelse mellem målinger og beregninger.

I februar 1983 er der nogle dage med frost og sne og klart solskin med skinnende hvidt isdække på Birkerød Sø foran huset. Over 5 timer måles der da en temperaturstigning i stuen på 6°C , se fig. 8 med målinger fra 24. februar. I soveværelset måles 5°C og i vest-værelset 6°C .

I stueetagen fås en temperaturstigning på 3°C i de 3 sydvendte rum og 2°C i entréen.

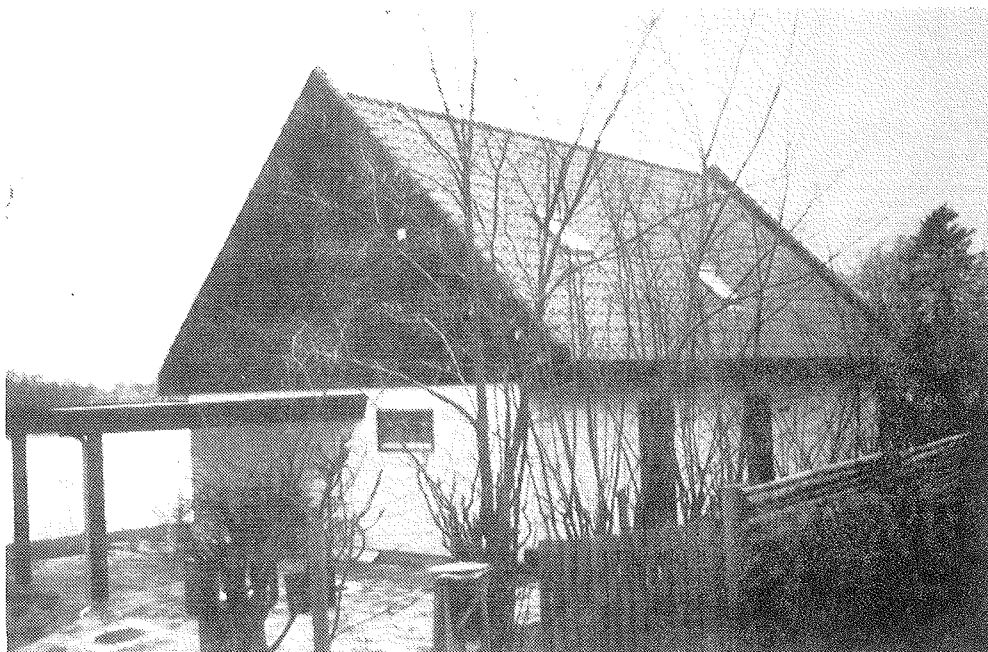
Temperaturstigningerne i den sydvendte del af tagetage og stueetage passer rimelig godt med beregningerne for den sydlige del alene, men varmen har, da de indvendige døre har stået åbne, desuden fordelt sig godt til den nordvendte del af huset, og gennemsnitstemperaturen i hele stueetagen og i hele tagetagen er 1°C højere end efter beregningerne. Det skyldes måske et større solindfald end forudsat, dels direkte og dels ved refleksion fra de snedækkede omgivelser. Det ses desuden, at i disse februardage med frost og solskin klarer huset sig hele døgnet uden fyring, men det skyldes også en hensigtsmæssig levevis fra beboernes side, idet de ikke kræver mere end ca. 17°C , dels om natten, og når de er ude om dagen, men også om morgenen inden de tager på arbejde. Huset får derved ikke en energikrævende opvarmning om morgenen, men holdes parat til at modtage solvarmen lidt senere på dagen.

Det ses af fig. 8, at i løbet af 8 timer, fra kl. 18 aften til kl. 2 nat falder rumtemperaturen 4°C i tagetagen og 1°C i stueetagen. Med et varmetab på $\Phi_{20} = 2,2 \text{ kW}$ fås ved benyttelse af ref. 4 på tilsvarende måde, som ved beregning af temperaturstigningen, at temperaturfaldet over 8 timer beregnes til 4°C for den lette tagetage og til $1 \frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ for den halvtunge stueetage, (når det tages i betragtning, at temperaturfaldet er indledt nogle timer forinden). Det målte temperaturfald er således lidt mindre end det beregnede.

De første måleresultater kan således i stor udstrækning bruges til at vurdere beregningsmetoder.

SENERE MÅLERESULTATER

Målingerne har fortsat til efteråret 1983. Der opstod problemer med Phillips-skriveren i juni måned, så der her mangler resultater. I det følgende er vist nogle udvalgte eksempler på temperaturforløb og desuden er udregnet nogle månedsgennemsnit for de vigtigste rum.



Huset set fra nord 26 januar 1983.

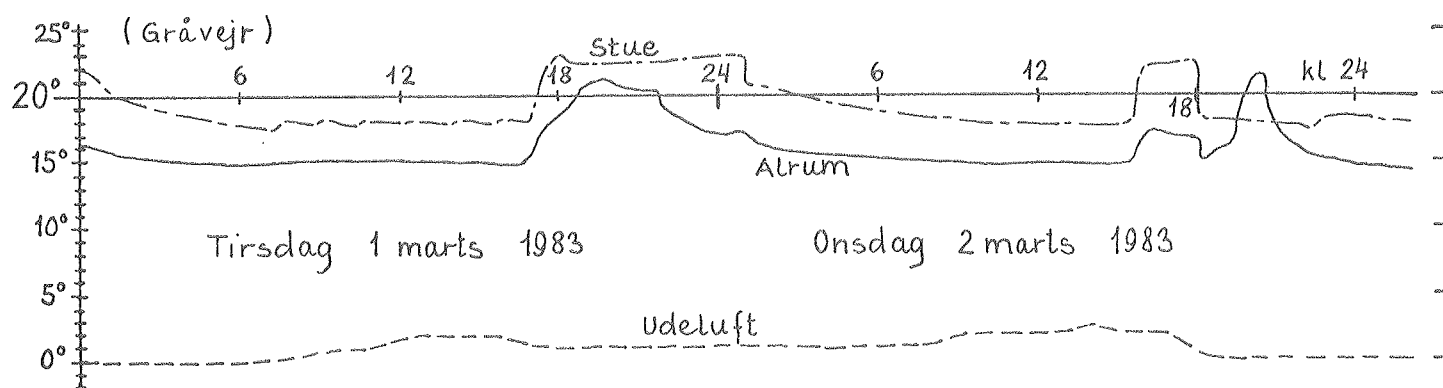


Fig. 9. Vinter gråvej

Tirsdag 1 marts og onsdag 2 marts er vintergråvejrsdage med udelufttemperaturer nær 0°C , og med maksimalt "solindfald" på ca 20 W/m^2 på den lodrette sydflade. I dagtimerne holdes der ret lave rumtemperaturer, ca. 18°C i stuen i tagetagen og ca. 15°C i alrummet i stueetagen. Sidst på eftermiddagen sættes temperaturen op i kortere eller længere tid afhængigt af det aktuelle behov. Er beboerne hjemme og måske endda skal have gæster, kan hele huset varmes godt op. I andre tilfælde kan kortere opvarmningstid være tilstrækkelig, specielt hvis der, som det ses, fås et lokalt tilskud af varme i alrummet ved madlavning eller fra brændeovnen. Hvis beboerne ikke er hjemme, kan den ekstra opvarmning til aftentemperaturhævningen undværes.

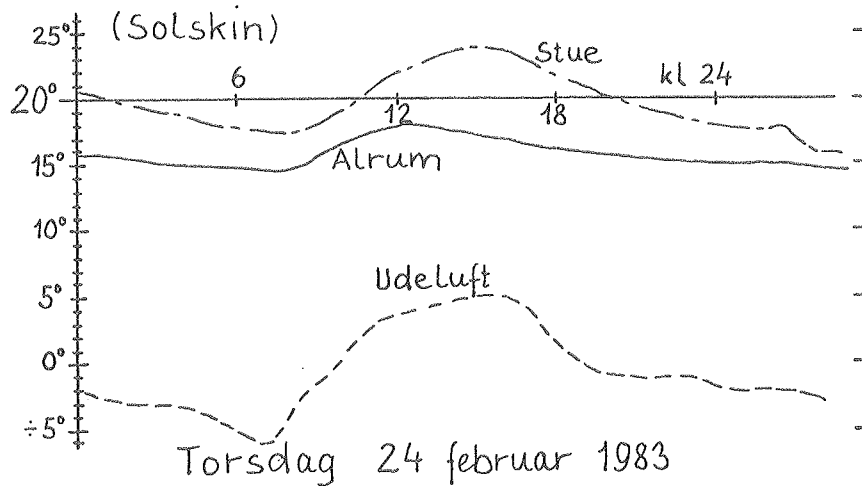


Fig. 10. Vinter solskin

Torsdag 24 februar er en vintersolskinsdag med et maksimalt solindfald på den lodrette sydflade på over 600 W/m^2 . Udelufttemperaturen varierer omkring 0°C , fra -6°C til $+5^\circ\text{C}$. Solindfaldet hæver temperaturen 6°C i stuen i den lette tagetage (fra 18°C til 24°C), og hæver temperaturen godt 3°C i alrummet i den halvtunge stueetage (fra 15°C til 18°C). Rumtemperaturen holder sig dermed passende høj hele aftenen, således at yderligere opvarmning ikke er krævet.

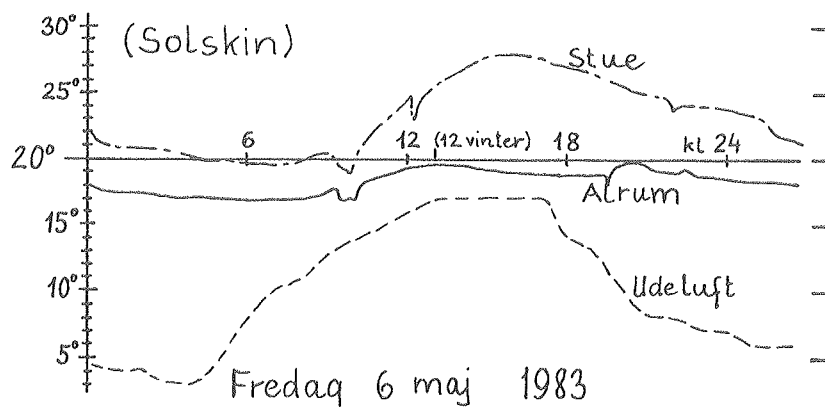


Fig. 11. Forår solskin

Fredag 6 maj er en solskinsdag uden fyring med en maksimal solindstråling på den lodrette sydvendte flade på knap 600 W/m^2 . Udelufttemperaturen varierer 14°C , fra 3°C om natten og op til 17°C om dagen. Temperaturen i stuen i tagetagen stiger 9°C , fra 19°C til 28°C , selv om der ventileres kraftigt kl. 12. Temperaturen i alrummet i stueetagen stiger $2 \frac{1}{2}$ fra 17 til 19°C (idet der ses bort fra det specielle tilskud af evt. madlavningsvarme midt på aftenen). Stuen og alrummet har vinduer både mod SØ og SV, men for alrummet er SV-vinduerne i skygge af tagterrassen, og det ses tydeligt på temperaturforløbet med tidspunkterne for maksimalværdierne.

På forsommer-solskinsdage kan man vel sige, at der bliver rigeligt varmt i stuen, og at lidt mere varme kunne bruges i alrummet. I forhold til gulvarealet har det 30 m^2 alrum 12% solbeskinnet glas, og den 35 m^2 stue har 19% solbeskinnet glas, hvoraf $\frac{2}{3}$ er skrå ovenlys. Alrummet har halvtunge konstruktioner. Med lette konstruktioner ville det have højere temperaturer om dagen og lavere om natten.

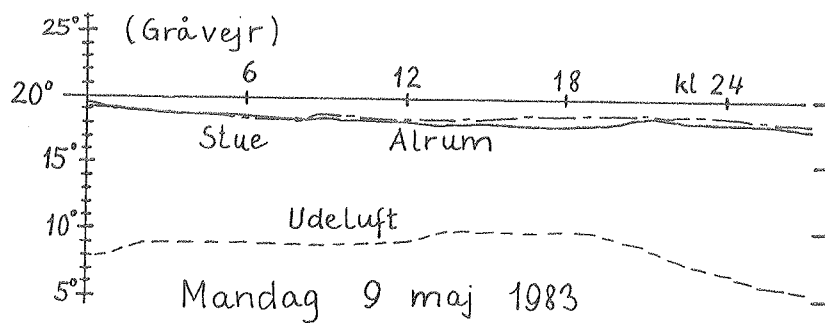


Fig. 12. Forår gråvejrsdag

Mandag 9 maj er en gråvejrsdag. Udelufttemperaturen er ret konstant døgnet rundt, 9°C - 10°C . Indendørstemperaturerne er også ret konstante, 19°C i stuen og 18°C i alrummet.

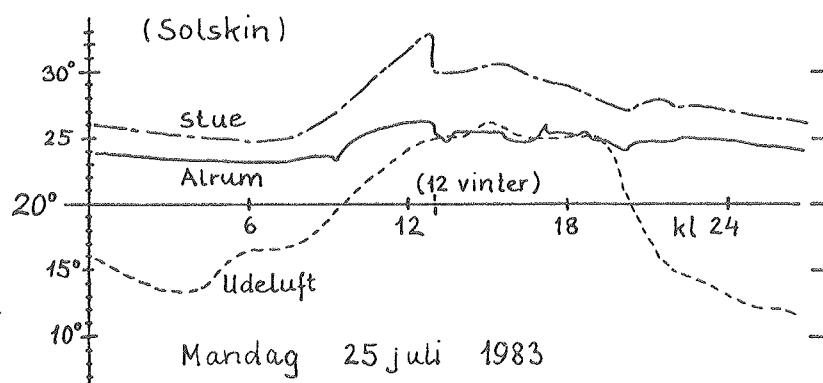


Fig. 13. Sommer solskin

Mandag 25 juli er en solskinsdag (i en varm solrig sommer). Der er en maksimal solstråling på den lodrette sydflade på knap 600 W/m^2 . Udelufttemperaturen varierer 14°C , fra 14°C til 28°C . Temperaturen i stuen i tagetagen varierer 8°C , fra 25°C om morgenen til 33°C kl. 13, hvorefter den brat bringes ned til 30°C resten af eftermiddagen ved kraftig ventilering. I alrummet i stueetagen varierer temperaturen 3°C , fra 23°C til 26°C , hvorefter ventilering reducerer temperaturen $1/2 - 1^\circ\text{C}$. Med udeluft på op til 28°C er det begrænset hvor lave temperaturer, der kan fås ved ventilering om dagen. Ved nærmere eftersyn af originalmåleudskrifterne ses temperaturen i alrummet at toppe ved 26°C kl. 13 netop før ventilering. Det skyldes, at alrummet er tungt, at det ikke har solbeskinneede ruder mod SV, og at ruderne mod SØ er lodrette og sidder delvis i skygge af tagudhænget. Stuen vil siges sådan en dag at få det for varmt selv med kraftig ventilering. Alrummet vil føles acceptabelt, idet man på varme sommerdage accepterer højere temperaturer end resten af året, og specielt vil man påskønne, at eftermiddags-temperaturen er lavere indendørs end udendørs.

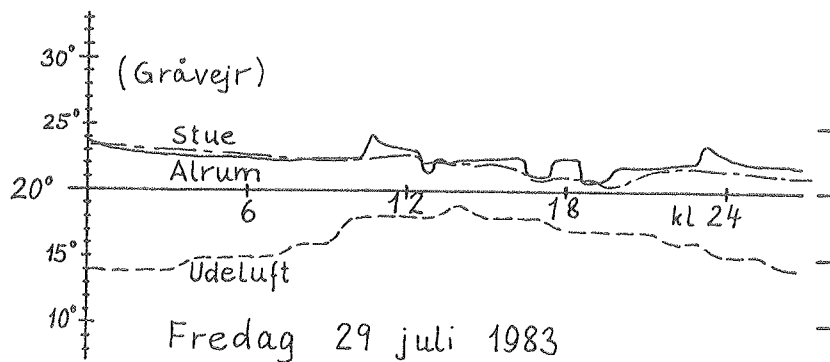


Fig. 14. Sommer gråvej

Fredag 29 juli er en gråvejrsdag (en af de få i en solrig sommer, så det er desværre ikke en helt typisk dag midt i en gråvejrsperiode). Udetemperaturen varierer 4°C , fra 14°C til 18°C .

Temperaturen i stuen er 23°C , og sænkes lidt om eftermiddagen ved nogen ventilering. Temperaturen i alrummet er ligeledes konstant på omtrent 23°C bortset fra korte perioder med madlavning og ventilering.

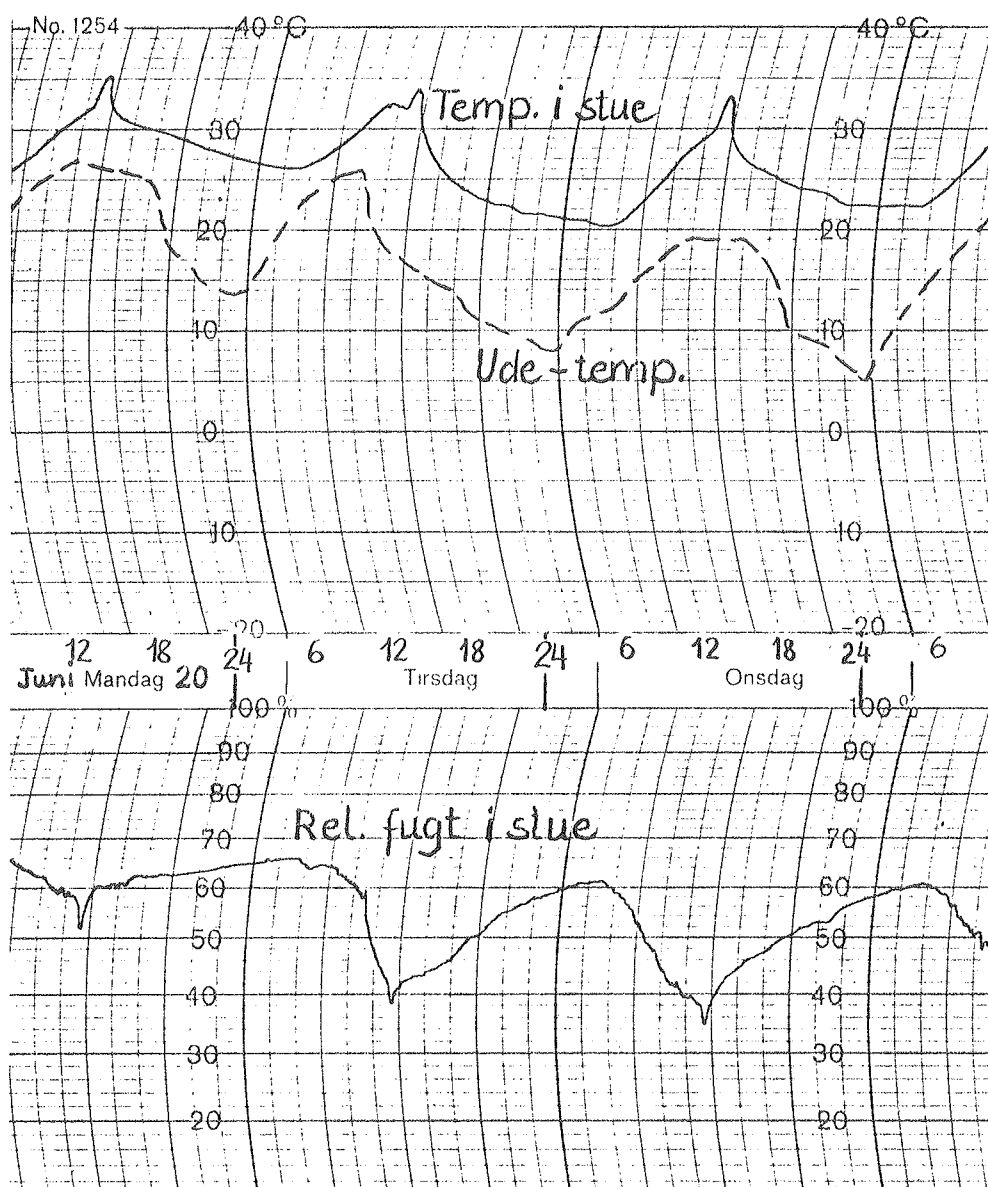


Fig. 15. Sommerferie

Temperaturen i stuen i tagetagen samt udelufttemperaturen på 3 solskinsdage i juni, mens beboerne er bortrejst på ferie.

Der ses i gennemsnit at være en temperaturforskel fra inde til ude på ca. 10°C .

Den relative luftfugtighed er her omkring de laveste værdier målt.

(Beregning vedr. fig. 15:)

På den lodrette sydflade er der målt en daglig maksimal solindstråling på ca. 550 W/m^2 , og pr. døgn fås en solindstråling på ca. $4,0 \text{ kWh/m}^2$. Tagetagens beregnede varmetab er ca. 50 kWh/døgn for $t=32^\circ\text{C}$ (ved ventilation på 0,4 gang pr. time). Idet solindfaldet kun betragtes i de timer, hvor det virkelig er af betydning (som ved beregning af overtemperaturer) fås følgende beregning:

I 5 timer er der en solindstråling på $0,4 - 0,5 \text{ kW/m}^2$ på den lodrette sydflade.

Med 30% refleksion og 10% afskærmning får tagetagen dermed et solvarmetilskud gennem $5,7 \text{ m}^2$ skrå og $3,1 \text{ m}^2$ lodret glas på ca. 17 kWh .

Derved hæves indetemperaturen $17/50 \times 32 = 11^\circ\text{C}$ over udetemperaturen i gennemsnit over et døgn. Dette resultat stemmer ret godt med målingerne.

Solindstrålingen på 17 kWh over 5 timer giver, med ca. 2 kWh til varmetab, et varmeoverskud på 3 kW . Ved at benytte beregningerne fra soloverophedning fås for tagetagen i gennemsnit en temperaturstigning på

$$\Delta t = \frac{100}{90} \cdot \frac{3,0}{2,0} \cdot 5 = 8^\circ\text{C}$$

Idet den nordlige 1/5 med badeværelse og sauna kun i mindre omfang deltager i temperaturstigningen fås for den øvrige del en temperaturstigning på 10°C . Det stemmer så nogenlunde med måleresultaterne på fig. 15, hvor temperaturen kan siges i middel at stige fra 23°C kl. 8 til 34° kl. 15. Temperaturstigningen foregår her over ca. 7 timer, fordi vinduerne er fordelt både mod SØ og SV (og ikke hovedsageligt kun mod én sydretning).

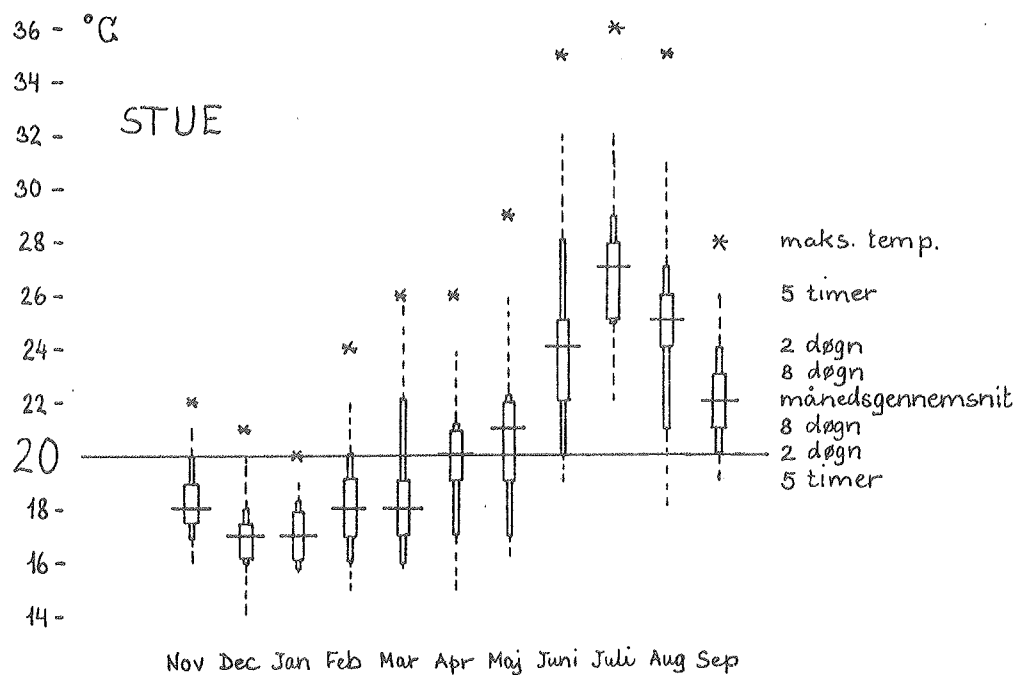


Fig. 16. Temperaturer i stuen i tagetagen måned for måned.

Der er vist gennemsnitstemperaturen for hele måneden, gennemsnitstemperaturen for de (spredte) 8 varmeste døgn og for de 8 koldeste døgn, for de 2 varmeste og 2 koldeste døgn samt gennemsnitstemperaturen i den varmeste 5 timers periode og den koldeste 5 timers periode. Desuden er den maksimale temperatur vist.

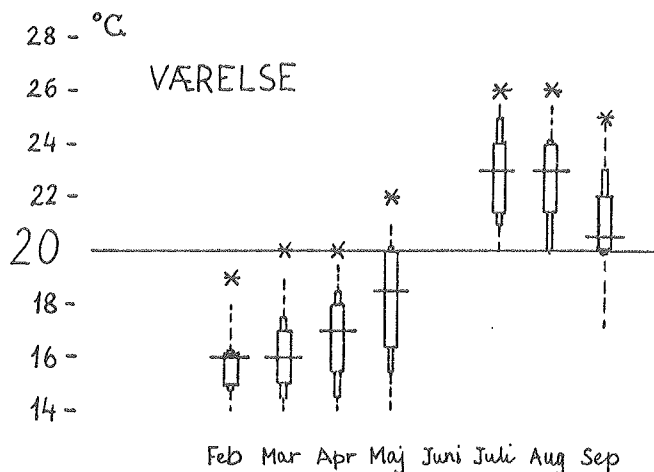


Fig. 17. Temperaturen i det midterste syd-værelse i stueetagen måned for måned vist på samme måde som for stuen i tagetagen.

Måleperioden startede senere her.

Gennemsnitstemperaturen er lavere og udsvingene mindre i stueetagen end i tagetagen.

Det skyldes, at stueetagen har vægge m.v. af tungere materialer end tagetagen, men også forskellige former for vinduer. I stuen er, som tidligere nævnt, glasareal/gulvareal = 19%, deraf 13% skrå, i alrummet fås ligeledes glasareal/gulvareal = 19%, men med 7% i skygge. For værelset her fås kun glasareal/gulvareal = 10%, så temperaturudsving på grund af solindfald vil også derved være mindre.

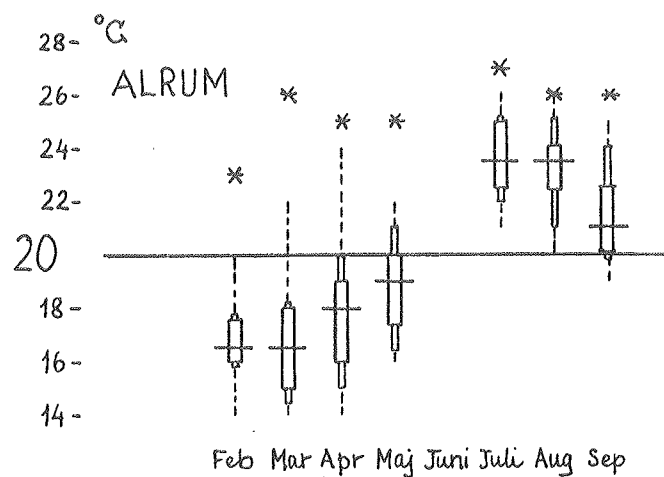


Fig. 18. Temperaturen i alrummet i stueetagen måned for måned vist på samme måde som for stuen i tagetagen.

I alrummet er der køkken med madlavning med lejlighedsvis stort bidrag af gratisvarme, og desuden er der en brændeovn, der enkelte gange forårsager store temperaturstigninger. Dette bevirker større temperaturudsving her end i syd-værelset.

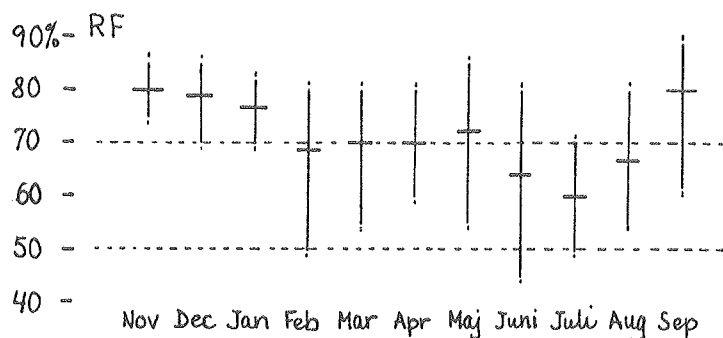


Fig. 19. Den relative luftfugtighed i stuen i tagetagen måned for måned. Der er angivet månedsgennemsnit, samt det typiske variationsinterval.

Den relative luftfugtighed her er høj, men vel ikke enestående høj for énfamiliehuse, der ikke er utætte.

Norm for trækonstruktioner, DS 413, fra 1982 benytter 3 fugtklasser: I, IU og U. I benyttes til indendørs trækonstruktioner i opvarmede bygninger, U til udendørs konstruktioner eller til fugtige steder, og IU benyttes til ventilerede ikke permanent opvarmede bygninger fx fritidshuse. Fugtklasse I er karakteriseret ved "en relativ luftfugtighed, som kun i korte perioder overstiger 65% og aldrig 80%". Fugtklasse IU er karakteriseret ved "en relativ luftfugtighed, som kun i korte perioder overstiger 80%".

MÅLT FYRINGSFORBRUG

Fra 2 februar 1983 har el-varmeforbruget været målt direkte med en timetæller, der måler den tid, varmeanlægget har brugt strøm. Fra 2/2 til 10/4 er der sammenlagt brugt strøm i 120 timer. En radiator har konstant være slået fra (vest-værelse), resten har alle været slået til (uden enkeltvis styring), så der er brugt 7,6 kW i 120 timer, dvs. 900 kWh. Desuden er der brugt ca. 1 rummeter brænde; det har givet ca. 800 kWh. 2/2 - 10/4 er der 1000 graddage, dvs. 1/3 af normalårets 3000 graddage. Med et beregnet behov på 10.000 kWh på et normalår med en rumtemperatur på ca. 18°C fås et varmebehov på 3.300 kWh for 2/2 - 10/4. Solvarmebidraget for denne periode er som for normalåret (selv om de enkelte måneder afviger en del), så med 40% spild for marts og april fås ialt et bidrag på 1000 kWh. 2/2 - 10/4 ~ 1/5 år, så gratisvarme fra belysning m.v. bidrager med 600 kWh.

Dermed fås følgende varmebalance for 2/2 - 10/4 1983:

Varmebehov	<u>3.300 kWh</u>
Elopvarmning	900 kWh
Brændeovn	800 kWh
Solindfald	1.000 kWh
Gratisvarme	600 kWh
Varmetab fra varmtvandsbeholdere	<u>100 kWh</u>
Ialt opvarmning	<u>3.400 kWh</u>

I betragtning af usikkerheden især på varmemængden fra brændeovnen er der rimelig overensstemmelse mellem målt og beregnet varmeforbrug. Den 10/4 var fyringssæsonen slut i dette hus.

I hele fyringssæsonen 1982-83 er der 2450 graddage med sammenlagt normalt solskin. Dermed fås et beregnet varmebehov på:

Varmebehov $2450/3000 \times 10.000 =$	<u>8.200 kWh</u>
--	------------------

Dette dækkes (i fyringssæsonen) ved:

Solvarme	2.500 kWh
Gratisvarme fra belysning m.v.	2.000 kWh
Varmetab fra varmtvandsbeholdere	300 kWh
El-varme	2.200 kWh
Brændeovn	<u>1.200 kWh</u>
Ialt	<u>8.200 kWh</u>

Der er brændt ca. 1 1/2 rummeter brænde.

Over 12 måneder (juni '82 - juni '83) har det samlede målte elforbrug været 8000 kWh. Det fordeles på:

El-varme	2.200 kWh
Varmt vand	2.000 kWh
Varmetab fra varmtvandsbeholdere	400 kWh
Belysning og husholdning m.v.	3.000 kWh
Sauna	<u>400 kWh</u>
Ialt	<u>8.000 kWh</u>

(Ved aflæsning af elforbrug i juli august og september 1983 uden fyring fås der et elforbrug til varmt vand, belysning og husholdning m.v. samt sauna på 550 kWh/mdr (= 6500 kWh/år) altså lidt større end benyttet ovenfor).

Forbruget af varmt vand er ikke målt her, men sat til 2000 kWh/år ud fra andre målinger (bl.a. fra Næstved i 1980, ref. 9). Tallet kan tænkes at være nogle 100 kWh større eller mindre. For overskuelighedens skyld er varmetabet fra varmtvandsbeholdere sat for sig.

Huset blev taget i brug 1 december 1981.

For den første fyringssæson med fradrag af sep, okt, nov er regnskabet:

Varmebehov $2500/3000 \times 10.000 =$	8.300 kWh
Solvarme	1.500 kWh
Gratisvarme fra belysning m.v.	1.500 kWh
Elvarme	5.100 kWh
Varmetab fra varmtvandsbeholdere	200 kWh
Ialt	8.300 kWh

Over 6 måneder (dec '81 - maj '82) har det samlede målte elforbrug været 8.400 kWh. Det fordeles på:

El-varme	5.100 kWh
Varmt vand	1.000 kWh
Varmetab fra varmtvandsbeholdere	200 kWh
Belysning og husholdning m.v.	1.500 kWh
Sauna	300 kWh
Ialt	8.100 kWh

(Den lille forskel fra det beregnede forbrug på 8100 kWh til det målte på 8400 kWh kan ud over usikkerheder i anslået forbrug evt. tilskrives et ekstra "indflytningstab" til varmt vand og udluftning).

ANDRE PROJEKTER

Da den anvendte beregningsform er simpel og grov sammenlignet med de store EDB-beregninger, der sædvanligvis anvendes i lig-

nende forskningsprojekter, er det relevant at sammenligne med andre projekter, hvor passiv solvarme er nærmere indregnet i varmebalancen. Der er her sammenlignet med beregninger for Nul-energihuset og lavenergihusene i Hjortekær (ref. 1, ref. 2, ref. 3).

I 1975 blev der på Danmarks Tekniske Højskole bygget et étplans-
hus på 116 m² bestående af 2 blokke. Mellem blokkene er der en
glasoverdækket gård i skygge af en stor lodret solfanger. Huset
er projekteret til at have et lille varmekonsum, ved at det er
velisoleret, ved at have isolerende skodder for vinduerne om
natten og ved at have kontrolleret ventilation med ca. 85% gen-
vinding af varmen. Da fyringsbehovet for hele året til rumop-
varmning og varmt brugsvand var planlagt dækket med aktiv sol-
varme fra solfangeren ved sæsonlagring i en vandtank i jorden,
kaldtes huset for Nul-energihuset.

En del principper i Nul-energihuset har været meget omtalt, så
selv om Nul-energihuset ikke har kunnet leve op til projekte-
ringsberegningerne angående udnyttelse af solenergi, har huset
været til inspiration for udviklingen i byggeriet.

Det bemærkes, at der især er forskel på de beregnede, udnyttede
gratisvarmetilskud, idet huset i Birkerød her får tildelt meget
lavere værdier, selv om det fx har dobbelt så meget sydvendt
glas som Nul-energihuset. En overslagsmæssig beregning i stil
med den anvendt for huset i Birkerød vil da også halvere det
passive solvarmebidrag for Nul-energihuset og reducere gratis-
varmebidraget fra personer og belysning. Ved også at overveje
mindre ændringer i varmetab gennem vinduer og ventilation kan
man på den måde godt give et overslag, der passer med det målte
fyringsbehov på 6.000 kWh/år i 1976 - 77 (eller 6.500 kW for et
år med 3.000 graddøgn).

Der er derfor ikke grund til at ændre beregningerne for solind-
fald m.v. for huset i Birkerød.

SAMMENLIGNENDE VARMEBALANCE I kWh/år

	Nul-energihus	"Hjortekær"	Birkerød
		Lavenergihus	Solhus
	Beregnet	Beregnet	Beregnet
	EDB	EDB	Simpel
Bruttoetageareal, m ²	116	120	200
Vinduesareal, m ²	18	21	26
Varmetab			
Væg, tag og gulv	4.720	} 11.100	2.400
Vinduer	2.970		5.200
Ventilation	1.920	3.300	4.400
Samlet tab	9.610	14.400	12.000
Varmetilskud, udnyttet			
Personer	2.050	2.000	} 2.000
Belysning m.v.	1.770	2.700	
Solindfald gennem vinduer	3.490	4.000	2.500
Ialt gratisvarme	7.310	8.700	4.500
Beregnet fyringsbehov	2.300 (20°C)	5.700 (21°C)	7.500 (20°C)
- " - pr. m ²	20	48	37
Målt fyringsbehov	6.000 (20°C)	5.800 (20°C)	5.000 (17°C)
- " - pr. m ²	50	48	25

Fyringsbehov (= nødvendig netto-suppleringsvarme) er beregnet for en rumtemperatur på $t_i = 20^\circ\text{C}$ (dog $t_i = 21^\circ\text{C}$ for Hjortekær). For $t_i = 17^\circ\text{C}$ er det beregnede fyringsbehov for Birkerød 5.500 kWh/år. Det målte fyringsbehov er for gennemsnitsrumtemperaturer ved fyring på 20°C for Nul-energihuset og i Hjortekær, og 17°C i Birkerød. Nul-energihuset og Birkerød Solhus har haft normal beboelse i måleperioden.

AFSNIT IV ÆNDRINGER OG ØKONOMI

BR-77 HUS

Huset kunne i stedet have været bygget efter minimumskravene i Bygningsreglementet, BR 77, dvs. med mindre isoleringstykkelser, med to-lags ruder og lidt mindre tæt. Derved bliver varmetabsberegningen:

	Areal m ²	k W/m ² °C	Φ ₃₂ kW
Gulv, indre randfelt	50	0,3	0,18
Gulv, ydre randfelt	34	0,3	0,33
Ydervægge	61	0,4	0,78
Gavltrekanter	23	0,3	0,22
Tag	112	0,2	0,83
Vinduer, stueetage	13	2,9	1,21
Vinduer, lodrette, tagetage	5	2,9	0,46
Vinduer, skrå, tagetage	8	2,9	0,86
Døre	4	2,0	0,26
Ventilation n = 0,5 gang pr. time			
Stueetage, 200 m ³			1,09
Tagetage, 150 m ³			0,82
Ialt for hele huset			<u>7,0 kW</u>

Varmetabet fordeler sig på:

Gulv + vægge + tag	2,34 kW (33%)
Vinduer + døre	2,79 kW (40%)
Ventilation	1,91 kW (27%)

Ved at bygge et BR-77 hus i stedet for det valgte lavenergihus vil det dimensionerende varmetab således øges fra 4,2 til 7,0 kW (altså 67%). Derved øges opvarmningsbehovet fra 10.000 til 16.000 kWh/år. Det nyttige solvarmebidrag stiger lidt her (større varmetab og to-lagsruder), til ca. 3.000 kWh/år, så

fyringsbehovet ændres fra 5.500 til 11.000 kWh/år ved stuetemperaturer på 17 - 18°C, eller fra 7.500 til 13.000 kWh/år ved 20°C.

VARMEREGNSKAB FOR EKSTRA VINDUER MOD SYDØST

Hvis 1 m² ydervæg med $k = 0,1$ erstattes af en tre-lagsrude med $k = 2,1$, fås et øget varmetab på:

$$\Delta\Phi_{32} = (2,1 - 0,1) \times 32 = 64 \text{ W}$$

Det giver et årligt opvarmningsbehov på:

$$\text{for } t_i = 17^\circ\text{C: } \Delta Q = 2,25 \times 64 = 145 \text{ kWh}$$

$$\text{for } t_i = 20^\circ\text{C: } \Delta Q = 1,25 \times 145 = 180 \text{ kWh}$$

Solindfald gennem 1 m² lodret tre-lags glas fås af den detaljerede tabel:

Året	530 kWh
4 sommer måneder	270 -
4 vinter måneder	80 -
4 forårs- og efterårsmåned	170 -

Nyttiggjort solvarme fås så til:

0% sommersol	0 x 270	= 0 kWh
80% vintersol	0,8 x 80	= 60 -
60% forårs- og efterårs-	0,6 x 170	= 100 -
		<u>160 kWh</u>

Når 1 m² vindue har 80% glas, fås en årlig varmegevinst på

$$0,8 \times 160 = \underline{130 \text{ kWh}}$$

En nyttiggørelse på 60 - 80% af solvarmen i fyringssæsonen kan tænkes for ekstra vinduer i stueetagen, hvor tunge konstruk-

tioner begrænser overtemperaturer. Med en rumtemperatur på $t_i = 17^\circ\text{C}$ kan varmetab og -gevinst således næsten balancere.

ØKONOMI I EKSTRA ISOLERING

Huset i Birkerød er udpræget velisoleret, med 400 - 500 mm mineraluld, således at k-værdierne er nede på ca. $0,09 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$. Med 100 mm mindre isolering vil k-værdien øges med

$$\Delta k = 0,017 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C} \quad (\text{pr. } 100 \text{ mm})$$

Derved øges varmetabet med:

$$\Delta \Phi_{32} = k \times 32 = 0,07 \times 32 = 0,55 \text{ W/m}^2$$

$$\Delta Q = \Delta \Phi_{32} \times 2,25 = 0,55 \times 2,25 = 1,25 \text{ kWh/år/m}^2$$

Huset har ialt ca. 280 m^2 flade med gulv, ydervægge og tag, så ændringen i husets fyringsudgifter bliver:

$$\Delta Q = 280 \times 1,25 = 350 \text{ kWh/år}$$

(Med $0,7 \text{ kr/kWh}$ i elpris giver det 250 kr/år)

Med priser fra ref. 7 for januar 1983 kan man udlede, at 100 mm ekstra mineraluldsisolering anbragt i hulmur eller tømmerkonstruktion koster ca. 36 kr./m^2 (inkl. moms). (De første 100 mm er 10 - 15 kr dyrere). For 36 kr. investering fås en årlig besparelse på 1,25 kWh. Med husets 280 m^2 flade har 100 mm ekstra isolering kostet $280 \times 36 = 10.000 \text{ kr}$. Denne ekstra isolering optager desuden lidt plads. Med en ydervægslængde på 40 m fylder 100 mm isolering 4 m^2 i hver etage, der tages fra husets nettogulvareal. De nødvendige ekstra $2 \times 4 = 8 \text{ m}^2$ er billigere end gennemsnits- m^2 -prisen, men koster alligevel nok ca. 15.000 kr. ekstra, altså mere end selve mineraluldsudgiften. (Denne pris kan tænkes reduceret ved ændrede konstruktionsopbygninger).

Ved denne beregning er der således ved en ekstra udgift på ca. 25.000 kr opnået en besparelse i årlige varmeudgifter på 350 kWh/år, så der er taget højde for fremtidige energiprisstigninger. Desuden fås et hus med varmere yderflader.

ØKONOMI I VINDUER

Med priser for januar 1983 fra ref. 8 fås, at faste vinduer med 2 lag glas (inklusiv moms) koster ca. 750 kr/m² at levere og isætte. Det er ca. samme pris som for en normal ydervæg (fx isoleret 350 mm muret dobbelt facadevæg).

Oplukkelige vinduer koster ca. 50% mere.

Ved at benytte 3-lags i stedet for 2-lags ruder ændres k-værdien med $k = 1,0 \text{ W/m}^2/\text{°C}$. Dermed fås en ændring i varmetab på $32 = 1,0 \times 32 = 32 \text{ W/m}^2$. Det årlige varmetab ændres så med $32 \times 2,25 = 72 \text{ kWh/år/m}^2$. Med en elpris på 0,70 kr/kWh fås hermed, at man ved at investere 300 kr/m² ekstra for trelags- fremfor to-lags ruder vil spare ca. 50 kr. pr. år i fyringsudgifter for ikke-solbeskinnede ruder. Dertil kommer fordelene ved varmere ruder med mindre kondensrisiko.

Huset har 15 m² solbeskinnet glas, som bidrager med 2500 kWh/år nyttig solvarme, dvs. 170 kWh/m². Tre-lags glas har 10% større refleksion af solvarme end 2-lags glas, dvs. 17 kWh/m². Så for de solbeskinnede ruder i huset i Birkerød er det resulterende varmetab $72 - 17 = 55 \text{ kWh/år/m}^2$ mindre for tre-lags end for to-lags ruder.

(Med disse tal for merinvestering og energibesparelse er det muligt at beregne en tilbagebetalingstid afhængigt af rentefod og evt. privatøkonomiske skattefordele).

ØKONOMI I OPVARMNING

Huset er blevet opført med el-varme, og et år senere er en brændeovn sat op. El er dyrt i drift (0,7 kr. pr. kWh i 1983), men normalt billigt i anlægsudgifter. Brænde kan være billigt, hvis det er affaldstræ, men der kræves mere plads og arbejde.

Opførelsesprisen for dette hus har være høj og vil være vanskelig at klarlægge. Men til denne beregning kan 1 m² netto sættes til 5.000 kr. Med 20% til renter + afskrivning + vedligeholdelse fås en årlig husleje på 1000 kr. pr. m² netto. Privatøkonomisk kan den enkelte med fradragsberettigede renter evt. derved opnå en skattefordel, men det lades her ude af betragtning ved en samfundsmæssig vurdering.

Brændeovnen fylder 1/2 m² og har en gulvplade på 1,2 m², så med adgangsplads kræver den mindst 1 m². I fyringssæsonen 1982-83 har den sparet mindre end 1500 kWh el-varme, dvs. ca. 1000 kr. Dette beløb skal så dække husleje, forrentning og afskrivning af brændeovn + skorsten (15.000 kr.), køb og transport af brænde, arbejde, brændestabelplads i have og carport samt evt. støv- og røgulemper.

Et årligt forbrug på 8.000 kWh til rumopvarmning og varmt vand koster 5.600 kr. med en elpris på 0,7 kr/kWh. Denne fyringsudgift kunne have været reduceret ved at benytte olie, men det vil samtidig have betydet en del større investering i opvarmningsanlæg og have krævet mere plads.

SOLAFSKÆRMNING

Da der forekommer høje temperaturer i tagetagen, kan det overvejes at få mobil solafskærmning for vinduerne. Et specialistfirma har overvejet sagen og fandt det ikke umiddelbart praktisk muligt at benytte udvendige markiser til tagetagen, hverken for ovenlysvinduerne eller de lodrette gavlvinduer. Alternativet

måtte så være indvendig afskærmning. Der blev indhentet tilbud på specielle gardiner. De består af en syntetisk tekstilvævning med en højreflekterende aluminiumsbelægning på den side, der vender mod glasset. Man kan delvis se ud gennem gardinerne. I salgsbrochuren oplyses det, at gardinerne øger vinduernes isoleringsværdi på samme måde som et ekstra lag glas, og at de standser ca. 60% af den stærke solvarme. Den samlede pris inklusiv montering og moms er i efteråret 1983 godt 8.000 kr. for gardiner til 3 stk. ovenlysruder mod sydøst + 3 stk. lodrette ruder mod sydvest.

Ifølge beregningerne over soloverophedning skulle solen i tagetagen kunne bevirke temperaturstigninger på op til 13°C. De målte temperaturstigninger er omkring 10°C, men da tagetagen kan være omkring 25°C varm om morgenen, når der temperaturer på 35°. Beboerne søger at begrænse de højeste temperaturer ved at ventilere ekstra. Med termogardiner, der halverer solindfaldet, kunne det tænkes, at temperaturstigningen halveres. Men gardinerne vil samtidig begrænse mulighederne for at ventilere med åbne vinduer, så maksimaltemperaturerne vil derved evt. kun få en mindre sænkning.

To af de sydvendte ovenlysvinduer er af et fabrikat, hvortil kan fås fikse færdige rullegardiner som standardvare både til indvendig og udvendig afskærmning.

ÆNDRINGER I HUSETS OPBYGNING

Huset er et solorienteret lavenergihus, hvor et lavt energiforbrug til rumopvarmning er opnået ved en meget tyk isolering, og ved at det begrænsede vinduesareal er orienteret mod sydøst og sydvest. Det er en vanskelig opgave på papiret at lave det rette hus. Men nu da dette hus er bygget og taget i anvendelse, så man kan se det færdige resultat (tre-dimensionalt i 1:1), og man kan gå rundt inde i huset, så kan der evt. godt overvejes nogle mindre ændringer.

For at undgå problemer med overophedning i solskin (især om sommeren kan der anvendes følgende simple konstruktionsprincipper (ref. 4):

1. Vinduerne skal være lodrette og have solafskærmning (fx ved at sidde under et passende udhæng).
2. Vinduerne skal være sydvendte (i stedet for mere eller mindre øst- og vestvendte).
3. Husets indvendige overflader skal være af tunge materialer.

Desuden kan man selvfølgelig benytte mindre glasareal.

I Birkerød er vinduerne i facaden i stueetagen under et stort tagudhæng, men da de er orienteret mod sydøst og ikke syd, kan formiddagssol (især ved august-hedebølger) nå ind.

Da glasarealet ikke er udpræget stort, og da indvendige vægge er af lecabeton, fås der ikke problemer med overophedning i stueetagen.

Eksempel: glasfacade i stueetagen.

Stueetagen har $6,6 \text{ m}^2$ sydøst-vendt glas. Der er mulighed for 22 m^2 vinduer med 20 m^2 glas, altså en 3-dobling af glasarealet.

Derved øges varmetabet, idet ca. 15 m^2 ekstra vinduer giver $\Delta k = 2,0, \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ altså $2,0 \times 15 \times 32 \times 10^{-3} = 1,0 \text{ kW}$ større dimensionerende tab, dvs. ved $t_i = 17^\circ\text{C}$ øges det årlige varmetab med 2.200 kWh .

For de 4 vintermåneder vil solvarmegevinsten tredobles fra ca. 500 til 1500 kWh. Forår og efterår vil solvarmegevinsten mindre end fordobles fra ca. 900 til 1600 kWh, idet resten af solvarmen ikke kan udnyttes, men giver overtemperaturer. Der vil således ialt være en øget solvarmegevinst på ca. 1700 kWh/år.

Ialt fås der dermed et nettovarmetab på $2.200 - 1.700 = 500$ kWh/år.

Med de nuværende vinduer kommer der ved sommarsol i den sydlige halvdel en temperaturstigning ifølge beregninger og målinger på 3°C , fra 23°C til 26° . Det vil så kunne øges til 9°C , fx fra 23°C til 32°C ved uændret udluftning og afskærmning.

I tagetagen er der forholdsvis mere glasareal end i stueetagen, og med skrå vinduer og lette indvendige konstruktioner giver det meget høje temperaturer i sommarsolskin.

Tunge konstruktioner i tagetagen, fx med skillevægge af leca-beton, er undertiden ikke videre praktisk, da det i mange tilfælde vil kræve at skillevæggene her placeres over skillevæggene i stueetagen.

Lodrette vinduer i tagetagen i stedet for de skrå ovenlysvinduer mod sydøst vil være en stor fordel også for den indvendige udsigt over Birkerød Sø. Men det kræver en noget ændret opbygning af taget (fx med kviste), og det er både mere kostbart og giver en større varmetabende yderoverflade. Desuden vil det ændre på husets ydre arkitektur.

Eksempel: skrå vinduer gøres lodrette.

Tagetagen har 7 m^2 skrå vinduer med $5,7 \text{ m}^2$ glas mod syd-øst. Der tænkes i stedet bygget en kvist midt på tagfladen, så disse vinduer kan placeres lodret under et normalt tagudhæng. Derved reduceres vinduernes varmetab forøvrigt lidt (ca. 200 kWh/år) på grund af mindsket himmeludstråling, men samtidig bliver husets (tag-)overflade lidt større med lidt varmtab til følge. Solindstrålingen bliver reduceret en del, især om sommeren. Den reducerede solindstråling i fyringssæsonen vil ved en lidt nærmere betragtning af forholdene måned for måned vise sig ikke at give mindre varmegevinst i september og april, da også

lodrette vinduer kan dække mere end behovet. I marts + oktober vil lodrette vinduer reducere solvarmegevinsten med lidt under 100 kWh. I de 4 vintermåneder vil solindstrålingen være uændret (ifølge de beregninger der ligger til grund for disse betragtninger, ref. 5).

Så alt ialt vil denne tagetage med lodrette vinduer kræve ca. samme fyringsudgifter som den aktuelle med skrå vinduer.

Ved at beregne overtemperaturer fra soloverophedning på samme måde som tidligere fås der, at ved at ændre de skrå ruder til lodrette og iøvrigt lade vinduerne i sydvestgavlen være uændret vil sommerovertemperaturen i tagetagen reduceres til det halve. Under de sidste to somres hedebølge, hvor rumtemperaturen typisk har kunnet stige fra 23°C om morgenen til 35°C om eftermiddagen vil temperaturen så i stedet toppe ved 29°C.

Overtemperaturen afhænger desuden af valg af byggematerialer. Hvor den nu er 12°C (35 - 23) vil den kunne blive 18°C ved at dække gulvet med et tykt gulvtæppe, den vil kunne blive 8°C ved at have bygget indvendige vægflader af letbeton, 6°C med tegl og 4°C med beton (ref. 4).

Med grundens udformning kunne huset vanskeligt have været orienteret direkte mod syd, og orientering mod både sydøst og sydvest kan også udføres fordelagtigt (det giver jo to sydligt vendte flader).

Når man besøger huset i Birkerød, bemærker man de meget tykke vægge, specielt ved vinduer og døre. Det kunne overvejes, om ikke der kunne have været lavet skrå afskæringer i væggene ved vindueshullerne (på samme måde som i ældre kirker). Derved vil der mistes meget lidt i isoleringsværdi, men der kan vindes noget i lysindfald og i udsigtsmuligheder. Men da det ikke er sædvanlig byggeskik, vil det også koste en del ekstra.

Eksempel: skrå afskæring af vindueshuller.

Ved at lave skrå afskæringer af vindueshuller bliver der forbedret udsyn og lysindfald. Men samtidig tabes der lidt i varmeisoleringsværdi. Skrå afskæring har især betydning for små vinduer i tykke vægge i rum med lille rumdybde. Til vurdering af disse forhold vil der her blive taget udgangspunkt i soveværelset i tagetagen, der er forsynet med et ovenlysvindue på $0,9 \times 1,6$ m. Der betragtes derfor et rum på 10m^2 som vist på fig. 21 med en $0,5$ m tyk væg af isolering. For at få et indtryk af varmetransporten gennem ydervæggen ved vindueshullet er der tilnærmet indtegnet et strømnet på fig. 22. Forholdene i hjørnet ved vindueskarmen er specielle og vil ikke blive vurderet her. I hjørnet ind mod rummet er der store tern, dvs. varmetransporten er lille. Det er derfor billigt i varmeenergi her at skære et hjørne af væggen bort, mens det giver en betydelig gevinst for udsyn og lysindfald. Med en 40° afskæring fås de forbedrede forhold som vist på fig. 21, der gælder for en lodret ydervæg. Det svarer til forholdene for soveværelset med hensyn til indfald af himmellys, men med hensyn til udsyn har de skrå vægge en yderligere afskærmende virkning, idet de i vandret snit er $0,8$ m tykke. Med afskåret hjørne skal der egentlig tegnes et nyt strømnet for at bestemme den ændrede varmetransport, men her vil dette blot blive betragtet tilnærmet. Det ses af fig. 22, at 40° afskæring fjerner ca. 4 tern. Uden vindueshul i væggen er en tern 10×10 cm, så de 4 tern svarer i dette tilfælde til, at væggen over en længde på 40 cm reduceres 10 cm i tykkelse. Derved reduceres k -værdien til $4/5$, dvs. varmetabet øges med 25% . Med $k = 0,08 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ fås med 20°C indetemperatur et årligt varmetab gennem væggen på 8 kWh/m^2 . Med $1,6$ m højt vindue fås så ved skrå afskæring for hver side et øget varmetab på:

$$Q = 1,6 \times 0,4 \times 8 \times 25\% = 1,3 \text{ kWh/år}$$

Med afskæringen fås der et øget dagslysindfald. Det direkte lysindfald uden solskin bestemmes af den rumvinkel, som himlen ses under fra observationsstedet. For en mindre del af rummet

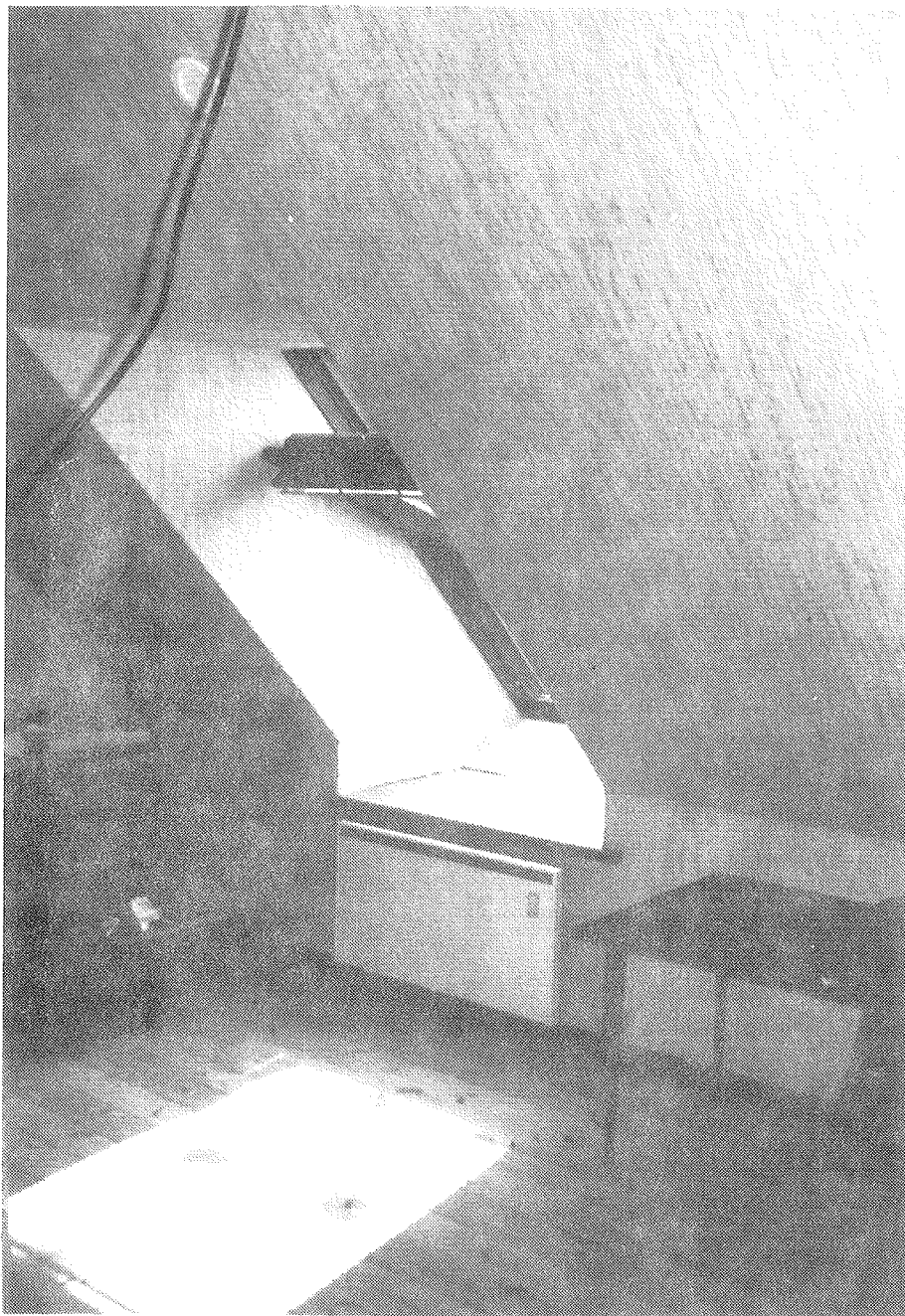


Fig. 20. Vinduet i soveværelset set fra døren. For godt 1 kWh (1 kr) om året i øget fyringsudgifter, kan man herfra få udblik til Birkerød Sø, ved at have skrå afskæring af væggen langs vinduet. Desuden forbedres lysindfaldet derved med ca. 15% i gennemsnit.

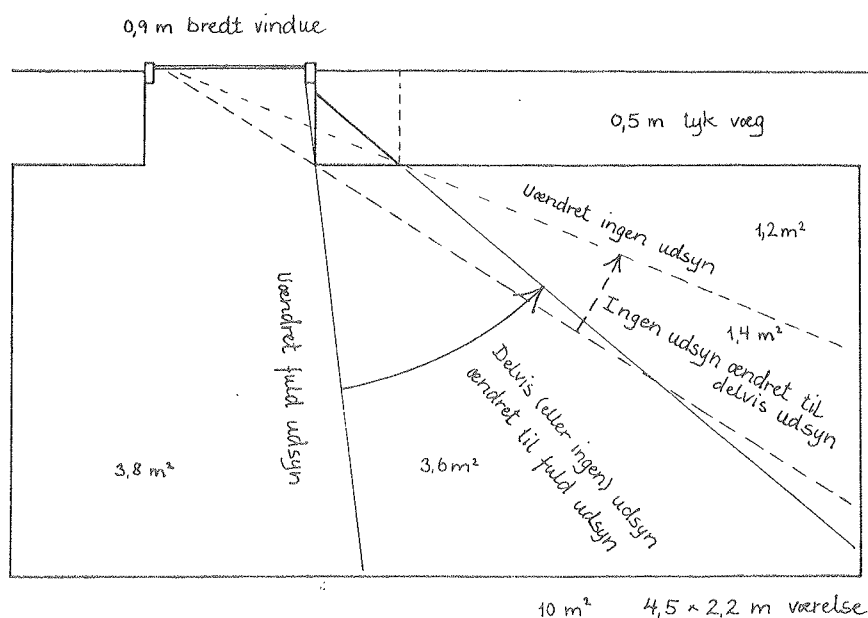


Fig. 21. For at vurdere betydningen af den skrå vinduesafskæring for udsyn og lysindfald ses der nærmere på dette rum på $4,5 \times 2,2$ m. Det svarer til forholdene i soveværelset i $1,5$ m højde over gulvet, blot er ydervæggen i vandret snit gennem taget ikke $0,5$, men $0,8$ m tyk.

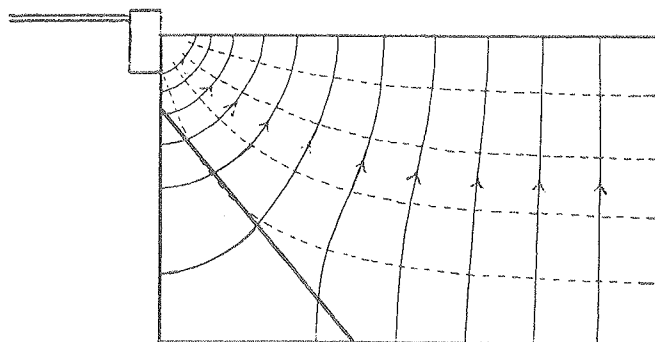


Fig. 22. Varmetransport gennem en væg med et vindueshul sandsynliggjort ved et strømnet (stationært tilfælde). Hjørnet ved vindueskarmen giver særlige randproblemer, der til det konkrete tilfælde ikke er vurderet nærmere. Dels vil (de punkterede) potentialflader (temperaturer) "trække ud" mod overfladen nær hjørnet, og dels vil vindueskarmen kunne "trække" strømlinier til sig afhængigt af valg af byggematerialer.

Det foreslås så at skære et hjørne af vindueshullet med den viste 40° linie. Derved fjernes der ca. 4 "tern" isolering.

svarer dette til, at vinduet har fået øget bredden fra 0,9 til 1,4 m og ialt får halvdelen af rummet mere direkte dagslys svarende til et ca. 30% bredere vindue. Dagslysforholdene er dermed for rummet i gennemsnit forbedret med 15%.

I stedet for skrå afskæring kunne vinduesarealet have været øget med 15%. Med et årligt varmetab på 180 kWh/m² ville det her give et øget årligt varmetab på 40 kWh, der så skal sammenholdes med 1 kWh fra den skrå afskæring. Beregningerne her er grove og mange detaljer forbigås. Men formålet er også kun at vise størrelsesordenen af energiforbrug ved den ene og den anden løsning.

Vinduerne mod sydvest i stueetagen ligger i skygge af tagterrassen. Solindfaldet her kunne ellers nyttiggøres i den tungere stueetage. Principielt burde denne sydvestflade have haft vinduerne flyttet længere ud i solen. Havde man ladet stueetagen "gå ud under" terrassen, ville der bl.a. have været problemer med at få plads til at isolere loftet op mod terrassen. Var der imidlertid ønske om en udestue med glas mod sydøst og sydvest, kunne den så med fordel placeres her.

Bygherren har til dette hus valgt en kompakt opbygning, der giver en begrænset yderflade at isolere. Det samlede glasareal er ret begrænset, som det ønskes i et lavenergihus, men det er placeret, så rummene får tilstrækkeligt med sol og lys.

Selv om det ved en kortsigtet økonomisk betragtning ikke kan betale sig at isolere så tykt som her, er der mange, der er parat til at betale for ekstra isolering ud fra en samfundsmæssig holdning og ud fra en langsigtet betragtning. Hellere isolere godt fra starten end at skulle forsøge en efterisolering senere.

Planløsning og udseende af et hus kan altid diskuteres efter smag og behag. Nogle ville her foretrække et hus med store glasflader (et "rigtigt solhus"), der åbner sig mere ud mod søen. Andre synes, bl.a. efter at have set et fotografi af huset i Berlinske Tidende, at det er et nydeligt hus.

Eksempel: zone-opdelt hus

Lad os prøve at ændre huset i Birkerød en lille smule, så det fungerer lidt anderledes for beboerne.

Vi tænker os et ægtepar, der ønsker et hus på 200 m² i to etager, der ligner det aktuelle hus. De første år er der ingen børn, så huset benyttes de fleste dage kun til madlavning, aftenhygge og overnatning. Lejlighedsvis er mere plads påkrævet, på fridage og når der kommer gæster.

Nogle år senere er beboerne en familie med to børn.

Som udgangspunkt benyttes husplanen i ref. 4 for stueetagen, samt planen for det aktuelle hus i fig. 3. Derved fås det her viste resultat, som et forslag til overvejelse med bygherren.

Der deles op en varm zone, en tempereret zone og en uopvarmet zone.

I det daglige holdes de to stuer, der er over hinanden, uopvarmet, soveværelse og entréen tempereret, køkken, bad, alrum og evt. børnenes værelser opvarmet. Uden børn kan man i det daglige nøjes med at holde køkken, alrum og bad opvarmet (til 20°C), og for denne femtedel af huset vil gratisvarmen fra madlavning m.v. reducere fyrinsudgifterne til ca. 1000 kWh/år eller mindre afhængigt af varmetransport til de andre rum.

I sommerhalvåret kan hele huset uden videre benyttes, da fyring er unødvendig, også i april og september på grund af passiv solvarme. I vinterhalvåret rykker man så sammen i de varme zoner og fyrer kun ved særlige lejligheder i de øvrige rum. Det skal så nærmere overvejes, hvilke materialer de skal opbygges af, med henblik bl.a. på fugt og på udnyttelse af passiv solvarme. En økonomisk fordeling af varmeisoleringen på de forskellige zoner bør overvejes nærmere. I tagetagen er ruminddelingen valgt, så skillevægge her kan stå på skillevægge i stueetagen, for at give større frihed i valg af evt. varmeakkumulerende materialer.

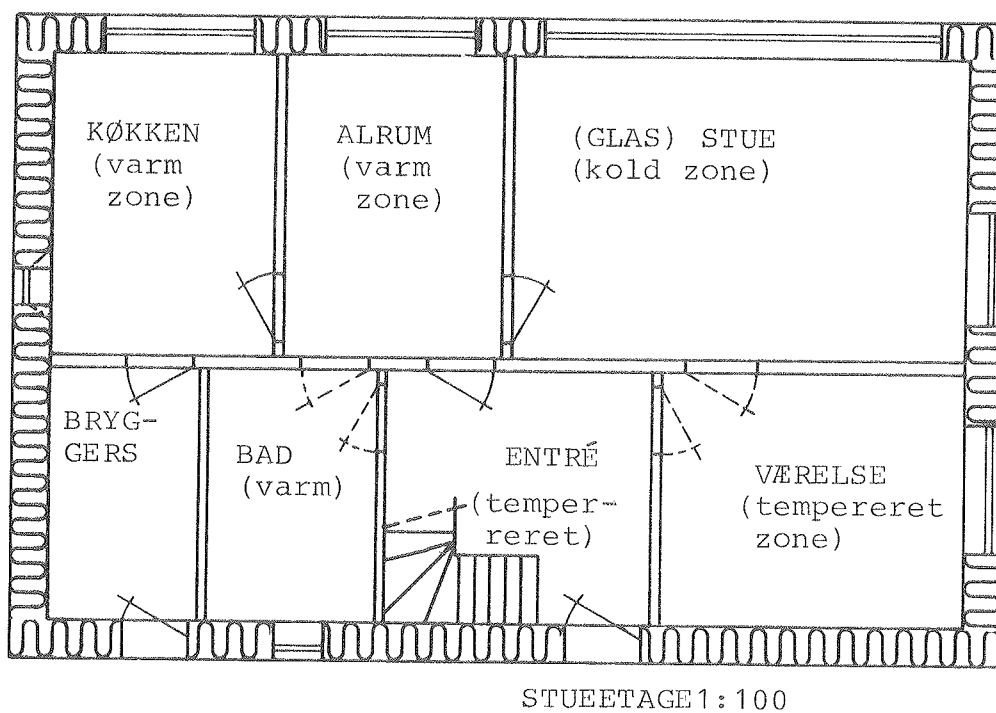
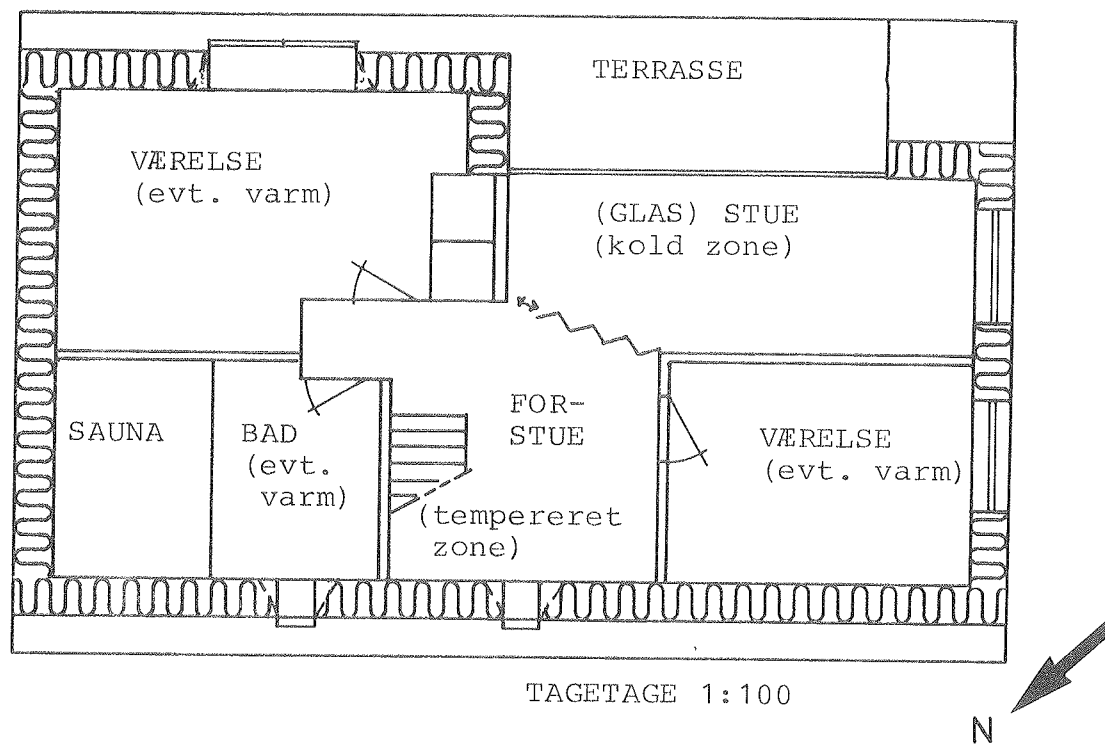


Fig. 23. Plan af let ændret hus, med mulighed for opdeling i varmezoner.

Stuen i tagetagen er foreslået med lodrette vinduer mod SØ med udgang til en tagterrasse. Vinduerne mod SØ og SV er her tegnet store for at få mere passiv sol især til de uopvarmede stuer. (Derved kan stuerne evt. benyttes en del solskinsdage i vinterhalvåret uden opvarmning).

De energimæssige følger samt overtemperaturer ved de ændrede ruminddelinger og ved forskellige valg af byggematerialer og vinduesstørrelser kan med de i denne rapport anvendte overslagsmæssige beregninger stort set straks udregnes under et møde med bygherren og hans arkitekt. Anvendelse af et EDB-program som BLAST, (når det måtte være bragt til at fungere tilfredsstillende) vil derimod kræve, at man nu begynder helt forfra med et stort arbejde med at beskrive samtlige rum, skillevægge, døre, vinduer m.v.

Som det ses af denne rapport, er der mennesker der er parat til at leve anderledes end med en konstant rumtemperatur på 20°C overalt i boligen, mennesker, der finder det spændende (eller accepterer) at have indeforhold, der afspejler vejret udenfor.

Som det ses af beregningerne (og som måleresultaterne så nogenlunde verificerer) får dette hus dækket ca. 25% af opvarmningen ved passiv solvarme. Selvom dette tal kan øget lidt ved en ændret udformning af huset, vil 25% (for normalår) så nogenlunde være det opnåelige i mange praktiske tilfælde. Solen skinner for lidt i Danmark til at give mere. Men da solvarmen ved den rette placering og udformning af bygninger kan udnyttes uden de ulemper, der er konstateret her, bør disse betragtninger i øget omfang indgå i planlægningen.

Det har været lidt af et eksperiment at bygge dette hus, (et for vovet eksperiment, måtte økonomisk ansvarlige erkende). Huset er helt individuelt udformet, og det vil ofte koste dyrt i et land som Danmark, hvor énfamiliehuse nu i vid udstrækning laves som standardvare. Men der er behov for eksperimenter, dels for at bryde monotonien på boligområdet, specielt parcelhusområdet, men også for at kunne påvirke standardhusene til forbedringer.

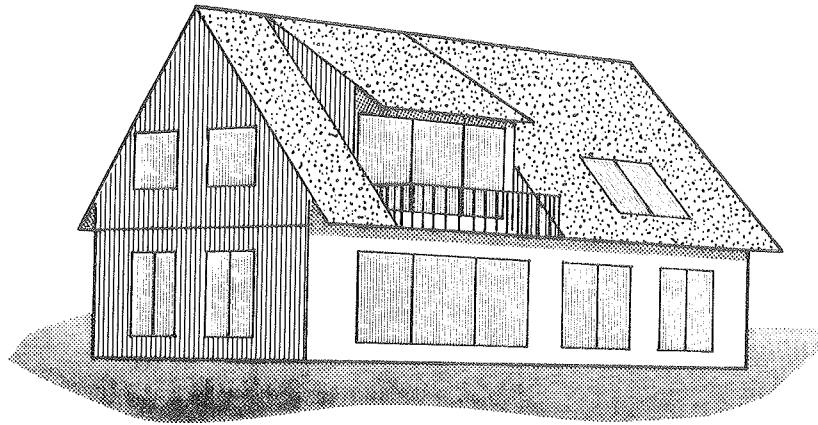


Fig. 24. Perspektivtegning af det let ændrede hus set fra syd. Vinduerne er her gjort større, og det store vindue i tagetagen er gjort lodret. Der kan zoneopdeles i fx varm, tempereret og kold zone, hvorved der kan fås en del lavere fyringsudgifter. Men det kræver påpasselighed med temperaturbevægelser og fugt, under projektering og udførelse. Og det kræver evt. omtanke under brugen af huset.

Med vores viden idag er det muligt at lave et hus, der er både billigt og skønt at bo i, og hvor man indefra uden ubehag kan leve med i det omskiftelige vejr udenfor.

REFERENCER

- Ref. 1 DTH-Nul-Energihus/Zero-Energy-House.
Arkitektens Forlag. 1977.
- Ref. 2 Esbensen, T.V. og V. Korsgaard: The Zero Energy House in Denmark. Proceedings of the CCMS/ISES International Solar Energy Conference on the Performance of Solar Heating and Cooling Systems, pp 231-248. Düsseldorf 1978.
- Ref. 3 Byberg, M.R.: Do Conservation Houses Require Sophisticated Technical Installations ?
Laboratoriet for Varmeisolering, rapport no. 127, 1982.
Energiministeriets Lavenergihusprojekt.
(Måleresultater fra Hjortekær side 53 er venligst oplyst ved personlig samtale med Byberg 1984.01.04).
- Ref. 4 Jensen, N.M.: Solopvarmning gennem vinduer.
Energiministeriets Varmelagerprojekt.
Laboratoriet for varmeisolering, meddelelse nr. 124, 1982.
- Ref. 5 Nielsen, A.: Enfamiliehuse med glasbeklædte uderum.
Energiministeriets varmelagerprojekt (med rettelsesblad april 1982).
Laboratoriet for Varmeisolering, meddelelse nr. 113, 1981.
- Ref. 6 Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af bygnings varmetab, DS 418, 1977.
- Ref. 7 Byggestyrelsen: Bygningsreglement 1982.
- Ref. 8 V og S priser husbygning 83, V og S byggedata A/S.
- Ref. 9 Jensen, N.M.: Varmtvandsforbrug i boliger.
Energiministeriets varmelagerprojekt.
Laboratoriet for Varmeisolering, meddelelse nr. 117, 1982.

ENERGIMINISTERIETS MINDRE VARMELAGREProjekt under SolvarmeprogrammetProjektorganisationStyregruppe

Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

V. Korsgaard,	professor, Lab. f. Varmeisolering, DTH, (formand)
P. Ahrenst,	kontorchef, Boligselskabernes Landsforening
P. Alling,	direktør, Dansk Solvarme K/S
E. Christoffersen,	afdelingsleder, Statens Byggeforskningsin- stitut
P. Dirks,	afdelingsingeniør, Dansk Kedelforening
J. Fischer,	direktør
K. Hallgreen,	ingeniør, Danfoss A/S
O. Dietrich,	kontorchef, dr.phil., Energiministeriet
E. Jerking,	Byggestyrelsen, energikontoret
N.I. Meyer,	professor, Fysisk Lab. III, DTH
J.S.R. Nielsen,	civilingeniør, Birch & Krogboe
V.S. Pejtersen,	civilingeniør, Risø
E. Petersen,	lektor, Kemisk Lab. I, H.C. Ørsted Institu- tet
P. Steensen,	civilingeniør, Teknologisk Institut
P.J. Snare,	civilingeniør, Energistyrelsen

Liste over udkomne rapporter

- Nr. 1. Litteraturundersøgelser og vurdering af kemiske varmelagre. Peter L. Christensen, august 1979.
- Nr. 2. Sæsonlagring af varme i store vandbassiner. Udført af Dipco Engineering ApS, november 1979.
- Nr. 3. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1).
En metode til brug for bordregnemaskiner.
Anker Nielsen, februar 1980.
- Nr. 4. Beregning af energiforbrug i bygninger (EFB-1).
Brugervejledning for TI-59.
Anker Nielsen, februar 1980.
- Nr. 5. Prøvning af varmelagerunits til solvarmeanlæg.
Simon Furbo, april 1980.
- Nr. 6. Beregning af ruminddelte bygningers energiforbrug.
Anker Nielsen, oktober 1980.
- Nr. 7. Vinduets betydning for énfamiliehouses energiforbrug.
Anker Nielsen, november 1980.
- Nr. 8. Heat Storage with an incongruently melting salt hydrate as storage medium based on the extra water principle.
Simon Furbo, december 1980.
- Nr. 9. Énfamiliehuse med glasbeklædte uderum.
Anker Nielsen, marts 1981.
- Nr. 10. Kemiske varmelagre. Teori og praksis.
Peter L. Christensen, december 1981.
- Nr. 11. Varmtvandsforbrug i boliger.
Niels Mejlhede Jensen, februar 1982.
- Nr. 12. Prøvemetoder for mindre varmelagre og erfaringer fra prøvningerne. Simon Furbo, Jan-Erik Larsen, november 1982.
- Nr. 13. Solopvarmning gennem vinduer.
Niels Mejlhede Jensen, november 1982.
- Nr. 14. Økonomisk solbidrag til opvarmning af brugsvand. Sven Pedersen, Simon Furbo, Preben Nordgaard Hansen og Vagn Ussing, December 1982.

Summary

Solar home in Birkerød.

A low-energy house with south-facing windows has been found of interest for calculations and measurements of temperatures and energy consumption.

The house is a two-storey one-family house with electric heating. The total floor area is 200 m². It is inhabited by a family of two. (Picture on page 3, blueprints on page 4-8).

In a normal year the house has a calculated total heat loss of 9,500 kWh for an indoor temperature of 17°C and 12,000 kWh for an indoor temperature of 20°C. The heat supply from passive solar energy through windows is calculated to 2,500 kWh/year and free heat from persons and electric lighting etc. is calculated to 2,000 kWh/year. So the heat requirement for space heating is 5,000 kWh/year (by 17°C) or 7,500 kWh/year (by 20°C). This corresponds well with measurements in 1982 and 1983.

On sunny days there can be a temperature increase of 3°C in the ground floor area (light weight concrete constructions) and of 15°C in the upper floor area (constructions of wood and gypsum board).

Further results of measurements are given in the figures on page 32-48.