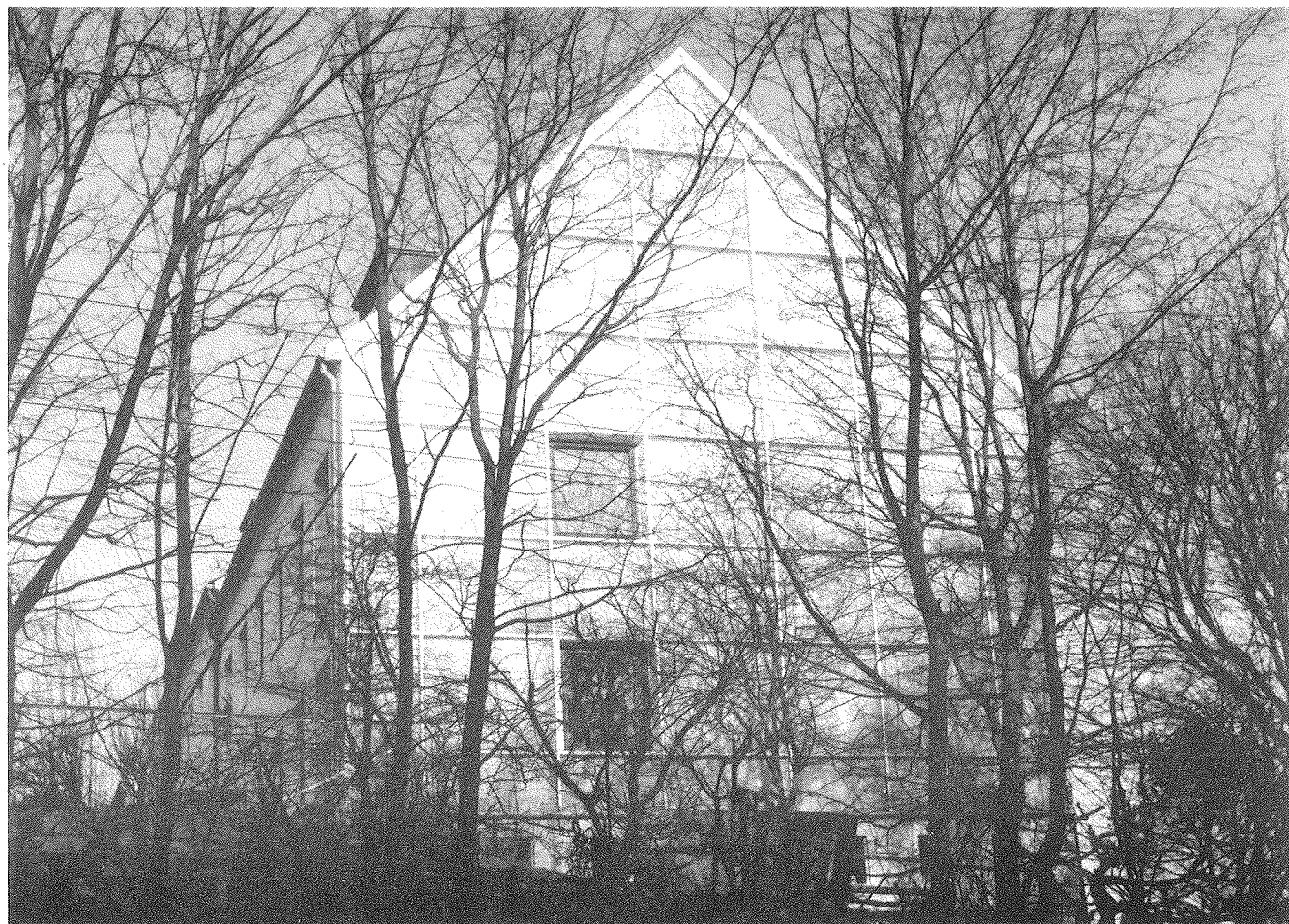


UVENTILEREDE SOLVÆGGE I ÆLDRE BOLIGBLOK - FULDSKALAFORSØG

En vurdering af energibesparelse
og termisk komfort



Peter Fritzelt & Olaf B. Jørgensen



MEDDELELSE NR. 241. MARTS 1993
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

FORORD

Denne rapport omhandler energibesparelser og termisk komfort i et ældre boligbyggeri, projekttitel: "Uventilerede solvægge i ældre boligblok - Fuldskalaforsøg. Det gennemføres i et samarbejde mellem Det Sociale Boligselskab i Helsingør, Danbolind a/s og Laboratoriet for Varmeisolering. Til brug for projektet er der gennemført laboratorieforsøg med mulige inddækningssystemer af LfV. Selve fuldskalaforsøget udføres på en boligblok på Peder Skramsvej i Helsingør.

Projektet er finansieret af Energiministeriet og er en del af forskningsområdet: "Energianvendelse i bygninger" under ministeriets forskningsprogram, EFP-90 og EFP-91. Projektets ENS journal-nr. er hhv. 1213/90-0001 og 1213/91-0001.

Nærværende rapport beskriver LfV's andel af projekteringsfasen som går ud på, at vurdere regntæthed og mekanisk styrke for forskellige inddækningssystemer til solvægge. Dernæst behandles de opsamlede data fra målefasen.

Projektering samt opførelse af solvæggen rapporteres af Danbolind a/s i en særskilt rapport, [1].

Et lignende projekt er omtalt i et paper udarbejdet af Olaf Bruun Jørgensen, titel: Results from retrofitting with transparent insulation on three different residential houses in Denmark. Dette paper er blevet fremlagt ved: TI₅ - Fifth International Meeting on Transparent Insulation Technology, 24-26 May 1992, Freiburg, Germany, (vedlagt som bilag).

Projektet er gennemført ved Laboratoriet for Varmeisolering med deltagelse af følgende medarbejdere:

Peter Fritzel, akademiingeniør

Olaf Bruun Jørgensen, civilingeniør.

Svend Aage Svendsen, civilingeniør, lic. techn.

Knud Otto Jurnow Nielsen, maskinarbejder.

FORORD	1
RESUME	3
SUMMARY	4
1. INDLEDNING	5
2. LABORATORIETEST	6
2.1 FORMÅL	6
2.2 INDDÆKNINGSSYSTEMER	7
2.3 TESTMETODE	9
2.3.1 Belastninger	9
2.3.2 Fremgangsmåde ved undersøgelse af regntæthed og mekanisk styrke	10
2.3.3 Fremgangsmåde ved undersøgelse af bestandighed overfor solstråling	11
2.4 LABORATORIEFORSØG	12
2.4.1 Forsøgsresultater	12
2.4.2 Kommentarer	13
2.5 DELKONKLUSION VEDR. INDDÆKNINGSSYSTEMER.	13
3. MÅLEPROGRAM OG MÅLEUDSTYR	14
3.1 Solbestrålingsstyrke på facaden	14
3.2 Temperaturforhold for solvæg og lejlighed	15
3.3 Dataopsamling	16
4. MÅLERESULTATER	17
4.1 Vejrdata.	17
4.2 Databehandling.	18
4.3 Energibesparelse	20
4.4 Temperaturforhold	21
4.4.1 Overfladetemperaturer	21
4.4.2 Indetemperatur	22
5. KONKLUSION	24
REFERENCER	25
BILAGSFORTEGNELSE.	26

RESUME

Som oplæg til fuldskalaforsøget beskriver nærværende rapport indledningsvis hvorledes to forskellige profilsystemer testes for regntæthed og mekanisk styrke. Desuden afprøves et transparent isoleringsmateriales formstabilitet ved forskellige temperaturer. Resultaterne herfra har dannet baggrund for det endelige valg af profilsystem samt transparent isoleringsmateriale til anvendelse ved det efterfølgende fuldskalaforsøg med solvægge.

Det er vigtigt, at det inddækningssystem der vælges til brug ved en energirenovring af facader er tilstrækkeligt tæt og stærkt for at kunne modstå de belastninger, det danske klima vil udsætte systemet for.

Der er derfor gennemført laboratorieforsøg med afprøvning af to forskellige profilsystemer, begge er omtalt i [2]. Undersøgelsen foregik i Laboratoriet for Varmeisoleringens indendørs prøvestand til afprøvning af solfangeres regntæthed og mekanisk styrke. Opstillingen i standen består af et system af sprinklere og sugekopper som henholdsvis simulerer regn- og vindlast.

Resultaterne derfra viste, at det ene system, et alu-hat-profil, ikke kunne bruges, da det ikke var tilstrækkeligt tæt. Det andet, et drivhusprofil, viste sig velegnet til anvendelse i inddækningssystemet, da det var både stærkt og tæt nok. Sidstnævnte blev derfor valgt til brug i det endelige projekt.

Det transparente isoleringsmateriale, isoflex, blev placeret i en varmeovn for at teste varmebestandigheden. Forsøget viste, at det bevarede sin formstabilitet ved opvarmning både til 98°C i 35 minutter og til 120°C i 12 minutter, hvilket var fuldt tilfredsstillende. Evnen til at modstå UV-stråling blev antaget tilstrækkelig, idet isoflex er blevet benyttet i ovenlysvinduer i en del år, hvor den stærke solbestråling ikke har givet nogen skader.

I marts 1991 påbegyndtes opsætningen af solvæggen på en bygning beliggende på Peder Skramsvej 18 i Helsingør og målingerne i maj samme år.

Måleresultaterne viste, at den samlede energibesparelse ved at montere en solvæg på en SSØ-vendt gavl blev 6700 kWh i en mild fyringssæson, dette svarer til 83 kWh/m^2 .

Deles besparelsen op svarende til de to murtyper gavlen består af så er besparelsen i en lejlighed med massiv ydermur bag solvæggen 2900 kWh eller 125 kWh/m^2 , mens der i en lejlighed med isoleret hulmur spares 1900 kWh eller 66 kWh/m^2 .

Til sammenligning vil en udvendig efterisolering med 100 mm mineraluld give en besparelse på 4000 kWh, svarende til en besparelse på 60 kWh/m^2 . Deles det op som før spares der 96 kWh/m^2 på den massive mur og 38 kWh/m^2 på den hule. Besparelsen er her noget mindre, men den er til forskel fra solvæggen ikke afhængig af solstrålingsstyrken.

Der var ikke noget som pegede på, at der kunne opstå problemer med det termiske indeklima som følge af solvæggen, for varmebidraget fra væggen antog ikke nogen ekstrem størrelse.

Overfladetemperaturen på indersiden af solvæggen blev øget 1°C til 3°C over året.

Under en hedebløge kom temperaturen i en lejlighed op på 32°C . Dette skyldtes til dels varmetilførslen fra solvæggen og især solindfaldet gennem vinduerne, som udgør ca. 18 % af ydervæggens areal.

Konklusionen udfra målingerne er, at solvægge er et godt alternativ til traditionel isolering af ydervægge især når man har med massive mure at gøre.

SUMMARY

This report describes how two different profile systems are tested for tightness against rain penetration and mechanical strength, furthermore, the form stability of a transparent insulation material is tested at different temperatures. In the light of the results from these tests, a profile system was chosen to be used in the subsequent full scale tests with solar walls.

It is important that the flashing system which is chosen to be used at energy renovation of facades is sufficiently tight and strong to be able to resist the strain which the system will be exposed to in the Danish climate.

Laboratory testings were initiated on two different profile systems, both mentioned in [2]. The testing was carried out at the Thermal Insulation Laboratory's indoor test facility for testing rainproofness and mechanical strength of solar collectors. The setup in the test facility consists of a system of sprinklers and suckers simulating rain and wind force respectively.

The results from the tests proved that one of the systems, the alu-hat-profile, could not be used as it was not sufficiently tight. The other one, the greenhouse profile, proved to be suitable to be used in the flashing system as it was both strong and tight enough. Then this one was chosen for the final project. The transparent insulation material, Isoflex, was put into an oven to have its thermostability tested. The experiment proved that Isoflex preserves its form stability when heated to 98°C during 35 minutes as well as to 120°C during 12 minutes, which is perfectly satisfactory. Its capacity for resisting UV radiation was considered sufficient as Isoflex has been used in overhead lights for some years where it has been exposed to strong solar radiation without being damaged.

In March 1991, the construction of a solar wall on a building at Peder Skramsvej 18 in Helsingør (Elsinore, North of Copenhagen) was started, and the measurements started in May the same year.

The results of the measurements showed that the total energy saving by constructing a solar wall on a SSE oriented gable was 6700 kWh during a moderate firing period, this corresponds to 83 kWh/m².

If the saving is splitted up, corresponding to the two types of wall of which the gable consists, the saving for a flat with a solid outer wall behind the solar wall will be 2900 kWh or 125 kWh/m², while the saving in a flat with an insulated cavity wall will be 1900 kWh or 66 kWh/m².

For comparison, an external, extra insulation of 100 mm mineral wool will save 4000 kWh, corresponding to a saving of 60 kWh/m². If this is splitted up as above, there will be saved 96 kWh/m² on the solid wall and 38 kWh/m² on the cavity wall. The saving is somewhat smaller, but unlike the solar wall it is not dependent on the intensity of the solar radiation.

Nothing indicated problems for the thermal indoor climate on account of the solar wall because the heat gain from the wall did not increase extremely. The surface temperature on the inside of the solar wall increased 1 to 3°C in the course of the year.

During a heat wave the temperature in the flat rose to 32°C. This was partly due to the heat gain from the solar wall and especially the solar heat gain through the windows which account for approximately 18% of the outer wall surface.

The conclusion from the measurements is that the solar wall is a good alternative to traditional insulation of outer walls, especially in the case of solid outer walls.

1. INDLEDNING

Denne rapport indeholder resultaterne fra den praktiske del af et projekt vedrørende passiv solvarme i forbindelse med en facaderenovering af en ældre boligblok.

Projektet er udført som et samarbejde mellem Danbolind a/s og Laboratoriet for Varmeisolering og det danner afslutningen på et samarbejde som påbegyndtes i foråret 1989.

Samarbejdets første del gik ud på, at udarbejde et udredningsprojekt baseret på et aktuelt boligkompleks [2].

Målet med anden del var at gennemføre et fuldskalaforsøg med uventilerede solvægge placeret i typiske ældre etageboliger. For det er den bedste måde til at vurdere de lovende laboratorieresultater fra tidligere projekter vedrørende energi- og facaderenovering.

Fuldskalaforsøget blev gennemført på Peder Skramsvej 18 i Helsingør, som hører under Det Sociale Boligselskab i Helsingør, afdeling 7. Opførelsen af væggen påbegyndtes primo marts 1991 og den efterfølgende måleperiode varede fra primo maj 1991 til ultimo juni 1992.

Laboratoriet for Varmeisolering har beskæftiget sig såvel teoretisk som praktisk med udvikling af solvægge over en årrække. Nærværende projekt er et ud af en række eksempler på praktisk videreførelse af laboratoriets arbejde. I dette projekt har LfV's arbejde været koncentreret om måling af solbestrålingsstyrke, luft- og overfladetemperaturer, samt behandling af måleresultater.

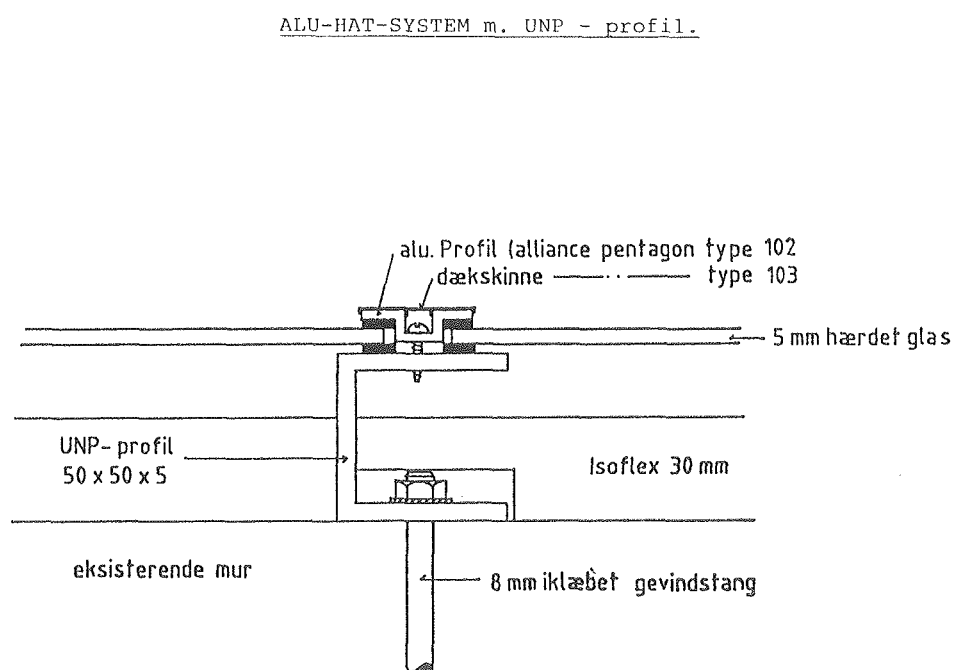
2. LABORATORIETEST

2.1 FORMÅL

Da der endnu kun er foretaget få inddækninger/facaderenoveringer vha. solvægge, hersker der stadig stor usikkerhed om, hvordan inddækningssystemerne skal udformes. Før en egentlig projektering af facade- og energirenoveringen i Helsingør er det derfor undersøgt, hvorvidt det i [2] foreslåede system vil være tilstrækkelig tæt og stærkt til at kunne modstå de belastninger, det danske klima vil udsætte systemet for. Hvis inddækningssystemet ikke lever op til de stillede krav foreslås i stedet et system, der vil kunne modstå de fugt- og vindlaste, solvæggene udsættes for i praksis. Det er især tætheden og styrken i overgangene fra glas til glas og fra glas til eternitpladerne, der vil blive vurderet. Undersøgelsen er foretaget i Laboratoriet for Varmeisoleringens indendørs prøvestand til afprøvning af solfangeres regntæthed og mekaniske styrke, [3]. Forsøgenes resultat danner baggrund for den endelige projektering af det inddækningssystem, der bruges ved fuldskalaforsøget.

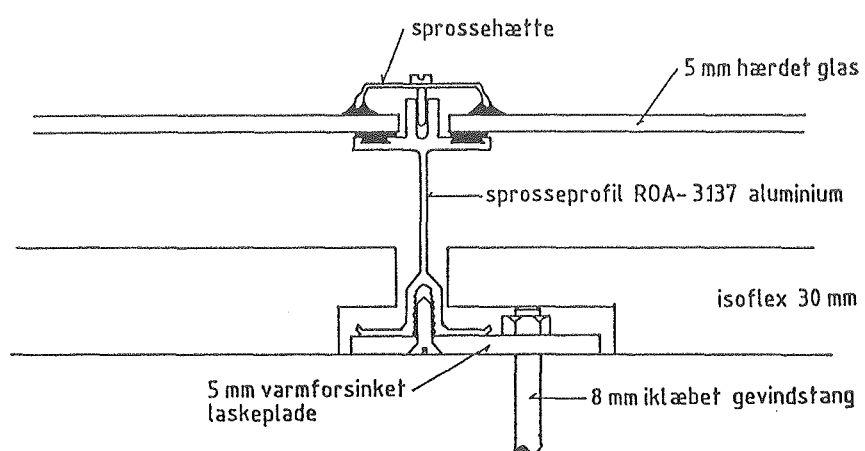
2.2 INDDÆKNINGSSYSTEMER

I denne analyse er undersøgt 2 forskellige inddækningssystemer. Det første system er beskrevet detaljeret i [2] på side 102 (alu-hat-system). Dette system vil stille store krav til nøjagtigheden ved montage, da glasset blot vil blive fastholdt mod en 6 mm bred flade. Herudover vil de temperaturpåvirkninger, profilet udsættes for, medføre en øget risiko for, at inddækningssystemet ikke vil være tilstrækkelig tæt. Det skal desuden bemærkes, at den medfølgende dækskinne, der skal klemmes fast i "alu-hatten", ikke altid sidder ordentligt fast i denne. I [2] er på side 97 desuden vist et system baseret på et drivhus-profil. Laboratoriet for Varmeisolering har foreslået en modificeret udgave heraf, der udgør undersøgelsens andet inddækningssystem (drivhus-profil). I figur 2.1 og 2.2 er vist principskitser af de 2 inddækningssystemer.



Figur 2.1 Principskitse af alu-hat-system til solvægge.

DRIVHUS PROFIL



Figur 2.2 Principskitse af drivhus-profil til solvægge.

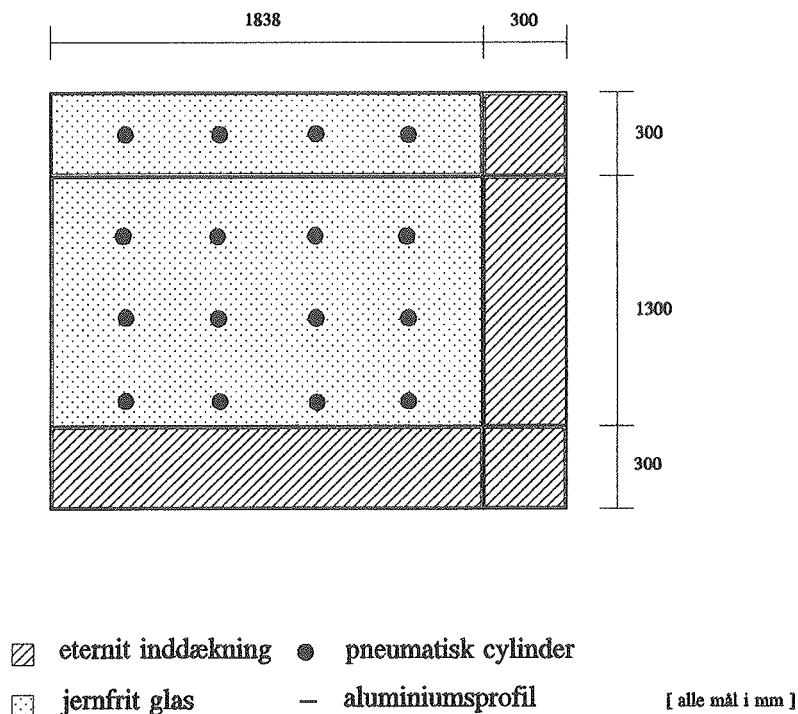
2.3 TESTMETODE

De belastninger, solvæggene vil blive udsat for er: Solstråling, vind, regn og sne (frost). Bestandigheden overfor langvarig solbestråling for de forskellige materialer i de undersøgte inddækningssystemer er kun undersøgt i begrænset omfang. Inddækningssystemernes regntæthed og mekaniske styrke afprøves efter den i [3] beskrevne metode. Der er ikke foretaget forsøg med snelast og frostpåvirkninger, ligesom der ej heller er udført forsøg med regnpåvirkning efterfulgt af stærk solstråling, som det kan være tilfældet i forårs- og sommerperioden. Dette skyldes, at LfV ikke råder over udstyr til det formål, samt at de økonomiske ressourcer, der er til rådighed ved dette projekt, ikke rækker hertil.

2.3.1 Belastninger

Vindlast

Solvæggen påtrykkes en vindlast svarende til den i [4] angivne på 80 kg/m^2 . Denne påføres både som tryk og træk vha. sugekopper fastgjort diagonalt på prøvefeltet, således at lasten bliver jævnt fordelt, se figur 2.3. Der benyttes 4 pneumatiske cylindre, der hver trykker/trækker med en kraft svarende til 59 kg (80 kg/m^2). På hver cylinder er monteret 4 sugekopper, der er fastgjort til glasset med et undertryk på 20% af atmosfæretrykket, forsøgsopstillingen er illustreret i figur 2.3 og 2.4.



Figur 2.3 Opstalt af forsøgsopstilling.



Figur 2.4 Foto af forsøgsopstilling til afprøvning af regntæthed og mekanisk styrke for solvægge.

Regnlast

Ved hjælp af et sprinklersystem er det muligt at udsætte solvæggen for en vandpåvirkning svarende til et typisk regnvejr. For solfangere placeret på tagflader med en hældning på 30° benyttes en regnlast på $0,06 \text{ l/sm}^2$. Solvægge er normalt lodrette og de udsættes sandsynligvis for svagere regnpåvirkninger. Der er derfor i denne undersøgelse benyttet regnlaste mellem $0,033$ og $0,059 \text{ l/sm}^2$, som ligger i overkanten af hvad man kan forvente at, de bliver udsat for i virkeligheden.

2.3.2 Fremgangsmåde ved undersøgelse af regntæthed og mekanisk styrke

Der gennemføres 4 forskellige forsøgsrutiner:

- 1) Regnbelastning uden træk- og trykpåvirkning.
- 2) Solvæggen udsættes for 3 x 20 cykler med hhv. træk og neutral belastning med samtidig regnbelastning.
- 3) Solvæggen udsættes for 3 x 20 cykler med hhv. tryk og neutral belastning med samtidig regnbelastning.
- 4) Solvæggen udsættes for 3 x 20 cykler med hhv. tryk og træk belastning med samtidig regnbelastning.

Før forsøgene startes og efter hvert af de 4 forsøg foretages en inspektion, hvor eventuelle brud og utætheder noteres.

For alu-hat-systemet er desuden foretaget et forsøg, hvor der etableres et undertryk i forhold til omgivelserne på ca. 40 mbar, mellem glas og væg, samtidig med at solvæggen udsættes for regnpåvirkning. Undertrykket holdes i ca. 10 min (forsøg nr. 5).

For drivhus-profilet er foretaget et forsøg, hvor vindlasten via cylindrene er øget med 10%, samtidig med maksimal regnlast (forsøg nr. 5).

2.3.3 Fremgangsmåde ved undersøgelse af bestandighed overfor solstråling

Solstrålingens nedbrydende virkning er kun undersøgt som en funktion af temperaturen. Vurderingen er foretaget ved at anbringe det materiale, der skal undersøges, i et varmeskab i 8 - 35 minutter og derefter beskrive, i hvor høj grad materialet er nedbrudt. Materialet lægges direkte ovenpå en metalbakke. Der er kun foretaget en vurdering af det transparente isoleringsmateriale Isoflex, [5]. Der er ikke foretaget nogen vurdering af de forskellige materials UV-bestandighed.

2.4 LABORATORIEFORSØG

2.4.1 Forsøgsresultater

Alu-hat-profil

I forsøg mærket med * er pga. en fejl blot påtrykt en vindlast på 60 kg/m² svarende til 75% af den i normen krævede værdi.

Forsøg nr.	Regnlast [l/sm ²]	Observation
1	0,039	Før forsøgene starter er der ikke nogen tegn på brud eller vandindtrængning som følge af klargøring og indregulering af forsøgsopstillingen. Filter renses 40 min. efter forsøgets start pga. for ringe gennemstrømning. 2 ubetydelige fugtpletter i nederste lægte i stort glasfelt.
2*	0,033	Ingen ændringer i forhold til forsøg nr. 1.
3*	0,044	Én mindre fugtplet og en "stribet" fugt (5 x 30 cm ²) på oversiden af nederste lægte. Vanddråber på undersiden af mellemste lægte.
4*	0,044	Ingen ændringer i forhold til forsøg nr. 3*.
4	0,059	Flere steder fritliggende vand på oversiden af nederste lægte (ca. 3 x 8 cm ²). Vand på indersiden af glasset, især i nederste hjørne i venstre side (ved aluminiumsinddækning):
5	0,059	Nederst i det store glasfelt fyldes solvæggen med ca. 25 l vand.

Tabel 2.1 Observationsresultater for de gennemførte forsøg i slagregnsapparatet for alu-hat-profilet.

Drivhus-profil

Forsøg nr.	Regnlast [l/sm ²]	Observation
		Før forsøgene starter er der ikke nogen tegn på brud eller vandindtrængning som følge af klargøring og indregulering af forsøgsopstillingen.
1	0,044	Ingen brud eller vandindtrængning.
2	0,039	Ingen brud eller vandindtrængning.
3	0,039	Ingen brud eller vandindtrængning.
4	0,044	Ingen brud eller vandindtrængning.
5	0,059	Ingen brud eller vandindtrængning.

Tabel 2.2 Observationsresultater for de gennemførte forsøg i slagregnsapparatet for drivhus-profilet.

Isoflex

Temperatur [°C]	Tid [min.]	Formstabilitet
22,0	10	Ingen ændring
91,3	30	Isoflex ikke smeltet, blot lidt blød i undersiden.
98,0	35	Isoflex ikke smeltet, blot blød i undersiden.
120,0	12	Isoflex ikke smeltet, blot blød i undersiden.
126,0	25	2 nederste lag Isoflex delvis smeltet.
130,0	15	4 nederste lag Isoflex delvis smeltet.
142,0	15	5 nederste lag Isoflex delvis smeltet, de 2 nederste lag helt sammenfaldne.
170,0	40	Isoflex smeltet, de 5 nederste lag helt sammenfaldne.

Tabel 2.3 Observationsresultater for de udførte forsøg i varmeskab for Isoflex.

2.4.2 Kommentarer

Forsøg nr. 4 med alu-hat-profil i slagregnsapparatet: Vandindtrængning skyldes sandsynligvis utæthed mellem alu-hat-profil og alu-kantinddækning, samt at den "faste" bund i gummi-U-profil virker som en bjælke. Selv en kraftig sammenpresning ved montering af "alu-hatten" vil således ikke kunne sikre en tilstrækkelig tæthed.

Forsøg nr. 5 med alu-hat-profil i slagregnsapparatet er en så ekstrem belastning, at den ikke er relevant i denne sammenhæng.

Isoflex's bestandighed overfor UV-stråling antages at være tilstrækkelig, da Isoflex har været benyttet i ovenlysvinduer, hvor de udsættes for stærk solstråling, i Sverige igennem flere år.

Gummi-profilernes UV-bestandighed er ikke kendt. Profilerne benyttes imidlertid allerede i andre glasbyggerier i Danmark, hvorfor UV-bestandigheden antages at være tilstrækkelig.

2.5 DELKONKLUSION VEDR. INDDÆKNINGSSYSTEMER.

Tætheden og styrken af overgangen i rammen fra glas til glas og i overgangen fra glas til eternitplade er ikke tilstrækkelig for det i [2] foreslåede system (alu-hat-profilet). De gennemførte forsøg viser, at der kan trænge en ikke ubetydelig mængde vand ind i konstruktionen, når denne udsættes for vind- og regnpåvirkning. Systemet kan derfor ikke anbefales.

Det alternative system (drivhus-profilet) har vist sig at kunne modstå selv ekstreme vind- og regnpåvirkninger. Dette system er derfor velegnet som inddækningssystem til solvæggene, hvorfor systemet er benyttet i de opførte solvægge.

3. MÅLEPROGRAM OG MÅLEUDSTYR

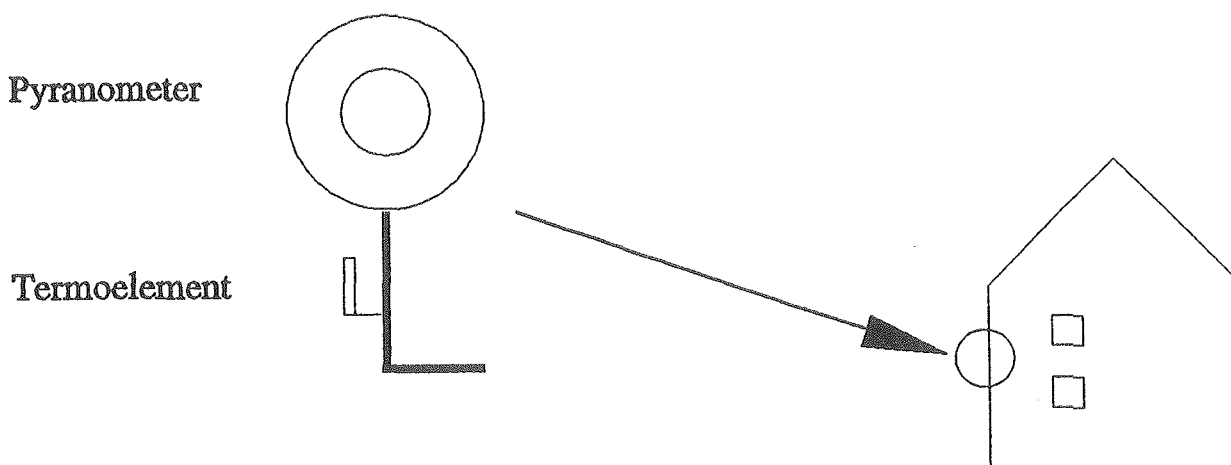
Måleperioden strakte sig fra den første 1/5 1991 til den 1/6 juni 1992. Målingerne er blevet udført på en syd sydøst vendt gavl og der blev foretaget to forskellige typer målinger:

- 1) Solbestrålingsstyrken på gavlen
- 2) Temperaturforhold for solvæg og en lejlighed på første sal.

3.1 Solbestrålingsstyrke på facaden

Målepunkter

Solbestrålingsstyrken målt ved hjælp af et pyranometer placeret på gavlens vestlige hjørne se figur 3.1.



Figur 3.1 Placering af pyranometer til måling af solbestrålingsstyrken samt termoelement til måling af udelufttemperaturen.

Metode

Det benyttede pyranometer, type CM 5 fra Kipp & Zonen, udtrykker bestrålingsstyrken som funktion af en i pyranometeret målt spændingsforskel. Den målte spændingsforskel registreres i en datalogger. Pyranometret er kalibreret således, at en spændingsforskel på 1 mV svarer til en bestrålingsstyrke på 84,7 W/m², [6].

Bestrålingsstyrken bestemmes således af følgende udtryk:

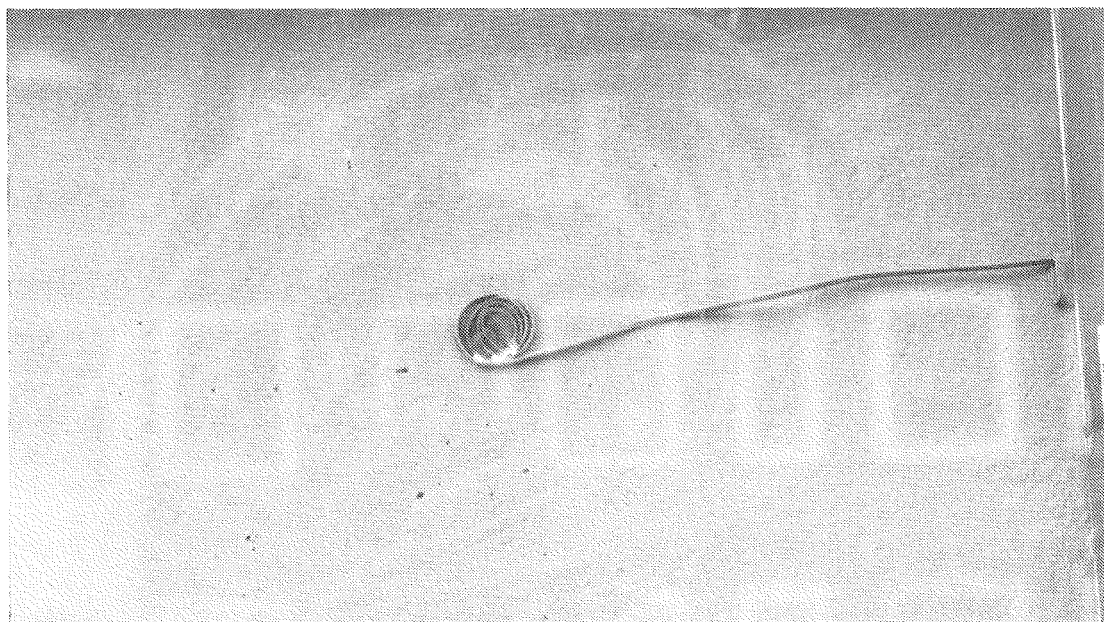
$$I = 84,7 \times S$$

hvor S er spændingsforskellen i mV og I er bestrålingsstyrken på facaden i W/m².

3.2 Temperaturforhold for solvæg og lejlighed

Målepunkter

Vurderingen af solvæggen er baseret på måling af overfladetemperaturen på den udvendige og den indvendige side af den eksisterende mur. Til alle målepunkter på den ene side af muren findes et målepunkt umiddelbart på den anden side af muren. Overfladetemperaturene er målt i 10 forskellige målepunkter på den syd sydøstvendte gavl. De benyttede temperaturfølere er formet som spiraler og limet fast på muroverfladen, se figur 3.2.



Figur 3.2 Temperaturføler til måling af overfladetemperaturen på den udvendige side af den eksisterende mur.

Desuden er der foretaget måling af udelufttemperaturen samt lufttemperaturen i henholdsvis et nordvendt og et sydvendt værelse som ligger bag solvæggen. Alle følere til måling af lufttemperaturer er afskærmet for direkte solbestråling.

Metode

De forskellige temperaturer er målt med termoelementer af kobber-konstantan. Disse er i en datalogger tilsluttet 8 "temperatur-kanaler", der registrerer temperaturen i °C direkte, og 6 "spændings-kanaler", hvor temperaturerne registreres som spændingsforskelle i mV. Disse omregnes til temperaturer efter følgende formler, der gælder for termoelementer af kobber-konstantan:

$$T_m = T_{ref} + 12,95 \times S$$

$$T_d = S \times (25,9 - 0,06 \times T_m + 0,00027 \times T_m^2 - 0,000001 \times T_m^3)$$

$$T = T_{ref} + T_d ,$$

hvor S er den målte spændingsforskel i mV, og T_{ref} er temperaturen i °C ved termoelementernes tilslutning til dataloggeren. T_{ref} måles med en af de 8 "temperaturkanaler". T er den til den målte spændingsforskel svarende temperatur i °C.

3.3 Dataopsamling

Solstrålings- og temperaturmålinger registreres i en datalogger, der er placeret i en lejlighed i stueetagen. Den benyttede datalogger er model SQ 1203 fra Grant Instruments, [7], se figur 3.3. Dataloggeren er forsynet med ekstern strømforsyning samt batteri back-up.



Figur 3.3 Datalogger til registrering af solstrålings- og temperaturmålinger.

For både solindfaldet og temperaturernes vedkommende er foretaget målinger hvert minut. På baggrund af disse registreringer er de timemiddelværdier, der benyttes i beregningerne i kapitel 4, bestemt.

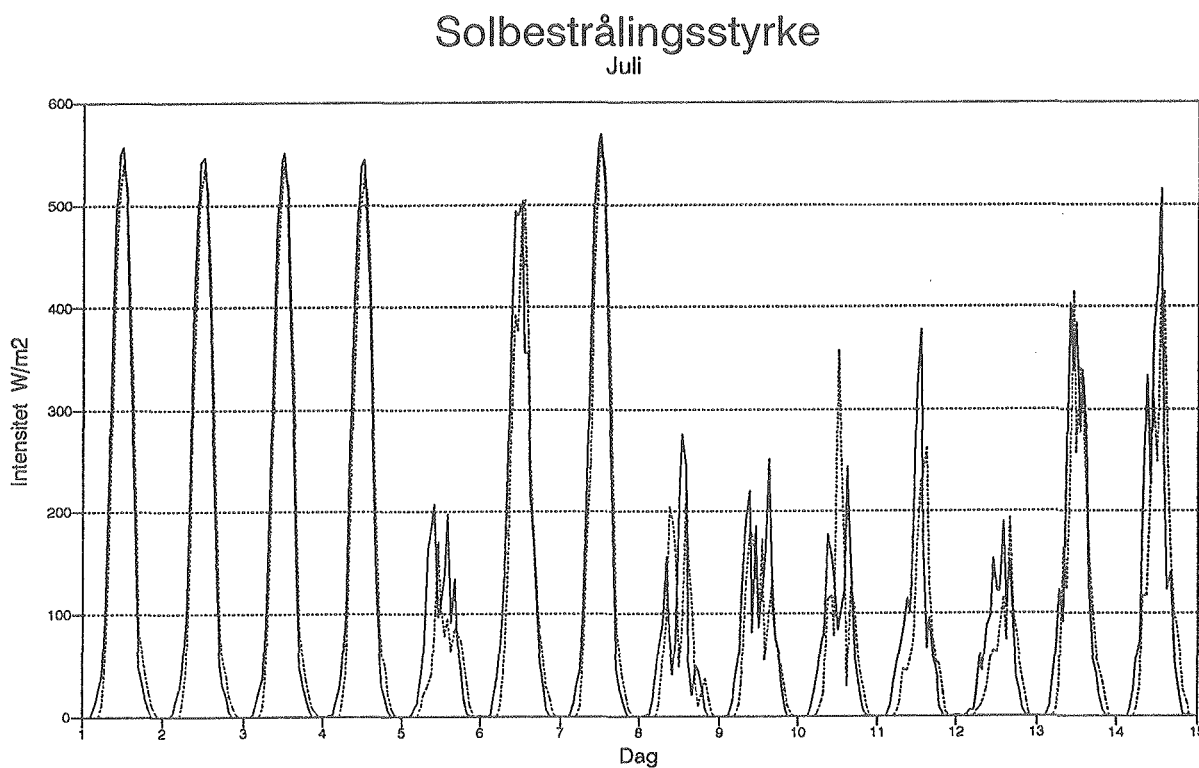
4. MÅLERESULTATER

4.1 Vejrdata.

Til brug for sammenligning med de målte værdier er der ved hjælp af edb-programmet SUNCODE [8] udført beregninger til bestemmelse af energibehov til opvarmning, overfladetemperaturer og indelufttemperaturer.

For at gøre disse resultater så realistiske som muligt er det danske referenceår, TRY, skiftet ud med vejrdata målt på laboratoriets egen vejrstation. Afstanden på cirka 30 kilometer mellem Danmarks Tekniske Højskole og Helsingør gør, at der ikke er tale om nævneværdig forskel på udeklimaet de to steder, hvilket fremgår af fig 4.1.

SUNCODE-beregninger har nemlig brug for flere klimaparametre, end der er målt i Helsingør. De to som er blevet målt, udetemperatur og solbestrålingsstyrke, anvendes dels til bestemmelse af energibesparelse og dels verifikation af at, forholdene de to steder kan regnes for værende ens.



Figur 4.1 Forskellen på måledata fra DTH og Helsingør.

Ved at anvende måleresultater fra DTH udnyttes den fordel der er i, at måleudstyret kan placeres på et for uvedkommende utilgængeligt sted, og deraf følger også, at der kan bruges udstyr af en højere kvalitet.

Når der i det følgende henvises til målte vejrdata så stammer de fra DTH (bilag s.1 og s.3), hvis ikke andet anføres.

En anden form for ydre påvirkning som optræder i forbindelse med vejrliget er skygge fra de omgivende træer. Ved de teoretiske beregninger er det muligt at tage højde for dette ved, at definere en horisontafskæring, som reducerer solindfaldet på bygningen.

I SUNCODE defineres horisonten til beregningsmodellen som den ses udfra et punkt på en sydvendt flade.

Horisontafskæringen er bestemt ved hjælp af en vinkelmåler og en teodolit, som en vinkel mellem vandret og trætoppene, se tabel 4.1.1.

Vinkel [°]	-----øst-----syd-----vest-----										
	100	80	60	40	20	0	20	40	60	80	100
vinter	0	0	0	17	19	16	7	14	15	14	0
sommer	35	35	35	55	50	50	30	30	30	30	30

Tabel 4.1.1 Vinkler til horisontprofilen anvendt ved de teoretiske beregninger.

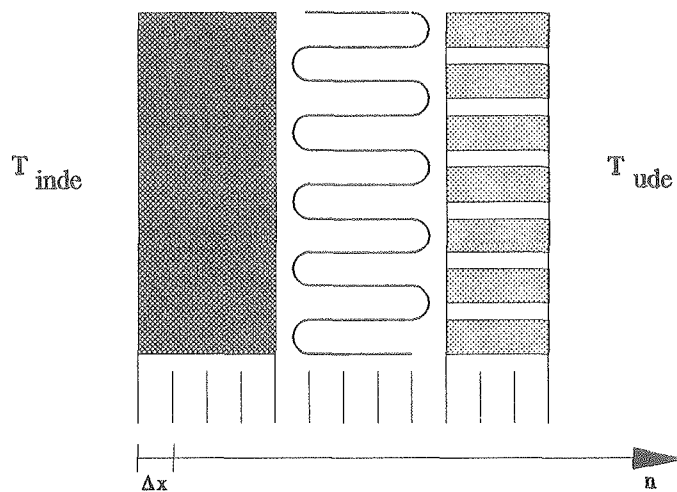
4.2 Databehandling.

Beregningen af energibesparelsen sker ved hjælp af en endimensional explicit metode. Væggen deles op i et antal lag og varmestrømmen ud gennem de på hinanden følgende lag udregnes.

Som inddata bruges timemiddelværdier af de målte temperaturer fra huset med solvæg. Ved beregning af varmetabet med solvæggen monteret anvendes væggenes indvendige overfladetemperatur, mens beregningen uden solvæg er baseret på indelufttemperaturen. Væggenes varmetekniske egenskaber udregnes på forhånd, så der kan opgives en værdi for ρc_p - den volumetriske varmekapacitet [J/kgK] og en varmeledningsevne λ [W/mK] for hvert af lagene.

Selve beregningsrutinen foregår ved, at væggen påføres en timeværdi hvorefter der regnes en time frem i et antal trin. For hvert trin beregnes transmissionstabet, som summeres op. Efter hver gennemregnet time aflæses der en ny værdi og beregningen gentages.

I figur 4.2 er vist en principskitse af et tværsnit til brug for beregningen.



Figur 4.2 Principskitse af tværsnit

T = temperatur [$^{\circ}\text{C}$]

n = antal lag

Δx = lagtykkelse [m]

Ved beregning af teoretisk temperaturforløb og energibesparelse er SUNCODE taget i anvendelse. Det er et termisk analyseprogram til brug for bestemmelse af bygningers indeklima og energiforbrug. Analysemetoden består i en simulering hvor brugeren laver en termisk model af bygningen, som oversættes til matematisk format af programmet. Disse ligninger løses mindst en gang for hver time.

Ligningerne udgør et termisk netværk, som er temperaturstyret og ikke lineært. Den matematiske løsningsmetode gør brug af Jacobi iteration, lineær optimering og explicitte formler.

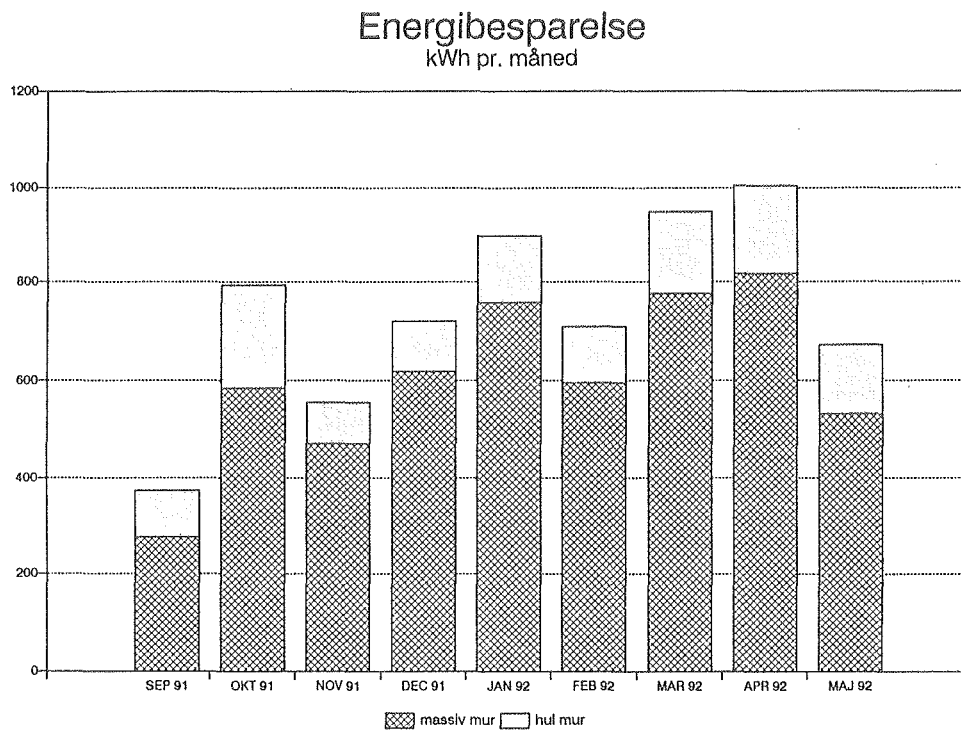
4.3 Energibesparelse.

I bygningen på Peder Skramsvej er gavlvæggen massiv i stueetagen, mens det er en isoleret hulmur med 35% udmuring på etagerne derover jf. [2]. Dette forhold er der taget hensyn til ved at udføre beregningerne af de to murtyper hver for sig.

Den samlede energibesparelse ved at montere en solvæg på gavlen er **6700 kWh** for hele fyringssæsonen (15/9 til 15/5), beregnet jfr. afsnit 4.2, dette svarer til **83 kWh/m²**.

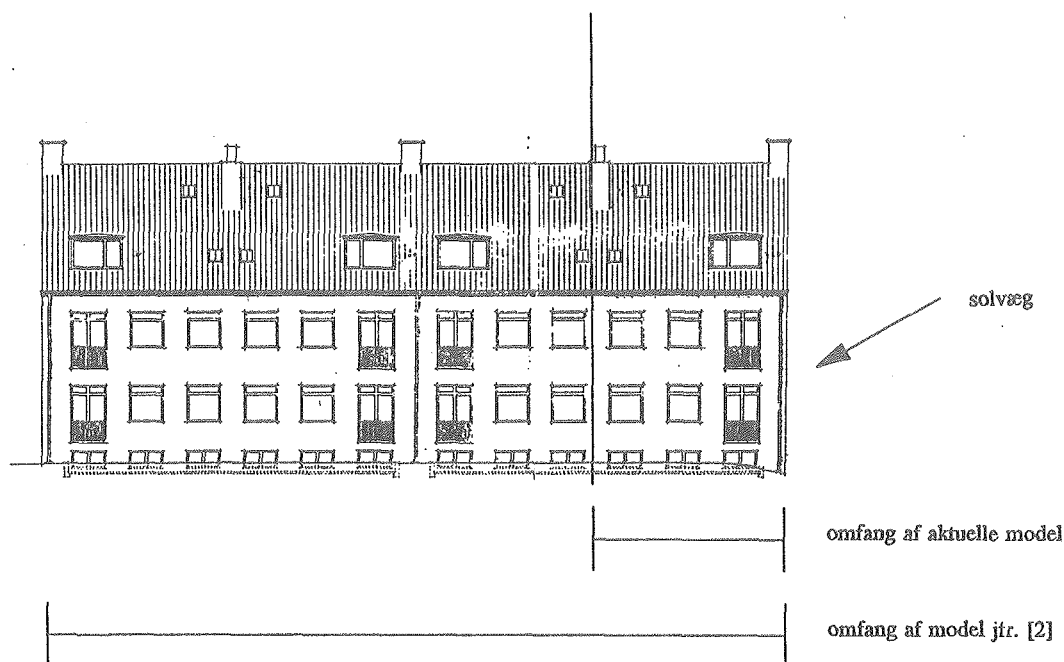
Deles denne besparelse op svarende til de to murtyper får man i lejligheden med massiv ydermur en besparelse på **2900 kWh** eller **125 kWh/m²**, mens der i en lejlighed med hulmur spares **1900 kWh** eller **66 kWh/m²**. Den store forskel skyldes, at den massive mur har en større varmekapacitet og varmeledningsevne end den hule mur samt, at isoleringsmaterialet i hulmuren også isolerer mod den indadgående varme.

Energibesparelserne som er beregnet i løbet af fyringssæsonen, udfra de målte data, er vist i figur 4.3.



Figur 4.3 Besparelsen opdelt på de to vægtyper

Sammenligner man de målte resultater med dem som er fundet ved beregningerne i [2], så er der en mindre forskel. Her kommer man nemlig frem til en besparelse på **100 kWh/m²** for hele væggen. Dette skyldes, at den bygningsmodel der blev anvendt i de SUNCODE-beregninger er baseret på hele etager, se figur 4.4.



Figur 4.4 viser hvor stor en del af bygningen som er blevet defineret i beregningsmodellen.

Til denne rapport er foretaget målinger og beregninger for en lejlighed på hver etage. Forskellen opstår, fordi den tidligere beregningsmodels større arealer giver mulighed for en bedre udnyttelse af varmetilskuddet til materialer og rumluft.

En ny beregning hvor arealerne svarer til det, som der blev målt på, giver et resultat som ligger rimeligt tæt på det målte nemlig 78 kWh/m^2 . Der er her regnet med et fyringssetpunkt på 22°C , da indetemperaturen i fyringssæsonen svingede omkring det niveau.

4.4 Temperaturforhold

4.4.1 Overfladetemperaturer

Når en eksisterende ydermur inddækkes med glas og isoflex, så øges den udvendige overfladetemperatur. Dette kan medføre, at muren ikke eller kun i korte perioder udsættes for temperaturer som ligger under frysepunktet. På den måde kan murens levetid forventes at blive forlænget.

I det følgende gennemgås overfladetemperaturerne på henholdsvis yder- og indersiden af gavlmuren i månederne februar og juli, tabel 4.4.1 og 4.4.2.

Måledata fra netop disse to måneder er blevet registreret uden nogen afbrydelser og må derfor anses for bedst egnede for bedømmelse.

Fra begge måneder er der udvalgt en sammenhængende 14 dages periode, og den er den samme for alle grafer. Disse er placeret som bilag bag i rapporten.

Valget er foretaget således, at de indeholder nogen typiske klimadata. Temperaturforøgelserne er aflæst som forskellen mellem den målte temperatur med solvæg og den beregnede uden solvæg.

[K]	Hulmur		Massiv mur	
	max/min	gennemsnit	max/min	gennemsnit
ude	38 / 0	8	30 / 7	10
inde	3 / 0	1	6 / 1	2

Tabel 4.4.1 temperaturstigninger i februar

Efter opsætningen af solvæggen har der ikke været nogen frysepunktpassager i februar.

[K]	Hulmur		Massiv mur	
	max/min	gennemsnit	max/min	gennemsnit
ude	38 / 18	19	32 / 12	12
inde	3 / 1	2	5 / 0	3

Tabel 4.4.2 temperaturstigninger i juli

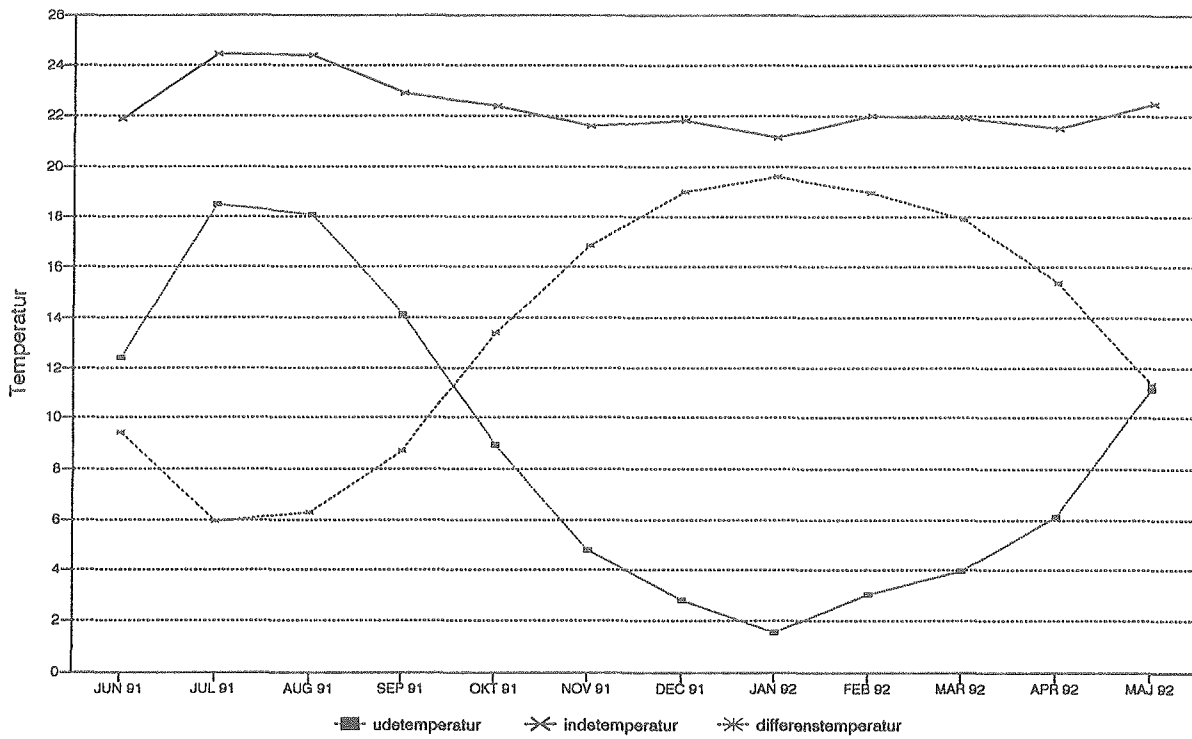
For sommermånederne er der regnet med en større skyggevirksomhed på muren jf. tabel 4.1.1. Skyggen har været medvirkende til, at temperaturerne ikke er steget så meget som der er teoretisk mulighed for. Endvidere er der pæn overensstemmelse mellem de målte og de beregnede temperaturer både for februar og juli måned med de antagne skyggevirksomheder.

4.4.2 Indetemperatur

Der er ikke noget som tyder på, at der kan opstå problemer med indelufttemperaturen som følge af solvæggen, for det varmebidrag der vil komme fra væggene er ikke voldsomt stort. Der optræder temperaturstigninger på en til tre grader. Den gennemsnitlige indetemperatur er vist i figur 4.5. på næste side, hvor den sammenholdes med udetemperaturen målt på stedet.

I specielt varme perioder kommer indelufttemperaturen op på 32 °C (bilag s.6). Dette skyldes dels den varmetilførsel der kommer fra vinduerne via solindfaldet og dels varmetilførsel gennem solvæggen. Vinduerne udgør ca. 18 % af ydervæggens areal og må anses for en væsentlig større bidragsyder end solvæggen. I øvrigt var der en hedebløge omkring midten af juli 1991 som gav meget høje udelufttemperaturer som gjorde det umuligt at bortventilere overskudsvarmen.

Målte temperaturer gennemsnit



Figur 4.5

De gennemsnitlige temperaturer for hele fyringssæsonen er:

Indetemperatur = 21,9 °C

Udetemperatur = 5,7 °C

Differenstemperatur = 16,8 °C

5. KONKLUSION

Etableringen af en solvæg i den SSØ-vendte gavl på Peder Skramsvej nr. 18 har medført en energibesparelse på 6700 kWh i den fyringssæson der er blevet målt. Dette svarer til en gennemsnitlig energibesparelse pr. kvadratmeter solvæg på 83 kWh. Det skal her nævnes, at vejret i fyringssæsonen var forholdsvis mildt.

Gavlen består af dels en massiv mur i stueetagen og dels en hul mur på etagerne derover. Fordeles besparelsen efter murens opbygning så spares der mest på den massive mur, 125 kWh/m². Den hule mur giver ikke helt så stor en besparelse, kun 66 kWh/m².

Til sammenligning giver en udvendig efterisolering med 100 mm mineraluld en besparelse på 4000 kWh, svarende til 60 kWh/m². Deles det op som før spares der 96 kWh/m² på den massive mur og 38 kWh/m² på den hule. Besparelsen er noget mindre og den er til forskel fra solvæggen ikke afhængig af solbestrålingen.

Prisen for levering og opsætning af facadeisolering er noget billigere end for solvæggen, da væggen ikke behøver forbehandling. Det drejer sig om en forskel på 400 til 600 kroner pr kvadratmeter og den indeholder merprisen for materialer (hærdet glas) og forbehandling af væg (rensning og sortmaling) .

En facaderenovering hvor der monteres en solvæg må siges, at være et godt alternativ til den mere traditionelle med mineraluld, især når der er tale om massive mure er muligheden for at opnå en større energibesparelse tilstede. Ydermere kan man med denne form for løsning tilføre bygningen nogle udseendemæssige kvaliteter.

Der er ikke nogen af målingerne som sandsynliggør, at der kommer perioder med termisk diskomfort som en direkte følge af den opførte solvæg. Klager over forhøjede indelufttemperaturer er da heller ikke blevet fremført af beboerne.

Solvæggens opbygning har medført, at temperaturerne på murens yderside stiger med op til 38°K, men det er dog ikke så ekstremt at den er udsat for forøget nedbrydningsrisiko. Om vinteren reduceres antallet af frysepunktpassager i murens udvendige overflade og det vil alt andet lige forlænge murens levetid. Endvidere yder solvæggen i sig selv en beskyttelse mod vejrliget.

REFERENCER

- [1] "Uventilerede solvægge, rapport 3. fase". Claus Schmidt og Niels Andersen, DANBOLIND A/S
- [2] "Energirenovering af ældre boligblok med hovedvægt på udnyttelse af transparent isoleringsmateriale". O.B. Jørgensen, C. Schmidt. Meddelelse nr. 212, LfV, DTH, 1990.
- [3] "Reliability and durability of solar collectors". S. Svendsen, LfV, DTH, 1988.
- [4] "Dansk Ingeniørforenings norm for last på konstruktioner", DS 409, og "Dansk Ingeniørforenings norm for Sikkerhedsbestemmelser for konstruktioner", DS 410. Teknisk Forlag, 1982.
- [5] "Där ljuset går ind går värmen ut". Brochure fra Isoflex AB.
- [6] "Calibration Certificate" for pyranometer af typen CM 5 fra Kipp & Zonen med serienummer 773561, marts 1977. Kalibrering kontrolleret på LfV januar 1991.
- [7] "Data sheet for model 1203 Squirrel" Grant Instruments (Cambridge) Limited, Barrington, Cambridge CB2 5Qz, England October 1988.
- [8] "SUNCODE-PC. A program user's manual". M.J.De La Hunt. Ecotope, 1985.

BILAGSFORTEGNELSE.

Februar:

Udeklima	1
Indetemperatur	2
Overfladetemperatur massiv mur	3
Overfladetemperatur hul mur	4

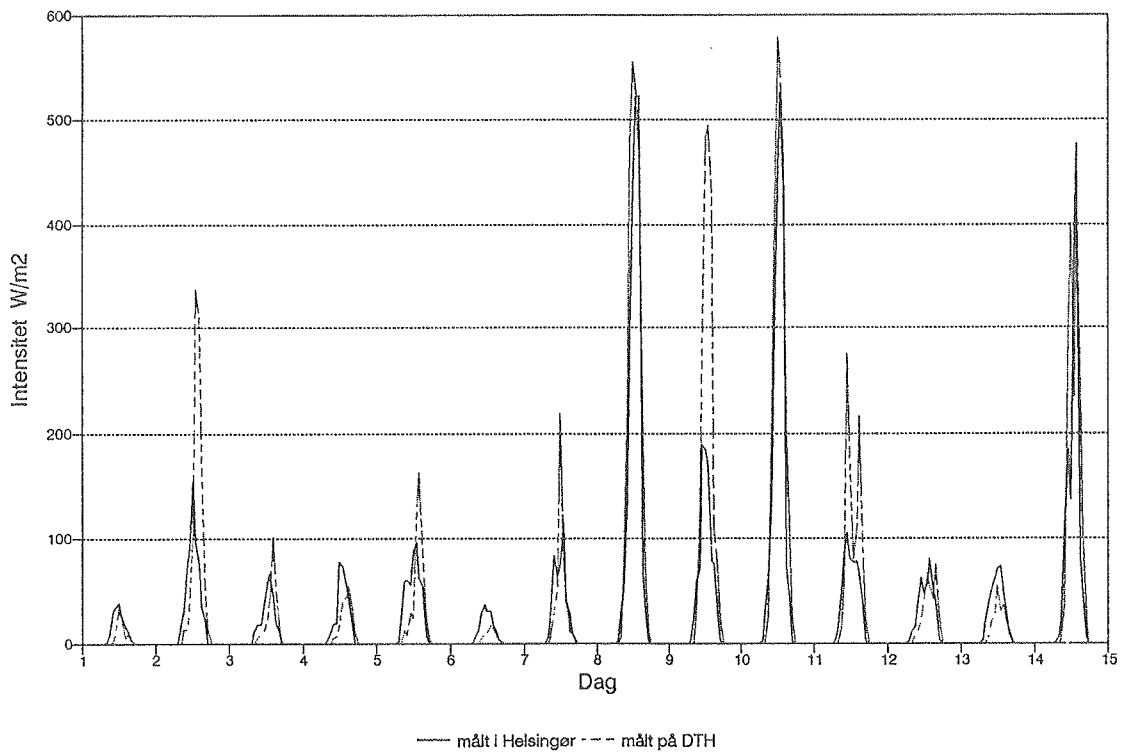
Juli:

Udeklima	5
Indetemperatur	6
Overfladetemperatur massiv mur	7
Overfladetemperatur hul mur	8

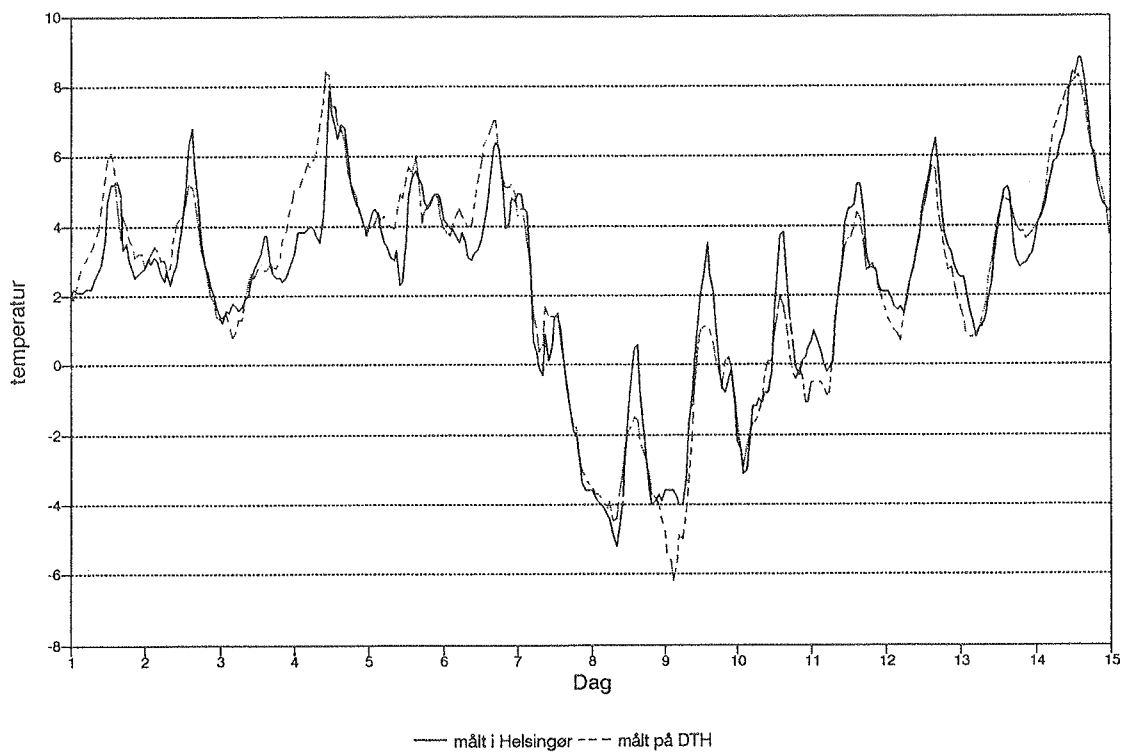
Paper fremlagt af Olaf Bruun Jørgensen ved:

TI ₅ - Fifth International Meeting on Transparent Insulation Technology, 24-26 May 1992, Freiburg, Germany.	9
---	---

Solbestrålingsstyrke Februar

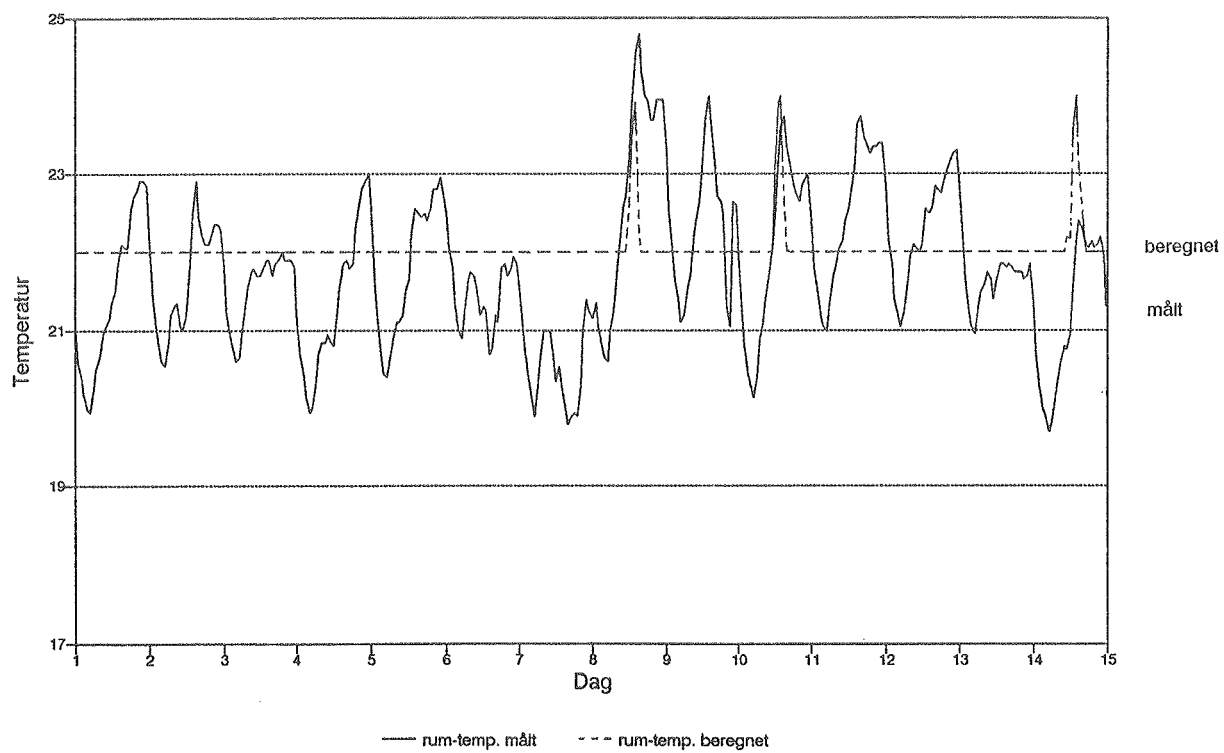


Udetemperatur Februar



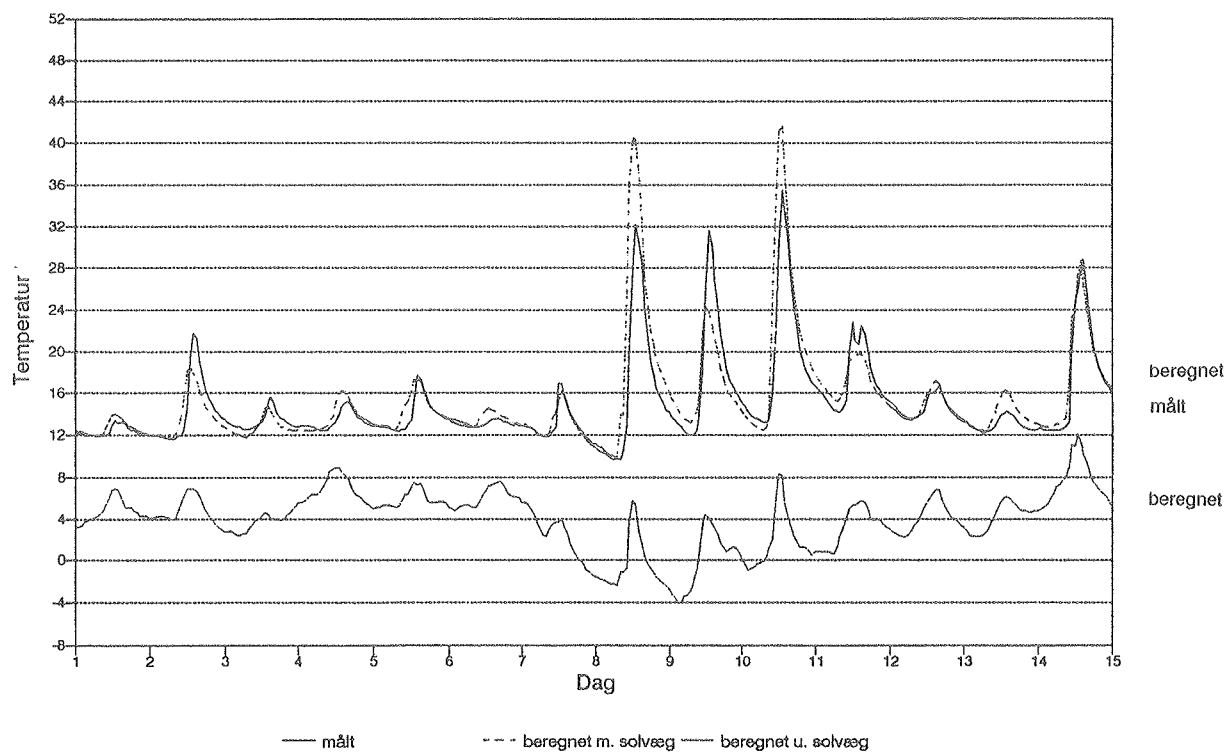
Indetemperaturer 1.saL

februar



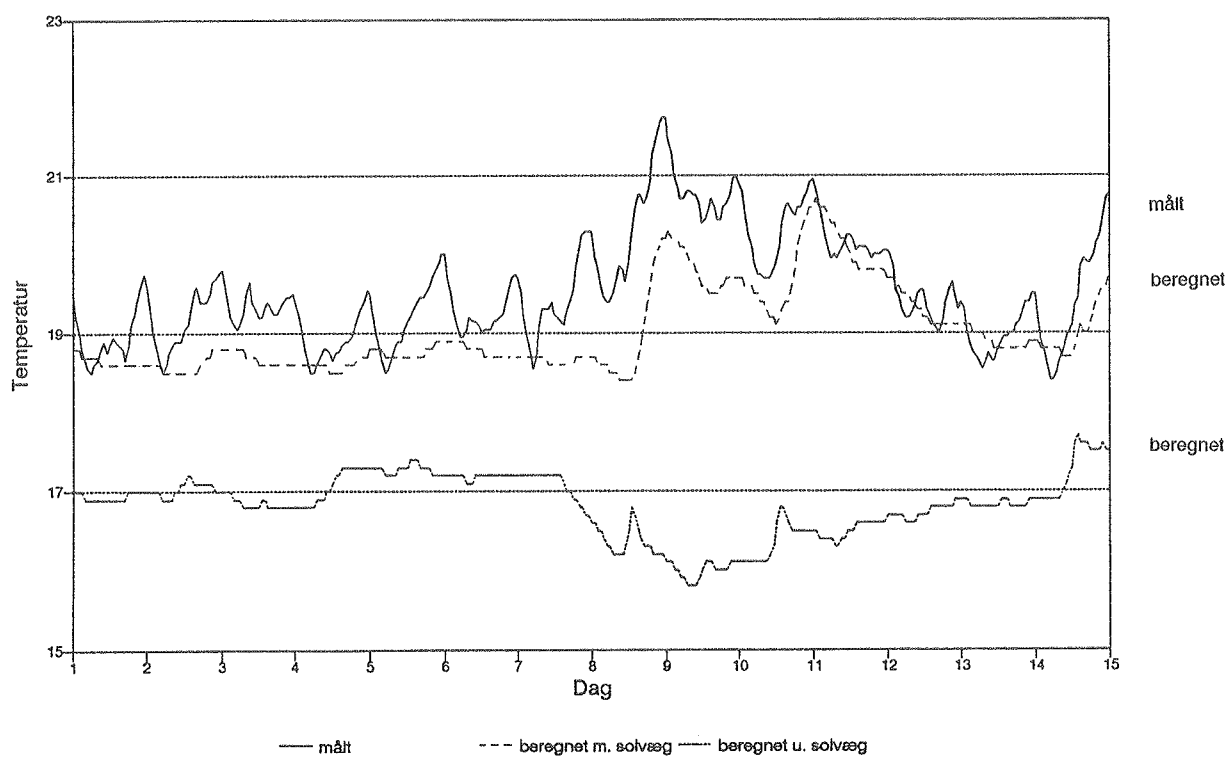
Overfladetemperaturer stue

Februar (massiv mur, ude)



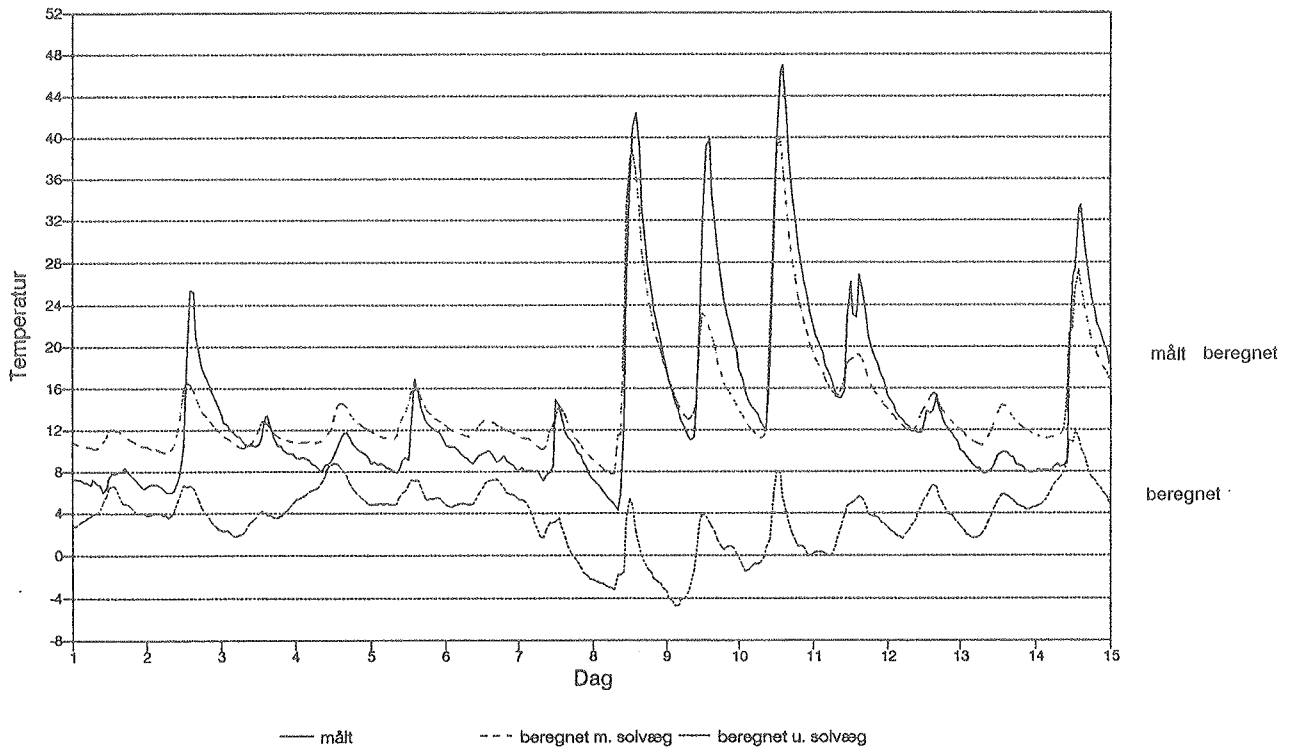
Overfladetemperaturer stue

Februar (massiv mur, inde)



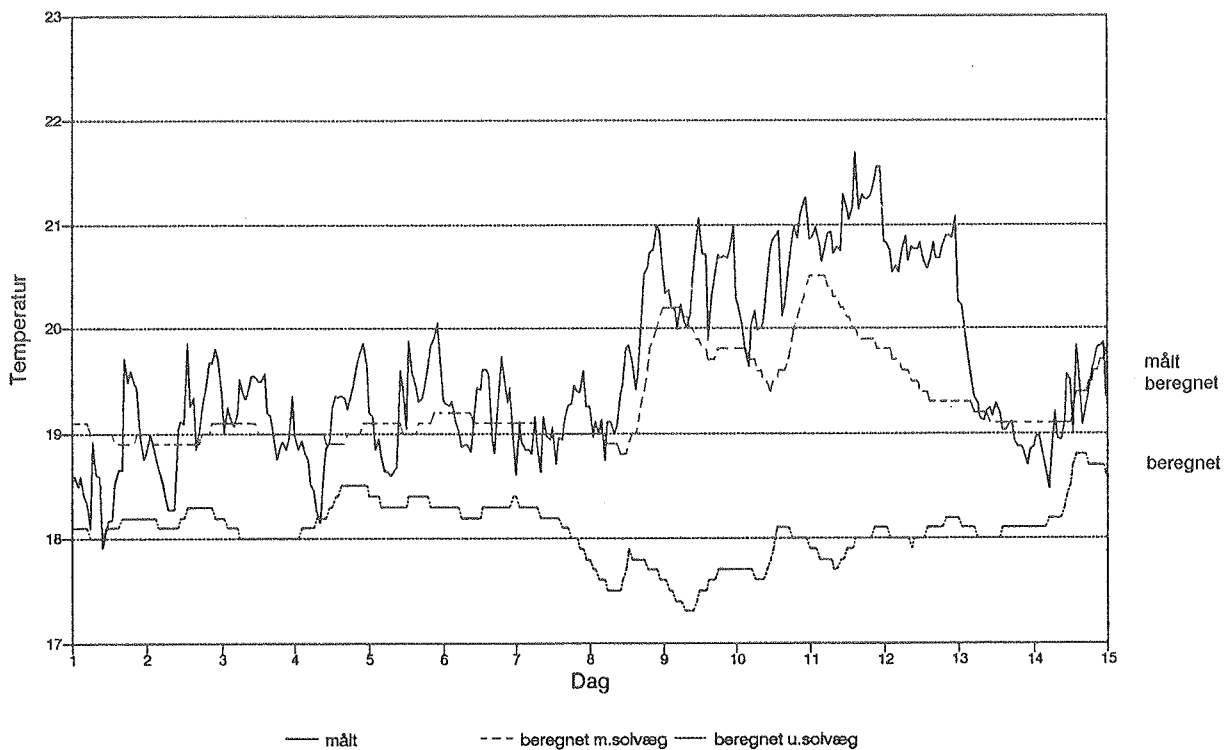
Overfladetemperaturer 1.sal

Februar (hulmur m. isolering ude)

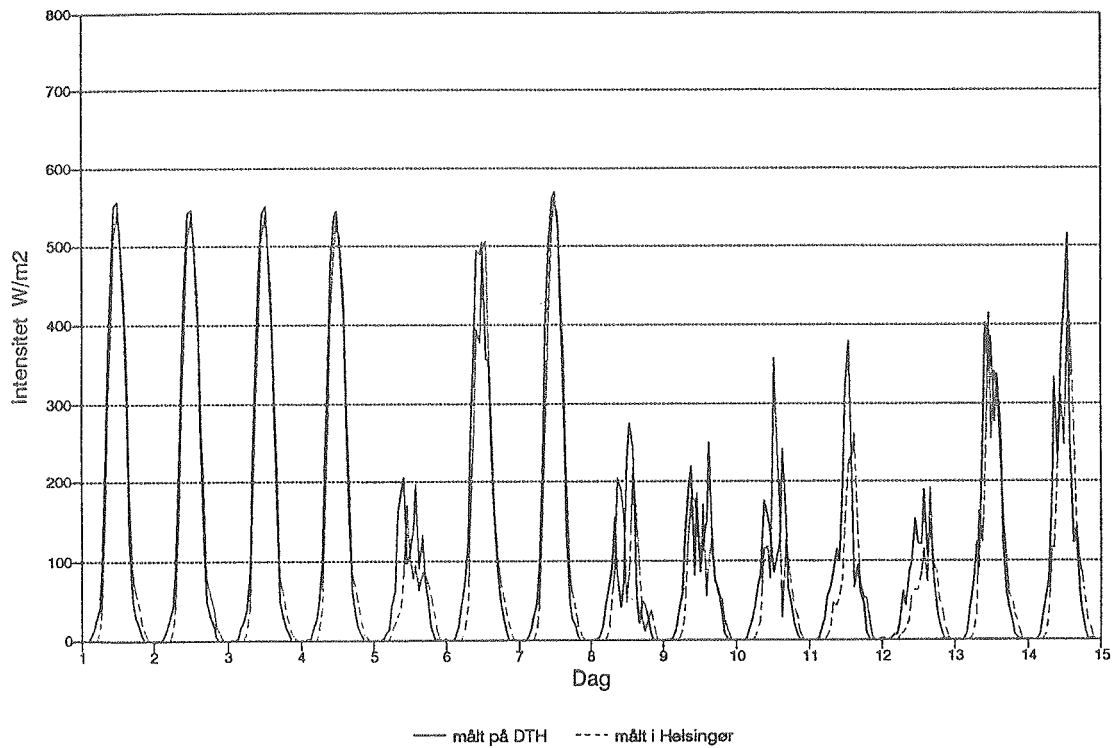


Ovefladetemperaturer 1.sal

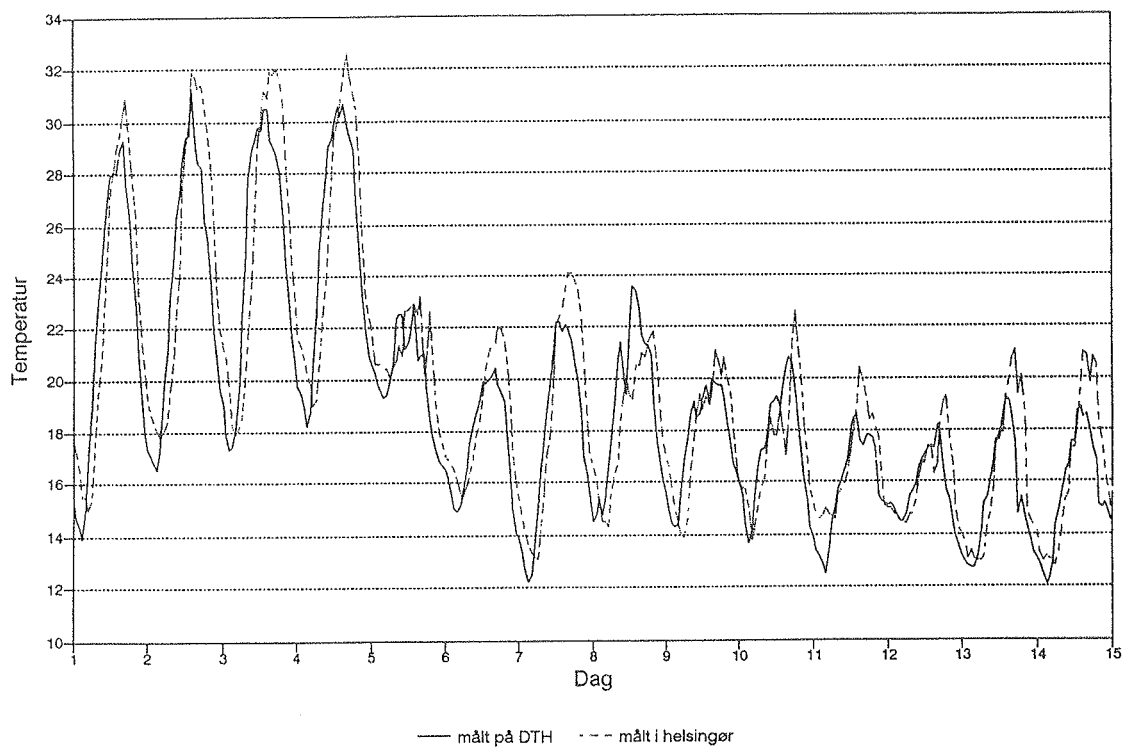
Februar (hulmur m. solering, inde)



Solbestrålingsstyrke Juli



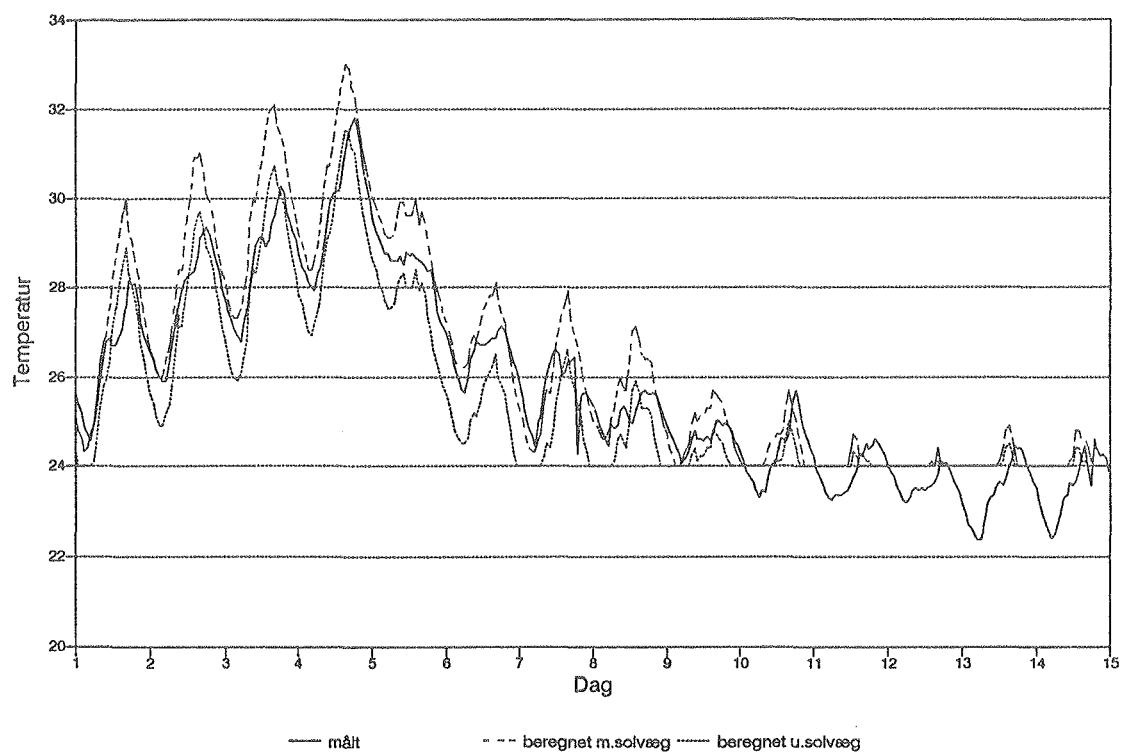
Udetemperatur Juli



målt Helsingør
målt DTH

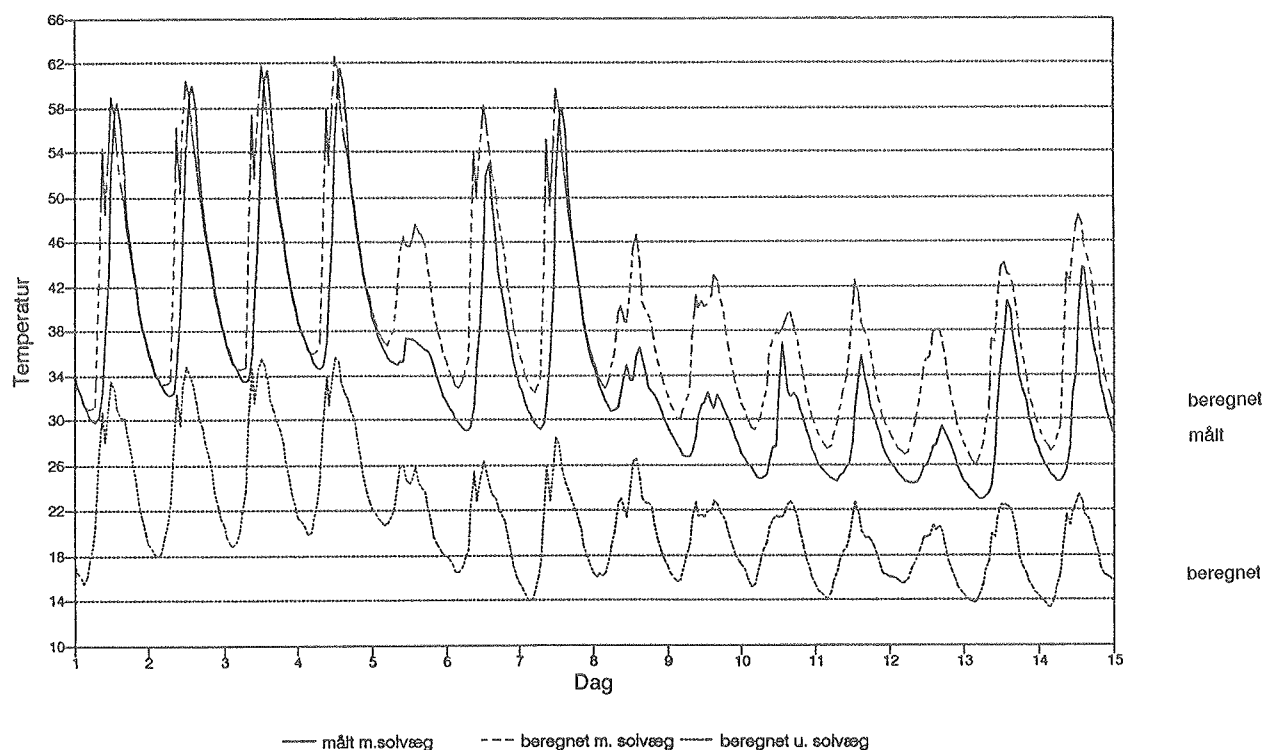
Indetemperatur 1.sal

Juli



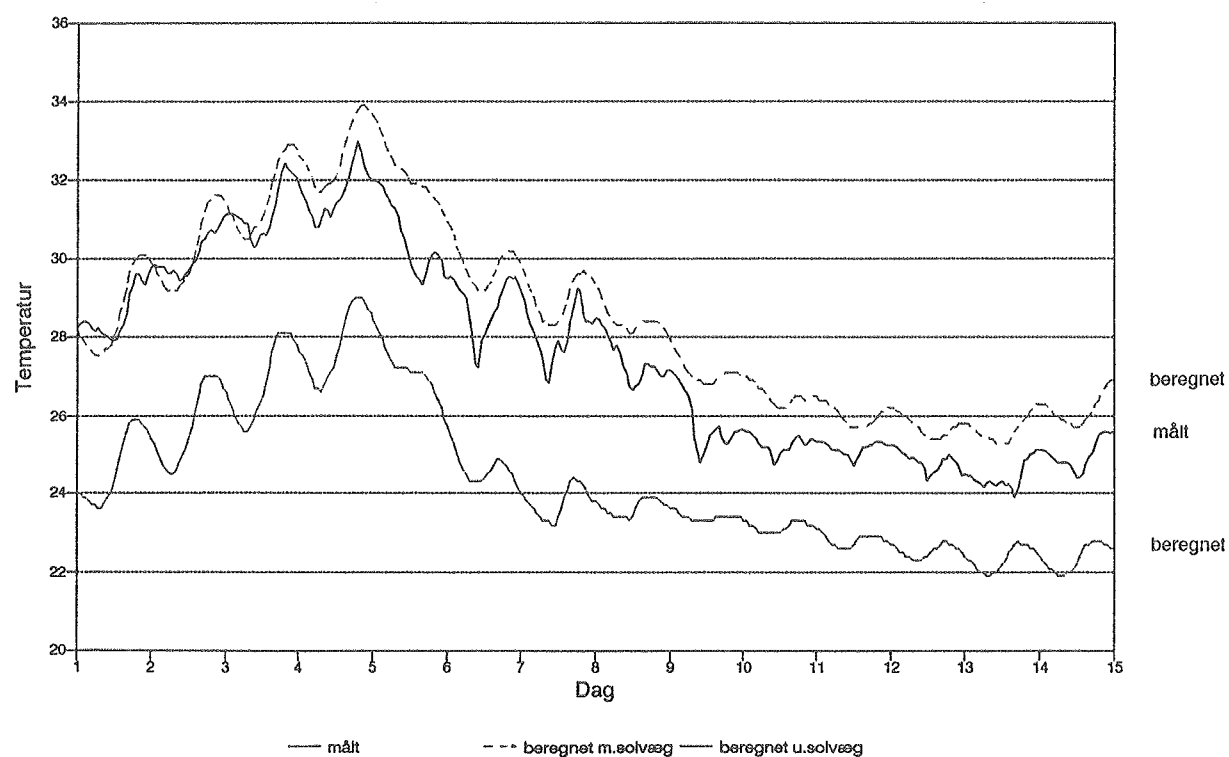
Overfladetemperatur stue

Juli (massiv mur, ude)



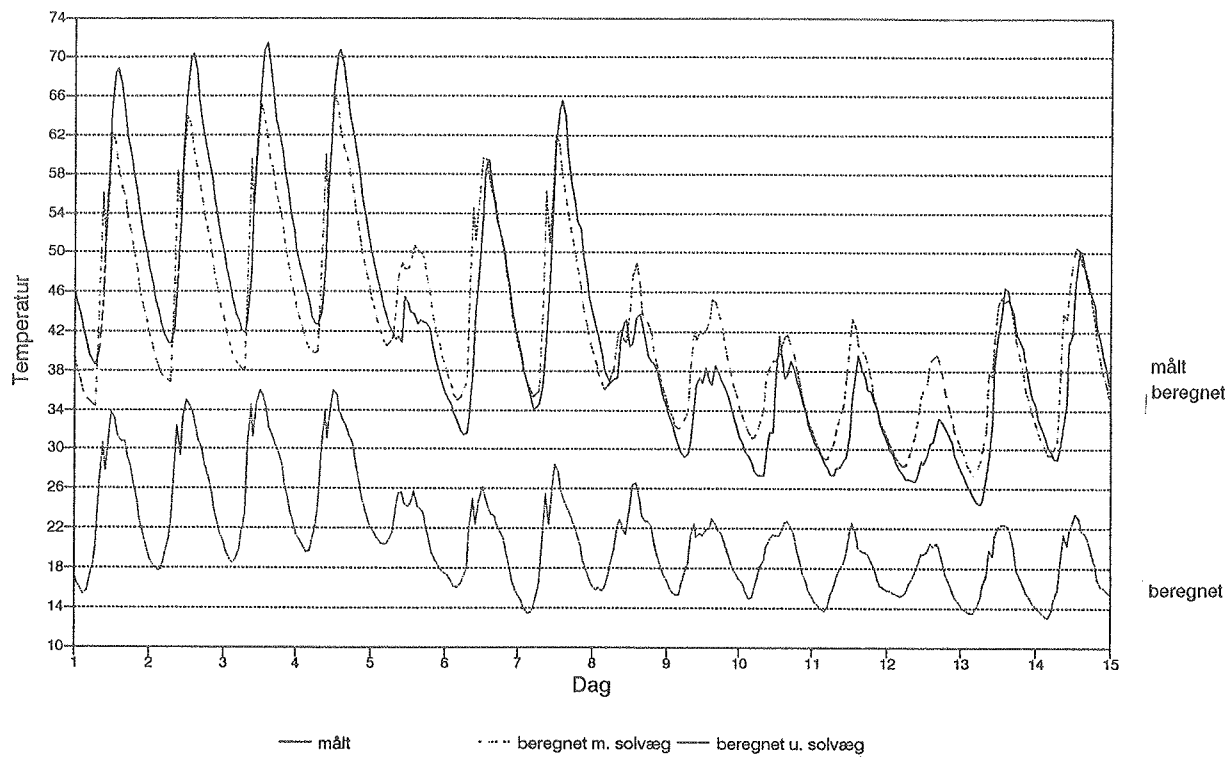
Overfladetemperaturer stue

Juli (massiv mur, inde)



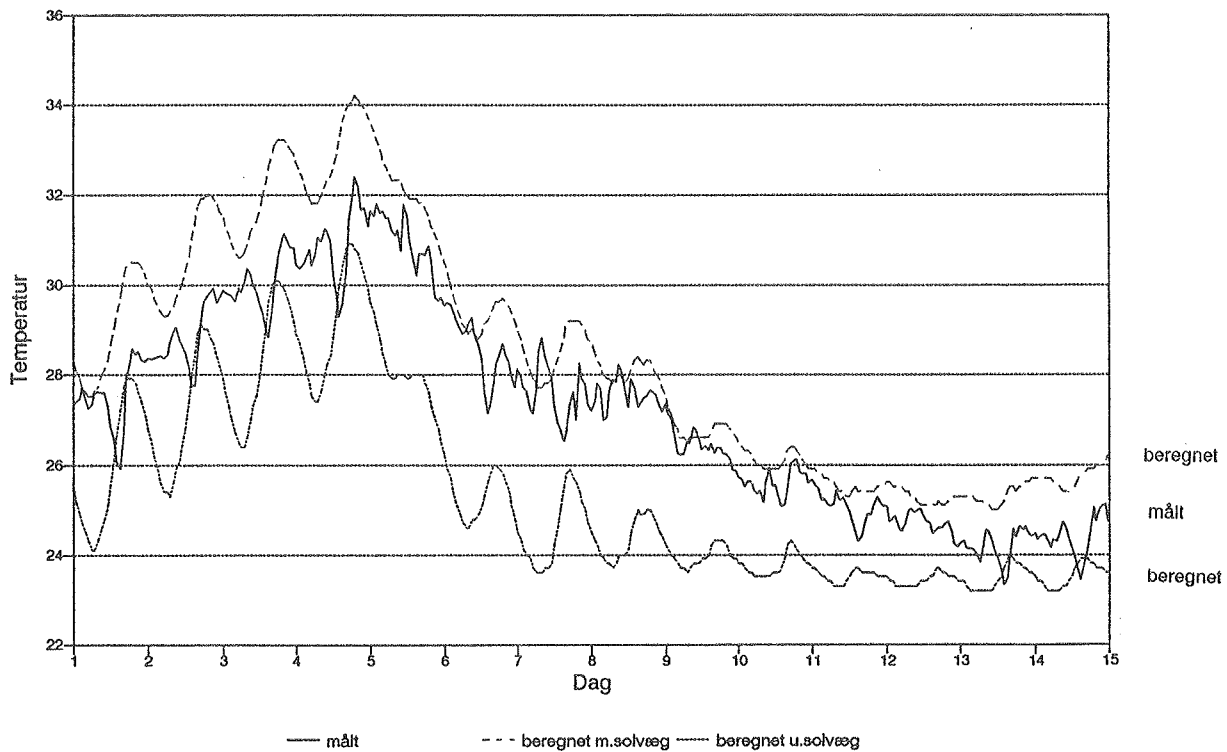
Overfladetemperaturer 1.sal

Juli (hul mur m.isolering, ude)



Overfladetemperaturer 1.sal

Juli (hul mur m.isolering, inde)



Results from retrofitting with transparent insulation on three different residential houses in Denmark

O.B. Jørgensen. Thermal Insulation Laboratory, Technical University of Denmark.
Building 118, DK-2800 Lyngby, Denmark.

ABSTRACT

A cost effective hybrid passive solar system for glass covering of concrete balconies in need of repair has been developed. Low performance inexpensive solar walls and more expensive high performance solar walls have shown that retrofitting of facades using unventilated solar walls could become an attractive alternative to retrofitting with conventional exterior opaque insulation.

INTRODUCTION

The largest potential for use of transparent insulation in Denmark today is found when retrofitting the existing building stock. The retrofitting mainly concerns massive exterior walls or poorly insulated cavity walls. In later years also retrofitting of older concrete balconies has become necessary. To determine whether use of transparent insulation for retrofitting in Denmark will be attractive, it is important either to develop very cheap low performance solar walls or more expensive high performance solar walls. Furthermore, it might be advantageous to use transparent insulation for various high performance hybrid passive solar systems such as ventilated solar walls in combination with glass covered balconies.

Three examples of systems as the ones described above have been monitored by the Thermal Insulation Laboratory during one year. Temperature measurements have been carried out once each minute and mean values for each hour have been used for the calculation of the energy savings. In all three projects the cover systems of the solar walls consist of the inexpensive transparent insulation material Isoflex and one layer of tempered glass ($U_L = 1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$, $(\tau\alpha)_{e,dir} = 0.64$, $(\tau\alpha)_{e,dif} = 0.59$).

GLASS COVERED BALCONIES

In the existing building stock in Denmark it has become necessary to repair a large number of the older concrete balconies in multi-storied buildings as, due to degradation from especially corrosion of the reinforcement steel, they threaten to fall within a few years. When repairing the concrete balconies it might be attractive to cover the balconies with a simple thermal envelope which prolongs the lifetime of the balconies and makes a replacement unnecessary. This has made the use of glass covered systems when retrofitting concrete balconies very beneficial since two advantages are obtained: The concrete will be protected against further degradation from the outdoor climate and the energy consumption for space heating will be reduced due to the added solar energy and a reduction of the heat loss towards the balcony.

In stead of just covering the balconies with glass a high performance hybrid passive solar system has been designed for covering three south facing balconies on a three-storied residential house. The existing concrete parapets have been painted black and covered with Isoflex and one layer of tempered glass so that they are now working as ventilated solar walls. The former aperture of the balconies has been covered with three different glazings: One layer of glass (first floor), one layer of low emissivity

glass (second floor) and two layers of glass of which one is covered with a low emissivity coating (third floor). Outdoor air is circulated through the solar wall into the balcony by a mechanic ventilation system. From there the preheated air is added to the living area. The principal design of the system is shown in figure 1. The monthly energy savings for the south facing glass covered balconies due to the reduced transmission heat loss and the preheating of the outdoor air during the Danish heating season (15/9 - 15/5) are shown in figure 2.

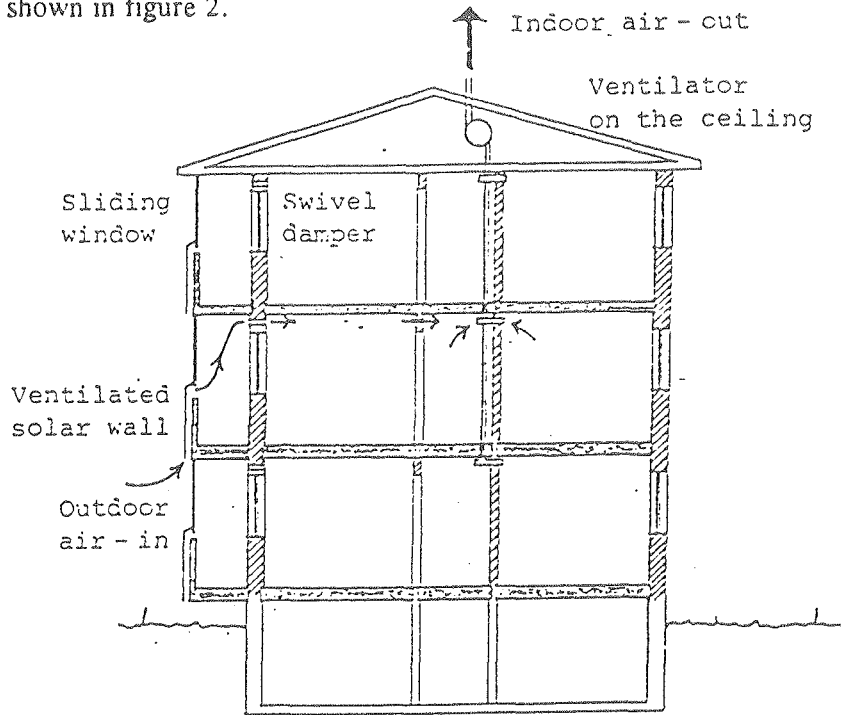


Fig. 1: The principal design of the cover system for the three south facing balconies.

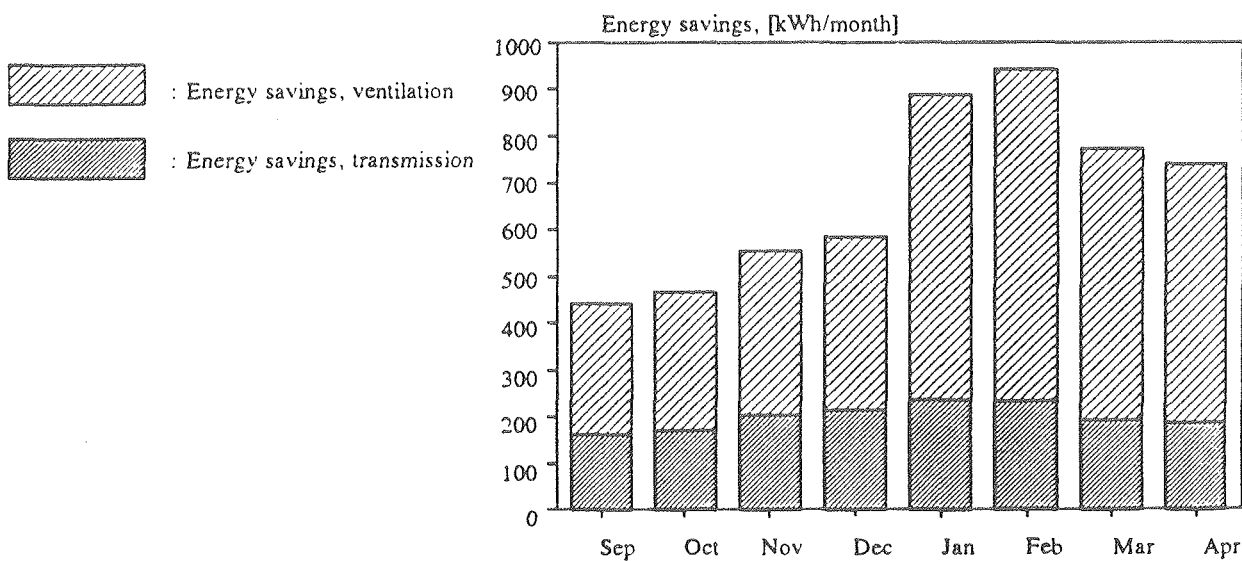


Fig. 2: Monthly energy savings for the south facing glass covered balconies due to the reduced transmission heat loss and the preheating of the outdoor air during the Danish heating season (15/9 - 15/5) based on measured indoor and outdoor air temperatures and surface temperatures in the ventilated solar wall.

From September to December the ventilation rate has been too low which is why the energy savings during this period are lower than during the remaining part of the heating season. It is seen that a glass covering of balconies as the one described here, due to the preheating of the outdoor air, will increase the possible energy savings compared to a conventional glass covering by approximately 200%. Approximately 2/3 of the preheating is caused by the heating of outdoor air in the ventilated solar wall. The moisture content of the concrete parapets has been reduced to a level where corrosion of the reinforcement steel will no longer occur. More detailed analyses of the measured data are given in (Jørgensen, Nørregaard, 1992).

UNVENTILATED SOLAR WALL

To obtain an economically beneficial retrofitting of an exterior wall an advanced unventilated solar wall using the transparent insulation material Isoflex, has been designed. A residential three-storied house has been equipped with 81 m² south facing solar walls. From previous calculations (Paludan-Müller, Jørgensen, 1989) it is expected that this wall should give more substantial energy savings than a conventional exterior retrofitting with 75 mm opaque insulation ($\lambda = 39 \text{ mW/mK}$). The mass wall of the system is either a massive brick wall or a poorly insulated cavity wall with headers. To ensure the high performance of the solar wall it has been necessary to let professional craftsmen build the solar wall. Unfortunately, this will make the solar wall unrealistically expensive as the building industry in Denmark has not yet become familiar with solar walls. Monthly energy savings during the Danish heating season (15/9 - 15/5) calculated by a explicit numeric method based on measured indoor and outdoor air temperatures and interior and exterior wall surface temperatures are shown in figure 3.

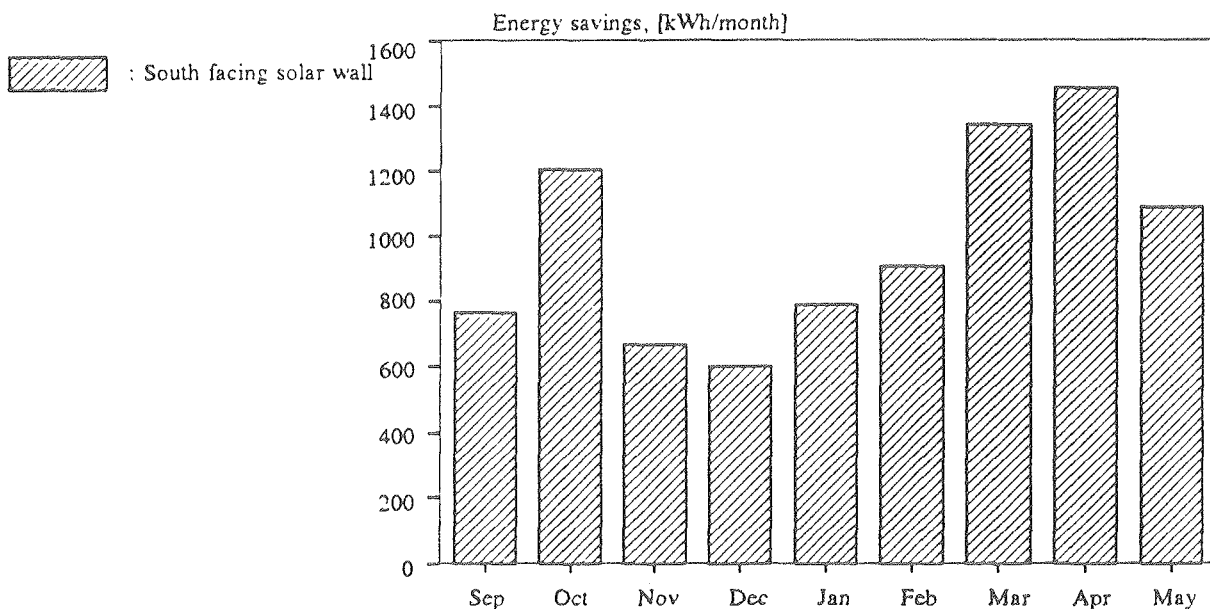
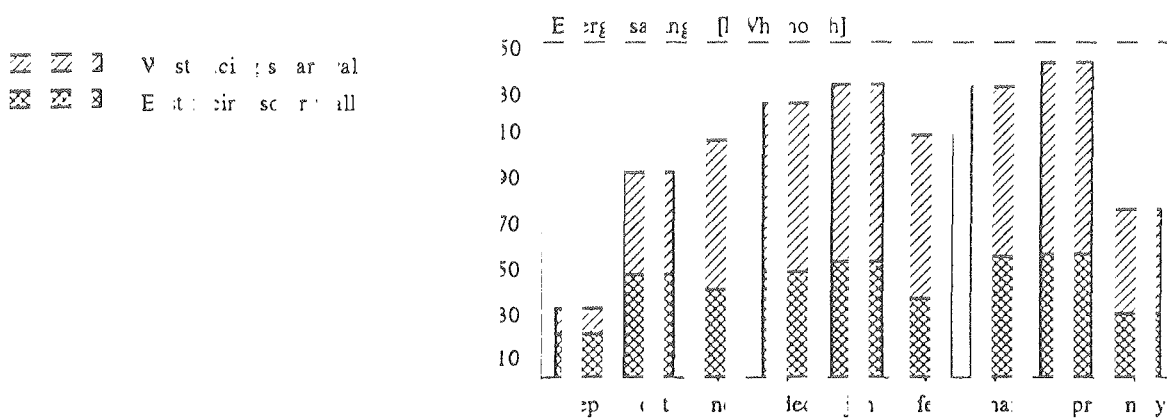


Fig. 3: Monthly energy savings for unventilated south facing high performance solar walls during the Danish heating season (15/9 - 15/5) calculated by a explicit numeric method based on measured indoor and outdoor air temperatures and interior and exterior wall surface temperatures.

The annual energy savings based on the measured surface and air temperatures are 99 kWh/m²/year. From the previous calculations the annual energy savings were expected to be 110 kWh/m²/year while the annual energy savings when using opaque insulation would be 76 kWh/m²/year. The expectations to the possible energy savings by using the solar wall are therefore fulfilled. Furthermore, inspections one year after the construction do not indicate any degradation of the wall in spite of the high temperature variations in the wall. More detailed analyses of the measured data are given in (Jørgensen, 1992).

S M L E U V N I L T D S C A N A L

n economic ly be ef ia re otting f n xt ic vll mht al l e ot ne t i in a si pl
rv ntate s la w l. A me ne v y ne o do to y el t st n si g e ai pr er ir ul io
at ia l l f l c as be e s i ne . lo ni l n ze he r i t e e e e a n g th a s c e i s p a n t l j n k
th h f ne at or er a n e e v e c w h r a s p e e i s u a t i o n d th s l a w l s o p n f c
en l a o n w i e o t e o a i o r th e e e r o i c c th t n i a n t n s l a o r A r e d e t i t e e s t r i e
o u e a s e i j u p l e i t h 2 n s l a w l s o n th e t n d w t i c l e e t e n a s a l o t h
s i m s i t h r r a s i v e b r k v a c a p o r l i n u l t e c a n i t w l l v i l a c e r s M o n d y e r g
i v g e d u i n th l a n h e a n g s e o r (1 / 9 - 1 / 9) c c i a t e t h a e x l i c r m i c i m h o t s e o
e e u r d n d o r a n c t d o r a i n t e p a t e e a l l e t e o r a n e t e o r w l l i n t e e t e p a t e e a r
i o n i l g u e e

[illegible][illegible]

CONFIDENTIAL

[illegible]

A C I V O W E G M N

All three files projects have been initiated by the Department in the first of February.

REFERENCES

C. Paludan-Müller, O.B. Jørgensen. "Solar walls in the existing building stock". Proceedings from ISES Solar World Congress. Kobe, Japan (1989).

O.B. Jørgensen, A. Nørregaard. "Glas-altaninddækning med høj udnyttelse af passiv solvarme". Meddelelse nr. 228. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH (1992). In Danish.

O.B. Jørgensen. "Uventilerede solvægge i ældre boligblok". Laboratoriet for Varmeisolering, DTH (medio 1992). In Danish with an English summary.

O. Frydensberg, O.B. Jørgensen. "Solvægge i "VIBEKEVANG" - Energirenovering". Kooperativ Byggeindustri A/S (medio 1992). In Danish.

