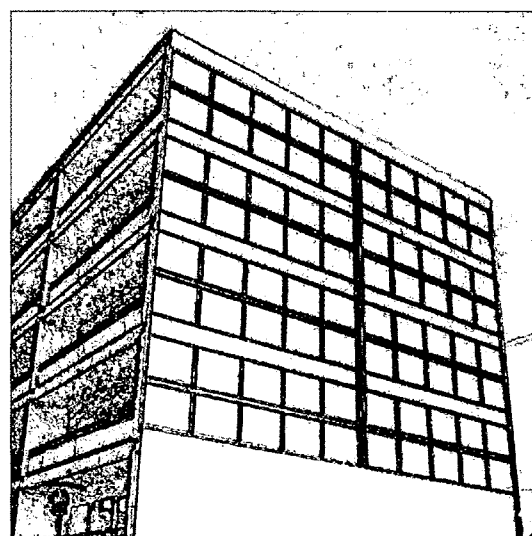
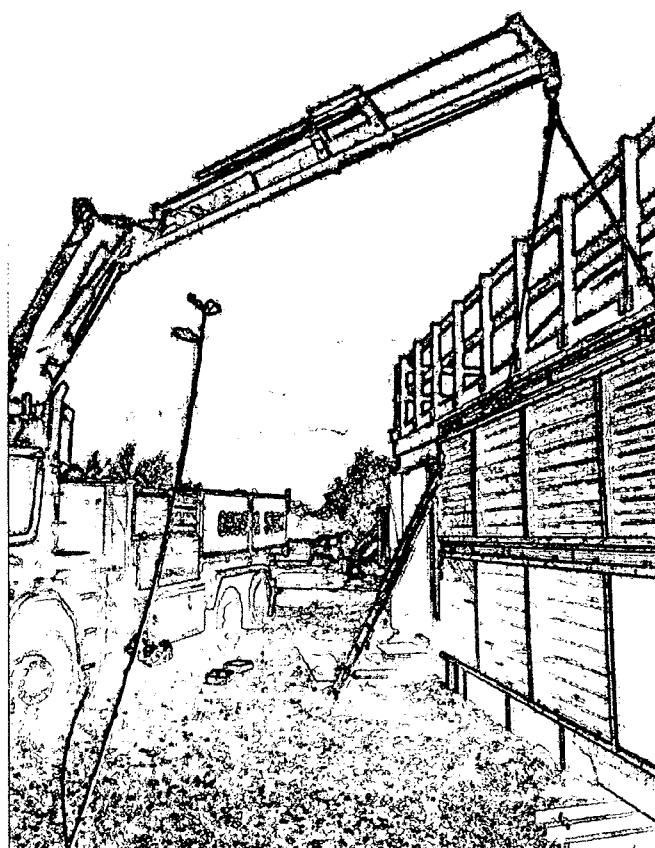


DTU



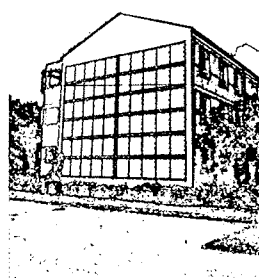
Udvikling af solfanger til integrering i bygninger.

*Ole Holck
Svend Svendsen*

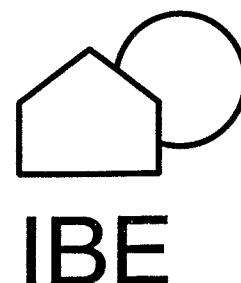


**RAPPORT
R-043
2000**

ISSN 1396-4011
ISBN 87-7877-047-5



**INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET**



Forord

Institut for Bygninger og Energi (IBE) har i samarbejde med Rønne Arkitekter gennemført projektet "Udvikling af solfanger til integrering i bygninger". Projektet er gennemført under energistyrelsens tilskudsordning for vedvarende energi (UVE). Projektets journalnummer er 51181/98-0094. Denne rapport er udfærdiget som et resultat af IBE og Rønne Arkitekters samarbejde med Batec (solfangerfabrikant), Paroc (isoleringsfabrikant), H.S.Hansen (alu-profilfabrikant) og SunArc (fabrikant af antirefleksbelægning på glas). I tilknytning til rapporten er der udfærdiget en folder som i korte træk gør rede for projektets resultater. Folderen henvender sig til en bredere målgruppe med fokus på den arkitektoniske indpasning. Rapporten og folderen udgør tilsammen afslutningen på projektet.

Deltagere i projektet:

Paroc:	John Brauer Lynderup Kjell Nordström Claus Rosenbeck Thomas Angly Johan Gustafsson
BATEC A/S:	Emanuel Brender Ole Hansen
H S Hansen A/S:	Niels J Graversen
SunArc Technology A/S:	Göran Olsson
Rønne Arkitekter:	Tomas Printz Mogensen
IBE:	Svend Svendsen Ole Holck

Følgegruppen til projektet består af:

COWI:	Reto M. Hummelshøj Jens Eg Rahbek
Teknologisk Institut:	Søren Østergaard Jensen Lars Olsen
Ulla Falck Tegnesteue:	Ulla Falck

Rapporten omhandler ideudvikling af indbygningsmuligheder for solfangere, design af elementer, opbygning af prototype, prøvningsresultater samt pris-/ydelsesberegninger.

Sammenfatning

På baggrund af viden fra tidligere projekter [Domus], [Hviid og Larsen], [2.Generations solvægge] og med udgangspunkt i ideen om at kombinere eksisterende efterisoleringssystemer med en solfangerdel er der i projektet udviklet en solfanger.

Denne solfanger fokuserer specielt på det marked der ligger inden for betonbyggeri hvor sydvendte gavle/facader er et potentiale for udnyttelse af solenergi.

Projektet har samtlige byggemarkeder og solfangerfabrikanter i tankerne med hensyn til en kommerciel udnyttelse af projektets resultater.

Foruden boligmassen vil erhvervsbyggeri også være et område hvor solfangeren kan udnyttes.

For at få den rette kobling imellem produktionsemne og bygning er der i projektet refereret til en eksisterende bygning.

Et efterisoleringssystem fra Paroc er valgt som udgangspunkt for projektet, og der er som eksempel valgt en væskebaseret absorber fra Batec.

Der benyttes 50 mm brede aluminiumsprofiler fra H.S. Hansen, med henblik på en glidende overgang til tilstødende byggesystemer, hertil kan benyttes en bred vifte af påsætningslister som er tilgængelige på markedet.

Konceptet med udgangspunkt i disse valg kan overføres uden vanskeligheder til at gælde for andre efterisoleringssystemer, absorbertyper og aftagersystemer for udnyttelse af solenergien.

Tekniske detaljer omkring profiler og opbygning af solfanger er gennemgået i projektet og ses af det tilhørende tegningsmateriale.

Opsætning af solfangeren tænkes udført med kran, således at arbejdet kan udføres hurtigt og effektivt. Dette har specielt betydning i snævre gader, idet der ikke skal opretholdes byggeplads i længere tid.

Kranmontage er specielt hensigtsmæssig i det tilfælde, hvor der er tale om store arealer uden det store behov for mange tilskæringer og fremspring.

Er der vinduer i gavlen kan en vertikal montering af elementerne være løsningen, idet vinduer ofte er placeret i en lige linje over hinanden.

Der er i projektet udført beregninger af stagnationstemperaturer for solfangerelementet og beregninger af ydelse for en lodret placeret solfanger med antirefleksbehandlet glas (AR-glas) som dæklag. Der er udført en økonomisk analyse af systemet indsat i et boligkompleks hvor aftagerfunktionen er opvarmning af varmtvand.

Projektet udmunder i opsætning af en prototype på en gavlsolfanger, som kan ses på IBE's udendørs prøveareal.

Gavlsolfangeren udgør med randfelt et areal på 7 m x 3 m og består af 2 elementer, hvor det øverste er monteret med AR-belagt glas og det nederste er monteret med almindeligt jernfrit glas. Der er foretaget test for regntæthed med denne gavlsolfanger og der er målt varmetab.

Abstract

A solar collector has been developed in the project.

The development of the collector is based on knowledge from previous projects and the idea of combining existing exterior insulation systems with a solar collector part for renovation purpose. This solar collector especially focuses on the market, which is dedicated for concrete buildings. South heading gable/facade walls in concrete buildings have a potential for utilization of solar energy.

With regards to commercial utilization of the results the project has building parts manufacturers and solar collector manufacturers in mind.

Besides housing sectors the industry sector will be an area where gable solar collectors can be used. To get the right link between the manufactured part and the building, an existing building is referred to in the project.

A prefabricated insulation system from Paroc and a liquid heating absorber from Batec have been chosen as the basis of the project.

50 mm wide aluminium profiles from H.S. Hansen have been used, accomplishing a slight joining to the adjacent building systems. A range of flashings, which is available on the market, fits to the 50 mm profile.

Based on these choices the concept of utilizing solar energy can be transferred without difficulties to be valid for other exterior insulation systems, absorber types and consumer systems.

Technical details concerning profiles and assembling of solar collectors have been analysed in the project and can be seen from the technical drawings.

The mounting of the solar collector is assumed to be performed by crane so that the work can be done fast and efficiently.

This is particularly important in narrow streets, as here is no need to establish building sites for a long period.

Crane assembling is suitable in the case where the walls have big areas without needs for many cuttings and projections.

If there are windows in the gable a vertical assembling of the elements can be the solution as the windows are often placed in a straight line above each other.

In the project calculations have been made of stagnation temperatures of solar collector elements and of the performance of a vertically placed collector with coated glass (AR-glass) as cover.

There has been made an economic analysis of the system connected in a block of flats where the consumer system is heating of domestic hot water.

The project leads to a prototype of a gable solar collector, which can be seen on IBE's outdoor facility areas.

The gable solar collector including ribbon panel has an area of 7 m x 3 m and consists of 2 elements where the upper element is mounted with AR-coated glass and the lower one is mounted with ordinary iron free glass.

A test for rain tightness has been performed with this gable solar collector and the heat loss coefficient has been measured.

Indholdsfortegnelse

Forord	4
Sammenfatning.....	6
Abstract	8
1 Indledning.....	12
2 Problemstilling	12
3 Arkitektoniske krav til indpasning og design.....	13
4 Referencebygning for projektet.....	14
5 Markedsdannelse.....	15
6 Baggrund for valg af løsninger.....	15
7 Solfangerelementets enkeltdele og opbygning.....	16
8 Fortsat produktudvikling	17
9 Opbygning af prøveelement	18
10 Konklusion	19
11 Referencer	21
Appendix:	22
A Effektivitetsudtryk og stagnationstemperaturen for en lodret placeret solfanger	22
B Bestemmelse af ydelse for en lodret placeret solfanger	24
C Økonomiske analyser	26
D Finansiering	28
E Prøvemetode og prøvestand	30
<u>Varmetabsprøve</u>	31
<u>Regntæthedsprøve</u>	32
F Symbolliste og enheder	36
G Tegningsmateriale	37

1 Indledning

Udvendig efterisolering af den danske bygningsmasse andrager årligt hen imod 750.000 m². En del af dette er sydvendte facader med gode muligheder for udnyttelse af den tilførte solstråling.

Indførelse af solvarme i forbindelse med renovering vil kunne få arkitekternes bevågenhed såfremt markedet indeholder produkter med vægt på bygningsindpasning. Projektet har specielt fokuseret på de fordele, som kan udnyttes i forbindelse med efterisolering af betonbyggeri.

Idet opsætning udgør en betragtelig del af anlæggets samlede udgifter, lægges der vægt på at dette gøres hurtigere og dermed billigere.

Montage- og integreringsprincippet skal tilgodese kombinationen med traditionelle efterisoleringssystemer, således at en glidende og rationel arbejdsgang for det samlede byggeri kan opnås.

En væsentlig del af varmebehovet for etageejendomme skyldes ventilation af indeluften, idet varmetabet gennem ydermuren er begrænset til et lille areal i forhold til lejlighedernes boligareal. Et væsentligt problem ved udnyttelse af solenergi er at energien skal gemmes fra dag til nat. Derfor skal elementet kunne tilpasses valg af aftagersystem for udnyttelse af solenergien. Solfangerelementet vil kunne optræde i mange systemkonstellationer, enten i form af rene væskebaserede anlæg eller som varmluftanlæg til for eksempel opvarmning af ventilationsluften eller som kombinationer af disse.

Solfangerfelterne kan enten falde neutralt ind i det arkitektoniske udtryk for facaden, for eksempel hvor der benyttes glas som facadeinddækning, eller tilføje variationer i facaden ved at fremhæve solfangerfelter i grupper eller striber og dermed få et spil i det ydre udtryk samt vise byggeriets grønne image.

2 Problemstilling

For at solvarme skal vinde større indpas i byggebranchen er det nødvendigt med en mere industrialiseret produktion med lavere pris tilfølg. Solvarme skal på længere sigt kunne klare sig i konkurrencen med andre tiltag til energibesparelser uden tilskud fra staten. Der skal skabes grobund for at arkitekter og ingeniører på et tidligt tidspunkt i beslutningsfasen vil agitere for solvarme. Denne grobund kan skabes såfremt en mere industrialiseret produktion af solvarmekomponenter er til stede, kombineret med de fordele der findes i at kombinere solvarme med andre tiltag til bygningens forbedring og vedligeholdelse. Arkitekterne skal have større valgfrihed i projekteringsfasen for at kunne indpasse solvarmen i kombination med byggeriets andre traditionelle systemer.

Valgfriheden gælder blandt andet for elementets dimensioner afhængigt af det valgte efterisoleringssystem. I tidligere projekter er der med speciel tanke på altaninddækninger benyttet standardelement størrelser [Hviid og Larsen], lige som det generelt for solvarmebranchen har været almindeligt, af hensyn til produktionen, at vælge et element med faste dimensioner.

Overskudsvarmen fra elproduktion kan i fjernvarmeområder virke som en barriere for valg af solvarme, men på længere sigt vil overskudsvarmen være udnyttet fuldt ud, og enhver form for vedvarende energi vil have sin berettigelse, også i disse områder. Installation af solvarme i bebyggelser med fjernvarme skal gøres med omtanke for ikke at forringe forholdene for afkøling af fjernvarmevandet.

For at kunne medvirke til denne udvikling er der udviklet og afprøvet et integreret solfangerelement som let lader sig indbygge sammen med facaderenoveringssystemer. Solfangerelementet indbygges billigere end ved opsætning af traditionelle solfangerelementer, og der opnås en arkitektonisk helhed for byggeri med integreret solvarme.

Ved anvendelse af solfangerelementer i forbindelse med facaderenovering nyder bygningsdelene gensidigt fordel af hinanden. Solfangerelementet drager nytte af isolansen af den bagvedliggende væg, idet denne reducerer varmetabet fra solfangeren samtidig med at væggen drager nytte af solfan-

gerens varmeafgivelse som hermed reducerer varmetabet ud af bygningen. Desuden udgør dæklaget på solfangeren en del af væggen klimaskærm, som yderligere giver en besparelse i materialer. Solfangerelementets ramme støttes af efterisoleringssystemets konstruktion. Rammen kan herved være spinkelt opbygget, idet den kun skal modstå belastning som følge af transport og montage. Solfangerelementet som bygningskomponent har den store fordel frem for løsninger med opbygning på stedet at der ikke bliver problemer med håndtering af ømfindtlige og besværlige absorberdele og glasstykker. Desuden er arbejdstid på byggeplads dyrere end på fabrik. Solfangerelementet skal udformes på en sådan måde at den ikke er ømfindelig over for påvirkninger den udsættes for under en montagesituation. Ulempen er at der skal tages hensyn til byggemål, således at elementerne fortsat skal bestilles på mål til det aktuelle byggeri. Glasdæklaget er valgfrit og tilpasses i mål til det enkelte byggeri, således at løsningen kan efterkomme arkitektens ønske for bygningens fremtoning. Desuden skal elementet kunne anvendes i forskellige udgaver alt efter det ønskede aftagersystem for udnyttelse af energien, enten med væskebaserede absorbere eller absorbere til opvarmning af ventilationsluft eller paneler til fremstilling af el.

3 Arkitektoniske krav til indpasning og design

Arkitektonisk bearbejdning af indpasningen af solelementer i bygningens klimaskærm er helt afhængig af den givne bygning og de omgivelser bygningen er anbragt i.

Der skal tages hensyn til lokale bindinger gældende for et givet projekt. Dette kan være hensyntagen til lokalplaner, omgivende bebyggelser og gade- og byrum. De lokale energiforsyningsforhold har betydning for økonomi og tilskud og skal derfor indledende undersøges.

Materialevalg skal holdes sammen med de glaspartier som er nødvendige for at udnytte solen. Der skal tages hensyn til om den oprindelige arkitektur bevares eller der er tale om en total inddækning af bygningen i form af en helt ny klimaskærm.

Der tales om flere indpasningstyper som kan benyttes [2. Generations solvægge], strækkende fra total inddækning i form af en helt ny klimaskærm til en feltudsmykning i harmoni med oprindelig arkitektur (delfelter). Udnyttelse af gavle med eller uden vinduer giver sjældent arkitektoniske problemer undtagen ved overgang til tag eller facade (uheldige hjørnesamlinger). Hvis der ikke samtidig ændres ved facadens klimaskærm, vil det ofte være fornuftigt at afslutte før hjørnet, således at indpasningen får udtryk af et udsmykningsparti. Udnyttelse af bygningens facader er mere vanskelig. Dette vil ændre facadeudtrykket radikalt og skal derfor som regel foretages når vinduer og døre udskiftes. Desuden vil frie arealer ofte være små på de sydvendte facader. Som udgangspunkt vil vi derfor ikke beskæftige os videre med disse løsninger, ud over at nævne de muligheder for at kombinere vinduespartier eller andre af bygningens komponenter med glasflader, i form af søjler eller rækker i bygningens fulde dimension. Samspillet med de øvrige komponenter er her vigtigt. Indpasningen af solelementerne kan formmæssigt groft inddeles i tre hovedgrupperinger:

1. Brystningsplacering som kan fremstå som vandrette bånd i facaden eller sammen med vinduer indgå i en samlet lodret komposition.
2. Søjleplacering der strækker sig i bygningens fulde højde og fremstår som lodrette bånd i facaden.
3. Endelig kan placeringen udgøre et felt der i mindre udgaver kan placeres frit på facader og gavle som en udsmykning.

Som udgangspunkt betragtes bygningens gavl, som for mange boligkarréer typisk er omkring 10 m brede. Vi vil bestræbe os på at kunne udnytte efterisoleringselementerne såvel i en vertikal som en horisontal udstrækning. Derfor er det vigtigt for samlingen mellem elementerne at de fungerer som en effektiv klimaskærm, både når elementerne er orienteret lodret og når de er orienteret vandret.

Ved en vandret orientering af elementerne vil eventuelle vinduer typisk falde ind på forskellig måde i elementerne, alt efter hvilken etage der nås. Vinduerne vil under normale omstændigheder være anbragt på linie over hinanden, derfor kan man med fordel anbringe elementerne med en lodret orientering og dermed få vinduerne til at falde ind i elementerne på samme måde, uanset hvilken etage der er tale om.

Monteres elementerne vertikalt, kan der være fordele ved gennemgående vertikale afløbsrender.

Krav om variation i gavlens struktur med udgangspunkt i facade skal kunne opfyldes.

Vi har i projektet set på konkrete byggesager, som var velegnede til at bruge som tænkte eksempel på den arkitektoniske indpasning.

4 Referencebygning for projektet

Boligselskaber og forbindelser til tegnestuer er blevet kontaktet for at finde velegnede bygninger i beton med sydvendte gavle som kunne give projektet et realistisk grundlag.

Som eksempler kan nævnes sportshaller og andelsboliger.

Varmebehovet for bygningen skal vurderes, m.h.t. varmtvandsforbrug og behov for forvarmning af ventilationsluft.

Ved totalrenovering af en bygning som indebærer udskiftning af vinduer, vil solfangere på facadedelen være en mulighed. I modsat fald er det gavlen som lettest kan benyttes.

Kræver bygningen mange tilpasninger og udskæringer omkring fremspring og andre komponenter, er ideen med opsætning af store elementer med kran ikke fordelagtig. Fordelene findes på bygninger med store regulære flader, hvor en hurtig opsætning er ønskelig.

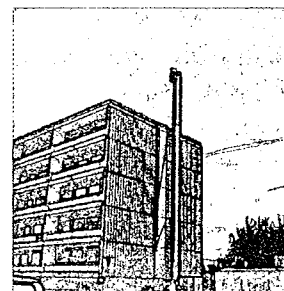
Fire forslag til bygninger som er velegnede til visualisering af projektet er behandlet. Det drejer sig om Projekt stjernen [Figur 1] lavet af Paroc og [Domus], en bebyggelse ved Lundtoftegaardsvej [Figur 2], en bygning på Jagtvej [Figur 3] og endelig Lønstrupgaard [Figur 4] i Valby.

Lønstrupgaard i Valby er en ejendom i 3 etager opført i beton med grå gavle og facader i mørk brunsten og anses for at være velegnet til visualisering af den arkitektoniske indpasning og med perspektiver for en senere realisering af projektet som anlægsvært for et eventuelt pilotprojekt. I de arkitektoniske indpasnings-løsninger og energimæssige beregninger er Lønstrupgaard derfor brugt som eksempel. Som eksempel kan man forestille sig at facaderenoveringen kan udføres i sammenhæng med integrering af vinduer i facadeefterisoleringselementer eller som dobbelte glasfacader.

De øgede omkostninger ved opførsel af et solfangerfelt i forbindelse med gavlrenovering på Lønstrupgaard skal opvejes af et lavere energiforbrug.



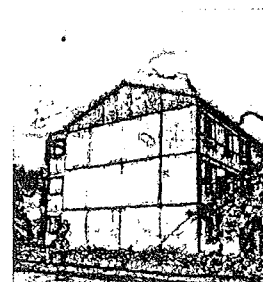
Figur 1: Projekt stjernen



Figur 2: Lundtoftegaardsvej



Figur 3: Jagtvej



Figur 4 : Lønstrupgaard

5 Markedsdannelse

En egentlig professionel markedsdannelse for integrering af solfangere i større boligbebyggelser er på sigt et mål for projektet.

Det store marked er inden for betonbyggeriet, og der findes store perspektiver i den nødvendige renovering af disse.

I den henseende er det vigtigt at kunne sammenkoble flere fordele ved istandsættelsen, og her ville funktionen solvarme være kærkommen.

For det danske marked kan der sættes spørgsmålstejn ved om der kun skal fokuseres på boligmassen. Vi konkluderer at erhvervsbyggeri umiddelbart kan have de samme behov for brug af varme og ventilation.

6 Baggrund for valg af løsninger

Ved renovering af betonbyggeri vælges efterisoleringssystemet ikke ud fra at der kan integreres solfangere. Solfangerelementet skal derfor kunne anvendes på et eksisterende renoverings- og efterisoleringssystem.

Et efterisoleringspanel fra Paroc er valgt som det system der som udgangspunkt benyttes som efterisoleringssystem. Baggrunden for at vælge Paroc er at det synes sandsynligt at de kunne have en interesse i at udvide deres produktsortiment, i modsætning til mange andre efterisoleringssystemer som udspringer fra en produktion af udvendige beklædningsplader, som netop er den del der skal erstattes. Valget af Paroc skal ikke hindre udnyttelsen af projektets resultater for andre systemer. Foruden Paroc er Batec valgt som medvirkende solfangerfabrikant på baggrund af deres erfaring med integrering af solfangere specielt i tagflader. For at få en anvendelig samling til byggeriets øvrige bygningsdele er der valgt aluminiumsbyggningsprofiler fra H.S. Hansen. Valget af dette skyldes et bredt sortiment og at det er et dansk firma.

Solfangerelementet udformes på fabrik tilpasset efter det valgte efterisoleringssystem, som for Parocs vedkommende er 1,2 m på den ene led, hvorimod den anden led frit kan vælges op til en grænse på 12 m. I praksis bliver længden ofte begrænset for at varetage en hensigtsmæssig montage- og byggepladsbehandling.

På grund af effektiviseringsgraden i Parocs produktion er det ikke tænkeligt at virksomheden kan gå ind i en egentlig produktion af solfangerelementer, men mindre virksomheder tilknyttet Paroc kan tildanne produkter til Paroclementer. Dermed er tanken om at integrerer en solfanger i efterisoleringssystemet nemmere at realisere, og ideen kan bedre tilpasses andre valg af efterisoleringssystemer.

Løsningen, som vi ønsker den, er en komponent i form af et dæklag, der dækker behovet som klimaskærm for de ydre påvirkninger. Absorberen fører energien væk, enten ved en væskestrøm eller en luftstrøm. Dæklagsfunktionen og absorberfunktionen skal således kunne benyttes sammen med et efterisoleringssystem som bidrager med isolering bagtil samt yder stabilitet og afskærmning fra omgivelserne på sider og bagside.

Som udgangspunkt er det generelt ikke muligt at få elementerne til at passe sammen med bygningens modulopbygning. Det må derfor påregnes at der altid ved boligbebyggelser skal regnes med tilpasningsstykker for at få elementerne til at passe sammen med bygningsmodulopbygningen [Domus].

Facadeelementerne kunne opbygges i et system skiftende imellem standardelementer og fleksible sammenkoblingslementer. Fleksible enheder er en anvendt metode til at kompensere for tolerancer og tilpasninger i bygningen. Solfangerelementet, som er bedst til store arealer og af arkitektoniske

grunde må passe med elementmodulet, vil ofte ikke være hensigtsmæssigt at anbringe i disse fleksible sammenkoblingslementer.

I de lodrette skillelinier imellem standardelementerne kan der anbringes førsringsveje for rør.

7 Solfangerelementets enkeltdele og opbygning

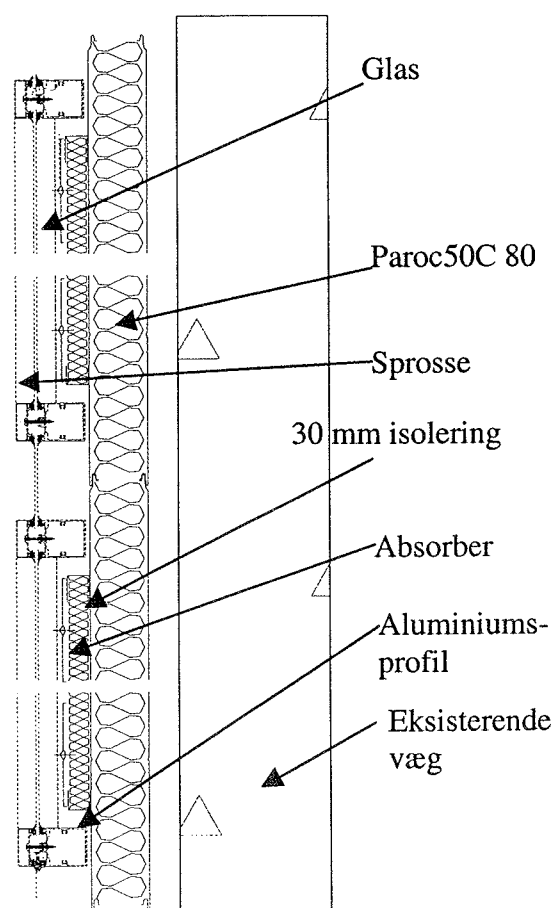
Opbygningen af solfangerelementet indeholder et Paroc-element som bagbeklædning og isolering [Figur 5]. Dette vil samtidig give fordele ved montering da Parocs løfteanordninger kan benyttes.

Paroclementets grundprincipper bygger på enkel udformning, rationel produktion samt hurtig montage. Paroclementet har derfor en konkurrencedygtig pris. Desuden lægger Paroc stor vægt på de brandtekniske egenskaber.

Paroclementet er et præfabrikeret mineralulds-baseret sandwichelement. Overfladen er udført med en stålplade på for- og bagside som sammen med isoleringen udgør et sandwichelement. Sandwichelement har gode egenskaber for styrke og holdbarhed. Forbindelsen imellem beklædningsplader og isolering er en lim som dækker hele fladen.

Elementerne er fremstillet med en modulbredde på 1,2 m og kan leveres i specificerede længder op til 12 m. Forskellige overfladeprofileringer af stålpladerne er mulige.

Luftstrømme bagved absorberens strips skal forhindres da dette giver unødigt varmeafgivelse fra absorber. Luftstrømme kan forhindres med isoleringsindlæg. Der benyttes 30 mm isolering for at beskytte sandwichelementets lim mod for høje temperaturer under stagnation, se appendiks A. Absorbere ophænges pr. 1,2 m. Dæklag deles op med sprosser i moduler på 1,2 m for at få brudt vandrette linier og for at dele glasset i passende stykker. Den yderste plade af Paroclementet skæres op for at undgå deformationer p.g.a. temperaturudvidelser. Der ønskes en glasliste svarende til normal standard med 50 mm bredde blandt andet for at bruge de påsætningslister som er på markedet. Hermed gøres det også lettere at få jævne overgange til evt. glasfacader som er udført med disse glasfacadeprofiler. Kranmontering har fordel af kort byggeplads tid, hvilket kan have betydning i snævre gader.



Figur 5: Snit i solfangergavl bestående af Paroclementer, H.S. Hansen profiler og solfangerkomponenter.

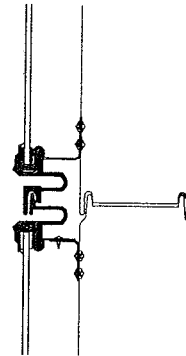
8 Fortsat produktudvikling

Nye samlingstyper mellem elementerne kunne være et emne for en fortsat produktudvikling. Samledele af hård elastisk plast er en mulighed som kan tilgodese elementernes evne til at kunne optage små stød i en monteringssituation. På [Figur 6] er vist et eksempel på en samledele af hård elastisk plast. En fortsat produktudvikling kan være nyttig, men en produktudvikling af denne type kræver store resurser til emneværktøjer og fremstilling af prøver og er derfor investeringstunge.

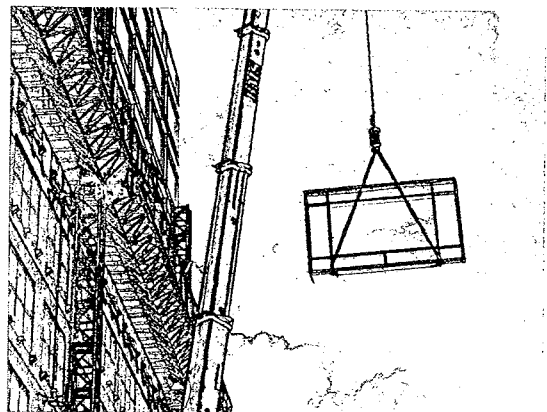
Elementudformningen kan også som grundlag bygge på profilsystemer i stedet for efterisoleringslementer.

Dette indebærer at aluminiumsprofiler på fabrik samles med absorber, isolering og dæklag. Aluminiumsprofilerne skaber dermed rammen for de øvrige komponenter. Aluminiumsprofilerne er ført helt ind til den oprindelige væg, og skal derfor have indbyggede kuldebrosbrydere. Baggrunden for denne fremgangsmåde ligger i at profilfabrikanter, på lignende måde som efterisoleringsfabrikanter, kan fremstille samlede elementer i fuld etagehøjde for montering med kran. Et eksempel er vist på [Figur 7], hvor et aluminiumsprofilelement med glas fra H.S. Hansen løftes på plads med kran.

For at opnå en endelig rationel produktion af solfangerelementerne, vil der være behov for en optimering af de benyttede aluminiumsprofiler, specielt med hensyn til montering på efterisoleringslementet. Der kan også være tale om forbedrede sprosseprofiler med kuldebrosbrydende afstandsholdere til absorber. Selve samlingsprocessen på fabrik skal udvikles, således at en rationel arbejdsgang opnås.



Figur 6 : Udviklingsdel til samling af elementer.



Figur 7: Aluminiumsprofilelement med glas løftes op med kran.

9 Opbygning af prøveelement

Samling af solfangerelement er i dette projekt foregået i IBE's værksted, og den tid som er brugt kan ikke omstilles til en rationel arbejdsgang på en fabrik som er indstillet til denne slags opgaver.

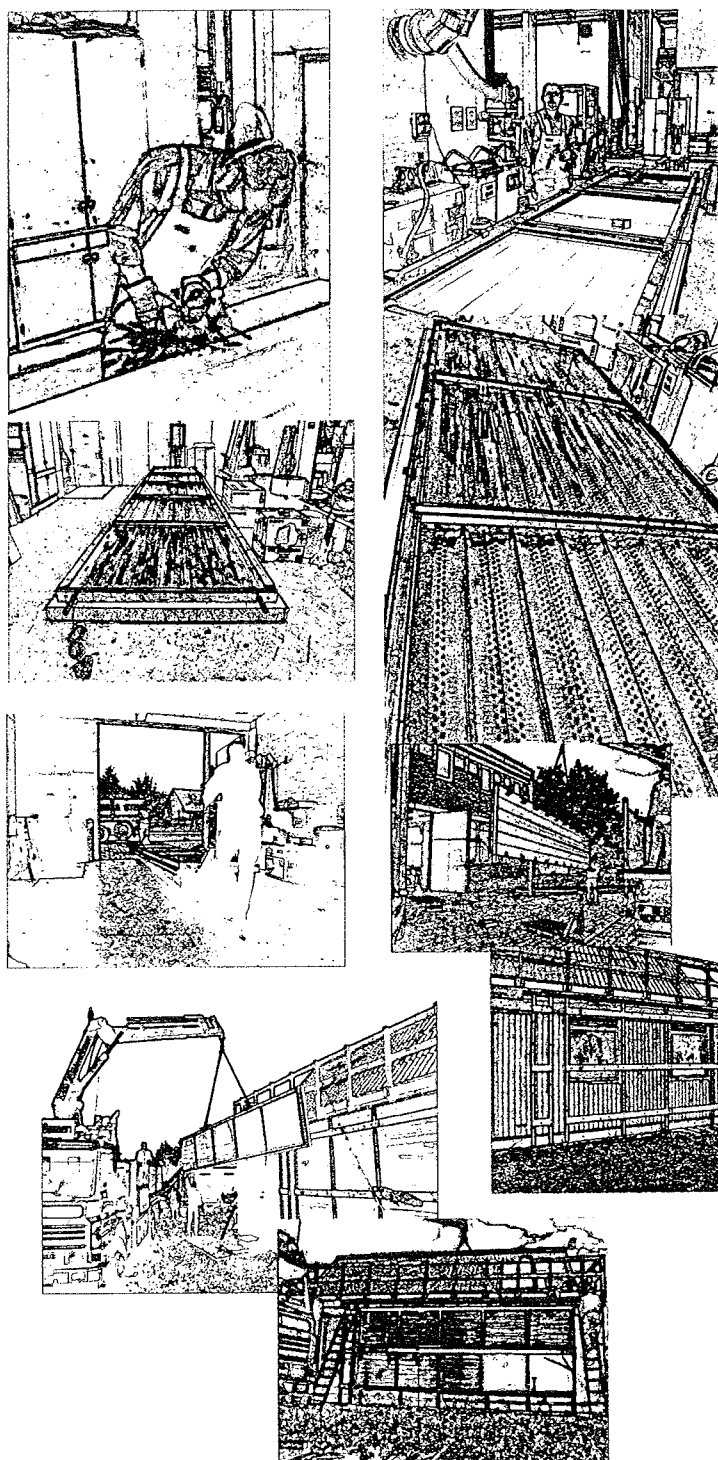
Processen består i en sammenbygning af delkomponenter fra Batec, H.S. Hansen og Paroc. Dette foregår ved at lag på lag lægges på, sluttende med ilægning af glas.

Parocelenterne skal forberedes ved opslidsning pr. 1200 mm af stålpladen vendende mod den varme side. Herefter skal 30 mm isoleringsindlæg tilskæres og lægges i. Den færdige absorber og det færdige profilsystem lægges på, og profilsystemet fastgøres til efterisoleringselementet.

Opsætning, montage og installation af prøveelementet er foretaget på IBE's udendørsarealer. Dette arbejde har først bestået i opretning og montering af beslag på eksisterende væg.

Kranassistance er benyttet til opsætning af solfangerne på væggen.

Efter at solfangerelementerne er monteret, er der udført inddækningsarbejde og montering af tilstødende efterisoleringselementer. Endelig er der udført installation af væske-system og føring af hovedrør. Tilslutning af varme og væske til solfangerelementet er forberedelser til en varmetabstest som i store træk kan afsløre utilsigtede kuldebroer.



Figur 8: Billedecollage fra samling af element og opsætning af element.

10 Konklusion

I et nært samarbejde med producenter er der udviklet og afprøvet en gavlsolfanger. Detaljer omkring udviklingen af solfangeren såvel som montage og integreringsprincipper er foretaget med henblik på efterfølgende at have et kommercielt tilgængeligt koncept.

Der er lagt vægt på den arkitektoniske indpasning af solfangeren med reference til eksisterende bebyggelser. Arbejdet med den arkitektoniske indpasning er præsenteret i en folder som sammen med denne rapport udgør afslutningen på projektet [Folder].

Solfangerelementerne er i deres udformning enkle at sammensætte med eksisterende byggeprincipper og kan derfor uden besværligheder indgå i projekteringen.

Det er vigtigt at have for øje at for bygherren er renovering af den eksisterende bebyggelse hovedargumentet for at påbegynde en byggesag, derfor skal solfangerelementet kunne tilpasses det valgte renoveringssystem.

Der er i projektet taget udgangspunkt i et valgt efterisoleringssystem med de specielle forhold der hører til dette, såsom metode for opsætning og montering eller hensyntagen til materialer.

Det udviklede solfangerkoncept vil kunne blive annekteret til andre valgte efterisoleringssystemer uden store ændringer. For hvert system er det dog vigtigt at monteringen og hermed overførsel af kræfter fra solfangerdelen til den oprindelige mur dimensioneres korrekt.

En mindre ydelse fra solfangeren, som skyldes den lodrette placering, kan dels opvejes ved at benytte AR-belægning på glassene og dels ved et mindre varmetab fra overfladen ved den lodrette anbringelse af solfangerelementerne. Indflydelsen på solfanger ydelsen fra den lodrette placering er størst midt på sommeren. For oktober måned er ydelsen for en lodret placeret solfanger den samme som for en solfanger med en hældning på 45°.

Der er foretaget test med den opsatte prototype af en gavlsolfanger, både med hensyn til varmetab og regntæthed. Resultatet fra testene giver ikke anledning til ønske om at foretage ændringer på konstruktionen.

Ud fra vores økonomiske analyser gennemgået i appendix C og med forbehold for de antagelser der er taget, vil der være en positiv likviditet efter 8 år.

Systemet bestående af solfangerfelt og aftagersystem for energien giver en delvis dækning af energien til fremstilling af varmt vand. Den økonomiske rentabilitet kan meget vel forbedres afhængig af energiprisernes udvikling.

Ved at produktion og opsætning udføres på en rationel måde, og ved at udnytte den dobbelteffekt som samspillet med efterisolering har, kan solvarme gøres mere attraktiv. Dermed kan solfangerfelter i fremtiden bedre få lov til at udnytte det store areal som er til rådighed ved de kommende renoveringer af den bygningsmasse som har sydvendte gavle. Arkitekter vil have større tilbøjelighed til at agitere for solvarme når der findes produkter som giver dem større valgfrihed i udformningen af solfangerfelt, sammenholdt med en investeringspris for solvarmeanlægget som er konkurrencedygtig.

Der er i projektet skabt grundlag for at kunne realisere konceptet for et integreret solfangerfelt på en bebyggelse i Valby "Lønstrupgaard". Denne bygelse er som eksempel benyttet i dette projekt for at kunne visualisere den arkitektoniske indpasning af solfangerfeltet og som grundlag for ydelsesberegning og økonomiske analyser. Anlægget fra en gavl bidrager med en dækningsgrad på ca. 22% for den del af bebyggelsen som den lokale varmecentral dækker. Der er her regnet med et vandforbrug på 10 m³ om dagen.

En professionel markedsdannelse for integrering af solfangere i større boligbebyggelser kan skabes ved at sammenkoble flere funktioner, og dermed skabe fordele når vi står over for den nødvendige renovering inden for betonbyggeriet.

Ud over boligbebyggelser er erhvervsbyggeri et muligt område hvor solfangerkonceptet kan udnyttes idet der også her kan være behov for at nedbringe energiforbruget.

Som en synergieffekt fra projektet kan man tænke sig at princippet med at bygge solfangeren op på et efterisoleringselement overføres til marksolfangere. Her kan de billige efterisoleringselementer skabe rammen for marksolfangeren, idet de både udgør isolering, den bærende konstruktion og underlag for solfangeren.

11 Referencer

- [Folder] Gavlsolfanger: indgår som en del af formidlingen af projektets resultater trykt i 1000 eksemplare, nov 2000.
- [Hviid og Larsen] Design af montage- og integreringsprincipper for solfangere i forbindelse med altanlukninger, Poul Andreasens Tegnestue, Ole Hviid og Carsten Larsen, 1995.
- [2.Generations solvægge] 2.Generations solvægge: Bygningsintegreret Solenergi, marts 1999, Cowi, DTI, DTU, Cenergia, Samfundsteknik, Ulla Falcks Tegnestue, Madsen&Petersen arkitekter.
- [Domus] Paroc byggeelementer – idékatalog (Renovering af nyere etageboliger): For Partec-dainovo A/S af tegnestuen Domus ApS, juni 1993.
- [Efterisoleringskatalog] Sammenligning af efterisoleringssystemer: IBE rapport R-21 1998, Claus Rudbeck, Jørgen Rose, Svend Svendsen
- [SolDia] Soldia for windows 95, Rafn Yngvi Rafnsson, IBE, februar 1997.
- [SolEff] Prøvning og Beregning af Solfangeres Effektivitet, SolEff Programdokumentation, eksamensprojekt IBE, Per B. Rasmussen, August 1994.
- [Prosol] Prosol-ydelse, Projektering af solvarmeanlæg, ydelsesberegninger-introduktion. 2. del af integreret EDB-projekteringsværktøj til større solvarmeanlæg, BPS-Centret, Cenergia ApS, COWIconsult AS, Teknologisk Institut - Energi, oktober 1994.
- [Duer] Performance of a solar collector with antireflection treated glass cover. IBE rapport SR 99-14, 1999.
- [Vejen] IBE-undersøgelser af glas med AR- belægning; Niels Kristian Vejen, 2000.
- [Duffie, Beckman] Solar Engineering of Thermal Processes, second edition, s 290, John A. Duffie, William A. Beckman, 1991.

Appendix:

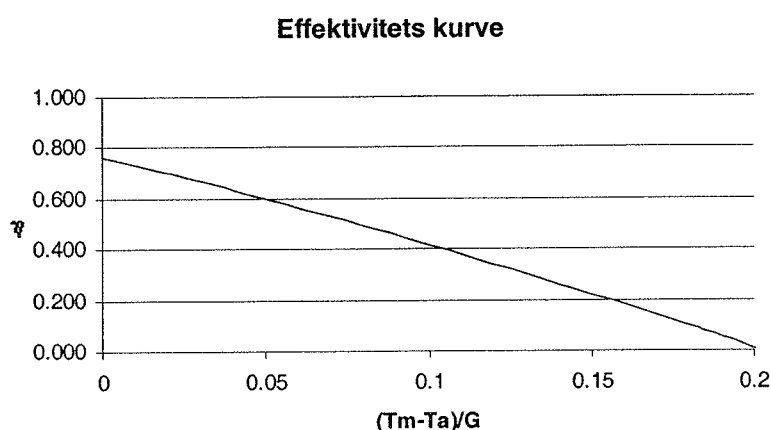
A Effektivitetsudtryk og stagnationstemperaturen for en lodret placeret solfanger

Med udgangspunkt i forslag til en solfanger baseret på Parocs elementer er effektivitetsudtrykket for solfangeren $\eta = \eta_0 - k_1(T_m - T_a)/G - k_2(T_m - T_a)^2/G$ bestemt. Dette er gjort ved hjælp af [SolEff] et beregningsprogram for bestemmelse af solfangeres effektivitet ved stationære forhold. Nomenklatur forklaring kan ses i appendix F. Effektivitetsudtrykket angiver karakteristikken af solfangeren og er bestemt ud fra oplysninger om solfangerens opbygning såsom optiske parametre, isoleringsevne og dimensioner. Er solfangeren lodret placeret med en solindstråling G på 800 W/m^2 og en

indfaldsvinkel på 0° , fås udtrykket: $\eta = 0,77 - 3,20(T_m - T_a)/G - 0,004(T_m - T_a)^2/G$

Den samlede varmetabskvotient U_L bestemmes ud fra den grafiske afbildning af

effektivitetsudtrykket som hældningen af den rette linie mellem skæringspunkterne for henholdsvis $(T_m - T_a)/G$ -akse og η -akse. Vist i [Figur 9]



Figur 9 : Effektivitetskurve for solfangeren bestemt ud fra solfangerens opbygning.

$$U_L = 0,7664 / (160,7^\circ\text{C}/800\text{W/m}^2) = 3,8 \text{ W/Km}^2$$

Ændringen af absorbertemperaturen T_p som funktion af tiden udtrykkes ved

$$T_p = T_a + S / U_L - [S / U_L - (T_p - T_a)] \exp(-U_L \cdot t / m C_e), \text{ [Duffie, Beckman]}$$

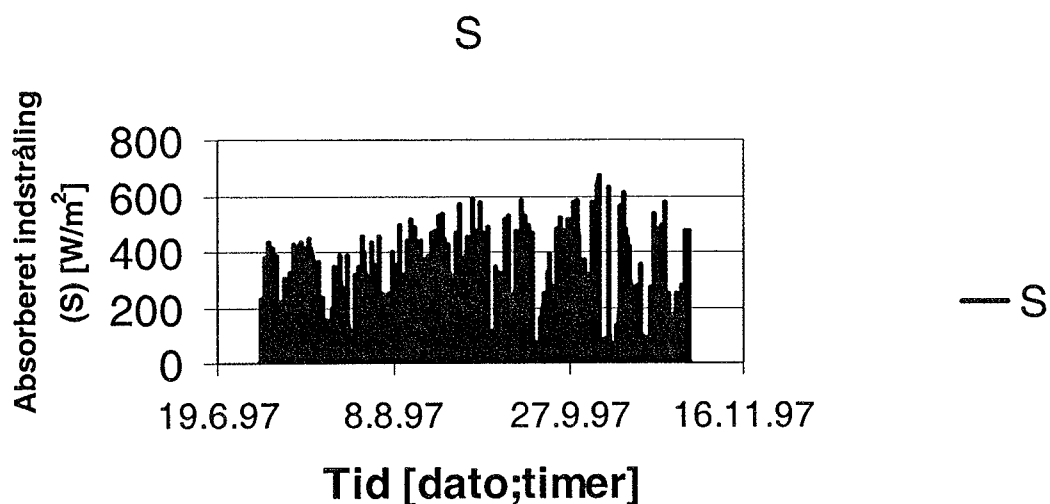
S er den absorberede indstråling som bestemmes af $S = \eta_o K_g G$.

Hvor $K_g = [K_v(v) \cdot G_{\text{dir}} + K_v(60) \cdot (G_{\text{dif}} + G_{\text{ref}})] / G$, $K_v(v)$ er indfaldsvinkelafhængighed.

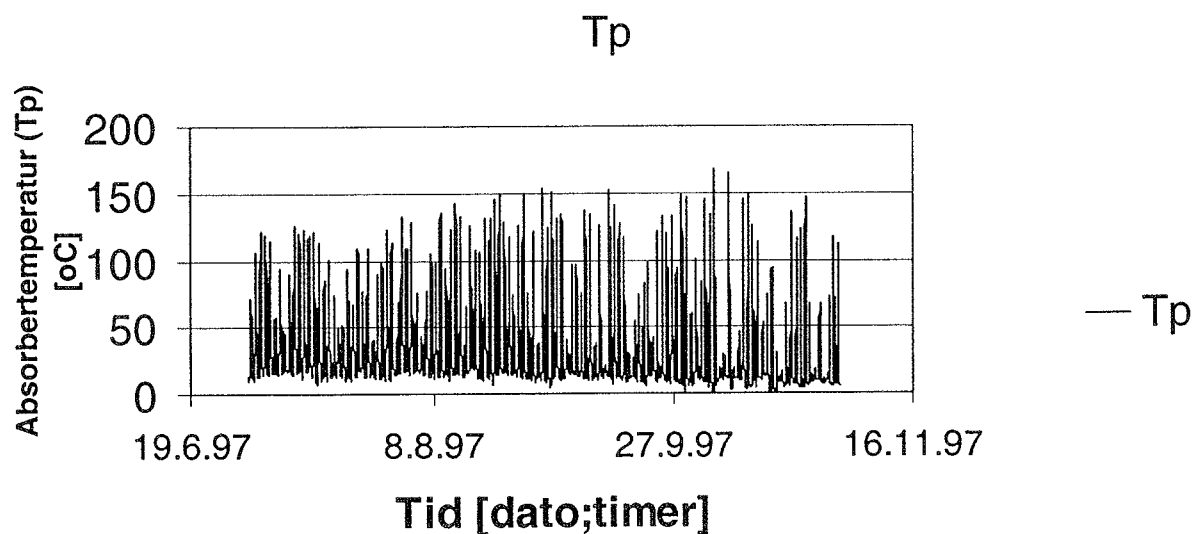
Ved hjælp af programmet [SolDia] er der genereret soldata for en lodret sydvendt flade indeholdende direkte stråling, diffusstråling, refleksionsstråling samt udetemperatur og indfaldsvinkel. Den absorberede indstråling S [W/m^2] er afbildet i [Figur 10]. Ved hjælp af disse genererede soldata kan vi bestemme de opnåede temperaturer for solfangeren i en sommerperiode hvor solfangeren ikke er i drift, det vil sige at der ikke fjernes energi ved hjælp af væskeflow. Den effektive varmekapacitet for solfangeren, når 50% af isoleringen, 27% af glasset, forreste stålplade og absorber medtages, er: 7000 J/Km^2 .

Resultatet af undersøgelsen gælder for en periode fra 1. juli til 1. november, og er vist i [Figur 11]. I denne periode opstod den højeste temperatur den 5. oktober kl. 12, med en temperatur på 187°C .

Temperaturerne toppe i løbet af dagen i perioden fra kl. 12 til kl. 14. I 20 tilfælde var dagens højeste temperatur over 160°C , og i 6 tilfælde var den over 170°C . I 2 tilfælde var temperaturen af absorberen over 180°C . Ud fra disse undersøgelser anbefales et 30 mm isoleringsindlæg mellem absorber og stålpladetil beskyttelse af sandwichelementet. Paroc foreskriver en maximal tilladelig temperatur på 120°C for sandwichelementet.



Figur 10: Indstråling på absorberen er bestemt ud fra genererede soldata for en lodret flade, for en periode fra 1. juli til 1. november.



Figur 11: Beregnede absorbtemperaturer ud fra genererede soldata for en lodret flade for perioden juni til november.

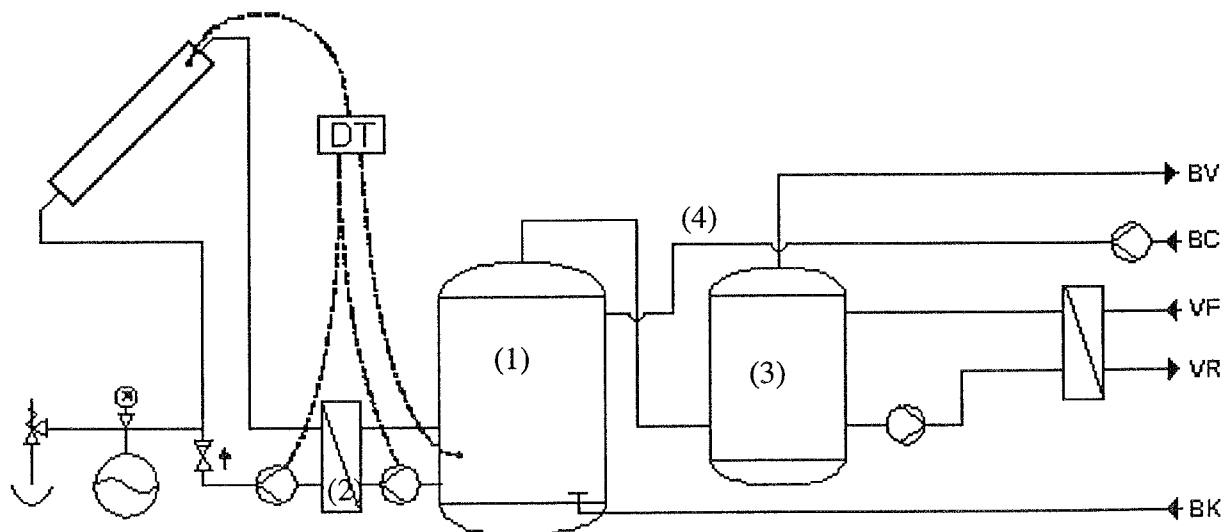
B Bestemmelse af ydelse for en lodret placeret solfanger

Ydelsen fra gavlsolfangeren er undersøgt, idet der kun ses på det tilfælde, hvor energien fra solfangeren udnyttes til at supplere energibehovet til opvarmning af det varme brugsvand. Andre aftagersystemer kunne være taget op, men det varme vand har den fordel at der stort set er et jævnt energibehov fordelt over året, med undtagelse af juli måned hvor mange beboere er rejst på sommerferie. Til beregningerne er simuleringsprogrammet PROSOL-ydelse benyttet. PROSOL-ydelse er et kommercielt tilgængeligt værktøj til brug ved projektering af solvarmeanlæg. PROSOL-ydelse indeholder 9 systemløsninger. Systemløsning nr. 9 er valgt, som består af to beholdere se [Figur 12]. En solvarmebeholder (1) som er tilsluttet solvarmekredsen via en varmeveksler (2) og en varmtvandsbeholder (3) i varmecentral tilhørende det eksisterende varmtvandssystem. Den eksisterende cirkulationsledning (4) skal passere solvarmebeholderen på vej tilbage til varmecentralen. Dermed opnås den fordel at solvarmebeholderen kan placeres nær den sydvendte gavl, således at de nye rørstrækninger er minimale. Det kolde vand tilføres solvarmebeholderen, supplerende det forbrug der har været af varmt vand på strækningen. Solvarmen tilføres forneden i solvarmebeholderen gennem en varmeveksler. Tilskudsvarmen tilføres varmtvandsbeholderen i varmecentralen på sædvanlig vis.

Det kolde brugsvand føres til bunden af solvarmebeholderen, forvarmes i denne og ledes til varmtvandsbeholderen i varmecentralen, hvor det eftervarmes og tappes fra toppen.

Cirkulation af varmtbrugsvand tilføres foroven i solvarmebeholderen.

Et diagram er vist i [Figur 12]. Systemet er velegnet når det ønskes at solvarmen skal dække cirkulationsledningstab.



Figur 12: System 9 er valgt i projekteringsværktøjet PROSOL-ydelse. Solvarmetanken, som her er vist som den største, er anbragt nær den sydvendte gavl, som har et solfangerfelt. Varmtvandsbeholderen er her vist som den mindste. Varmtvandsbeholderen er anbragt i den eksisterende varmecentral og kræver kun få ændringer.

Systemet kan udbygges således at cirkulation af det varme brugsvand tilføres varmtvandsbeholderen når temperaturen i solvarmebeholderen er lavere end returvandets temperatur. Varmevekslere er vist som en pladevarmeveksler. I visse tilfælde kan der anvendes et spiralvarmelegeme i stedet.

Karakteristikken af solfangeren er bestemt ud fra solfangerens opbygning [Appendix A], og ved anvendelse af antirefleksbehandlet glas som dæklag. Der er gjort brug af resultater fra tidligere undersøgelser [Duer] og undersøgelser udført parallelt med dette arbejde [Vejen].

Solfangerens lodrette placering reducerer ydelsen på grund af den, i forhold til 45° hældning, mindre indstråling. Dette opvejes delvis ved et reduceret varmetab for den lodrette placering (3,6%) og yderligere ved benyttelse af antirefleksbehandlet glas (8,3%). Startydelse, første varmetabskvotient, anden varmetabskvotient og en vinkelafhængighedsfaktor er angivet i [Tabel 1] for solfangere med en hældning på 45° og for vertikalt monteret solfanger samt solfanger vertikalt monteret og med AR belagt glas.

	Startydelse %	første varmetabs- kvotient W/(Km ²)	anden varmetabs- kvotient W/(K ² m ²)	vinkel- afhængigheds- faktor
Hældning 45°	75,5	3,52	0,0044	3,08
vertikalt monteret	76,6	3,20	0,0037	3,08
vertikalt monteret og med AR belagt glas	80,6	3,20	0,0037	3,45

Tabel 1 : En lidt forbedret solfangerkarakteristik ses for den vertikalt anbragte solfanger og en forbedring af starteffektivitet og vinkelafhængighedsfaktor på grund af AR-belagt glas. Dette modsvarer dog ikke den reduktion af indstråling fra solen som vinklerne forårsager, og som bevirker en 15 til 20% reduktion af ydelse på årsbasis.

Det transparente solfangerareal på gavlen tænkes at være 72 m², og dertil er benyttet en solvarmebeholder på 2 m³ for at kunne aftage den nødvendige energimængde. På [Figur 13] er vist resultatet af en ydelsesberegning hvor dækningsgraden er ca. 20%.

Den absorberede effekt i solfangerfeltet vil på gode dage være 500 W/m² x 72m² = 36 kW. Denne effekt går dels til varmetab fra solfangeren og dels som nyttiggjort energi til opvarmning af det varme brugsvand og til tabet fra cirkulationsledningen. Varmetabet fra solfangeren kan variere op til 14 kW, afhængig af temperaturen i solfangeren og udetemperaturen. Tabet fra cirkulationsledningen er ca. 2 kW for en 200 m strækning. Der er altså behov for at lagre 20 kW i solvarmetank til et senere tappetidspunkt for varmt vand. Ydelsen fra solfangeren er forudsat at foregå fra kl. 11 til kl. 15. Dette giver en energimængde på 288 MJ som skal opsamles i varmelageret.

Solvarmetanken forventes at have en starttemperatur på 45°C og en endelig temperatur på 80°C. Ud fra disse antagelser bestemmes et minimumskrav til beholder på 2 m³.

Vi har valgt en størrelse på 2 m³ til solvarmetanken for at minimere anlægsudgifterne som er afgørende for en beslutning om valg af solvarme i en situation hvor renovering af gavlen er hovedopgaven.

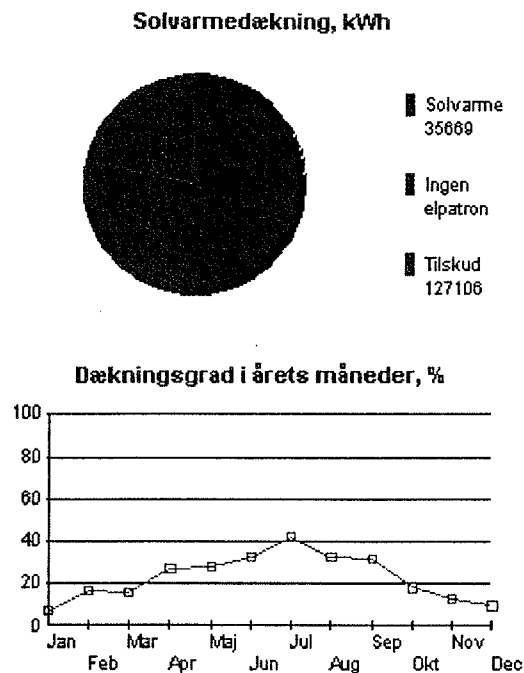
Ved hjælp af PROSOL-ydelse har vi set på den økonomiske konsekvens af at øge solvarmebeholderens volumen yderligere. Dette er vist i [Tabel 2].

Beholdervolumen m ³	Merydelse kWh	Merpris inkl. moms kr.
2	0	0
3	2000	16300
4	2333	30100

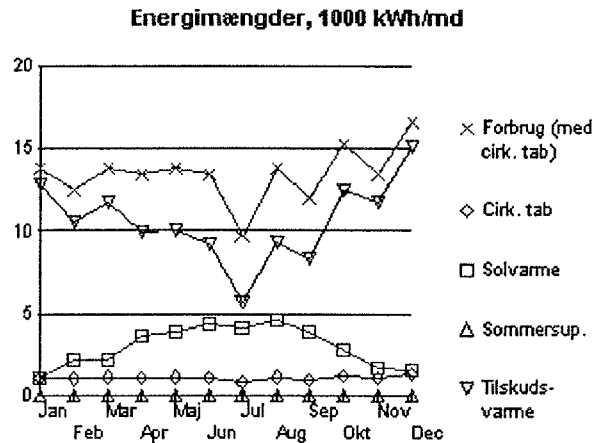
Tabel 2: Økonomisk konsekvens af solvarmebeholderens størrelse. Rentabiliteten af at øge solvarmebeholderens størrelse fra 2 til 3 m³ er sammenlignelig med rentabiliteten for det samlede projekt, hvorimod det ikke er en fordel at øge fra 3 til 4 m³.

Fil: GAVLSOL.PSS
Tid: 16-11-00 kl. 14.29.49

System: 9: To beholdere. Brugsvand cirkulerer til solvarmebeholder.



Beregnet areal: 72 m²
 Solvarmebeholder: 2.00 m³
 Forbrug (behov med cirk. tab): 161674 kWh/år
 Forbrug (ydet med cirk. tab): 161655 kWh/år
 Heraf cirk. tab: 13112 kWh/år (9%)
 Årlig ydelse: 35669 kWh (495 kWh/m²)
 Dækningsgrad (med/uden tab): 21.9%/24.0%



Figur 13 : Resultater fra ydelsesberegning med PROSOL-ypdelse.

C Økonomiske analyser

Energiprisen bruges til at beregne besparelsen som solvarmeanlægget giver anledning til. Derfor er prisen i almindelighed den marginale pris for produceret varme med det pågældende anlæg. For kedler beregnes denne ud fra bruttoenergiprisen (kr./kWh, brændselsprisen). Vi har sat bruttoenergiprisen til 0,50 kr./kWh.

Ved fjernvarme anføres normalt 100 % fyringsnyttevirkning, og den anførte pris skal være den marginale pris, svarende til den reelle besparelse (eksklusiv tilslutningsafgift) ved en nedsættelse af forbruget.

Der indgår energipris til opvarmning af brugsvand med det konventionelle varmeanlæg.

Den årlige ydelse fra solvarmeanlægget er 35669 kWh, og med en energipris på 0,50 kr./kWh er besparelsen i kr. 17834. Dertil skal fratrækkes varmetab fra solvarmebeholder samt el-energi til drift af pumpe i solvarmekreds. Varmetabet fra beholderen er 1144 kWh pr. år, og til pumpen skal der bruges 376 kWh. Med en energipris på 0,50 kr./kWh for primærenergien og 1 kr./kWh til drift af pumpen, er nettobesparelsen i kr. 16800.

Forhold, der eventuelt kan tillægges udgifter ved etablering af solvarmeanlægget, kan være hvis beholderen skal opsvejses inden i rummet, samt udgiften til stillads, lift og kran.

Der kan også være besparelser, hvis der i forbindelse med renovering spares traditionel facade-renovering, eller hvis der ved ombygning er tale om at varmeanlægget står for total renovering, således at et konventionelt anlæg er sparet.

Såfremt solvarmen dækker det fulde energibehov i en periode, kan der spares tomgangstab fra varmeanlæg og rørforbindelser i varmecentral under tomgang, dvs. intet forbrug af den primære energi.

Prisen på solfangerelementets enkeltdele er fastsat i samråd med projektets erhvervsdeltagelse og er som følger:

Aluminiums profiler:	500	kr./m ²
Absorber:	400	kr./m ²
Isoleringsselement:	300	kr./m ²
Glasdæklag med AR-belægning:	250	kr./m ²
<u>Samling på fabrik og transport:</u>	<u>350</u>	<u>kr./m²</u>
Solfangerelement i alt:	1800	kr./m ²

Nedenfor er opstillet et prisoverslag for de samlede anlægsinvesteringer med udgangspunkt i de prisbetragtninger deltagerne i projektet har gennemgået. Beholder- og varmevekslerudgifter er gældende for solvarmebeholderen. Derfor er der ikke afsat besparelser for eksisterende konventionelt varmeanlæg som er berørt i et meget lille omfang. Prisen for saxliften er gældende for leje i 3 dage + transport og forsikring, og prisen for kran er for leje i en dag. I tillæg til montage og efterisoleringsarbejde skal der regnes med en pris for det areal som ikke er dækket af solfangerfeltet.

Samlet invest.	(uden moms):	241300	(3350 kr./m ²)
Samlet invest.	(med moms):	301625	(4200 kr./m ²)
Årlig nettobesparelse:		16200	
Tilbagebetalt	(med moms):	ca.20 år	
Solfanger 72 m ²		129600	129600 (1800 kr./m ²)
Beholder(e) og veksler:		46500	
Korrosionsbeskyttelse:		11800	58300
Rør i solfangerkreds:		7900	
Komp. og væske:		15400	23300
Skoldningssikring:		3700	
Rør til brugsvand:		3500	
Sommersup. (elpatron):		0	
Elarbejde:		3700	
Energimåler:		6600	
Sparet konv. anlæg:		0	17500
Saxlift:		6000	
Kran:		5000	
Montagearbejde	(underlag mv.):	30000	
Sparet efterisolering:		50400	-9400
Projektering:	(10 %)	22000	22000
SUM (uden moms):		241300	(3350 kr./m ²)
Moms:		60325	
SUM (med moms):		301625	(4200 kr./m ²)

D Finansiering

Til finansiering af anlægget er der valgt et annuitetslån med 4 terminer om året. Nedenfor i [Tabel 3] er lånets udvikling i løbetiden vist inklusive besparelserne fra solvarmeanlæggets reduktion af energiudgifterne.

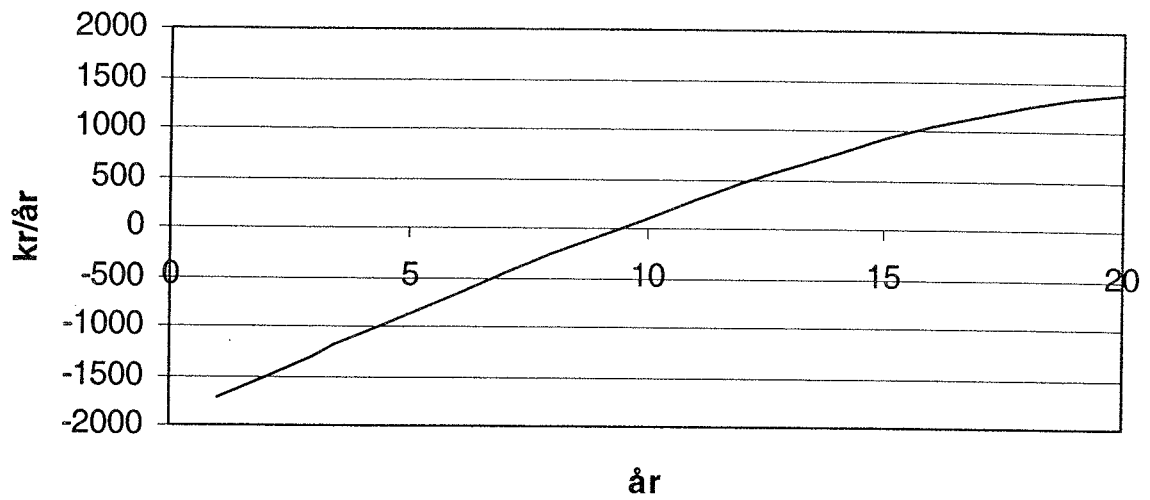
Annuitetsstatslån (4 terminer)								
År	Restgæld	Afdrag	Renter	Ydelse på lån	Drifts-omkost.	Sparet skat	Besparelse	Likviditet
1	298427	8214	18216	26430	1759	9108	17352	-1730
2	289708	8719	17712	26430	1812	8856	17873	-1514
3	280454	9254	17177	26430	1867	8588	18409	-1299
4	270633	9821	16609	26430	1923	8305	18961	-1087
5	260209	10424	16006	26430	1980	8003	19530	-877
6	249145	11064	15367	26430	2040	7683	20116	-671
7	237403	11743	14688	26430	2101	7344	20720	-468
8	224940	12463	13967	26430	2164	6984	21341	-269
9	211712	13228	13202	26430	2229	6601	21981	-77
10	197672	14040	12391	26430	2296	6195	22641	110
11	182771	14901	11529	26430	2364	5765	23320	290
12	166955	15816	10615	26430	2435	5307	24020	461
13	150169	16786	9644	26430	2508	4822	24740	624
14	132353	17816	8614	26430	2584	4307	25482	775
15	113443	18909	7521	26430	2661	3760	26247	916
16	93374	20070	6361	26430	2741	3180	27034	1043
17	72072	21301	5129	26430	2823	2565	27845	1156
18	49464	22608	3822	26430	2908	1911	28681	1253
19	25468	23996	2435	26430	2995	1217	29541	1333
20	0	25468	962	26430	3085	481	30427	1393
Sum								4606

Tabel 3 : Udviklingen af et annuitetslån til dækning af solvarmeanlæggets drift og anlægsudgifter.

Nogle af låneomkostningerne skal udbetales ved oprettelse af lånet (oprettelsesomkostninger), andre falder jævnt hen over løbetiden (løbende omkostninger). Låneomkostningerne skal udbetales ved oprettelsen af lånet, derfor skal det samlede lånebeløb forøges med disse oprettelsesomkostninger. Oprettelsesomkostningerne er sat til et fast beløb på 2000 kr. plus 1% af anlægsinvesteringen (2530 kr.). Hovedstolen på lånet bliver hermed 306641 kr.

Som grundlag for finansiering af den samlede investering på 301625 kr. har vi benyttet en rentefod på 6 %, en almindelig inflation på 3 %, en energiprisinflation på 3 % og en skatteprocent på 50 %. Driftsomkostningerne er sat til en fast pris på 200 kr. og den procentvise omkostning på ½ %.

Likviditet, kr/år (Lånetype: Annuitet, Hovedstol: 306641 kr.)



Figur 14 : Likviditetsudviklingen i lånets løbetid. Efter 9 år er likviditeten positiv.

E Prøvemethode og prøvestand

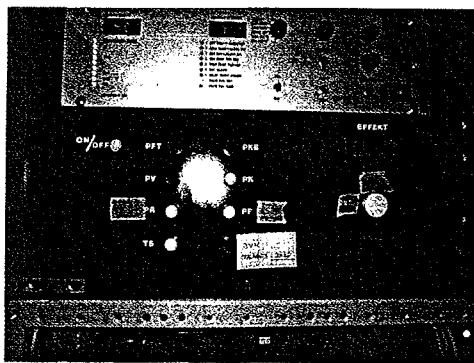
Prøvningen indbefatter varmetabsprøve og regntæthedsprøve.

Prøvningerne er udført i december 2000 og er foretaget med den opbyggede prototype af en solfanger installeret på en facade på IBE's udendørs prøveareal.

I forbindelse med dette er der installeret et væske system med en reguleret fremløbstemperatur til solfangeren og præcis måling af væskestrøm og temperaturdifferenc.

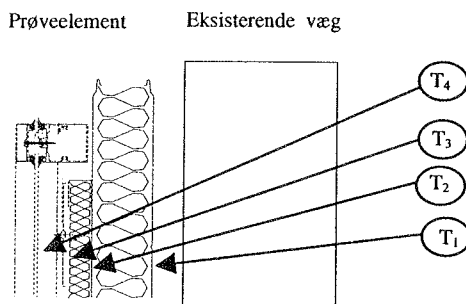
Der er til måling af væskestrøm benyttet en masseflow måler fra Danfoss af typen Massflow, med målehoved Mass 1100. Temperaturforskellen imellem indløb og udløb fra solfangeren er målt med 5 stk. termoelementer i termosøjle. Indløbstemperatur er styret ved hjælp af et varmelegeme. Herudover måles indløbstemperatur og udløbstemperatur med termotråde.

Den nøjagtige regulering og måling af væskestrøm og temperaturdifferenc er vigtig for varmetabsprøven, hvor den afsatte energimængde skal findes. På [Figur 15] ses et billede af kontrolpanel.



Figur 15: Billede af kontrolpanel for væskesystem.

For regntæthedsprøven er væskens temperatur ca. 30 °C i solfangerkredsen, herved opnås der temperaturgradienter til omgivelserne, som kan have indflydelse på tætnings- og samlingsdetaljer. Regntæthedsprøven forløber over 3 timer med konstant regnekspønering og cirkulation af væske i solfangerkredsen. Efterfølgende udføres en inspektion hvor solfangervæsken er varmet op til ca. 60 °C for at fremprovokere tegn på vandindtrængning i form af kondens på dæklaget. Ved hjælp af termotråde er der målt temperaturer i de forskellige lag af komponenten Se [Figur 16] .



Figur 16 : Der er målt temperaturer med termotråde i de forskellige lag som angivet med pile.

Formålet med at udføre test på prototypen af solfangeren er at afklare eventuelle fejl i konstruktionen. Enten hvad angår utilsigtede kuldebroer, som har indflydelse på solfangerens

ydeevne eller utætheder i konstruktionen, som kan forårsage indtrængning af vand og dermed nedsætte solfangerens levetid. Varmetabsmålingen sammenholdes med den beregnede værdi udfra solfangerens konstruktion. Regntæthedsprøven afsluttes med inspektion, hvor der ses efter tegn på indtrængende vand i form af kondens på dæklaget.

Varmetabsmålingerne er udført med en væsketemperatur i solfangeren på omkring 70 °C og regntæthedsprøven er gennemført med en væsketemperatur omkring 30 °C under selve eksponeringen og hævet til godt 60 °C under inspektionen.

Varmetabsprøve

Varmetabsprøve udført 6/12-2000:

Den lokale vejrudsigter fra DMI lød for onsdag den 6. december 2000:

”Regionaludsigter, der gælder til midnat, udsendt kl. 05.00. København og Nordsjælland

mest skyet, men tørt vejr. Temp. mellem 7 og 10 grader, og let til frisk vind fra syd og sydøst.”

Ved prøvestanden denne dag var der skyet men tørt vejr. Temperaturen var omkring 7 °C og det var helt vindstille.

Stationære forhold i væskesystem og solfangerfelt er til stede ved målingerne efter at systemet har kørt i 2 timer mellem kl 14:20 og kl. 16:20 med uændrede vejrforhold udenfor.

Flowet i solfangerkredsen er, under prøvningen, målt til 7,44 kg /min., idet væske cirkulerer fra top til bund. Indløbstemperaturen til solfanger feltet er målt til 71,3 °C. Temperaturdifference imellem ind- og udløbstemperatur er målt til 5 °C.

Udelufttemperaturen er målt til 7,3 °C.

Hvert solfangerelement har et transparent areal på 5,75 m². For de to elementer er det samlede transparente areal 11,5 m².

VARMETABSKOEFFICIENTEN FOR GAVLSOLFANGER

Tid	M	T _a	T _i	T _d	T _{m,dif}	K
	kg/s	°C	°C	°C	°C	W/(m ² ·°C)
6/12- kl 16:20	0,124	7,3	71,3	5	61,5	3,29

Tabel 4: Resultater af varmetabsmålinger. Det benyttede areal er 11,5m².

Varmetabskvotienten er givet ved den overførte energimængde divideret med temperaturforskellen mellem middeltemperatur af væske og omgivelsernes temperatur.

Den logaritmiske middeltemperaturdifference er benyttet og er givet ved :

$$T_{m,dif} = T_d / (\ln((T_i - T_a) / (T_i - T_d - T_a)))$$

Varmetabskvotienten er givet ved:

$$K = M(C_{pT_i} T_i - C_{pT_i-T_d} (T_i - T_d)) / (A \cdot T_{m,dif}),$$

Hvor A er det transparente areal af solfangerfeltet og C_p er varmekapaciteten ved den givne temperatur for en 50 % glykolblanding.

Benyttes effektivitetsudtrykket fra appendiks A bestemt ud fra konstruktionen kan, en tilsvarende varmetabskoefficient findes ved indsættelse af $T_{m,dif} = 61,5 \text{ °C}$ i udtrykket.

$$U_L = 3,197 + 0,0037 T_{m,dif} = 3,42$$

Overensstemmelsen imellem U_L og K er rimelig god under 4 % afvigelse. Afvigelsen kan skyldes forskellige påvirkninger fra vind. Målingerne viser bedre resultat for solfangerens ydelse end beregningerne. Vi har derfor ikke grund til at tro, at der er utilsigtede kuldebroer i konstruktionen.

Regntæthedsprøve

Regntæthedsprøve udført 8/12 2000:

Den lokale vejrudsigt fra DMI lød for fredag den 8. december 2000:

"Regionaludsigt, der gælder til lørdag morgen, udsendt kl.10.15. København og Nordsjælland Regn, men i løbet af eftermiddagen klarer det noget op fra sydvest. Op til frisk sydøstlig vind der drejer til syd og sydvest. Temp. omkring 8 grader. I aften og i nat tørt vejr med vekslende skydække. Let til frisk sydlig vind og temp. kommer ned mellem 5 og 8 grader."

Ved prøvestanden denne dag var der en let vedvarende regn, udetemperaturen var omkring 6 °C og det var vindstille.

Væskesystemet blev sat i gang kl.8:20, med en indløbstemperatur på omkring 30 °C.

Kl. 11:30 måles temperaturprofilen i solfangerelementerne.

Temperaturprofilen består af overfladetemperatur på efterisoleringselement mod eksisterende væg T_1 , imellem efterisoleringselement og isoleringsindlæg T_2 , temperatur i isolering ganske tæt på absorber T_3 og endelig indvendig dæklagstemperatur T_4 . se [Figur 16]

Temperaturprofil							
Øverste solfanger				Nederste solfanger			
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
9.8	19.8	29.6	10.1	8.3	20.3	29.7	10

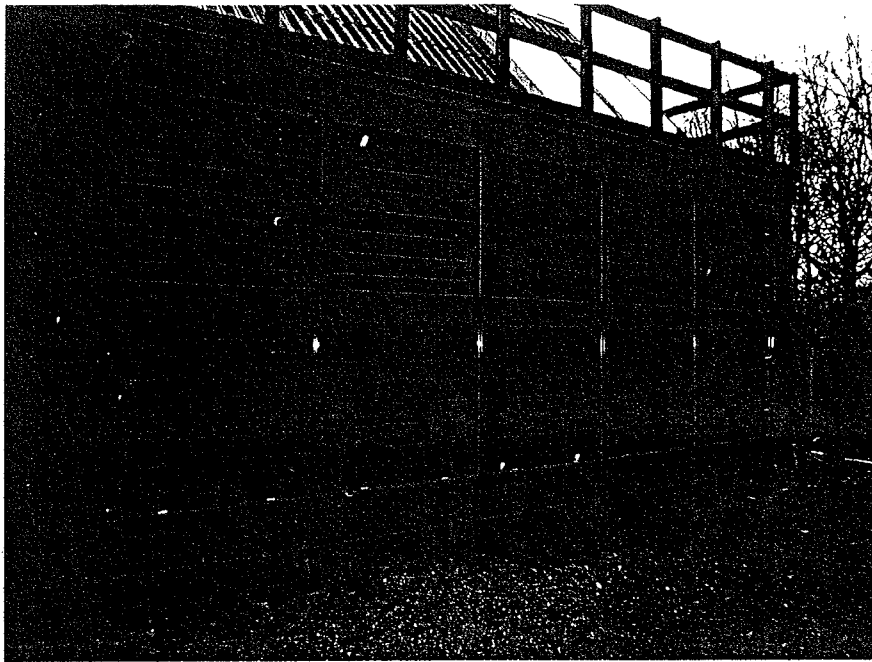
Tabel 5 : Temperaturprofil i de to solfangerelementer under regntæthedsprøve.

Regnpåvirkningen af solfangerfeltet er vist ved et nærbillede i [Figur 19].

Billede på [Figur 17] viser solfangeren før inspektion uden fremprovokering af kondens på dæklaget. Der er her ingen tegn på vanskeligheder med kondens på dæklaget.

Kontrollen ved inspektion udføres med solfangeren opvarmet til ca. 60 °C.

Billede på [Figur 18] viser solfangeren under inspektion med fremprovokering af kondens på dæklaget. Der er her heller ingen tegn på vanskeligheder med kondens på dæklaget.



Figur 17: Solfangerfeltet uden fremprovokering af kondens.

Kl. 11:30 blev opvarmning af solfangerkredsen sat i gang, med en indløbstemperatur på omkring 65 °C. Kl. 11:45 måles temperaturprofilen i solfangerelementerne. Se [Tabel 6]. Samtidig inspireres dæklaget for forekomst af kondens.



Figur 18: Solfangerfeltet ved inspektion med fremprovokering af kondens.

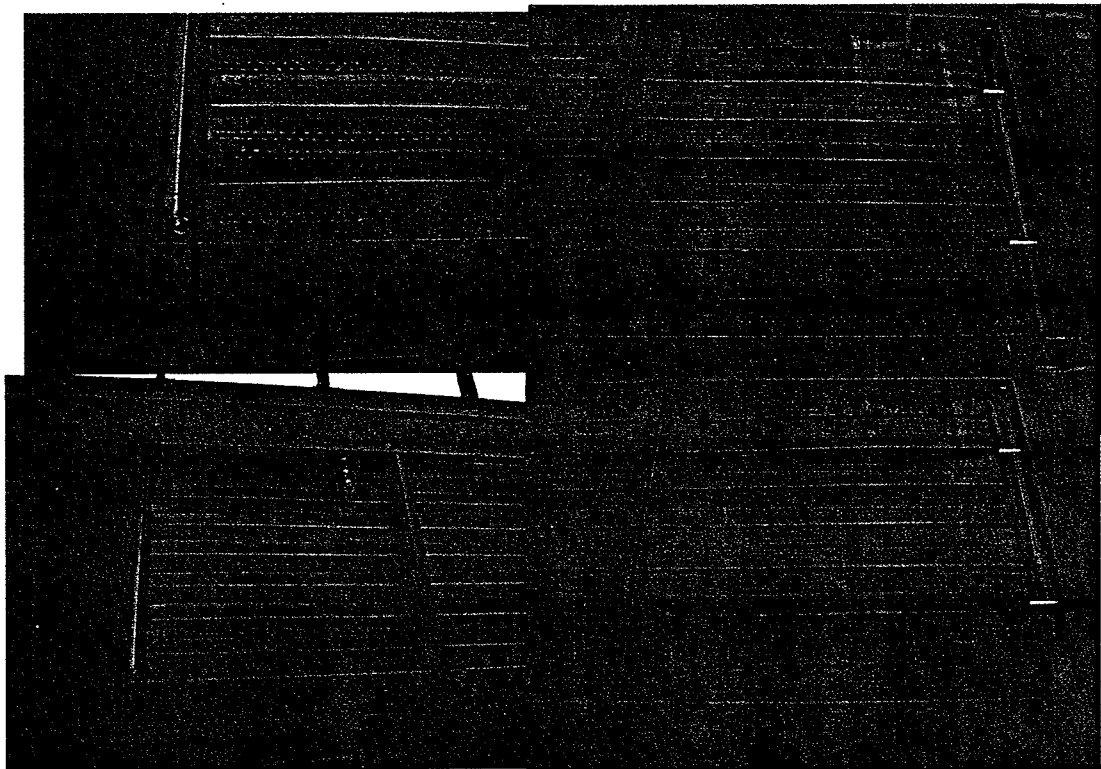


Figur 19 : Nærbillede af solfangerfelt under regnekspnering.

Temperaturprofil							
Øverste solfanger				Nederste solfanger			
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
C	C	C	C	C	C	C	C
10.1	23.2	45.6	14.1	8.5	23.1	44.8	12.6

Tabel 6: Temperaturprofil i de to solfangerelementer under inspektion.

Nærbilleder er vist i [Figur 20] af solfangerens dæklag under inspektion.



Figur 20 : Billeder taget under inspektion af solfanger efter regntæthedsprøven.

Konklusionen på regntæthedsprøven er, at der ikke sås nogen tegn på vandindtrængning, som skulle indikere, at der var utætheder i klimaskærmen.

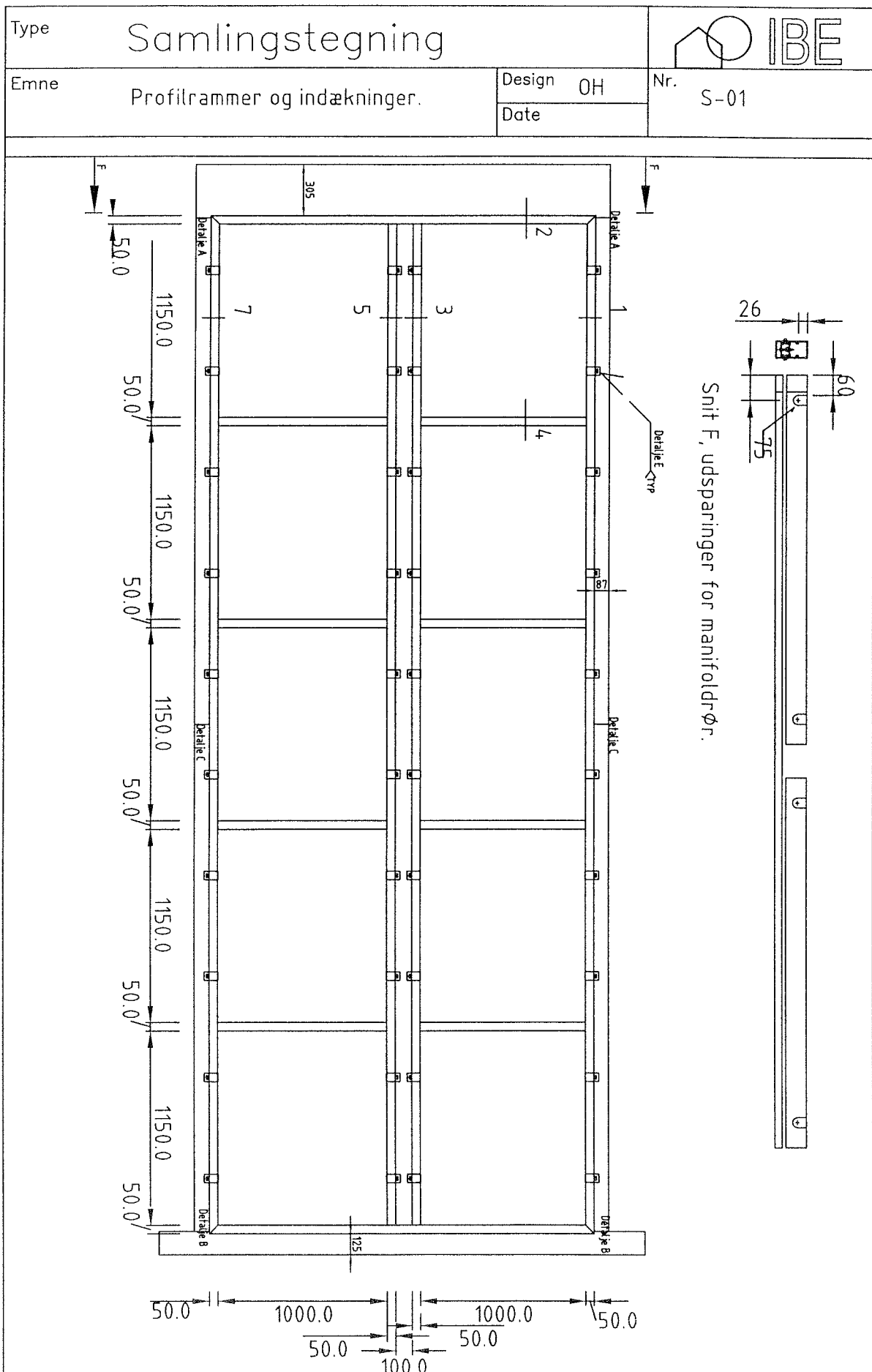
F Symbolliste og enheder

a_0	Varmetabskoefficient ved lodret solfanger	$W/(m^2K^2)$
a_1	Varmetabskoefficientens temperaturled ved lodret solfanger	$W/(m^2K^2)$
C	Varmekapacitet af solfanger	kJ/K
C_e	Varmekapacitet effektiv	kJ/K
C_f	Varmekapacitet af væske	$J/(kgK)$
f'	Finnéfaktor	-
$G, G_{dir}, G_{dif}, G_{ref}$	Solbestrålingsstyrke (total, direkte, diffus, refleksion)	W/m^2
K	Varmetabskvotient målt	J/Km^2
k_g, k_v	Indfaldsvinkelkorrektionsfaktor	
M	Væskestrøm	kg/s
η	Effektivitet	-
η_o	Effektivitet ved en middel væsketemperatur lig lufttemperaturen	-
S	Absorberet indstråling	W/m^2
t	Tid	s
T_a	Lufttemperatur	$^{\circ}C$
T_d	Temperaturstigning eller -fald over solfangeren	K
T_i	Indløbstemperatur	$^{\circ}C$
T_p	Absorbertemperatur	$^{\circ}C$
T_m	Middeltemperatur af væsken	$^{\circ}C$
T_{STAG}	Stagnationstemperatur	$^{\circ}C$
U_L	Samlet varmetabskvotient	J/Km^2
v	Indfaldsvinkel	$^{\circ}$

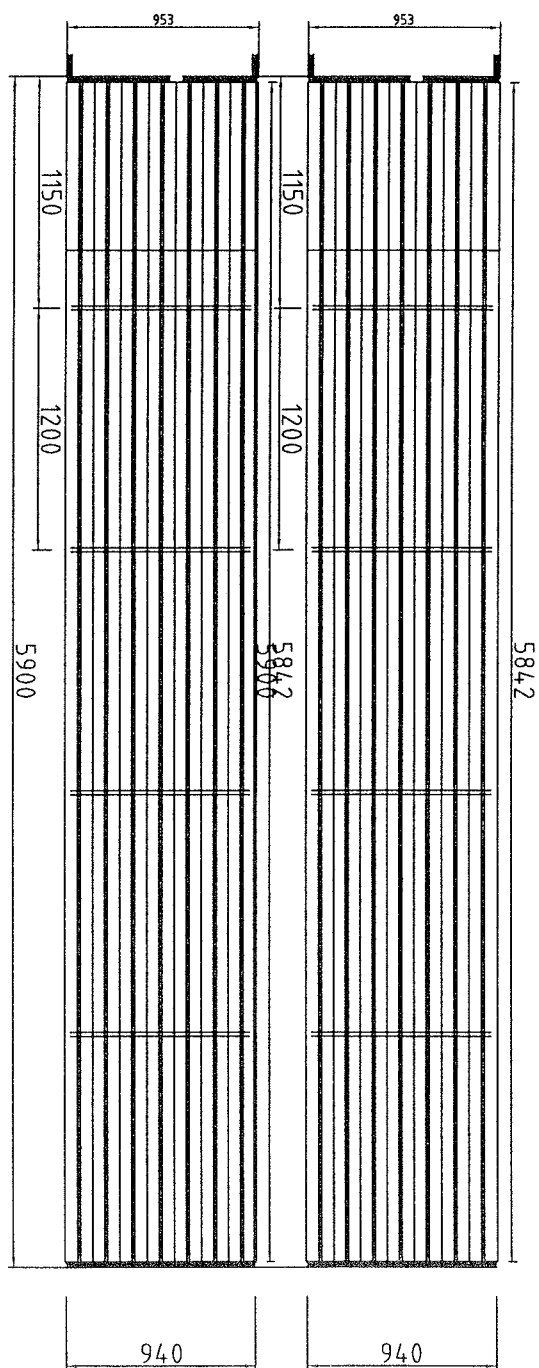
G Tegningsmateriale

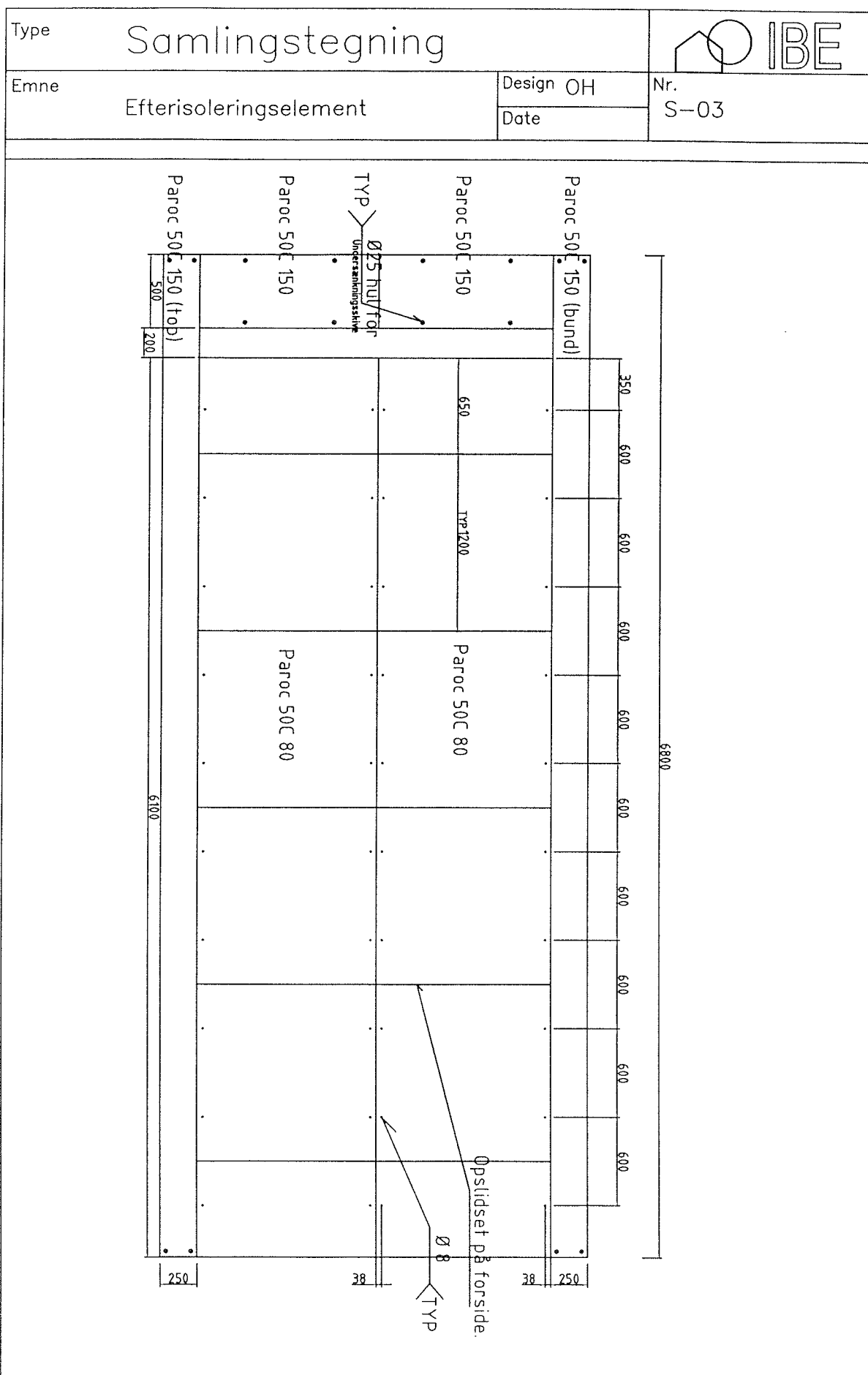
Tegn. nr.	Type	Emne
S-01	Samlingstegning	Profilrammer og inddækninger
S-02	Samlingstegning	Absorber
S-03	Samlingstegning	Efterisoleringsselement
S-04	Samlingstegning	Lodret snit og montering
S-05	Samlingstegning	Vandret snit og rørføring
D-01	Detalje	Profilbeslag, inddækningssamling
D-02	Detalje	Inddækningssamling
D-03	Detalje	Inddækningstyper
D-04	Detalje	Inddækning af solelement
D-05	Detalje	Inddækning af efterisoleringsselement

Tabel 8 : Tegningsliste til prototype af gavlsolfanger.

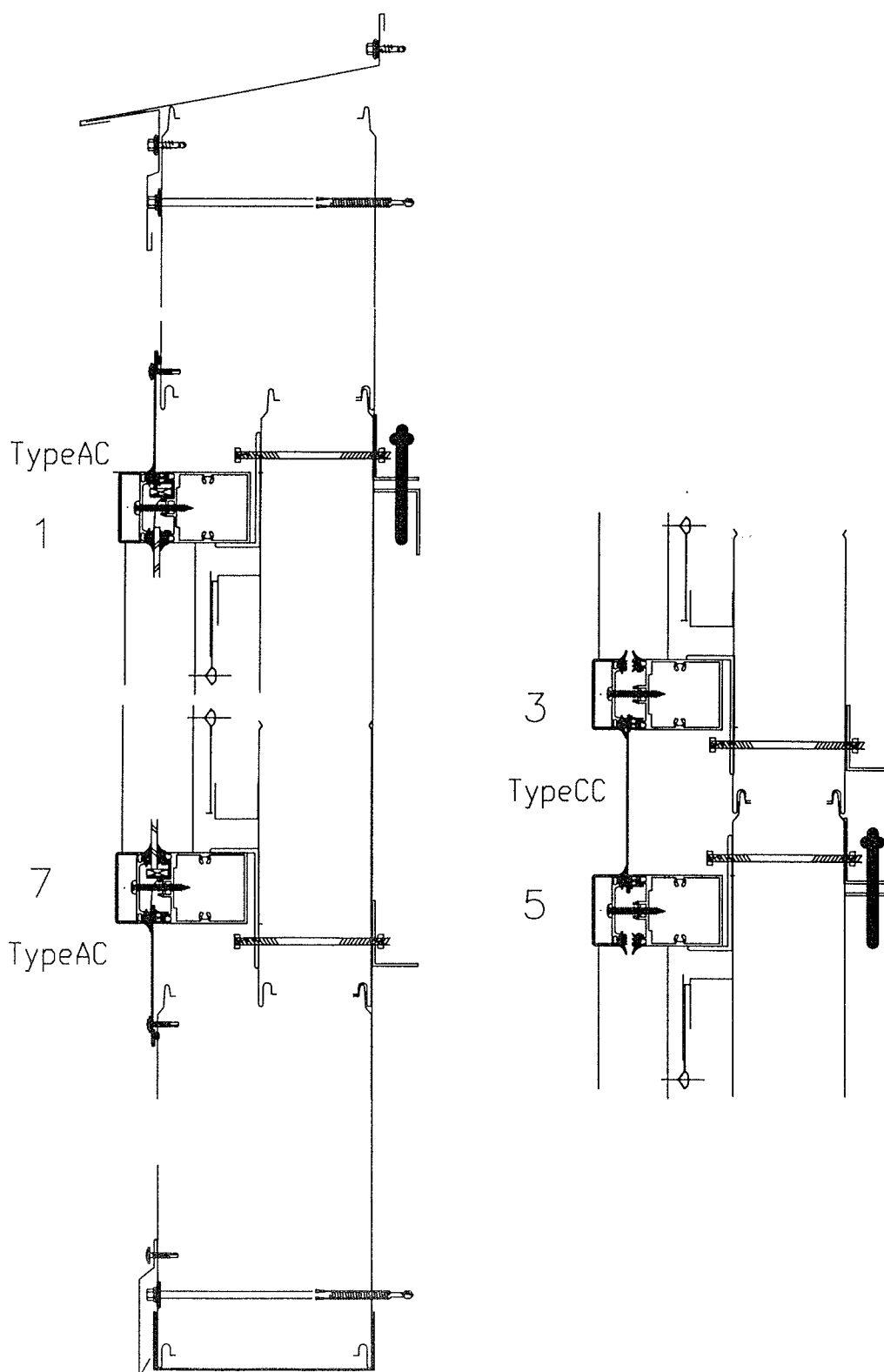


Type	Samlingstegning		
Emne	Absorber	Design 0H Date	
			Nr. S-02

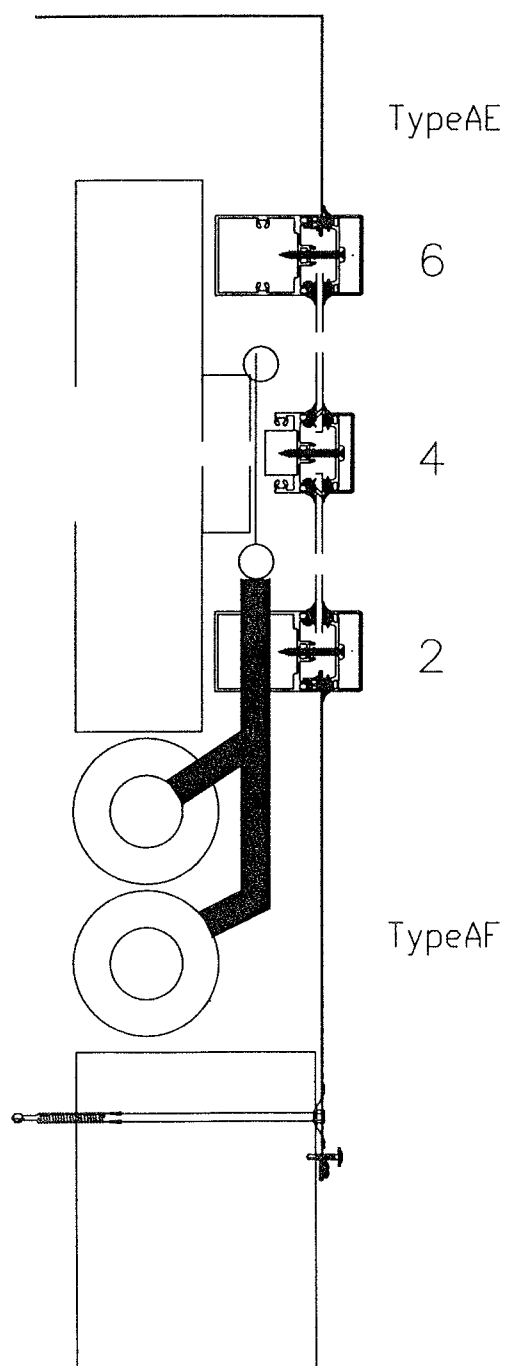




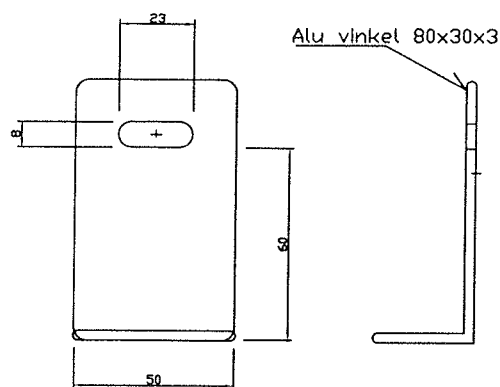
Type	Samlingstegning		
Emne	Lodret snit og montering	Design OH Date	
			Nr. S-04



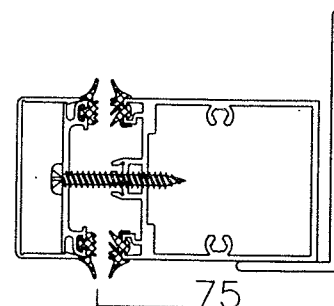
Type	Samlingstegning		
Emne	Vandret snit og rørføring	Design OH Date	
			Nr. S-05



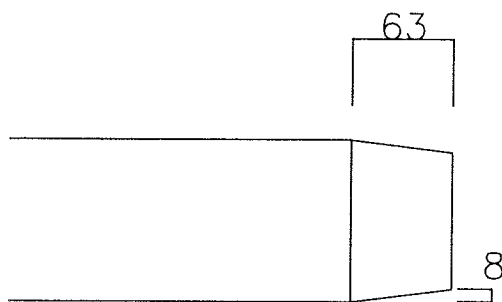
Type	Detalje		
Emne	Profilbeslag, inddækningssamling	Design OH	Nr.
		Date	D-01



Montering

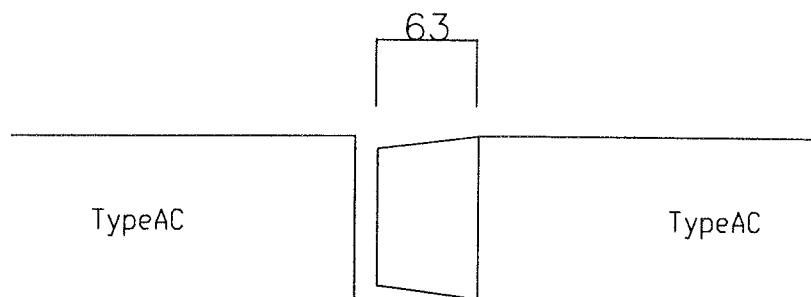


Detalje E: HS Hansen/Paroc samling

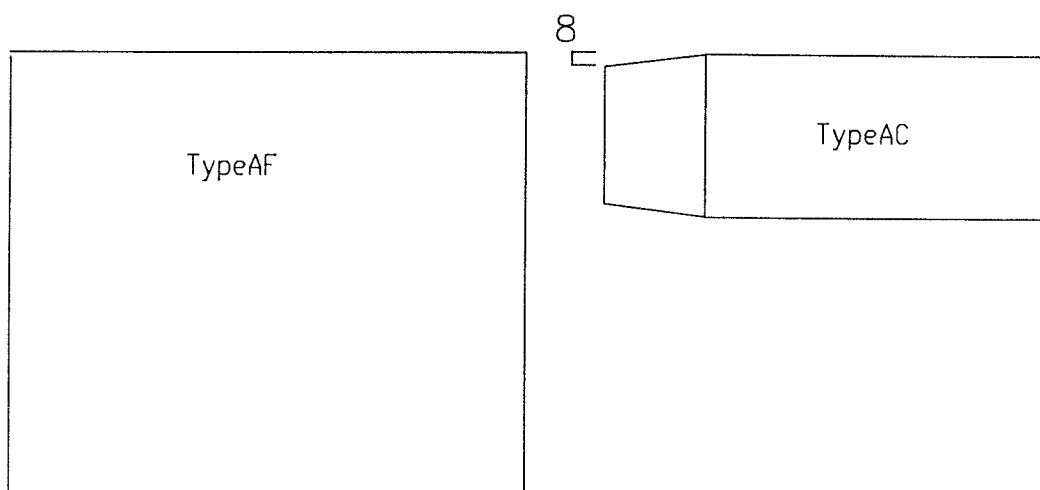


Detalje B: Hjørnesamling af indækning.

Type	Detalje		
Emne	Inddækningssamling	Design OH Date	
			Nr. D-02



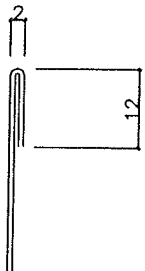
Detalje C: Lige-samling af indækning.



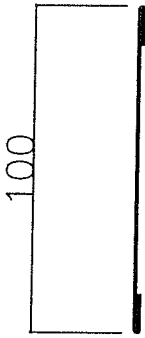
Detalje A: Hjørnesamling af indækning.

Type	Detalje		
Emne	Inddækningstyper	Design OH Date	

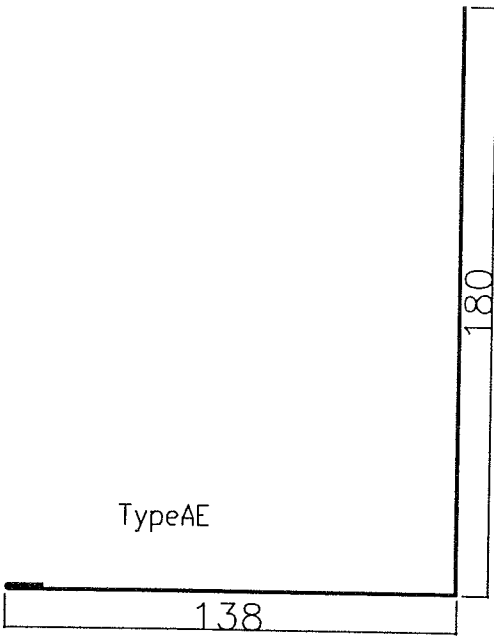
Type1



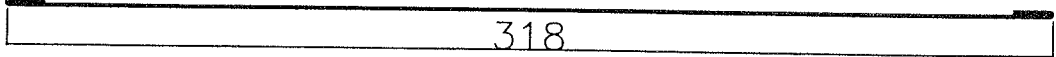
TypeAC



TypeAE

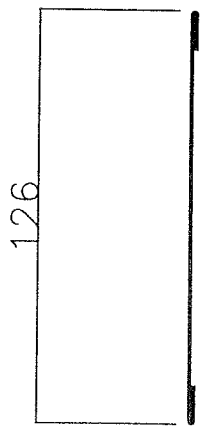


TypeAF



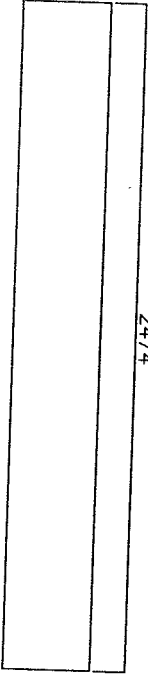
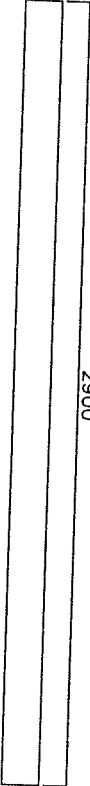
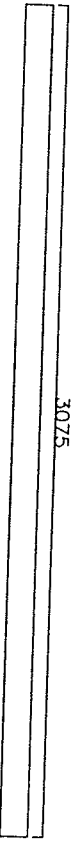
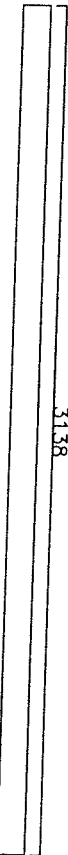
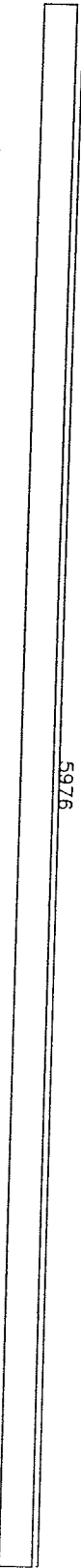
Type 1 på alle 4 sider.

TypeCC

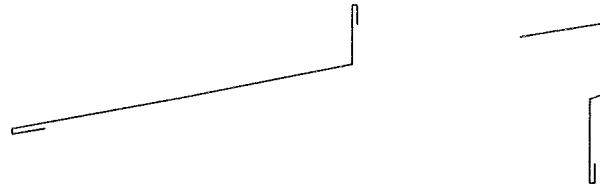


Type 1 på alle 4 sider.

Type	Detalje		
Emne	Inddækninger af solelement	Design OH Date	
			Nr. D-04

	Type# 2474	1 stk. (ombuk på alle 4 sider.)
TYP		
	Type# 2900	1 stk.
	Type# 3075	2stk.
	Type# 3138	2stk.
	Type# 5976	1 stk. (ombuk på alle 4 sider.)

Type	Detalje		
Emne	Design	OH	
Indækning af efterisoleringselement	Date		Nr. D-05

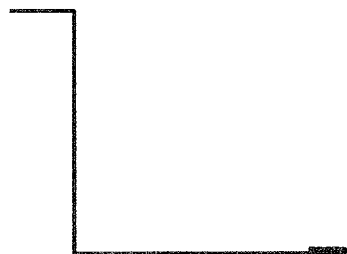


inddækning ved tag (Paroc 150 top)
Længde 1 stk. 3400 mm, 1stk 3463.



U-profil, længde 6800, 1 stk.

inddækning ved fundament (Paroc 150 fod)
Længde 1 stk. 3400 mm, 1stk 3463.



lodret inddækning ved væg (Paroc 150 side)
Længde 2900 mm