



Solopvarmning gennem vinduer

En kort projekteringsvejledning for almindelige huse

Jensen, Niels Mejlhede

Publication date:
1982

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

[Link back to DTU Orbit](#)

Citation (APA):

Jensen, N. M. (1982). *Solopvarmning gennem vinduer: En kort projekteringsvejledning for almindelige huse*. Technical University of Denmark, Department of Civil Engineering.

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Solopvarmning gennem vinduer

Niels Mejlhede Jensen



LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

SOLOPVARMNING GENNEM VINDUER

(EN KORT PROJEKTERINGSVEJLEDNING FOR ALMINDELIGE HUSE)

NIELS MEJLHEDE JENSEN

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

NOVEMBER 1982

MEDDELELSE NR. 124

Forord

Energiministeriets (tidligere Handelsministeriets) projekt (EFP80) vedrørende udvikling af mindre varmelagre har til formål gennem teoretiske og eksperimentelle studier at vurdere og udvikle varmelagre, der er egnede til danske forhold.

Projektet udføres af Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, i samarbejde med interesserede institutter og erhvervsvirksomheder.

I projektet, der udførtes i perioden 1978 - 1982, indgår følgende delprojekter:

Varmelagring i,

- a) Vand
- b) Stenmagasiner
- c) Bygningskonstruktioner
- d) Smeltevarmelagre
- e) Kemiske varmelagre

Projektet tager sigte på, at de opnåede resultater allerede på kort sigt skal kunne anvendes i praksis.

Denne vejledning fremkommer på grundlag af arbejdet med varmelagring i bygningskonstruktioner, der fortsættes under Energiministeriets Projekter EFP81 og EFP82.

Resumé:

De fleste huse, der er bygget siden energikrisen, er ikke udformet med sigte på at lade solvarme gennem vinduerne reducere opvarmningsudgifterne. I mange tilfælde er det ellers rimeligt let at opnå en besparelse på 20 - 30% i et helt normalt hus, blot ved at være opmærksom på solvarmen under planudformningen.

Som en hjælp hertil er der her på nogle få sider givet en vejledning i, hvorledes man kan udnytte det passive solindfald gennem vinduerne uden at få generende overophedning i varme, solrige perioder. Vejledningen er tænkt som en hjælp under skitseringen af et hus. Den endelige beregning af passiv solvarme må ske med EDB-programmer.

Et ret normalt enfamiliehus på 100 m² med BR-77 isolering betragtes nærmere. For 3 udvalgte solrige perioder fra sommer, efterår og vinter findes solindstråling gennem vinduer og overskudsvarme. For forskellige valg af byggematerialer til indvendige konstruktioner bestemmes de her ved forårsagede stigninger i rumtemperaturen. Ved hjælp af en tabel fra litteraturen findes overslagsmæssigt, hvor meget solvarmen kan bidrage til rumopvarmningen. Andre husstørrelser og bedre isolerede huse og huse med større vinduesareal kan så vurderes ved at modificere resultatet fra 100 m² huset.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Resumé

Indholdsfortegnelse

PROJEKTERING AF SOLHUS	2
Bygningsplacering	2
Solvarmeudbytte	2
Vinduets placering	2
Projekteringsrelevante vejrforhold	3
Varmeakkumulering i indvendige bygningsdele	4
Konklusion	5
Fig. 1 Solindstråling gennem vinduer	6
Fig. 2 Solindfald på lodret sydflade	7
Fig. 3 Varmeakkumulering	8
EKSEMPEL	9
Varmetab	9
Årligt solindfald	10
Sommeroverophedning	11
Septemberoverophedning	14
Vintersolophedning	15
Oversigt	16
Varmeakkumuleringskurver	17
Måleresultater	18
Bedre varmeisolering og større vinduer ?	20
Referencer	22
Summary	25

PROJEKTERING AF SOLHUS

Et solhus er et hus, hvor direkte solenergi bevidst udnyttes. Dette gøres simplest ved at udnytte den solvarme, der stråler ind gennem vinduerne, dvs. den pasive solenergi.

Bygningsplacering:

Det må derfor kræves, at vinduerne skal være solbeskinnede. Dvs. bygningen skal kunne placeres, så den er solbeskinneth en stor del af året (og det er en del grunde ikke velegnet til på grund af naboforhold mv.).

Solvarmeudbytte:

Solindstråling (incl. den diffuse himmelstråling) gennem tolagsruder er beregnet til at give følgende værdier i kWh pr. m² (ref. 1):

		året	feb	jun	sept	dec
sydvindue	lodret	620	40	70	60	30
	45° skrå	870	40	130	80	30
vestvindue	lodret	480	20	80	40	10
	45° skrå	670	20	120	50	10
nordvindue	lodret	260	10	50	20	3
	45° skrå	400	10	80	30	5

Vinduets placering:

Huset bør planlægges, så de fleste vinduer vender mod syd. Det skrå sydvindue ses at give størst udbytte; men varmeindstrålingen kommer her især om sommeren ved mere eller mindre vinkelret indstråling i mange timer, og det kan give generende overophedning ved større glasarealer. Tabellens værdier kan reduceres på grund af afskæring fra vindueshul og tagudhæng (se fig. 1). Det vil især være muligt at få en reduktion i sommersolindstrålingen gennem det lodrette sydvindue, så der kun er delvis solindstråling ved middags-tid i 3 - 4 timer fra stejle solstråler. Øst- og vestvendte vinduer vil om sommeren få nogle timers sol fra ret lave solstråler. I fyringssæsonen kan det lodrette sydvindue med den rette udformning af tagudhængen få den fulde solindstråling.

Projekteringsrelevante vejrforhold:

Ved planlægningen af husets udformning kan der nærmere betragtes 4 situationer, hvor det så hverken må blive for koldt eller for varmt:

1. vinter uden sol
2. vinter med en solskinsperiode (lav solhøjde)
3. sommer med hedebølge og høj solintensitet (stor solhøjde)
4. september med høj solintensitet (lavere solhøjde)

1. I situationen med vinterkulde uden sol kan opvarmningsudgifterne nedsættes ved at huset er velisoleret ("lavenergihus") eller ved at have "natsenkning". Natsenkning af rumlufttemperaturen med påfølgende hurtig opvarmning om morgenen favoriserer et hus med lille varmeakkumulering, altså lette indvendige bygningsdele.
2. Som eksempel på en vinterperiode med sol er her valgt at se på forholdene i februar 1981 for et 100 m^2 hus med 8 m^2 sydvendt, solbeskinnede glas. Kurven på fig. 2 viser måling af solindstråling på den lodrette sydflade i kW/m^2 . Enheden ændres nu, så den passer til solindstråling gennem 8 m^2 dobbeltrude med lidt refleksionstab og med evt. reduktion på grund af afskæring fra tag og murhul. Varmebehovet, beregnet ud fra døgnets gennemsnitstemperatur ved DIFs varmetabsregler, indlægges. I gennemsnit er solindstrålingen meget mindre end varmebehovet, men nogle timer ind imellem er der varmeoverskud. Det kan uden videre nyttiggøres ved varmeakkumulering i konstruktioner, hvis der tillades variationer i rumlufttemperaturen. Jo mere velisoleret huset er (eller jo større solbeskinnede glasarealer), jo mere er der brug for varmeakkumulering.

3. Som eksempel på sommer-hedebølge er her valgt en periode i juni 1980. Udetemperaturen er så høj, at der ikke er noget opvarmningsbehov. Solindstrålingen bør derfor være lille. 8 m^2 lodret glas mod syd under tagudhæng giver et begrænset solindfald, medens ovenlysruder vil give ca. 5 gange så meget. Har husets indre en stor varmeakkumuleringsevne, bliver rumlufttemperaturforløbet mere jævnt (for alle typer vinduer). Under hedebølge kan døgnets maksimumstemperatur således holdes lavere indendørs end udendørs, når huset afkøles passende om natten.

4. I september kan solindstrålingen gennem lodrette sydvinduer blive en del større end om sommeren (på grund af lavere solhøjde), og ved store glasarealer kan denne situation tænkes at blive kritisk for overophedning. Forårs- og efterårsperioder med solskin favoriserer huse med stor indvendig varmeakkumulerende virkning, (med henblik på temperaturudjævning og varmeøkonomi).

Varmeakkumulering i indvendige bygningsdele:

Hvis rumlufttemperaturen tillades at variere, kan overskudsvarmen "gemmes" i skillevægge, bagmure, loft og gulv til senere brug. For et almindeligt hus på 100 m^2 er der for opbygning med gips, træ, letbeton, tegl og beton vist temperurstigninger ved varmeoverskud (ved en grov beregning). Kurverne på fig. 3 kan benyttes ved vurdering af konstruktioners varmeafgivelse om aftenen og ved natsenkning. Om dagen kan der ske større varmeakkumulering end kurverne viser, hvis solstrålerne direkte rammer tunge konstruktioner.

Ved at betragte solindstrålingen nærmere for de 3 afbildede perioder i fig. 2, ses det, at der er en del dage på alle årstider, hvor der gennem vinduerne kommer et solvarmeoverskud i nogle timer. Derved vil rumlufttemperaturen stige,

mest i gipshuset og mindst i betonhuset, (som betragtet nærmere i eksemplet). Kan man kun acceptere en mindre temperaturstigning, før man ventilerer ud, vil noget af overskudsvarmen gå til spilde.

I september ses der at være ekstreme dage, der giver 5 kW varmeoverskud, mens den mere almindelige situation i moderat solskin på alle årstider er 2 kW varmeoverskud i 4 - 6 timer gennem 8 m² glas. For 5 kW og 2 kW kan kurverne benyttes til direkte aflæsning. For andre værdier proportioneres. Man kan sige, at i et solhus bør de 2 kW varmeoverskud bekvemt kunne nyttiggøres, og samtidig skal 5 kW kunne klares uden gener.

For andre husstørrelser betragtes et relevant 100 m² afsnit (se side 17).

Når man lader rumlufttemperaturen variere, (fx op til 15-23° over et døgn), er det ekstra nødvendigt også at foretage en fugtberegning.

Konklusion:

For et solbeskinnethus er der mulighed for at få et betragteligt tilskud til rumopvarmningen fra den passive solindstråling gennem vinduerne.

For at få en stor solindstråling i fyringssæsonen og dog lille solindstråling om sommeren, bør vinduerne fortrinsvis være lodrette og sydvendte og under normalt tagudhæng. De rum i huset (de sydvendte), som får en del passiv solvarme, bør have tunge varmeakkumulerende, indvendige konstruktioner og variabel rumlufttemperatur (fx 18 - 22 °C). De øvrige rum (de nordvendte) kan evt. være med lette konstruktioner for bedre at kunne udnytte varmebesparelse ved natsenkning af rumlufttemperaturen.

For et 100 m² hus med 8 m² sydvendt glas kan den passive solvarme så bidrage med op til 4000 kWh. pr. år.

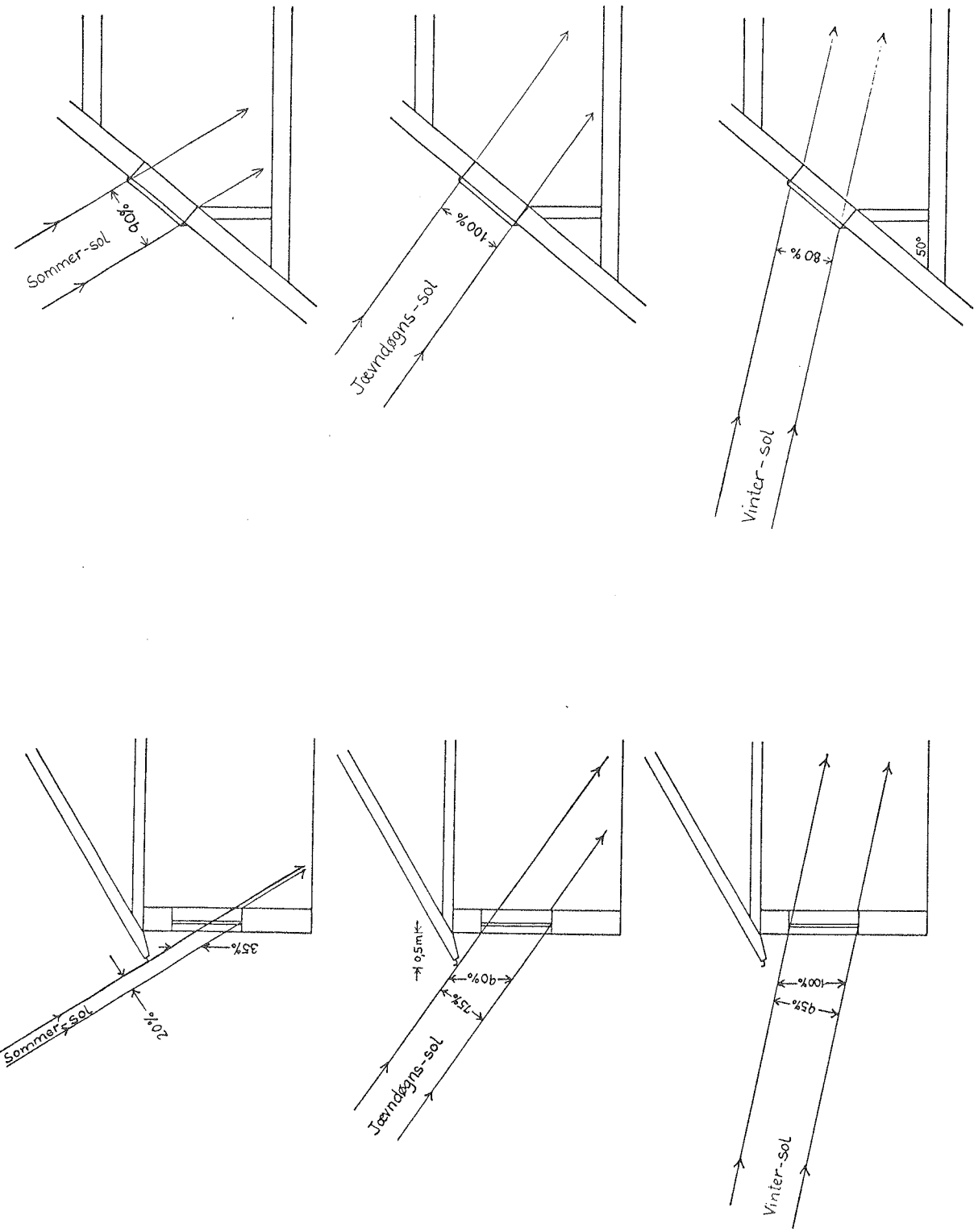


Fig. 1. Solindstråling ved middagstid gennem sydvinduer. Det lodrette vindue får begrænset solindfaldet om sommeren, især hvis der er et passende tagudhæng. I procent er angivet tværsnitsarealet af det gennem vinduet indfaldende solstrålebundt i forhold til glasarealet.

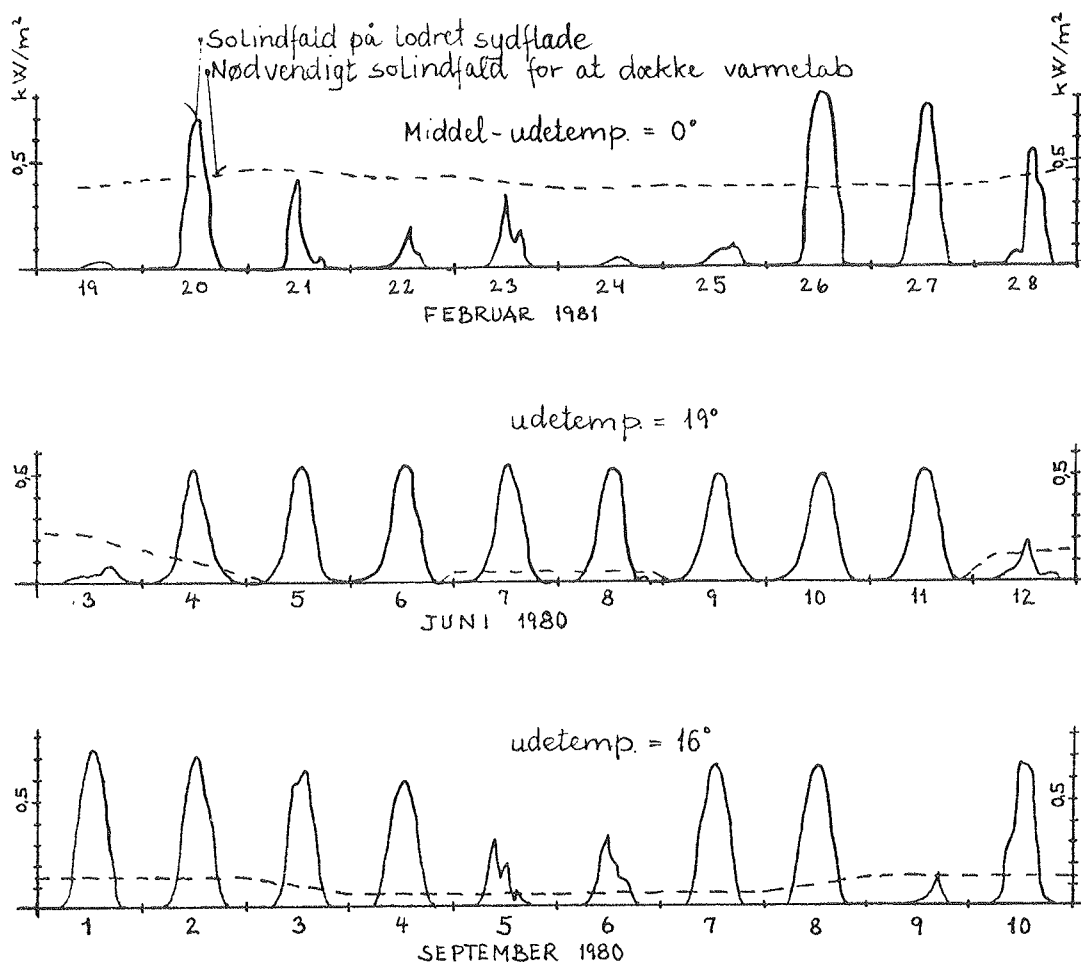


Fig. 2. Solindfald på lodret sydflade i kW/m^2 efter målinger fra 3 relevante perioder, (ref. 4).

Desuden er der angivet det nødvendige solindfald, for at det betragtede 100 m^2 BR-77 hus kan holde en indetemperatur på 20°C udelukkende ved solindfald gennem 8 m^2 sydvendt rudeglas, og hvor solstråler delvis afskæres om sommeren af tagudhæng (som vist i fig. 1).

I konkrete projekteringstilfælde kan man ændre enheden for solindstråling, så den svarer til den samlede solindstråling gennem de sydvendte vinduer, (med 8 m^2 glas og 20% refleksion ændres $0,5 \text{ kW/m}^2$ til $3,2 \text{ kW}$). Varmetabet beregnet efter DIFs regler og middeludetemperaturen indlægges som en linie. Den solvarmeindstråling, der ligger over denne linie skal så enten hindres ved solafskærmning, bortventileres eller (helst) i størst muligt omfang akkumuleres i indvendige bygningskonstruktioner. "Spidserne" omregnes til antal kW over antal timer, og dermed kan rumtemperaturstigningen findes ud fra fig. 3.



Fig. 3. Varmeakkumulering i indvendige bygningskonstruktioner. Et "normalt" enfamiliehus på 100 m² med BR-77-isolering har ved minimering af vinduesarealet mod nord kunnet få 8 m² glas mod syd. For forskellige valg af materiale til bagmure, skillevægge, loft og gulv er vist rumlufttemperaturstigninger ved dels 5 kW og dels 2 kW varmeoverskud (eller temperaturfald ved varmeunderskud), (ref. 5).

EKSEMPEL

Det vil nu gennem et eksempel blive vist, hvorledes man overslagsmæssigt kan beregne solvarmeudbytte og overop-
hedning ud fra værdierne i tabellen og figurerne.

Varmetab

Enfamiliehuset på 100 m^2 fra fig. 1 vil blive betragtet nærmere. Varmeisolering mv. er valgt i overensstemmelse med minimumskravene i bygningsreglementet, BR-77. Husets dimensionerende varmetab beregnet efter Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af bygningers varmetab, DS 418, 1977, er 5 kW for en indetemperatur på $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ og udetemperatur på $t_u = -12 \text{ }^\circ\text{C}$. Beregnet efter sædvanlige ingeniørregler bliver det årlige rumopvarmningsbehov 11.000 kWh for at holde $t_i = 17 \text{ }^\circ\text{C}$, (idet man jo så antager, at gratisvarmen fra personer, el-belysning mv. samt solindfald hæver temperaturen yderligere $3 \text{ }^\circ\text{C}$). For at holde $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ er det årlige rumopvarmningsbehov 14.000 kWh, hvoraf en større eller mindre del kan dækkes af solindfald gennem vinduerne afhængigt af husets beliggenhed og udformning, som det nu nærmere skal belyses.

Årligt solindfald

Huset har de "tilladte" 15 m^2 vinduer, og heraf kan det (i gunstige fald) opnås, at 85% er glas. Gennem glasset kommer der ved fuld solbeskinning en solvarmeindstråling som givet i tabelform på side 2, og dermed fås ialt i kWh pr. år:

syd	8 m^2 glas:	$8 \cdot 620 =$	5.000 kWh
øst + vest	$2\frac{1}{2} \text{ m}^2$ glas:	$2\frac{1}{2} \cdot 480 =$	1.200 -
nord	$2\frac{1}{2} \text{ m}^2$ glas:	$2\frac{1}{2} \cdot 260 =$	<u>600 -</u>
Ialt	13 m^2 glas:		7.000 kWh

altså 50% af det årlige opvarmningsbehov på 14.000 kWh. En stor del af denne solvarme kommer i de 4 sommer måneder, og ved en overslagsmæssig benyttelse af tabellen fås ved her at benytte tallene for juni for de 4 sommer måneder:

syd	$8 \cdot 70 \cdot 4 =$	2.200 kWh
øst + vest	$2\frac{1}{2} \cdot 80 \cdot 4 =$	800 -
nord	$2\frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 4 =$	<u>500 -</u>
Ialt		3.500 kWh

Idet der ses bort fra 3.000 kWh af sommersolvarmen, fås, at solvarmen kan reducere fyringsbehovet med ca. 4.000 kWh i det betragtede 100 m^2 hus, når det har en ideel beliggenhed, så vinduerne er fuldt solbeskinnede, og når varmeoverskud kan udjævnes. Skal 4 sommer måneder klares med behagelige indetemperaturer uden fyring, er en del sommersolvarme dog ønskeligt, bl.a. også af hensyn til regulering af den indvendige fugtbalance.

Drejes huset 90° , så de 8 m^2 glas bliver vestvendt, ses sommersolindfaldet at blive stort set uændret, mens det årlige solindfald reduceres med godt 500 kWh.

Sommeroverophedning

En del af tiden er solindfaldet om sommeren større end ønsket. Fig. 1 viser solindstrålingen ved middagstid gennem et sydvindue, og det ses, at om sommeren kan et normalt tagudhæng afskære det meste af solindstrålingen. I vinterhalvåret giver tagudhængen ikke skygge. Formiddag og eftermiddag står solen lavere på himlen end ved middagstid, men på grund af solens vandring fra øst mod vest vil projektionen af solstrålerne ind på det lodrette nord-syd plan give stejlere solstråler formiddag og eftermiddag om sommeren og omvendt om vinteren. Tagudhængen vil altså om sommeren give mindst skygge på vinduerne ved middagstid. Om sommeren kan tagudhængen således for sydvinduer uden videre begrænse solindfaldet til 30 - 50% af tabelværdien. Lodrette sydvinduer vil derfor bedre kunne begrænse risikoen for overophedning end vinduer i andre retninger.

Som en karakteristisk sommerperiode er her i fig. 2 valgt 8 dages hedebølge i juni 1980. Det er altså ikke udtryk for gennemsnitssommerværdier (de blev givet i tabellen), men for en ekstrem situation, der opnås i korte perioder de fleste somre og overskrides noget med få års mellemrum. Et godt hus skal kunne klare denne situation uden ubehag. Middel-udetemperaturen er 19°C . Gratisvarmen fra personer hæver temperaturen indendørs til 20°C , så der ikke er behov for fyring. Solindstrålingen bør derfor begrænses mest muligt. Over de 8 dage er udetemperaturen typisk fra minimum 15°C om natten til maksimum 25°C om dagen (med en 30°C ekstremværdi). Overskudsvarme kan altså vanskeligt bortventileres om dagen, før rumtemperaturen er $25 - 30^{\circ}\text{C}$.

Der vil her blive set nærmere på forholdene for de sydvendte vinduer. Selv om der er stærkt solskin, får den lodrette sydflade dog kun maksimalværdier på ca. $0,5 \text{ kW/m}^2$ på grund af den stejle indfaldsvinkel. Med 20% refleksion giver det for 8 m^2 glas en maksimal indstråling på $(1 - 0,20) \cdot 8 \cdot 0,5 = 3,2 \text{ kW}$. Med et normalt tagudhæng kan $2/3$ afskæres, dvs. der kommer et solvarmeoverskud på 1 kW . I det stationære tilfælde med et regningsmæssigt varmetab på 1 kW (dvs. $1/5$ af de 5 kW varmetab for $\Delta t = 20 - (-12) = 32 \text{ }^\circ\text{C}$) vil det give en overtemperatur på $6 \text{ }^\circ\text{C}$. Men da de 1 kW solindstråling kun varer i ca. 4 timer, vil en del af overskudsvarmen gå til varmeakkumulering i husets indvendige konstruktioner.

Af fig. 3 aflæses, at et "letbetonhus" med 2 kW varmeoverskud i 4 timer får en temperaturstigning på $3 \text{ }^\circ\text{C}$. Med 1 kW fordelt ligeligt over hele huset fås kun den halve temperaturstigning. Hvis de 1 kW kun fordeles over den sydlige halvdel af huset, bliver temperaturstigningen her så $3 \text{ }^\circ\text{C}$. Hvis et letbetonhus, der om morgenen kun er $20 \text{ }^\circ\text{C}$ varmt, bliver holdt med begrænset ventilation om dagen, vil temperaturen indendørs således stige langsommere end udendørs.

For et "betonhus" ses temperaturstigningen kun at være det halve af den fundet for letbetonhuset. For et "gipshus" er den det dobbelte.

I en fuldstændig beregning skal der så desuden medtages de tidsmæssigt forskudte bidrag fra vinduerne i de andre retninger. Af tabellen ses det, at om sommeren er solindstrålingen på den lodrette vestflade lige så stor som for sydfladen. Et tagudhæng vil her kun give kortvarig

skygge, så med 20% refleksion kan der forventes en indstråling på $0,4 \text{ kW/m}^2$. I det viste hus får $1/4$ af huset så gennem $1,25 \text{ m}^2$ vestvendt glas $0,5 \text{ kW}$ varmeoverskud i ca. 4 timer (det svarer beregningsmæssigt til 2 kW i et helt hus), og det giver en temperaturstigning på $3 \text{ }^\circ\text{C}$ i letbeton-rummet (som også fundet før for den sydlige halvdel). $3 \text{ }^\circ\text{C}$ vil nok føles acceptabelt.

Hvis de 8 m^2 glas havde vendt mod vest i stedet for syd, ville varmeoverskuddet være blevet 3 kW . Det vil give en temperaturstigning i letbetonhuset på $5 \text{ }^\circ\text{C}$ i gennemsnit eller evt. det dobbelte i den vestvendte halvdel. Det vil næppe kunne accepteres, så det er i denne sommersituation afgørende med den rette orientering af huset.

Tabellen giver i juni et solindfald på 130 kWh/m^2 for den skrå flade, mens lodret syd får 70 kWh/m^2 (som reduceres til $1/3 \cdot 70$ af tagudhæng). Så når 70 kWh/m^2 svarer til en dimensionerende belastning på 3 kW i 4 timer, vil 130 kWh/m^2 her siges overslagsmæssigt at svare til 5 kW i 4 timer. Det giver ved ligelig fordeling af varmen over det hele en temperaturstigning i et letbetonhus på $8 \text{ }^\circ\text{C}$, (der skal sammenholdes med $1\frac{1}{2} \text{ }^\circ\text{C}$ for lodrette sydvinduer).

Septemberoverophedning

I bestråelserne for at undgå overophedning om sommeren er det vigtigt, at vinduerne placeres mod syd og under et normalt tagudhæng. Som det ses af fig. 1, vil tagudhængen ikke skygge ved jævndøgn, og på grund af lavere udetemperaturer er der da også normalt brug for hele solindfaldet. Men der kan være dage forår og efterår med stærkt solskin og lune udetemperaturer, hvor der er risiko for uønsket overophedning. Fig. 2 viser en kritisk septemberperiode. Udetemperaturen er i middel 16°C , så husets regningsmæssige varmetab er $4/32 \cdot 5 \approx 1/2$ kW. Der er en del dage, hvor solindstrålingen reduceret med 20% refleksion når op på gennem 8 m^2 glas at give et overskud på 5 kW i kort tid og 4 kW over ca. 4 timer. Ved aflæsning på fig. 3 fås, at 4 kW (= $2 \cdot 2$ kW) giver en temperaturstigning på 6°C i middel i letbetonhuset og altså evt. det dobbelte i den sydlige halvdel.

Varmen vil friste til at åbne vinduer og døre, men skal det meste af 4 kW bortventileres en stille lun solskinsdag, skal der ofte være åbninger både foroven og forneden.

Igen vil betonhuset kun få den halve temperaturstigning, og samtidig vil varmen bedre kunne gemmes til de kølige aften- og nattetimer.

Er huset vestvendt i stedet for sydvendt, fås ved overslagsmæssigt at anvende tallene fra tabellen, at solindstrålingen i september er $40/60 = 2/3$ af de netop fundne værdier for sydvendte vinduer. Det giver tilsvarende mindre overtemperaturer. Men så er varmegevinsten også reduceret til $2/3$ på de mange dage med normalt (køligt) forårs- og efterårsvejr.

Vintersolophedning

Om vinteren er der mange dage uden solskin, og da skal den ønskede indetemperatur kunne opnås alene ved fyring. Men der kan også være dage med solskin i alle vintermånederne, og såfremt huset er solbeskinnet af den lave vintersol, er der mulighed for at få et varmetilskud - ja endda at få overophedning.

Der betragtes en solrig periode fra februar 1981. Udetemperaturen er i middel 0°C , så varmetabet er beregningsmæssigt $20/32 \cdot 5 = 3 \text{ kW}$. Solindstrålingen på den lodrette sydflade når nogle dage op på $0,7 \text{ kW/m}^2$ i 3 - 4 timer. Gennem 8 m^2 glas med 20% refleksion kommer der da godt 4 kW solvarme, altså 1 kW mere end varmetabet. Overskudsvarmen kan på denne årstid let bortventileres, men den kan også gemmes til natten. 1 kW varmeoverskud er ovenfor i sommersituationen fundet at give en temperaturstigning på 1 - 2°C i middel for hele huset eller evt. 3°C for den sydlige halvdel alene, når huset har indvendige vægge af letbeton.

Er huset vestvendt, reduceres solindfaldet til 10/30 ifølge tabellen. Selvom dette tal her kun med forsigtighed kan anvendes på bestemmelse af det maksimale solindfald, ses det, at solindfaldet fra vest er mindre end varmetabet.

Oversigt

	Sydvendt hus (med tagudhæng)			Vestvendt hus		
	Sommer	Efterår	Vinter	Sommer	Efterår	Vinter
Gipshus	23-26 ^o	>26-30 ^o *	23-26 ^o	30-40 ^o	>26-30 ^o *	20 ^o
Letbetonhus	22-23 ^o	26-30 ^o	22-23 ^o	25-30 ^o	23-27 ^o	20 ^o
Teglhus	21-22 ^o	24-28 ^o	21-22 ^o	24-28 ^o	23-26 ^o	20 ^o
Betonhus	21-21 ^o	23-26 ^o	21-21 ^o	23-25 ^o	22-24 ^o	20 ^o

* maksimumtemperaturer er for høje overtemperaturer stærkt afhængigt af muligheden for øget varmetab afhængigt af udetemperaturer

Tabel over maksimumtemperaturer indendørs forårsaget af solindfald gennem ruder for det i eksemplet betragtede 100 m² hus (fig. 3) med 8 m² vinduesglas, dels sydvendt, dels vestvendt. Der regnes med en indendørs starttemperatur (om morgenen) på 20 °C, og at fyringsautomatik slår anden opvarmning fra. For større og mindre huse med ca. samme bredde og opbygning fås samme tal. Med to tal opgivet, fx 23-26 °C, gælder det første tal som gennemsnitsværdi for hele huset og det andet for den solbeskinnede halvdel alene, hvis varmen ikke fordeles over hele huset. De opgivne værdier er maksimalværdier, der i sjældne tilfælde kan overskrides. Kan de højeste temperaturer ikke accepteres, kan der skygges med gardiner og markiser. Men skal passiv solvarme udnyttes rimeligt godt, må de viste temperaturer fra fyringssæsonen kunne accepteres.

Varmeakkumuleringskurver

Kurverne over temperaturstigning ved varmeoverskud i fig. 3 er baseret på det viste 100 m^2 hus, med 90 m^2 gulv, 90 m^2 loft og 150 m^2 indvendig vægoverflade af 22 mm træ, 13 mm gips, 120 mm letbeton, tegl eller beton. Med andre tykkelser, fx 90 mm letbeton, ændres den varmeakkumulerende evne især for langtidsvirkningen. De første par timer efter en pludselig varmepåvirkning er det konstruktionernes overfladeareal, der er afgørende, og først senere spiller også voluminet en betydende rolle. Groft sagt vil så overtemperaturerne i et hus med letbetonvægge på 90 mm i stedet for 120 mm blive ændret lidt mod $120/90 \times$ de ovenfor fundne overtemperaturer. 6°C ændres altså til mellem 6 og $120/90 \cdot 6 = 8^\circ\text{C}$, dvs. i enkelte tilfælde skal oversigtens temperaturer justeres 1°C opad.

Kurverne er beregnet (ref. 5) ud fra et varmeovergangstal på $6 \text{ W/m}^2/^\circ\text{C}$, dvs. en overgangsisolans på $0,17 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Ved at benytte 0,17 i stedet for det sædvanlige $m_i = 0,13$ er der taget hensyn til en vis isolerende værdi mod konvektion og stråling fra tapet, billeder og møbler mv.

Kurverne gælder direkte for det i fig. 3 viste 100 m^2 hus. Hvis huset i stedet er på 120 m^2 , skal der en mindre omregning til. Solvarmeoverskuddet findes på sædvanlig vis, og hvis der er 10 m^2 sydvendte ruder, kan det være relevant at betragte 4 kW for september. Det omregnes så til $\frac{100}{120} \cdot 4 = 3,3 \text{ kW}$ for 100 m^2 normal-huset. Kurverne giver, at et "tegl-hus" over 6 timer vil få en temperaturstigning på 3° for 2 kW varmeoverskud. 3,3 kW vil da give en temperaturstigning på $\Delta t = \frac{3,3}{2} \cdot 3 = 5^\circ$.

Denne simple omregning fra et 120 m^2 hus til 100 m^2 normal-huset gælder, når husene er proportionalt opbyggede. Dvs. 120 m^2 har $\frac{120}{100} \cdot 90 \text{ m}^2$ indvendigt gulv og loft og $\frac{120}{100} \cdot 150 \text{ m}^2$ indvendige vægge, (som omtrentlige værdier). Hvis dette ikke er gældende, kan der omregnes i forhold til de betydende akkumulerende flader, (eller ref. 5 afventes).

Måleresultater

Laboratoriet for Varmeisolering håber at få lejlighed til at måle på et hus, der blot behøver at opfylde de lempelige krav til et solhus skitseret her og vist som eksempel i fig. 3.

Lars Saust Christensen (ref. 2) har i 1979 målt på et klimarum hos Statens Byggeforskningsinstitut på 12 m^2 med et sydvendt vindue med $1,9 \text{ m}^2$ glas. 3 vægge er af letbeton, og gulvet er af beton. Ved med rimelige skøn at omregne dette rum til et 100 m^2 hus fås af fig. 3, at rumtemperaturen en god solskinsdag skulle stige ca. $5 \text{ }^\circ\text{C}$. I august 1979 viser målinger fra en dag med næsten fuldt solskin, at temperaturen (beregnet ud fra målte overfladetemperaturer) kun stiger $3 \text{ }^\circ\text{C}$. Forskellen kan her, ud over den manglende sol, forklares ved, at solstrålerne direkte rammer betongulvet, der har størst varmeakkumulerende virkning, og fig. 3 tager ikke hensyn til denne direkte varmeakkumulering.

Som led i afprøvningen af en temperaturskriver har der været målt rumtemperaturer i et 10 m^2 "gipsrum med noget træ" i juli 1982 i en varm solskinsperiode (ref. 3). En dag, hvor døren nok har været holdt lukket og gardinerne trukket fra fås en temperaturstigning på $8 \text{ }^\circ\text{C}$ over 3 timer. En relevant benyttelse af fig. 3 ville give $9 \text{ }^\circ\text{C}$.

Lars Ravn Jensen (ref. 6) har målt i et hus med to ens forsøgsrum på 9 m^2 med letbetongulv og trævægge, hvor det ene har $1,2 \text{ m}^2$ rudeglas mod syd og det andet $2,8 \text{ m}^2$. 1976.10.29 med fuldt solskin måles temperaturstigninger over 3 timer til $5 \text{ }^\circ\text{C}$ og $10 \text{ }^\circ\text{C}$ i de to rum. Beregninger med fig. 3 giver temperaturstigninger på $5 \text{ }^\circ\text{C}$ og $12 \text{ }^\circ\text{C}$.

Rolf Djurtoft (ref. 7) har forår og efterår 1982 målt i et lavenergieksperimenthus med to ens 60 m^2 rum med gulvvarme, hvor det ene har betongulv og det andet trægulv. Ellers er huset med lette konstruktioner. Der har være målt med "5% vinduer" ($1,3 \text{ m}^2$ glas mod syd) og "15% vinduer" ($4,9 \text{ m}^2$ glas mod syd). På solskinsdage måles i begge rum en temperaturstigning over 4 timer på 1°C med "5% vinduer", hvor beregning ved fig. 3 ligeledes giver 1°C for det lette rum og lidt mindre for det tunge rum. Ved "15% vinduer" måles 3°C i det lette rum og 2°C i det tunge rum, og beregning ved fig. 3 giver samme værdier.

Beregning for lavenergieksperimenthuset:

Lavenergieksperimenthuset (L-hus) har 60 m^2 gulv, 70 m^2 gipsvægge og 60 m^2 gipsloft.
100 m^2 normal-huset (N-hus) har indvendigt 90 m^2 gulv, 150 m^2 vægge og 90 m^2 loft.
Simplest betragtes i første omgang L-huset som $\frac{60}{90} = \frac{2}{3}$ af N-huset.

"5% vinduer", der har $1,3 \text{ m}^2$ glas mod syd med 40 % refleksion (plexiglas indgår), giver med en solindstråling på 500 W/m^2 ialt: $1,3 \cdot (1 - 0,40) \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 0,4 \text{ kW}$.
For en periode med meget lille varmetab fra huset, fx $0,1 \text{ kW}$, er der så et varmeoverskud på $0,3 \text{ kW}$.

For N-huset aflæses i fig. 3 for gipshus, at 2 kW varmeoverskud i 4 timer giver en temperaturstigning på 4° .

For L-huset fås så: $\Delta t = \frac{1}{2/3} \cdot \frac{0,3}{2} \cdot 4 = 0,9^\circ \approx 1^\circ$

Regnes i stedet mere korrekt med akkumulerende flader, fås,
at N-huset har $150 + 90 = 240 \text{ m}^2$ vægge + loft, og
L-huset har $70 + 60 = 130 \text{ m}^2$ vægge + loft, dvs.
L-huset $\sim \frac{130}{240}$ af N-huset.

Så fås $\Delta t = \frac{240}{130} \cdot \frac{0,3}{2} \cdot 4 = 1,1^\circ \approx 1^\circ$.

Bedre varmeisolering og større vinduer ?

Mange vil nok vælge en bedre isolering end efter minimumskravene i BR-77. Det vil give mindre varmetab og dermed større "varmeoverskudsspidser" i solrige timer i fyringssæsonen. Skal dette varmeoverskud kunne udnyttes uden øgede temperaturstigninger, stilles der tilsvarende større krav til husets varmeakkumulerende virkning.

Med bedre varmeisolering tillades der større vinduesarealer (idet "varmetabsrammen" skal overholdes). Derved kan der opnås større tilskud af solvarme. Selve vinduerne kan også gøres mere varmeisolerende. Vælges vinduerne med en k-værdi på fx 1,6 i stedet for 2,9 W/m²/°C, kan vinduesarealet fordobles. Disse isoleringsruder har imidlertid endnu ikke så stor transmission af solvarme som almindelige tolagsruder. Men med den nuværende interesse for området kommer det måske inden så længe. Derved kan solindfaldet fordobles. Det øgede solvarmebidrag kommer dog lejlighedsvis på tidspunkter, hvor der ikke er brug for ekstra solvarme, så solvarmeandelen af det årlige rumopvarmningsbehov på 14.000 kWh til 100 m² huset kan øges fra 4.000 til ca. 7.000 kWh (for solbeskinnede huse med god varmeakkumulering). Uden speciel solafskærmning vil overtemperaturerne så om sommeren blive dobbelt så høje, som givet i oversigten. For vinterhalvåret skal der foretages en ny beregning af overtemperaturer. Idet gratisvarmen fra personer og el-belysning sættes til 2.000 kWh/år, er fyringsbehovet dermed halveret fra oprindeligt 11.000 kWh/år i et "tilfældigt" 100 m² hus til 5.000 kWh/år i et planlagt solhus med BR-77 isolering.

Med større vinduesarealer og bedre isolering bliver det oftere nødvendigt at ventilere ekstra for at hindre for høje temperaturer, dvs. "varmeoverskudsspidserne" skæres bort. For nærmere at kunne vurdere betydningen heraf for varmeøkonomien kan man ikke blot benytte kurverne for solindfald i fig. 2, da det ikke er typiske gennemsnitsværdier.

Ønskes der små opvarmningsudgifter, kan et alternativ til et lavenergihus med små vinduer være et solbeskinnet hus med store sydvendte vinduer og tunge indvendige vægge. For mennesker, der ønsker åbent udblik til de sydlige omgivelser (kontakt med naturen), og som synes om at leve med indetemperaturer, der varierer nogle grader efter vejret udenfor, er der altså mulighed for at projektere den rette bolig.

Dette eksempel viser, at de få oplysninger i denne vejledning kan bruges til de første overvejelser af solvarmens betydning under planlægningen af et hus. På et senere stade kan nærmere bestemmelse så ske ved mere avancerede EDB-beregninger.

Betragtningerne her kan synes ret så grove; især måske bestemmelsen af et vestvendt hus' overophedning ud fra nogle "tilfældige" dages solindfald på den lodrette sydflade sammenholdt med en EDB-beregnet tabel over et referenceårs månedsværdier for forskellige retninger.

Men i praksis vil vanskeligheder ved at bestemme, hvor meget af tiden de solbeskinnede vinduer er i skygge fra bygninger og eksisterende og kommende træer, give større usikkerheder.

Referencer

- ref. 1 Nielsen, Anker:
Enfamiliehuse med glasbeklædte uderum.
Energiministeriets varmelagerprojekt. Rapport nr. 9,
1981. (Med rettelsesblad april 1982). Medd. nr. 113.
(Månedsvis oversigt over beregnet solindfald gennem
dobbeltruder med forskellige hældninger og oriente-
ringer).
- ref. 2 Christensen, Lars Saust:
Varmeakkumulering i bygningskonstruktioner.
Eksamensprojekt ved Laboratoriet for Varmeisolering,
1979.
- ref. 3 Christensen, Lars Saust:
Målinger i delvist møbleret kontor.
Laboratoriet for Varmeisolering. Internt materiale.
- ref. 4 Måleresultater af solindstråling på den lodrette
sydflade, udført i forbindelse med et sol- og jord-
varmeprojekt i Næstved under Energiministeriet,
udført af Laboratoriet for Varmeisolering. Internt
materiale.
- ref. 5 Internt materiale, der evt. vil blive udgivet i
en rapport (af Niels Mejlhede Jensen).
- ref. 6 Ravn-Jensen, Lars:
Vinduer og energi.
Licentiatprojekt. Lab. f. Varmeisolering, medd.
nr. 55, 1977.
- ref. 7 Djurtoft, Rolf:
Målinger i lavenergieksperimenthus, Lavenergihus-
projektet under Energiministeriet.
Laboratoriet for Varmeisolering. Internt materiale.

ENERGIMINISTERIETS MINDRE VARMELAGRE,
Projekt under Solvarmeprogrammet

Projektorganisation

Styregruppe

Energiministeriet har fra september 1981 udpeget følgende styregruppe for solvarmeprogrammet:

- V. Korsgaard, professor, Lab. for Varmeisolering, DTH, (formand).
- P. Ahrenst, kontorchef, Boligselskabernes Landsforening.
- P. Alling, direktør, Dansk Solvarme K/S.
- E. Christoffersen, afd.leder, Statens Byggeforskningsinstitut.
- 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, Fys. Lab. III, DTH.
- J.S.R. Nielsen, civilingeniør, Birch og Krogboe.
- V.S. Pejtersen, civilingeniør, Risø.
- E. Petersen, lektor, Kem. Lab. I, H.C. Ørsteds Instituttet.
- P. Steensen, civilingeniør, Teknologisk Institut.
- P.J. Snare, civilingeniør, Energistyrelsen.

Projektmedarbejdere fra

Laboratoriet for Varmeisolering, DTH:

- S. Eidorff, civilingeniør, lic.techn.
- S. Furbo, civilingeniør, stud. lic. techn.
- K.K. Hansen, akademiingeniør, lic.techn.
- P.N. Hansen, lektor, lic.techn.
- J.E. Larsen, akademiingeniør.
- N. Mejlhede Jensen, civilingeniør, lic.techn.
- O. Dyrnum, civilingeniør.
- S. Pedersen, civilingeniør, lic.techn.
- V. Ussing, civilingeniør, (projektleder).

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 enfamiliehouses 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 Enfamiliehuse 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 og Jan-Erik Larsen, november 1982.

SUMMARY

Solar heating through windows.

(Some simple design rules for ordinary houses).

Houses built in Denmark are, with a few exceptions, not planned to benefit from passive solar energy. In many cases it would be possible to save 20-30% of the energy for domestic heating for a normal house simply by arranging the windows with respect to the sunshine.

This paper gives on a few pages the rough background for designing a "normal" dwelling in Denmark with respect to passive solar energy.

On page 2 a computer calculated table shows the average solar heat gain (kWh/m^2) through a vertical (=lodret) and a 45° inclining (=skrå) window with double layers of glass facing south (=syd), west (=vest), and north (=nord) as a total value for the year (=året) and for the months Feb, Jun, Sept, and Dec.

Figure 1 shows the sunshine at noon through vertical and inclining windows facing south - at midsummer, at equinox (spring and autumn), and at midwinter. It is seen how normal eaves of the roof may reduce the summer sunshine through windows facing south and thus reduce the risks of superheating.

Figure 2 shows the measured insolation on the vertical south wall (kW/m^2) for sunny periods in February, June, and September. The sunshine needed to compensate for the calculated heat loss from the normal house (on figure 3) is shown with a dotted line. So the sunshine may occasionally cause superheating at any time of the year.

Figure 3 shows a 100 m² one-family house with an inside surface area of 150 m² of the walls and 90 m² of the floors. The graph shows for this house the room-temperature-increase (or -decline) in °C, hour by hour (timer), caused by a surplus (or deficit) of a heat effect of 5 kW or 2 kW. The inside of the house is built of (graphs from top to bottom):

- 1) Ceiling and walls of gypsum board, and floor of (insulating) carpet
- 2) - " - , and floor of wood
- 3) Walls of lightweight concrete, ceiling of gypsum board, and floor of wood
- 4) Walls of brick, - " -
- 5) Ceiling and walls of concrete, and floor of carpet
- 6) - " - , and floor of wood

The solar heat gain is found by the table on p. 2, and the heat accumulation and the inside supertemperatures are found from figure 3. When calculating the savings on the domestic heating load, the values of the table must be reduced, either because of shade from buildings and trees, especially during the winter, or because excessive solar heat has to be ventilated away, especially during the summer.

The insolation on sunny days, shown on figure 2, is reduced with the shadowing effect of the roof for example, as shown on figure 1. Knowing the glass-area and the solar transmission, the total solar heat effect is found. This is reduced with the heat loss from the house. The net heat gain in kW, over some hours, is then used in figure 3 to find the temperature rize for a 100 m² house, utilizing the fact that the temperature rize is proportional to the imposed effect. If the actual house is not 100 m², the effect is scaled to a 100 m² house with respect to the area of important accumulating structures.

The method described in this work is in particular useful for the preliminary design of a house. More accurate projection will require modelling using a computer program.