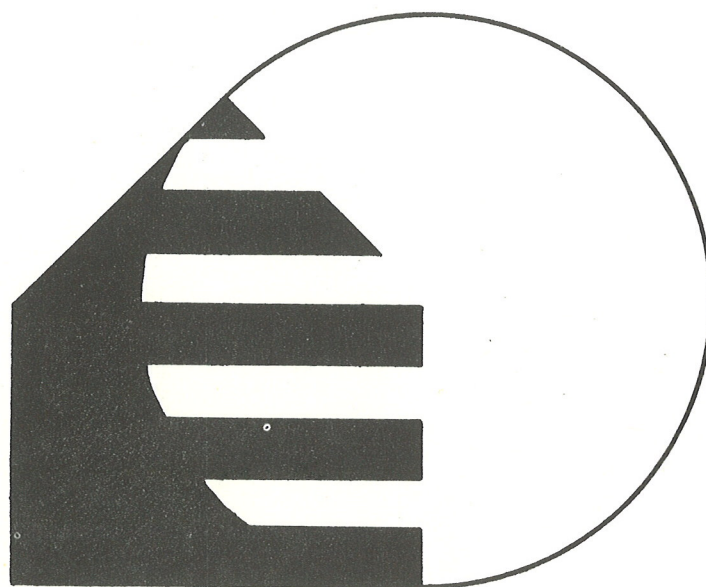


Må ikke
fjernes

Energirenovering af ældre boligblok med hovedvægt på udnyttelse af transparent isoleringsmateriale



Olaf Bruun Jørgensen

Claus Schmidt



MEDDELELSE NR. 212 MARTS 1990
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE



DANBOLIND RÅDGIVNING A/S

Energirenovering af ældre boligblok med hovedvægt på udnyttelse af transparent isoleringsmateriale

Olaf Bruun Jørgensen

Claus Schmidt



**MEDDELELSE NR. 212 MARTS 1990
LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE**



DANBOLIND RÅDGIVNING A/S

FORORD

Der er i denne rapport behandlet de statiske, konstruktive, varmetekniske og økonomiske forhold omkring udnyttelse af solens varmeenergi ved montering af solvægge i forbindelse med energirenovering af ældre boligbyggeri. Rapporten er udarbejdet udfra en konkret bebyggelse, men belyser også en række problemer, man bør være opmærksom på ved en projektering af solvægge til andre bebyggelser. Projektet er finansieret af Energiministeriet og er en del af "område 10: Udredninger og dokumentation m.v." under ministeriets forskningsprogram, EFP-88. Projektets journalnr. hos Energiministeriet er 151/88-65.

Ved gennemførelsen af projektet har følgende personer og firmaer deltaget:

PROJEKTGRUPPE:

Olaf Bruun Jørgensen, civilingeniør. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.

Svend Aage Svendsen, civilingeniør, lich. tech. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.

Claus Schmidt, akademiingeniør. DANBOLIND-RÅDGIVNING A/S.

Jørgen Høgh, civilingeniør. DANBOLIND-RÅDGIVNING A/S.

RÅDGIVERE:

Per Hauschild, arkitekt. Tage Nielsens Tegnestue A/S.

Lauge Fuglsang Nielsen, civilingeniør, lich. tech. Laboratoriet for Bygningsmaterialer, DTH.

Carsten Rode Pedersen, civilingeniør, lich. tech. Laboratoriet for Varmeisolering, DTH.

BOLIGSELSKAB:

Hans Jørgen Olesen. Det Sociale Boligselskab i Helsingør.

Afdelingsbestyrelserne. Afd. 7 - Peder Skramsvej.

Afd. 13 - Ørehøj.

KONSULENTER:

Firmaet Juliana A/S

Firmaet Outokumpu Danmark A/S

Firmaet Vitral A/S

Firmaet Alliance Pentagon A/S

Firmaet Åholm & Christensen

Dansk Erhvervsgartnerforening

Dansk Brandværnskomite

RESUMÉ

Nærværende projekt beskriver, hvordan en energirenovering for en konkret bebyggelse, med fordel kan udføres ved anvendelse af uventilerede solvægge og udvendig efterisolering. En uventileret solvæg består af en massiv eller ringe isoleret mur (tegl el. beton), der udvendigt beklædes med glas og eventuelt et transparent isoleringsmateriale. Projektet er baseret på et typisk 3-etagers boligbyggeri (1945) med massive mure eller dårligt isolerede hulmure, hvor en energirenovering er tiltrængt. Indledningsvis er beskrevet, hvordan solvægge og efterisolering kan kombineres. De forskellige udformningers energi- og komfortmæssige egenskaber er herefter analyseret gennem omfattende EDB-simulering. Herudover er vurderet forskellige risici for nedbrydning af den eksisterende ydermur, som følge af de større temperatur-bevægelser ved anvendelsen af solvægge. I projektet er desuden eftervist, at de statiske krav til det skitserede solvægssystem er opfyldt. Til slut er foretaget en økonomisk vurdering af en energirenovering v.h.a. solvægge, hvor rentabiliteten af disse er vurderet i forhold til en udvendig efterisolering.

Beregningen af de forventede energibesparelser viser, at energiforbruget til rumopvarmning ved en fornuftig kombination af solvægge og efterisolering kan reduceres med over 40%. Analyser vedr. termisk komfort viser, at anvendelsen af solvægge, i kraft af højere indvendige overfladetemperaturer, i fyringssæsonen vil medvirke til en større forbedring af indeklimaet end en efterisolering. Om sommeren vil forøgelsen af indelufttemperaturen være så begrænset, at anvendelsen af solvægge ikke vil medføre en uacceptabel forringelse af indeklimaet. Den økonomiske vurdering viser, at en energirenovering med solvægge, i deres nuværende og endnu forholdsvis simple design, med statstilskud er mere lønsom, end f.eks. en udvendig efterisolering med 100 mm mineraluld, hvortil der ikke længere ydes statstilskud.

SUMMARY

This project describes how an energy retrofitting of a specific built-up area, with advantage could be carried out using unvented solar walls and conventional exterior opaque insulation. An unvented solar wall consists of a massive or poorly insulated wall (bricks or concrete), which at the exterior side is covered with glass and eventually a transparent insulation material. The project is based on a typical 3-storey housing (1945) with massive walls or poorly insulated cavity walls which need an energy retrofitting. At first a description is given of how solar walls and exterior opaque insulation can be combined. The energy and comfort characteristics of the different improvements have been analysed by extensive computer simulations. Furthermore, different risks of degradation of the existing exterior wall due to temperature movements using solar walls have been estimated. In the project it is also shown that the static demands to the sketched solar wall systems have been met. Finally, an economic evaluation of an energy retrofitting using solar walls has been carried out, in which the profitableness of the solar walls has been compared to a conventional exterior opaque insulation.

Calculations of the expected energy savings show that a reduction of the energy consumption for space heating, through a rational combination of solar walls and opaque insulation, of more than 40% is possible. Analyses concerning the thermal comfort show that application of solar walls because of higher indoor surface temperatures, during the heating season will contribute to an increased improvement of the indoor climate compared to an opaque insulation. During the summer period the increase of the indoor air temperature will be that small that the use of solar walls will not lead to an unacceptable aggravation of the thermal indoor climate. The economic evaluation shows that an energy retrofitting using solar walls in their present and yet simple design, including Governmental subsidies is far more profitable than e.g. a conventional exterior opaque insulation of a thickness of 100 mm with no Governmental subsidies.

INDHOLDSFORTEGNELSE

RESUMÉ

SUMMARY

1.	INDLEDNING	1
2.	SOLVÆGGES FUNKTION OG VIRKEMÅDE	5
3.	ARKITEKTFORSLAG	7
4.	MYNDIGHEDER / LOVKRAV	9
5.	MATERIALEBESKRIVELSE	11
6.	BYGNINGSBESKRIVELSE	15
7.	SOLVÆGSSYSTEMER	19
8.	ENERGI- OG KOMFORTBEREGNINGER	21
8.1	EDB-model	21
8.2	Beregningsforudsætninger	22
8.2.1	Geometrisk modelering af bebyggelsen	22
8.2.2	Termisk modelering af bebyggelsen	23
8.3	Facadeinddækninger	25
8.3.1	Solvægge	25
8.3.2	Udvendig efterisolering	27
8.4	Energibesparelse	28
8.4.1	Solvægge kontra udvendig efterisolering	28
8.4.2	Skitserede projekter	32
8.4.3	Udnyttelse af solindfald	35
8.5	Termisk komfort	38
8.5.1	Rumlufttemperaturer	38
8.5.2	Indvendige overfladetemperaturer	42

9.	TEMPERATURBEVÆGELSER I MURVÆRKET	49
10.	FUGTMÆSSIGE FORHOLD	53
11.	STATIK	61
12.	VEDLIGEHOELSE	63
13.	ØKONOMISK VURDERING	65
14.	KONKLUSION	73
	REFERENCER	77
	APPENDIX	79

1. INDLEDNING

I fortsættelse af tidligere undersøgelser på passiv solvarmeområdet indgik Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, i foråret 89 aftale med DANBOLIND-RÅDGIVNING A/S om i samarbejde at udarbejde et udredningsprojekt, der kunne aktualisere rapport nr. 47 fra Energiministeriets solvarmeprogram, /1/.

Rapporten omhandler brug af solvægge i den eksisterende boligmasse og videreføres i det fælles regi til at omfatte afd. 7 og 13 hos Det Sociale Boligselskab i Helsingør. Disse bebyggelser er valgt, efter at en række bebyggelser hos forskellige boligselskaber var blevet vurderet for egnethed til at danne baggrund for udredningsprojektet.

Det forudsattes i oplægget, at udredningsprojektet skulle afklare, hvordan de arkitektoniske, statiske og termiske problemer kunne løses økonomisk forsvarligt ved opsætning af solvægge på en bebyggelse i praksis.

Ideen med nærværende forskningsprojekt er primært at belyse, hvilke muligheder, der er for at benytte solvægge i forbindelse med ældre muret byggeri.

For at opnå maximalt udbytte af solindfaldet, er det vigtigt at dette ikke reduceres væsentligt af nabohuse, træer, buske etc. Det er samtidigt vigtigt at solvæggene indgår i et harmonisk samspil med resten af bygningen, hvorfor arkitekt Per Haushild fra Tage Nielsens Tegnestue A/S blev inddraget i arbejdet.

På basis af skitseforslag blev afdelingsbestyrelserne i de to bebyggelser orienteret på et møde, og det forudsattes, at bestyrelserne efter en måned skulle vende tilbage med deres kommentarer til forslagene samt meddele, hvorvidt de stadig ønskede at medvirke i projektet ved at stille deres ejendom til rådighed.

Begge afdelinger var efter denne måned positivt stemt overfor projektet og havde ingen betænkeligheder ved fortsat at deltage, under forudsætning af, at de ikke økonomisk blev belastet.

Laboratoriet for Varmeisolering valgte herefter afdeling 7 hos Det Sociale Boligselskab i Helsingør. Bebyggelsen består af 4 ens blokke beliggende på Peder Skramsvej.

Da dette var besluttet, indkaldte boligselskabet til beboermøde og præsenterede beboerne for idegrundlaget og, i detaljer, de arkitektoniske ændringer, det ville medføre for dem, når deres hvide pudsede bygninger blev beklædt med glaspaneler opsat på en sort baggrund. En illustration af dette ses på side 3.

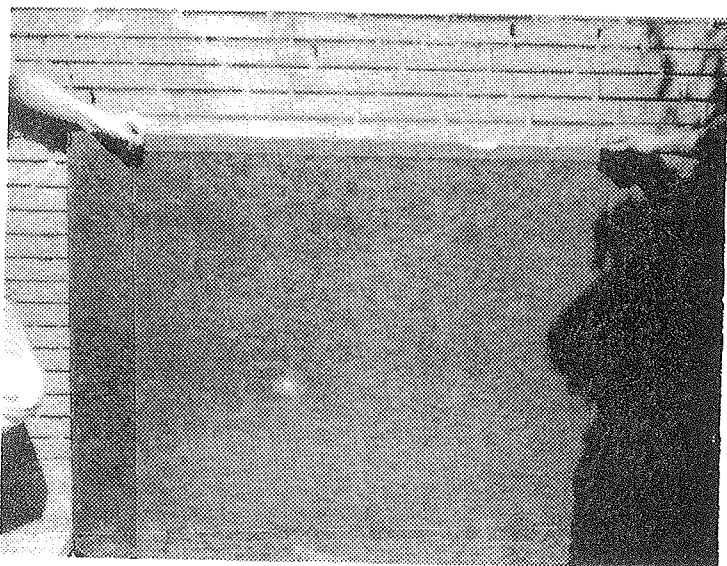
Som illustration benyttedes en $0,8 \text{ m}^2$ stor rude placeret på gavlen af den ene blok, hvor der bag ruden var monteret Isoflex på en sort baggrund.

Ved direkte solindfald virkede Isoflex'en glitrende. Dette reducerede den sorte baggrund i en sådan grad, at man opnåede bred tilslutning fra beboerne til fortsat deltagelse.

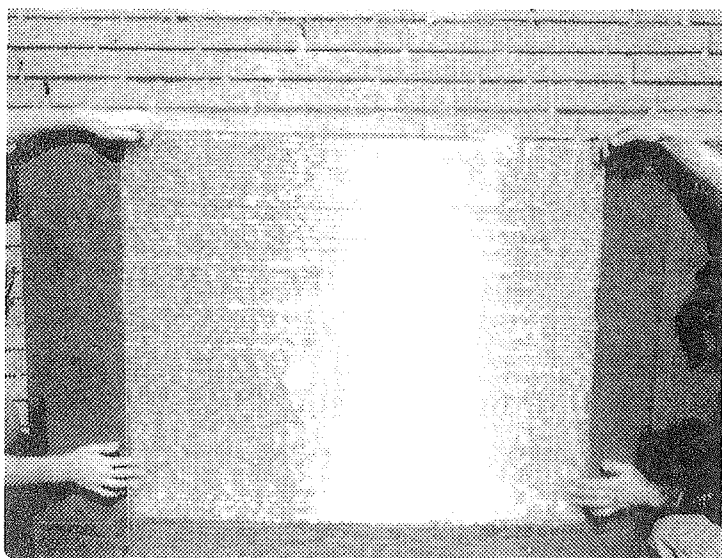
Ved gennemførelsen af dette projekt har der været kontakt til en række firmaer, som har udarbejdet aluminiumssystemer, som forventes at opfylde kravene til solvægsopbygningen. Der er tillige i eget regi, lavet en række forslag til opbygning af solvægge, ud fra nogle på markedet eksisterende standardprofiler.

Det skal bemærkes, at der i denne rapport udelukkende er undersøgt solvægge med transparent isolering. Tidligere projekter har nemlig vist, at anvendelse af transparent isolering er nødvendig for den uventilerede solvægs rentabilitet i Danmark.

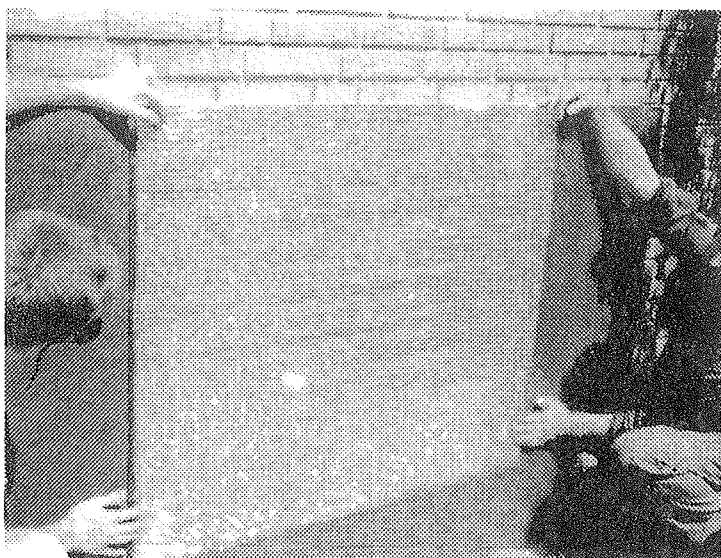
I forbindelse med projektet er der stillet nogle krav, som man har arbejdet ud fra under hele forløbet. Disse krav opridses kort nedenfor.



Mat glas uden transparent isolering,
på mørk baggrund.
Direkte belysning.



Mat glas med transparent isolering,
(Isoflex), på mørk baggrund.
Direkte belysning.



Mat glas med transparent isolering,
(Isoflex), på mørk baggrund.
Skrå indfald af lys.

Krav til solvæggene:

- Detailløsninger skal være realistiske i konstruktiv og økonomisk henseende.
- Konstruktioner skal være nemme at montere og udskifte.
- Konstruktionerne skal være tilnærmelsesvis vedligeholdelsesfri i en realistisk stipuleret levetid.
- Konstruktionen skal være økonomisk sammenlignelig med en udvendig efterisolering med den på årsbasis tilsvarende varmebesparende isoleringstykkelse.

Rapporten skal desuden ses som anden fase i et trefases-forløb opbygget som følger:

1. fase Forskningsprojekt udarbejdet af Laboratoriet for Varmeisolering på DTH. Rapport nr. 47: "Solvægge i den eksisterende boligmasse" udarbejdet under Energiministeriets solvarmeprogram.
2. fase Udredningsprojekt udarbejdet af Laboratoriet for Varmeisolering og DANBOLIND-RÅDGIVNING A/S. Denne rapport.
3. fase Montering af solvægge på boligblok fulgt op med et måleprogram og en afsluttende rapport over de indvundne erfaringer.

2. SOLVÆGGES FUNKTION OG VIRKEMÅDE

Principperne for v.h.a. solvægge at udnytte den passive solvarme til bygningsopvarmning er enkle. En solvæg består groft sagt af en ydermur, der er beskyttet mod vejrliget af en eller anden form for transparent isolering (oftest blot et eller flere lag glas). Glas har nemlig den fordel, at det tillader transmission af sollysets energirige kortbølgede stråling, samtidig med at det reducerer den fra muren reflekterede langbølgede varme-stråling, og derved forhindrer den opsamlede varme i at "blæse" væk fra den bagvedliggende mur.

Den opsamlede solvarme kan enten ventileres ind i det bagvedliggende rum (ventilerede solvægge), eller ledes ind i rummet ved varmeledning gennem murværket (uventilerede solvægge). Princippet i en uventileret solvæg er vist i fig. 2.1.

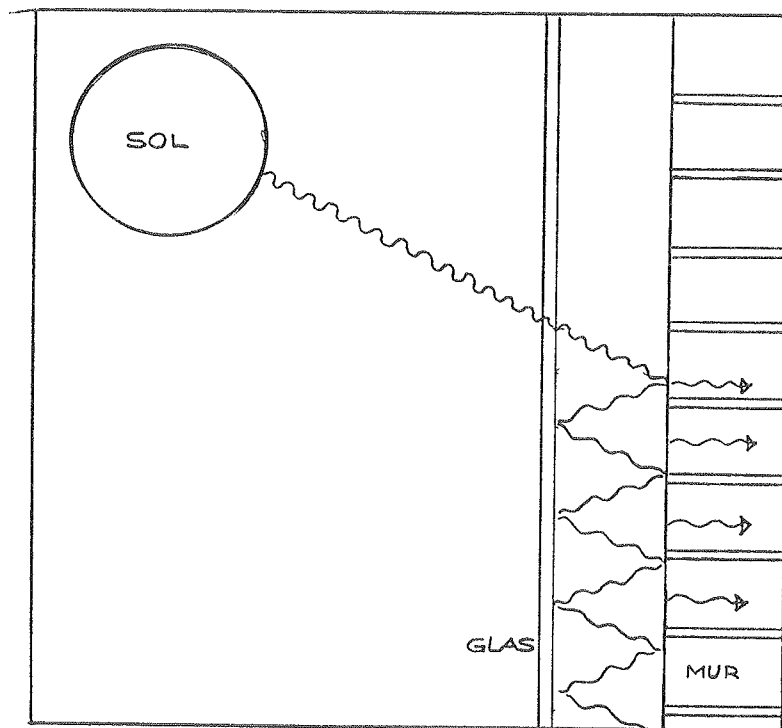
I ny-byggeri kan solvægge udføres ved, at facaden opbygges af en passende sammenstykning af traditionelt anvendte komponenter til facader og enkelte specielle komponenter som f.eks. automatiske spjæld. Sådanne solvægge vil typisk være ventilerede solvægge. Disse har en potentiel økonomisk fordel, da de integrerer to funktioner i et element. Solvæggen fungerer i dette tilfælde både som en klimaskærm og som et "passivt solvarmeanlæg".

I eksisterende byggeri vil det være fordelagtigt at benytte uventilerede solvægge. Disse udføres ved, at der på den udvendige side af massivt eller delvist massivt murværk monteres et eller flere lag transparent isolering. Herved udnyttes murværkets evne til at akkumulere varmen fra den indstrålede solenergi og gennem varmeledning at give den videre til det bagvedliggende rum med timers forsinkelse. Uventilerede solvægge kan på en del af en bygnings ydermur være et attraktivt alternativ til en traditionel efterisolering.

Orienteringen af solvæggene skal helst være mod syd, sydøst eller sydvest, men også nordvendte solvægge med en effektiv transparent isolering giver en energimæssig gevinst sammenlignet med en efterisolering på 75 mm mineraluld.

Omgivelserne påvirker naturligvis solvæggenes placering og udformning, idet såvel eksisterende bygningsdetaljer som træer, buske og naboejendomme må inddrages i vurderingen. Placeringen af solvæggene vælges desuden ud fra den indvendige rumfordeling.

Væggene vil være mest effektive ud for gavllejligheder og mindst ud for kælder-, tag- og trapperum.



Figur 2.1. Princippet i en uventileret solvæg.

3. ARKITEKTFORSLAG

DANBOLIND-RÅDGIVNING A/S tog i en tidlig fase kontakt med arkitektfirmaet, Tage Nielsens Tegnestue, TNT. De to bebyggelser blev "bearbejdet" af TNT, hvorved der fremkom 2 forslag for hver bebyggelse.

Arkitekten har forsøgt at bruge glasset på en måde, så dette fremstår som en spændende overflade. Sprosserne imellem de enkelte glasfelter er benyttet til at bryde de ellers monotone glasarealer.

Tillige har arkitekten benyttet en helhedsvurdering, hvor han har arbejdet med en kombination af planteespalier, glas og isolering, samt en mulighed for at benytte farvede dækplader i de efterisolerede felter som kontrast til de mørke glasarealer.

Glasfelterne vil fremtræde mørke, da muren bag glasset males i en mørk farve og helst sort. Dette er nødvendigt for at udnytte den indstrålede varmeenergi maximalt. Dog vil indtrykket af glasfladerne forekomme gliterende, idet muren af varmetekniske grunde beklædes med en transparent isolering, som giver et gliterende udtryk, når solens stråler rammer denne.

På arkitektens skitseforslag, se appendix A1, s.81, er der vist nogle områder på facader og gavle, der ikke er inddækket af glas (de skraverede arealer). Disse arealer bør efterisoleres med mineraluld for at opnå den størst mulige energibesparelse.

4. MYNDIGHEDER / LOVKRAV

I forbindelse med montering af en udvendig efterisolering eller solvæg ændres de ydre overflader, hvorefter såvel brandmæssige som konstruktive krav skal overvejes. I den forbindelse har vi kontaktet Teknisk Forvaltning i Helsingør, Brandvæsenet i Helsingør samt Dansk Brandværns komite for at få deres udtalelse til det konkrete projekt samt en vurdering af helheden.

Såfremt man monterer beklædning på ydervægge, skal der i hht. BR-82 kap. 6 overholdes følgende krav:

- Udvendige overflader skal være klasse 1 beklædning.
- Uden på vægge kan anbringes en regnskærm med bagvedliggende hulrum. Regnskærmen skal udføres mindst af klasse A materiale.
- Det på væggen monterede isoleringsmateriale skal være klasse A-materiale og skal tillige være fastholdt med evt. net eller tråde i ikke brandbart materiale. Såfremt bebyggelsen er højere end 2 etager, skal den monterede ydervæg opdeles i brandsektioner evt. med vandrette og lodrette rigler.

I tilfælde, hvor der monteres glas som den ydre regnskærm, og hvor det kan forventes at glasset knuses, skal flugtveje sikres mod nedfald af glasstykker. Dette kan evt. foregå ved at montere halvtage over udgange.

Brandvæsenet skal kunne opstille stiger til redning forsvarligt og uden risiko for kollaps eller fare for nedstyrtning af glas over disse.

Med hensyn til de øvrige bygningslovmæssige foranstaltninger, er følgende gældende:

- De monterede konstruktioner skal fastholdes forsvarligt.
- Man må ikke ved den monterede konstruktion påføre bygningen en øget fugtbelastning.
- Konstruktionen skal eftervises statisk ud fra gældende normer.

5. MATERIALEBESKRIVELSE

Dette afsnit er en kort beskrivelse af de materialer, som indgår i solvæggene samt begrundelsen for valget af netop disse.

GLAS

Glas indgår i solvægssystemet og virker primært som en regnskærm for den transparente isolering i solvæggen.

Glas har desuden den egenskab, at det tillader transmission af sollysets kortbølgede stråler og reducerer den "reflekterede" langbølgede varmestraling og forhindrer derved den opsamlede varme i at "blæse" væk fra den bagvedliggende mur.

For at få en maximal udnyttelse af solens energi bag glasset er det forudsat, at glasset er klart, og at glastykkelsen ligger fra 4 - 6 mm.

Disse forhold sammen med det forhold, at der ikke sættes store krav til glaskvaliteten, medfører at prisen på glasset bliver rimelig. Man bør i de enkelte tilfælde overveje at benytte hærdet glas for opfyldelse af de statiske og lovmæssige krav.

ACRYLPLADER

Acrylplader har tilnærmelsesvis de samme tekniske egenskaber med hensyn til opsamling af solens varmeenergi som glas, men prismæssigt kan acrylplader ikke konkurrere, da prisen er mere end den dobbelte af glassets.

Montagemæssigt kan anvendelsen af acrylplader medføre en besparelse, men ikke af en sådan størrelse, at det taler herfor.

Brandteknisk vil acrylplader ikke kunne overholde krav til klasse A-materiale.

ALUMINIUM

Aluminium er et velegnet materiale at benytte til montering af glasset. Materialet kan ved et lille materialeforbrug fremstilles i profiler til ethvert behov, samtidig med at det er korrosionsfast og har den fornødne lethed og styrke. Man skal dog være opmærksom på, at visse materialer kan virke aggressive over for aluminium. I sådanne tilfælde skal de nødvendige foranstaltninger træffes.

GALVANISERET STÅL

Profiler af galvaniseret stål kan benyttes i stedet for aluminium, hvor dette er økonomisk fordelagtigt.

RUSTFRIT STÅL

Alle former for montagebeslag, bolte, ankre m.v. skal, så vidt det er muligt, være af rustfrit materiale. Hvor aluminium eller varmtgalvaniseret beslag kan benyttes, bør dette gøres af hensyn til prisen. Dette skyldes, at der i solvæggen, i visse perioder, kan opstå kondens, hvorved fikseringspunkter vil være udsat for korrosion.

TRÆ

Træ er et let forarbejdeligt materiale, som er velegnet til underlag for montering af en foranliggende plade. Træ har tillige den egenskab, at det er billigt i forhold til de fleste andre materialer.

Såfremt man benytter trykimprægneret træ, skal man være opmærksom på, at der skal tages særlige forholdsregler ved kontakt mellem aluminium og det trykimprægnerede træ.

ISOFLEX

Isoflex er et transparent isoleringsmateriale, som forhandles af firmaet Isoflex AB (Sverige), /2/. Dette materiale forudsættes brugt i solvæggen monteret direkte på væg. Isoflex er et kunststofmateriale (cellulose-acetat) som i henhold til DANTEST's afprøvningsattest er klassificeret som et klasse A-materiale, /3/. Typen er klar, med 6 lag (30 mm).

HONEYCOMBS

Et andet transparent isoleringsmateriale er honeycombs (poly-carbonat), der består af en masse små parallelle cellerør anbragt i hulrummet mellem mur og glas. Rørlængden er omtrent lig tykkelsen af det hulrum, hvori materialet er anbragt, mens højden er meget mindre end længden. Herved opnås nærmest en eliminering af den konvektive varmeoverførsel mellem hulrummets to overflader. Honeycombvæggene er fremstillet i plast, og er anvendt i solvægge i en række forskellige forskningsprojekter (Vest-Tyskland, England, USA og Canada). I dette projekt er set på honeycombs med rektangulært tværsnit fra firmaet Arel Energy Ltd. (Israel), /4/.

SELEKTIV ABSORBER

I stedet for at benytte transparent isoleringsmateriale kan en lav U-værdi for dæklagssystemet opnås ved at anvende en selektiv overflade, der har en lav emittans for den langbølgede varmestraling. En selektiv absorber kan etableres ved at klæbe en selektiv folie uden på muroverfladen. En sådan folie fremstilles af Inco Selective Surfaces Ltd. (England), /5/.

TÆTNINGSLISTER M.V.

Alle tætninger, foringer og andre former for tilsætning af kunststoffer skal være varmebestandige og modstandsdygtige over for UV-stråling.

ABSORBER

Som absorber benyttes en diffusionsåben halvblank sort acrylplastmaling, som påføres murværket. Malingen skal være forenelig med de omgivende materialer og må ikke virke nedbrydende på den transparente isolering (her cellulose-acetat). Malingen skal være som DYROTEX 3852 fra DYRUP, /6/, eller ligende produkt. Muren skal inden dækmalingen påføres behandles med vandig forankringsgrunder som type 3840 fra DYRUP, /6/, eller en fortyndet opløsning af dækmalingen.

6. BYGNINGSBESKRIVELSE

- Bebyggelsens beliggenhed: Bebyggelsen ligger på Peder Skramsvej 12 - 26 i Helsingør.
- Ejer: Det Sociale Boligselskab i Helsingør.
- Alder: 1945.
- Beskrivelse: Bebyggelsen består af 4 blokke hver med 12 lejemål, ialt 48 lejemål. Hver blok er opbygget som traditionelt muret byggeri i 2 etager med udnyttet tagetage og fuld kælder. Alle udvendige vægge er pudset og hvidmalede.
- Kælder:
- Kældervægge: Vægge i kælder er 35 cm betonvægge støbt på et 35 x 50 cm betonrandfundament.
- Indvendige vægge i kælder består af 2 stk. langsgående 24 cm murede vægge, som står på 35 x 50 cm stribe fundamenter, og 1 stk. tværgående 24 cm muret væg.
- Vægge omkring trappeskakt er 16 cm murede vægge.

Dæk over kælder:

Dæk over kælder er opbygget af rørseler 14/16 cm med puds mod kælder og 12 mm insulite, 2" x 2". Gulvstrøer og 1 1/4 x 5" høvlet og pløjet gulvbrædder mod etage.

Kældergulv:

Gulvet består af 8 cm råbeton direkte på jord og 6 cm afretningsbeton herpå.

Etager, st. og 1. sal:

Ydervægge:

Stuen har 36 cm fuld mur.
1. sal har 36 cm hulmur med 12 cm hulrum (2 x 1/2 sten med 12 cm hulrum). Udmuringsareal ca. 35%.

Indvendige vægge:

I stuen findes 2 langsgående murede vægge på 24 cm, hvoraf 1 stk. er gennemgående og 1 stk. tværgående væg på 24 cm. Vægge omkring trappe er 16 cm murede vægge. Øvrige indv. vægge er 8 cm traditionelle brædevægge.

1. sal har 2 langsgående murede vægge på 16 cm, hvoraf 1 stk. er gennemgående. Vægge om trapperum er 16 cm murede vægge. Øvrige vægge er 8 cm brædevægge.

Etageadskillelser:

Etageadskillelser er opbygget som indskudsdæk, opbygning som følger:

Rørvæv og puds på 3/4" forskalling.
8 x 9" tømmer med 1" indskudsbrædder og lerindskud. Herpå er monteret 1 1/4 x 5" høvlet og pløjet brædegulv.

I toiletgruppen er dæk opbygget som følger: Puds på 10 cm jernbetonplade herpå slaggebeton og terrazzobelægning.

Taglejlighed:

Vægge:

1 stk. gennemgående væg 12 cm muret, 1 stk. tværvæg 24 cm muret, vægge omkring trappe er 16 cm muret. Skunkvægge består af rørvæv + puds på 3/4" forskalling samt 1" lodretstående brædder. Væg mod WC er 8 cm pladevæg.

Dæk mod loftrum:

Opbygning som følger: 5 x 5" hanebåndsbjælke med 3/4" brædder mod loft og forskalling, rørvæv og puds mod lejlighed.

Tag:

Taget er opbygget som 5 x 5" hanebåndsspær pr. 90 cm med 1 1/2 x 2 1/2" lægter og falstagsten.

Konstruktionens sammenhæng

Som omtalt i det foregående er bygningen opmuret på 36 cm betonmur, som udgør kældervægge i gavle og facader. Der er opmuret en 24 cm gennemgående teglstensmur i midten af bygningen, og på kælderydermuren er væggene opbygget som 35 cm teglstensmur.

Dækkene spænder mellem facaderne og er mellem-understøttet på den gennemgående midtermur. Gavlmurene støtter sig til etageadskillelserne og er muligvis fastholdt hertil med murankre.

Hulmure i facader og gavle i 1. sal og taglejlighed er mellemydermur og indermur sandsynligvis sammenholdt med faste murbindere.

Gavlmure overfører vindkræfter til facader, midtermur og etageadskillelser. Kræfterne bliver herefter ved skivevirkning overført til fundamenterne. Ved vindpåvirkning på facaderne overføres kræfterne til de tværgående gavle og vægge omkring trapper samt mure i lejlighedsskel. Kræfterne vidreføres ved skivevirkning til fundamenter.

7. SOLVÆGSSYSTEMER

Der er under udarbejdelsen af denne rapport taget kontakt med en række firmaer, som har udarbejdet forslag til aluminiumskonstruktioner, som kan bruges til solvægge. Herudover er udarbejdet forslag af Danbolind Rådgivning a/s og Laboratoriet for Varmeisolering i fællesskab. Nedenfor er givet en kort beskrivelse af de enkelte systemer. Snitte tegninger er vedlagt i appendix A2, s. 94.

Forslag fra Danbolind og LfV

Alu-hat-system (s.94)

Dette system er opbygget som et traditionelt trælægteskelet monteret direkte på mur. Glasset er fastholdt til lægterne med et aluminiumsprofil, som skrues direkte ind i lægterne. Dette system er detailprojekteret og vedlagt i appendix A3, s. 102. Det anvendte aluminiumsprofil er et hatprofil, som er udviklet hos Alliance Pentagon.

Alternativt kan istedet for lægter som underlag benyttes et stål UNP-profil. Der er tillige vedlagt skitse af denne opbygning i appendix A2, s. 95.

Aluprofil med PVC-dækliste (s. 96)

Dette system er opbygget af et trælægteskelet som beskrevet ovenfor. På lægterne monteres aluminiumsprofilet, hvorefter glasset lægges heri og fastholdes af en PVC-dækliste, som klemmes på aluminiumsprofilet. Profilet er fra Duka.

Drivhussystem (s. 97)

Dette system er opbygget med et traditionelt drivhusprofil, i aluminium, som monteres direkte på væggen, hvorefter glasset fastholdes til profilet med en kappe (dækliste) ligeledes i aluminium, som skrues fast i det underliggende aluprofil.

Forslag fra externe rådgivereJuliana (s. 98)

Systemets lodrette og vandrette profiler monteres direkte på væggen, således at disse danner rammer, hvori glasset kan monteres. Glasset fastholdes til rammerne ved klæbning med silicone langs hele anlægsfladen.

Vitral (s. 99)

Systemet monteres med vandrette gennemgående skinner. Glasset er isat kassetter, som monteres i de vandrette skinner således, at kassetterne skubbes ind bag skinnen i top og fastlåses herefter med et beslag i bunden, som skrues fast i den vandrette skinne som danner topskinne for det underliggende glasfelt.

Outokumpu (s. 101)

Systemet monteres med lodrette gennemgående skinner, formonteret glas i kassetter hægtes op i de lodrette skinner, som er forsynet med tværgående dorne. Tætning mellem kassetterne sker med gummilæber monteret på de enkelte kassetter.

8. ENERGI- OG KOMFORTBEREGNINGER

Ved vurderingen af solvæggens betydning for bebyggelsens energiforbrug og temperaturforhold er benyttet et EDB-program. Beregningerne er foretaget på årsbasis og omfatter tre forskellige typer solvægge, samt forskellige former for udvendig efterisolerings anvendt i en række forskellige kombinationer i den aktuelle bebyggelse.

8.1 EDB-model

Det anvendte EDB-program, "SUNCODE", /7/, simulerer varmestrømme, temperaturforhold, etc., i løbet af et "normalår". I programmet benyttes udendørs klimadata fra det danske referenceår TRY, /8/. "SUNCODE" er en PC-version af det detaljerede amerikanske "main frame" program "SERIRES", og er baseret på et termisk netværk, hvor diverse temperaturer bestemmes time for time ved en explicit metode.

Programmet er særlig velegnet til undersøgelse af bygninger, der udnytter passiv solvarme, idet det er udformet, så der er mulighed for at foretage beregninger med glasbygninger og solvægge. Bygningen opdeles i zoner, hvorved de forskellige rum i beregningerne behandles hver for sig, idet der regnes med varmeudveksling zonerne imellem. Den termiske masse i form af de forskellige bygningskonstruktioner bliver detaljeret beskrevet. Resultaterne fra beregninger med "SUNCODE" har vist sig at give udmærket overensstemmelse med måleresultater i forbindelse med andre projekter, udført ved Laboratoriet for Varmeisolering, /9/, /10/.

De muligheder, der på forhånd er givet, for at udføre beregninger med solvægge, er dog begrænset til nogle få "standard-solvægge". Der er tale om ventilerede eller uventilerede Trombevægge, for hvilke dæklagssystemet er sammensat af identiske dæklag af glas eller plast. Solvægge med en anden form for transparent isolering end glas kan derfor ikke umiddelbart beskrives af programmet. Endvidere forudsættes det i programmet, at diverse varmetabskoeff-

ficienter er uafhængige af temperaturforholdene. For en solvægs dæklagskonstruktion vil varmetabet ved konvektion i mange tilfælde stige betydeligt, når temperaturdifferensen mellem absorbereren og omgivelserne øges, og varmetabet ved stråling fra absorbereren vil stige med øget absorbertemperatur. For solvægge med transparent isolering vil disse temperaturforskelle være særlig udtalte. Antagelsen vedrørende konstant varmetabskoefficient vil således i flere tilfælde være en forholdsvis grov simplifikation. For at være i stand til at regne på de aktuelle solvægge har det derfor været nødvendigt at indføre visse tilnærmelser og "tricks", der er nærmere beskrevet i appendix A4, s. 110.

8.2 Beregningsforudsætninger

8.2.1 Geometrisk modellering af bebyggelse

Anvendelsen af solvægge er undersøgt for blok 2 i afd. 7 (Peder Skramsvej). Bygningen er orienteret således, at en facade vender mod vest-sydvest og en gavl vender mod syd-sydøst. Disse 2 ydervægge tænkes forsynet med solvægge.

Solindfaldet på bygningen reduceres af omkringliggende træer, buske og nabobygninger. Ved simuleringen er det muligt at tage højde for dette ved at definere en horisontafskæring bestemt af afstanden til og højden af eventuelle store beplantninger samt de øvrige 3 blokke i bebyggelsen.

I EDB-modellen opdeles bygningen i 5 zoner: Kælder, stueetage, første sal, tagetage og trappeopgang. Disse 5 zoner er alle adskilt af enten vægge, etageadskillelser eller døre. Der er set bort fra skillevægge i den enkelte zone. På grund af nogle begrænsninger i "SUNCODE" med hensyn til antallet af bl.a. vinduer og vægge, er disse, hvor det er muligt, samlet i en enkelt bygningsdel; f.eks. er ramme- og karmtræ i en etage blot beskrevet som en enkelt komponent, ligesom alle vinduer i én ydervæg i en given zone beskrives som et enkelt vindue. En detaljeret bygningsbeskrivelse findes i kap. 6.

8.2.2 Termisk modellering af bebyggelse

Som grundlag for vurderingen af anvendelsen af solvægge udføres en termisk simulering af bygningen, hvorfor det er nødvendigt med en detaljeret beskrivelse af alle væsentlige termiske belastninger på huset. Dette inkluderer en beskrivelse af husets gratisvarmetilskud samt udnyttelsen heraf. Som hovedregel er fulgt anvisninger givet i /11/. Gratisvarmetilskud til bebyggelsen udgøres af solindfald, personvarme, el-forbrug, varmtvandsforbrug, etc.

Boligens absorptans for solindfald gennem vinduer bestemmes som angivet i /12/. Ca. 25% af den absorberede solstråling kan betragtes som tilført møbler o. lign., og pga. disses meget lave varmekapacitet og store overfladeareal afgives varmen umiddelbart efter til rumluften. De resterende 75% overføres til boligens termiske masse.

I forrige afsnit er bebyggelsen inddelt i zoner svarende til boligarealet på hver etage. Trapperummet betragtes som en fra disse adskilt zone, hvorfor der ikke regnes med konvektiv varmeudveksling zonerne imellem.

Det interne gratisvarmebidrag fra personer, el-forbrug, varmtvandsforbrug, etc. bestemmes i henhold til /13/, idet der i gennemsnit bor knap 2 personer i hver lejlighed. Den tilførte mængde gratisvarme udgør således 75 kWh/døgn pr. boligblok, svarende til et bidrag på ca. 120 Wh/døgn pr. m² beboet areal.

Ifølge /14/ opvarmes lejlighederne, således at rumlufttemperaturen aldrig er mindre 20 °C, ligesom kælderen holdes opvarmet til 17 °C. I vurderingen af de mulige energibesparelser ved anvendelsen af solvægge/efterisolering betragtes kælderen som uopvarmet, da dette er situationen i dag. Der ventileres med udeluft, hvis rumlufttemperaturen, i perioder med risiko for overtemperaturer, overstiger 22 °C. Udenfor fyringssæsonen ventileres desuden i nattetimerne, ved at vinduerne åbnes før beboerne går i seng. En sådan ventilation er vurderet til at

kunne simuleres med et luftskifte på mellem 2,0 og 5,0 pr. time, når rumlufttemperaturen overstiger 18 °C, forudsat at udeluften er køligere end rumluften.

Som det fremgår af kap. 6, består ydervæggen af en massiv teglstensmur i stueetagen og en relativt ringe efterisoleret hulmur på første og anden sal. Ydervæggens varmetabskoefficient er 1,46 W/m²K for den massive mur og 0,89 W/m²K for den isolerede hulmur. Lejlighedens ventilationstab ved infiltration af udeluft simuleres med et luftskifte på 0,5 pr. time.

I de efterfølgende beregninger omtales både samlede og "normerede" energiforbrug og -besparelser. De samlede energibesparelser, Q_b , bestemmes som forskellen mellem energiforbruget uden, Q_u , og energiforbruget med, Q_m , solvægge/efterisolering. Det normerede energiforbrug med eller uden solvæg/efterisolering, q_m eller q_u , udtrykker energiforbruget pr. m² boligareal, A_{bolig} , ligesom den normerede energibesparelse, q_b , udtrykker besparelsen pr. m² absorber, A_{abs} , eller efterisoleret ydermur, A_{iso} . Dvs.:

$$q_m = \frac{Q_m}{A_{bolig}} \quad q_u = \frac{Q_u}{A_{bolig}} \quad q_b = \frac{Q_u - Q_m}{A_{abs}(A_{iso})}$$

Endvidere angives den relative energibesparelse, R , der er defineret ved :

$$R = \frac{Q_u - Q_m}{Q_u}$$

I tab. 8.1 er opstillet dels de v.h.a. "SUNCODE" beregnede, dels de i /14/ angivne værdier for henholdsvis det totale og det normerede netto-energiforbrug til rumopvarmning før anvendelsen af solvægge/efterisolering. Disse 2 størrelser indeholder begge energiforbruget til opvarmning af kelder. Derfor er i tab. 8.1. desuden angivet det beregnede netto-energiforbrug, når kælderen er uopvarmet, som det er tilfældet i dag. I /14/ er angivet et brutto-energiforbrug på 128,5 Gcal/år baseret på forbruget af m³ fjernvarmevand pr. år. Heraf er varmtvandsforbruget af VKO-konsulent skønnet til at udgøre ca. 25%. For fjernvarme-varmeveksleren regnes ifølge /15/ med en virkningsgrad på 0,92, idet

varmecentralen er placeret i en uopvarmet kælder, hvorfor varmetabet fra varmeveksleren kun i beskedent omfang medvirker til opvarmning af boligarealet.

		Q_u [kWh/år]	q_u kWh/m ² år]
Opvarmet kælder	Beregnet	97048	158
	Målt	103233	169
Uopvarmet kælder	Beregnet	79846	130

Tabel 8.1. Beregnede og målte værdier for det totale samt det normerede netto-energiforbrug før anvendelsen af solvægge eller efterisolering.

Det ses af tabellen, at der er en god overensstemmelse mellem det målte og det beregnede energiforbrug (afvigelse på blot 7%).

8.3 Facadeinddækninger

Som beskrevet i kap. 3 består facadeinddækningen dels af en solvæg dels af en traditionel efterisolering. I det følgende er forskellige principielle udformninger af hhv. solvægge og efterisolering beskrevet. De forskellige udformninger er undersøgt for at kunne bestemme en energi- og komfortmæssig samt arkitektonisk optimal kombination af solvægge og udvendig efterisolering.

8.3.1 Solvægge

I dette projekt er analyseret 3 forskellige typer uventilerede solvægge, der alle er opbygget af materialer, som findes på markedet i dag. Lave varmetransmissionskoefficienter for dæklagssystemet, hvilket er påkrævet ved anvendelsen af uventilerede solvægge i Danmark, er opnået dels ved anvendelse af transparente isoleringsmaterialer (type A og B) dels ved anvendelse af en selektiv absorber (type C).

Dæklagssystemernes egenskaber vedr. soltransmittans og varmetab er vist i tab. 8.2. Det effektive transmittans-absorptans produkt er angivet for direkte stråling, $(\tau\alpha)_{e,dir}$, og diffus stråling, $(\tau\alpha)_{e,dif}$. Dæklagets varmetabskoefficient, U_L , svarer til en forskel på 20 °C mellem absorberen og omgivelserne, idet omgivelsernes temperatur er ca. 10 °C. Der er regnet med en vindhastighed på 5 m/s. I den angivne værdi for U_L er medregnet kuldebroeffekten fra rammesystemet. Denne er sat til 0,2 W/K pr. m² absorber.

Dæklag	$(\tau\alpha)_{e,dir}$	$(\tau\alpha)_{e,dif}$	U_L [W/m ² K]
A	0,63	0,35	1,9
B	0,72	0,52	1,1
C	0,84	0,76	2,8

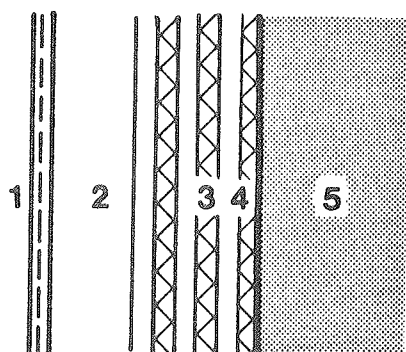
Tabel 8.2 Egenskaber for de dæklagssystemer der er undersøgt i projektet.

De undersøgte solvægges principielle udformning er skitseret i fig. 8.1.

8.3.2 Udvendig efterisolering

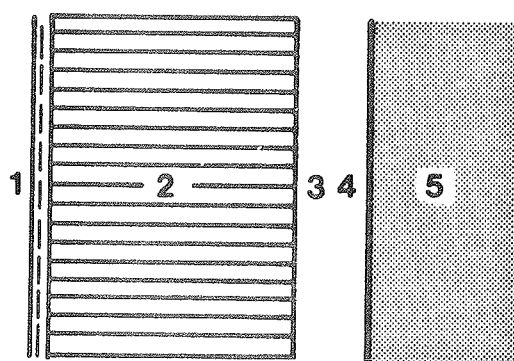
På den del af bygningens ydervægge, der ikke forsynes med solvægge, kan i stedet etableres en udvendig efterisolering. I beregningerne er betragtet forskellige tykkelser mineraluld (50 - 200 mm) med en varmeledningsevne på 39 mW/mK, for dels at kunne variere facadens udtryk og geometri, dels at vurdere energibesparelsen sammenholdt med mer-udgiften ved en øget isoleringstykkelse.

Træ-andelen i det inhomogene lag ved en udvendig efterisolering er typisk 10%, hvilket også er benyttet i dette projekt. Udformningen af den udvendige facadebeklædning er skitseret i kap. 3. Varmetabskoefficienten, U , for hhv. massiv mur og ringe isoleret



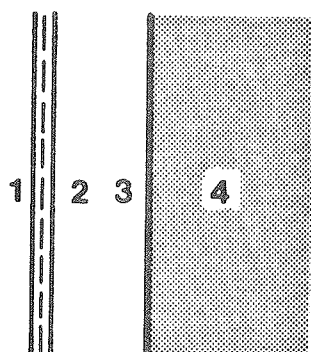
Type A:

- 1) Hærdet jernfrit glas
- 2) Lufthulrum
- 3) Isoflex (30 mm)
- 4) Alm. matsort absorber
- 5) Ydermur



Type B:

- 1) Hærdet jernfrit glas
- 2) Honeycombs (100 mm, tværsnit 3 x 4 mm)
- 3) Lufthulrum
- 4) Alm. matsort absorber
- 5) Ydermur



Type C:

- 1) Hærdet jernfrit glas
- 2) Lufthulrum
- 3) Selektiv absorber
- 4) Ydermur

Figur 8.1 Principiel udformning af solvægge der er undersøgt i dette projekt.

hulmur før og efter forskellige typer efterisolering er angivet i tab. 8.3.

ydermur	tykkelse af efterisolering, [mm]					
	0	50	75	100	150	200
massiv	1,46	0,46	0,37	0,31	0,23	0,19
"hulmur"	0,89	0,39	0,32	0,27	0,21	0,17

Tabel 8.3 Varmetabskoefficient, $[W/m^2K]$, for bygningens ydermure før og efter en udvendig efterisolering.

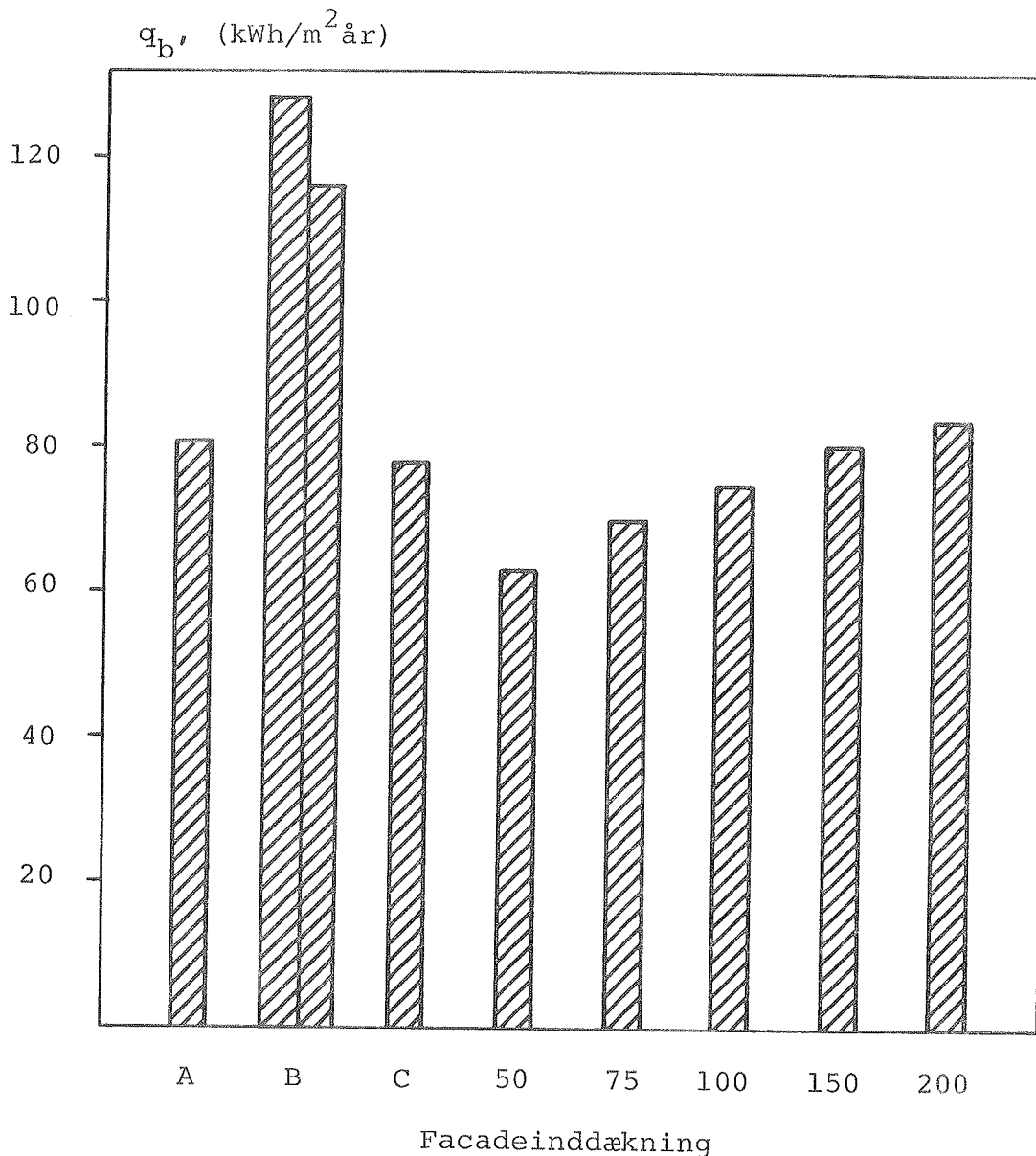
8.4 Energibesparelser

I det følgende er de forventede energibesparelser ved forskellige kombinationer af solvægge og udvendig efterisolering beregnet.

8.4.1 Solvægge kontra udvendig efterisolering

Den energimæssige gevinst ved at anvende uventilerede solvægge i stedet for en udvendig efterisolering i et byggeri, som det her undersøgte, er beskrevet nedenfor. Vurderingen er foretaget ved at beregne den årlige energibesparelse pr. m^2 solvæg eller efterisoleret mur. Ved vurderingen er solvæggene placeret både på en vest-sydvest-vendt facade og på en syd-sydøst-vendt gavl. Sammenligningen er foretaget ved en tilsvarende placering af den udvendige efterisolering. Resultatet af beregningerne er vist i fig. 8.2. De beregnede besparelser, q_b , er vægtede middelværdier for solvægge eller efterisolering placeret foran hhv. en massiv mur eller en ringe isoleret hulmur. For solvægge er den årlige besparelse beregnet for både 50 og 100 mm honeycombs (type B).

Af figuren fremgår, at solvæggene generelt resulterer i større besparelser end en udvendig efterisolering, samt at sidstnævnte skal være meget tyk (> 150 mm) for at give besparelser, der er større end, hvad der opnås med de skitserede solvægge (type A).



Figur 8.2 Årlig middelenergibesparelse pr. m² inddækket ydermur for forskellige facadeinddækninger. A,B,C: Solvægge; 50, 75, 100, 150, 200: Tykkelse af mineraluld ved udvendig efterisolering (mm).

I stueetagen består ydermuren af massivt murværk, mens ydermuren på første og anden sal er en ringe isoleret hulmur med faste binderkolonner. Der kan derfor forventes et ringere udbytte for solvægge placeret på første sal i forhold til solvægge placeret i stueetagen. Herudover kan der pga. forskellig solindstråling, skyggeforhold og orientering for gavl og facade forventes forskellige energibesparelser, afhængigt af solvæggens placering.

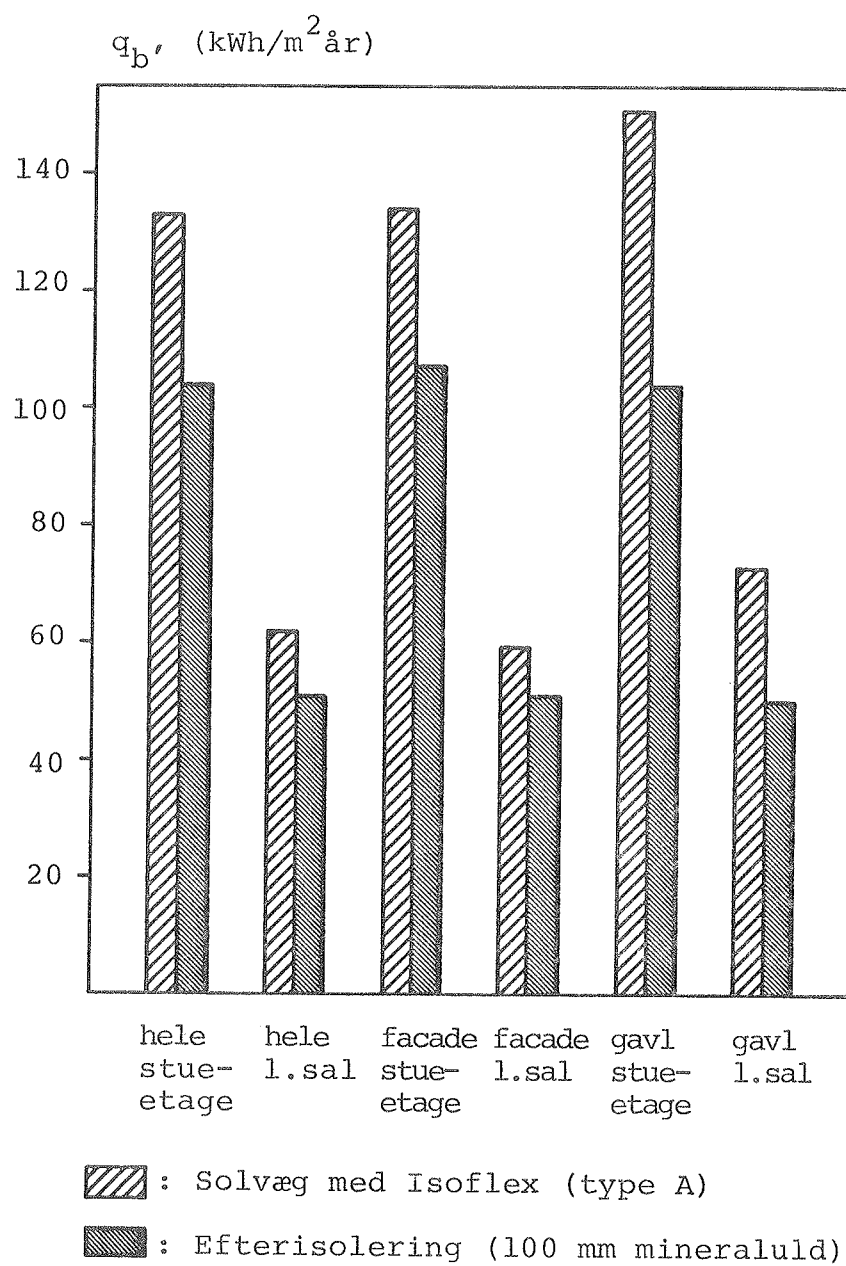
Disse forhold er vurderet, og resultatet heraf er vist i fig. 8.3. Ved vurderingen er benyttet en solvæg med Isoflex (type A), der er sammenlignet med en udvendig efterisolering med 100 mm mineraluld.

Det fremgår af fig. 8.3, at solvægge giver en større energibesparelse end en udvendig efterisolering, både når bagmuren er en massiv teglstensmur (stueetage), og når den består af en ringe isoleret hulmur (første sal). Den relative forskel er typisk mellem 20 og 40 % i solvæggenes favør. Det ses dog også, at der er stor forskel på, om bagmuren er isoleret eller ej.

Umiddelbart ser det ud til, at en placering i gavlen giver det største udbytte pr. m² solvæg. Dette kan dog være misvisende, da det pga. visse begrænsninger i simuleringsprogrammet, som allerede nævnt har været nødvendigt at beskrive hver etage som én sammenhængende zone. Herved vil solvægge placeret i gavlen, ved simuleringerne kunne afgive varme til alle de bagvedliggende lejligheder på den pågældende etage, og ikke kun den lejlighed ud for hvilken solvæggen er placeret. Det vises imidlertid i afsnit 8.4.3, at disse uventilerede solvægge primært fungerer som en effektiv efterisolering, og kun i begrænset omfang giver et energitilskud til boligen.

Det er derfor rimeligt for denne bebyggelse at forvente et større udbytte pr. m² solvæg, når disse placeres i gavlen fremfor i facaden. En placering i gavlen vil desuden være betydeligt simplere at udføre, da der her er tale om en mere regulær og ubrudt overflade med kun to vinduer. Dette omtales nærmere i afsnit 8.4.2.

Ud fra et arkitektonisk og socialt synspunkt kan det være attraktivt at placere solvæggene i facaden i stedet for i gavlen. En sådan placering giver flere muligheder for at gøre huset levende gennem et varieret facadeudtryk, og giver desuden husets beboere indtryk af en mere "retfærdig" fordeling af energibesparelserne.



Figur 8.3 Årlig energibesparelse pr. m² inddækket ydermur, q_b , for solvægge eller efterisolering placeret i stueetage eller på første sal i gavl og/eller facade.

8.4.2 Skitserede projekter

Forslag 1 og 2

I kap. 3 er givet 2 forslag til, hvordan solvægge kan kombineres med en udvendig efterisolering. Forslagene betegnes hhv. forslag 1 og forslag 2. For begge forslag er foretaget beregninger for alle de i afsnit 8.3 beskrevne typer facadeinddækning. Forventet energiforbrug og -besparelse samt relativ besparelse er vist i tab. 8.4.

Hovedkonklusionen af beregningerne er, at den største energibesparelse opnås ved en kombination af solvægge og efterisolering som beskrevet i forslag 2.

En solvæg med et dæklag bestående af 1 lag glas og en selektiv absorber (type C) er knap 10% dyrere end en solvæg med Isoflex og en almindelig matsort absorber (type A). En solvæg med honeycombs (type B) er ca. 20% dyrere end en solvæg med Isoflex. Da energibesparelsen for solvægge af type A eller type C er stort set ens, vil en solvæg med enten Isoflex eller honeycombs være bedst egnet. Hvilken type, der bør anvendes, vil være bestemt af, hvor store økonomiske ressourcer der er til rådighed ved en projektering.

Af beregningerne fremgår desuden, at der ikke er stor forskel på de opnåelige energibesparelser, når den udvendige isolering er hhv. 50, 75, 100 eller 200 mm tyk. Dette skyldes, at en stor del af de ydervægsarealer, der ikke dækkes af solvægge, i forvejen er hulmursisolerede. Ved en projektering vil valget af isoleringstykkelse derfor dels være bestemt af, hvilken tykkelse der er den økonomisk mest rentable, dels hvilke arkitektoniske ønsker der kan være til forskellige "spring" i facaden.

Hvis der ikke benyttes solvægge, men i stedet foretages en udvendig efterisolering af hele byggeriet med hhv. 50, 75, 100, 150 og 200 mm mineraluld, udgør de respektive relative energibesparelser 27, 30, 32, 35 og 36%.

Forslag	Solvæg	Udvendig isolering [mm]	Q_m [kWh/år]	Q_b [kWh/år]	R [%]
1	Honeycomb	50	50811	29035	36
1	-	75	49359	30487	38
1	-	100	48658	31188	39
1	-	200	46893	32953	41
1	Isoflex	50	56550	23296	29
1	-	75	55046	24800	31
1	-	100	54320	25526	32
1	-	200	52491	27355	34
1	Selektiv absorber	50	56953	22893	29
1	-	75	55455	24391	31
1	-	100	54732	25114	31
1	-	200	52911	26935	34
2	Honeycomb	50	48356	31490	39
2	-	75	47152	32694	41
2	-	100	46368	33478	42
2	-	200	44746	35100	44
2	Isoflex	50	54500	25346	32
2	-	75	53250	26596	33
2	-	100	52436	24410	34
2	-	200	50754	29092	36
2	Selektiv absorber	50	54956	24890	31
2	-	75	53711	26135	33
2	-	100	52901	26945	34
2	-	200	51226	28620	36

Tabel 8.4 Energiforbrug, Q_m , og -besparelse, Q_b , samt relativ besparelse, R, for forskellige kombinationer af solvægge og udvendig efterisolering.

Fuldskalaforsøg

For at afprøve de her skitserede ideer i praksis, forventes dette projekt i løbet af 1990 fulgt op af et fuldskalaforsøg. Det vil ikke være muligt indenfor de økonomiske rammer, der er udsigt til at blive bevilget, at opføre både solvægge og en udvendig efterisolering, hvorfor et fuldskalaforsøg alene vil koncentrere sig om solvægge.

For at kunne inddække så mange kvm. ydervæg som muligt, vil det være fordelagtigt at placere solvæggene på hele den syd-sydøst-ventede gavl, da der i denne kun findes 2 vinduer. Det vil således ikke være nødvendigt at foretage mange og fordyrende inddækninger i gavlen, hvorimod en inddækning af facaden vil være betydeligt dyrere pr. inddækket m².

For at kunne vurdere de temperaturafhængige bevægelser og følgerne heraf, når ydermuren forsynes med solvægge, vil det være fornuftigt også at inddække den del af den vest-syd-sydvest-ventede facade, der støder op til gavlen. Som det fremgår af kap. 13, vil den gennemsnitlige anlægspris uden statstilskud være ca. 1330 kr. pr. m² solvæg (type A). I gavlen kan placeres ca. 67 m² solvæg. Det vil således være muligt, hvis der modtages den forventede bevilling på godt 150.000 kr. til materialer, at inddække ca. 46 m² af facaden svarende til ca. 45% af facadearealet.

Udgangspunktet for et fuldskalaforsøg er således en inddækning af hele den syd-sydøst-ventede gavl samt den sydligste halvdel af den vest-sydvest-ventede facade. En sådan inddækning vil, foruden en vurdering af energiforbruget, give mulighed for at vurdere evt. gener i form af overtemperaturer i en lejlighed med en stor inddækningsgrad (gavllejlighed), sammenlignet med en lejlighed med en lille inddækningsgrad (lejlighed placeret "midt i facade").

Udover at benytte solvægge med Isoflex, kunne det overvejes at benytte honeycombs af tykkelsen 50 mm, hvilket vil give en

solvæg, der har omtrent samme dimension som en solvæg med Isoflex, hvorfor samme inddækningssystem kan benyttes. En solvæg med 50 mm honeycombs er ca. 125 kr. dyrere pr. m² end en solvæg med Isoflex, hvorfor kun ca. 35% af facaden kan inddækkes.

Varmetabskoefficient og soltransmittans for et dæklagssystem med 50 mm honeycombs er: $U_L = 1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $(\tau\alpha)_{e,dir} = 0,77$ og $(\tau\alpha)_{e,dif} = 0,52$. De forventede besparelser for de ovenfor beskrevne inddækninger er vist i tab. 8.5. For sammenligningens skyld er desuden vist de forventede besparelser for en inddækning med 100 mm mineraluld. Denne koster ca. 1000 kr. pr. m², hvorfor det vil være muligt at inddække 150 m² ydermur svarende til hele gavlen samt 80 % af facadearealet.

Solvæg el. efterisolering	Q_m [kWh/år]	q_b [kWh/m ² år]	R [%]
Isoflex	68889	97	14
50 mm honeycombs	67536	119	15
100 mm mineraluld	68554	75	14

Tabel 8.5 Forventet energiforbrug, Q_m , og -besparelser pr. m² inddækning, q_b , samt relativ besparelse, R, ved gennemførelse af et fuldskala-forsøg med solvægge.

Af tabellen fremgår, at det for en given sum penge vil være lige attraktivt, mht. opnåelige energibesparelser, at benytte solvægge eller en udvendig efterisolering.

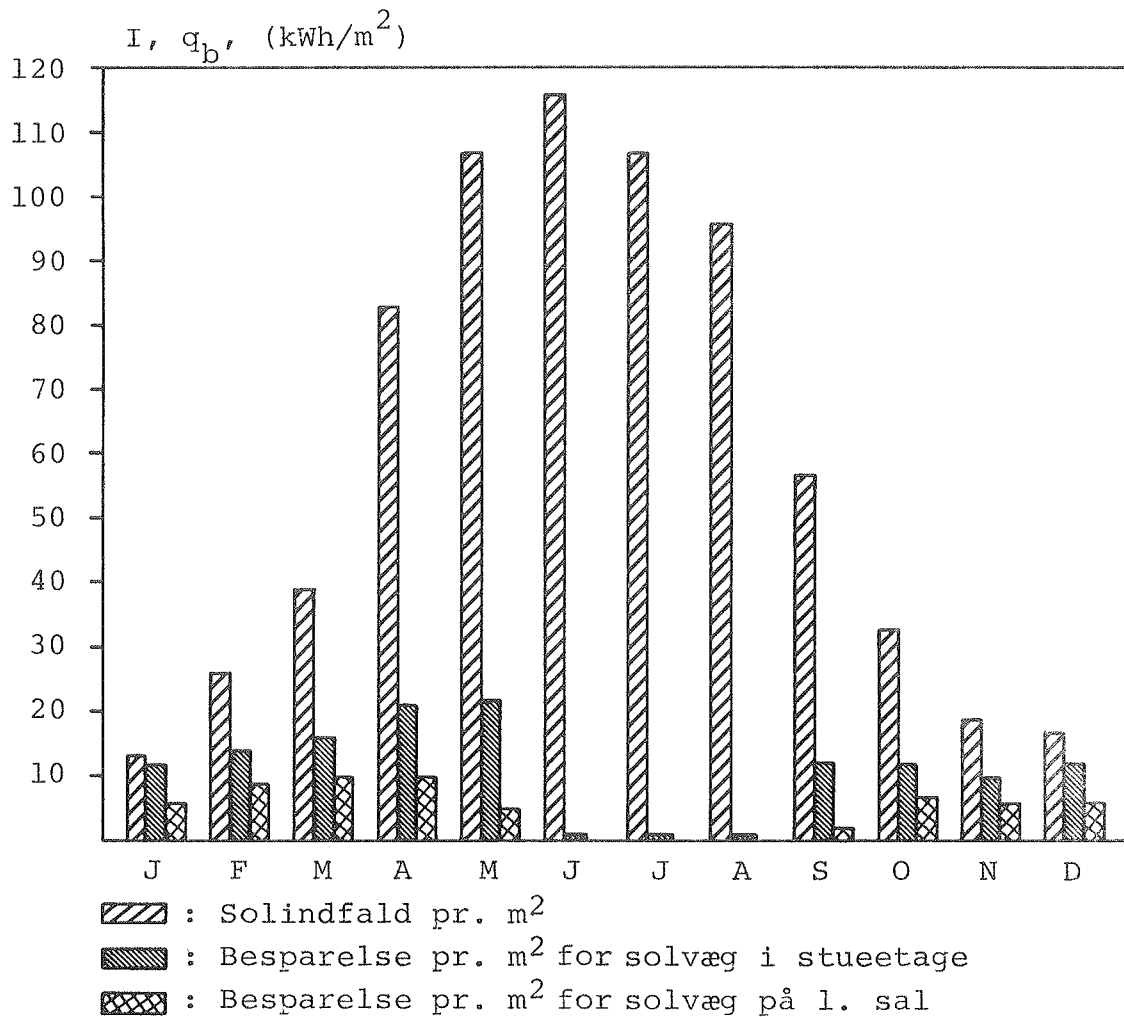
8.4.3 Udnyttelse af solindfald

I det følgende er undersøgt, hvor stor besparelsen pr. m² solvæg er i forhold til solindfaldet. Desuden er det undersøgt, hvorvidt solvæggene blot har en isolerende effekt, eller om de i fyringssæsonen også tilfører huset energi til rumopvarmning og i givet fald, hvor stor den tilførte effekt er.

Solvægge placeret på gavlen eller facaden udsættes, som vist i fig. 8.3, for omtrent den samme mængde solstråling og resulterer i lige store besparelser. Undersøgelsen kan derfor begrænses til kun at omfatte solvægge placeret på facaden i hhv. stueetagen og på 1. sal.

"Udnyttelsesgrad"

Solvæggens "udnyttelsesgrad" eller evne til at udnytte solindstrålingen, I , er udtrykt ved den normerede energibesparelse, q_b , der er defineret i afsnit 8.2.2. "Udnyttelsesgraden" for solvægge placeret på den vest-sydvest-vendte facade i hhv. stueetagen og på 1. sal, er vist i fig. 8.4. Der er benyttet en solvæg med Isoflex.



Figur 8.4 Solindstråling, I , og udbytte, q_b , for solvægge, type A, placeret i vest-sydvest-vendt facade i hhv. stueetagen og på 1. sal.

Det ses, at besparelserne er nogenlunde jævnt fordelt over fyringssæsonen, men at solvæggene giver størst udbytte i forårs- og efterårsmånederne. Det ses desuden, at der i vintermånederne er tale om ganske høje udnyttelsesgrader (op til 92%). Det skal understreges, at udnyttelsesgraden ikke repræsenterer en egentlig effektivitet for solvæggens evne til at tilføre energi til de bagvedliggende rum. En stor del af udbyttet kan tilskrives solvæggens isolerende effekt. Omfanget heraf er beskrevet nedenfor.

"Isolerende og tilskudsgivende effekt"

Ved anvendelse af solvægge optræder 3 forskellige typer varme-strømme. 1: Solvæggene bevirker en reduktion af boligens varmetab gennem deres eget areal (isolerende effekt). 2: Solvæggene dækker noget af varmetabet gennem andre ydervægge ved i princippet at virke som radiatorer (tilskudsgivende effekt). 3: Solvæggene kan medføre en overopvarmning af rumluften i særlig varme og solrige perioder. Den samlede energibesparelse (defineret i afsnit 8.2.2) er summen af pkt. 1 og 2.

At uventilerede solvægge med transparent isolering, i deres nuværende form, skulle kunne bidrage væsentligt til opvarmning af boliger i Danmark, er efter forfatterens vurdering en for optimistisk antagelse. Det er derfor undersøgt, dels hvor stor en del af den samlede energibesparelse der skyldes solvæggens isolerende effekt, dels i hvor høj grad solvæggene medvirker til en opvarmning af boligen. Ved vurderingen er benyttet en solvæg med Isoflex.

Beregninger viser, at størrelsen af det samlede varmetilskud fra solvæggene, pkt. 2 + pkt. 3, i fyringssæsonen svarer til godt 30% af den samlede energibesparelse. En stor del af dette varmetilskud (pkt. 3) bevirker imidlertid, at indetemperaturen overstiger 20 °C. Det er således kun en del af den fra solvæggene tilførte effekt, der medvirker til en energibesparelse. Den tilførte effekt reduceres derfor, så kun den del, der reelt bevirker en energibesparelse (pkt. 2), medregnes. Herefter udgør solvæggens tilskudsgivende effekt knap 20% af den samlede energi-

besparelse. Det fremgår således, at uventilerede solvægge med transparent isolering, anvendt i Danmark, primært har en isolerende effekt. Denne stammer dels fra solvæggens isolerende dæklag, dels fra den i muren lagrede solvarme, der hæver temperaturen i ydermuren og derved reducerer transmissionstabet gennem denne.

8.5 Termisk komfort

Ved opsætning af solvægge vil der være risiko for overtemperaturer i perioder med kraftigt solindfald. Derudover vil solvæggene i fyringssæsonen kunne medvirke til et forbedret indeklima i kraft af højere overfladetemperaturer på indersiden af de ydervægge, der forsynes med solvægge. Disse forhold er undersøgt i det følgende.

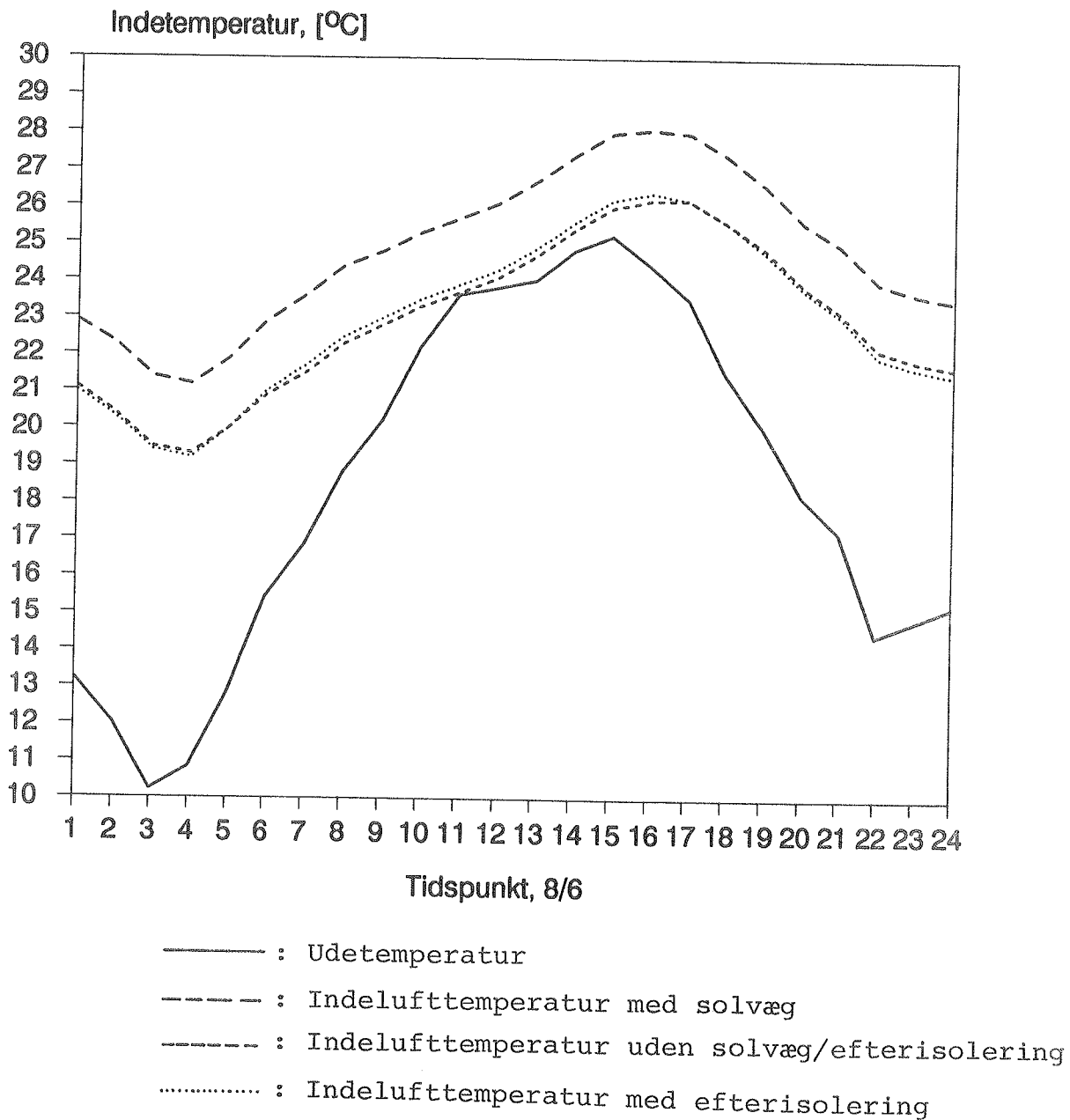
8.5.1 Rumlufttemperaturer

Det er undersøgt, i hvor høj grad anvendelsen af solvægge vil tilføre boligen så meget overskudsvarme, at det i perioder med megen sol vil være problematisk ved åbning af vinduer og døre at bortventilere den varme indeluft til sikring af termisk komfort. Indelufttemperaturen, T_i , i en særlig varm og solrig periode (dagene omkring 8/6 ifølge /8/) er beregnet, når der anvendes både solvægge og efterisolering (forslag 2 med solvæg type A og 100 mm mineraluld). Derudover er T_i , før og efter anvendelsen af solvægge eller efterisolering, når disse placeres i hele den vest-sydvest-ventede facade, beregnet.

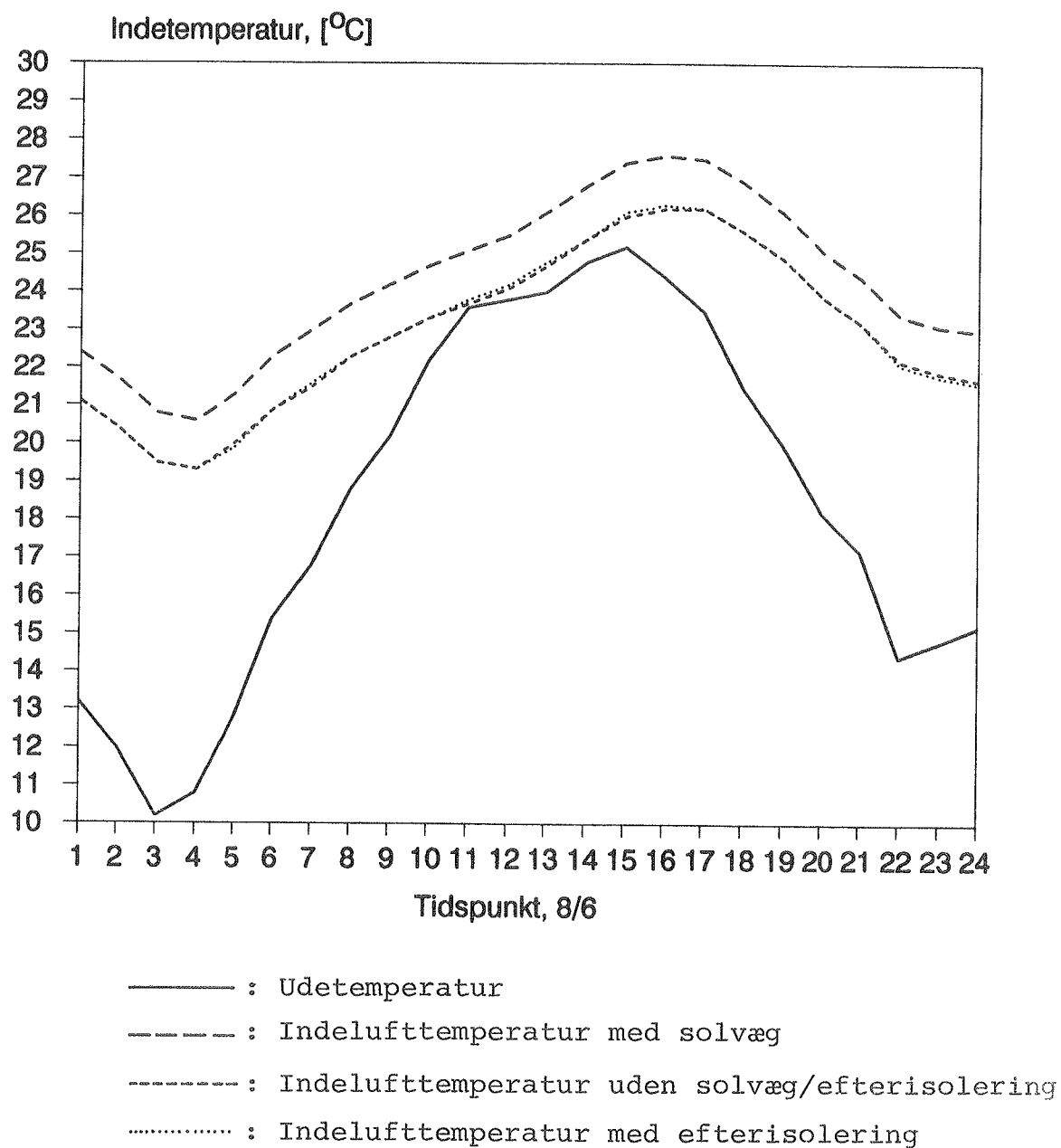
Overtemperaturer kan i et vist omfang undgås ved enten at benytte sæson-skyggegardiner, udvendig solafskærmning eller ved at udforme solvæggen, så den kan ventileres med udeluft. For en sådan "ventileret" solvæg vil det være hulrummet mellem glasset og den transparente isolering, der ventileres. Reduktionen af indelufttemperaturen vil være begrænset, da muren stadig vil blive opvarmet af solen, ligesom den transparente isolering vil reducere varmetabet fra den opvarmede mur. Det er derfor kun effekten af at anvende sæson-skyggegardiner eller udvendig

solafskærmning, der er relevant. Anvendelsen af sådanne vil betyde, at prisen på solvæggene stiger. Dette omtales nærmere i kap. 13. I perioder med risiko for overopvarmning simuleres en øget ventilation som beskrevet i afsnit 8.2.2.

Resultatet af beregningerne er vist i fig. 8.5 og 8.6. Beregningerne er foretaget for et rum på 1. sal. Tilsvarende forhold, dog med mindre ekstrema, er gældende for stueetagen.



Figur 8.5 Middelude- og indelufttemperatur på en varm sommerdag med og uden efterisolering og solvægge som beskrevet i forslag 2.



Figur 8.6 Middelude- og indelufttemperatur på en varm sommerdag med og uden efterisolering (100 mm mineraluld) eller solvæg (type A).

Det ses af fig. 8.5, at den maksimale indelufttemperatur ved en inddækning svarende til forslag 2 stiger $1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ på en varm sommerdag i forhold til, hvis der ingen inddækning foretages. For en udvendig efterisolering sker en forøgelse af indelufttemperaturen på $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Beregninger viser, at samme beskedne temperaturstigning vil kunne opnås ved anvendelse af solvægge med sæson-skyggegardiner.

Af fig. 8.6 ses, at hvis der kun foretages en energirenovierung v.h.a. solvægge placeret i facaden fås en temperaturstigning på $1,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, mens en tilsvarende udvendig efterisolering giver en stigning på $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Som det også var tilfældet ved en inddækning af hele bygningen, viser beregninger, at anvendelsen af sæson-skyggegardiner vil bevirke samme lave overtemperaturer, som en inddækning, der udelukkende består af en efterisolering.

Hvorvidt de højere indetemperaturer vil medføre termisk diskomfort afhænger af personernes påklædning og aktivitet samt den relative lufthastighed. Disse termiske indeklimaparametre kan bestemmes i henhold til /16/. Om sommeren vil beklædningen typisk svare til en isolans på $0,08\text{ W/m}^2\text{K} \approx 0,5\text{ clo}$, og typisk indendørs aktivitet til et stofskifte på $70\text{ W/m}^2 \approx 1,2\text{ met}$. Det kraftige luftskifte pga. åbnede vinduer og døre svarer til en relativ lufthastighed på ca. $0,4\text{ m/s}$. Hermed kan den termiske komfort vurderes, idet antallet af utilfredse ved en given indelufttemperatur kan bestemmes. Denne sammenhæng er vist i tab. 8.6, hvor PPD angiver antallet af utilfredse i %. For $T_i \leq 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ er luftskiftet i bygningen $0,5\text{ pr. time}$, hvorfor der er benyttet en relativ lufthastighed på $0,13\text{ m/s}$ samt en beklædning svarende til en isolans på $0,75\text{ clo}$.

$T_i, [^{\circ}\text{C}]$	22	24	26	26,2	27	27,5	28,1	29
PPD, [%]	7	20	5	5	6	9	14	25

Tabel 8.6 Antal utilfredse, PPD, i forhold til indelufttemperaturen, T_i .

Ifølge /16/ opfylder en tilstand, hvor antallet af utilfredse er mindre end 10% kravet til termisk komfort. Der er således ikke tale om termisk diskomfort før solvægge og efterisolering monteres. Ved en inddækning som foreslået i forslag 2, forøges den maksimale indelufttemperatur blot fra 26,2 °C til 28,1 °C.

Hvis ikke der benyttes sæson-skyggegardiner, vil termisk diskomfort i form af overtemperaturer således forekomme i en kort periode sidst på eftermiddagen. Dette vil imidlertid ske så sjældent, at beboerne kun vil opleve termisk diskomfort i begrænset omfang. Desuden gælder det, at oplevelsen af det termiske indeklima let kan ændres ved åbning (eller lukning) af vinduer og døre, eller ved en ændret beklædning. Det vil således ikke være et absolut krav for opnåelse af termisk komfort at benytte sæson-skyggegardiner.

Hovedkonklusionen, hvad angår det termiske indeklima, er således, at en energirenovering gennem en efterisolering og opsætning af solvægge uden solafskærmning ikke vil betyde en uacceptabel forringelse af indeklimaet i sommerperioden.

8.5.2 Indvendige overfladetemperaturer

Når solvægge anvendes som ydervægge i en bygning, vil temperaturerne på indersiden af muren i længere perioder være højere, end hvis ikke der sker nogen inddækning af muren. Det samme er tilfældet, når der foretages en efterisolering af ydervæggen. Denne temperaturstigning vil i fyringssæsonen kunne medvirke til et forbedret termisk indeklima. Beregningerne er foretaget for de i tab. 8.7 viste typer vejrlig. Solvæggenes og efterisoleringens indflydelse på de indvendige overfladetemperaturer på ydervæggen er vist i fig. 8.7 - 8.10. Kommentarer til beregningsresultaterne gælder for solvægge og efterisolering anvendt både i stueetagen (massiv teglstensmur) og på 1. sal (ringe isoleret hulmur), idet forskellen på de beregnede overfladetemperaturer, før og efter anvendelsen af solvægge eller efterisolering, vil være mindre på 1. sal i forhold til i stueetagen.

Vejrlig	Simuleret periode
A - Kolde vinterdage uden sol	28/1 - 30/1
B - Kolde vinterdage med sol	24/2 - 26/2
C - Varme forårs- og efterårsdage uden sol	17/4 - 19/4
D - Varme forårs- og efterårsdage med sol	24/4 - 26/4
E - Kolde forårs- og efterårsdage med sol	28/4 - 30/4
F - Varme sommerdage med sol	6/6 - 8/6
G - Varme sommerdage uden sol	24/7 - 25/7
H - Kolde forårs- og efterårsdage uden sol	29/10 - 31/10

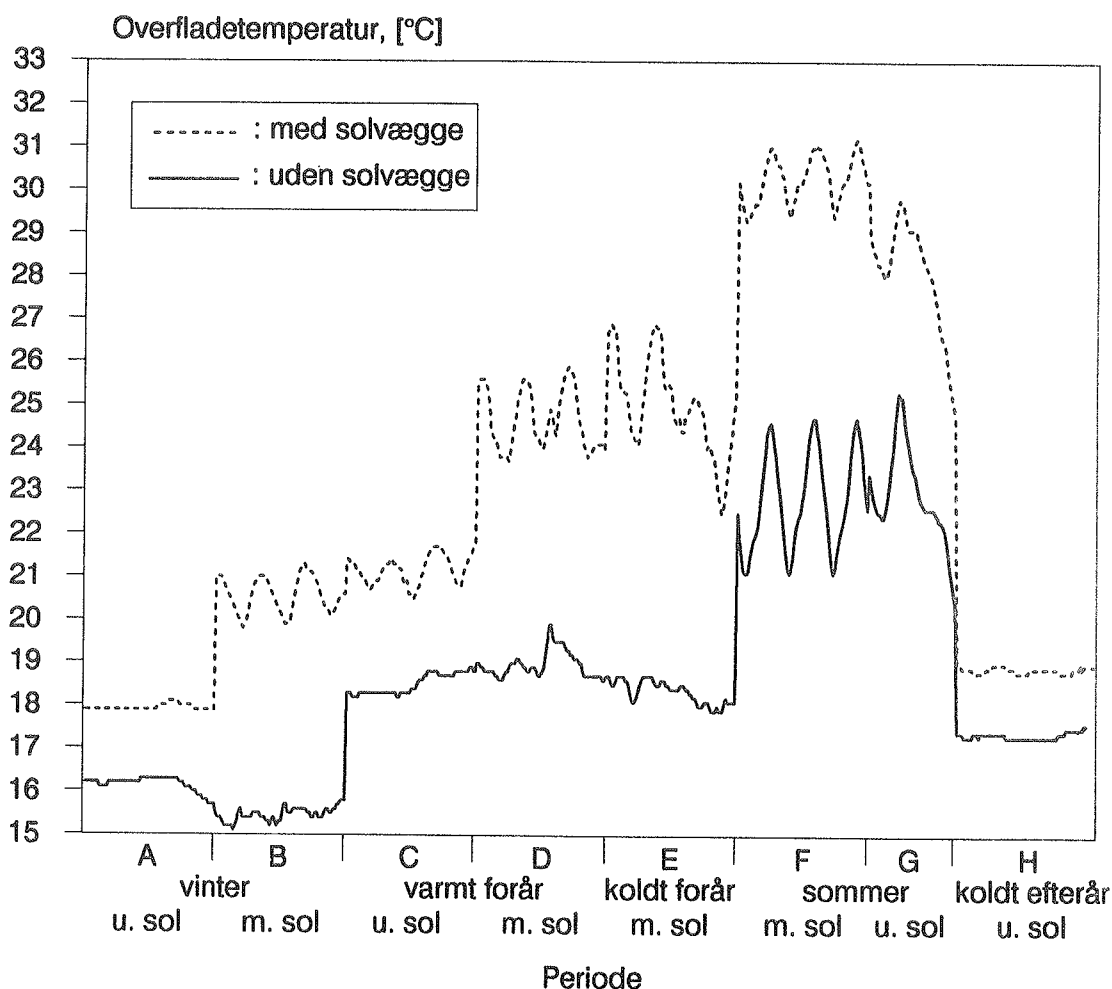
Tabel 8.7 Vejrlig og periode, hvor indvendige overfladetemperaturer er simuleret.

Af fig. 8.7 - 8.10 fremgår, at der, når der anvendes solvægge, i sommerhalvåret er stor forskel på ydervæggens indvendige overfladetemperatur, i forhold til et ikke-isoleret hus. Den indvendige overfladetemperatur er i huset med solvægge ca. 5 °C højere end rumlufttemperaturen, hvilket kan give anledning til termisk diskomfort. Forskellen kan elimineres, hvis der monteres sæsonskyggegardiner foran solvæggene. Det skal dog bemærkes, at forskellen på den maksimale indelufttemperatur, som allerede omtalt, om sommeren blot er 1,9 °C, hvorfor det sandsynligvis ikke vil være nødvendigt at benytte sæson-skyggegardiner.

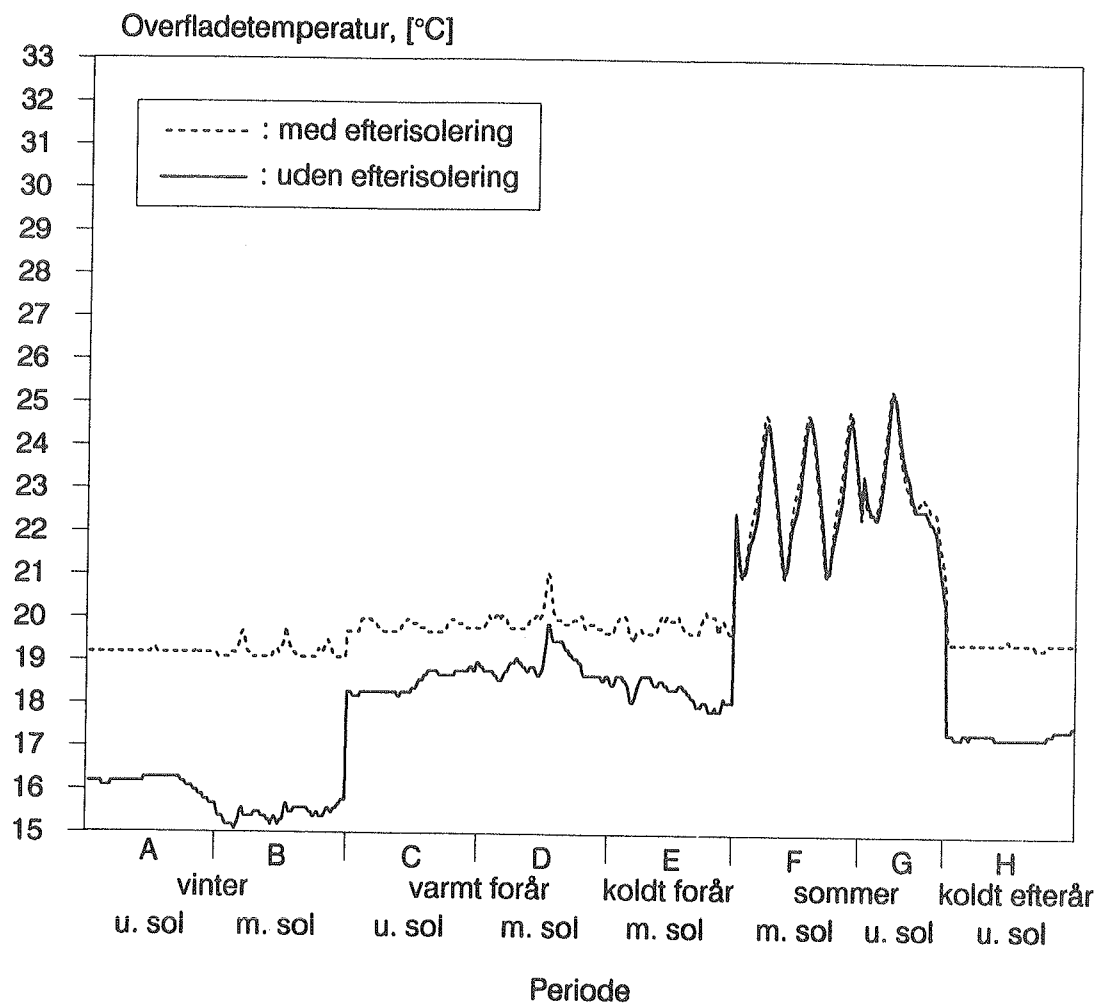
I fyringssæsonen er der 2 principielt forskellige forløb af overfladetemperaturen. I meget kolde vinter-perioder med sol (B) er overfladetemperaturen i en stuelejlighed, når der benyttes solvægge, 5 - 6 °C højere ($T_o \approx 20 - 21$ °C), end hvis der ikke foretages nogen inddækning. For en udvendig efterisolering er forskellen godt 4 °C ($T_o \approx 19 - 20$ °C). I lidt varmere vinter-perioder uden sol, (A), medfører en udvendig efterisolering en forøgelse af overfladetemperaturen på ca. 3 °C, mens solvæggene

medfører en stigning på ca. 2 °C. Der er således ikke stor forskel på, om der i vinter-perioden benyttes solvægge eller efterisolering. Dette er også tilfældet for forårs- og efterårs-perioder uden sol.

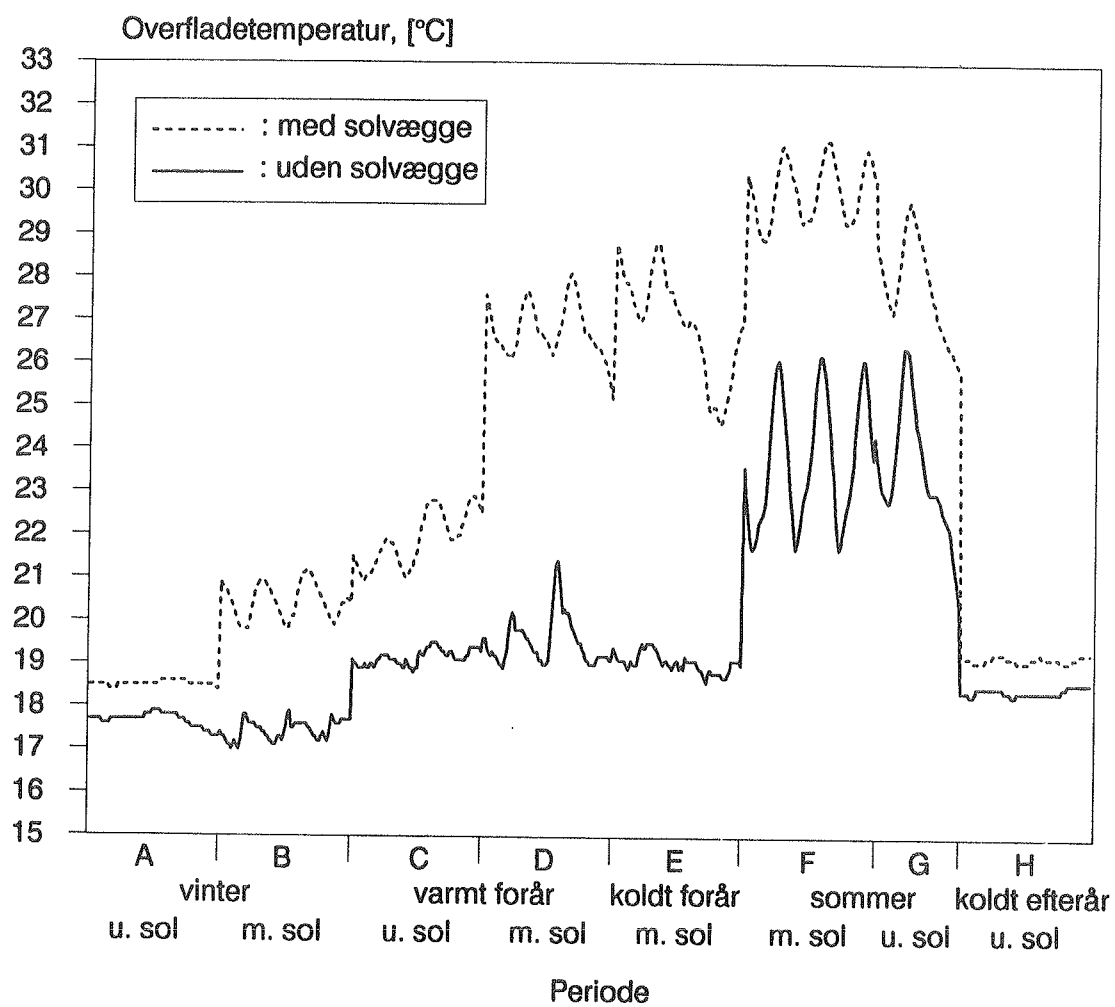
I forårs- og efterårs-perioder med sol er der derimod stor forskel på de indvendige overfladetemperatur. Når der benyttes solvægge, er forskellen i forhold til et uisoleret hus 8 °C ($T_O \approx 27$ °C), mens forskellen for en efterisolering er ca. 1 °C ($T_O \approx 20$ °C). I samme periode varierer den rumlufttemperatur, der vil give færrest utilfredse, mellem 22 og 25 °C. Det vil således give samme ændring af den termiske komfort, hvad enten der benyttes solvægge eller en udvendig efterisolering. For begge gælder, at der vil være tale om en forbedring af det termiske indeklima.



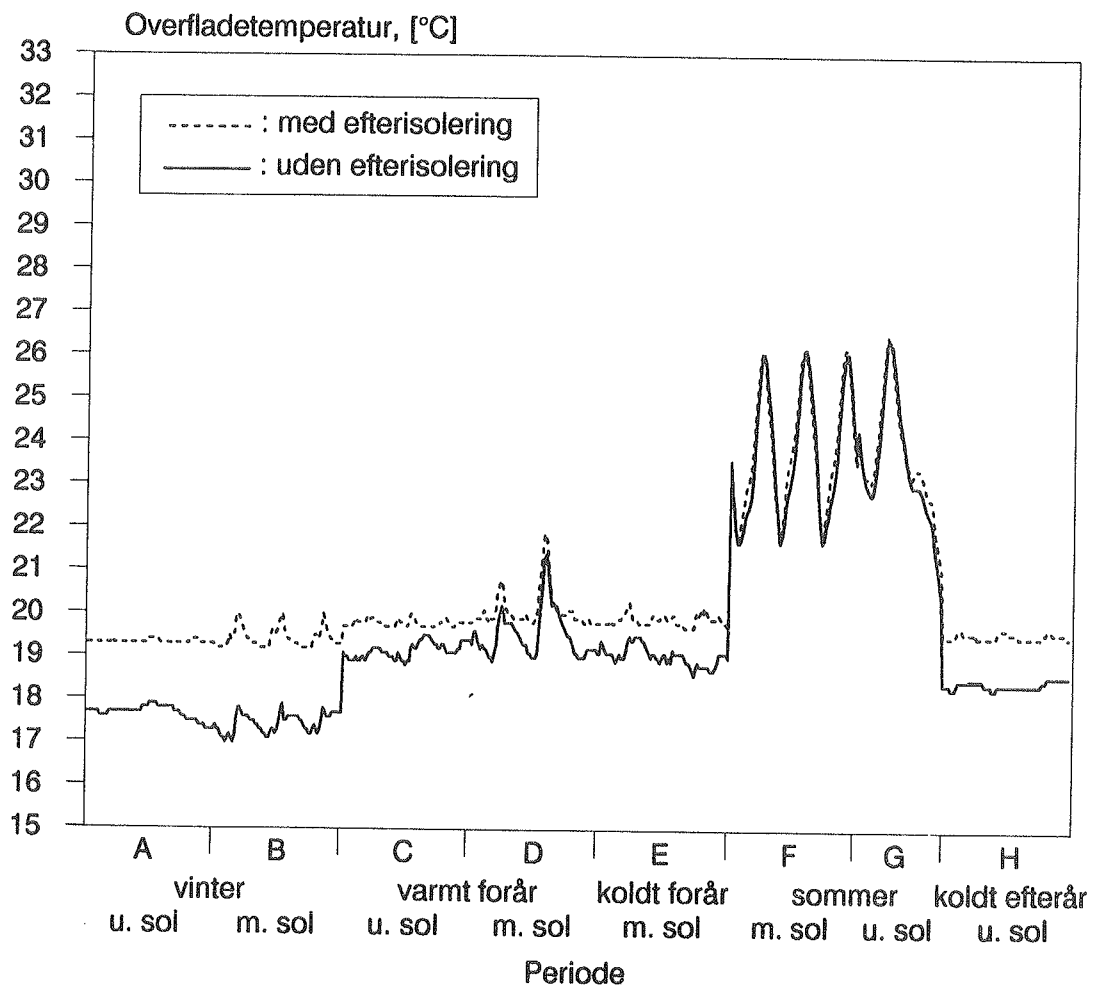
Figur 8.7 Indvendig overfladetemperatur med og uden solvæg i en lejlighed i stueetagen.



Figur 8.8 Indvendig overfladetemperatur med og uden efterisolering i en lejlighed i stueetagen.



Figur 8.9 Indvendig overfladetemperatur med og uden solvæg i en lejlighed på 1. sal.



Figur 8.10 Indvendig overfladetemperatur med og uden efterisolering i en lejlighed på 1. sal.

9. TEMPERATURBEVÆGELSER I MURVÆRKET

Ved analysen af temperaturafhængige bevægelser i murværket er benyttet en solvæg med Isoflex (type A).

Ved maximalt solindfald på solvæggen kan opnås en temperaturforskell mellem ydersiden og indersiden af muren på $65^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}$.

Den på ydersiden beregnede temperatur på 65°C er beregnet for en særlig solrig dag (6/6-8/6 ifølge /8/), og vil kun sjældent optræde i praksis. Dog vil vi bruge denne temperatur som ekstremum for vores videre beregninger af væggenes temperaturudvidelser. Det skal nævnes, at man under ingen omstændigheder vil kunne få hele det murværk, der er dækket af glasset opvarmet ensartet til samme temperatur, så derfor vil vi i de følgende beregninger skønne et arealforhold mellem ekstremumtemperaturer og lavere temperaturer.

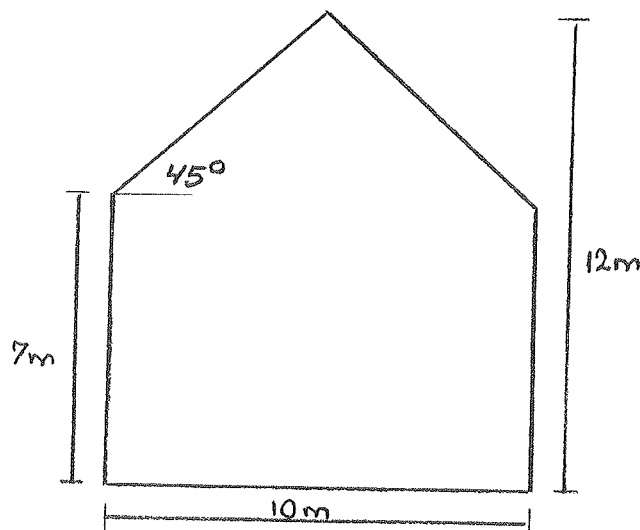
Vi beskæftige os med gavlarealerne, da disse udsættes for en større solbestråling end facaderne.

DATA

Gavlen består af 36 cm murværk funderet på en betonkældervæg. Gavlen er massiv mur i stueetagen og ringe isoleret hulmur på 1. sal og tagetagen. Afstand mellem for- og bagmur er 12 cm. Etageadskillelsen spænder mellem facader, hvorved gavlen kan regnes som selvstændig konstruktion for lodret last kun belastet af sin egen vægt. Gavlen er muret sammen med de murede facader, som afstiver gavlen vandret, tillige med den gennemgående murede væg midt i bygningen fra gavl til gavl. Disse vandrette afstivninger har betydning for gavlen ved påvirkning af vindlast.

Ved beregninger af de murede vægges udvidelse, benyttes den fra normen, DS 414, angivne udvidelseskoefficient på $5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Gavlens geometriske forhold er vist i fig. 9.1.



Figur 9.1. Gavlens geometriske forhold.

Tænker vi os, at hele denne gavl opvarmes fra 0°C i en vintersituation til 65°C i sommerperioden opnår vi et ekstremt temperaturinterval, som vil give en vandret udvidelse af murværket i forhold til de 0°C på:

$$\begin{aligned}\Delta t &= 65^{\circ}\text{C} \\ l &= 10.000 \text{ mm (gavlens bredde)} \\ \Delta l &= 65^{\circ}\text{C} \times 10.000 \text{ mm} \times 5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1} \\ &= 3,25 \text{ mm}\end{aligned}$$

Denne udvidelse vil fordele sig jævnt over tværsnittet, således at der vil forekomme en opsummeret vandret udvidelse på $1/2 \times 3,25 = 1,63 \text{ mm}$ i hver side, af det betragtede areal.

Dette er tilstrækkeligt til, at der vil opstå et vandret tryk på facademurene vinkelret på deres plan. Disse vandrette kræfter vil medføre, at facaderne vil revne i murværket i overgangen fra gavlmurene. Såfremt dette skal undgås, skal murværket have en udvidelsesmulighed, hvilket kan etableres ved at fræse en lodret rille i murværket i gavlen, som udfyldes med fugemasse.

Det skal herudover bemærkes, at de øverste inddækkede felter mod tag er kritiske, da der her er meget lidt masse til at optage såvel de lodrette som de vandrette kræfter (udvidelser). Dette må disse steder uvilkaarligt medføre, at de yderste rækker mursten vil slå fra (blive løse), samt at tagsten og forskællingen vil gå løs.

Det øverste stykke murværk, som ligger ud for et uopvarmet tagrum, vil revne, da dette murværk vil være koldt i forhold til det inddækkede murværk herunder.

Som omtalt i begyndelsen af dette afsnit bør man ved beregning af den i praksis forekommende udvidelse skønne et areal, hvor den maksimale temperatur forekommer.

Hvis vi skønner, at ca. 50% af det inddækkede areal på gavlen bliver opvarmet til de 65°C , og det resterende areal bliver opvarmen til mellem $40 - 50^{\circ}\text{C}$, vil udvidelserne blive som følger:

Vandret udvidelse:

$$\begin{aligned}\Delta t &= 45^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C} = 45^{\circ}\text{C}, & t &= 65^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C} = 65^{\circ}\text{C} \\ l &= 10.000 \text{ mm} \quad (\text{gavlens bredde}) \\ \Delta l &= (10.000 \text{ mm} \times 0,5 \times 5 \times 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}) \times (45^{\circ}\text{C} + 65^{\circ}\text{C}) \\ &= 2,75 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dette svarer til en udvidelse i hver side på $\Delta l = 1,38 \text{ mm}$. Dette medfører, at man skal tage højde for disse udvidelser ved at etablere dilatationsfuger med fugemasse på de kritiske steder.

Lodrette bevægelser er på de glasinddækkede arealer større end på de ikke glasinddækkede, hvorved der vil opstå forskydningskræfter i overgangszonerne. For at undgå revner i murværket disse steder etableres lodrette dilatationsfuger med fugemasse.

De termiske bevægelser er vurderet af Laboratoriet for Bygningsmaterialer på Danmarks Tekniske Højskole, vurderingen er vedlagt i appendix A5 s. 113.

10. FUGTMÆSSIGE FORHOLD

Fugt kan tilføres konstruktionen på to måder. Dels kan udeluftens fugt afsættes i den ventilerede luftspalte, hvis den passerer kolde flader, dels kan der ske en diffusiv transport gennem den oprindelige murværkskonstruktion af fugt fra indeluften.

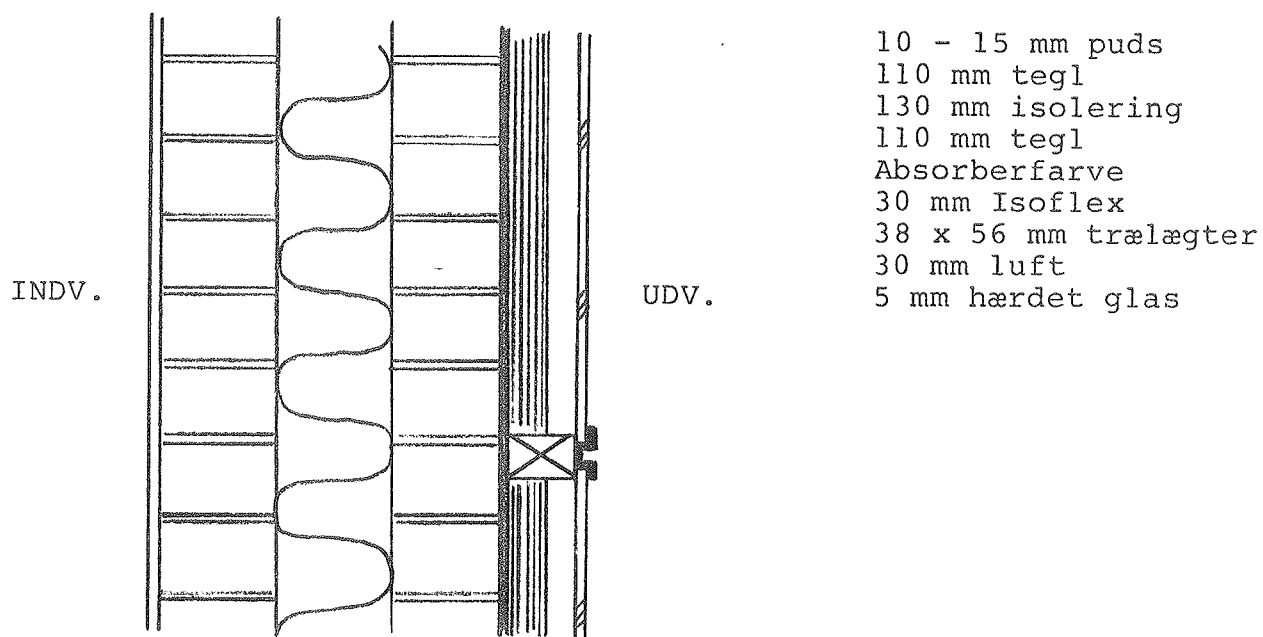
I visse perioder af året vil der forekomme kondensdannelse på den indvendige side af solvæggens glasflader. Dette kan eksempelvis forekomme om natten, når glasfladerne kan blive koldere end luftens dugpunktstemperatur.

Denne kondens skal bortledes eller ventileres bort fra konstruktionen på andre tidspunkter af døgnet, således at man undgår, at de i solvæggen indgående materialer optager fugten - med deraf følgende skader.

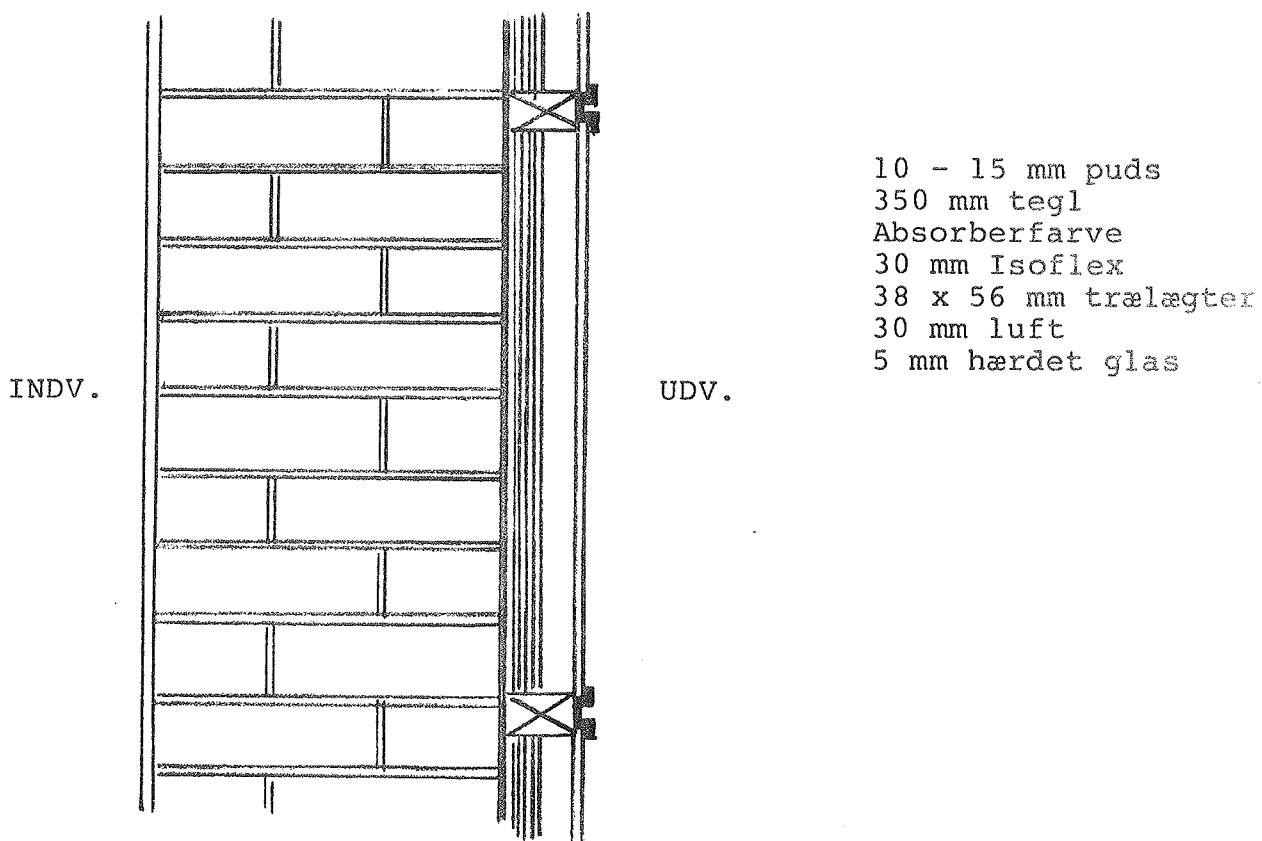
I solvægssystemet er der taget højde herfor ved ventilering af de tværgående alu-sprosser, se appendix A6, s. 116.

Potentialet for ophobning af fugt fra indeluften opstår fordi damptransporten vil være udadrettet i perioder, hvor absorberfladens temperatur er lavere end indeluftens dugpunkt. Fugten vil enten ophobes i teglstenene bag absorbermalingen, da denne har en vis diffusionsmodstand, eller fugten vil trænge ud i spalten mellem absorbermaling og Isoflex-profilet. Da Isoflex'en ideelt set er damptæt, vil fugten ophobes på dets inderside. Her vil kondensvandet eventuelt løbe ned og gøre skade på trælagterne.

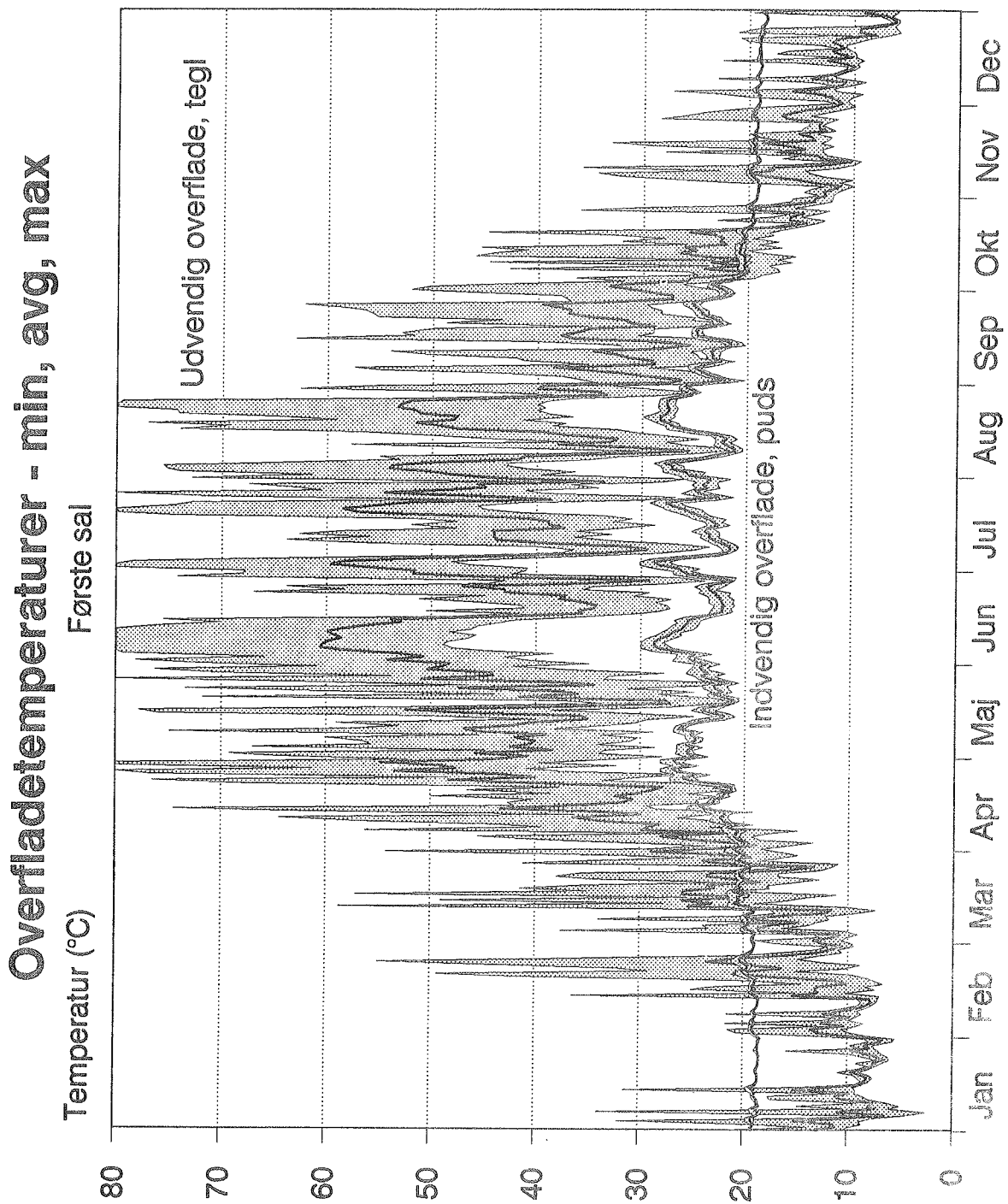
For at vurdere denne risiko nøjere er der foretaget fugtberegninger af den del af konstruktionen, der ligger mellem absorberfladen og indeluften (den oprindelige teglvægskonstruktion). Sådanne beregninger er foretaget for såvel en førstesals ydervæg (fig. 10.1) som en stueetages ydervæg (fig. 10.2).



Figur 10.1 1. og 2. sal.



Figur 10.2 stuen.



Figur 10.3 Ind- og udvendige overfladetemperaturer af ydervægge for solvægge placeret på 1. sal.

Først er de ind- og udvendige overfladetemperaturer af de to ydervægge beregnet ud fra referenceårets data med "SUNCODE". Minimum-, middel- og maximumværdier for alle årets dage fremgår for førstesalens vedkommende af fig. 10.3. Udsvingene er en anelse mindre for stueetagen, da den ligger lidt mere i skygge end førstesalen, og da den ikke er mineraluldsisoleret og derved har en større termisk masse og bedre termisk kontakt med inde-luften.

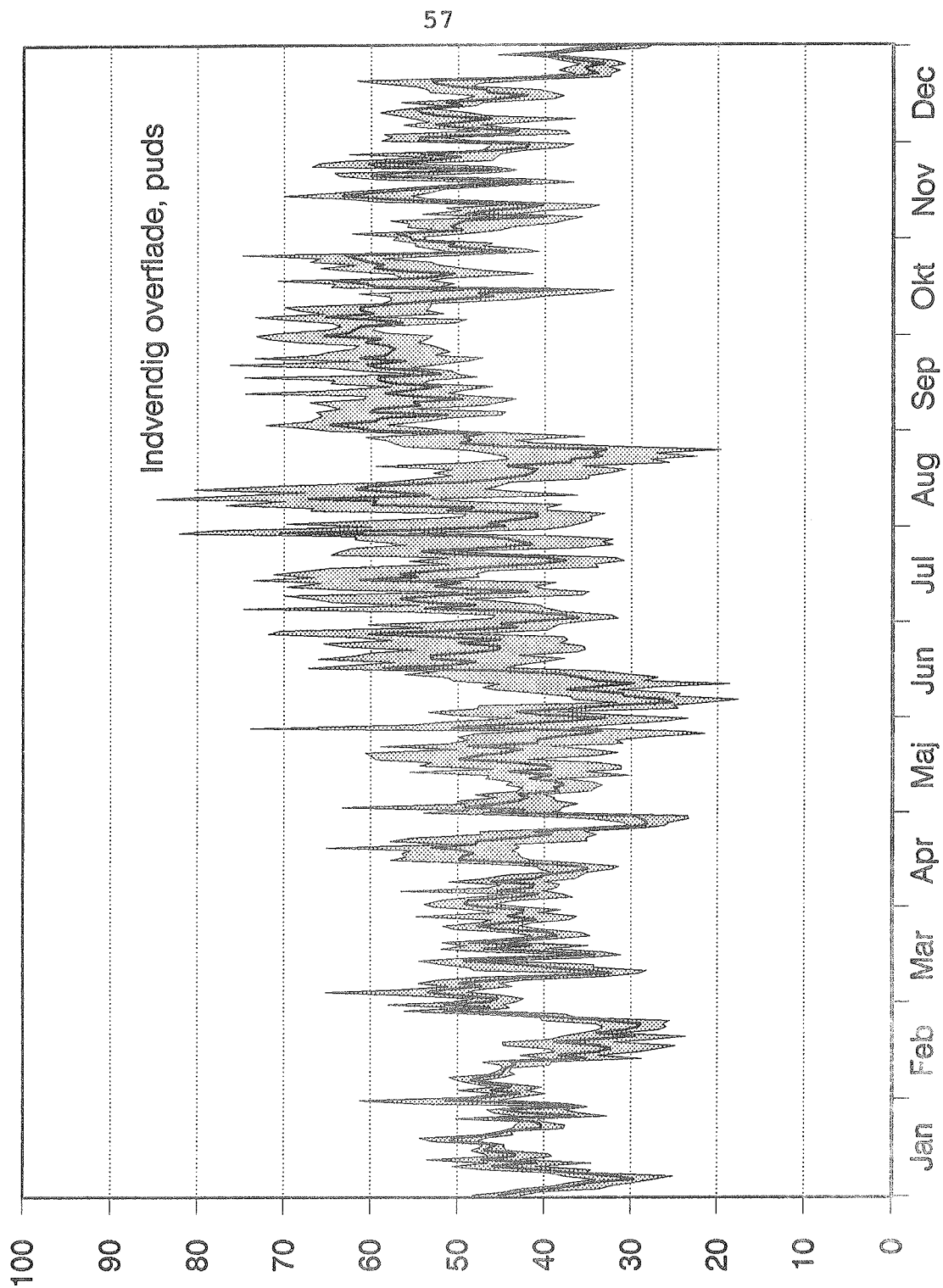
De indendørs fugtighedsforhold er beregnet ud fra referenceårets oplysninger om udeluftens fugtindhold plus et tilskud, der skyldes fugtproduktionen indendørs. Med gennemsnitligt 7,5 beboere pr. zone á 211 m² fås et indendørs fugttilskud på 664 g/h (vurderet ud fra /17/). I størstedelen af opvarmningssæsonen antages et luftskifte på 0,5 gange i timen, der giver en fugtkoncentration indendørs, der er 2,5 g/m³ højere end udendørs. I den resterende del af året er luftskiftet højt (5 gange i timen) en stor del tiden, og så fås en forskel i fugtkoncentration inde og ude på bare 0,25 g/m³. Fig. 10.4 viser den resulterende relative fugtighed ved den indvendige muroverflades temperatur som daglige minimum-, middel- og maximumværdier over året for førstesalens vedkommende.

Fugtbevægelserne er beregnet med det transiente fugtberegningsprogram MATCH, /18/, med brug af de ovennævnte temperaturer og relative fugtigheder som randbetingelser. Det 1-dimensionale program regner frem i tidsskridt på en time ad gangen og tager hensyn til hvert enkelt lags evne til at akkumulere fugten hygroskopisk.

Den oprindelige teglmurs yderside er regnet helt tæt, og fugtindholdet i det yderste lag tegl (1 cm) bliver da et udtryk for hvor meget, der i det værst tænkelige tilfælde vil kunne ophobes i dette område. Programmet er kørt uden hensyntagen til fugttransport på væskeform for at undgå virkningerne af eventuel tilbagesugning af væske fra overfladen. Denne modifikation vil ikke influere på ophobningens størrelse - kun på dens beregningsmæssige lokalisering.

Relativ fugtighed - min, avg, max

Første sal

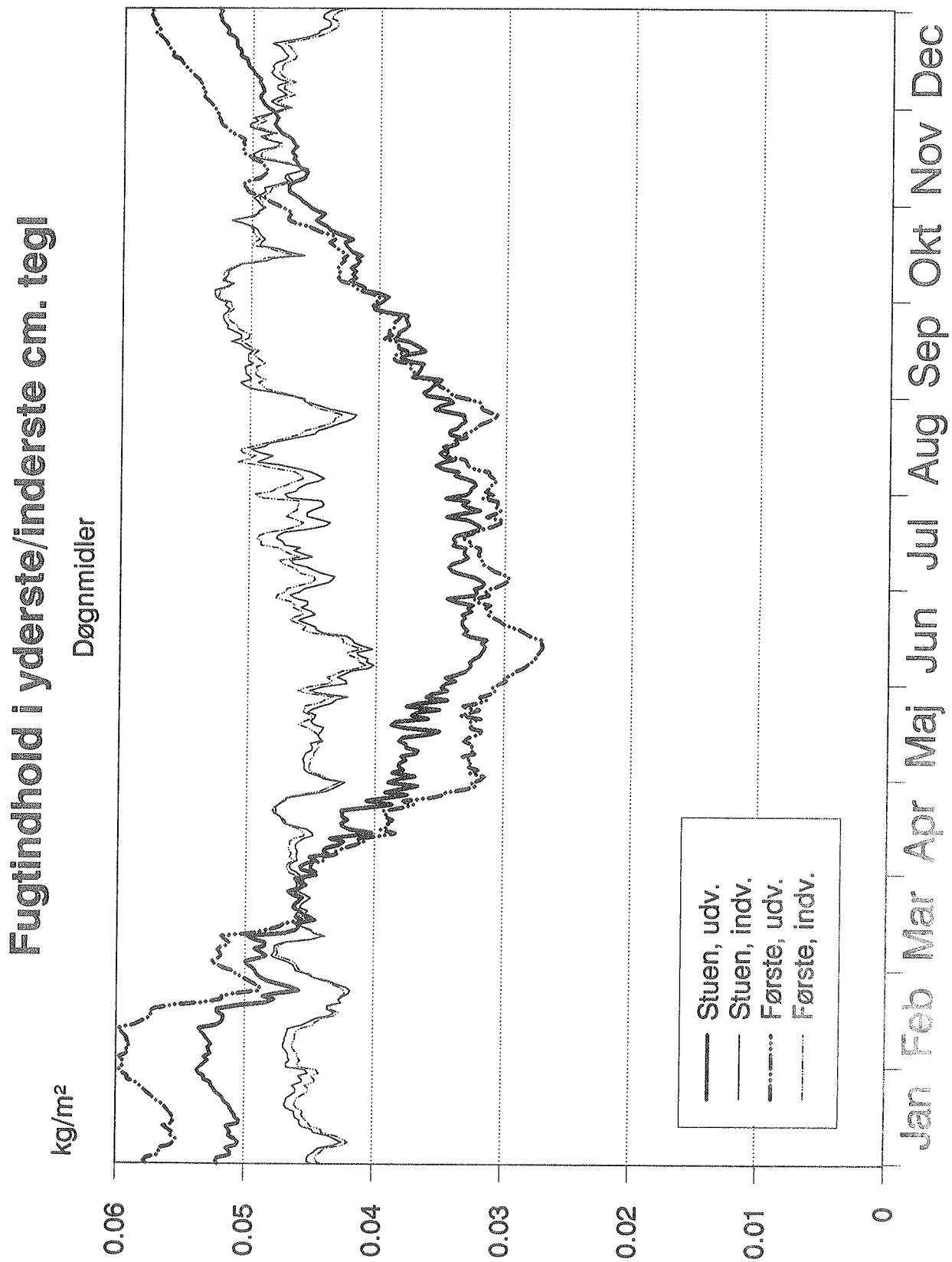


Figur 10.4 Relativ fugtighed ved den indvendige muroverflade for solvægge placeret på 1.sal.

Af fig. 10.5 ses de beregnede forløb af fugtkoncentrationerne i såvel stue- som førstesalens ydervægge (andet beregningsår er vist for at eliminere indsvingningseffekter). Deres variationer i fugtindhold af det yderste lag er mindre end 30 g/m^2 fra sommer til vinter. En sådan fugtmængde er helt ubetydelig og vil stadig ligge indenfor teglets hygroskopiske område. Der vil altså praktisk taget ikke forekomme kondens i absorberområdet.

Dette skyldes, som det ses af fig. 10.3, at absorberens temperatur om vinteren ligger i størrelsesordenen tæt på 10°C - omtrent som indeluftens dugpunkt. Derimod er udtørringspotentiallet om sommeren ganske betydeligt på grund af de høje temperaturer, der opnås ved absorberen.

Af fig. 10.5 ses også fugtindholdet af den inderste centimeter tegl bag pudslaget. Der ses ingen tendenser til, at de store temperaturimpulser fra ydersiden driver så meget fugt indad på kort tid, at det kan give anledning til noget, der tilnærmelsesvis ligner sommerkondens her. Dette må formodes også at være konklusionen, selvom den indvendige overflade skulle være beklædt med et mere eller mindre tæt materiale, da der ikke transporteres større fugtmængder udefra, end hvad der kan optages hygroskopisk i pudslaget.



Figur 10.5 Fugtindhold i yderste og inderste cm tegl i såvel stue- som førstesalens ydervægge efter en inddækning med solvægge.

11. STATIK

De statiske forhold omkring monteringen af solvægge er her undersøgt for den konkrete bygning, og bygningens sammenhæng er vurderet. En lignende undersøgelse bør foretages i hvert enkelt tilfælde, hvor man vil montere solvægge, da betingelserne for monteringen kan variere.

Vi har undersøgt følgende:

- Vurdering af den udvalgte bygnings statiske sammenhæng, se bygningsbeskrivelse.
- Vurdering af temperaturbevægelser i det eksisterende mureværk, og eventuelle følgevirkninger heraf, behandlet i kap. 9.
- Beregninger af vindpåvirkning, egenvægt på og fastgørelse af en foreslået opbygning af solvægge på eksisterende ydervægskonstruktioner.

De virksomheder, som har medvirket i projektet, har gennem deres systemer sikret den statiske stabilitet, hvorfor dette ikke behandles i denne rapport.

Statiske beregninger er vedlagt i appendix A7 s. 118.

Det bør under projektering af solvægge overvejes at benytte hærdet glas i alle glasarealer, hvilket giver mulighed for større felter af glas samtidig med, at brugen af hærdet glas kan være et sikkerhedskrav fra byggemyndighedernes side.

12. VEDLIGEHOJDELSE

Som allerede beskrevet i indledningen skal man stræbe efter at få så minimal en vedligeholdelse som muligt.

Man kan ved en glasbeklædning af lodrette flader sammenligne tilsmudsningen af disse med almindelige vinduer.

Forskellen mellem et vindue og en solvæg er, at man ikke skal kunne se igennem solvæggen, men at solens stråler skal kunne passere gennem glasset. At glasset er tilsmudset medfører en reduktion af solindfaldet gennem glasset, men reduktionen er så lille, at det kun har ringe betydning.

Såfremt glassets ydre overflade bliver så tilsmudset, at en afvaskning bliver nødvendig, vil dette kunne foretages fra en lift uden de store udgifter. Tilsmudsning af glassets indvendige overflade vil derimod medføre en større udgift, hvis glasset skal aftages og herefter renses.

Når man kun åbner konstruktionen mod det fri i et omfang, så en bortventilering af fugt kan foregå, er cirkulationen af luft bag glasset så lille, at en tilsmudsning her vil ske så langsomt, at denne praktisk talt ingen betydning har.

Ved beklædning af facaderne med et materiale som glas, vil den nuværende reparation af puds m.v. og vedligeholdelse såsom maling være væk.

Når man beklæder gavle og facader med glas helt ned til fundament, vil man kunne få problemer med glasset på den første 1 - 1,5 m over terræn, hvor glasset vil være specielt udsat for slag, ridser og ligende.

Dette problem kan løses ved, at der monteres hærdeet glas i denne zone, hvilket er dyrere, men kan medføre en gevinst i den sidste ende.

13. ØKONOMISK VURDERING

Under udarbejdelse af nærværende rapport har en række firmaer udarbejdet forslag til solvægge samt overslagspriser herpå. De øvrige solvægssystemer, som indgår i rapporten, er udviklet i eget regi og er prissat ud fra priser indhentet på de enkelte indgående komponenter samt priser fra V & S prishåndbog '89 /19/ for bygningsarbejder. Alle priser på de enkelte solvægssystemer er omregnet til en kvadratmeterpris, der benyttes som sammenligningsgrundlag. Tilsvarende er udregnet en kvadratmeterpris for en efterisolering med 100 mm mineraluld. Denne pris benyttes som sammenligning.

En sammenligning af solvægge med en efterisolering kan være vanskelig, da efterisoleringens regnskærm skal være sammenlignelig med en regnskærm af glas.

Vi har valgt at benytte en regnskærm af NY ETERNIT med en tykkelse på 6 mm. Opbygningen af efterisoleringen er som følger og danner prisgrundlaget i det følgende.

På eksisterende væg monteres træskelet udfyldt med 100 mm mineraluld. Lægter og mineraluld dækkes med en vindpap, og der monteres lister uden på vindpappet til friholdelse af dækpladen, således at konstruktionen udluftes bag dækpladen. Dækpladen består af 6 mm NY ETERNIT. Denne opbygning er traditionel og må betragtes som et rimeligt sammenligningsgrundlag. Prisudregninger for de enkelte solvægsopbygninger er vedlagt i appendix A8, s. 136.

Kvadratmeterpriserne er opstillet i tab. 13.1 og 13.2, og alle priser er håndværkerpriser excl. moms, idet der er regnet med hårdet glas.

Det ses af tab. 13.1, at ingen af solvægssystemerne uden stats-tilskud kan konkurrere med en efterisolering. Årsagen til dette skal findes i prisen på Isoflex, (den transparente isolering, som benyttes i solvæggene), i forhold til 100 mm mineraluld.

TRANSPARENT ISOLERING 30 MM ISOFLX

SYSTEM	PRIS Kr./m ² u.tilskud	PRIS Kr./m ² m.tilskud	BEMÆRKNING
JULIANA	1.233	869	Aluminiumsprofiler, glas fastholdes med silicone
VITRAL	2.589	2.224	Aluminiumsrammer med isat glas
OUTOKUMPU	1.855	1.490	Aluminiumsrammer med iklæbet glas
Trælægte/alu-hatformet glasliste	1.328	963	Alu-profil fra ALLIANCE pentagon
Trælægte/alu-PVC-dækliste	1.341	976	Alu-profil m. PVC dækliste DUCA
Drivhussystem	1.333	968	Aluminiumsprofil med aluminiums-dækliste.
Efterisolering	1.008		100 mm mineraluld i træskelet og eternitplade

Tabel 13.1 Kvm. priser for solvægge og efterisolering.

TRANSPARENT ISOLERING 50 MM HONEYCOMB

SYSTEM	PRIS Kr./m ² u.tilskud	PRIS Kr./m ² m.tilskud	BEMÆRKNING
JULIANA	1.358	994	Aluminiumsprofiler, glas fastholdes med silicone
VITRAL	2.723	2.201	Aluminiumsrammer med isat glas
OUTOKUMPU	1.980	1.458	Aluminiumsrammer med iklæbet glas
Trælægte/aluhatprofil glasliste	1.453	1.017	Alu-profil fra ALLIANCE penta-gon
Trælægte/alu-PVC-profil	1.466	1.026	Alu-profil m. PVC dækliste DUCA
Drivhussystem	1.458	1.021	Aluminiumsprofil med aluminiumsdækliste.
Efterisolering	1.008		100 mm mineraluld i træskelet og eternitplade

Tabel 13.2 Kvm. priser for solvægge og efterisolering

Andre årsager er en nødvendig fastholdelse af glasset langs hele dets rand, glassets pris i forhold til prisen på dækpladen foran isoleringen samt en merpris på forbehandling af murværket inden montering af solvægge.

Fordele ved solvægge frem for en efterisolering er de mindre konstruktionstykkelser, samtidig med at solvæggen (type A) energimæssigt kan sammenlignes med en efterisolering med 150 mm mineraluld. Ydermere kan der ved opførelsen af solvægge søges om tilskud i henhold til /20/. Dette tilskud betyder, at priser for de skitserede solvægge ifølge /21/ kan reduceres med en faktor på 4,5 gange energibesparelsen i kWh, men dog maksimalt 30% af anlægspri- sen. De reducerede priser fremgår af tab. 13.1 og 13.2.

I kap. 8 om energi- og komfortberegninger ses, at den største energibesparelse opnås ved anvendelse af 100 mm honeycombs som transparent isolering i solvæggen. Prismæssigt fordyrer dette solvæggen i en sådan grad, at inversteringen ikke er rentabel. Dette skyldes dels merprisen på honeycombs i forhold til Isoflex, dels merpris på det bærende rammesystem. Ved benyttelse af honeycombs på 50 mm vil rammesystemet ikke blive dyrere end for Isoflex, men honeycombs er ca. 125,00 kr. dyrere end Isoflex pr. m².

Tilbagebetalingstid

Ved at betragte en beregning af den simple tilbagebetalingstid, kommer vi frem til følgende:

Energibesparelsen pr. m² solvæg er beregnet til 81 kWh/m² år (solvæg type A) og 116 kWh/m² år (solvæg type B, 50 mm honeycombs). Energibesparelsen pr. m² efterisolering med 100 mm mineraluld er for en tilsvarende placering beregnet til 75 kWh/m² år. Se fig. 8.2.

Der regnes med en virkningsgrad på 92% for fjernvarmeforsyningen i vores bebyggelse og en pris på 0,45 kr/kWh excl. moms, Hillerød kommune, /22/. Besparelser og tilbagebetalingstid er vist i tab. 13.3 på næste side.

System	Besparelse kr./m ² år	Besparelse kWh/m ² år	Pris kr./m ² m. tilskud	Tilbagebeta- lingstid i år
Solvæg ty- pe A, Alu- hat-system	39,62	81	963	24
Solvæg 50 mm honey- combs alu- hat-system	56,74	116	1017	18

System	Besparelse kr./m ² år	Besparelse kWh/m ² år	Pris kr./m ² u. tilskud	Tilbagebeta- lingstid i år
Efteriso- lering 100 mm	36,68	75	1008	28

Tabel 13.3 Tilbagebetalingstider og besparelser ved en simpel beregning.

Tilbagebetalingstid udregnet på denne måde er ikke realistisk og skal kun betragtes som et fingerpeg om, hvorvidt det ene system er mere rentabelt end det andet. Ved en egentlig beregning af tilbagebetalingstiden kan vi se, at lånerenten skal være meget lille, for at den årlige energibesparelse blot skal kunne betale de årlige renteudgifter. Ved beregning af tilbagebetalingstid skal man derfor vurdere mere detaljeret, for at få det rigtige billede.

Den årlige udgift (før solvægsopsætningen) til vedligeholdelse af puds og maling bør modregnes i solvæggens og efterisolerings kvadratmeterpris. Såfremt dette medtages og vedligeholdelsesprisen skønnes til 6000,00 kr/år, svarende til en kvadratmeterpris på 17 kr/m² år, kan man reelt betragte en besparelse på 39,62 kr/m² år + 17,00 kr/m² år = 56,62 kr/m² år, altså energibesparelsen plus vedligeholdelsesudgiften pr. kvadratmeter for en solvæg type A og 53,68 kr/m² år for isolering.

Hvis vi forudsætter, at der laves et indexlån på 2% p.a., vil dette ved en renteberegning medføre en tilbagebetalingstid på 22 år for solægge med tilskud (alu-hat-system), og tilsvarende vil en efterisolering have en tilbagebetaling på 24 år. Hvis vi ligeledes ser på en solvæg med 50 mm honeycombs, fås en besparelse på 73,74 kr/m² år og derved en tilbagebetalingstid på 17 år (alu-hat-system).

Ud fra disse tal kan man konkludere, at solvæggen med 50 mm honeycombs er den mest rentable, selvom anlægsprisen herfor er større end for en solvæg med Isoflex. Det er således rentabelt at benytte "avancerede" og dyrere solvægge, hvilket er i overensstemmelse med tidligere undersøgelser på solvægsområdet, /1/. Det skal dog bemærkes, at prisen på honeycombs er baseret på et skøn og kan være meget større end antaget.

Tilbagebetalingstider for de undersøgte systemer ved indexlån med rente på 2% er angivet i tab. 13.4 og 13.5.

For at undgå overophedning i de varmeste måneder af året kan det i visse tilfælde være nødvendigt at indbygge skyggegardiner i solvæggene som omtalt i kap. 8. Såfremt dette bliver nødvendigt, må man regne med, at anlægsprisen for solvægge vil stige med 300 - 400 kr/m², hvilket vil medføre, at rentabiliteten reduceres tilsvarende. I vores tilfælde har beregningerne vist, at skyggegardiner ikke er nødvendige, og udgifter hertil er derfor ikke medregnet i vores priser.

SYSTEM	Kr./m ² Isoflex m.tilskud	Kr./m ² 50mm honey- comp.m.tils	Tilbagebet. m.Isoflex	Tilbagebet. m.Honeycomb.
JULIANA	869	994	19 år	17 år
VITRAL	2224	2201	85 år	46 år
OUTOKUMPU	1490	1458	39 år	26 år
Hat-profil	963	1017	22 år	17 år
Alu-pvc profil	976	1026	22 år	17 år
Drivhus- system	968	1021	22 år	17 år

Tabel 13.4 Kvm.-priser og tilbagebetalingstider for solvægge.

System	pris kr./m ²	Tilbagebet.
Efterisolering	1008	24 år

Tabel 13.5 Kvm.-priser og tilbagebetalingstider for efter-
isolering.

Idealpris

Såfremt der fremover bliver stor anvendelse af solvægge i boligmassen, vil der med fordel kunne udvikles et profil specielt til dette formål. Såfremt et sådant profil fremstilles, lagerføres og sælges som standardvare i de almindelige byggemarkeder, og uden monopol, vil dette prismæssigt kunne konkurrere med de i denne rapport undersøgte profiler. Prisen på et sådant profil skønnes til 50 kr/m.

Glasset til solvægge kan med fordel importeres i større mængder, hvorved prisen kan reduceres med 100 kr/m^2 i forhold til den pris, vi har benyttet i priseksemplerne. Importeret glas vil kunne fås til 70 kr/m^2 .

Benytter man de ovenfor nævnte priser på glas og profiler, og udregner prisen på en solvæg på vores prøvehus, med samme forudsætninger som for de øvrige solvægssystemer, fås en pris på 1070 kr/m^2 for en solvæg med Isoflex, og 1195 kr/m^2 for en solvæg med 50 mm honeycombs. Disse priser vil med tilskud kunne reduceres til hhv. 700 kr/m^2 med Isoflex og 836 kr/m^2 for honeycombs.

Tilbagebetalingstiden for et indexlån med rentesats på 2%, og med priser på solvægge som ovenfor, med tilskud, kan beregnes til 15 år for solvægen med Isoflex, og 11 år for solvægen med 50 mm honeycombs.

14. KONKLUSION

Opsummering:

Under udarbejdelsen af dette udredningsprojekt har der rejst sig en række spørgsmål, som er søgt belyst i rapporten.

- Hvad sker der med de eksisterende konstruktioner ved opvarmning af disse, når solvægge monteres ?
- Hvordan skal man sikre glasset, hvor dette er udsat for mekanisk påvirkning ?
- Hvordan kan man indpasse solvægge på en skånsom og naturlig måde i det eksisterende bybillede ?
- Hvordan kan en glasbeklædning af ydervæggene rent praktisk udføres ?
- Hvor store energibesparelser kan forventes ved anvendelsen af solvægge ?
- Hvordan ændres det termiske indeklima i bygningen, når denne forsynes med solvægge ?
- Er en beklædning med solvægge rentabel, sammenlignet med en traditionel udvendig efterisolering ?
- Hvordan vil beboerne se på en beklædning med solvægge af deres bebyggelse ?

Konklusion:

Efter montering af solvægge vil der ske en opvarmning af den bagvedliggende konstruktion, som kan medføre revnedannelse af pudsede vægge. Derfor skal man inden montering af solvægge fjerne puds.

Som omtalt i notat fra Laboratoriet for Bygningsmaterialer på DTH, se appendix A5, vil selve murværket ikke få væsentligt ændrede betingelser, men man vil få problemer i overgangen mellem væg med solvæg og væg uden. Disse steder må man etablere en udvidelsesmulighed eventuelt ved udfræsning af en rille i muren, som udfyldes med en elastisk fugemasse.

Temperaturbevægelserne kan tillige medføre, at murbindere i hule mure vil knække, hvorfor det er nødvendigt, disse steder at foretage en fastgørelse af solvægge helt ind i den indvendige mur.

Ved montering af glas på ydermure skal man være opmærksom på mekanisk belastning af dette i en vis højde. For at undgå ødelæggelse af glasset foreslås, at der monteres hærdet glas i det nederste glasbånd.

Ud fra en brandteknisk vurdering kan solvæggene ikke overholde de krav, der er stillet i lovgivningen. Derfor må vi på nuværende tidspunkt konkludere, at der i hvert enkelt tilfælde må søges om dispensation hos byggemyndighederne. Man må forvente, at byggemyndighederne af sikkerhedsmæssige årsager vil kræve, at glasset er hærdet.

Den arkitektoniske udformning har vist sig at være mangfoldig. Arkitektens oplæg har vist, at man ved at lege med glassets spejleffekter og sammenkobling med traditionelle beklædninger, kan skabe nogle spændende bebyggelser.

Inddragelsen af en række firmaer har vist, at kun få af de nuværende materialer, som benyttes på markedet, kan indpasses til brug for solvægge. Vi har vist forskellige former for montage-systemer som hver især har deres fordele/ulemper. Billigere inddækningsprofiler vil kunne øge rentabiliteten af solvægge væsentligt.

Hvis der foretages en inddækning med solvægge og efterisolering af hele bebyggelsen, viser vore beregninger, at energiforbruget til rumopvarmning i nogle tilfælde vil kunne reduceres med over 40%. Solvæggene vil desuden resultere i større besparelser end en udvendig efterisolering med 100 mm mineraluld, både når bagmuren er en massiv teglstensmur, og når den består af en ringe isoleret hulmur. Den relative forskel er typisk mellem 20 og 40% i solvæggens favør.

Hvad angår det termiske indeklima viser analyserne, at anvendelsen af solvægge, i kraft af højere indvendige overfladetemperaturer på ydervæggene, i fyringssæsonen vil medvirke til en større forbedring af indeklimaet end en udvendig efterisolering. Om sommeren vil forøgelsen af indetemperaturen være så begrænset, $1,9^{\circ}\text{C}$, at anvendelsen af solvægge ikke vil medføre en uacceptabel forringelse af det termiske indeklima.

En prismæssig sammenligning mellem efterisolering og solvægge er vanskelig, idet der for solvæggen er nogle fordele fremfor isolering, samtidig med at solvæggene materialemæssigt er dyrere. Solvægge er varmebesparelsmæssigt bedre end en 100 mm isolering, hvorved der fås en kortere tilbagebetalingstid på lån.

En anden fordel ved solvægge fremfor en efterisolering er tykkelsen af den monterede konstruktion. Hvor solvæggen kan holdes i en tykkelse på 50 - 60 mm, vil en energibesparelsmæssigt tilsvarende efterisolering med 150 mm mineraluld have en tykkelse på 170 mm.

Det må dog siges, at solvægge ikke er totalt vedligeholdelsesfri, da disse med nogle års mellemrum bør afvaskes udvendigt for at få en maksimal udnyttelse.

Det skal også bemærkes at der idag gives tilskud til udnyttelse af passiv solvarme, hvorved rentabiliteten af solvægge i den ud-

formning de har idag, forøges yderligere i forhold til en efterisolering.

Under udarbejdelsen af projektet har beboerne i de omtalte bebyggelser været løbende orienteret om projektet. De fremlagte skitseforslag blev meget positivt modtaget af beboerforeningerne, som under hele forløbet har været meget interesseret i projektet.

REFERENCER

- /1/ "Solvægge i den eksisterende boligmasse". C. Paludan-Müller, O.B. Jørgensen. Energiministeriets solvarmeforskningsprogram rapport nr. 47. Meddelelse nr. 193, LfV, DTH, 1988.
- /2/ "Där ljuset går in går värmen ut". Brochure fra Isoflex AB.
- /3/ Dantest prøvningsrapport, F-6125, af Isoflex, 1989.
- /4/ "Thermode. Thermal diode systems". Brochure fra Arel Energy Ltd., 1987.
- /5/ "The best under the sun". Brochure fra Inco Selective Surfaces Ltd., 1984.
- /6/ "DYROTEX 3852 (Acrylplastmaling). Vandig forankringsgrunder 3840". Brochure fra DYRUP, 1989.
- /7/ "SUNCODE - PC". T. Wheeling, L. Palmiter. Ecotope Group, Seattle, WA, 1985.
- /8/ "Vejrdata for VVS og Energi. Dansk referenceår TRY". B. Andersen m.fl. SBI-rapport 135, Statens Byggeforskningsinstitut, 1982.
- /9/ "EDB-programmer til beregning af passiv solvarme". J.E. Christensen. Meddelelse nr. 185, LfV, DTH, 1985.
- /10/ "Performance of passive solar houses in Ladakh, India". C. Paludan-Müller. Rapport nr. 88-5, LfV, DTH, 1988.
- /11/ "SUNCODE-PC. A program user's manual". M.J. De La Hunt. Ecotope, 1985.

- /12/ "Solar engineering of thermal processes". J.A. Duffie, W.A. Beckman, by John Wiley & Sons, 1980.
- /13/ "Beregning af energiforbrug i småhuse". A. Nielsen, K. Johnsen. SBI-rapport 148. Statens Byggeforskningsinstitut, 1984.
- /14/ "Varmesynsrapport for afdeling 7 i Det Sociale Boligselskab i Helsingør". Rådg. ing. V. Engstrøm, 1984.
- /15/ "Danmarks Energistrømme, 1987". Energistyrelsens årsopgørelse, 1988.
- /16/ "DS/ISO 7730: "Termisk miljø. Moderate omgivelser. Bestemmelse af PMV- og PPD-index og betingelserne for termisk komfort". Dansk Standardiseringsråd, 1986.
- /17/ "Fugt i boligen". A.P. Koch et. al., Byggeteknik, Teknologisk Institut, 1985.
- /18/ "Combined Heat and Moisture Transfer in Building Constructions". C.R. Pedersen. Meddelelse nr. 214, LfV, DTH, 1990.
- /19/ "V & S prishåndbog for bygningsarbejder". 1989.
- /20/ "Passiv Solvarme". Information om tilskud vedr. passiv solvarme. Energistyrelsen, 1989.
- /21/ Samtale med Jørn Mørk Thomsen, Teknologisk Institut, januar 1990.
- /22/ "Energipriser, solenergi og graddage". Erik Larsen, VVS 2, 1990.

APPENDIX-OVERSIGT

A1.	Arkitektforslag til glasinddækning af Peder Skramsvej og Ørehøj.....	81
A2.	Snittegninger af de undersøgte ind- dækningssystemer.....	94
A3.	Detailtegninger af forslag til ind- dækningssystem for solvægge.....	102
A4.	Beskrivelse af solvægge i EDB-model..	110
A5.	Notat fra Laboratoriet for Bygnings- materialer, vedr. temperaturbevægel- ser i murværk.....	113
A6.	Forslag til ventilering af solvægge med alu-hat-system eller drivhussy- stem.....	116
A7.	Statiske beregninger for forslag til inddækning med solvægge. Alu-hat-sy- stem.....	118
A8.	Prisudregning.....	136

Al. Arkitektforslag til glasinddækning af Peder Skramsvej
og Ørehøj.

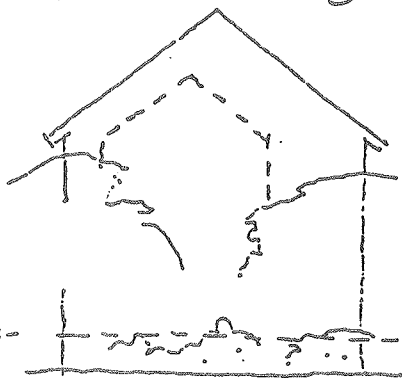
• Byggesplanen

Solvæggen orienteres bedst mod syd eller mod sydøst og sydvest. På nordvendte facader kan evt. suppleres med efterisolering.

Omgivelserne indvirker på solvæggens placering og udformning.

• Træer og bygninger skaber skygge.

• Buskade og parkede køretøjer skaber skygge og støj.



• Etageplanen

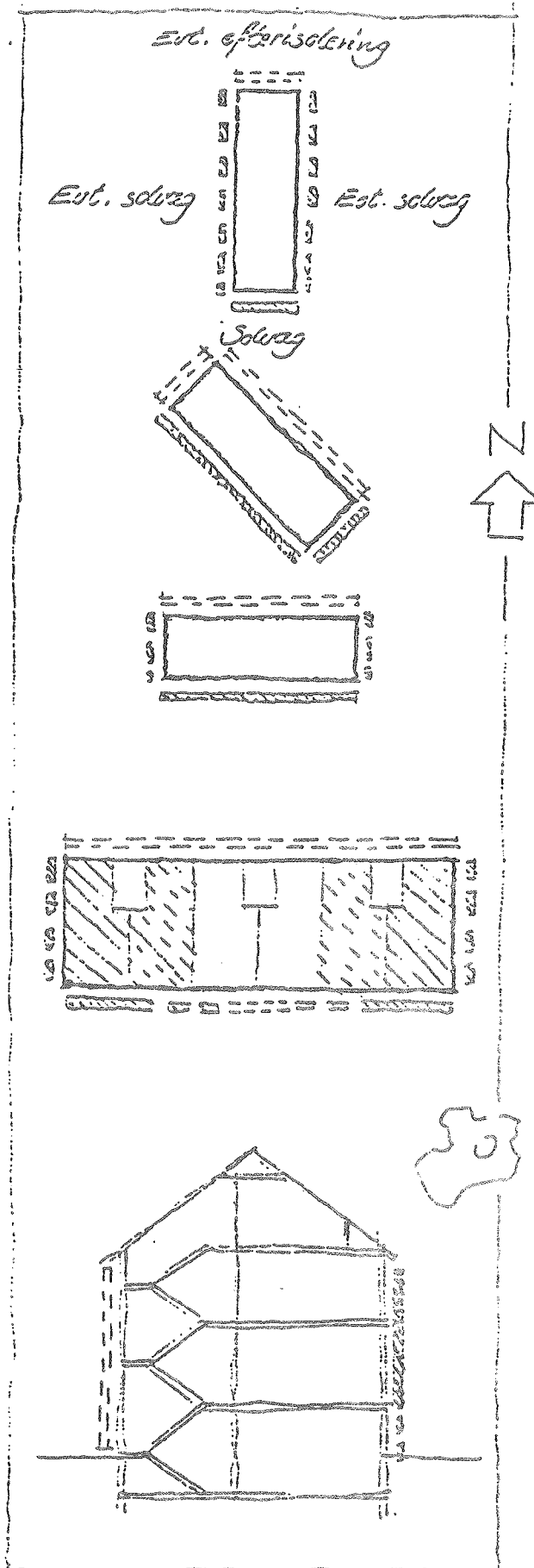
Solvæggen gør størst gavn ved gavlefligheder, som har mest ydervæg.

Midt på facaden kan evt. kombineres med efterisolering.

• Snittet

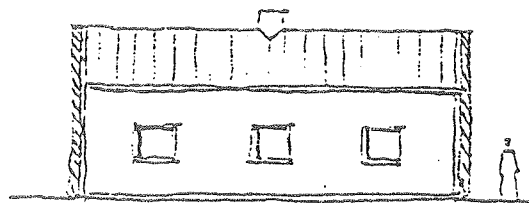
Solvæggen gør størst gavn ved lejligheder.

Når der er kælder, trapperum og tagrum er virkningen mindre.



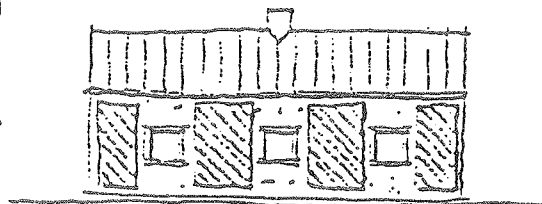
1. Adskillelse

Solvæggen betragtes som en teknisk installation på linie med solfangere og parabolanterner, eller som et stk. high tech arkitektur i glas og aluminium, som præstes adskilt fra den traditionelt udformede bygningskrop. Solvæggen er en stor sammenhængende flade.



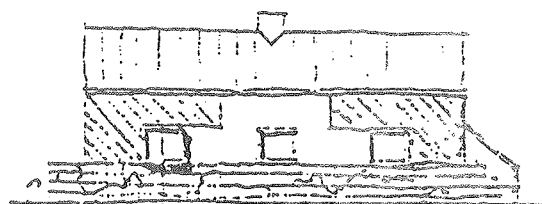
2. Indpasning

Solvæggene opføres, som "billeder på en væg" de steder hvor der er plads. Solvæggene indpasses som brystningsblind, lister m.v. Pittag som formidler overgangen fra solvægge til den eksisterende bygning er nødvendige, f.eks. overfladebehandling med puds eller maling.

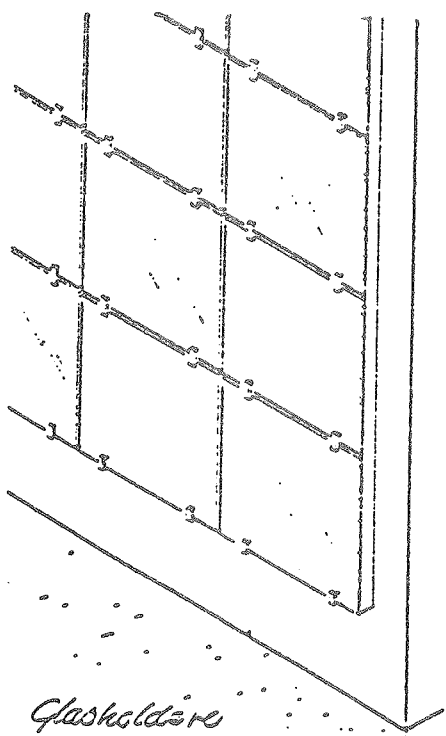
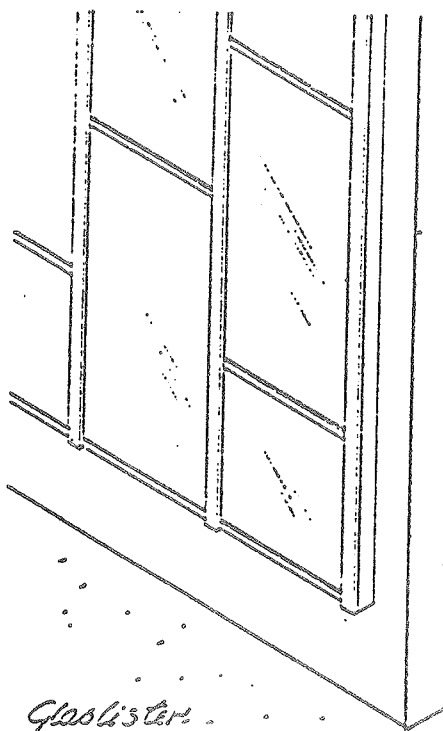


3. Indpakning

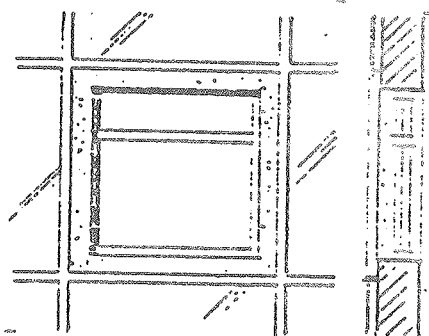
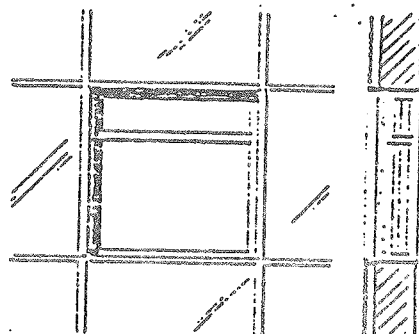
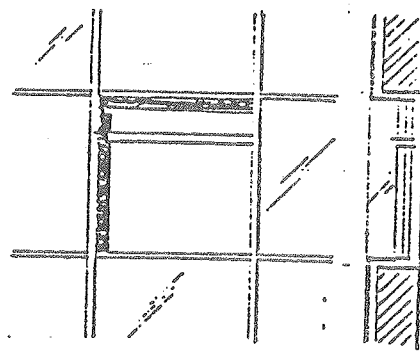
Bygningen indkledes helt eller delvist af solvæggen udformet, som en sammenhængende flade, hvori evt. indgår vægpartier med glasfremføring, efterisolering eller planteasplanter. Billedet af den oprindelige bygning forsvinder helt eller optræder kun brudstykkevis.



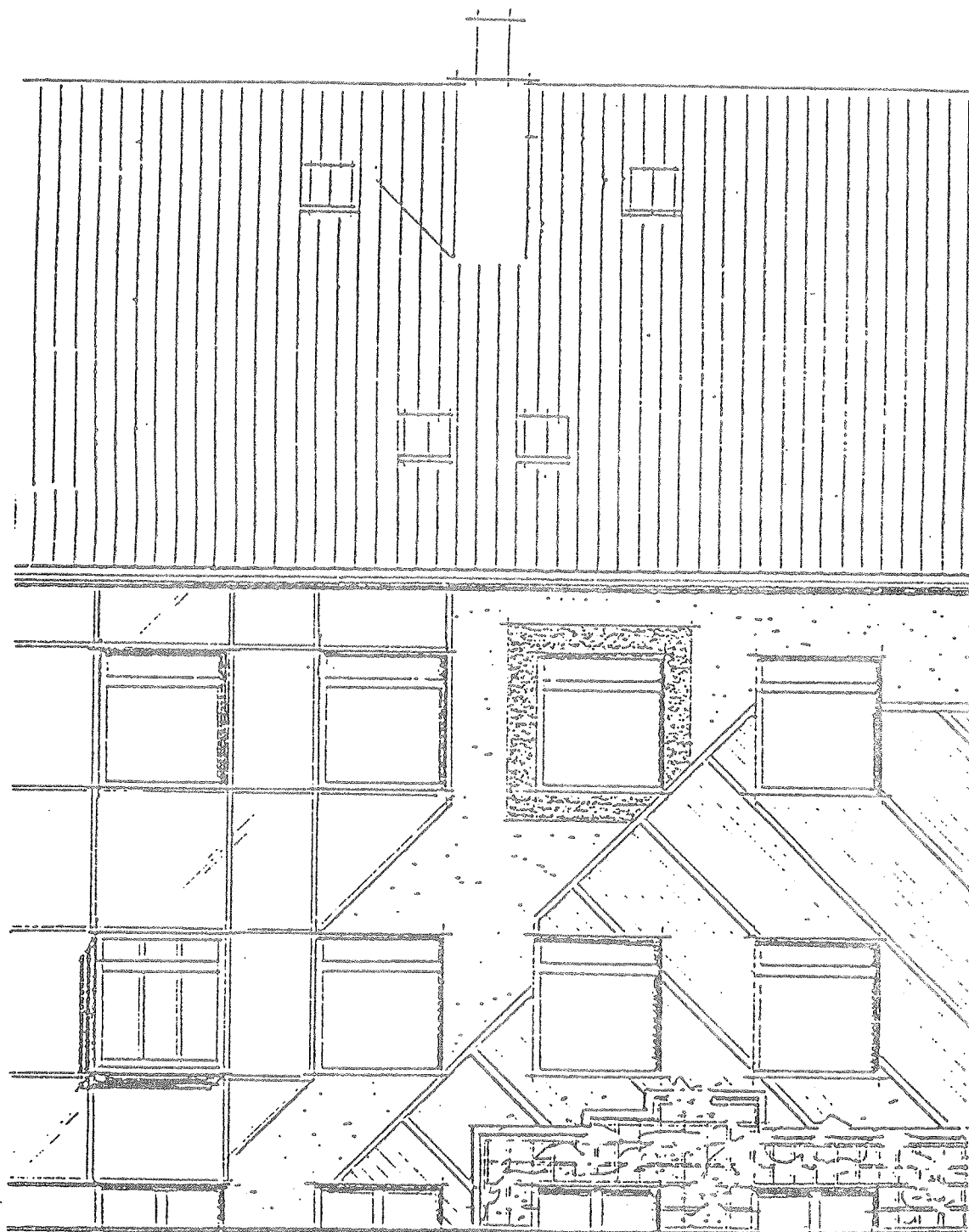
PRINCIPPER FOR UD- FØRNING AF SOLVEG- GEN (BÆRING AF GLAS)



PRINCIPPER FOR AFSLUT- NING VED VINDUESFALS

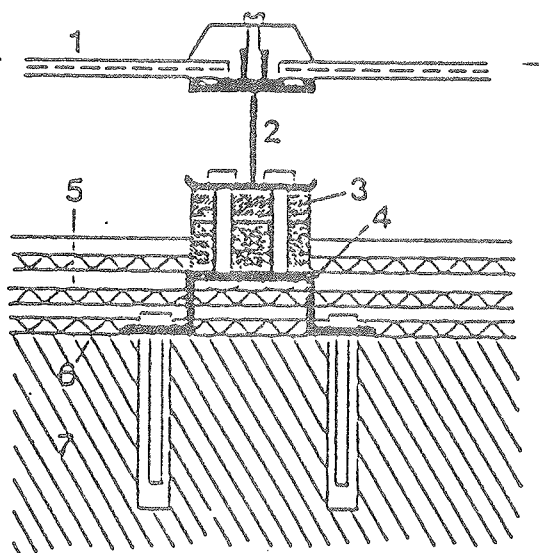


KOMBINATION AF SOLNES OG ANDRE KONSTRUKTIONER : Karnap, karnapvindue, udestue, vindfang
: Efterisolering
: Mørkt overfladebehandling (absorber)
: Planterespacier



Solvæggens ydre bestemmes ved samspillet mellem væggenes hovedbestanddele:

- (1) Glas
- (2) Sprosseprofil
- (3) Plastkiler
- (4) Beslag
- (5) Isoflexfolie (6 lag)
- (6) Absorber
- (7) Eksisterende mur



Vandret snit i lodret sprosse

• Glasset

Afgørende for valg af glasstype er materialets: evne til varme- transmission, mekaniske egenskaber, æstetiske muligheder og pris.

Glasset kan vælges ud fra:

- Overfladen, om den er klar, mat, ornamenteret, reflekterende eller spejlende.
- Farven.
- Styrken, dvs. modstandsdygtighed over for mekanisk påvirkning samt dens opnåede spændvidde.

I solvæggen kan glasstypernes forskellige egenskaber udnyttes alene eller kombineret indskyldes.

• Profilsystemet

Profilsystemet kan udføres i korrosionsbestandigt metal f.eks. aluminium.

Overfladebehandlinger, der kræver opsligning bør undgås.

Elakering, pulverlakering (aluminium) eller galvanisering (jern) kan fortrækkes.

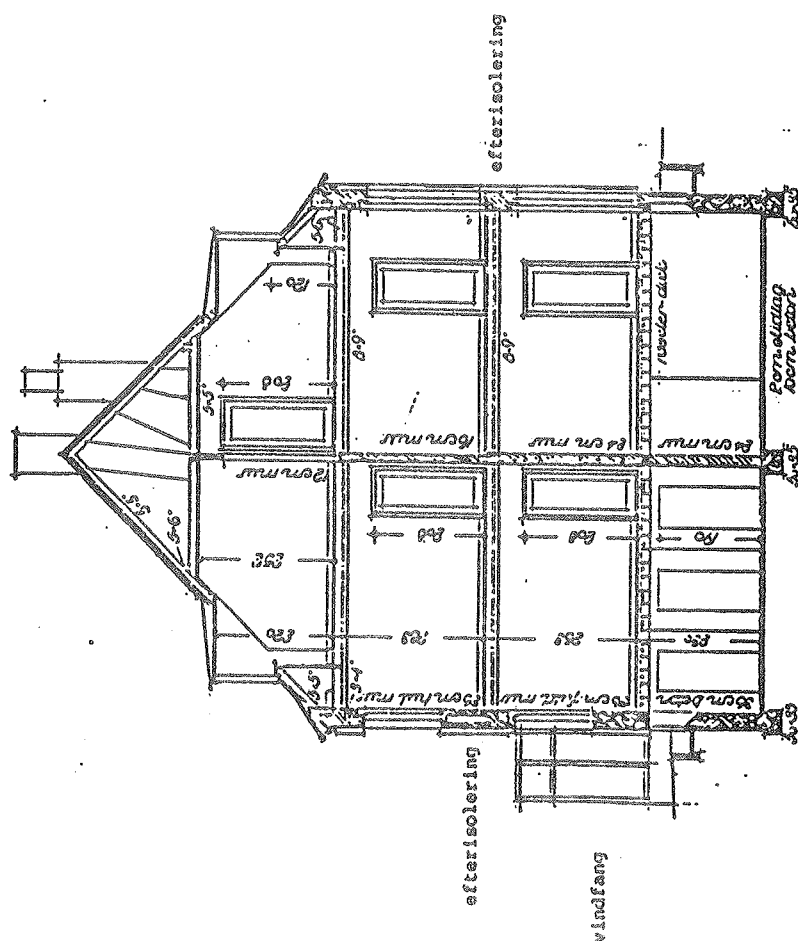
Plastprofiler kan evt. benyttes.

Træ må på grund af krav til overfladebehandling betragtes som uegnet.

• Absorberer

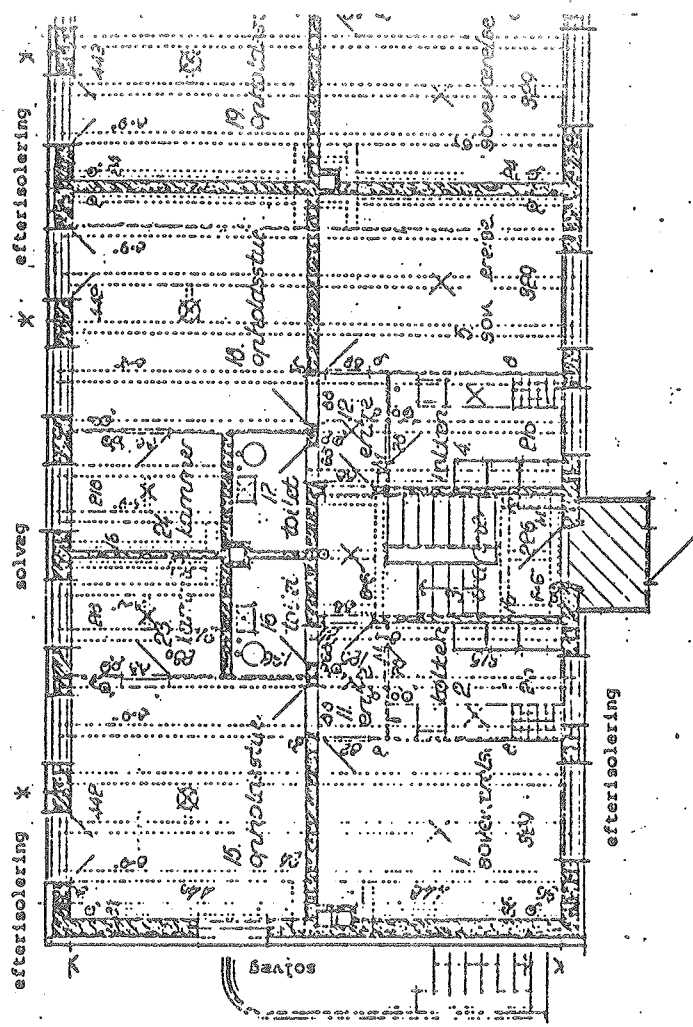
Kravet til absorberer er, at den bør være så mørk, at den virker. Mat sort er bedst, men andre farver kan anvendes.

Materialet kan være maling eller indfarvet puds.



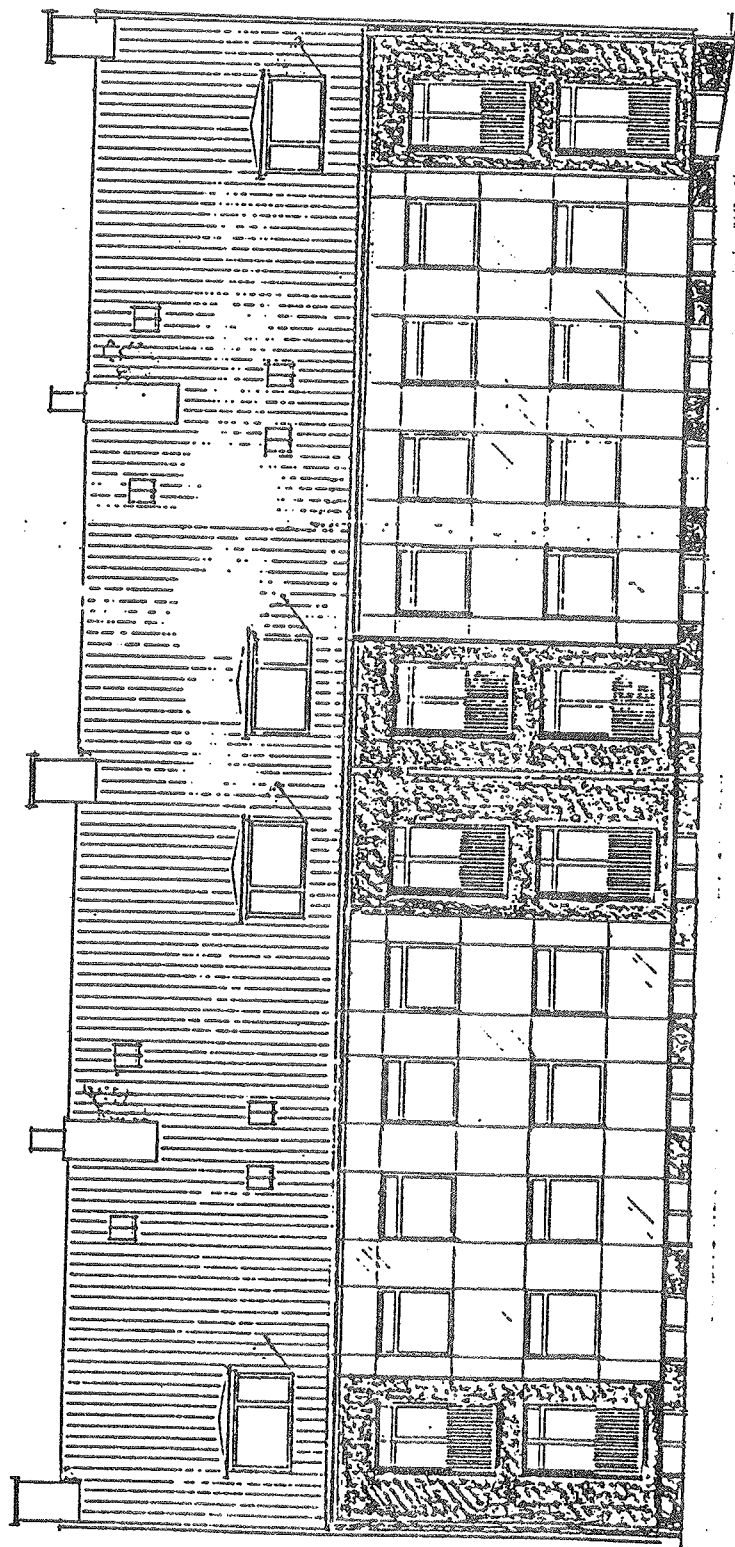
Snit 1:100

AFD. VII, PEDER SKRAMSVEJ

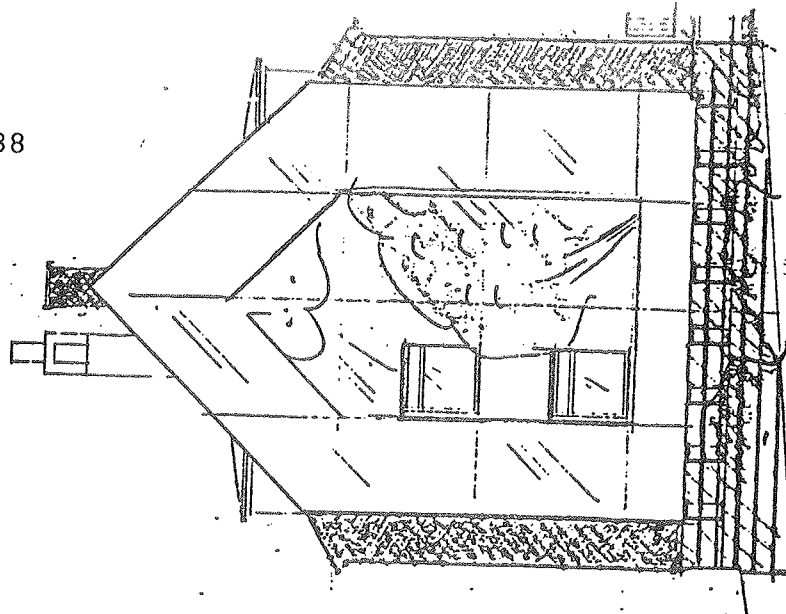


Planudsnit, blok 2

FORSLAG 1



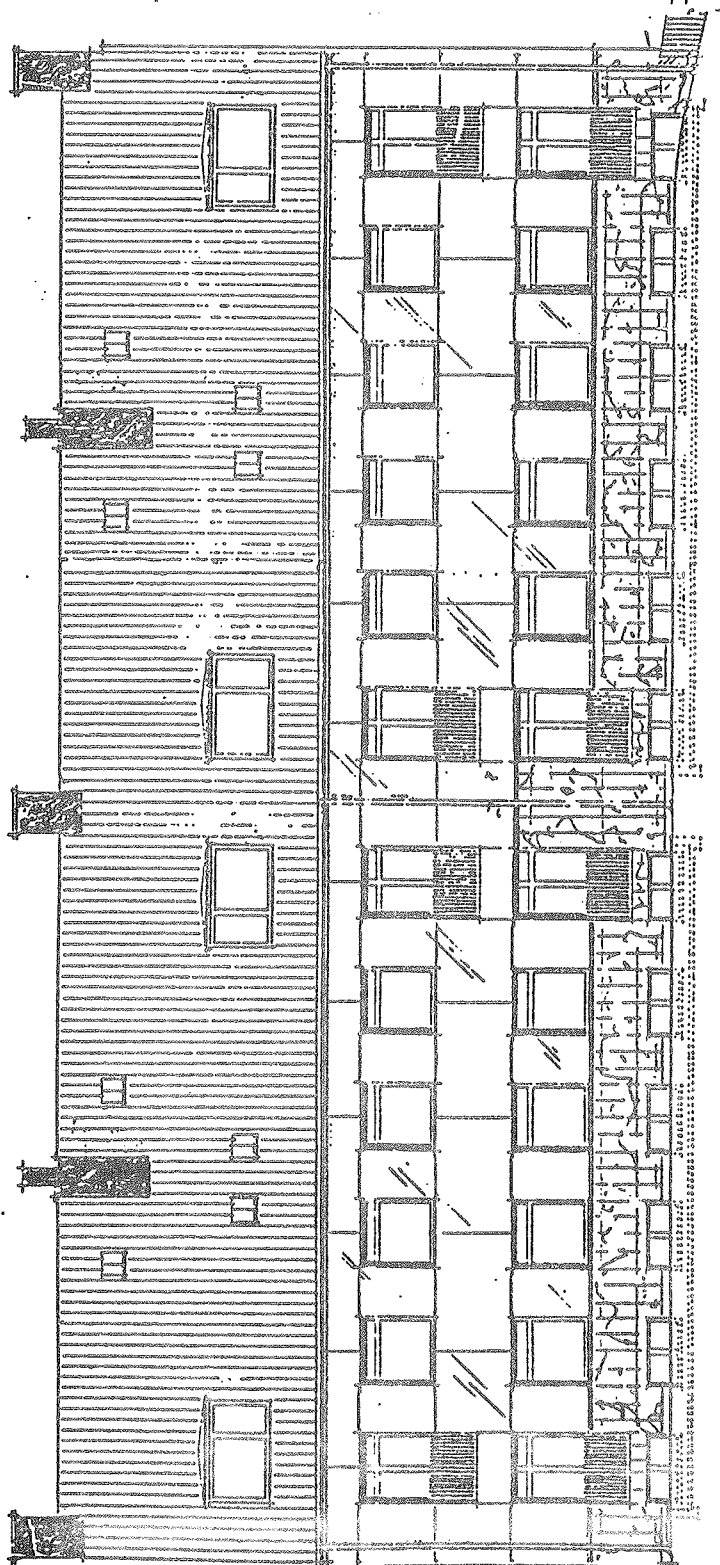
Facade mod sydvest, blok 2



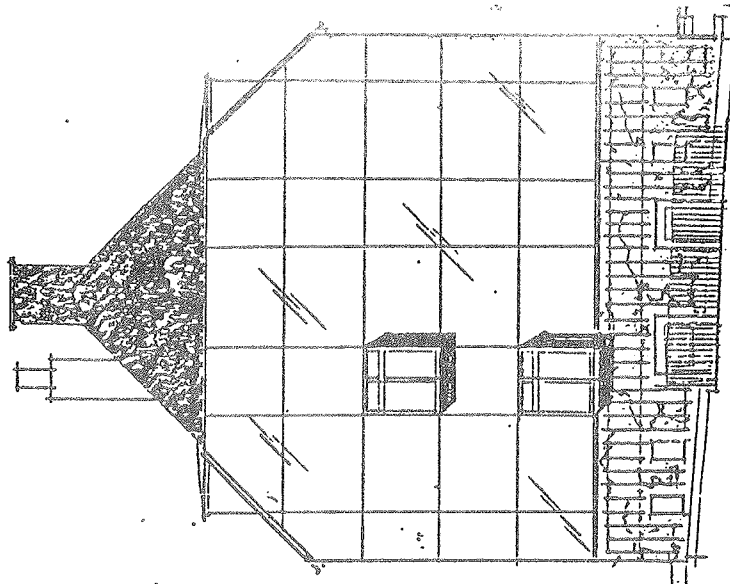
Gavl mod sydøst 1:100

AFD. VII, PEDER SKRAMSVEJ

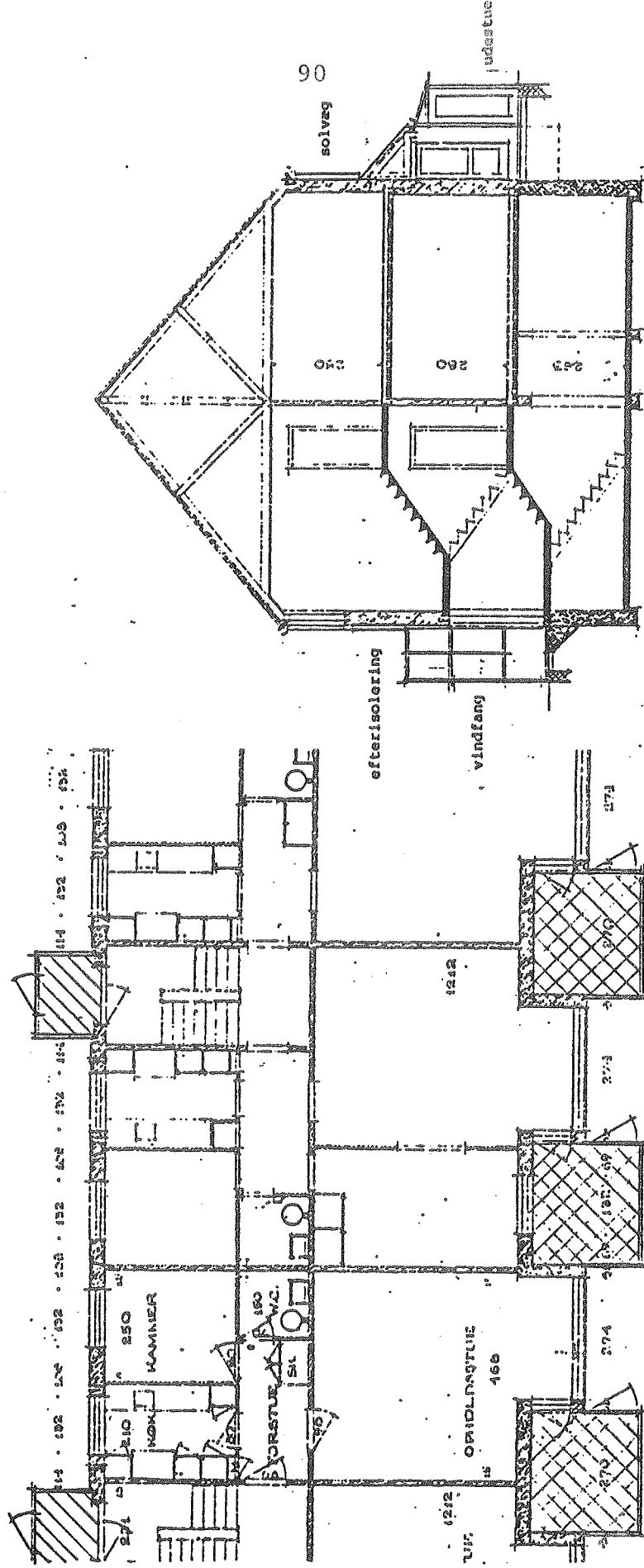
FORSLAG 1



Facade mod sydvest, blok 2

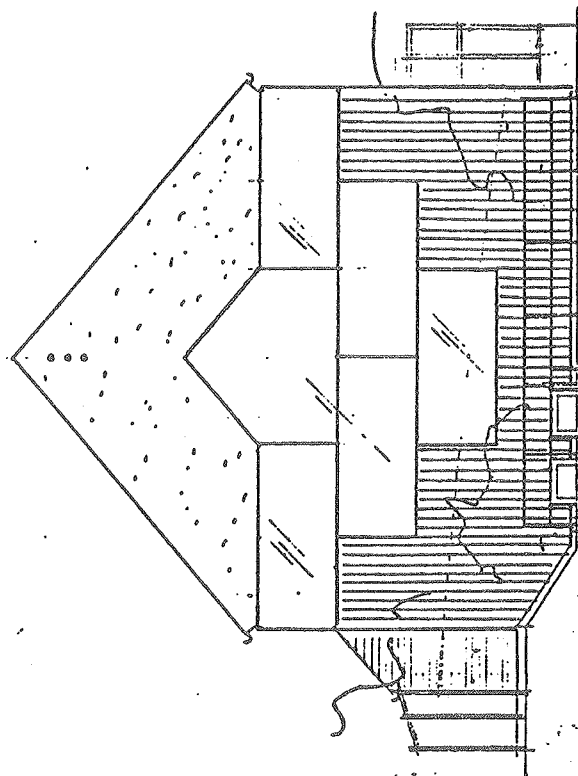


Gavl mod sydøst 1:100

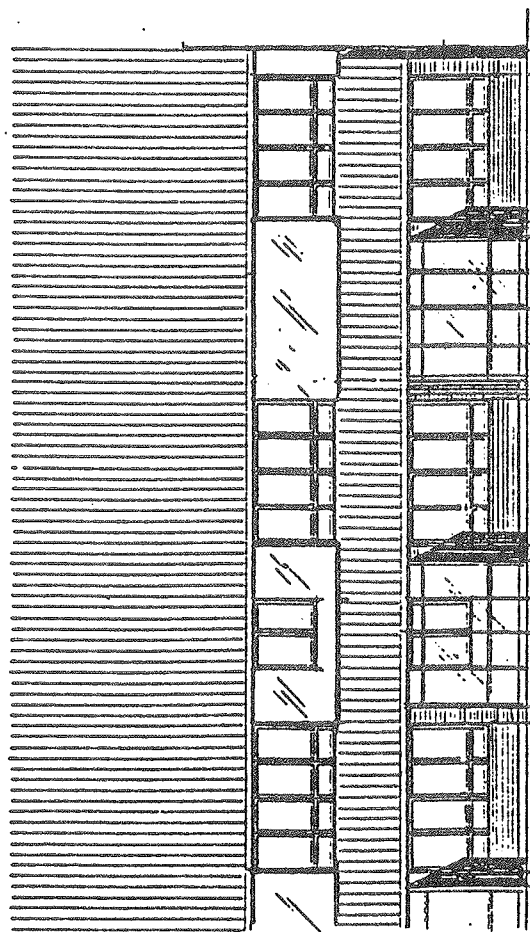


Planudsnit

Snit 1:100



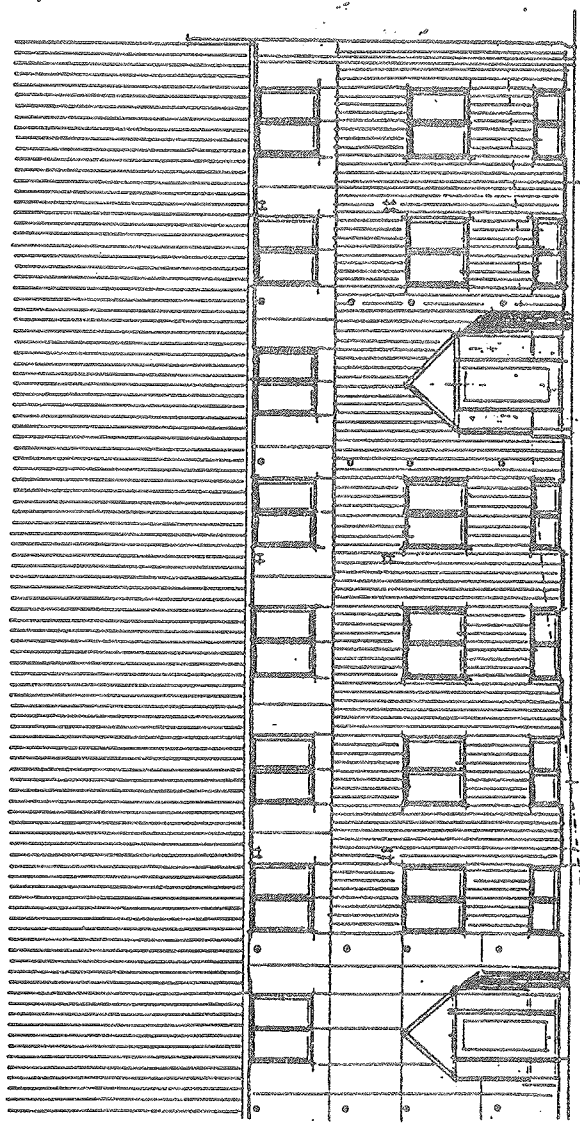
Gavl mod sydøst 1:100



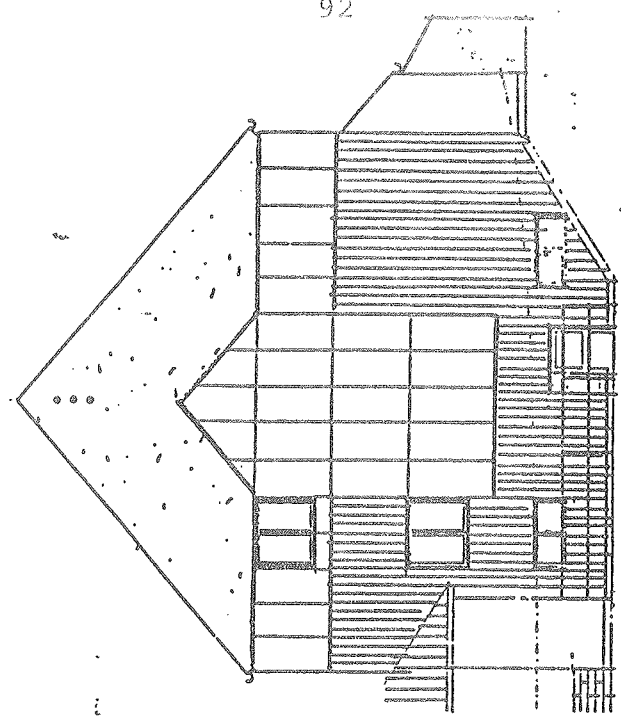
Facadeudsnit mod sydvest

AFD. XIII, ØREHØJ

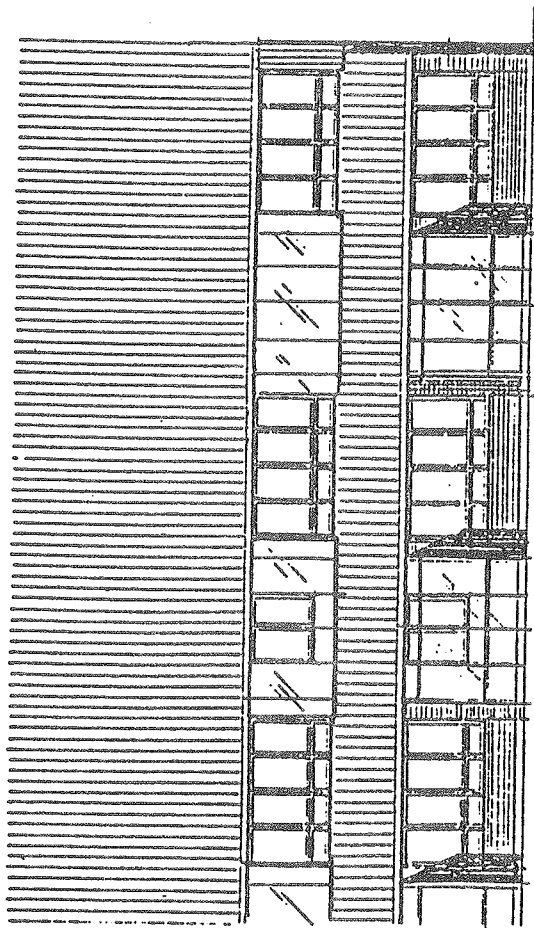
FORSLAG 1



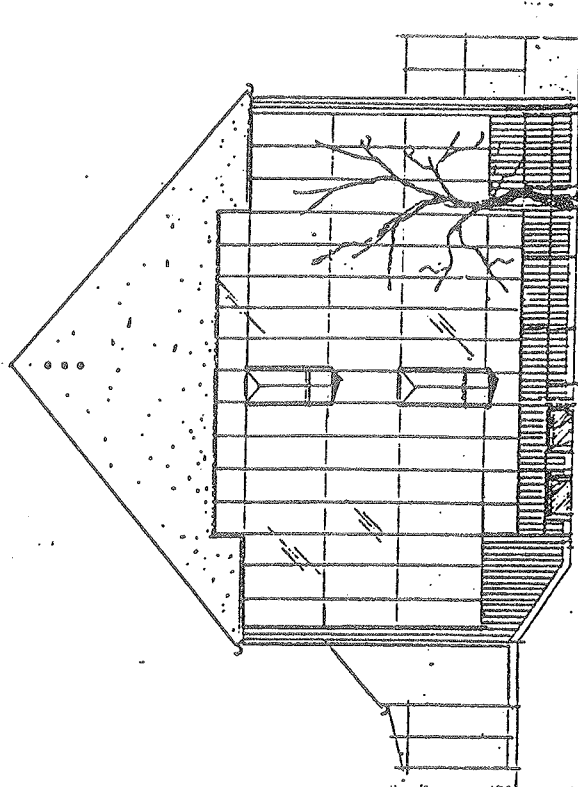
Facadeudsnit mod nordøst



Gavl mod nordvest 1:100



Facadeudsnit mod sydvest

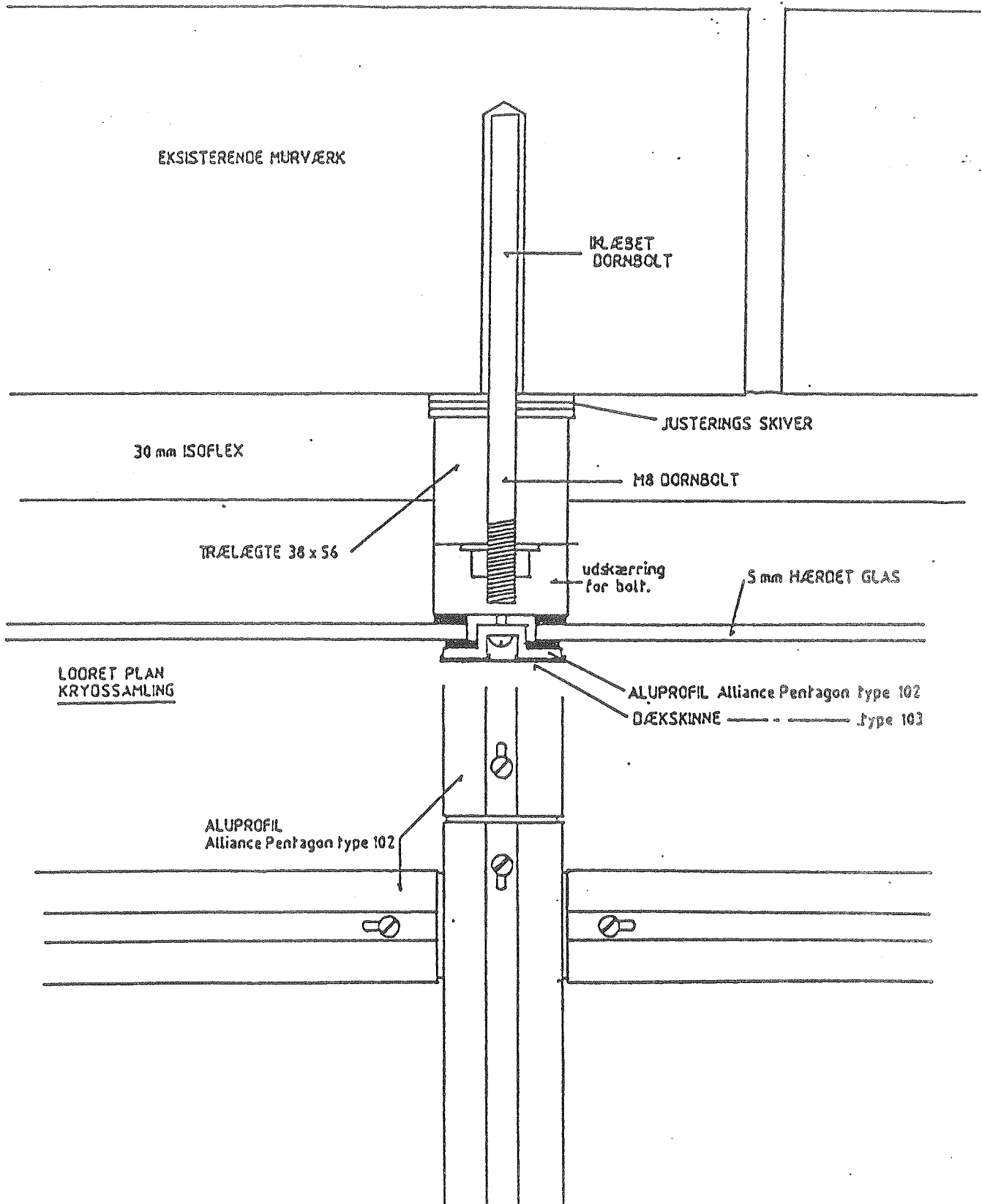


Gavl mod sydøst 1:100

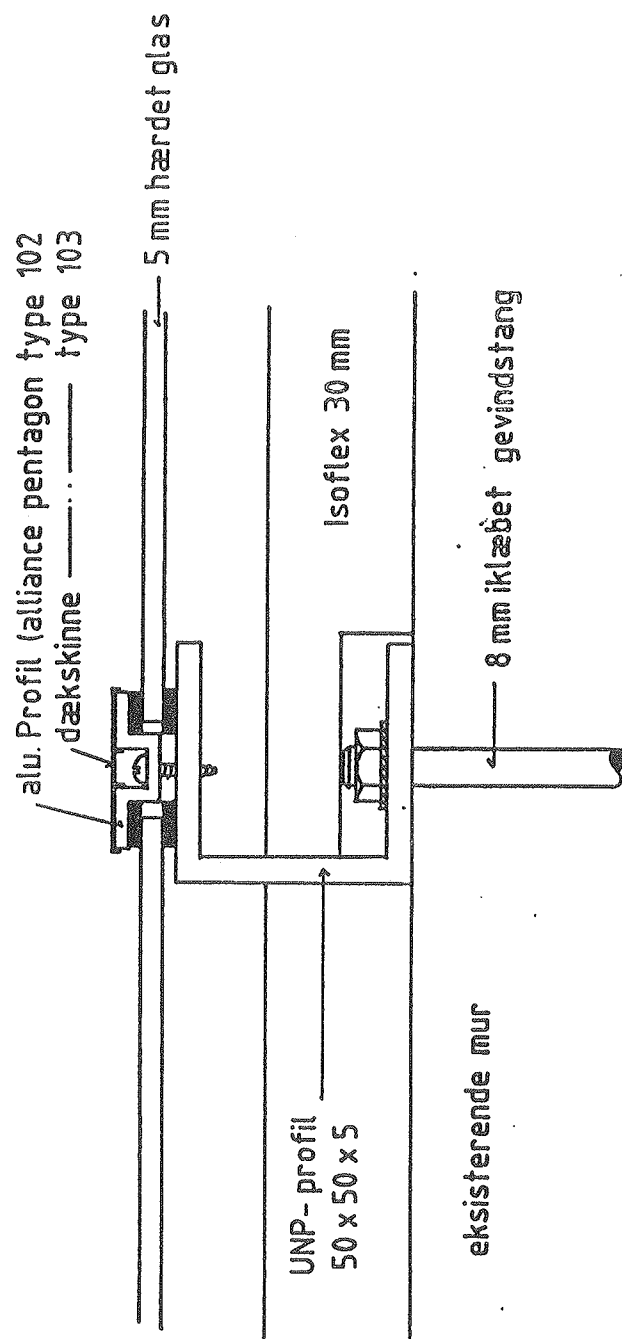
A2. Snitte tegninger af de undersøgte inddækningssystemer.

VANDRET SNIT

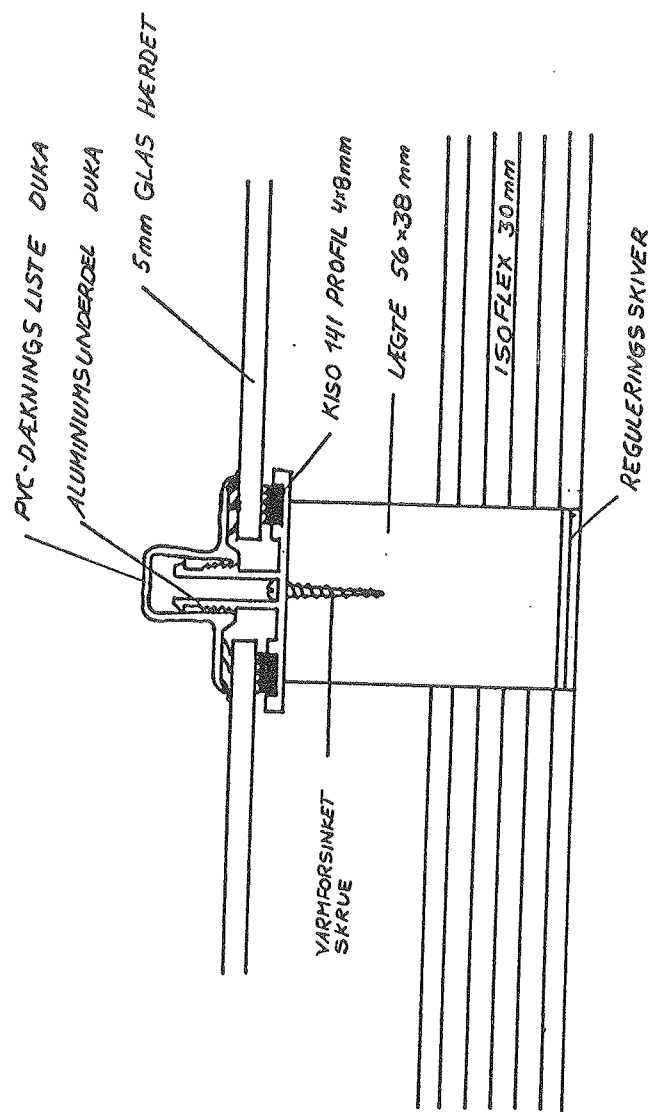
ALU-HAT-SYSTEM



ALU-HAT-SYSTEM m. UNP - profil.

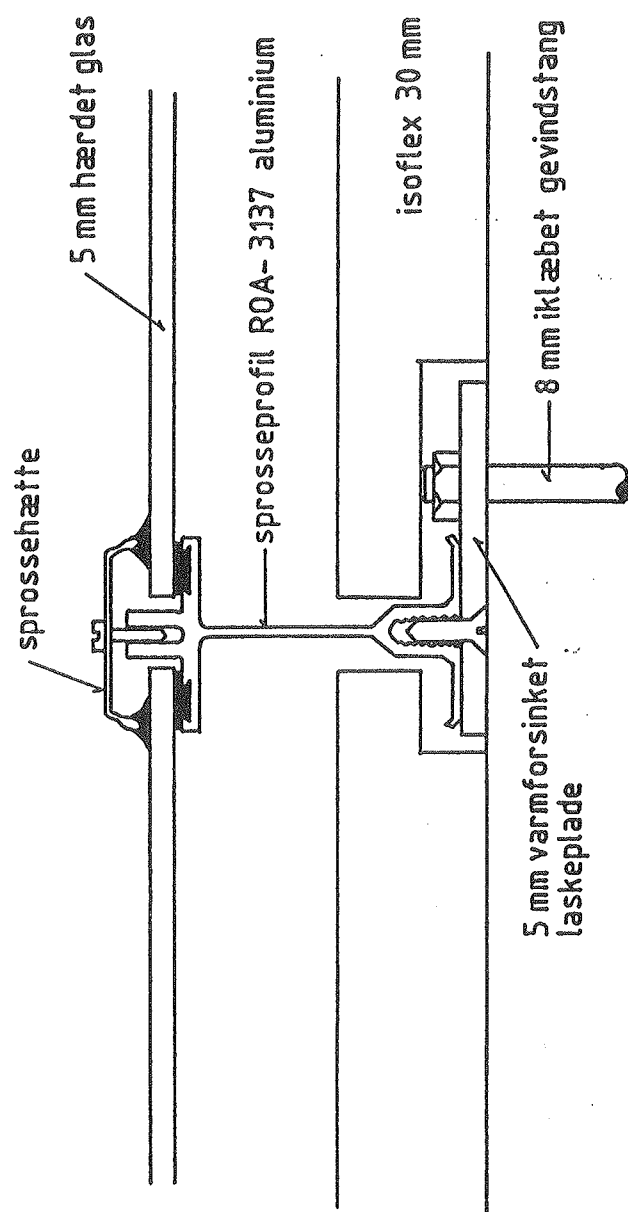


ALUPROFIL MED PVC-DÆKLISTE



DRIVHUS PROFIL

97



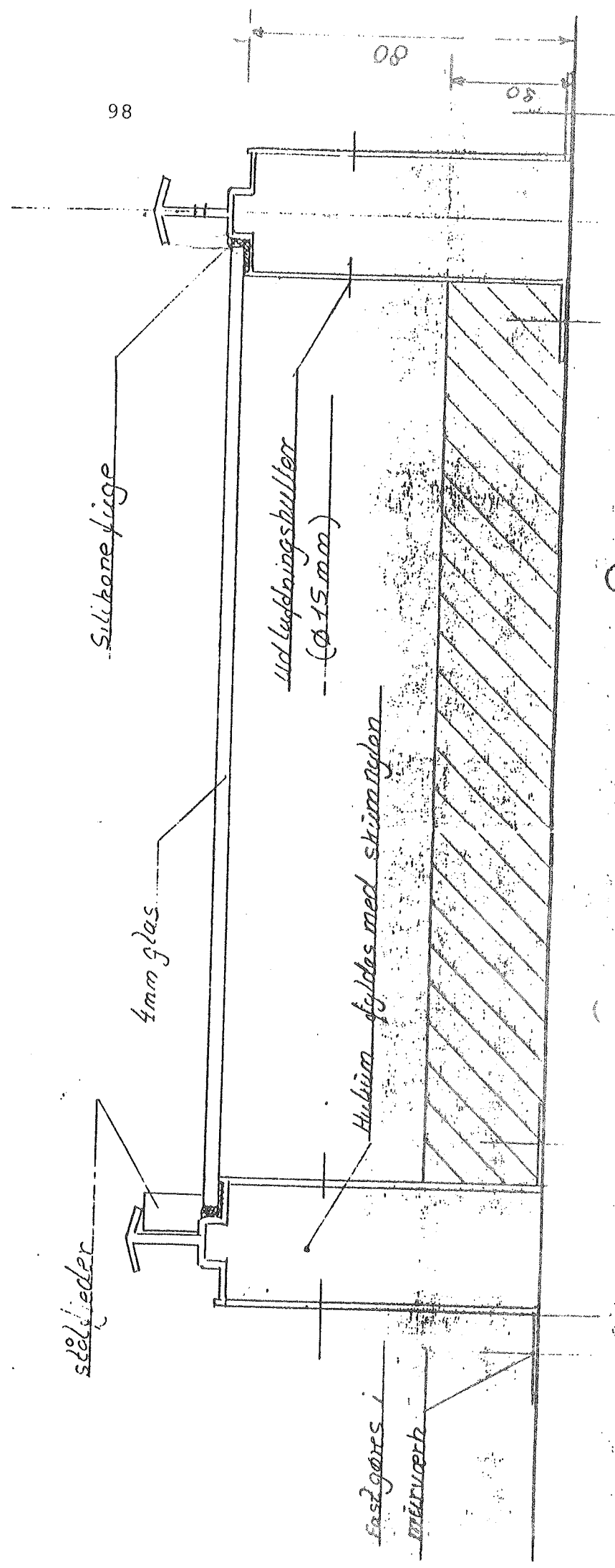
Juliana Glæsevej

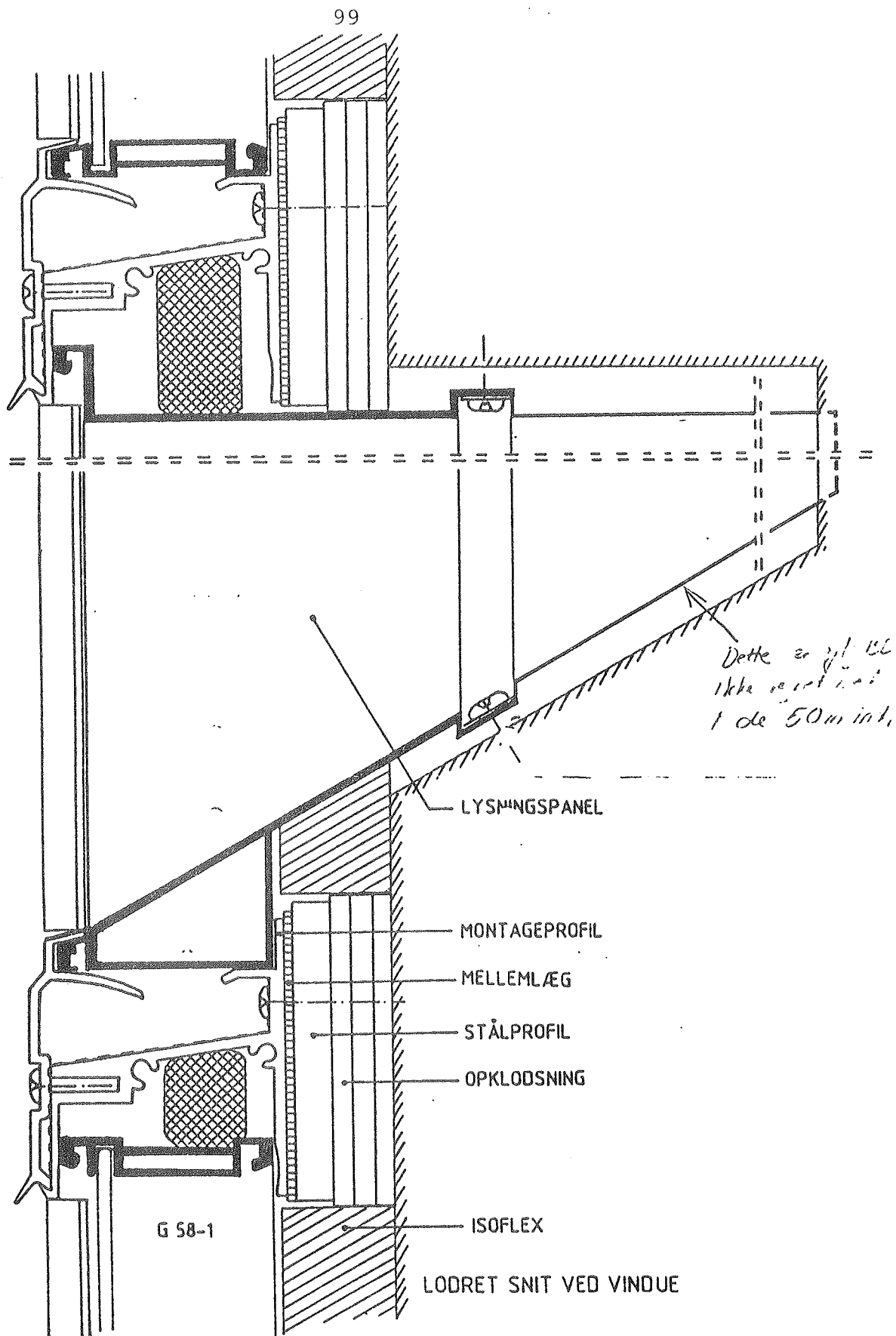
14/8.89 - M


SAG: Dørbelind Beliggenhed 7-056

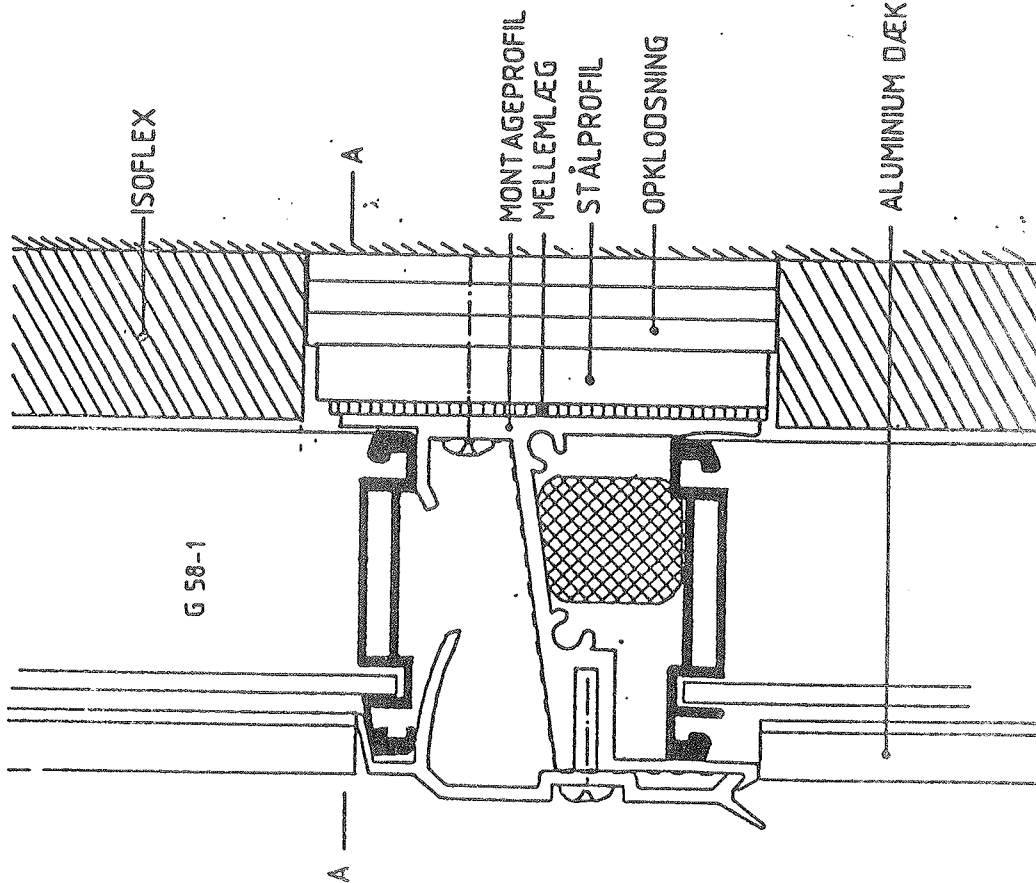
Mogens A. Stærmose & Søn Odense
JULIANA DRIVHUSE
Svendborgvej 102 - 5260 Odense S
Tlf 66 11 18 11 - Fax. 66 11 16 46

Principsbillede for Juliana glæsevej

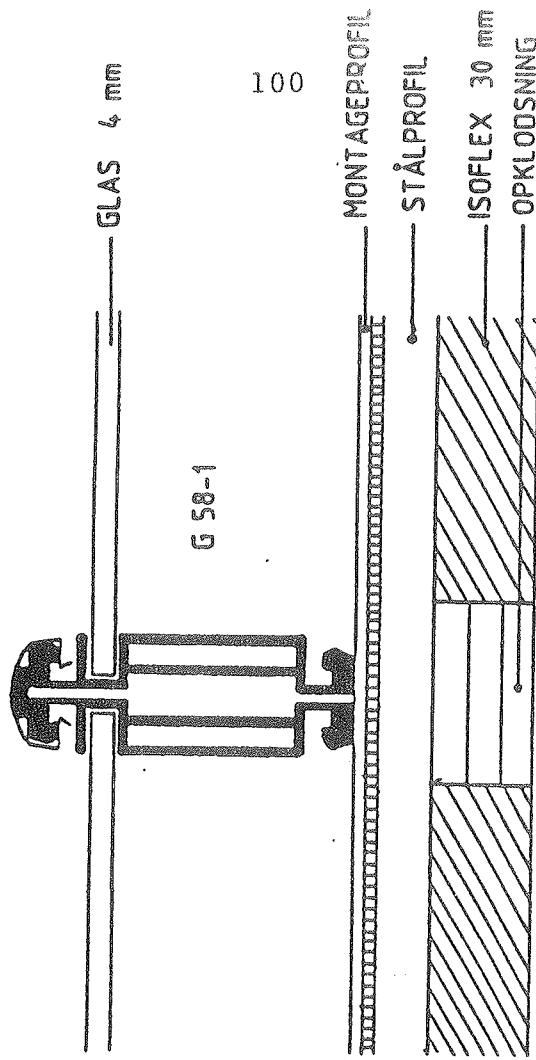




Sag PEDER SKRAMSVEJ	Målestok 1 : 1	Mål 800	Bogens: DK 03 308 89
	Tegn. B D	Rev.	Tegn. nr.: 2
Emne FORSTUDIE TIL GLASDÆKNING PÅ FACADE	Kontrol	Kontrol	Tegn. kategori
	Dato 18.08.89	Dato	Denne tegning må ikke overføres til kopieres eller udnyttelse af uddokumentation
VITRAL INTERNATIONAL A/S Havensmarken 4 · Postboks 90 DK-3650 Ølstykke · Denmark Telefon 02 - 17 60 22 Telex 425 09 vitral · DK Telefax 02 - 17 60 50			VITRAL® 



LODRET SNIT

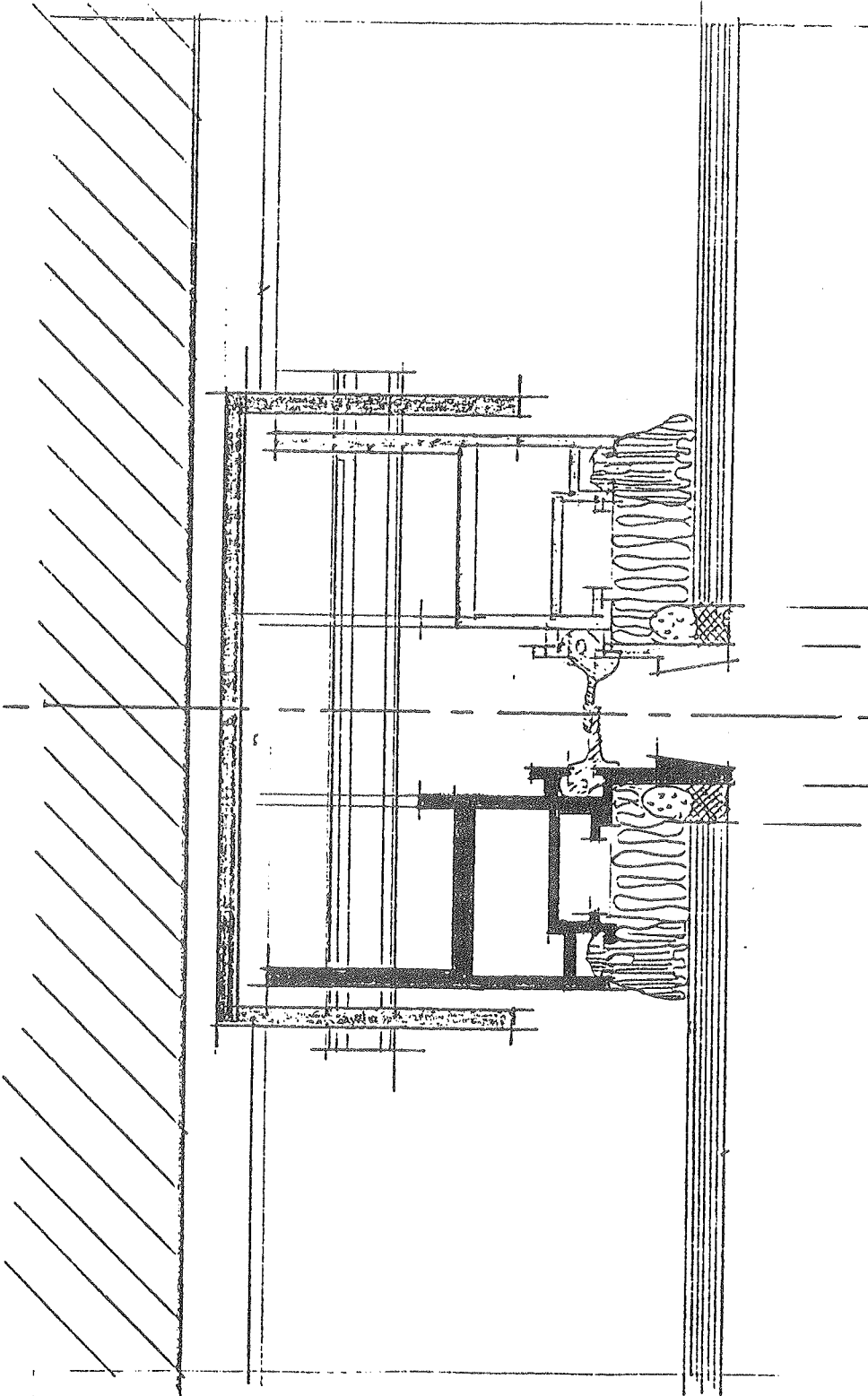


VANDRET SNIT A-A

Sag		Målsskæde		Mål		Signatur	
PEDER SKRAMSVEJ		1:1		mm		DK 03 308 89	
Erhverv		Tegn. 80		Rets		Tegn. nr.: 1	
FORSTUDIE TIL GLASDÆKNING PÅ FACADE		Kontrol		Kontrol		Tegn. betegnelse	
		Dato 17.08.89		Dato		Dato	
VITRAL INTERNATIONAL A/S Havnemærket 4, Postboks 00 DK-2000 Shjælsbøl, Danmark Telefon 03 - 17 08 22 Telex 47269 -vitral dk - Telex 02							

Denne tegning må ikke overføres til tredjemand.

5mm glas.



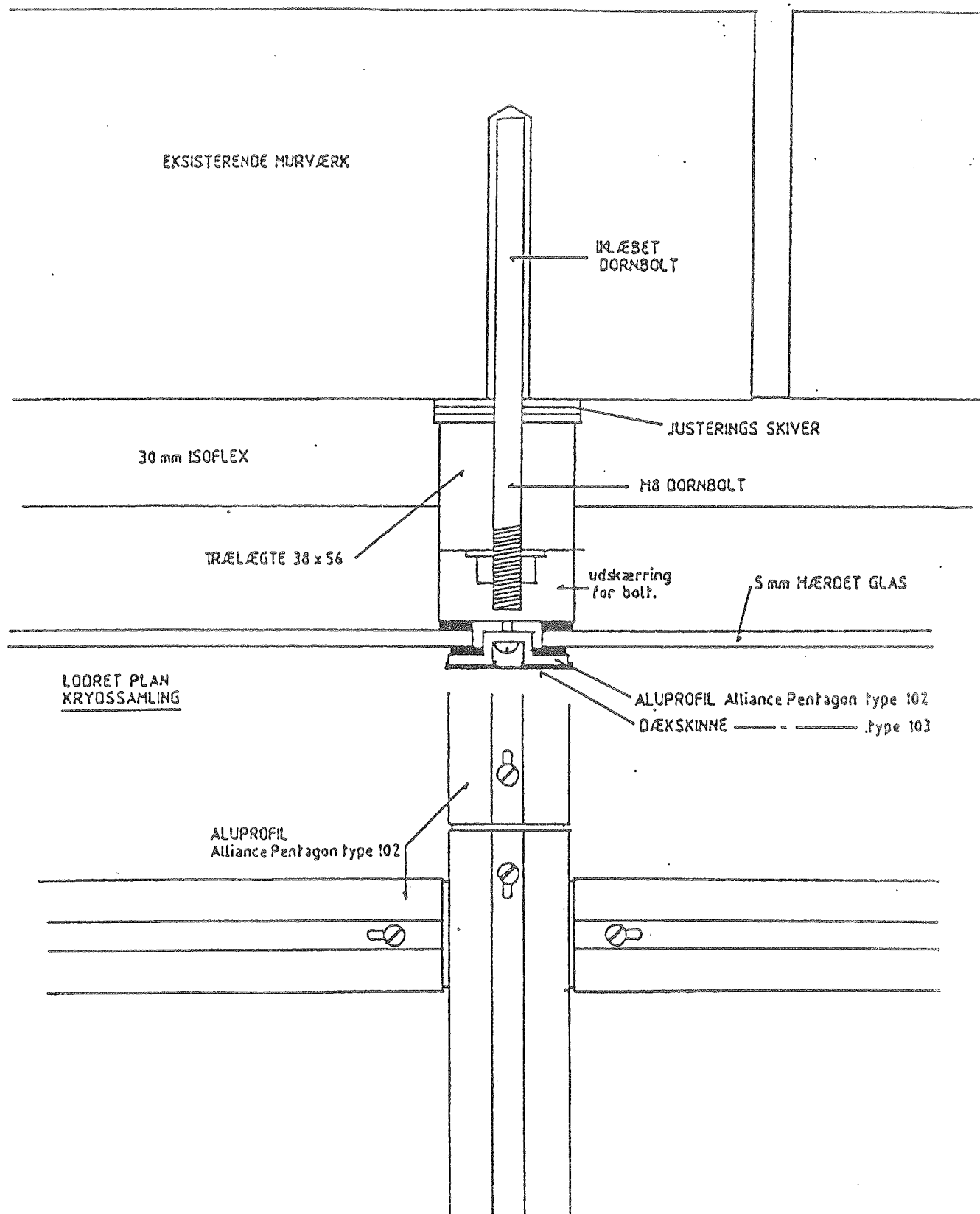
OUTORUHPU

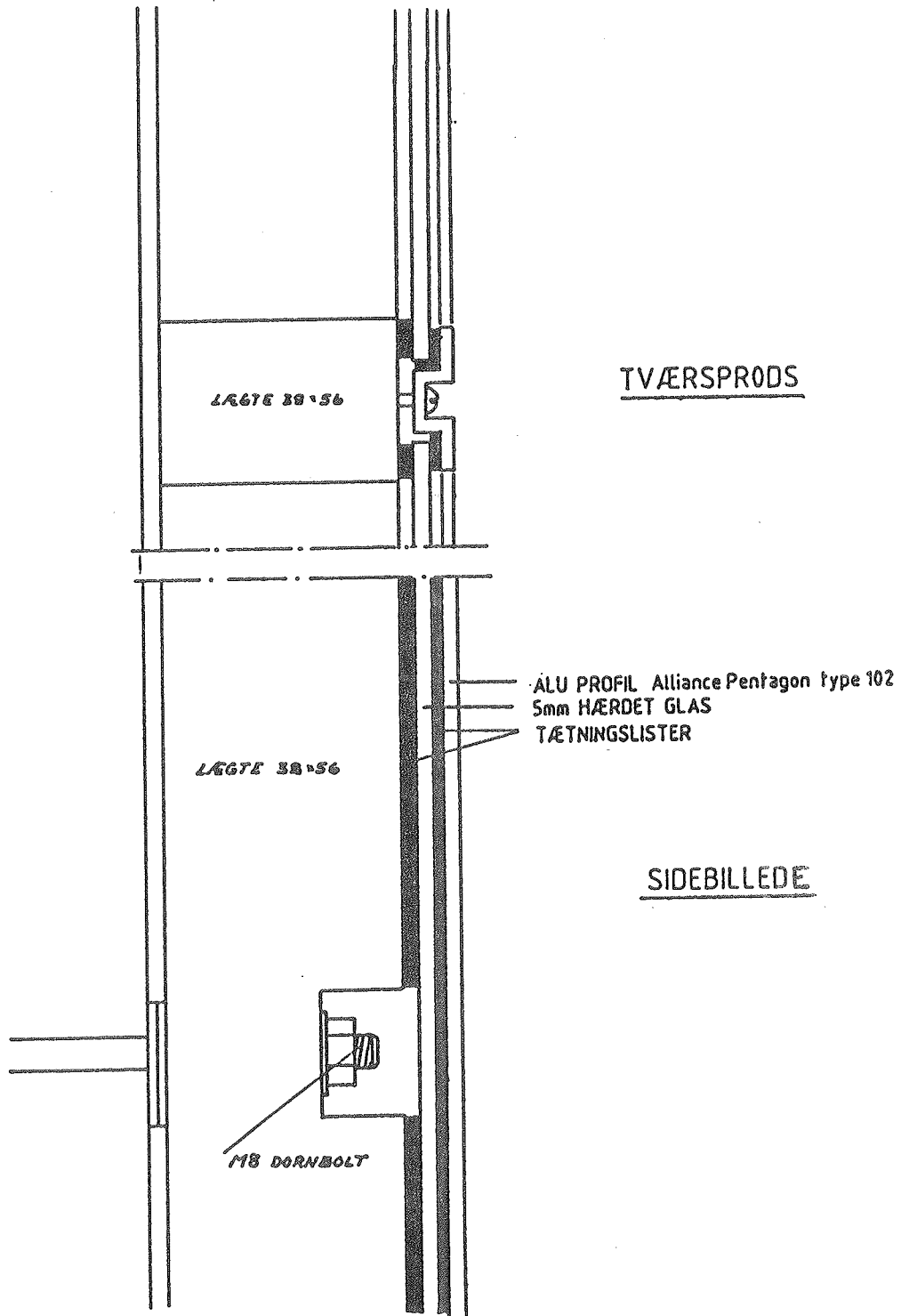
STROKRAL-CHAZING CRAUL-ELEMENT
 SYSTEM ALCAPI
 1 AUGUST 89 HED

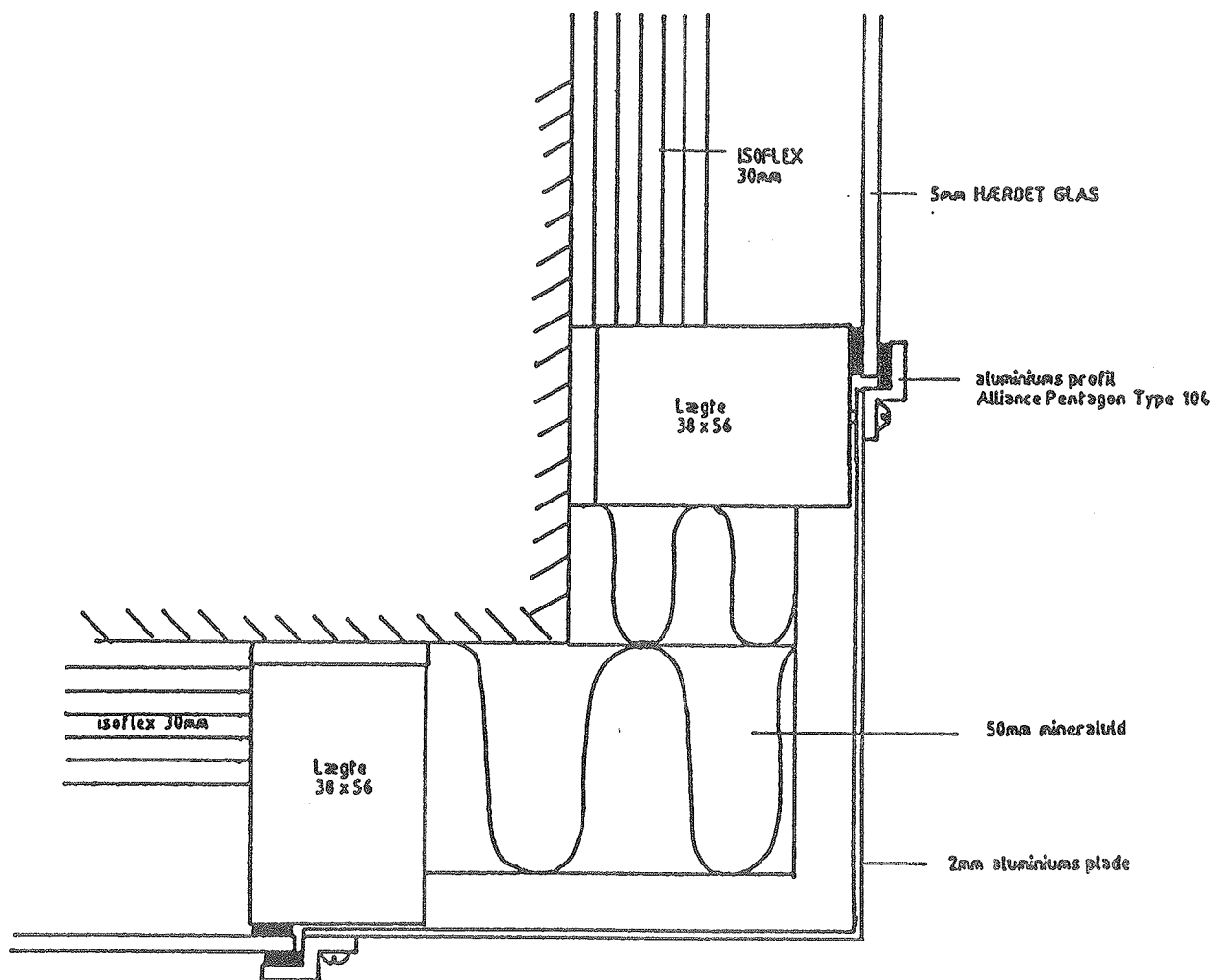
A3 Detailtegninger af forslag til inddækningssystemer for
solvægge.

ALU-HAT-SYSTEM

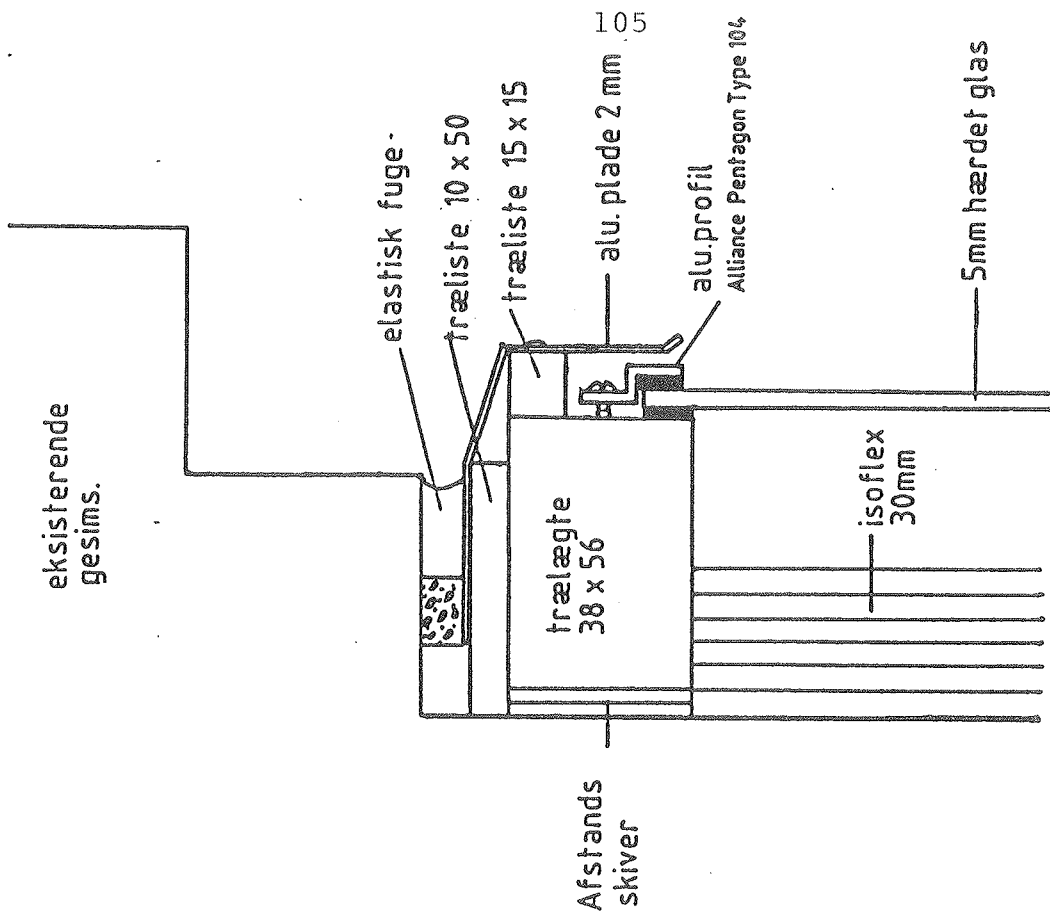
VANDRET SNIT



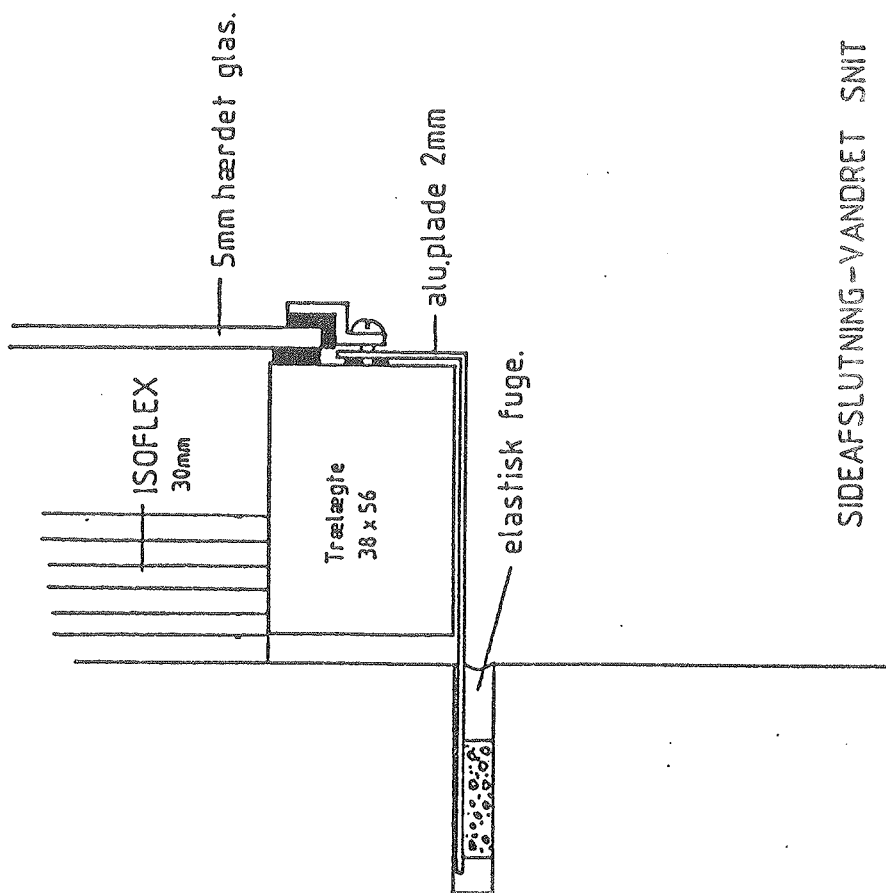




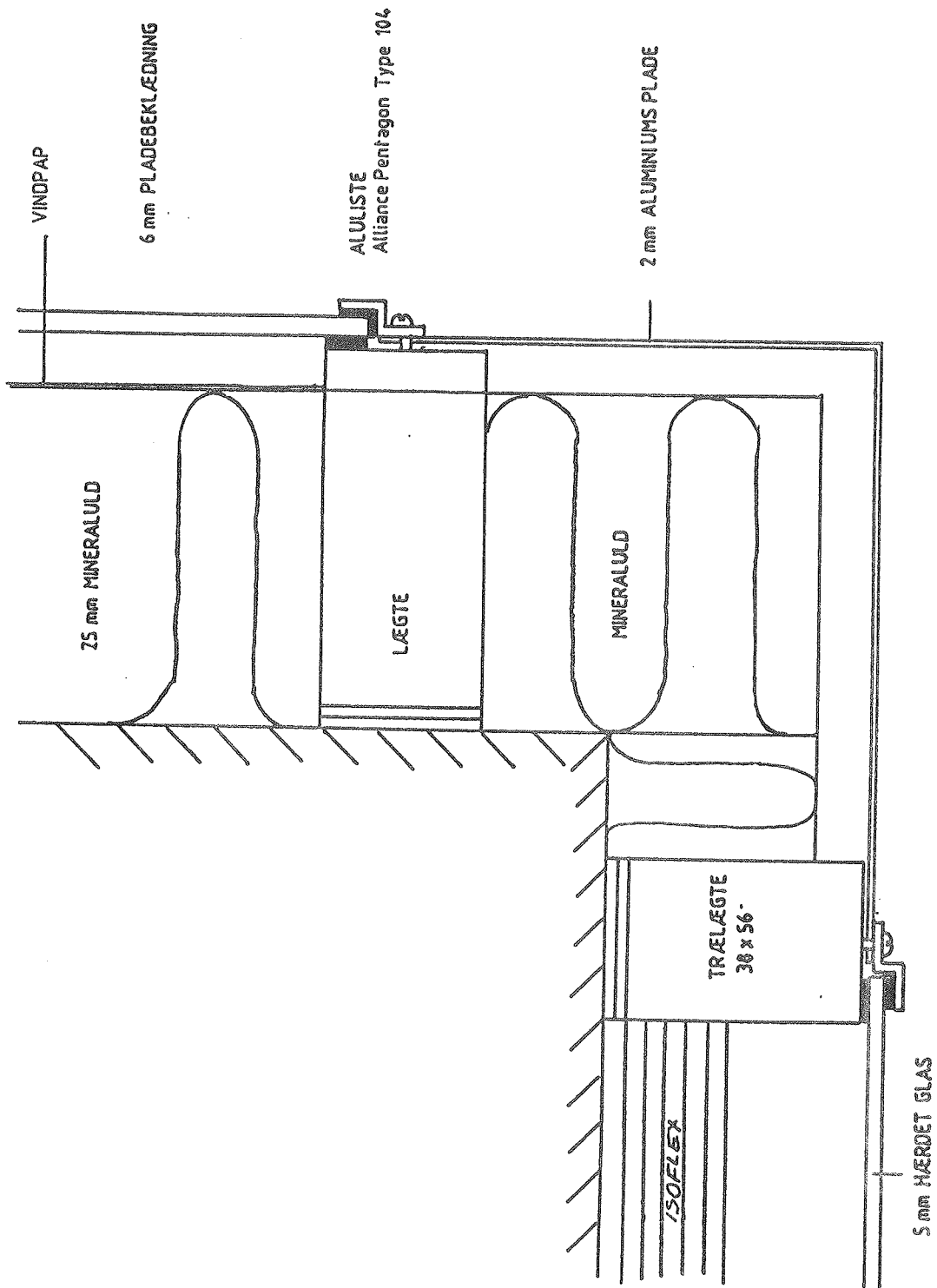
HJØRNEAFSLUTNING-VANDRET SNIT

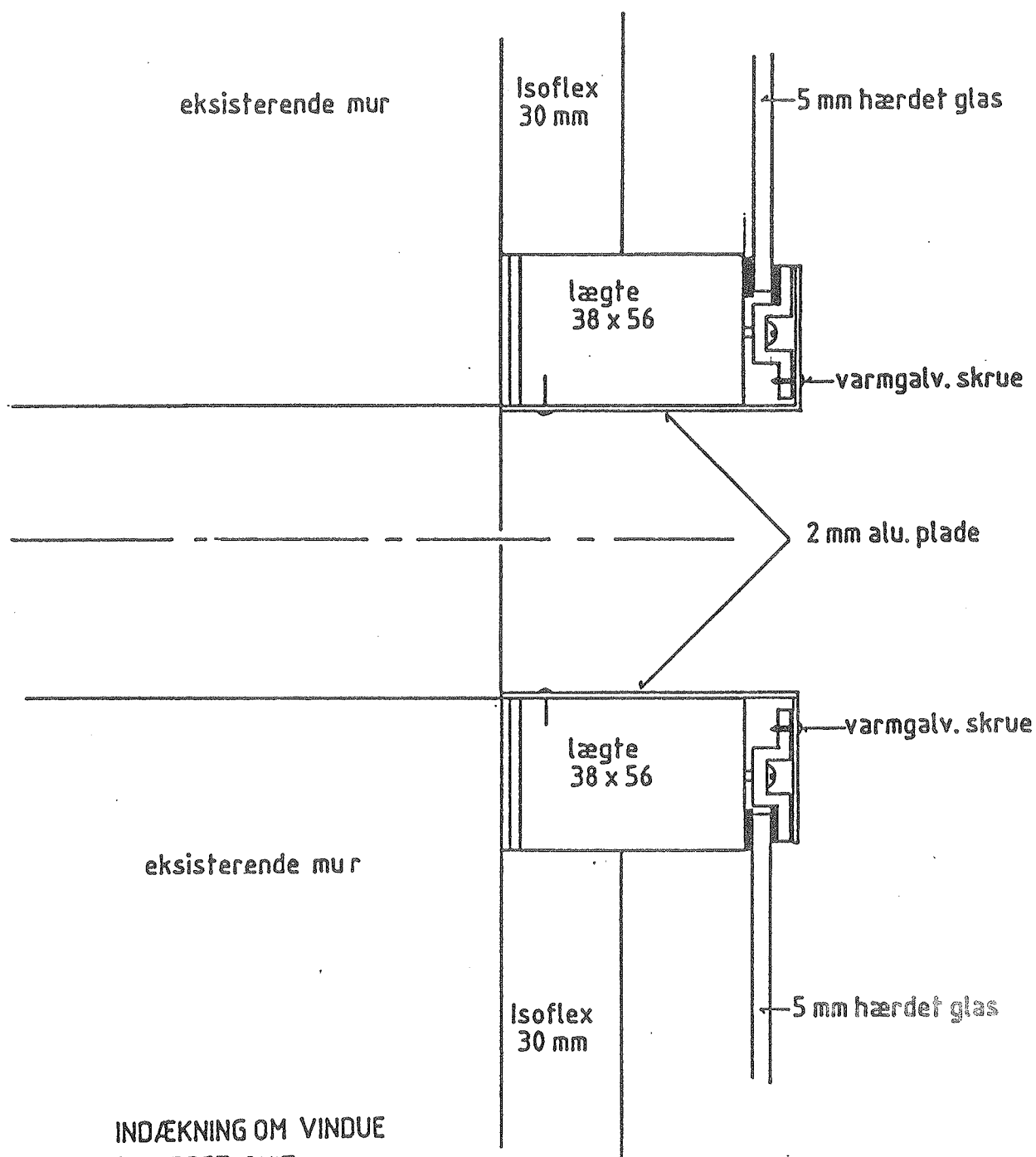


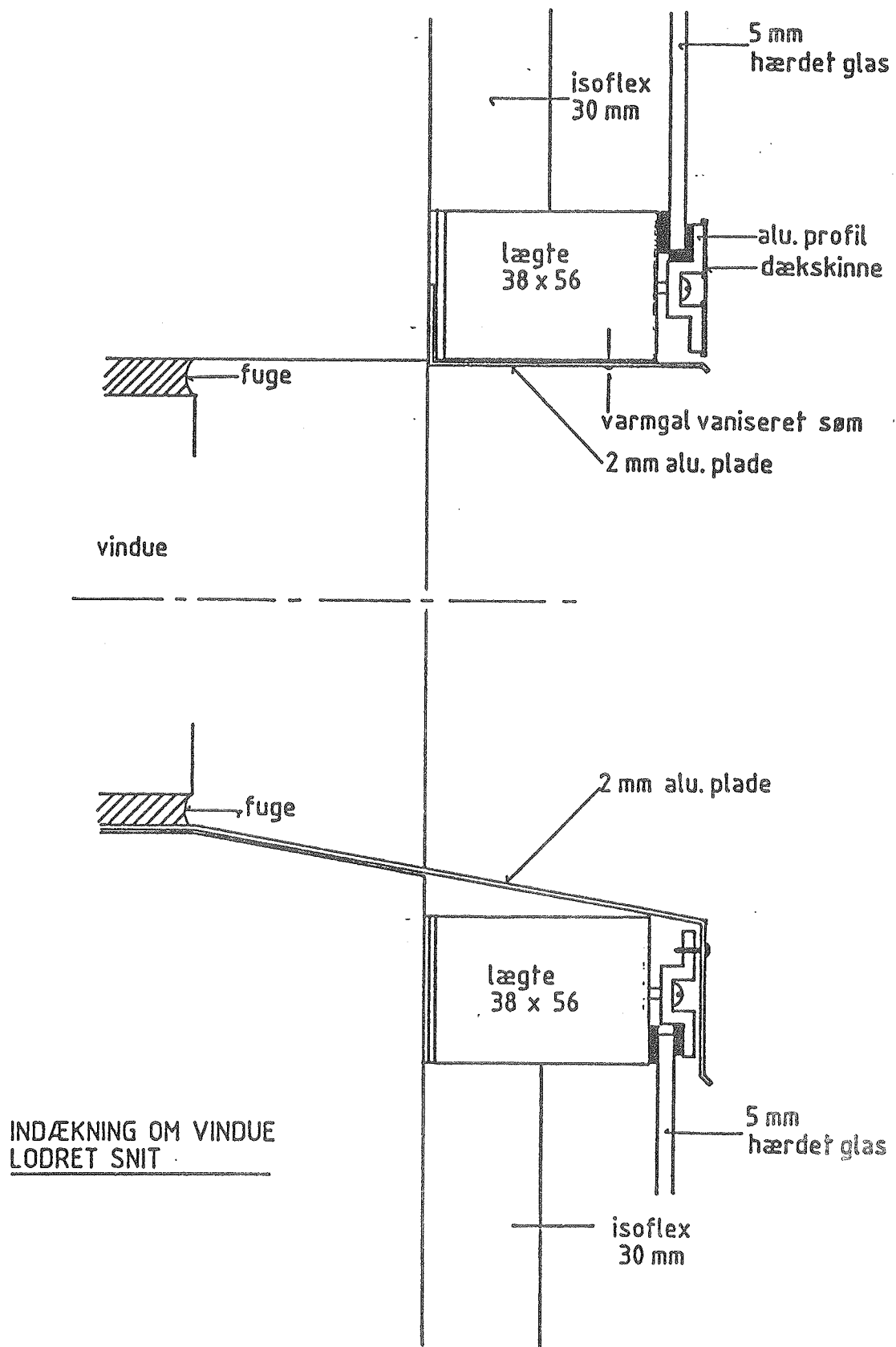
TOPAFSLUTNING-LODRET SNIT



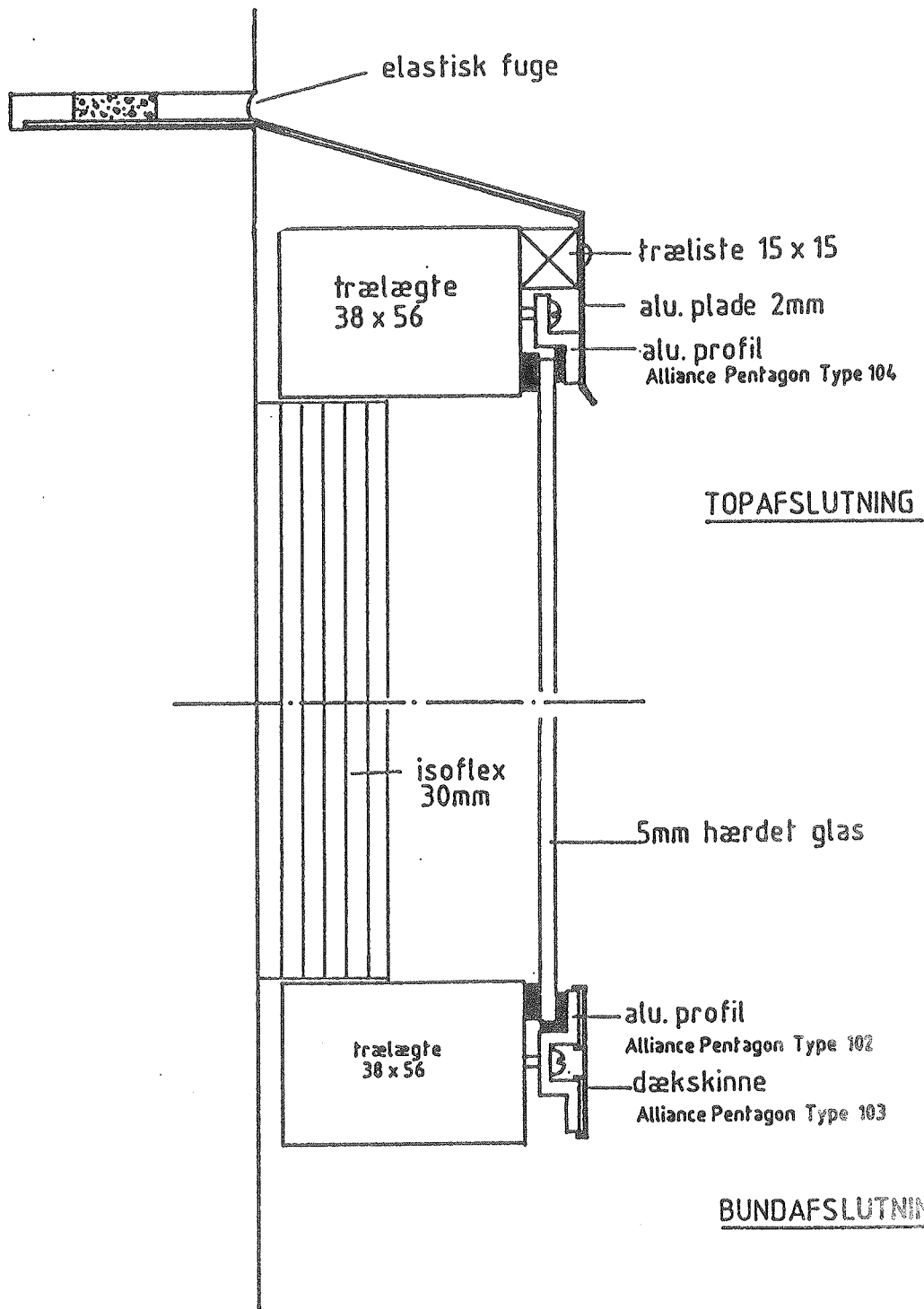
SIDEAFSLUTNING-VANDRET SNIT

HJØRNE AFSLUTNING -
VANDRET SNIT





LODRET SNIT



A4. Beskrivelse af solvægge i EDB-model

I SUNCODE-manualen, /11/, er forklaret, hvordan programmets algoritmer er udformet. Herunder er det forklaret, hvordan programmet udfører beregninger for de simple "traditionelle" opbygninger af solvægge. I det følgende er nævnt de generelle tilnærmelser, der gøres ved programmets solvægs-beskrivelse. Endvidere er omtalt de "tricks", som er gjort i forbindelse med undersøgelsen af de mere avancerede solvægge i dette projekt. Betydningen af de benyttede symboler er som i kap. 8.

I programmet er det ikke muligt at angive nogen sammenhæng mellem U_L og forskellen mellem middel-absorbertemperaturen, T_p , og middel-lufttemperaturen, T_a , på trods af, at der ofte vil være tale om en betydelig forøgelse af U_L , når temperaturforskellen, $T_p - T_a$, øges. Når der er solindfald om dagen, vil man typisk have en forskel på mellem 20 og 40 °C. I fyringssæsonen vil forskellen, i situationer med varmetab gennem væggen, om natten typisk være mellem 5 og 20 °C. I dette projekt er de benyttede værdier for solvæggenes U_L beregnet ved en temperatur på 20 °C. Dette medfører, at U_L ofte vil være lidt for lav om dagen og lidt for høj om natten. Herved sker en lille undervurdering af solvæggenes energibesparende egenskaber.

Ved beregning af transmittansen for et dæklagssystem, forudsættes det i programmet, at systemet er sammensat af et vist antal identiske simple dæklag. Dette er imidlertid ikke tilfældet for de fleste af de i dette projekt undersøgte dæklagssystemer, dvs. systemerne med transparent isolering (Isoflex samt 50 og 100 mm honeycombs). For dæklagssystemer med transparent isolering er transmittansen beskrevet v.h.a. et ækvivalent dæklagssystem. Dette er bestemt ved at sammenligne beregnede værdier af $(\tau\alpha)_e$ for forskellige dæklag opbygget af x lag alm. glas, med målte værdier for det pågældende dæklagssystem. I simuleringerne er benyttet et brydningsindex på 1,0 for bedre at kunne simulere den stærke vinkelafhængighed for de forskellige typer transparent isolering. Herudover er specificeret en reduktionsfaktor, SC ,

der bevirker, at den i programmet beregnede $(\tau\alpha)_e$ får en passende reduktion. Den benyttede værdi af SC er bestemt af:

$$SC = 0,5 \cdot \frac{(\tau\alpha)_{e,1,n}}{(\tau\alpha)_{e,0,n}} + \frac{(\tau\alpha)_{e,1,d}}{(\tau\alpha)_{e,0,d}}$$

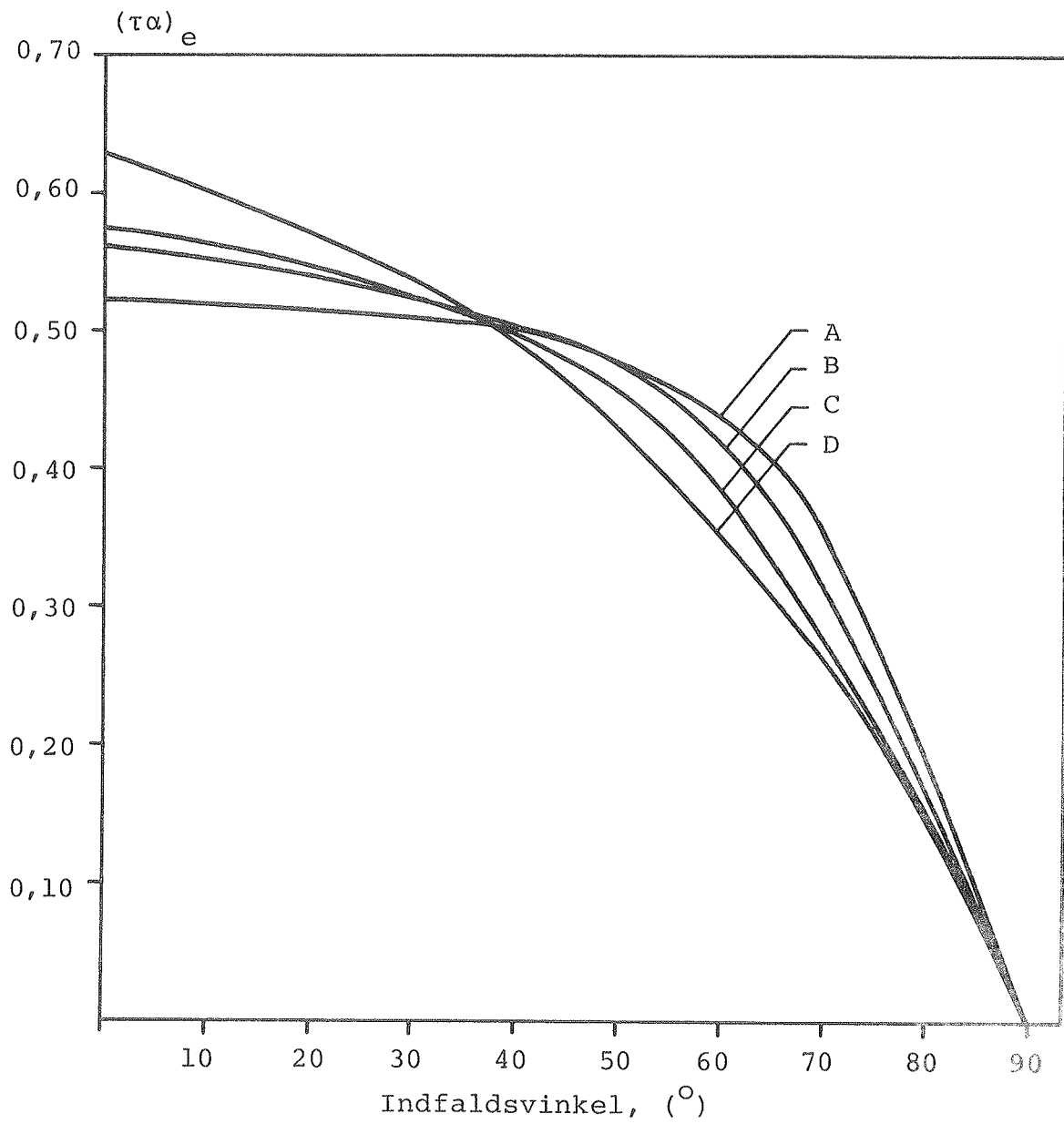
hvor indices 1, 0, n og d angiver, at der er tale om de korrekte værdier for hhv. det aktuelle dæklagssystem med transparent isolering, det ækvivalente dæklagssystem med x lag alm. glas, solstråling med normal-indfald og diffus solstråling.

De beregnede og målte værdier for $(\tau\alpha)_e$ er sammenlignet i fig. A.1. De forskellige kurver er beskrevet nedenfor:

- A - Transmittans for dæklag med Isoflex simuleret som i /1/.
- B - Transmittans for dæklag med Isoflex simuleret som 4 lag alm. glas incl. reduktionsfaktor, SC, og med et brydningsindex på 1,0.
- C - Transmittans for dæklag med Isoflex simuleret som 6 lag alm. glas incl. reduktionsfaktor, SC, og med et brydningsindex på 1,0.
- D - Målte værdier for dæklag med Isoflex.

Energi- og komfortberegninger i kap. 8 er baseret på simuleringsmodel C.

Programmets tilnærmede beregning af $(\tau\alpha)_e$ vil generelt give lidt for lave værdier ved små indfaldsvinkler og lidt for høje værdier ved store indfaldsvinkler samt ved diffus stråling.



Figur A.8.1 Sammenligning mellem målte og simulerede værdier af $(\tau\alpha)_e$ for et dæklagssystem med Isoflex.

A5. Notat fra Laboratoriet for Bygningsmaterialer, vedr.
temperaturbevægelser i murværk.



LABORATORIET FOR BYGNINGSMATERIALER · DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE

BUILDING MATERIALS LABORATORY · THE TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK

BYGNING 113 · DK-2300 LYNGBY · TELEFON 42 88 35 11 · TELEPHONE +45 42 88 35 11 · TELEX 37529 OTHOIA DK

23.08.1989

Solvægge på murværk

Placering af solvægge på eksisterende murværk giver anledning til ekstrapåvirkninger af dette. Laboratoriet for Bygningsmaterialer er blevet bedt om sit umiddelbare skøn over, hvorvidt disse ekstrapåvirkninger kan fremkalde skader i murværket.

Det aktuelle solvægsarrangement er som beskrevet i "Udredningsprojekt for solvægge: Skitseforslag til Peder Skramsvej, afd. 7 og Ørehøj, afd. 13, D.s.b.s. i Helsingør". DANBOLIND A/S, 16. maj 1989.

Skadesvurderingen hviler på murtemperaturer som de er beregnede af Laboratoriet for Varmeisolering for en særlig varm og solrig sommerdag. De anvendte vintertemperaturer er nærværende forfatters skøn.

PÅVIRKNINGER OG SKADER

1) Ændring af eksisterende påvirkningsstype

Før opsætning af solvægge er den maksimale temperaturvariation om sommeren på tværs af murværket givet ved en udetemperatur på $T_u = 40^\circ\text{C}$ og en indre temperatur på $T_i = 25^\circ\text{C}$. Den tilsvarende variation om vinteren skønnes at være givet ved $T_u = -20^\circ\text{C}$ og $T_i = 25^\circ\text{C}$. Variationerne skrives

$$\Delta_{\text{sommer}} = 15^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{vinter}} = -45^\circ\text{C}$$

Efter solvægsopsætning er tilsvarende $(T_u, T_i) = (65, 25)^\circ\text{C}$ om sommeren og - på den sikre side - $(T_u, T_i) = (-20, 25)^\circ\text{C}$ om vinteren. Variationerne skrives

$$\Delta_{\text{sommer}} = 40^\circ\text{C}$$

$$\Delta_{\text{vinter}} = -45^\circ\text{C}$$

Numerisk set vil opsætning af solvægge altså ikke introducere større temperaturdifferencer på tværs af murværket end dette i forvejen er "vant" til.

For en massiv mur forekommer det på denne baggrund ikke sandsynligt, at anbringelse af solvægge vil fremkalde ekstraskader på tværs i murværket.

Med hensyn til hulmur skal anføres, at det ikke kan afvises, at det forøgede udsving i temperaturvariationer mellem sommer og vinter kan fremkalde en slags fatigue-virkning i murbinderne - specielt de faste (murede) - med brud til følge.

2) Ny type påvirkning

En ny type belastning er den, der påføres murværket på langs i facaden ved temperaturdifferenser omkring solvæggens kant.

Skønnes det, at temperaturen $\approx 1/2$ sten under facadeplan under solvæg (det "varme" felt) ved vintertid er $T_{u,1} \approx 35^\circ\text{C}$, mens den udenfor solvæggen (det "kolde" felt) er $T_{u,2} \approx -15^\circ\text{C}$ kan der opstå et træk i murværket lige udenfor solvæggen af størrelsesordenen

$$\sigma \approx 0.5 \cdot (T_{u,1} - T_{u,2}) \cdot \alpha \cdot E \approx 2.5 \text{ MPa}$$

hvor elasticitetsmodulen, $E \approx 10^4 \text{ MPa}$ og varmeudvidelseskoefficienten, $\alpha \approx 10^{-5}/^\circ\text{C}$.

Udtrykket gælder for et lille varmt felt i et uendeligt stort koldt felt. Jo større det varme felt bliver i forhold til det kolde felt, jo større bliver trækspændingen i dette.

Da solvæggen skal kunne placeres arbitrært må vi regne med ovennævnte spænding som en mindste størrelsesorden, der derved (med normal murværksstyrke) forudsiger, at murværket må påregnes at revne omkring solvægge. Ved relativt store varme felter, med utilstrækkeligt modtryk fra et koldt felt, kan revnerne opnå deres maximumsværdi,

$$\varepsilon \approx \alpha \cdot (T_{u,1} - T_{u,2}) \cdot 1000 \approx 0.5 \text{ mm/m}$$

hvilket langs vandrette solvægskanter kan regnes optaget jævnt fordelt i murfuger.

Teoretisk opstår der langs de lodrette solvægskanter mulighed for, at nogle sten indrages i revnedannelsen. I praksis skønnes det dog, at den lodrette murbelastning reducerer en sådan risiko til det negligerbare.

Under den her betragtede påvirkningstype (2) må tilføjes, at de nævnte revner gennem frost-tø-cycler i kondensvand langs solvægskanter kan danne udgangspunkt for nedbrydning af murværkets fuger.

FORANSTALTNINGER MOD SKADER

1) Til imødegåelse af skader, der kan tænkes at opstå som følge af de under punkt 1 nævnte påvirkninger kan det anbefales, at fastgørelsen af solvægge på hulmur sker med ankre, der griber ind i bagmuren og derved virker som erstatning for defekte bindere.

Ingen foranstaltninger skønnes nødvendige ved montering på massiv mur.

2) Til imødegåelse af de skader, der kan tænkes at opstå som følge af påvirkningstype 2 kan der foreslås, langs solvægskanter at erstatte mørtlen i den nærmeste fuge (i en halv stens dybde) med eftergivelig fugemasse.

Foranstaltningen føres forbi solvæggens hjørner med en afstand lig solvæggens halve dimension i fugeretningen - eller til sammenløb med lignende foranstaltning hos nabo-solvæg - eller til muråbning eller -kant.

En solvæg opfattes i denne forbindelse også som flere solvægselementer - blot afstanden mellem dem er lille nok til at opfatte det samlede arrangement som ét varmt felt.

Foranstaltningerne med eftergivelig fuge gælder både massiv og hul mur.

Som tidligere antydnet er undersøgelsen at opfatte som et umiddelbart skøn vedrørende skader og foranstaltninger mod deres konsekvenser. En mere nøjagtig analyse forudsætter detaljeret kendskab til den endelige placering af solvægge i forhold til den aktuelle bygning.

Det skal i den forbindelse anføres, at selv den mest omfattende teoretiske analyse i dag, dybest set må karakteriseres som et skøn. Ideén med at placere solvægge på eksisterende bygninger er stadig så ny, at der ikke er et tilstrækkeligt omfattende erfaringsmateriale at bygge på.

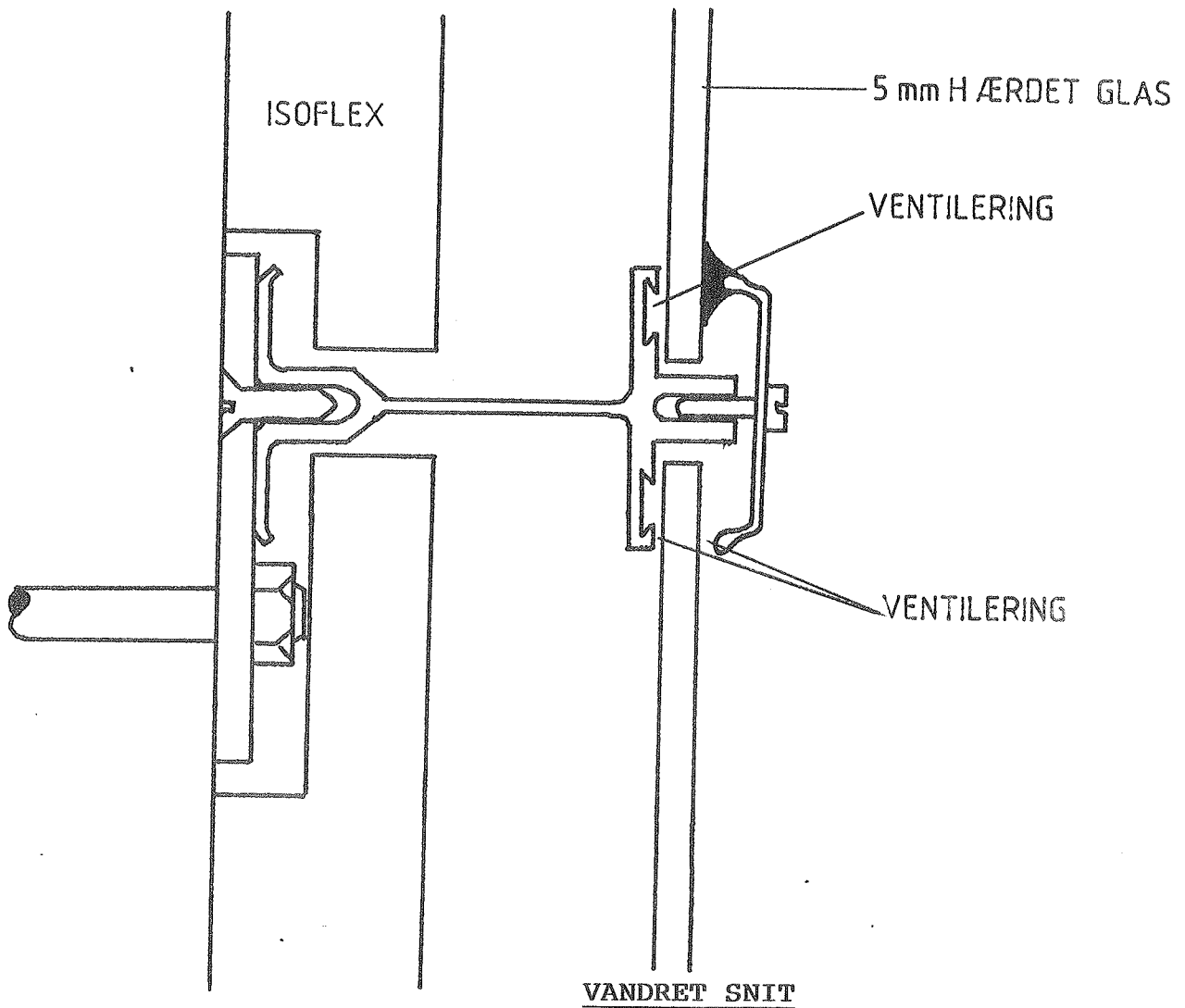
Ved opsætning af solvægge vil det være af betydelig forskningsmæssig og praktisk værdi, at efterlade kontrollerede vægfelter, hvor der ikke er foretaget nogen form for imødegåelse af skader.



Lauge Fuglsang Nielsen
Lektor, LBM

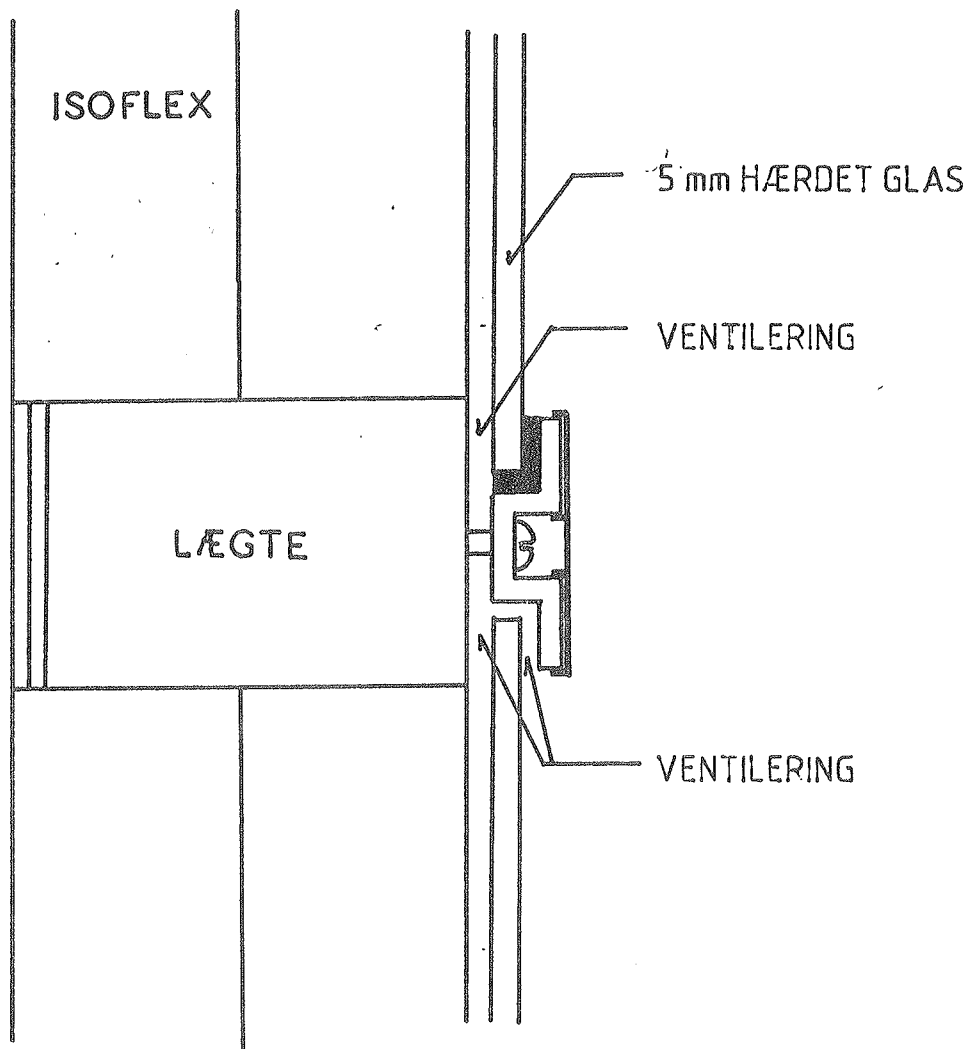
c.c. Lektor Sv.Aa. Svendsen og
Civ.ing. Olaf B. Jørgensen
Laboratoriet for Varmeisolering

A6. Forslag til ventilering af solvægge med alu-hat system eller drivhussystem.



NOTE:

Gummilister afbrydes
på 2 x 2 cm's længde
pr. glasfelt



VANDRET SNIT

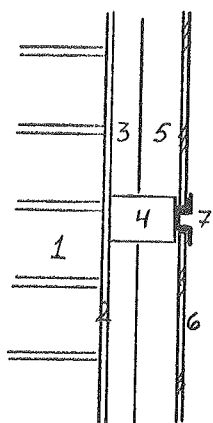
NOTE:

Gummilister afbrydes
på 2 x 2 cm's længde
pr. glasfelt

A7. Statiske beregninger for forslag til inddækning med solvægge
Alu-hat-system.

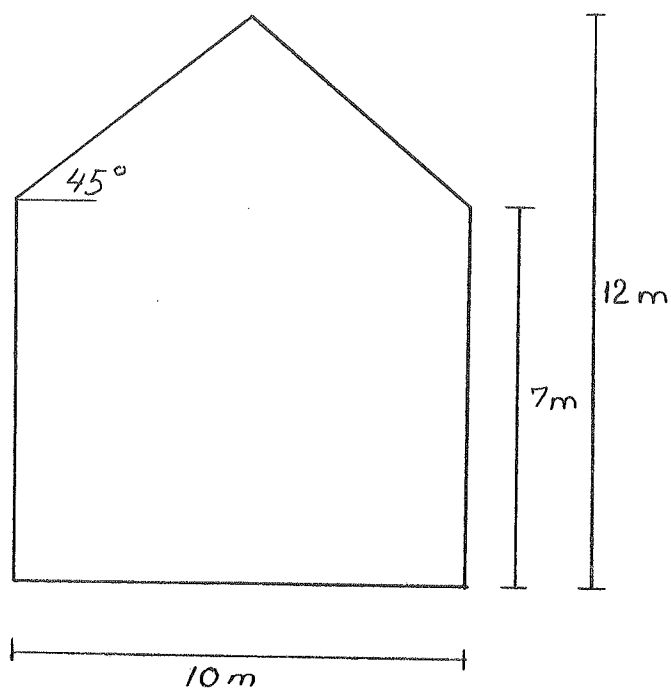
SOLVÆGSSYSTEM

OPBYGNING:



1. Eksisterende teglmur
2. Absorber farve, sort
3. 30 mm Isoflex
4. 38 x 56 mm trælægte
5. 26 mm luft
6. 5 mm hærdet glas
7. Aluminiums-profil

GEOMETRI AF GAVL



Densiteter:

Glas	27 KN/m ³
Træ	5 KN/m ³
Aluminiums	27 KN/m ³
Isoflex	0,11 KN/m ³

Vindlastberegning:

Formel: $W = Q \cdot C \cdot A$, $\Psi = 0,5$ DS 410/409
16.1.a

$Q = \text{hastighedstryk}$
 $\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$

$C = \text{konstruktionsafhængig}$
faktor

$A = \text{belastet areal}$

Formel: $Q = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$ $\rho = 1,28 \text{ kg/m}^3$ DS 409/410
16.1.1.

Formel: $v = 27 K_t \cdot \left(\ln \frac{z}{z_0} + 1,3 \right)$ DS 409/410
16.1.d.

Terræn: $z_0 = 0,3 \text{ m}$, $K_t = 0,22$ DS 409/410
 $z = 12 \text{ m}$ Tabel 16.1.1.a

Vindlast pr m²:

$$v = 27 \cdot 0,22 \cdot \left(\ln \frac{12}{0,3} + 1,3 \right) = 29,63 \text{ m/s}$$

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 1,28 \cdot 29,63^2 \cdot 10^{-3} = 0,562 \text{ KN/m}^2$$

Den største forekomne hastighedsfaktor C sættes til 1,1

Arealet A sættes til 1 m^2

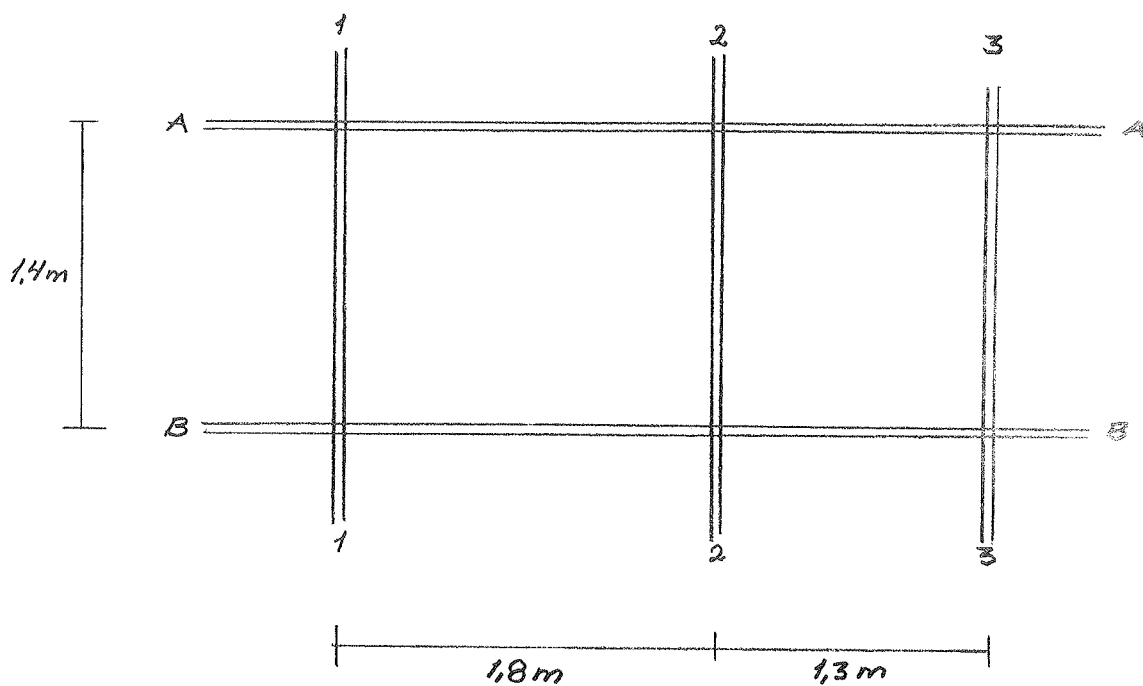
$$W_k = 0,562 \cdot 1,1 \cdot 1 = 0,618 \text{ KN/m}^2$$

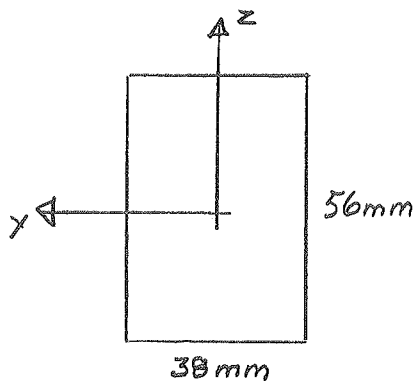
$$W_r = 1,3 \cdot 0,618 = \underline{\underline{0,804 \text{ KN/m}^2}}$$

Den dimensionerende vindlast på såvel facade som gavl regnes som værende $0,804 \text{ KN/m}^2$ for både tryk og sug.

Beregningerne er lavet for det største forekomne glasfelt.
Beregningerne er udført for forslag 2 i arkitekt projektet.

STØRSTE GLASFELT



LÆGTE DIMENSION

$$A = 2128 \text{ mm}^2$$

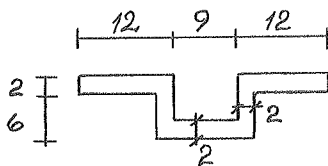
$$W_y = 19,85 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_z = 13,50 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$I_y = 0,556 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_z = 0,256 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Konstruktionstræ	K24	Fugtklasse IU
Bøjning	f_{md}	$= 16 \text{ N/mm}^2$
Forskydning	f_{vd}	$= 1,7 \text{ N/mm}^2$
Elastisitetskoeficient	E	$= 7000 \text{ N/mm}^2$

ALUMINIUMS PROFIL

$$A = 90 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$f_{yd 0,2} = 125 \text{ N/mm}^2$$

$$E = 70.000 \text{ N/mm}^2$$

$$E_d = 44.872 \text{ N/mm}^2$$

EGENVÆGT

$$G_r, \text{ Glas} = 1,0 \cdot (27 \cdot 0,005) = 0,135 \text{ KN/m}^2$$

$$G_r, \text{ Alu} = 1,0 \cdot 27 \cdot 90 \cdot 10^{-6} = 0,002 \text{ KN/m}$$

$$G_r, \text{ Lægte} = 1,0 \cdot 5 \cdot 2,128 \cdot 10^{-3} = 0,011 \text{ KN/m}$$

LÆGTE 2-2LODRET LAST LÆGTE (2-2)

$$\text{Glas} = 0,135 \cdot (1,0 \cdot 1,3 \cdot 0,5 + 1,8 \cdot 0,5 \cdot 1,0) = 0,209 \text{ KN/m}$$

$$\text{Alu} = 0,002 \text{ KN/m}$$

$$\text{Træ} = 0,011 \text{ KN/m}$$

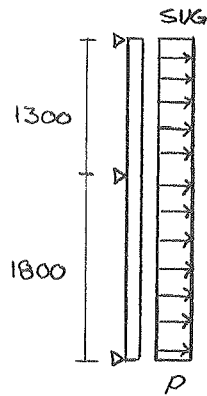
$$G \text{ lodret} = 0,222 \text{ KN/m}$$

Her forudsættes at de lodrette lægter optager hele den lodrette last.

Denne lodrette last overføres til de tværgående bolte.

BOLTEDIMENSION:

Der vælges en M8 Bolt pr. m overklipningsbæreevne = 14,5 KN

VINDLAST OVERFØRT TIL LODRET LÆGTE (2-2)

$$W_r = 0,804 \text{ KN/m}^2$$

Det forudsættes, at
kun de lodrette læg-
ter optager vindlast

Vindlast:

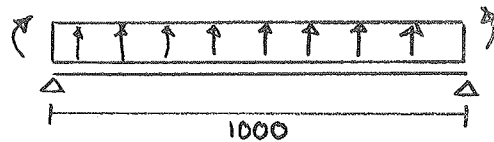
$$q = 1,8 \cdot 0,5 \cdot 0,804 + 1,3 \cdot 0,5 \cdot 0,804 = 1,25 \text{ KN/m}$$

Bolt: M8 pr meter Trækbæreevne = 15,7 KN

OK

Udbøjning:

Lægten regnes indspændt i enderne for en spændvidde på 1 m.



$$U_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

$$U_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{1,25 \cdot 1000^4}{7000 \cdot 0,556 \cdot 10^6} = 0,84 \text{ mm}$$

OK

FORSKYDNINGSSUNDERSØGELSE Lægte

$$\max V_d = \frac{1}{2} q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 1 = 0,63 \text{ KN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{A} = 1,5 \frac{0,63 \cdot 10^3}{2128} = 0,44 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

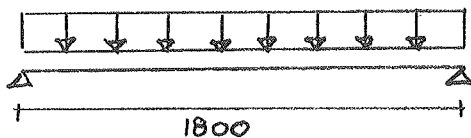
OK

BØJNINGSUNDERSØGELSE Lægte

$$M_d = \frac{1}{8} \cdot P \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,25 \cdot 1^2 = 0,16 \text{ KNm}$$

$$\sigma = \frac{M_d}{W_y} = \frac{0,16 \cdot 10^6}{19,85 \cdot 10^3} = 8,06 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 16 \text{ N/mm}^2$$

OK

LÆGTE B-B

gglas + galu + lægte

LODRET LAST

Det forudsættes at den vandrette lægte optager hele glasfeltets vægt.

$$G_{r, \text{Glas}} = 0,005 \cdot 27 \cdot 1,4 \cdot 1,0 = 0,189 \text{ KN/m}$$

$$G_{r, \text{Lægte} + \text{Alu}} = 1,0 \cdot 27 \cdot 90 \cdot 10^3 \cdot 5 = 0,013 \text{ KN/m}$$

$$G_{r, \text{Total}} = 0,202 \text{ KN/m}$$

BØJNINGSUUNDERSØGELSE

$$M_r = \frac{1}{8} \cdot G \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 0,202 \cdot 1,800^2 = 0,082 \text{ KNm}$$

$$\sigma = \frac{M_r}{W_z} = \frac{0,082 \cdot 10^6}{13,50 \cdot 10^3} = 6,07 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 16 \text{ N/mm}^2$$

OK

FORSKYDNINGSUUNDERSØGELSE

$$V_r = \frac{1}{2} \cdot G \cdot L = \frac{1}{2} \cdot 0,202 \cdot 1,8 = 0,182 \text{ KN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_r}{A} = 1,5 \frac{0,182 \cdot 10^3}{2128} = 0,128 \text{ N/mm}^2 < f_{vd} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

OK

NEDBØJNINGSSUNDERSØGELSE

$$U_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{G \cdot l^4}{E \cdot I_z}$$

$$U_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{0,202 \cdot 1800^4}{7000 \cdot 0,256 \cdot 10^6} = 3,08 \text{ mm}$$

OK

Der monteres en bolt således at spændet halveres

$$l = 0,9 \text{ m}$$

$$U_{\max} = \frac{1 \cdot 0,202 \cdot 900^4}{384 \cdot 7000 \cdot 0,256 \cdot 10^6} = 0,192 \text{ mm}$$

OK

VINDLAST

Vindlasten regnes optaget af de vandrette lægter alene

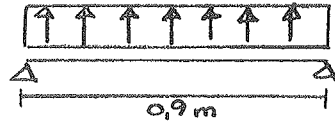
$$\text{Vindlast } W_r = 0,804 \text{ KN/m}^2$$

Vindlast som overføres til lægterne:

$$q = 0,804 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,4 \text{ m} = 1,13 \text{ KN/m}$$

BØJNINGSUUNDERSØGELSE

Der regnes med en spændvidde på 0,9 m ifølge nedbøjningsundersøgelsen for lodret kraft.



$$M_r = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,13 \cdot 0,9^2 = 0,114 \text{ KNm}$$

$$\sigma = \frac{M_r}{W_y} = \frac{0,114 \cdot 10^6}{19,85 \cdot 10^3} = 5,74 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

OK

FORSKYDNINGSUUNDERSØGELSE

$$\max V_d = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,13 \cdot 0,9 = 0,51 \text{ KN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,51 \cdot 10^3}{2128} = 0,36 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

OK

UDBØJNINGSUUNDERSØGELSE

$$U_{\max} = \frac{5}{385} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

$$U_{\max} = \frac{5 \cdot 1,13 \cdot 900^4}{384 \cdot 7000 \cdot 0,556 \cdot 10^6} = 2,48 \text{ mm}$$

Lægten kan regnes indspændt i enderne, hvorved man får følgende udbøjning.

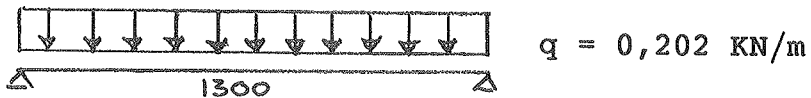
$$U_{\max} = \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_y}$$

$$U_{\max} = \frac{1 \cdot 1,13 \cdot 900^4}{384 \cdot 7000 \cdot 0,556 \cdot 10^6} = 0,49 \text{ mm}$$

OK

Det næststørste felt har en spændvidde på 1,3 m

LODRET LAST PÅ VANDRET
LÆGTE



BØJNINGSUUNDERSØGELSE

$$M_r = \frac{1}{8} \cdot 0,202 \cdot 1,3^2 = 0,043 \text{ kNm}$$

$$\sigma = \frac{M_r}{W_z} = \frac{0,043 \cdot 10^6}{13,50 \cdot 10^3} = 3,19 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

OK

FORSKYDNINGSSUNDERSØGELSE

$$V_d = \frac{1}{2} q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 0,202 \cdot 1,3 = 0,13 \text{ KN}$$

$$\tau_d = 1,5 \frac{V_d}{A} = 1,5 \frac{0,13 \cdot 10^3}{2128} = 0,09 \text{ N/mm}^2 < f_{yd} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

OK

UDBØJNING

Lægten regnes indspændt i enderne

$$U_{\max} = \frac{1 \cdot 0,202 \cdot 1300^4}{384 \cdot 7000 \cdot 0,256 \cdot 10^6} = 0,84 \text{ mm}$$

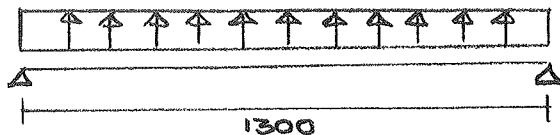
OK

VINDLAST

Vindlasten regnes optaget i de vandrette lægter alene

$$W = 0,804 \text{ KN/m}^2$$

$$q = 1,4 \cdot 0,804 = 1,13 \text{ KN/m}$$



BØJNINGUNDERSØGELSE

$$M_r = \frac{1}{8} \cdot q \cdot l^2 = \frac{1}{8} \cdot 1,13 \cdot 1,3^2 = 0,24 \text{ KNm}$$

$$\sigma = \frac{M_r}{W_y} = \frac{0,24 \cdot 10^6}{19,85 \cdot 10^3} = 12,09 \text{ N/mm}^2 < f_{md} = 16,0 \text{ N/mm}^2$$

OK

FORSKYDNINGUNDERSØGELSE

$$V_d = \frac{1}{2} \cdot q \cdot l = \frac{1}{2} \cdot 1,13 \cdot 1,3 = 0,74 \text{ KN}$$

$$\tau_d = 1,5 \cdot \frac{V_d}{A} = 1,5 \cdot \frac{0,74 \cdot 10^3}{2128} = 0,52 \text{ N/mm}^2 < f_{ud} = 1,70 \text{ N/mm}^2$$

OK

UDBØJNING

Den vandrette lægte regnes indspændt i enderne

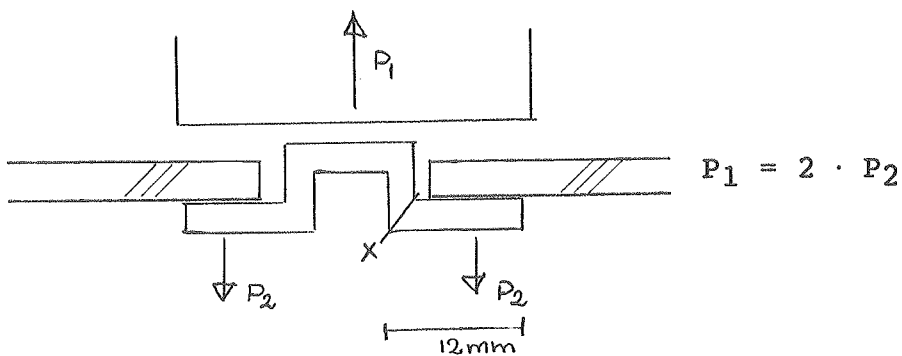
$$U_{\max} = \frac{1 \cdot 1,13 \cdot 1300^4}{384 \cdot 7000 \cdot 0,556 \cdot 10^6} = 2,2 \text{ mm}$$

OK

ALUMINIUMSLISTE LODRET

Vindlasten (sug) er den dimensionerende

LAST $W_r = 0,804 \text{ KN/m}^2$



Der regnes med at de lodrette lister optager kræfterne alene

Spænd mellem de lodrette lægter = 1,8 m

$$P_1 = 1,8 \cdot 0,804 = 1,45 \text{ KN/m}$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \cdot 1,45 = 0,73 \text{ KN/m}$$

Der regnes på 1 m liste

✓

$$M_{rx} = 0,012 \cdot 0,73 = 8,76 \cdot 10^{-3} \text{ KNm}$$

W_x = Modstandsmoment i snit x

$$W_x = \frac{1}{6} \cdot l \cdot t^2 = \frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot 2^2 = 666,67 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = \frac{M_{rx}}{W_x} = \frac{8,76 \cdot 10^3}{666,67} = 13 \text{ N/mm}^2 < f_{yd0,2} = 125 \text{ N/mm}^2$$

OK

Listerne monteres med skruer som skal kunne overfører $P_1 = 1,45$ KN

Der vælges skruer med diameter 6 mm som monteres pr. 30 cm d.v.s. 3 stk. pr. 1 m.

Skrueforankringslængde = 20 mm

Udtrækningsstyrke = $48 \text{ N/mm} \cdot 20 = 0,96 \text{ KN} > P_1 / 3 = 0,48 \text{ KN}$

OK

Listens spændvidde er 300 mm mellem fastgørelserne

UDBØJNING

Listens inerti moment: $I_y = 643,9 \text{ mm}^4$

Kraften (kontinuerlig) $P_1 = 1,45 \text{ KN/m}$

$$U_{\max} = \frac{1 \cdot 1,45 \cdot 300^4}{384 \cdot 44.872 \cdot 643,90} = 0,99 \text{ mm}$$

OK

$E_{\text{aluminium}} = 70.000 \text{ N/mm}^2$, $E_d = 70.000 / 1,45 = 44.872 \text{ N/mm}^2$

ALUMINIUMSLISTE VANDRET

Lodret spænd = 1,4 m

$P_1 = 1,4 \cdot 0,804 = 1,13 \text{ KN/m}$

$P_2 = 1,13 \cdot 0,5 = 0,56 \text{ KN/m}$

Der regnes med en liste på 1 m

$$W_x = 666,67 \text{ mm}^3$$

$$M_R = 0,56 \cdot 0,012 = 6,72 \cdot 10^{-3} \text{ KNm}$$

$$\sigma = \frac{6,72 \cdot 10^3}{666,67} = 10,08 \text{ N/mm}^2 < f_{y d 0,2} = 125 \text{ N/mm}^2$$

OK

GLASSTØRRELSER

$$\text{Maximale felt} = 1,8 \cdot 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Korteste side} = 1,4 \text{ m}$$

$$\text{Side forhold} = 1800/1400 = 1,3$$

$$t^2 = \beta \cdot q \cdot \frac{b^2}{\sigma_B}$$

$$b = 1,4 \text{ m}$$

$$\sigma_B = 50 \text{ MN/m}^2 = 510 \text{ KP/cm}^2 \quad \text{Hærdet glas}$$

$$b = 0,41$$

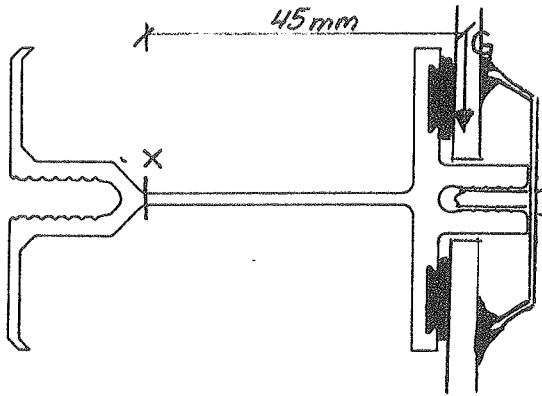
$$q = 0,804 \cdot 102 = 82 \text{ kp/m}^2$$

$$t = \sqrt{0,41 \cdot 82 \cdot \frac{1,4^2}{510}} = 0,36 \text{ cm} \sim 4 \text{ mm}$$

Der vælges en glastykkelse på 5 mm, Hærdet glas.

DRIVHUSPROFIL. ROA-3137

LODRET BELASTNING



$$W_x = \frac{1}{6} \cdot 1000 \cdot 1^3 = 166 \text{ mm}^3$$

$$G, \text{ glas} = 0,135 \text{ KN/m}^2 \cdot 1,4 = 0,19 \text{ KN/m}$$

$$G, \text{ alu} = 0,013 \text{ KN/m}$$

$$G \text{ ialt} = 0,202 \text{ KN/m}$$

$$M_x = 0,202 \cdot 0,045 = 0,009 \text{ KNm}$$

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} = \frac{0,009 \cdot 10^6}{166} = 54,22 \text{ N/mm}^2$$

$$< f_{yd} 0,2 = 125 \text{ N/mm}^2$$

OK

UDBØJNING

$$U_{\max} = \frac{1}{3} \frac{G \cdot l^3}{E \cdot I} = \frac{1}{3} \cdot \frac{0,202 \cdot 45^3 \cdot 1,45}{70.000 \cdot 83} = \sim 0mm$$

OK

A8. Prisudregning.

Prisudregningen bygger på følgende grundlag:

Der regnes på arkitektforslag nr. 2.

Inddækket areal	154,4 m ²
Arbejdets varighed	30 dage
Inddækninger sættes til lev. + mont.	100 kr./m

Priserne er baseret på indhentede priser fra leverandører, og priser hentet fra V & S prishåndbog '89.

Alle priser er håndværkerpriser excl. moms.

MÆNGDER:AREALER:

=====

Facade	28,5 m x 5,0 m	=	148,50 m ²
--------	----------------	---	-----------------------

Fradrag:

Vinduer		=	- 29,12 m ²
Altaner 1. sal		=	- 11,40 m ²
Altaner stuen		=	- 7,84 m ²
Midterfelt		=	- 2,24 m ²

Gavl	10,0 m x 5,2 + 8,0 m x 2,0 m	=	68,00 m ²
------	------------------------------	---	----------------------

Fradrag:

Vinduer		=	- 5,46 m ²
---------	--	---	-----------------------

Inddækket areal ialt		=	154,40 m ²
			=====

ISOFLEX:		=	154,40 m ²
=====			=====

LÆNGDER:INDDÆKNINGER:

=====

Facade vinduer	=	86,40 m
Gavl vinduer	=	9,50 m
Facade døre, 1. sal	=	28,00 m
Facade døre, stuen	=	13,60 m
Vandret afdækning	=	34,20 m
Lodret afdækning	=	15,60 m
Skrå afdækning	=	5,60 m

Ialt	=	192,90 m
		=====

LÆGTER:
=====

Facade vandret	=	142,40 m
Facade lodret	=	130,00 m
Gavl vandret	=	55,00 m
Gavl lodret	=	52,00 m
Gavl skrå	=	<u>5,60 m</u>
Ialt	=	385,10 m
		=====

GLASLISTER:
=====

= 385,10 m
=====

ANTAL FASTHOLDELSESPUNKTER:
=====

Facade, 1.stk./meter lægte	=	155 stk.
Gavl , - - -	=	58 stk.
Ekstra	=	<u>15 stk.</u>
Ialt	=	229 stk.
		=====

PRIS

EFTERISOLERING
=====

Lægter	385,10 m	x	40,00 kr.	=	15.404,00 kr.
Bolte	229 stk.	x	2,24 kr.	=	513,00 kr.
Klæbepatroner	229 stk.	x	7,77 kr.	=	1.779,00 kr.
Boring af huller	229 stk.	x	124,00 kr.	=	28.396,00 kr.
Mineraluld	154,40 m ²	x	75,00 kr.	=	11.580,00 kr.
Vindpap	154,40 m ²	x	30,00 kr.	=	4.632,00 kr.
Inddækninger	192,90 m ²	x	100,00 kr.	=	19.290,00 kr.
Nyeternit plade	154,40 m ²	x	140,00 kr.	=	21.616,00 kr.
Liftleje	30 dage	x	1500,00 kr.	=	45.000,00 kr.
Sum				=	148.210,00 kr.
Byggepladstillæg 5%				=	7.410,50 kr.
Pris for 154,40 m ²				=	155.620,50 kr.

Pris pr. m² = 1.007,90 kr.
=====

PRIS

TRÆLÆGTESYSTEM MED ALU-/PVC-PROFIL (DUKA)

=====

Murværk forb.	154,40 m ²	x	100,00 kr.	=	15.400,00 kr.
Lægter	385,10 m	x	40,00 kr.	=	15.404,00 kr.
Bolte	229 stk.	x	2,24 kr.	=	315,00 kr.
Klæbepatroner	229 stk.	x	7,77 kr.	=	1.779,00 kr.
Boring huller	229 stk.	x	124,00 kr.	=	28.396,00 kr.
Isoflex	154,40 m ²	x	150,00 kr.	=	23.160,00 kr.
Hærdet glas	154,40 m ²	x	200,00 kr.	=	30.880,00 kr.
Inddækninger	192,90 m	x	100,00 kr.	=	19.290,00 kr.
DUKA profil	385,10 m	x	45,00 kr.	=	17.329,50 kr.
Liftleje	30 dage	x	1500,00 kr.	=	<u>45.000,00 kr.</u>
Sum				=	197.191,50 kr.
Byggepladstillæg 5%				=	<u>9.859,60 kr.</u>
Pris for 154,40 m ²				=	207.051,10 kr.

Pris pr. m² = 1.341,00 kr.
=====

PRIS

TRÆLÆGTESYSTEM MED ALU-HAT-PROFIL
=====

Murværk forb.	154,40 m ²	x	100,00 kr.	=	15.440,00 kr.
Lægter	385,10 m	x	40,00 kr.	=	15.404,00 kr.
Bolte	229 stk.	x	2,24 kr.	=	513,00 kr.
Klæbepatroner	229 stk.	x	7,77 kr.	=	1.179,00 kr.
Boring af huller	229 stk.	x	124,00 kr.	=	28.396,00 kr.
Isoflex	154,40 m ²	x	150,00 kr.	=	23.160,00 kr.
Hærdet glas	154,40 m ²	x	200,00 kr.	=	30.880,00 kr.
Inddækninger	192,90 m	x	100,00 kr.	=	19.290,00 kr.
Hat-profil, alu	385,10 m	x	40,00 kr.	=	15.404,00 kr.
Liftleje	30 dage	x	1500,00 kr.	=	45.000,00 kr.
Sum				=	195.266,00 kr.
Byggepladstillæg 5%				=	9.763,00 kr.
Pris for 154,40 m ²				=	205.029,00 kr.
Pris pr. m ²				=	1.327,90 kr.
					=====

PRIS

DRIVHUS-PROFIL

=====

Murværk forb.	154,40 m ²	x	100,00 kr.	=	15.440,00 kr.
Bolte	229 stk.	x	2,24 kr.	=	513,00 kr.
Klæbepatroner	229 stk.	x	7,77 kr.	=	1.779,00 kr.
Boring af huller	229 stk.	x	124,00 kr.	=	28.396,00 kr.
Isoflex	154,40 m ²	x	150,00 kr.	=	23.160,00 kr.
Hærdet glas	154,40 m ²	x	200,00 kr.	=	30.880,00 kr.
Inddækninger	192,90 m	x	100,00 kr.	=	19.290,00 kr.
Drivhus-profil	385,10 m	x	79,00 kr.	=	30.423,00 kr.
Laskeplader	229 stk.	x	5,00 kr.	=	1.145,00 kr.
Liftleje	30 dage	x	1500,00 kr.	=	45.000,00 kr.
Sum				=	196.026,00 kr.
Byggepladstillæg 5%				=	9.801,00 kr.
Pris for 154,40 m ²				=	205.827,00 kr.
Pris pr. m ²				=	1.333,00 kr.
					=====

PRIS

VITRAL
=====

Vitrals pris = 301.000,00 kr.

Tillæg:

Inddækninger 192,90 m² x 100,00 kr. = 19.290,00 kr.

Murværk forb. 154,40 m² x 100,00 kr. = 15.440,00 kr.

Liftleje 30 dage x 1500,00 kr. = 45.000,00 kr.

Sum = 380.730,00 kr.

Byggepladstillæg 5% = 19.037,00 kr.

Pris for 154,40 m² = 399.767,00 kr.

Pris pr. m² = 2.589,00 kr.
=====

Outokumpu
=====

Outokumpus pris = 1.000,00 kr./m²

Tillæg:

Isoflex = 150,00 kr./m²

Inddækninger = 125,00 kr./m²

Murværk forb. = 100,00 kr./m²

Hærdet glas = 100,00 kr./m²

Liftleje = 292,00 kr./m²

Sum = 1.767,00 kr./m²

Byggepladstillæg 5% = 88,00 kr./m²

Pris pr. m² = 1.855,00 kr./m²
=====

PRIS

JULIANA

=====

Julianas pris	=	700,00 kr./m ²
<u>Tillæg:</u>		
Hærdet glas	=	100,00 kr./m ²
Isoflex	=	150,00 kr./m ²
Murværk forb.	=	100,00 kr./m ²
Inddækninger	=	125,00 kr./m ²
Sum	=	1.175,00 kr./m ²
Byggepladstillæg 5%	=	58,00 kr./m ²
Pris pr. m ²	=	1.233,00 kr./m ²
		=====