



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R168:1984

**Stockholmsprojektet — Tak-
integrerad luftsolångare och
luftvärme i kvarteret Kejsaren,
Stockholm**

Göran Werner

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plad *ser*

*K
AN*

Byggeforskningsrådet

R168:1984

STOCKHOLMSPROJEKTET - TAKINTEGRERAD LUFTSOL-
FÅNGARE OCH LUFTVÄRME I KVARTERET KEJSAREN,
STOCKHOLM

Göran Werner

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811814-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stockholms kommun, Stockholm

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat

R168:1984

ISBN 91-540-4268-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

Förord

Stockholms kommun har under de senaste åren ökat sin aktiva medverkan i forsknings- och utvecklingsarbete inom energiområdet. Syftet är att stärka kommunens kompetens och bidra till en lägre energiförbrukning i bostäder och lokaler. Den 7 december 1981 antog kommunfullmäktige "Energiprogram för Stockholm, riktlinjer för forskning och utvecklingsarbete" som ligger till grund för kommunens insatser och samarbete med Statens råd för byggnadsforskning (BFR).

I det löpande arbetet med nya projekt för flerbostadshus i Stockholm, främst inom Södra stationsområdet och i Hansta, har idéer och förslag på byggnaders uppvärmning och ventilation förts fram. Många av dessa är intressanta men har tidigare ej prövats i full skala. Därför är det angeläget att dessa nu prövas i särskilda experimentbyggnadsprojekt innan de eventuellt kan bli aktuella att tillämpa i nämnda områden. Denna prövning sker nu inom ramen för energiprogrammet i samarbete med BFR och Kungliga Tekniska Högskolan (KTH) i det så kallade STOCKHOLMSPROJEKTET.

Kommunen har för detta ändamål anvisat tomter inom i övrigt exploaterade områden:

- o kvarteret Rågaxet till Johan Mattson Byggnads AB
- o kvarteret Bodbetjänten till Armerad Betong Vägförbättringar AB
- o kvarteret Konsolen till Ohlsson & Skarne AB
- o kvarteret Sjuksköterskan till Svenska Riksbyggen
- o kvarteret Kejsaren till Stockholmshem AB

De tre sistnämnda projekten är nu under byggnad medan de två första har byggstart under första halvåret 1984.

Föreliggande rapport avser det av dessa experimentbyggnadsprojekt som genomförs av Stockholmshem AB med K-konsult som idégivare och projektör.

Stockholmsprojektet avser att utveckla och utvärdera grundläggande förutsättningar för ett sänkt behov av köpt energi i nya flerbostadshus. Det målet kan nås genom att dels bygga hus som i sig är energisnåla, dvs har ett lågt totalbehov av tillförd energi, dels genom att välja byggnadsutformning och installationer som möjliggör ett effektivt utnyttjande av tillförd energi, värmeåtervinning, värmelagring och dyl. I några av projekten prövas relativt enkla åtgärder för energibesparing i hus som i stora drag ges en konventionell utformning, i andra prövas ny teknik, inglasade gårdar m m, i hus med mer okonventionell byggnadsutformning. Det väsentliga i Stockholmsprojektet är att pröva olika sätt att nå låga behov av köpt energi, inte att utveckla det absolut bästa "lägenergihuset". Resultaten från detta projekt kommer senare att tillämpas under varierande förutsättningar - tät innerstad, förtätning i ytterstaden, nyexploatering -varför den breda ansatsen och möjligheten att jämföra olika "strategier" är grundläggande för hela projektet.

Alternativprojektering, mätning och utvärdering finansieras till stora delar av BFR, som även ger experimentbyggnadslån till byggföretagen. Ansvarig för mätning och utvärdering av mätresultaten är doc Arne Elmroth, KTH. Kommunen ansvarar för en övergripande projektledning och viss kompletterande utvärdering. Stockholmsprojektet kommer successivt att avrapporteras från byggare/projektörer, utvärderingsgruppen på KTH och kommunen. Slutlig redovisning av hela projektet beräknas till årsskiftet 1987/88.

Stockholm november 1983

Planeringsberedningens kansli

Mats Thorén

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

- 1. SAMMANFATTNING
 - 1.1 Allmänt
 - 1.2 Solvärme-tilluft
 - 1.3 Luftvärme och "bjälklagslager" i lägenheter
 - 1.4 Energibalansberäkning
- 2. BAKGRUND
- 3. PROGRAMSKEDE
 - 3.1 Provade och förkastade idéer
- 4. SYSTEMUTFORMNING/KONSTRUKTION
 - 4.1 Slutgiltigt systemval
 - 4.1.1 Funktionsbeskrivning
 - 4.2 Studier inför konstruktion av takintegrerad luftsol-fångare
 - 4.3 Den slutgiltiga konstruktionen av solmot-tagaren
 - 4.4 Luftvärmesystem för lägenheter
- 5. ENERGIBALANSBERÄKNING
 - 5.1 Systemeffektivitet
 - 5.2 Sammanfattning av energitillförsel
- 6. KOSTNADER
 - 6.1 Kostnadsspecifikation
 - 6.2 Lönsamhetskalkyl
- 7. PROJEKTERINGSERFARENHETER
 - 7.1 Organisation
 - 7.2 Arbetsmoment som påverkat den konventionella projekteringen
- 8. PROGRAM FÖR MÄTNING OCH UTVÄRDERING

Bilagor:

- Bilaga 1 Redovisning av beräkningsförutsättningar och beräkningar av verkningsgrader för luftsol-fångare
- Bilaga 2 Beräkning av stagnationstemperaturer
- Bilaga 3 Mätning på luftsol-fångarprototyp:
 - Beskrivning av prototyputförande
 - Mätningar och mätresultat
- Bilaga 4 Utdrag ur bygg- och installationshandlingar Kv Kejsaren 20

Litteraturförteckning

1. SAMMANFATTNING

1.1 Allmänt

I februari 1982 beviljade Byggforskningsrådet (BFR) via Stockholms kommun, planeringsberedningens kansli, AB Stockholms hem experimentmedel för projektering av solvärmesystem och luftvärme i nybyggnadsprojektet Kv Kejsaren 20 på södermalm i Stockholm.

Bakom projektet ligger K-Konsults idéförslag om solenergiutnyttjande med byggnadsintegrerad solmottagare, typ luftsolfångare, i kombination med luftvärme för lägenheter.

Projektet är ett av Stockholms kommuns sex experiment med energisnåla nya flerbostadshus inom ett ramprojekt med BFR.

Huset som är sex våningar högt innehåller 10 lägenheter, butik och garage och ligger i innerstadsmiljö.

Byggnaden beräknas stå färdig våren 1984 varefter en omfattande mätning och utvärdering av experimentåtgärderna skall utföras. För mätning och utvärdering ansvarar Arbetsenheten för energihushållning i byggnaden, KTH.

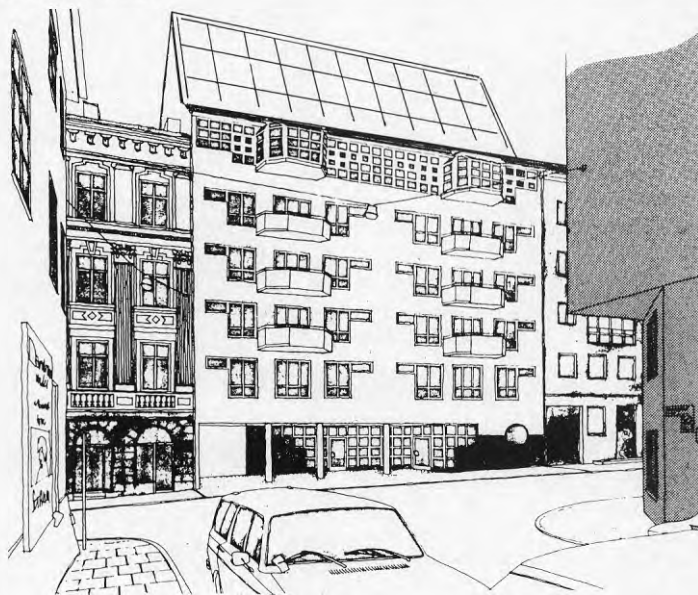


Fig 1:1 Experimenthus Kv Kejsaren 20

Föreliggande rapport redovisar idéer och utvecklingsarbete i program- och projekteringsskedet. I bilagor redovisas beräkningar och mätresultat från, för projektet, utvecklad konstruktion av byggnadsintegrerad luftsolångare. Mätningar gjordes sommaren 1982 på 2m² prototyp av luftsolångaren.

1.2 Solvärme-tilluft

Uteluften tas in via en ventilationsvärmväxlare och förvärmes där av frånluften. Då solfångaren har möjlighet att värma tilluften distribueras denna sedan genom de 15 solmottagarelementen omfattande cirka 100 m² solmottagaryta, varvid temperaturen höjs ytterligare. Luften förs sedan till det centrala ventilationsaggregatet och vidare till lägenheterna. Då solmottagaren ger mer värme än vad som krävs för husets uppvärmning överförs värmen via direkt värmväxling till tappvarmvattenberedning. På detta sätt utnyttjas också solmottagaren sommartid då de gynnsammaste driftbetingelserna råder.

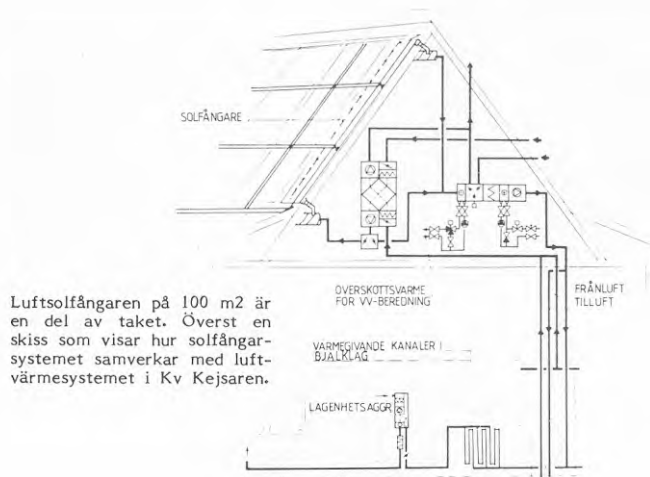


Fig 1:2 Luftvärmesystem - luftsolångare

1.3 Luftvärme och "bjälklagslager" i lägenheter

Den tilluft som distribueras till lägenheterna passerar genom ingjutna spirokanaler i lägenhetens betongbjälklag. Bjälklaget fungerar då som ett dygnsutjämnande värmelager.

I varje lägenhet installeras i serie med ventilationssystemet ett varmluftsaggregat med återluft.

Uppvärmningen av lägenheterna sker alltså med luftvärme. Principen är att luft med övertemperatur tillförs rummen där den avger värme som balanserar värmeförlusterna så att man får önskad rumstemperatur.

Två metoder provas att tillföra den värmda luften till rummen: under fönstren och i innerkant rum (bakantinblåsning).

1.4 Energibalansberäkning

För att bedöma solvärmesystemets energibidrag till lägenheternas värmebehov har gjorts ingående datorsimuleringar med BRIS-programmet.

Tillförsel	Köpt energi kWh/m ²	Från solvärmesystemet (inkl FTX) kWh/m ²
1. Uppvärmning för luftvärme och ventilation	24,6	49,7
2. Tappvarmvatten	22,3	11,4
3. Hushållsel + belysning	26,5	0
TOTALT	73,4	61,1

2. BAKGRUND

Planeringsberedningen i Stockholm inbjöd K-Konsult (parallellt med några andra konsultföretag) att utarbeta en idépromemoria om energisnål bebyggelse på Hansta och Södra Stationsområdet.

Vid överläggningar i samband med idépromemoriorna föreslog planeringsberedningens kansli att några av konsultföretagens förslag till energisnål byggnadsutförning skulle prövas i praktiken i form av experiment och demonstrationsobjekt. Idéerna skulle testas i aktuella projekt för att i tid kunna utvärderas och vid lyckat resultat kunna användas vid bebyggelsens planering och projektering för Hansta och Södra Stationsområdet.

Experimenten med energisnål bostadsbebyggelse skulle ingå i det ramprojekt som Byggforskningsrådet och Stockholm kommun startade våren 1981.

Vid ovannämnda överläggningar ansågs att K-Konsults förslag om solenergiutnyttjande med byggnadsintegrerade solmottagare typ luftsolfångare var bland de idéer som borde utvecklas och testas i ett byggnadsprojekt.

I februari 1982 beviljade Byggforskningsrådet medel för projektering av ett experimentprojekt där K-Konsult är totalprojektör.

Inom K-Konsults projektgrupp vid stockholmskontoret ansvarar civilingenjör Göran Werner, energiavdelningen, för FoU samt genomförande av "energiexperimentet" parallellt med den konventionella projekteringen som leds av arkitekt Hans Broberg. För vvs- teknisk projektering ansvarar civilingenjör Arne Karsman.

Experimentobjekt

Fastigheten kv Kejsaren 20 (Högbergsgatan 32) på Södermalm förköptes av Stockholms kommun genom beslut i kommunfullmäktige 19 maj 1980. Fastighetsnämnden reserverade 15 april 1980 fastigheten åt AB Stockholmshem. K-Konsult i Stockholm erhöll 31 augusti 1981 uppdraget att för AB Stockholmshem räkning utföra generalprojektering av bostadshus på fastigheten.

Huset som blir sex våningar högt skulle innehålla cirka 1 000 m² bostadsyta uppdelat på 10 lägenheter på 4 rum och kök samt butikslokal på cirka 200 m², garage och källare. Byggstart planerades till årsskiftet 82/83.

I ansökan om projektanslag föreslogs att byggnaden i kv Kejsaren 20 skulle projekteras med fasad och takintegrerade solmottagande element med luft som värmebärare samt med ett luftvärmesystem som ersätter radiatorsystemet i lägenheterna.

Byggnaden ansågs ha följande speciella förutsättningar och faktorer av intresse:

- projektet kommer snabbt till utförande, byggstart årsskiftet 82/83
- objektet är ett relativt högt hus (cirka 6 våningar) i tätbebyggelse
- "passiv" solvärme¹⁾ i tätbebyggelse testas och utvärderas
- luftburen värmedistribution prövas

1) Med "passiv" solvärme menas här att ej fabriksfärdiga vattensolfångare utnyttjas utan byggnadsintegrerad solmottagare med luft studeras, dessutom att dygnslagring sker i byggnadsstommen.

3. PROGRAMSKEDE

I projektets programskede gjordes sol- och skuggstudier för en tänkt sexvåningsbyggnad på den aktuella tomten. Dessa studier visade att det är endast husets två övre våningar och tak som lämpar sig för solmottagning. Detta ansågs även vara representativt för byggnader i en tät bebyggelse.

Med detta som bakgrund beslutades att den s k "passiva" solvärmeinsamlingen skulle ske gemensamt för alla husets lägenheter via solmottagande element placerade på husets övre delar.

Det konceptet ledde även till att ventilationsluften ansågs som ett lämpligt medie för distribution av solvärmern, för dels direkt värmning och dels dygnslagring i husets tunga stomme.

3.1 Provade och förkastade idéer med motive- ringar

Med ovan beskrivna koncept för solinsamling skissades idéer till några alternativa systemprinciper.

Samtliga idéer byggde på att de solmottagande elementen skulle utnyttja luft som värmebärare samt att solsystemet skulle kombineras med ett luftvärmesystem.

1) Den första systemprincipen som skisserades baserades på att luftintaget för tilluftsventilationen skulle ske via solmottagande fasad och/eller takelement integrerade i byggnadens klimathölje. Den solvärmda luften skulle distribueras centralt till lägenheterna och där i varje lägenhet passera genom hålskanalen i betongbjälklagen varvid överskottsvärmen dygnslagrades.

I lägenheterna blandades sedan ventilationsluften med återluft i ett för varje lägenhet separat luftvärmesystem.

Värmen i frånluften skulle återvinnas till tappvarmvatten och till viss del av luftvärmern via värmepump se princip fig 3:1 nedan.

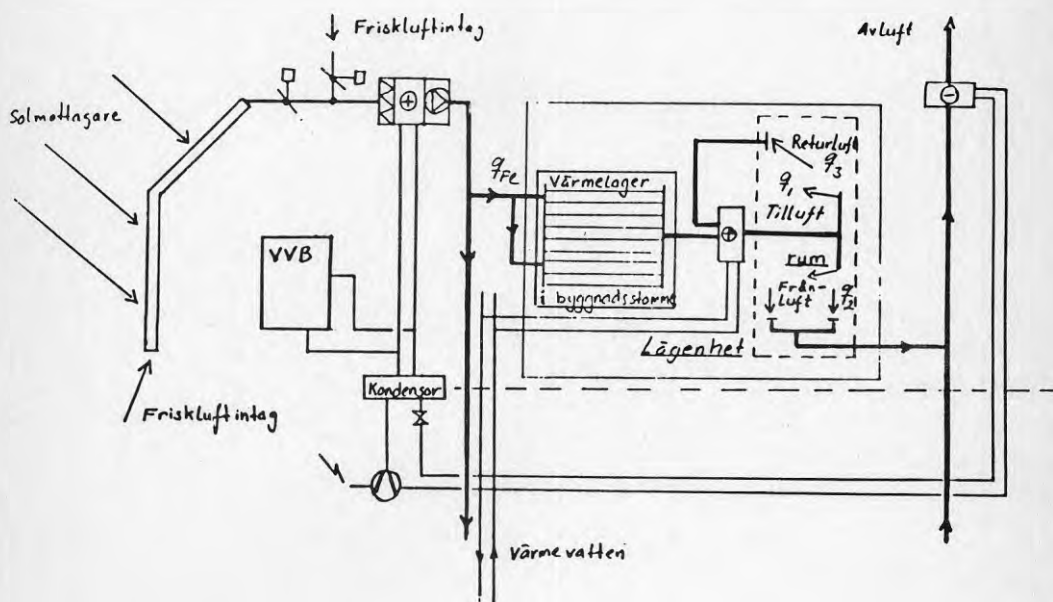


Fig 3:1

2) Parallellt med programskedet gjordes studier över hur de solmottagande fasad- och takelementen skulle kunna utformas. Vid dessa studier framkom att taket var den lämpligaste placeringen, bland annat på g a att en fasadplacering skulle splittra upp elementen i för många små delytor. Detta medförde att taklutningen behövde ökas till cirka 50-60° lutning. Efter arkitektoniska studier restes övre delen av taket till 55° lutning och de nedre delarna bibehåller en lutning som ansluter till grannfastigheterna.

Denna utformning visade sig även lämplig ur dels service synpunkt för solmottagarna då man kan placera en gångbrygga på den flackare delen av taket, samt dels ur snörassynpunkt då eventuellt snöras från den branta delen kan stoppas upp på den flacka takdelen med snöräcken. (Se fig 3:2 nedan).

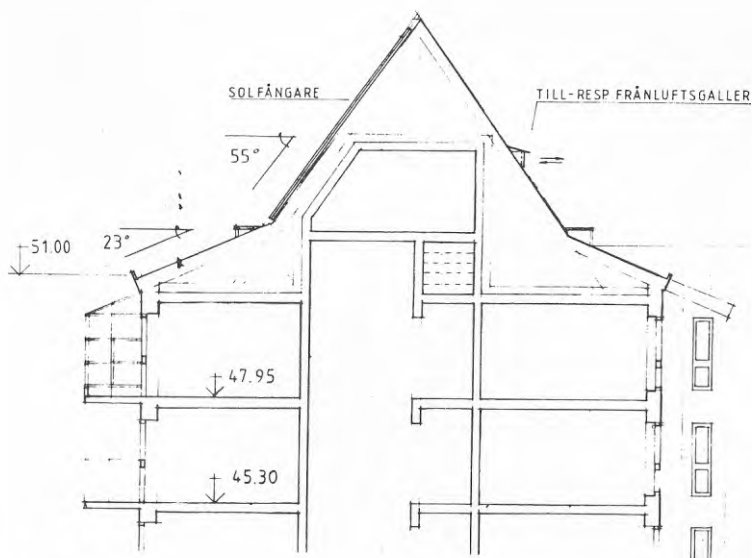


Fig 3:2

3) Vid fortsatta studier av solmottagarens utformning och konstruktion kom frågan upp om vilka solintensiteter och drifttemperaturer som solmottagaren skulle dimensioneras för.

Vid drift enligt systemprincip enligt pkt 1 skall solmottagaren främst arbeta under årets kalla del då uppvärmningsbehov föreligger. Detta innebär att det är viktigt att erhålla en bra verkningsgrad för solmottagaren då vi har låga utomhustemperaturer och låg solintensitet. Dessa faktorer medför att vi behöver göra en relativt påkostad solmottagare.

Då vi nu får en relativt bra solmottagare ställde vi oss frågan om vi inte borde utnyttja denna även sommartid då den mesta solen finns tillgänglig.

Utnyttjas värmepump för värmeåtervinning ur frånluften medför detta att vi klarar större delen av tappvarmvattenförsörjningen med denna sommartid.

Således har vi ingen användning av solmottagaren under sommarmånaderna då frånluftsvärmepumpstekniken utnyttjas.

Med ovan nämnda resonemang prövades en idé om att låta solmottagaren producera tappvarmvatten sommartid. Detta innebar också att vi ej skulle kunna utnyttja värmepump för värmeåtervinning ur frånluften då solmottagaren och värmepumpen under sommarhalvåret konkurrerar om samma värmeunderlag.

Som alternativ valdes att växla frånluftsvärmen mot tilluften innan denna passerade solmottagaren och på så sätt återvinna frånluftsvärme, se systemprincip nedan, fig 3:3.

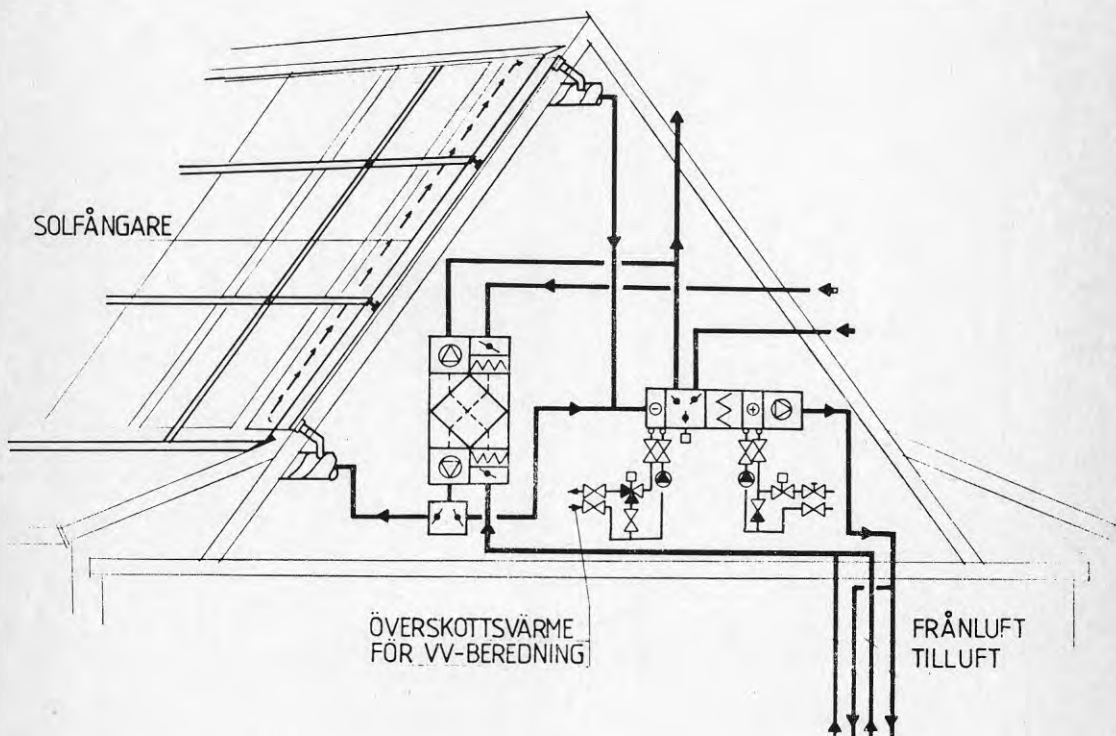


Fig 3:3

En bedömning av energibidraget gjordes för de två systemprinciperna (med frånluftsvärmepump respektive med FTX). Denna energikalkyl visade att då ventilationsvärmväxlaren tidvis vid låga utomhustemperaturer, har en högre återvinningsgrad än frånluftsvärmepumpen och då solsystemet ger ungefär samma bidrag till tappvarmvattenberedningen under somarmånaderna ger den senare principlösningen (enligt pkt 3) något högre energibesparingsresultat. Till detta ansågs det dessutom intressant att pröva en lösning utan värmepump för att minska service och skötselbehovet för systemet.

Dessutom kan anses att frånluftsvärmepumpen främst är intressanta där man ej avser installera tilluftssystem (F-system) och på så sätt omöjliggör användning av ventilationsvärmväxlartyp FTX-system. Fig 3:4 visar skillnaden i värmeåtervinning ur frånluften vid olika utomhustemperatur med FTX respektive FVP.

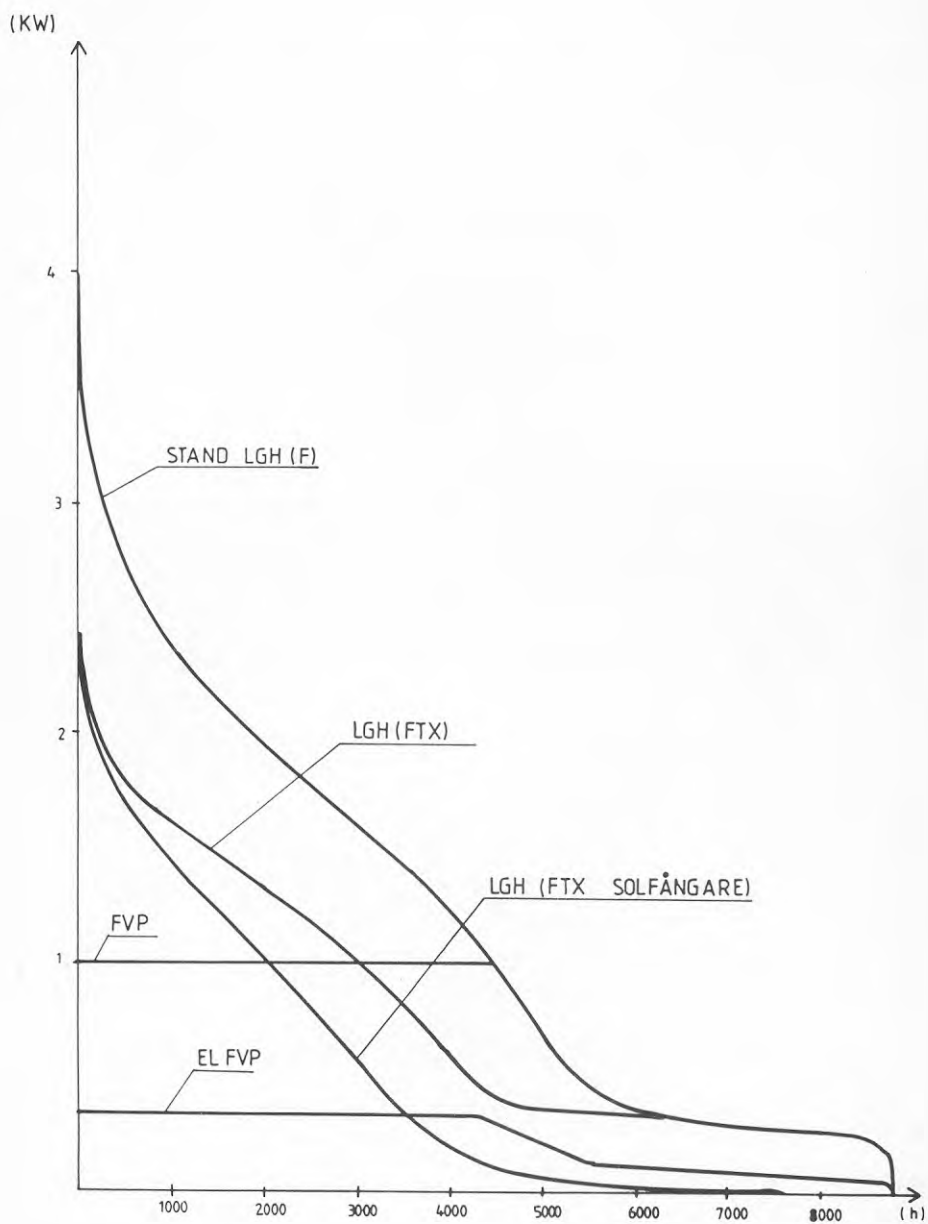


Fig 3:4 Värmeåtervinning med FTX + solfångare jämfört med frånluftsvärmepump, FVP

4. SYSTEMUTFORMNING/KONSTRUKTIONER

4.1 Slutgiltigt systemval

Sammanfattningsvis kan nämnas att den valda systemutformningen av solsystemet enligt resonemanget i pkt 3 innehåller följande principiellt nya idéer.

- Takintegrerad solmottagare för luft som värmebärare
- Solmottagare i serie med FTX-system
- Dygnslagring av luftburen solvärme i hålbjälklag i varje lägenhet
- Att sommartid utnyttja "passiv" solmottagare för direkt tappvarmvattenberedning

Detta slutliga systemval kan hänföras till ett flerårigt utvecklingsarbete inom K-Konsult där en stegvis utveckling och anpassning av "passiv" solvärmeteknik till svenska förhållanden har varit en målsättning parallellt med idéer om energisnåla uppvärmningsformer.

Detta arbete har till stor del baserats på byggforskningsstödda projekt där stegvis nya systemlösningar framkommit.

Exempel på sådana projekt är kv Skogsalmen i Hässelby med inglasade balkonger för passivt solvärmeutnyttjande (projekt nr 801001-4) samt inglasade balkonger och frånluftsvärmepumpar i kv Stora Ersåsberget i Göteborg (projekt nr 811337-1).

Den takintegrerade luftsolångaren har till sin helhet utvecklats och konstruerats inom K-Konsult. Samråd kring tillverkningsdetaljer har skett med Bacho ventilation i Enköping.

En prototypmodul byggdes och provades under sommaren 1982 (se bilaga 3). Nedan redovisas flödesschemat för solvärmesystemet i kombination med luftvärme och tappvarmvattensystem för de tio lägenheterna.

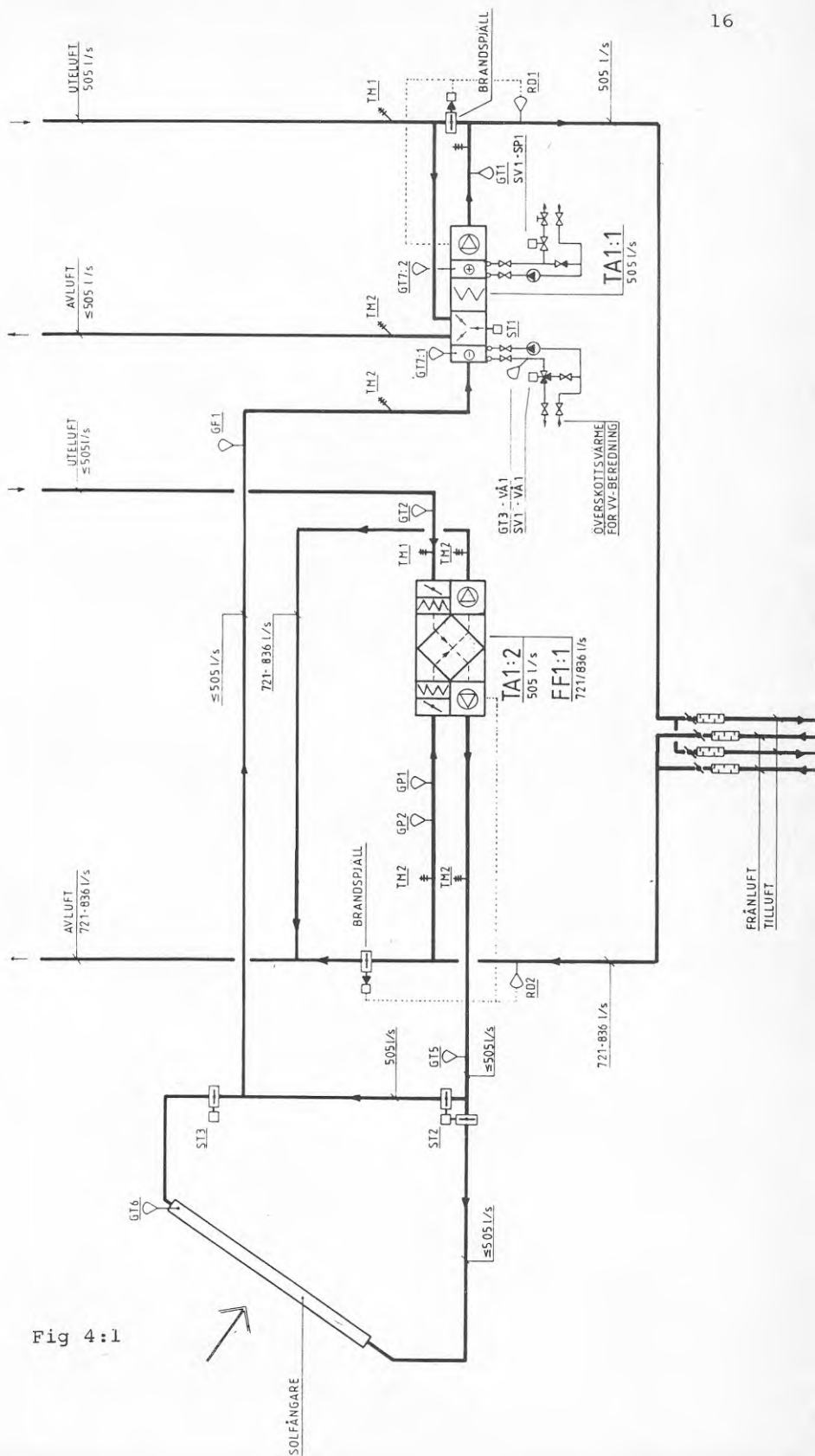


Fig 4:1



SOLFÄNGARE

4.1.1 Funktionsbeskrivning

Solvärme-tilluft

Uteluften tas in via en ventilationsvärmväxlare och förvärmes där av frånluften. Då solfångaren har möjlighet att värma tilluften distribueras denna sedan genom de 15 solmottagarelementen omfattande cirka 100 m² solmottagaryta, varvid temperaturen höjs ytterligare. Luften förs sedan till det centrala ventilationsaggregatet TAL:1. Då värmning ej kan ske i solfångaren förs luften direkt från värmväxlaren till TAL:1.

En temperaturgivare GT1 i tilluftskanalen ner till lägenheterna, reglerar via en mikrodata temperaturer på tilluften.

Beroende på husets värmebehov tillåts olika hög övertemperatur utöver + 20°C på tilluften (variation upp till 10°C övertemperaturer). Övertempererad tilluft dygnslagrar solvärme i lägenheternas bjälklag då luften till varje lägenhet passerar ett kanalregister ingjutet i bjälklaget. Mikrodata styr regleringen baserad på föregående natts medeltemperatur enligt en variabel reglerkurva.

Skulle värmväxlaren och solmottagarna ej klarar att värma luften till cirka +18°C kan värme tillsättas i TAL:1.

Då solmottagarelementen ger tilluften en temperatur utöver aktuellt börvärde för GT1, (utöver lägenheternas aktuella värmebehov), överförs överskottsvärmen till en tappvarmvattenackumulator på 2 m² via kylbatteri i TAL:1.

Sommartid då solmottagaren kan ge mer värme än vad tappvarmvattnet har avsättning för, "dumpas" denna del av tilluften och obehandlad uteluft tas direkt in via TAL:1.

Luftvärme och "bjälklagslager" - lägenheter

Den tilluft som distribueras till lägenheterna passerar, som nämnts ovan, genom ingjutna spirokanaler i lägenhetens betongbjälklag. I bjälklaget sker dels en värmeinlagring då övertempererad luft distribueras samt en värmeurlagring då ej övertempererad luft distribueras.

Detta medför en effektiv utjämning av tilluftens temperatur innan de når lägenheten.

"Bjälklagslagret" utör cirka 30% av lägenhetens golvyta och är placerat i lägenhetens centrala del (se ritningsutdrag i bilaga 4).

I varje lägenhet finns ett separat varmluftsaggregat. I detta aggregat blandas tilluftens 0,5 oms/h med returluft från lägenheten och ett toalt luftflöde på cirka 1,3 oms/h distribueras tempererat för att täcka lägenhetens transmissionsförluster.

I hälften av lägenheterna (5 st) distribueras luften in vid fasad, i golv och under fönster.

I de övriga 5 lägenheterna prövas en enklare installation där luften distribueras i bakkant av rummet vid taknivå. Förberedande studier och prov utförda av Bahco-ventilation talar för att kallrasskydd vid fönster ej skall behövas vid den typ av tilluftsdon som här tillämpas.

4.2 Studier inför konstruktionen av takintegrerad luftsolfångare

Vid en inledande inventering av befintliga luftsolfångarkonstruktioner befanns ingen av dessa som direkt tillämpbar för kv Kejsaren. Antingen var verkningsgraden för låg eller så var konstruktionen ej lämplig för att integreras med taktäckningen.

Detta ledde till att projektgruppen på K-Konsult beslutade att speciellt för huset kv Kejsaren 20 utföra en konstruktion i taket för solmottagning med luft som värmebärare.

Följande krav uppställdes:

- 1) Solmottagaren ska integreras med taktäckningskonstruktioner
- 2) Solmottagaren ska ha en tillräckligt hög verkningsgrad så att den kan höja tilluftens temperatur vid de flesta driftfall trots att luften är värmeväxlad mot frånluften
- 3) Solmottagaren skall sommartid ge så höga temperaturer att det går att värmeväxla luften för tappvarmvattenberedning

Följande parametrar har betydelse för solmottagarens effektivitet

1. I_{sol} Solinstrålning vinkelrätt solfångaren
3. I_{abs} Absorberad solenergi, absorptionstalet = 0,90
2. Abs_{glasn} Absorbator: slät eller perforerad glasning: antal glas och material
4. b_{xl} Bredd x längd. Längd = strömningslängd
5. s Spaltbredd
10. α_{yttre} Yttre värmeövergångstal (beror av vindhastigheten)
11. α_{inre} Inre värmeövergångstal från absorbator till luft
12. k_{glasn} k-värde för glasning inkl yttre
13. k_{isol} k-värde för isolering av min.ull med $= 0,040 \text{ W/m}^2\text{C}$ och inre värmeövergångsmotstånd, $m_i=0,17 \text{ m}^2\text{C/W}$
14. k_{tot} k-värde (värmegenomgångstal) för glasning + isolering
6. q_v Volymflöde genom hela solfångaren
7. v Lufthastighet
15. Δp Tryckfall inkl engångsmotstånd vid in- och utlopp, totalt 1,5 ggr dynamiska trycket
8. t_{ute} Utetemperatur
9. t_{FTX} Temperatur efter värmväxlare med temp. verkn.grad 55 %
16. t_{slut} Sluttempertur efter solfångaren
17. η Verkningsgrad totalt
18. P_{tot} Solfångarens effekt

Siffrorna till vänster anger lämplig beräkningsordning.

Solmottagarens verkningsgrad har studerats för olika utförande och variation av vissa parametrar så som:

- varierande lufthastighet (spaltbredd) genom absorbatorn
- olika typ av absorbator
- olika glasningsutförande

Resultaten redovisas i tabellerna 4.1-4.3 nedan.

Utförliga beräkningar samt härledningar av beräkningsformler redovisas i bilaga 1.

Resultaten visar givetvis att en liten spaltbredd och därmed hög lufthastighet medför höga värmeövergångstal och en hög verkningsgrad dock begränsar tryckfallet spaltbredden till min 10-20 mm.

I den färdiga konstruktionen har en spaltbredd på 20 mm valts på grund av tryckfallets begränsning medan prototypen utfördes med 10 mm spalt (då denna endast är 2 lång). Resultaten visar också att med en selektiv yta är det att föredrag 1-glas täckning av absorbatorn.

BERÄKNING 1 Inverkan av olika spaltbredder

Tabell 4.1

BERÄKNING 1

Isol I	Abs glasn	b x l	S	α_{yttre}	α_{inre}	K_{glasn}	$K_{isöl}$	κ_{tot}	q_v^{****}	v	Δp^{***}	t_{ute}	t_{FIX}	t_{slut}	η	P	
W/m^2	m	m	mm	W/m^2 $^{\circ}C$	W/m^2 $^{\circ}C$	W/m^2 $^{\circ}C$	W/m^2 $^{\circ}C$	W/m^2	m^3/h	m/s	Pa	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	%	kW	
a)	"	"	20	"	10,6	5,1	"	5,5	"	1,55	11	"	"	41,4	30,4	19,1	
b)	600	430	* 17,5 x 6	2,5	(3m/s)	84,5	4,8	0,37	5,2	1950	12,4	6340	0 $^{\circ}C$	12 $^{\circ}C$	50,8	40,1	25,2
c)	"	"	5	"	42,2	4,9	"	5,3	"	6,19	710	"	"	49,0	38,2	24,1	
d)	"	"	10	"	21,1	5,0	"	5,4	"	3,10	85	"	"	46,1	35,2	22,2	
e)	"	"	40	"	5,27	5,2	"	5,6	"	0,774	1,6	"	"	35,2	24,0	15,1	

* Slät absorberator ej selektivytta ett vanligt fönsterglas 30 mm över absorberatorytan.

** 10 cm mineralull

*** Δ \approx 500 Pa

ptill

**** q_v = 2250 d v s 15% högre än antaget

BERÄKNING 2 Inverkan av profilerad absorbbator och av selektiv yta

Tabell 4.2

BERÄKNING 2

Isol I _{abs}	Abs glasn	bxl	S	α _{yttre}	α _{inre} *	K _{glasn}	K _{isol}	K _{tot} **	V	Δp	t _{ute}	t _{FTX}	t _{slut}	η	P	
W/m ²	W/m ²	m	mm	W/m ² °C	W/m ² °C	W/m ² °C	W/m ² °C	m ³ /h	m/s	Pa	°C	°C	°C	%	kW	
600	430	plagan TR 10 A x 6	17,5 9,5	20 (3m/s)	30,6 (25,1)	5,2	0,37	5,6	1950	4,87	206	0°	12°C	46,1	35,2	22,2
"	"	" med Gränges selek- tiva yta	"	"	"	2,5	"	2,9	"	"	"	"	"	59,0	48,5	30,6

Glasning ett vanligt fönsterglas 30 mm över absorbbatorytan.

* Den högre siffran avser värmeavgivande yta. Siffran inom parentes avser projicerade ytan, d v s motsvarande beräkning 1.

** qv = 2250, d v s 15% högre än antaget.

Beräkning 2a jämförs med beräkning 1d (slät absorbbator).

BERÄKNING 3 Inverkan av olika glasning

BERÄKNING 3

I_{sol}	I_{abs}	Abs glasn	bxl	S	α_{yttre}	α_{inre}	K_{glasn}	K_{isol}	K_{tot}	qv	V	Δp	t_{ute}	t_{FTX}	t_{slut}	η	P
W/m^2	W/m^2	m	mm	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2	W/m^2		m^3/h	m/s	Pa	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$	%	kW
400	327	*	17,5	9	20	36,2	2,35	0,37	2,27	2250	5,92	312	-5	10 $^{\circ}C$	41,1	55,5	23,3
"	"	"	"	"	(3m/s)	(29,7)	2,35	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	2,33	"	2,70	"	"	"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	1,57	"	1,94	"	"	"	"	"	39,3	52,3	22,0
"	"	"	"	"	"	"	1,53	"	1,90	"	"	"	"	"	39,4	52,6	22,1

* Profilerad absorbatör "Plagan TR 10 A" med selektiv beläggning

- a) Ett glas utan hänsyn till absorption i glaset.
- b) Ett glas med hänsyn till absorption i glaset.
- c) Två glas utan hänsyn till absorption i glaset.
- d) Två glas med hänsyn till absorption i glaset.

En jämförelse med kommersiella vattensolfångare görs nedan. Normalt uppnår vattensolfångare högre verkningsgrad än luftsolfångare beroende på bättre värmeöverföring absorbatör/vatten än mellan absorbatör/luft. I den av K-Konsult konstruerade solfångaren är förhållandet värmeöverföring mot tryckfall optimerat. Isoleringen av baksidan är bättre än de flesta vattensolfångarnas. Dessa faktorer gör att den framtagna luftsolfångaren hävdar sig väl bland vattensolfångarna. (Data baserade på mätningar).

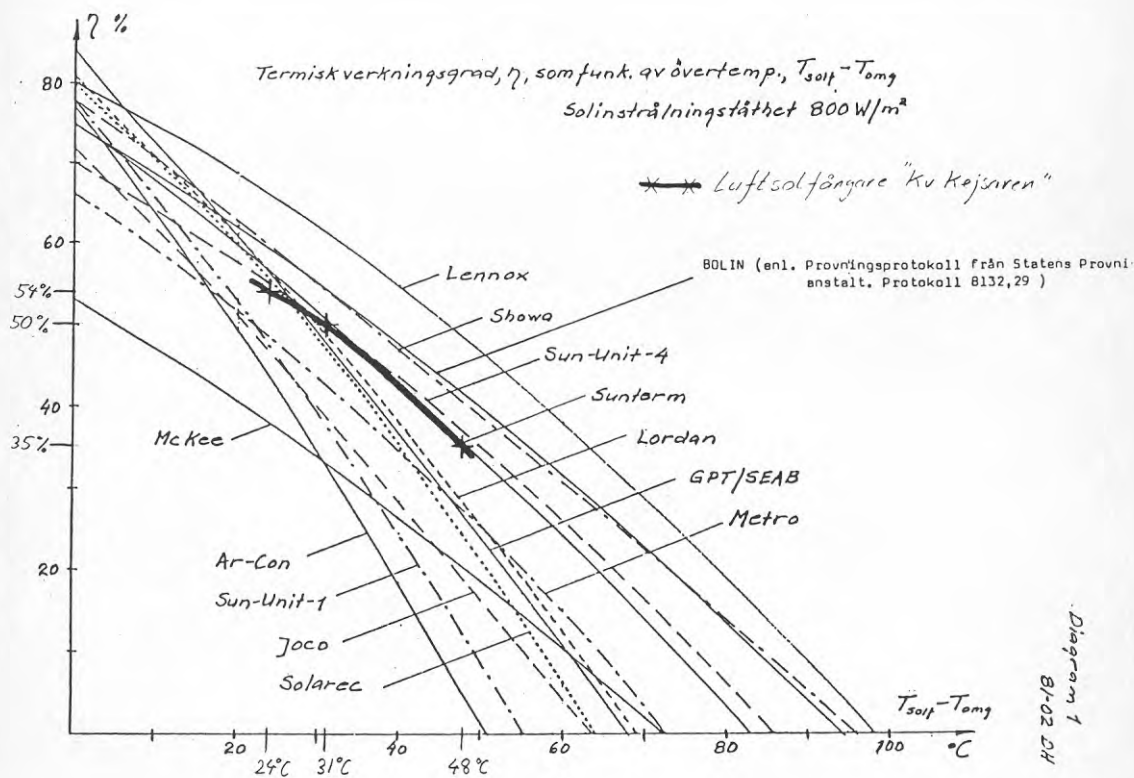
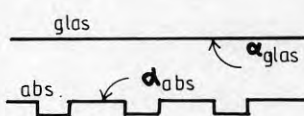


Diagram 1

Absorbator:

Som absorbator studerades bl a Gränges trapetsplåt i aluminium med en beläggning av selektiv yta. Under denna placeras en plan plåt för att bilda luftkanaler. Ett alternativ till denna konstruktion var att utnyttja en plan plåt i rostfritt stål med selektiv oxidering som överdel och en underliggande trapetsplåt i glavaniserad eller aluzinkbehandlat material för att erhålla luftkanaler.

Inverkan av trapetsprofilerad absorbator på k-värdet:

Spaltens värmeövergångstal, spalttot kan delas upp i glas och abs varvid

$$\frac{1}{\alpha_{\text{spalttot}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{glas}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{abs}}}$$

Vid slät absorbator approximeras $\alpha_{\text{glas}} = \alpha_{\text{abs}}$ d v s

$$\frac{1}{\alpha_{\text{spalttot}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{glas}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{abs}}} = \alpha_{\text{spalttotslät}} \quad \text{abs}=1/2 \alpha_{\text{abs}}$$

slätabs

Vid profilerad absorbator ökar värmeavgivning p g a strålning och konvektion från absorbatorn med en faktor

$$X = \frac{\text{Area av profilerad absorbator}}{\text{Area av motsv slät absorbator}} > 1.$$

Detta stämmer vid måttlig profilering. Vid kraftigt profilerad absorbator blir värmeavgivningen betydligt mindre än X.

$$\alpha_{\text{spalttot profabs}} = \frac{1}{\alpha_{\text{abs}}} + \frac{1}{X \alpha_{\text{abs}}} = \frac{1}{X+1} = \frac{X \alpha_{\text{abs}}}{X+1}$$

$$\frac{\alpha_{\text{spalttot prof abs}}}{\alpha_{\text{spalttot slät abs}}} = \frac{\frac{X \alpha_{\text{abs}}}{X+1}}{\frac{\alpha_{\text{abs}}}{2}} = \frac{2 X}{X+1}$$

$$\alpha_{\text{spalttot prof abs}} = \frac{2 X}{X+1} \alpha_{\text{spalttot slät abs}}$$

där X alltså är areaökning av profilerad absorbator.

Det slutgiltiga valet föll på den plana absorbatoren i rostfri stålplåt med selektiv oxid. Motivet var dock inte k-värdesförändringen utan framförallt minskade problem med termiska rörelser på en 6 meter lång absorbator.

Vid stagnationstemperaturer på cirka $+230^{\circ}\text{C}$ (se bilaga 2) på absorbator och cirka $+117^{\circ}\text{C}$ på glaset ger en längdutvidgning vid $\Delta t = 260^{\circ}\text{C}$ (absorb) resp $\Delta t = 147^{\circ}\text{C}$ (glas)

för:	Al-absorbator	6,2 mm/m
	Rostfri-absorbator	4,4 mm/m
	Galvad plåt	3,1 mm/m
	Glas	1,2 mm/m

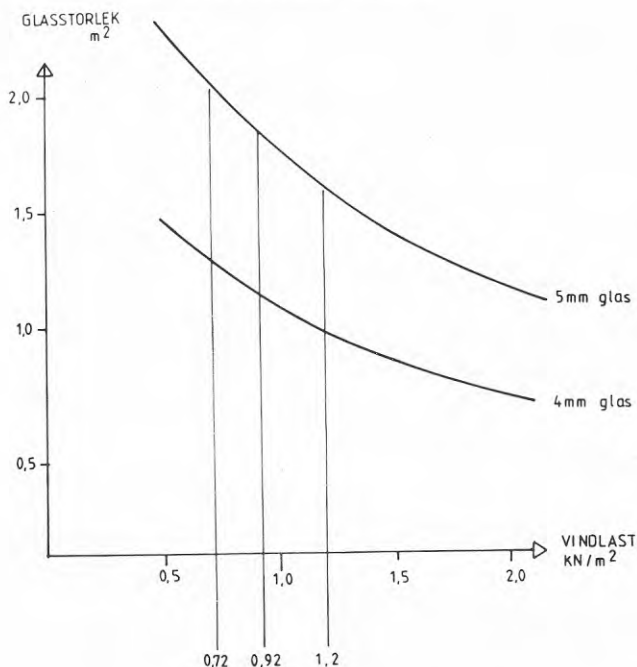
Detta innebär att den relativa rörelsen blir måttlig mellan en trapetsplåt i galvad plåt och rostfri plåt (1,3 mm/m) medan den blir nära på 2,5 ggr så stor mellan Al-plåt och galvad plåt (3,1 mm/m) såvida inte hela absorbatoren görs i aluminium.

Glasning:

I det följande redovisas studier inför glasningens dimensionering för dels vindpåverkan, snölast samt dimensionering av profiler för glasinfästning.

Max glasstorlek enligt Pilkington:

(kvadratisk sidförhållande)



Snölast enligt SBN 80 (sid 83)

Utan samtidig inverkan av vindlast:

Vanlig snölast: $0,2 \times 1,0 = 0,2 \text{ kN/m}^2$

Exceptionell snölast: $0,2 \times 1,5 = 0,3 \text{ kN/m}^2$

Med samtidig inverkan av vindlast:

Vanlig snölast: $0,13 \times 1,0 = 0,13 \text{ kN/m}^2$

Exceptionell snölast: $0,13 \times 1,5 = 0,2 \text{ kN/m}^2$

Vindlast enligt SBN 80 (sid 88)

Höjd över marken är 20 m

Terrängtyp B

Exceptionellt hastighetstryck, $q = 0,6 \text{ kN/m}^2$

Momentan vindhastighet, $v = 31 \text{ m/s}$

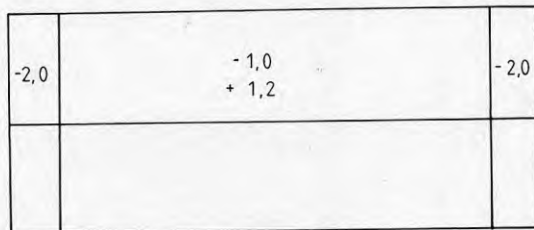
$$h/g = 20/16 = 1,25$$

$$\tan\beta = \tan 55^\circ = 1,4$$

Formfaktorer enligt sid 91-96, kapitel ytterväggar, yttertak och skärm. Taket har nämligen likheter både med yttervägg och skärm.

Formfaktorer, : - = sug + = tryck

Fig



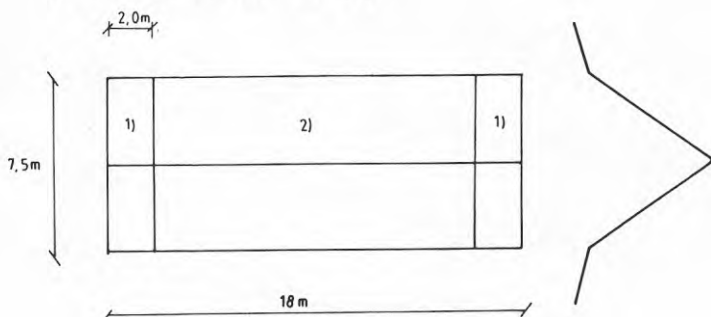
—

$$0,1 \times \text{HUSBREDDEN} = 1,6\text{m}$$



Med $q = 0,6$ och ökning av tryck p g a samtidigt verkande snölast erhålls:

Dimensionerande tryck:



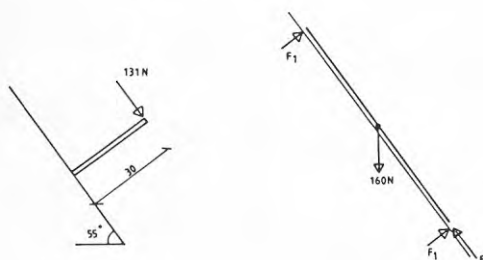
1) Undertryck = $1,2 \text{ kN/m}^2$

2) Undertryck = $0,6 \text{ kN/m}^2$

Övertryck = $0,92 \text{ kN/m}^2$ (0,72 av vindlast och 0,20 av snö)

Beräkning av lämplig godstjocklek på al-profil till inglasning

Fig



Solfångarens höjd = 6,5 m
max höjd på en glaset
är 1,60 m (4 st). Glaset:
densitet = 2500 kg/m^3
1,0x160 m 4 mm glas väger
16 kg = 160 N.

$$\uparrow : F_{\text{perm}} = 160 \cos 35^\circ = 131 \text{ N/m}$$

$$\nearrow : F_{\text{perm}} = (160 \cos 55^\circ) / 2 = 46 \text{ N/m}$$

$$\zeta_M = \frac{M}{W} \quad W = \frac{I}{e} \quad I = \frac{bh^3}{12}$$

Godstjocklek = 1 mm:

$$I = \frac{1 * 0,001^3}{12} = 8,33 * 10^{-11} \text{ m}^4$$

Kant: $e = 0,5 \text{ mm}$:

$$W = \frac{8,33 * 10^{-11}}{0,5 * 10^{-3}} = 167 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

$$M = 131 * 0,030 = 3,93 \text{ Nm}$$

$$\zeta_m = \frac{3,93}{1,67 * 10^{-7}} = 23,5 \text{ MPa}$$

$$\zeta_{\text{dragmax}} = 23,5 - \frac{46 * 10^{-6}}{1 * 10^{-3}} = 23,5 - 0,046 = 23,5$$

$$\zeta_{\text{dragmax}} = \sigma_{\text{tryckmax}} = \underline{23,5 \text{ MPa}} \text{ (Inverkan av normal-
kraft försumbar)}$$

ζ_{brott} enligt materiallära (karlebo) sid 247:

$$\underline{\zeta_{\text{brott}} = 70 - 130 \text{ MPa} \quad \zeta_{0,2} = 30 - 110 \text{ MPa}}$$

Godstjocklek = 1,5 mm:

$$I = \frac{1 * 0,0015^3}{12} = 2,81 * 10^{-10} \text{ m}^4$$

$$W = \frac{2,81 * 10^{-10}}{0,75 * 10^{-3}} = 3,75 * 10^{-7} \text{ m}^3$$

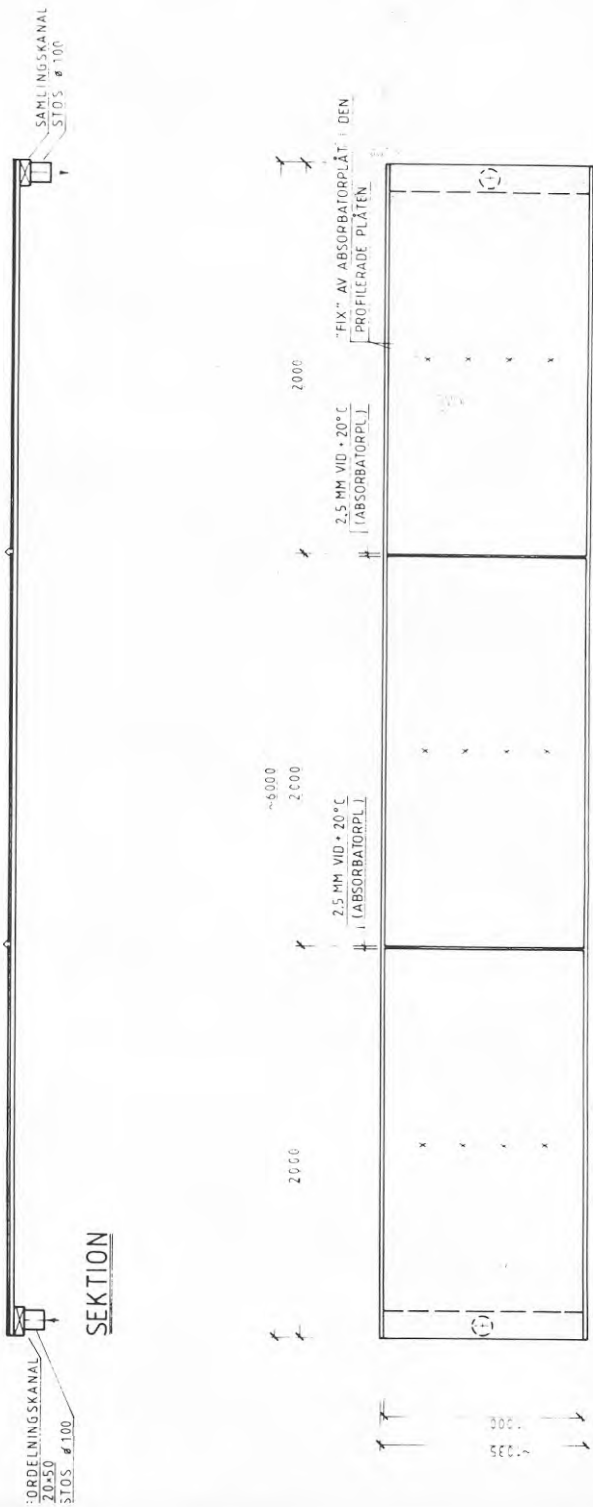
$$\zeta_{\text{max}} = \frac{3,93 * 10^{-6}}{3,75 * 10^{-7}} = \underline{10,5 \text{ MPa}}$$

Godstjocklek = 2 mm:

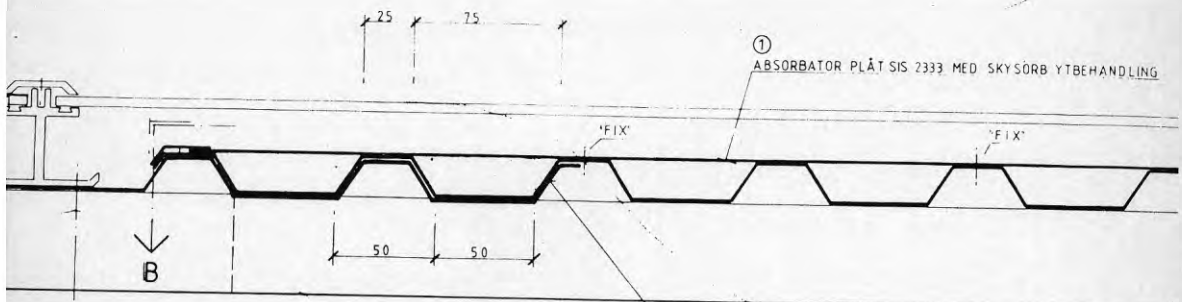
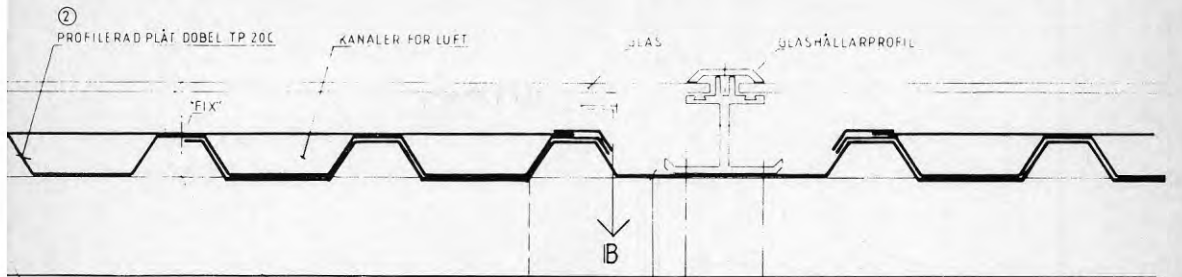
$$\zeta_{\text{max}} = \frac{1}{2}^2 * 23,5 = \underline{5,9 \text{ MPa}}$$

4.3 Den slutgiltiga konstruktionen av solmottagaren (se även bilaga 4)

Fig

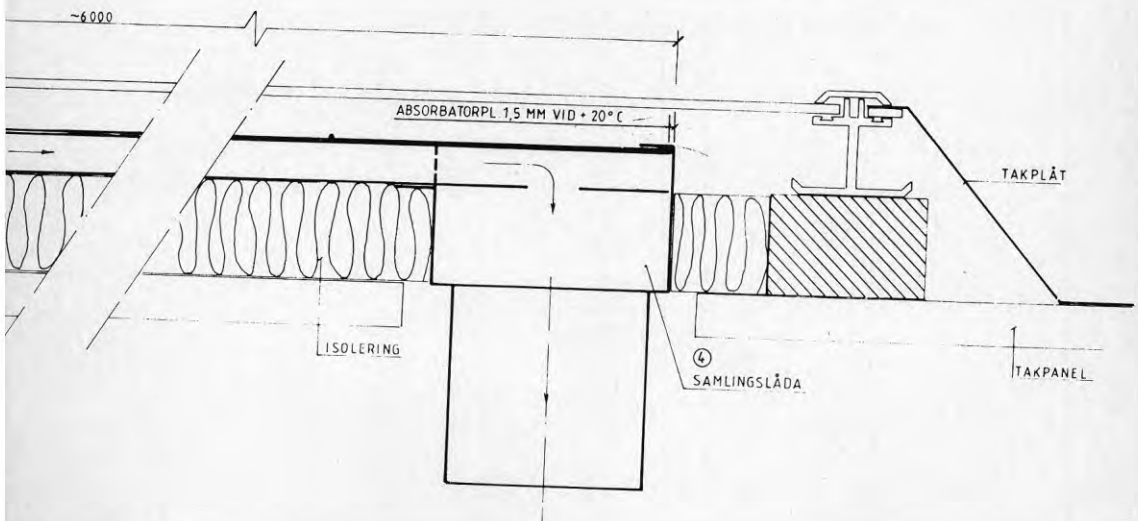


SOLFÅNGARMODUL



SNITT A - A
SNITT GENOM TAK MED SOLFÅNGARE

③ SKARVPLÅT ÄNDEL (2 ST. 6 M LÅNGDER)
TAS UR VID SAMLINGS- OCH FÖRDELNINGSLÅDA



4.4 Luftvärmesystem för lägenheter

Eftersom luft utnyttjas som värmeupptagande medie i solmottagrelementen är syftet att samordna detta system med ett luftburet värmedistributionssystem för lägenheterna.

Värmeåtervinning ur avluften skall centralt ske med vanlig värmeväxling mellan tilluften och avluften. Beroende på temperatur efter solmottagaren, samt värmebehov i byggnaden avges överskottsvärme via kylbatteri till tappvarmvattenberedningen.

Uppvärmning av lägenheterna sker alltså med luftvärme. Principen är att luft med övertemperatur tillförs rummen där den avger värme som balanserar värmeförlusterna, så att önskad rumstemperatur erhålls. Luftvärme möjliggör således att i en lägenhet med till- och frånluftventilation slopa radiatorsystemet. Luftvärme har provats tidigare med varierande framgång. De problem som måste bemästras är drag, ljud, svårighet att reglera temperaturen, läckage i kanaler. Förutsättningarna att nå ett gott resultat är större i dag än tidigare. Byggnaderna är tätare och bättre isolerade vilket reducerar övertemperaturer och luftflöden. Standarden på apparater och kanaler är högre. Beräknings- och mätmetoder har utvecklats och man kan bygga på tidigare erfarenheter.

I varje lägenhet installeras ett ventilationsaggregat. I detta blandas uteluft med filtrerad återluft från lägenheten; varefter den värms (vattenvärme) och distribueras i lägenheten. Lufttemperaturen i lägenheten regleras centralt vid aggregatet. Två metoder provas att tillföra den värmda luften till rummen; under fönstren och i innerkant rum (bakkantinblåsning). Fönsterinblåsning är beprövad i dessa sammanhang till skillnad från bakkantinblåsning. Installationen blir mycket enklare i det senare fallet vilket är av stor betydelse då luftvärmerna skall kunna utnyttjas i stor skala.

Lägenhetsaggregatet är en prefabricerad enhet med yttermått 290 x 580 x 1 150 mm som placeras stående i lägenheten.

Tekniska data:

Uteluftföde	37 l/s, 133 m ³ /h
Tilluft	90-110 l/s, 324-396 m ³ /h
Tillufttemperatur	max 45°C
Uteluftflödet motsvarar	0,5 oms/h
Tilluftflödet motsvarar	1,3-1,6 oms/h

Max tilluftstemperaturen uppträder vid lägsta utetemperatur. Viss variation i flöde och max tilluftstemperatur förekommer beroende på lägenhetens läge. En öppen fråga är hur luftrörelser och temperaturgradienten sammanhänger med cirkulerande luftflöde och övertemperatur. En intressant fråga är också val av lämplig filterverkningsgrad - erfarenheter från Finland tyder på att goda filter bör installeras.

Följande kravspecifikation har uppställts beträffande ljud, lufthastighet, temperatur och filtrering.

Ljudnivå	Kv Kejsaren dB(A)	SBN-krav dB(A)
Sovrum	28 ± 2	-
Hall	28 ± 2	-
Kök	33 ± 2	35
Lufthastighet	Max 0,17 m/s	Ej angivet

Angiven lufthastighet är medelhastigheten under en minut i varje punkt och skall mätas inom vistelsezon, vilken sammanfaller med kontrollzon för bestämning av riotemp. Denna zon gäller även som KBS definition på vistelsezon med undantag för zonens nedre gräns, vilken för KBS ligger på 0,05 meter över golv.

Lufttemperatur

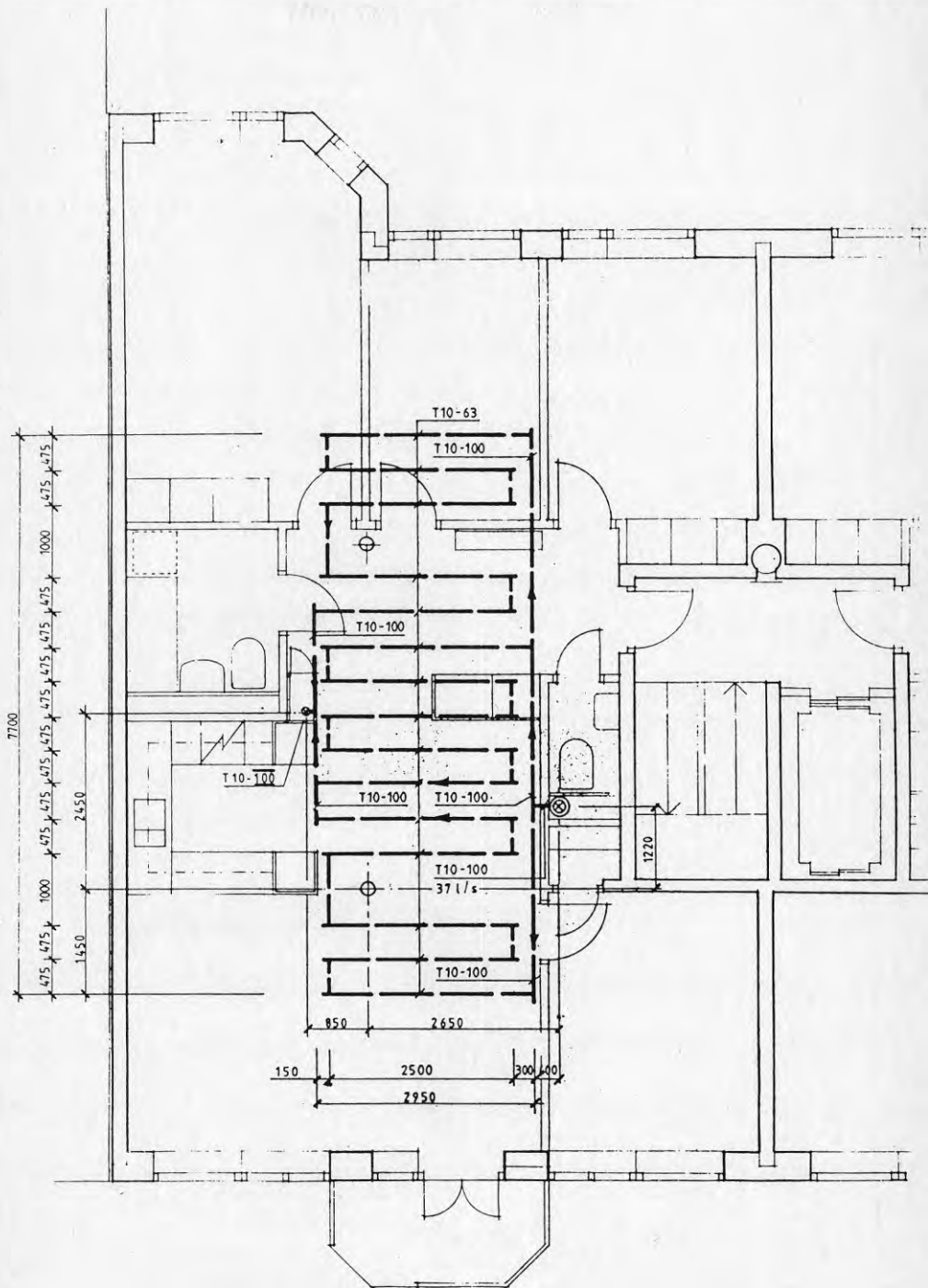
Min rumstemperatur 20°C, vilket är ett medelvärde på temperaturen på höjden 0,1, 1,2 och 1,8 m över golv, vid lägsta dimensionerande utetemperatur.

Den vertikala temperaturgradienten tillåtes max vara 1,5°C/m.

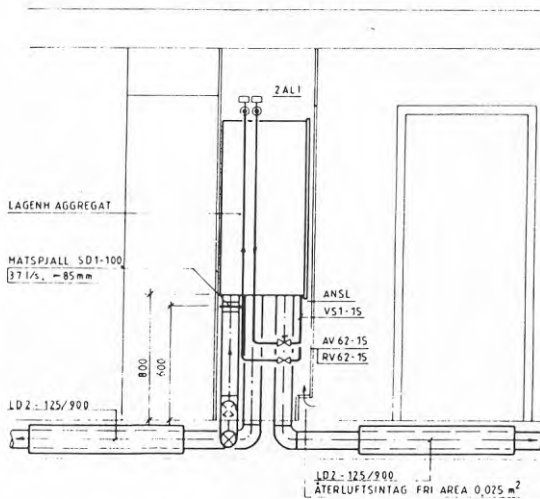
Ovanstående skall mätas inom vistelsezonen med stängd dörr samt med förutsättning att överluftströmning mellan rum sker vid golv.

Luftfiltrering

I lägenhetsaggregaten skall placeras luftfilter med filterklass G55, samt med möjlighet att senare komplettera med ett elfilter eller finfilter av utbytestyp med avskiljningsgrad 97-100% för partiklar större än 0,1 µm.

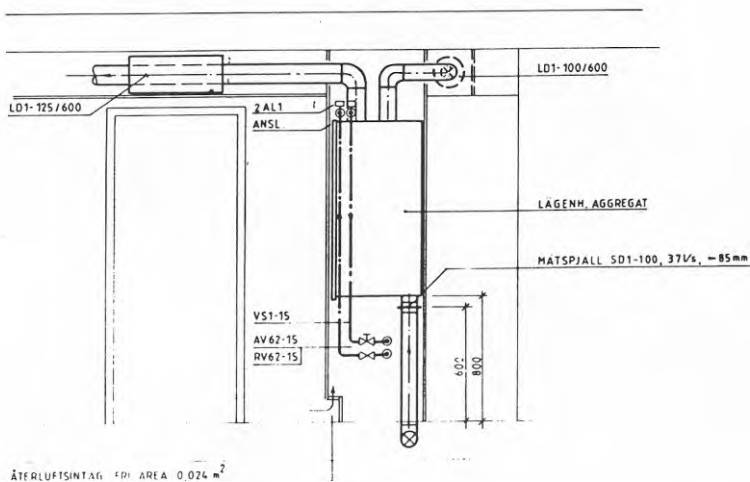


DETALJ VISANDE LÄGENHETSAGGREGATS
PLACERING. SCHAFT RÖR- OCH KANAL-
DRAGNINGAR KRING AGGREGATEN.



SEKTION A--A

INBLÄSNING VID GOLV
LAGENHET 1.3.5.7+9



SEKTION B--B

INBLÄSNING VID TAK
LAGENHET 2.4.6.8+10

5. ENERGIBALANSBERÄKNING

För att bedöma solvärmesystemets energibidrag till lägenheternas värmebehov har ingående datorsimuleringar med BRIS-programmet samt beräkningar gjorts. Dessutom har en prototypmodul av den takintegrerade solmottagaren byggts (2 m²). Verkliga mätningar har gjorts av verkningsgrad och temperaturhöjning på tilluften.

Nedan redovisas i sammandrag det framräknade resultatet av energibalansen för de tio lägenheterna i experimentfastigheten kv Kejsaren 20.

Beräkningarna avser uppvärmning till +20°C. Totalt uppvärmd yta 1 040 m².

Datorsimulering av energibalans har utförts för dels en lägenhet utan solvärmesystem och FTX men för övrigt lika byggkonstruktion som de projekterade lägenheterna, samt för en lägenhet med luftsolvärmesystem. Beräkningarna har utförts för lägenheter belägna i ett mellanplan i fastigheten. Huset består av 2 topplägenheter och 8 mittlägenheter. Topplägenheterna har 34% större värmebehov för uppvärmning än mittlägenheterna.

En genomsnittslägenhet förbrukar således 6,8% mer än de mittlägenheter som simulerats med BRIS-programmet.

Nedan redovisade resultat från datorberäkningarna visar energibalansen för mittlägenheter. I sammanställningen redovisas det beräknade fallet. En justering till en genomsnittslägenhet görs med en faktor 1,068 ggr de redovisade resultaten.

BRIS programmet simulerar energibalansen timme för timme med aktuella timvärden för väderdata och in-ternerna värmealstringar.

Sammanställning av beräkningsresultat:

En jämförelse av energitillförsel för en lägenhet med (exp lgh) och en utan (standard lgh) värmestillskott från luftsolvärmesystemet.

<u>Tillförsel av energi</u>	<u>Exp lgh</u>	<u>Standard lgh</u>
(KWh/m ²)		
1. För uppvärmning via luftvärme, inklusive i centralaggregat för- värmad ventilationsluft (9 mån)	24,6	74,3
2. Tappvv netto (12 mån)	22,3	33,7
3. Hushållsel + belysning (12 mån)	26,5	26,5
	<hr/>	<hr/>
Köpt energi summa:	73,4	134,5
Besparing:		61,1
(varav solvärme = cirka 27 KWh/m ²)		
4. ¹⁾ Personer (9 mån)	8,3	9,6
5. Sol genom fönster, persienner fällda 1/3-1/11	7,3	7,3
	<hr/>	<hr/>
Summa totalt	89,0	151,4
6. Värme från system samt återvunnen ventilations- värme sommartid	49,7 (uppvärmn) 11,4 (tappvv)	
	<hr/>	<hr/>
¹⁾ Summa "balans"	150,1	151,4

Totalt energibehov uttryckt som förbrukningsposter.
(Lika både exp lgh och standard lgh).

	<u>KWh/m²</u>
Transmissionsförluster	39,5
Läckluft	20,2
Ventilationsluft (styrd)	56,6
Avloppsförluster	26,4
Hushållsel (3 mån på sommaren)	<u>8,8</u>
Summa:	151,5

¹⁾ Skillnad i siffrorna p g a att variationer i rums-
temperaturen påverkar utnyttjande av personvärmen.

5.1 Systemeffektivitet - solvärmeutnyttjande

Nedan redovisas månadsvis räknat för en lgh hur den solvärmda ventilationsluften utnyttjas tillsammans med återvunnen frånluftsvärme till uppvärmning respektive tappvarmvattenberedning.

VÄRME I TILLUFTEN EFTER SOLFÅNGARE

Månad	Brutto			Netto		Netto	
	Återvunnen frånluftsvärme KWh/lgh	Värme från solfångare KWh/lgh	η %	Nyttig-gjord till uppvärmning KWh/lgh	Tillgänglig för tappvv KWh/lgh	Till tapp-vv VVX η 60% KWh/lgh	
1	491	121	56	679	-	-	
2	461	211	47	693	-	-	
3	522	312	39	835	-	-	
4	405	418	43	676	147	88	
5	354	496	41	158	692	200	
6	-1)	821	43	-	821	200	
7	-1)	747	43	-	747	200	
8	-1)	630	43	-	630	200	
9	370	383	43	235	518	200	
10	343	379	41	566	156	94	
11	448	226	43	686	-	-	
12	448	129	57	644	-	-	
Summa:							
brutto	3 842	2 843		-	3 711	-	
Summa:							
netto ²⁾	3 511	1 661		5 171	-	1 182	

1) Viss del frånluftsvärme återvinns tidvis, dock ej medtaget i beräkningen av sommarmånaderna

2) Utnyttjad värme för uppvärmning respektive tappvv

5.2 Sammanfattning av energitillförsel

KWh/m ² vy	1 Standardlgh		2 lgh med FTX		3 lgh med FTX + solv		uppv tappvv tot		
	Uppv	tappvv tot	uppv	tappvv tot	uppv	tappvv tot	uppv	tappvv	tot
Köpt värme (hush.el)	74,3	33,7	108	40,5 (26,5)	33,7	74,2 (26,5)	24,6	22,3	46,9 (26,5)
Återvunnen frånluftsv	-	-	-	33,8	-	33,8	33,8	-	33,8
Utnyttjad solv	-	-	-	-	-	-	15,9	11,4	27,3
Summa: (exkl hus- hållsel)	74,3	33,7	108	73,4	33,7	108	74,3	33,7	108

Totalbesparing köpt energi för "uppvärmning" och tappvv

$$A, \frac{\text{lgh med solv+FTX}}{\text{standardlägenhet}} = \frac{61,1}{108} = 56,6\%$$

$$B, \frac{\text{lgh med solv+FTX}}{\text{lägenhet med FTX}} = \frac{27,3}{74,2} = 36,8\%$$

Motsvarande siffor inkl hushållsel blir A = 45,4% respektive B = 27,1%.

Den totala energibesparingen enligt A och för 10 lgh (1 040 m²vy) uppgår 63 540 KWh/år.

6. KOSTNADER

I det följande avsnittet redovisas en kostnadsspecifikation vilket är en sammanställning av merkostnader betingade av de experimentåtgärder som görs med luftvärme och solvärmesystem i fastigheten Kejsaren 20.

Specifikationen baseras på en kalkyl men har stämts av mot anbud och förfrågningar hos tillverkare och entreprenörer.

I avsnitt 6.2 redovisas ett par alternativa lönsamhetskalkyler för de energibesparande delarna i experimentet.

Sammanfatningsvis kan sägas att den totala merkostnaden för både luftvärme och solvärmeexperimentet blir cirka 1,4 miljoner kronor. Merkostnader direkt hänförliga till enbart det som berör solvärmesystemet uppgår till cirka 500 kkr (exklusive åtgärder för utvärderingsförberedelser).

Med rimliga värden på energiprisutveckling och 20-30 års betraktelse uppvisar båda de alternativa kalkylmetoderna lönsamhet för solvärmesystemet.

6.1 Kostnadsspecifikation

Merkostnader (enligt kalkyl) för genomförande av experiment med passivt solvärmeutnyttjande och luftburen värme för bostadshus i Stockholm (kostnadsläge 830201).

A Merkostnader i byggentreprenad

1. Inklädning av trummor i lgh (luftvärmesystem)	13 000:-
2. Inklädning don i lgh (luftvärmesystem)	8 000:-
3. Inklädning glasverande och fasad	91 000:-
4. Extra åtgärder i stomme, bjälklag, fläktrum, takstolar	194 000:-
5. Inglasning av takintegrerad solmottagare	65 000:-
6. Diverse extra arbeten	<u>34 000:-</u>
Delsumma	405 000:-

B Merkostnad i VVS entreprenad

1. Styr och regler	130 000:-
2. Solmottagarmodul, absorbator	100 000:-
3. Anslutningar till solmottagare	18 000:-
4. Lyftfixtur solmottagare	12 000:-
5. Elektrofilter	19 000:-
6. Spirokanaler i bjälklag	50 000:-
7. Vent detaljer	70 000:-
8. Tappvarmvattenbatteri	6 000:-
9. Shuntgrupp, ackumulator och diverse ledningar och ventiler	<u>30 000:-</u>
Delsumma	435 000:-

C Övriga merkostnader

1. Fasta kostnader till följd av förlängd entreprenadtid på grund av objektets komplexitet	110 000:-
2. Ränte och kreditivkostnader under förlängd entreprenadtid	<u>90 000:-</u>
Delsumma	<u>200 000:-</u>
A + B + C	<u>1 040 000:-</u>
Byggherrekostnad	<u>130 000:-</u>
Moms	<u>125 000:-</u>
Summa	<u>1 295 000:-</u>
Index under entreprenadtiden	<u>130 000:-</u>
<u>TOTALSUMMA</u>	<u>1 425 000:-</u>

6.2 Lönsamhetskalkyl

Den totala merkostnaden för experimentbygget uppgår enligt redovisad specifikation till cirka 1 425 000 kronor.

En lönsamhetsbedömning för experimentåtgärden kan ej direkt baseras på denna merkostnad av följande skäl.

1. Den redovisade merkostnaden innefattar förutom energisparåtgärder med solvärme även merkostnader för experiment med luftvärme för lägenheterna. Luftvärmetekniken är i sig ej energibesparande utan ingår i experimentet av andra skäl, bl a som lågtemperaturdistributör.
2. Viss del av merkostnaden är betingad av att systemet är uppbyggt för att möjliggöra en effektiv mätning och utvärdering. T ex extra kanaler för "mätsträckor", extra instrypningspjäll.
3. Experimentet avser endast lägenhetsdelen av huset varför viss dubblering av system varit nödvändig.
4. Vid en framtida tänkt "konventionell" tillämpning av tekniken skulle ej åtgärder så som speciell takutformning, extra åtgärder i stomme etc, betraktas som merkostnad.
5. De inglasade balkongerna i översta planet är ej med i energikalkylen då de främst skall prövas ur klimathänseende.

Med ovan nämnda resonemang som bakgrund frånräknas i kostnadsspecifikationen under:

- A pkt 1, 2, 3 samt 164 000 kr i pkt 4
- B pkt 4, 5 och 7 samt 100 000 kr i pkt 1
- C pkt 1, 2

Kvarstår 363 000 kr.

Momsen beräknas till 43 000 kr

Byggherrekostnaden sätts till 45 000 kr.

Index under entreprenadtiden sätts till 45 000 kr.

Totalt blir då den merkostnad som utgör kalkylunderlag 506 000 kr.

Den totala energibesparingen per år uppgår enligt energibalansberäkningen (61,1 kWh/m² för 1 040 m² vy till 63 540 kWh.

I följande kalkyl är livslängden på experimentåtgärderna satt till i medeltal 30 år då det innehåller både installationer och byggåtgärder.

Utgår vi från ett energipris på 0,30 kr/kWh år 0 och räknar upp detta med en real energiprisökning på 3% blir realvärdet av energibesparingen under 30 år cirka 907 000 kr.

(Slutsummefaktor = 47,58. Besparing år 0 = 19 060 kr.)

Med en lägre realenergiprisökning på 2% och 30 års livslängd blir besparingens realvärde cirka 773 000 kr.

Sätts livslängden till 20 år blir på motsvarande sätt besparingens reala värde vid 3% real energiprisökning cirka 512 000 kr.

Samtliga tre kalkylexemplar påvisar ett driftöverskott då besparingen jämförs med en total merinvestering på cirka 506 000 kr enligt ovan.

Alternativ kalkyl i nominella värden

Inv 506 000 kr, lånetid 30 år.

Årlig kapitalkostnad under 30 år = $0,1334 \times 506\ 000$
kr = 67 500 kr

Total kapitalkostnad under 30 år = $30 \times 67\ 500$ kr =
2 025 000 kr

Värdet av årlig energibesparing under 30 år infl 10% realenergiprisökning cirka 2% utöver inflation ger
slutsumma = $241,3 \times 19\ 060$ kr = 4 599 600 kr.

Resultatet blir ett överskott på cirka 2,5 miljoner kronor (nominellt värde år 30).

Diskonteras "överskottet" till dagens värde (år 0) uppgår värdet till cirka 143 000 kr vid 10% inflation.

7. PROJEKTERINGSERFARENHET

Projekteringen av bostadshuset kv Kejsaren 20 har skett som totalprojekteringsuppdrag av K-Konsult i Stockholm. Detta har inneburit att alla inblandade fack har funnits på ett och samma kontor.

7.1 Organisation

Projektgruppen har varit organiserad så att en projektledare har varit ansvarig för den konventionella projekteringen, arkitekt Hans Broberg. Parallellt med den konventionella projekteringen har FOU arbete med teknikutveckling för experimentåtgärderna bedrivits under ledning av en energitekniker, civilingenjör Göran Werner, förutom specialister inom energifacket har för FOU-arbetet samma personal utnyttjats som varit engagerade i den "konventionella" projekteringen. Detta har medfört att FOU-arbetet har varit väl samordnat med övrigt projekteringsarbete. På detta sätt har teknikutvecklingsarbetet i slutfasen automatiskt inordnats i bygghandlingar och installationsbeskrivningar.

7.2 Arbetsmoment som påverkat den konventionella projekteringen

I de inledande arbetsskedet engagerades arkitekterna för sol- och skuggstudier samt för att naturligt inordna solmottagande ytor i den arkitektoniska utformningen.

Vad gäller placeringen av solfångaryta på taket uppstod följande problem att lösa.

1. Anpassning av taklutning (55°C) till intilliggande byggnader. En utseendefråga samt avkall från stadsplaneregler.
2. Olägenheter med snöras från branta och glatta glasytor på taket löstes genom att endast resa upp den övre delen av taket för solfångarplacering. Denna lösning underlättar också åtkomligheten för underhåll av solfångaren.

Den föreslagna takutformningen medförde också att husets övre stomkonstruktion fick genomarbetas utöver vad som sker konventionellt. En betongkonstruktion kring vindsutrymmena medförde extra arbete men innebar samtidigt att ett naturligt utrymme för de omfattande ventilations- och luftvärmesystemet erhöles.

Den nyutvecklade luftsofångaren är integrerad i taktäckningen vilket har medfört omfattande studier för byggkonstruktionerna för att erhålla en tillräcklig säkerhet mot regn- och snöläckage utan att komplicera eller fördyra konstruktionen i onödan.

Det största merarbetet har dock legat på VVS-projekteringen och framförallt då på ventilationssystemets utformning. Här har i många stycken helt nya lösningar utnyttjats. Speciellt för regleringen av hela systemet. I dessa arbeten har diskussioner förts med Bacho-ventilation samt med TA.

Bacho har varit med som förupphandlad entreprenör och hjälpt till i FoU-arbetet vad gäller praktiska detaljer och utföranden. Bacho ska dessutom tillverka absorbatorenheterna i den av K-Konsult utvecklade luftsofångaren. Härför har ingående samarbete förts kring produktionsmetoder och materialval.

TA har varit behjälplig med strategier för utnyttjande av mikrodatorbaserade styr- och reglarenheter.

8. PROGRAM FÖR MÄTNING OCH UTVÄRDERING

Som nämnts inledningsvis ingår projektet i Stockholms kommuns ramprojekt med BFR "Experiment med energisnåla nya flerbostadshus".

De projekt som ingår i "ramprojektet" kommer att gemensamt utvärderas av arbetsenheten för energihushållning i byggnaden (EHBÜ) på KTH under ledning av docent Arne Elmroth.

Mätningar kommer att utföras av mätcentralen för energiforskning (MCE) på KTH.

Följande problemidentifiering har gjorts inför utvärderingen av experimenter i kv Kejsaren 20.

Experimentet kan uppdelas i två delar som experiment med 1) luftsolfångaren och system där till, 2) luftvärme för bostadslägenheter. Följande frågor avses utredas för:

1. Solvärmesystemet

a) Hur stor är mängden insamlad solvärme i solmottagaren?

b) Solmottagarens funktion och samverkan med huset i övrigt?

2. Luftvärmesystemet

a) Hur blir rumskomforten med luftvärme i bostadslägenheter?

b) Hur fungerar luftvärmesystem som lågtemperatursystem och vad innebär det för möjligheter att utnyttja s k lågenergikällor?

Dessutom är det av intresse att utvärdera det ekonomiska utfallet samt göra en dokumentation över konstruktivt utförande samt drifterfarenheter.

Mätprogrammet har föreslagits omfatta direkta mätningar respektive studier enligt nedan.

1. Solvärmesystemet

1) Totalt insamlad solvärme i relation till nyttiggjord solvärme till luftvärme respektive tappvarmvattensystemet.

2) Solvärmens andel av totala energibehovet för lägenheterna.

- 3) Tilluftens temperaturprofil i solmottagarelementen vid olika driftsfall.
- 4) Temperaturer och energimängder i tilluft och tappvarmvattens p g a sol vid olika driftfall.
- 5) Rumskomfort med avseende på värmeavgivning från solvärt hålbjälklagslager.
- 6) Övertempererad tilluft i samverkan med hålbjälklagslagret för bedömning av möjligheten att lagra solvärme. Bl a temperaturprofil i bjälklaget och lufttemperatur före resp efter bjälklag.
- 7) Dokumentation av tillverkning och montering av de solmottagande takelementen.
- 8) Drifterfarenheter. Speciellt utvärdering av reglerautomatik.
- 9) Dokumentation av projektering.
- 10) Ekonomisk utvärdering med hänsyn till projekterings-, bygg- och driftskostnader.

2. Luftvärmesystemet

- 1) Op-temperatur vid olika drifttemperaturer.
- 2) Luftrörelser, dragmätningar, jämförelse bakkantsinblåsning - framkantsinblåsning.
- 3) Ljudmätningar; jämförelse mellan bakkantsinblåsning och framkantsinblåsning.
- 4) Tillufttemperatur jämfört med tillgänglig solvärmtemperaturer.
- 5) Luftomsättningar: tilluft, återluft.
- 6) Kallrasrisk: jämförelse mellan bakkants- och framkantsinblåsning.
- 7) Temperaturgradienter i lägenheten.
- 8) Dokumentation av de boendes uppfattning av luftkomfort.
- 9) Dokumentation av:
 - projektering
 - byggskede
 - drift och skötsel.
- 10) Ekonomisk utvärdering av kostnader jämfört med konventionell radiatorvärme.
- 13) Luftkvalitet, filtrering av återluft.

LITTERATURFÖRTECKNING

1. Kv Skogsalmen, Inglasade balkonger för passivt solvärmeutnyttjande i Hässelby, BFR-projekt 801001-4, K-Konsult.
2. Inglasade balkonger och frånluftsvärmepump i kv Stora Ersåsberget i Göteborg, BFR-projekt 811337-1, K-Konsult.
3. Model-TEA Solar Heating System Construction Manual, P Temple, J Adams.
4. Svensk Byggnorm, SBN-80.
5. Mekanisk värmeteori FK del II. Institutionen för mekanisk värmeteori och kylteknik, KTH.
6. Massey, Mechanics of fluids.
7. Förvärmning av ventilationsluft till djurstallar med hjälp av solfångare del 2, LBT.
8. Solväggar och soltak, B Adamson, LTH, BKL 1980:1.
9. VVS Handboken.
10. Uppvärmning av ventilationsluft med hjälp av solfångare BFR; R78:1979.
11. Varmvattenberedning med hjälp av solenergi - förutsättningar och kostnader BFR; R83:1978.

BILAGA 1

Redovisning av beräkningsförutsättningar och beräkningar av verkningsgrad för luftsolfångare

I_{sol} Maxvärde är ungefär 900 W/m^2 mitt på dagen maj-augusti. Som ett normalvärde används 600 W/m^2 (molnfri vår- och höstdag). Observera betydelsen av avvikelser från solfångarytans normal (vid 45° avvikelse är intensiteten 70% av intensiteten vinkelrätt solstrålningen, vid 60° avvikelse 50%).

Klockan 9 och 15 är avvikelserna 45° beroende på att avvikelserna i vertikalled tillkommer. En mulen sommardag är intensiteten 100 W/m^2 .

I_{abs} $I_{abs} = I_{sol} \cdot r \cdot a$ där a = plåtens absorptionstal antas till 0,90 $\cdot r$ = glasningens transmissionsfaktor som medelvärde under dagen (r varierar med infallsvinkeln). Vanligt glas och Acryl har samma optiska egenskaper, medan glas med låg järnoxidhalt har lägre absorption. Reflektion vid vinkelrätt infall är $\approx 8\%$ medan absorptionen är $\approx 6\%$ för vanligt glas och acryl, men bara 1% för glas med låg järnoxidhalt. Detta medför $\approx 86\%$ transmission för vanligt glas och acryl och 91% för låg-Fe-glas. Eftersom infallsvinkeln varierar under dagen blir dock transmissionen lägre. Absorptionen beror på strålningens väg genom materialet, så att $a = 1 - e^{-A \cdot s}$, där A är absorptionskoefficienten (m^{-1}) och s är strålningens väg genom materialet (m). Även reflektionen ökar med ökande infallsvinkel. Som medelvärde antas transmissionen 80% för vanligt glas och acryl och 85% för låg-Fe-glas.

För dubbelglasning av vanligt glas eller acryl antas transmissionen 70%.

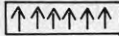
Plåtens absorptionstal varierar med ytan (färg m m) och infallsvinkel. För en bra matt-svart yta anges i BFR-rapport R70:1981 sid 14 absorptionstalet, a , som funktion av infallsvinkeln. Man anger där att $a = 96\%$ vid vinkelrätt infall och att $a = 90\%$ vid infallsvinkeln $\approx 55^\circ$. Andra rapporter har angivit $a = 89\% - 97\%$. Här antas 90% som medelvärde.

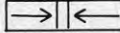
Vid angivelsen av ovannämnda transmissions-tal har viss hänsyn tagits till nedsmutsning.


Abs_{glasn} Som absorbator förutsätts helt slät med 100% kontaktyta mellan absorbator/luft, eller en perforerad (genomströmmad) absorbator (typ galler) med högre värmeövergångstal än den släta.

Som glasning används normalt en skiva vanligt glas eller acryl. Som varianter testas en skiva glas med låg järnoxidhalt och två skivor vanligt glas eller acryl. Observera att vid perforerad absorbator förlorar man ett isolerande luftskikt jämfört med slät absorbator.

b x l Solfångarens yttre dimensioner förutsätts $6 \times 17,5 \text{ m} = 105 \text{ m}^2$. (Ungefär 5% av ytan kommer att upptas av lister). Tre varianter förutsätts:

b = 17,5 l = 6 

b = 12 l = 3,75  (b = 2x6)

b = 6 l = 17,5 

s Spaltbredden har avgörande betydelse för α_{inre} . För slät absorbator prövas 2,5, 5, 10, 20 och 40 mm.

α_{yttre} Yttre värmeövergångstal beror av vindhastigheten. Litteraturen ger väldigt olika värden. Här används yttre värmeövergångsmotstånd, m_{qi} , enligt BFR-rapport R83:1978 sid 2:6. Här anges för vindstyrkorna 0, 1, 2, 3, 4 och 5 m/s respektive 0,18, 0,14, 0,08, 0,05, 0,04 och 0,03 $\text{m}^2\text{°C/W}$. Detta motsvarar α_{yttre} på respektive 5,6, 7,1, 12,5, 20, 25 och 33 $\text{W/m}^2\text{°C}$.

α_{inre} För beräkning av inre värmeövergångstal används $\alpha_{\text{inre}} = 3,4 \cdot \frac{v^{0,8}}{s^{0,2}}$ vilket förutsätter att $\alpha_{\text{strålning}} = 0,15 \cdot \alpha_{\text{konvektion}}$ som är ett medelvärde om ytorna på båda sidor om luftspalten har emmissionstalet 0,95 (mattsvart). Se vidare BFR-rapport R78:1979.

För perforerad absorbator används formeln $k = 2,42 \frac{\lambda_{\text{luft}}}{d_h} \text{Re}^{0,35}$ som avser konvek-

tion för en persienn mellan två glas vid påtryckt strömning. Se BFR-rapport R19:1974 sid 190 α -strålning försummas. Det är svårt att avgöra hur tillämpbar denna formel är för en perforerad absorbator, men erhållna α -värden verkar rimliga jämfört med motsvarande värden för slät plåt.

Praktiska försök (Förvärmning av ventilationsluft till djurstallar med hjälp av solfångare del 2, Lund 1981) visade också högre verkningsgrad (högre α_{inre}) för en perforerad absorptor vid låga flöden.

I formeln är luft = 0,025 $d_h = 2$ S
och $Re = \frac{v d_h}{\nu}$ där $\nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$$\alpha_{inre} = 2,42 \cdot \frac{0,025}{2S} \frac{v \cdot 2S}{14,2 \cdot 10^{-6}}^{0,35}$$

$$\alpha_{inre} = 1,92 \frac{v^{0,35}}{S^{0,65}} \text{ för perforerad absorptor}$$

K_{glasn}

Luftens kinematiska viskositet,
 $\nu = \nu_{20} \cdot \left(\frac{T}{293}\right)^{1,80}$

där T är absoluta medeltemp mellan ytorna,
 $T = (T_1 + T_2)/2$.

$$\nu_{20} = 15,1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (kin.visk, vid } 20^\circ\text{C)}.$$

Värmeledningstalet (λ -värde) för stillastående luft, $\lambda_{luft} = 20 \left(\frac{T}{293}\right)^{0,90}$

där $\lambda_{20} = 0,026 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ och T enligt ovan.

t_{ute} är känd

t_{abs} beräknas genom överslag

t_{glas} antas med ledn av t_{abs} (ev iteration

Temperaturfallet över ett glasskikt försummas. Vid vindhastigheten 5 m/s vid yttre glasytan är temperaturfallet = 0,1 ($t_{glas} - t_{ute}$).

Värmemotståndet hos ett glasskikt är egentligen också försumbart, men tas med eftersom det kan påverka k_{glas} med värdet 0,1 vid avrundning.

Överslagsberäkning av t_{abs} :

α_{inre} är beräknad tidigare och k_{tot} få antas (= 5 för enkelglasning (en luftspält))

I_{abs} är känd och fördelas på värmeförluster och nyttig effekt (per m^2):

$$I_{\text{abs}} = \alpha_{\text{inre}} (t_{\text{abs}} - t_{\text{luft}}) + k_{\text{tot}} (t_{\text{abs}} - t_{\text{ute}})$$

Inträde: $t_{\text{luft}} = t_{\text{FTX}}$ är känd $\rightarrow t_{\text{abs}}$

Slut η antas och

$$\text{Slut: } \Delta t_{\text{luft}} = \frac{\eta I_{\text{sol}} A}{q_v \zeta C_p} \Rightarrow t_{\text{luft}}$$

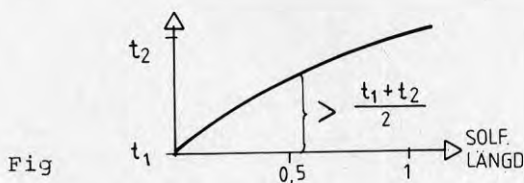
$$t_{\text{luft}} = t_{\text{FTX}} + \Delta t_{\text{luft}} \rightarrow t_{\text{luft}}$$

I_{abs} enligt ovan $\rightarrow t_{\text{abs}}$

Kontroll kan göras av I_{abs} ovan för inträde och slut.

Medelvärde av t_{abs} och t_{luft} blir större än

$(t_1 + t_2)/2$ eftersom temperaturfördelning följer en principiell kurva:



$$\text{Ansats: } t_{\text{absmedel}} \approx t_{\text{absinträde}} + 0,6 (t_{\text{abslut}} - t_{\text{absinträde}})$$

$$t_{\text{luftmedel}} \approx t_{\text{FTX}} + 0,6 (t_{\text{luftslut}} - t_{\text{FTX}})$$

Kontroll: $\eta * I_{\text{sol}}$ jämförs med $\alpha_{\text{inre}} (t_{\text{absmedel}} - t_{\text{luftmedel}})$

$$\text{Nytt } \eta \text{ väljs så att } \eta * I_{\text{sol}} = \alpha_{\text{inre}} (t_{\text{absmedel}} - t_{\text{luftmedel}})$$

vilket $\rightarrow t_{\text{absmedel}}$ och $t_{\text{luftmedel}}$. Eventuellt görs ny kontroll.

$$t_{\text{glas}} \text{ antas: } t_{\text{glas}} = t_{\text{ute}} + \frac{m^u}{m_{\text{glasn}}} + m_u * (t_{\text{absmedel}} - t_{\text{ute}})$$

där $\frac{m_u}{m_{\text{spalt}}}$ får antas $(= \frac{1}{4}$ för l-glas)

$$\Delta t = t_{\text{absmedel}} - t_{\text{glas}}$$

$$= T_{\text{medel}} (t_{\text{absmedel}} + t_{\text{glas}}) / 2$$

$$\text{Gr} = \frac{(g \beta \Delta t b^3)}{\nu^2} \quad \text{där}$$

$$g = \text{tyngdacc.} \approx 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = \text{volymutv.koeff.} = \frac{1}{T_{\text{medel}}} \text{ för idealgas}$$

$$b = \text{spaltbredd}$$

Index m anger att ämneskonstanterna skall tas vid T_{medel}

$$\text{Gr} < \approx 2000 \rightarrow \lambda \text{spaltkonv} \rightarrow \lambda \text{luft (ren ledning)}$$

Försök avseende 3,1 H/b 42,2 där är spalthöjden, anger för:

$$2 * 10^4 < \text{Gr} < 2 * 10^5 \rightarrow \text{Nu} = 0,18 \text{ Gr}^{1/4} \left(\frac{H}{b}\right)^{-1/9}$$

$$2 * 10^5 < \text{Gr} < 1,1 * 10^7 \rightarrow \text{Nu} = 0,065 \text{ Gr}^{1/3} \left(\frac{H}{b}\right)^{-1/9}$$

Dessa försök anger att en vertikal luftspalt isolerar bättre ju högre H/b. För Kejsaren kan, beroende på utformning, betydligt större värde på H/b erhållas. Att tillgodogöra sig denna isoleringsförbättring är tveksamt, speciellt som H/b faller utanför ovanstående intervall. En smärre förändring av H/b påverkar Nu obetydligt.

Vi räknar med H/b = 40

$$\left(\frac{H}{b}\right)^{-1/9} = 40^{-1/9} = 0,664 \text{ vilket medför}$$

$$2 \cdot 10^4 < Gr < 2 \cdot 10^5 \rightarrow Nu = 0,119 Gr^{1/4}$$

$$2 \cdot 10^5 < Gr < 1,1 \cdot 10^7 \rightarrow Nu = 0,0431 Gr^{1/3}$$

För att korrigera för avvikelser från vertikallplanet används korrektionsfaktorn

$$k = 1 - 0,28 \frac{\gamma}{90} \text{ där } \gamma \text{ är lutningen mot vertikallplanet.}$$

Kejsartaket lutar 55° mot horisontalplanet, d v s $90 - 55 = 35^\circ$ mot vertikallplanet.

$$k = 1 - 0,28 \frac{35}{90} = \underline{0,89}$$

$$\lambda_{\text{spaltkonv}} = Nu \cdot k \cdot \lambda_{\text{luft}} = \underline{Nu \cdot 0,89 \cdot \lambda_{\text{luft}}}$$

där $\lambda_{\text{luft}} = 0,026$ vid 20°C .

$$\alpha_{\text{spaltkonv}} = \frac{\lambda_{\text{spaltkonv}}}{b}$$

$$\alpha_{\text{spaltstrål}} = \epsilon_{\text{ö}} \tau \frac{(T_{\text{abs}}^4 - T_{\text{glas}}^4)}{T_{\text{abs}} - T_{\text{glas}}}$$

$$\tau \text{ är Stefan-Boltzmanns konstant} = \underline{5,67 \cdot 10^{-8}} \text{ (SI)}$$

$\epsilon_{\text{ö}}$ är ömsesidiga strålningstalet enligt

$$\epsilon_{\text{ö}} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{\text{abs}}} + \frac{1}{\epsilon_{\text{glas}}} - 1}$$

För $\epsilon_{\text{glas}} = 0,91$ och $\epsilon_{\text{abs}} = 0,90$ fås $\epsilon_{\text{ö}} = 0,83$

$$\alpha_{\text{spalttot}} = \alpha_{\text{spaltkonv}} + \alpha_{\text{spaltstrål}}$$

$$\lambda_{\text{glas}} = 0,9 \text{ W/mK}$$

$$\lambda_{\text{plesiglas}} = 1,9 \text{ W/mK}$$

Med m_u enligt tidigare och $d = \text{glastjockleken}$ erhålls slutligen:

$$k_{\text{glasn}} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{\text{spalttot}}} + \frac{d}{\lambda_{\text{glas}}} + \frac{m}{u}}$$

Nu kontrolleras att

$$t_{\text{glas}} = t_{\text{ute}} + \frac{m_u}{m_{\text{glasn}}} (t_{\text{absmedel}} - t_{\text{ute}})$$

Är avvikelserna stora får ny iteration göras. V beräkning av k_{glasn} har använts:

- BFR-rapport R83:1978 sid 2:6
- Mekanisk värmeteorik fortsättningskurs del II sid 40-43
- BFR-rapport R78:1979 sid 10

$$K_{\text{tot}} \quad K_{\text{tot}} = K_{\text{glasn}} + K_{\text{isol}}$$

K_{isol} Här antas samma inre värmeövergångsmotstånd som för en yttervägg, $\mu = 0,17 \text{ m}^2\text{°C/W}$

$$m_{\text{isol}} = \frac{d}{\lambda_{\text{isol}}} + m_i \text{ där}$$

d är isolertjockleken

λ_{isol} är värmeledningsförmåga, för mineralull gäller $\lambda_{\text{isol}} = 0,040 \text{ W/mK}$. m_{isol} är isoleringens värmemotstånd. För mineralullsisolering gäller alltså:

$$m_{\text{isol}} = \frac{d}{0,040} + 0,17 \text{ och}$$

$$K_{\text{isol}} = \frac{1}{\frac{d}{0,040} + 0,17}$$

För värmeförlusterna genom baksidan antas en vindstemperatur, $t_{\text{vind}} = t_{\text{ute}} (-\text{cirka } 5\text{°C})$.

q_v som maximalt = normalt flöde används det beräknade värdet $1950 \text{ m}^3/\text{h}$. Sommartid förutsätts flödet kunna minskas för att kunna uppnå en erforderlig lufttemperatur för att värma varmvattnet.

v Lufthastigheten erhålls ur $v = q_v/A$ där $A = b*s$ är ytan vinkelrätt strömningsriktningen.

Δp Tryckfall av friktion:

$$\Delta p_{\text{friktion}} = \frac{\lambda}{d_h} \frac{l}{2} \frac{\rho}{s} v^2 \quad d_h = 2 \text{ s}$$

$$\Delta p_{\text{friktion}} = \frac{\lambda}{4} \frac{l}{s} \frac{\rho}{s} v^2 \quad \rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

λ är dimensionslöst friktionstal som beror av Re och k/d_h där

$$Re = \frac{v d_h}{\nu} \text{ där } d_h = 2 \text{ s och } \nu = 15,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

och K/d_h är relativa ytråheten där K är ekvivalenta sandråheten t ex från VVS-handboken sid 3:2 där K kallas ytråhet. Man kan anta $K = 0,1 \text{ mm}$ d v s $K/d_h = 0,1/2s$ och för t ex $s = 20 \text{ mm}$ $K/d_h = 0,1/2 * 20 \approx 0,002$

$$\text{Alltså: } Re = \frac{V \cdot 2s}{\nu} \quad \text{och } K/d_h = 0,1/2s.$$

ger i Kalle Brooks diagram, VVS-Handboken sid 3:3 ett friktionstal λ ($\lambda \approx 0,04$).

Tryckfall av engångsmotstånd:

Uppskattas enligt STU-rapport 80-4806 till 1,5 ggr dynamiska trycket, d v s:

$$\Delta p_{\text{engångs}} = 1,5 \frac{\rho V^2}{2}$$

$$\text{Totalt: } \Delta p = (1,5 + \frac{\lambda l}{2s}) \frac{\rho V^2}{2}$$

t_{ute} Utetemperatur. Egentligen den temperatur som råder då solfångaren är i drift, vilken är högre än dygns- eller månadsmedel. Då solfångaren är i drift råder också en högre temperatur på byggnadens sydsida jämfört med nordsidan. Mycket beror dock på det lokala klimatet, främst vindar.

t_{FTX} Ur "Rapport 811208" erhålls för respektive utetemperatur efter värmväxlare med temperaturverkningsgrad 55%. Obs medeltal.

t_{slut} Här används beräkningsgång enligt BFR-rapport R78:1979 sid 8-9, dock anpassad till glasad absorbatör med förvärmad luft.

$$I_{\text{sol}} \cdot A = P_{\text{tot}} = P_{\text{förlust}} + P, \quad P = \text{nyttig effekt}$$

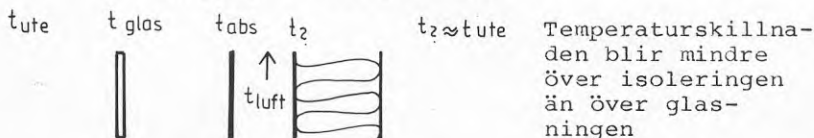
$$P_{\text{förlust}} = P_{\text{värmeförlust}} + P_{\text{reflektion}}$$

$$P_{\text{tot}} - P_{\text{reflektion}} = P + P_{\text{värmeförlust}} = P_{\text{abs}} = I_{\text{abs}} \cdot A$$

$$P = \alpha_{\text{inre}} \cdot A (t_{\text{abs}} - t_{\text{luft}})$$

$$P_{\text{värmeförlust}} = k_{\text{tot}} \cdot A (t_{\text{abs}} - t_{\text{ute}})$$

Egentligen är det lite fel att lägga ihop k_{glasn} och k_{isol} , eftersom temperaturskillnaden inte är riktigt lika över isolering och glasning. Felet gör att $P_{\text{värmeförlust}}$ blir något större än den verkliga. Dock är k_{glasn} beräknad med sådan osäkerhet, samtidigt som inverkan av k_{isol} är liten, att felet kan försummas utom vid beräkning av lämplig isolertjocklek.



$$P_{\text{abs}} = \alpha_{\text{inre}} A (t_{\text{abs}} - t_{\text{luft}}) + k_{\text{tot}} A (t_{\text{abs}} - t_{\text{ute}})$$

$$t_{\text{abs}} = \frac{T_{\text{abs}} + t_{\text{ute}} K_{\text{tot}} + t_{\text{luft}} \alpha_{\text{inre}}}{K_{\text{tot}} + \alpha_{\text{inre}}}$$

$$P = \frac{(T_{\text{abs}} + t_{\text{ute}} K_{\text{tot}} + t_{\text{luft}} \alpha_{\text{inre}} - t_{\text{luft}}) \cdot \alpha_{\text{inre}} \cdot A}{K_{\text{tot}} + \alpha_{\text{inre}}}$$

$$P = qv \cdot \rho \cdot C_p (t_{\text{luft}} - t_{\text{FTX}})$$

$$P \frac{dA}{A} = qv \cdot \rho \cdot C_p dt_{\text{luft}}$$

dt_{luft} är temperaturhöjningen längs ytan dA . P är en variabel, eftersom effekten varierar utefter solfångarytan.

$$td_{\text{luft}} = \frac{(T_{\text{abs}} + t_{\text{ute}} K_{\text{tot}} + t_{\text{luft}} \alpha_{\text{inre}} - t_{\text{luft}}) \alpha_{\text{inre}} dA}{K_{\text{tot}} + \alpha_{\text{inre}} \cdot qv \cdot \rho \cdot C_p}$$

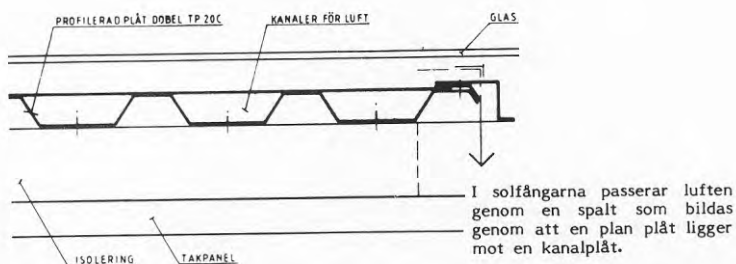
$$t_{\text{slut}} = t_{\text{FTX}} + \sum_{N=1}^{N=N} \frac{(T_{\text{abs}} + t_{\text{ute}} K_{\text{tot}} + t_{\text{luftn}} \alpha_{\text{inre}} - t_{\text{luftn}}) \cdot \alpha_{\text{inre}} \cdot A}{K_{\text{tot}} + \alpha_{\text{inre}} \cdot qv \cdot \rho \cdot C_p \cdot N}$$

$$\text{där } t_{\text{luftn}} = t_{\text{FTX}}$$

$$\eta = \frac{q_v \cdot \rho \cdot C_p (t_{\text{slut}} - t_{\text{FTX}})}{\text{Isol} \cdot A}$$

Denna verkningsgrad avser nyttig effekt/-totalt instrålad effekt. (Man kan också bilda en verkningsgrad enligt nyttig effekt-/totalt absorberad effekt, vilken bara tar hänsyn till värmeförluster, och inte reflektion).

$$P_{\text{tot}} = q_v \cdot \rho \cdot C_p (t_{\text{slut}} - t_{\text{FTX}})$$

BILAGA 2Beräkning av stagnationstemperatur

Fig

Förutsättningar:

Isol = 900 W/m² (max)

Transmission = 85%

Absorption = 95% Emission = 15%

Isoleringen antas motsvara 10 cm homogen mineralull

tute = 30°C

Vindstill

Absorbatorplåten är Gränges TRP 12-100

K_{glasn} enligt tidigare $\approx 2,5$ men blir betydligt större vid stagnationstemperatur.

λ_{minull} enligt BFR-rapport R83:1978 sid 2:54.

$$I_{\text{abs}} = 0,85 * 0,95 * 900 = 277 \text{ W/m}^2$$

$$I_{\text{abs}} = K_{\text{tot}} (t_{\text{abs}} - t_{\text{ute}})$$

t_{ute} antas 30°C och det förutsätts att inget luftflöde sker genom solfångaren.

α_{yttre} förutsätts = $7,1$ ($m_u = 0,14$) vilket motsvarar vindstilla men 1 m/s lufthastighet av egenkonvektion.

K_{tot} antas ≈ 4

$$727 = 4 (t_{\text{abs}} - 30)$$

$$727 = 4 t_{\text{abs}} - 4 * 30$$

$$t_{\text{abs}} = 211,8^\circ\text{C} = 485,0 \text{ K}$$

$\lambda_{\text{min.ull}}$ vid $(211,8 + 30)/2 = 120,9^\circ\text{C}$ är $0,06 \text{ W/mK}$

$$K_{\text{isol}} = \frac{1}{\frac{0,1}{0,06} + 0,17} = 0,54$$

$$K_{\text{glas}} = 4 - 0,54 = 3,46$$

$$t_{\text{glas}} = 30 + \frac{0,14}{3,46} (211,8 - 30) = 30 + 0,48 * 181,8 = 118,1^\circ\text{C} = 391,2 \text{ K}$$

K-värdesberäkning:

$$\Delta t = 211,8 - 118,1 = 93,7^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{medel}} = (211,8 + 118,1)/2 = 165,0^\circ\text{C} = 438,1 \text{ K}$$

$$\text{Gr} = \frac{9,81 * 93,7 * 0,030^3}{438,1 * 1,1^2 * 10^{-12}} = 2,48 * 10^5 \text{ 2000}$$

$$2 * 10^5 < \text{Gr} < 1,1 * 10^7 \rightarrow \text{Nu} = 0,0431 * \text{Gr}^{1/3}$$

$$\text{Nu} = 0,0431 * (2,48 * 10^5)^{1/3} = 2,71$$

$$\lambda_{\text{spaltkonv}} = 0,026^1) * 2,71 * 0,89 = 0,063$$

$$\alpha_{\text{spaltkonv}} = \frac{0,063}{0,030} = 2,10 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$\epsilon\ddot{o} = 0,148$ enligt tidigare

$$\alpha_{\text{spaltstrål}} = 0,148 * 5,67 * 10^{-8} \frac{485^4 - 391,2^4}{93,7} = 2,86 \text{ W/m}^2\text{C}$$

Areaökning av Gränges TRP 12 - 100 är 14%

$$\frac{2x}{x+1} = \frac{2 * 1,14}{1,14 + 1} = \frac{2,28}{2,14} = 1,065$$

$$\alpha_{\text{spalttot}} = (2,10 + 2,86) * 1,065 = 5,28 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$K_{\text{glasn}} = \frac{1}{\frac{1}{5,28} + \frac{0,003}{0,9} + 0,14} = 3,0 \quad (\text{antaget } 3,46)$$

1) Skall egentligen anges vid T_{medel}

Ny iteration:

$$k_{\text{tot}} \text{ antas} = 3,8$$

$$727 = 3,8 t_{\text{abs}} - 3,8 \cdot 30$$

$$t_{\text{abs}} = 221,3^\circ\text{C} = 494,5 \text{ K}$$

$$\lambda_{\text{min.ull}} \text{ vid } (221,3 + 30)/2 = 125,6^\circ\text{C} \text{ är } 0,06 \text{ som}$$

$$\text{tidigare} = k_{\text{isol}} = 0,54$$

$$k_{\text{glasn}} = 3,8 - 0,54 = 3,26$$

$$t_{\text{glas}} = 30 + \frac{0,14}{3,26} (221,3 - 30) = 30 + 0,46 \cdot 191,3 = 117,3^\circ\text{C} = 390,5 \text{ K}$$

K-värdesberäkning:

$$\Delta t = 221,3 - 117,3 = 104,0^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{medel}} = (221,3 + 117,3)/2 = 169,3^\circ\text{C} = 442,5 \text{ K}$$

$$\nu = 15,1 \cdot 10^{-10} \frac{(442,5)^{1,80}}{293} = 31,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\lambda_{\text{luft}} = 0,026 \frac{(442,5)^{0,90}}{293} = 0,0377$$

$$\text{Gr} = \frac{9,81 \cdot 104 \cdot 0,030^3}{442,5 \cdot 31,7^2 \cdot 10^{-12}} = 6,19 \cdot 10^4 \quad 2000$$

$$2 \cdot 10^4 < \text{Gr} < 2 \cdot 10^5 = \text{Nu} \rightarrow 0,119 \cdot (6,19 \cdot 10^4)^{1/4} = 1,88$$

$$\lambda_{\text{spaltkonv}} = 0,0377 \cdot 1,88 \cdot 0,89 = 0,0630$$

$$\alpha_{\text{spaltkonv}} = \frac{0,0630}{0,030} = 2,10 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$\alpha_{\text{spaltstrål}} = 0,148 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{494,5^4 - 390,5^4}{104} = 2,95 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$\alpha_{\text{spalttot}} = (2,10 + 2,95) \cdot 1,065 = 5,38 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$k_{\text{glas}} = \frac{1}{\frac{1}{5,38} + \frac{0,003}{0,9} + 0,14} = 3,04 \quad (\text{antaget } 3,26)$$

Ny iteration:

$$k_{\text{glasn}} = 3,10 \quad k_{\text{isol}} = 0,54 = k_{\text{tot}} \Rightarrow 3,64$$

$$727 = 3,64 * t_{\text{abs}} - 3,64 * 30$$

$$t_{\text{abs}} = \underline{229,7^\circ\text{C} = 502,9 \text{ K}}$$

$$t_{\text{glas}} = 30 + \frac{0,14}{\frac{1}{3,10}} (229,7 - 30) = 30 + 0,43 * 199,7 = 116,7^\circ\text{C} = 389,8 \text{ K}$$

k-värdesberäkning:

$$\Delta t = 229,7 - 116,7 = \underline{113,0^\circ\text{C}}$$

$$T_{\text{medel}} = (229,7 - 116,7)/2 = 173,2^\circ\text{C} = 446,4 \text{ K}$$

$$\nu = 15,1 * 10^{-6} \frac{(446,4)^{1,80}}{293} = 32,2 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\lambda_{\text{luft}} = 0,026 \frac{(446,4)^{0,90}}{293} = 0,0380$$

$$Gr = \frac{9,81 * 113 * 0,030^3}{446,4 * 32,2^2 * 10^{-12}} = 6,47 * 10^4 \quad 2000$$

$$2 * 10^4 < Gr < 2 * 10^5 \rightarrow Nu = 0,119 * (6,47 * 10^4)^{1/4} = 1,90$$

$$\lambda_{\text{spaltkonv}} = 0,038 * 1,90 * 0,89 = 0,0642$$

$$\alpha_{\text{spaltkonv}} = \frac{0,0642}{0,030} = 2,14 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$\alpha_{\text{spaltstrål}} = 0,148 * 5,67 * 10^{-8} \frac{502,9^4 * 389,8^4}{113} = 3,04 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$\alpha_{\text{spalttot}} = (2,14 + 3,04) 1,065 = 5,52 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$k_{\text{glasn}} = \frac{1}{\frac{1}{5,52} + \frac{0,003}{0,9} + 0,14} = 3,08 \quad (\text{antaget} = 3,10)$$

Max stagnationstemperaturer:

Absorbator	230°C
Glas	117°C

Vid högre vindhastighet, 3 m/s:

$$m_u = 0,05$$

$$k_{\text{glasn}} = \frac{1}{\frac{1}{5,52} + \frac{0,003}{0,9} + 0,05} = 4,26 \rightarrow k_{\text{tot}} = 4,80$$

$$727 = 4,80 * t_{\text{abs}} - 4,8 * 30$$

$$t_{\text{abs}} = 181,5 \text{ °C} \quad t_{\text{glas}} = 30 + \frac{0,05}{\frac{1}{4,26}} (181,5 - 30) = 62,3 \text{ °C}$$

3 m/s: Absorbator $\approx 182 \text{ °C}$ Glas $\approx 62 \text{ °C}$

Ändrad vindhastighet (ändrad m_u) medför att även α_{spalttot} ändras.

BILAGA 3Mätningar på luftsol fångarprototyp

I denna bilaga redovisas praktiska prov och mätningar, utförda på 2 m² prototypmodul av takintegrerad luftsol fångare.

Prototypmodulen byggdes och provades under senvårensommaren 1982 av K-Konsultpersonal på laboratoriet för Uppvärmning och ventilationsteknik, KTH. Mätningar utfördes av civilingenjör Magnus Herrlin. Uppbyggnad och konstruktion av prototypmodulen utfördes av teknolog Robert Oman under ledning av civilingenjör Göran Werner.

I det följande redovisas först under pkt 1 hur prototypmodulen på 2 m² solmottagaryta konstruerats, sammanställt av Robert Oman samt i det efterföljande under pkt 2 redovisas resultatet från mätningar under juli 1982 sammanställt av Magnus Herrlin.

1. Prototyp till luftsofångare till kv
Kejsaren (av Robert Oman)

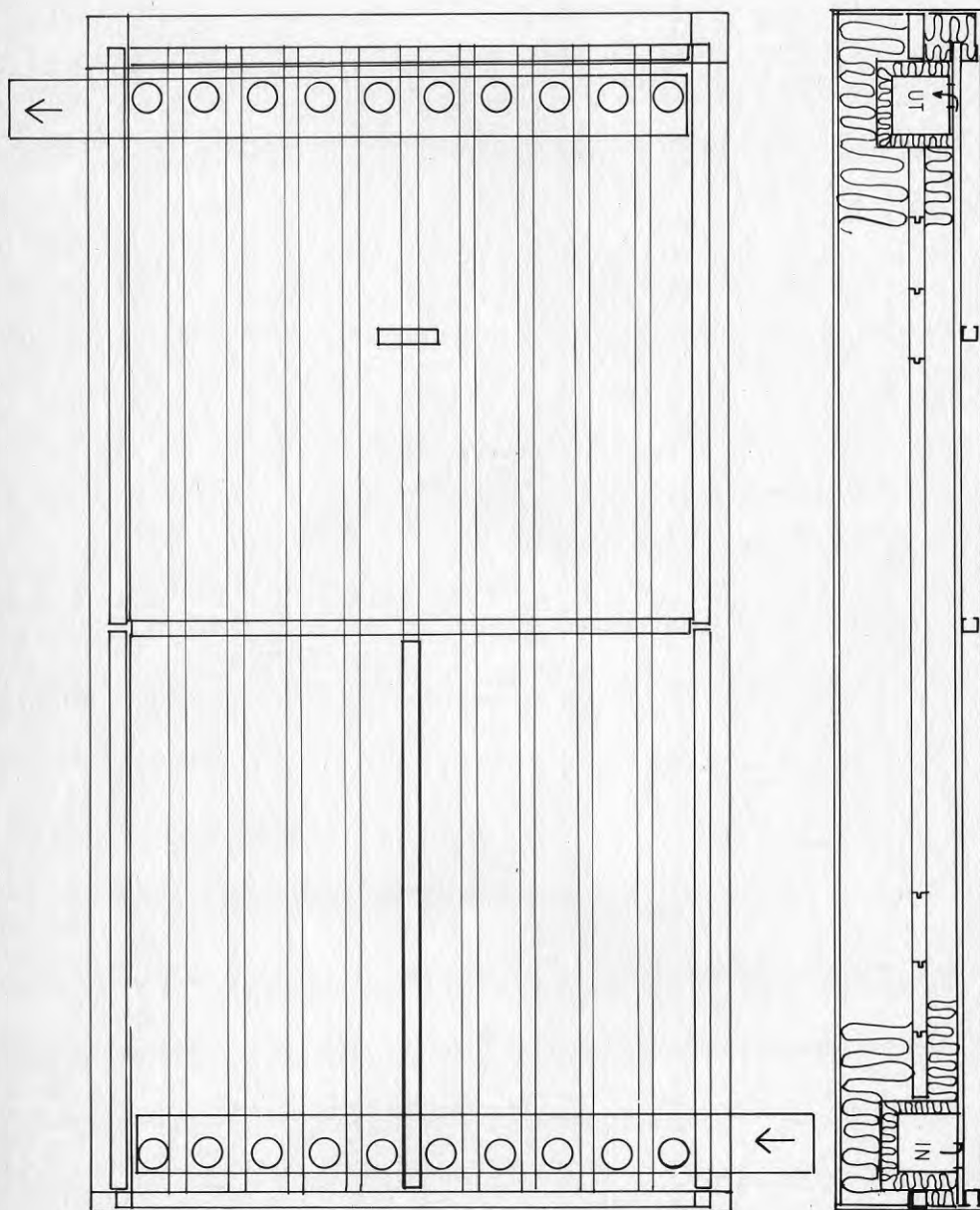


Fig: 2 m³ luftsofångarprototyp

Materialåtgång och priser (1982) till solfångarprototypen på ungefär 1 x 2 m

	<u>Kr</u>
2 skivor 120 x 240 cm K-plywood 12 mm	368:-
4,2 m 45 x 120 regel	68:-
Casco aminbaserade transparenta byggsilikon ≈ 3,5 tuber	165:-
Mineralull 1 pkt styv och 1 pkt lös. 1 pkt kostar 128 kr. Förbrukade kanske 60%: 0,60 . 2 . 128 =	154:-
Aluzinkplåt 0,5 mm ≈ 3 m ²	79:-
Glas 4 mm 2 m ² 4 enheter ungefär 50x100 cm med finslipad kant	537:-
Korrugerad plåt Plagan TR 10 0,5 mm 2 m ² galvad	88:-
Absorbatorplåt rostfri MPD "Skysorb" 0,5 mm 2 m ² (gratis)	250:-
Fyrkantkanal 100 x 100 2 st 120 cm glavad (gratis, fläkt evaporator)	110:-
U-profil 25 mm Peba-regel från Ahlsell ungefär 10 m x 3 kr	30:-
Silikongummiduk 1,5 x 20 x 1000 från Kuntze, Stockholm	≈ 12:-
<u>Träskruvar & plåtskruvar</u>	≈ 100:-
Summa	≈ 1 961:-

Erfarenheter från bygget, Robert Öman 820804

Trälådan monterades i huvudsak ihop med skruv på höger sida och spik på vänster sida. Detta för att kontrollera om spikarna visar tendens att krypa ut vid aktuella temperatursvängningar.

För att minska temperaturen vid översta träytan och samtidigt erbjuda hårt underlag för korr.plåten användes 50 mm styv mineralull (markskiva). Här bör i stället den styvaste typen av takskiva ($\rho \approx 180 \text{ kg/m}^3$) användas eftersom den är styvare, har lägre bindemedelshalt och är obetydligt tyngre. Med markskiva kan nämligen inte korr.plåten skruvas särskilt hårt mot underliggande plywood innan den sjunker in i markskivan.

Den lösa min.ullen mellan reglarna och den styva min.ullen har ungefär samma λ -värde, $\approx 0,04$, varför maxtemperaturen i träet enkelt kan beräknas:

$$t_{\text{trämax}} = t_{\text{korrplåtmax}} - \frac{\text{tjocklek styv min.ull}}{\text{tjocklek styv+lös minull}} \cdot (t_{\text{korrplåtmax}} - t_{\text{utemax}})$$

där $t_{\text{korrplåt}}$ = temp i korrugerad plåt

Den lösa mineralullen har samma tjocklek som reglarnas höjd, 120 mm.

Vid mätning 820709 klockan 13.21 vid självcirkulation erhöjls:

$$t_{\text{absmax}} = 149,2^\circ\text{C efter } 3/4 \text{ längd}$$

$$t_{\text{absmax}} = 117,4^\circ\text{C efter } 1/4 \text{ längd}$$

$$t_{\text{korrplåt}} = 136,5^\circ\text{C efter } 3/4 \text{ längd}$$

$$t_{\text{trämax}} = 78,6^\circ\text{C efter } 1/2 \text{ längd}$$

$$t_{\text{ute}} \approx 25^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{absmax}} \text{ stiger } (117,4 - 25)^\circ\text{C efter } 1/4 \text{ längd och } (149,2 - 25)^\circ\text{C efter } 3/4 \text{ längd}$$

$$t_{\text{absmax}} \text{ når alltså } \frac{117,4 - 25}{149,2 - 25} = 74\% \text{ av temp}$$

höjningen efter 3/4 längd redan efter 1/4 längd.

Efter 1/2 längd erhålls en temperaturhöjning

$$(100 + 74)/2 = 87\%, \text{ antag } 90\%.$$

Antag vidare att $t_{\text{trämax}}$ följer samma kurva:

$$t_{\text{trämax}} = 25 + \frac{78,6 - 25}{0,90} = 85^\circ\text{C efter } 3/4 \text{ längd}$$

$$t_{\text{trämaxteor}} = 136,5 - \frac{50}{120} (136,5 - 25) = 90^\circ\text{C}$$

820709 klockan 13.21:

$t_{\text{trämax}}$ uppmättes till 85°C och beräknades till 90°C vid själv-cirkulation. Det beräknade värdet stämmer mycket väl eftersom det uppmätta värdet fortfarande höll på att stiga (icke stationärt).

Tjockleken på styva mineralullen bör väljas med hänsyn till förväntad stagnationstemperatur och den tid denna temperatur kan uppträda. 150°C erhöles alltså i absorbatoren vid själv-cirkulation. Utan själv-cirkulation beräknades 230°C vid stagnation. P g a randeffekter uppnås sannolikt $180\text{--}200^\circ\text{C}$ i prototypen och troligen 200°C i den färdiga solfångaren.

Styva mineralullen bör nog utgöra mellan 1/4 och 1/2 av hela isoleringstjockleken och ett förslag är 50 mm styv mineralull och 100 mm lös mineralull.

Den korrugerade plåt som användes var 0,5 mm Plagan TR10 (galvad). Den ganska ringa tjockleken tillsammans med den ganska mjuka markskivan var inte helt lyckad. Hur styv korr.plåt som erfordras beror på byggnadstekniken. Vid prefab-tillverkning kanske 0,5 mm räcker. 0,7 mm plåt blir dock ungefär dubbelt så styv.

För att bära upp glaset användes en tunnplåtsregel, U-profil 25x25x0,56 mm "Peba-regel" från Ahlsell. Denna profil är mycket billig och lätt. Den låga godstjockleken gör att köldbrygge-effekten blir liten, men är samtidigt en nackdel när man t ex skall slå ett körslag. Bredden 25 mm är i minsta laget när två glasrutor med mellanrum skall samsas om utrymmet. Ett förslag är 30x30x1 mm U-profil. Bronson AB har en U-profil 30x30x1,5, (U-profil nr 140).

Med hänsyn till vindens lyftkraft och risk för nedflygande glasbitar är det kanske för osäkert att silikon-limma glasrutorna. Hur är silikonets egenskaper efter 10 års klimat-påfrestningar?

ÅSV har en I-profil som klämmer fast glasrutorna. Denna är dock av aluminium vilket är en nackdel med hänsyn till pris, värmeledning, temperaturutvidgning och eventuellt galvanisk korrosion. Troligen finns dock ingen liknande profil av stål att få tag på.

Den korrugerade plåten är fäst med 3" träskruv i en 12 mm plywoodskiva mellan den styva och lösa mineralullen. c-c avstånd mellan reglarna är ungefär 105 cm. Vid c-c 120 cm är 15-19 mm lagom tjocklek på plywoodskivan. En nackdel med plywood är priset. Den billigaste kvalitén heter konstruktions-plywood (k-plywood) och är gjord av gran. Ett alternativ är råspont.

Aluzink-plåten (0,5 mm) från Dobel var lätt att jobba med och går att bocka i skarp 90° vinkel utan att aluzink-skiktet spricker.

50 mm styv mineralull väger ungefär 8 kg/m² och bidrar i hög grad till att göra solfångaren "temperaturtrög" genom magasinerat värme. Detta medför att verkningsgraden på eftermiddagen är högre eftersom det då sker en "urladdning".

Mitt på solfångarprototypen har gjorts en skarv mellan plåtarna för att uppta temperaturrörelser. Den är antagligen inte nödvändig i prototypen med 2 m längd men däremot i den färdiga solfångaren med 6 m längd.

Absorbatorplåten får en större temperaturutvidgning än den korrugerade plåten beroende på högre temperatur och högre temperaturutvidgningskoefficient hos rostfritt stål. Den övre halvan av absorbatorplåten borrades med 1 mm för stora hål för att medge absorbatorplåtens utvidgning. Den undre halvan borrades med "rätt" hål. Frågan är om den övre halvan buktar sig ändå.

För att kondensvatten skall kunna komma ut, men damm inte skall kunna komma in, gjordes en öppning med dammfilter. Två plåtar längst ned på solfångaren hålls på 4 mm avstånd av trälistor och mellan plåtarna ligger remsor av dammfilter.

Att göra denna öppning för kondensvatten gick faktiskt ganska smidigt.

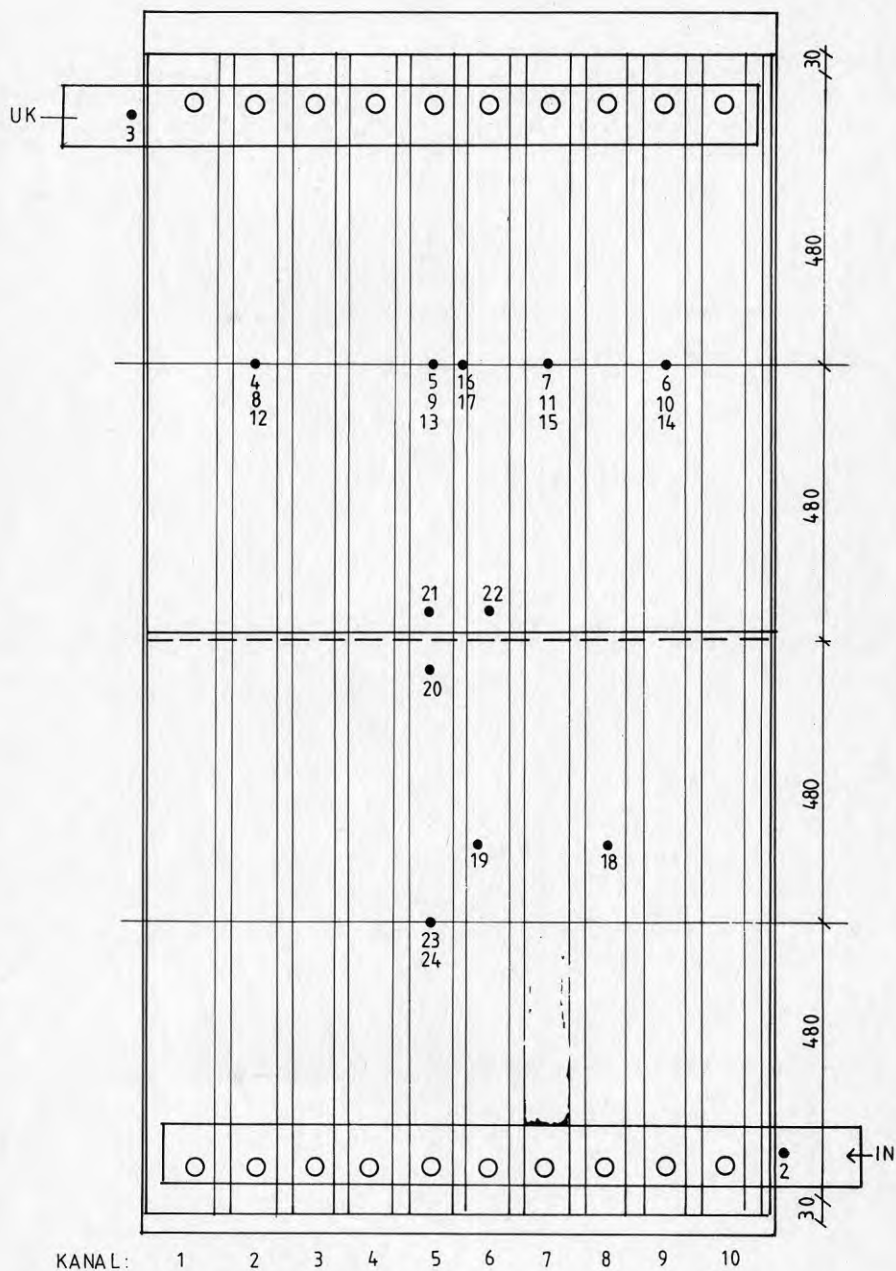
Tidsödande vid bygget var att överallt täta mellan mineralull och absorbator/glas. Utan denna tätning föreligger risk för kondensation av ämnen från mineralullens bindemedel. En fördel vore om det går att hitta mycket styv mineralull utan bindemedel. Då kan man spara mycket tätningsjobb.

Punkter för temperaturmätning

1. Uteluften
2. Luft strax innan solfångar
3. Luft strax efter solfångare
4. Absorbatorytan kanal 2
5. Absorbatorytan kanal 5
- (00)6. Absorbatorytan kanal 9
7. Absorbatorytan kanal 7 (svarta fåran)
8. Mitt i luftkanal 2
- (25)9. Mitt i luftkanal 5
10. Mitt i luftkanal 9
11. Mitt i luftkanal 7 (svarta fåran)
- (26)12. Korr.plåt under kanal 2
- (27)13. Korr.plåt under kanal 5
14. Korr.plåt under kanal 9
15. Korr.plåt under kanal 7 (svarta fåran)
16. Absorbatoryta ovanför trapetsplåt (flänsen) kanal 5-6)
17. Korr.plåt under absorbator (flänsen) kanal 5-6
18. Glasytans temperatur mitt på
19. Glasytans temperatur invid profil
20. Mellan plywood och styv mineralull
21. Som 20 men mot skruv
22. Som 20 men mot rostfri skruv
23. Absorbatorytan efter 1/4 längd kanal 5
24. Mitt i luftkanal efter 1/4 längd kanal 5

längden = 192 cm

Mät punkt 4-17 läggs efter $3/4$ av längden = 144 cm



2. Redovisning av mätresultat

I det följande redovisas de av civilingenjör Magnus Herrlin utförda mätningarna och den utvärdering och sammanställning som gjorts.

Mätningarna gjordes under ovanligt klart och soligt väder i juli 1982.

Detta förhållande medför att en relativt god jämförelse kan göras mot andra solfångare som testats vid olika mät- och provningsinstitutioner där tester ofta utförs vid hög solinstrålning i simulator (se t ex diagram 2).

Diagram 1 visar tryckfallet över solfångaren som funktion av hastigheten i luftkanalen i till fångaren. Dimensionen på kanalen är $\phi = 0,08$ m. Diagrammet innehåller även en flödesskala.

Kurvan är normerad till 20°C luft ifrån de varierande temperaturer som gällde vid mättillfällena. Vid högre temperaturer blir tryckfallet lägre vid samma hastighet. En temperaturavvikelse på $\pm 20^{\circ}\text{C}$ ifrån 20°C ger en tryckändring på cirka $\pm 7\%$.

Diagram 2 visar verkningsgradens och temperaturstegrings beroende av massflödet. Förutsättningen för diagrammet är en utetemperatur av cirka 27°C samt en instrålning på cirka $800\text{W}/\text{m}^2$.

Som jämförelse har två andra solfångare lagts in. Dessa är hämtade ur Solar Energi 82/5 och skiljer sig främst genom att de är utrustade med dubbla glas.

Beteckningen "Single-Pass" innebär att luften passerar under absorbatoren en gång, d v s en konventionell uppbyggd luftsol-fångare.

"Two-Pass" innebär att luften, innan den passerar under absorbatoren, först får passera mellan de båda glasen eller ovanför absorbatoren. Genom detta arrangemang kan förlusterna genom glasningen minskas.

Diagram 3 visar hur verkningsgraden ändras med instrålningseffekt. Kurvorna är ej helt entydiga, men det tycks vara så att verkningsgraden vid en och samma instrålning är lägre på förmiddagen än på eftermiddagen.

Diagram 4 ger temperaturhöjningen som funktion av inställd effekt. Kurvorna gäller främst klara somnardagar. Någon lösning till utetemperaturen har dock ej skett, d v s diagrammet kan användas vid olika utetemperaturer.

Om diagrammet önskas användas för att bedömma temperaturstegringen under andra årstider med klart väder måste infallsvinkeln beaktas.

T ex en tidig vårdag med ett maximalt solinfall på $500\text{W}/\text{m}^2$ mitt på dagen ger en större temperaturstegring än vad diagrammet ger eftersom solens infallsvinkel är bättre. $500\text{W}/\text{m}^2$ inträffar sommardag på morgon och eftermiddag.

Om diagrammet vidare önskas användas för att bedömma temperaturstegringen under halvmolniga dagar under året måste en uppskattning göras liknande den ovan.

Helmolniga dagar faller utanför diagrammets användningsområde.

Skillnaden mellan diagram 2 och 4 vid 800W beror på att i det senare har hela datamängden använts för att kunna upprätta ett diagram täckande så stort effektintervall som möjligt. I diagram 2 däremot har endast data nära 800W beaktats. Skillnaderna är dock små.

Diagram 5-6 ger temperaturhöjningen som funktion av längden på solfångaren. De heldragna kurvorna har bestämts ur mätvärden medan de streckade kurvorna markerar linjär skattning.

Eftersom diagrammet är konstruerat med få mätvärden bör dess resultat, speciellt vid större längder, användas med stor försiktighet. Utöver få mätvärden kan förutsättningarna som gäller för de heldragna kurvorna ändras med ökad solfångarlängd, vilket gör diagrammet än mer osäkert.

Diagram 7-8 visar temperaturprofilen i solfångaren på $3/4$ längd. Av kurvorna framgår att temperaturen genomgående är högre i de mittersta kanalerna. Dels kan luftflödet i de yttre kanalerna vara högre än i övriga och dels kan randeffekter spela en viss roll.

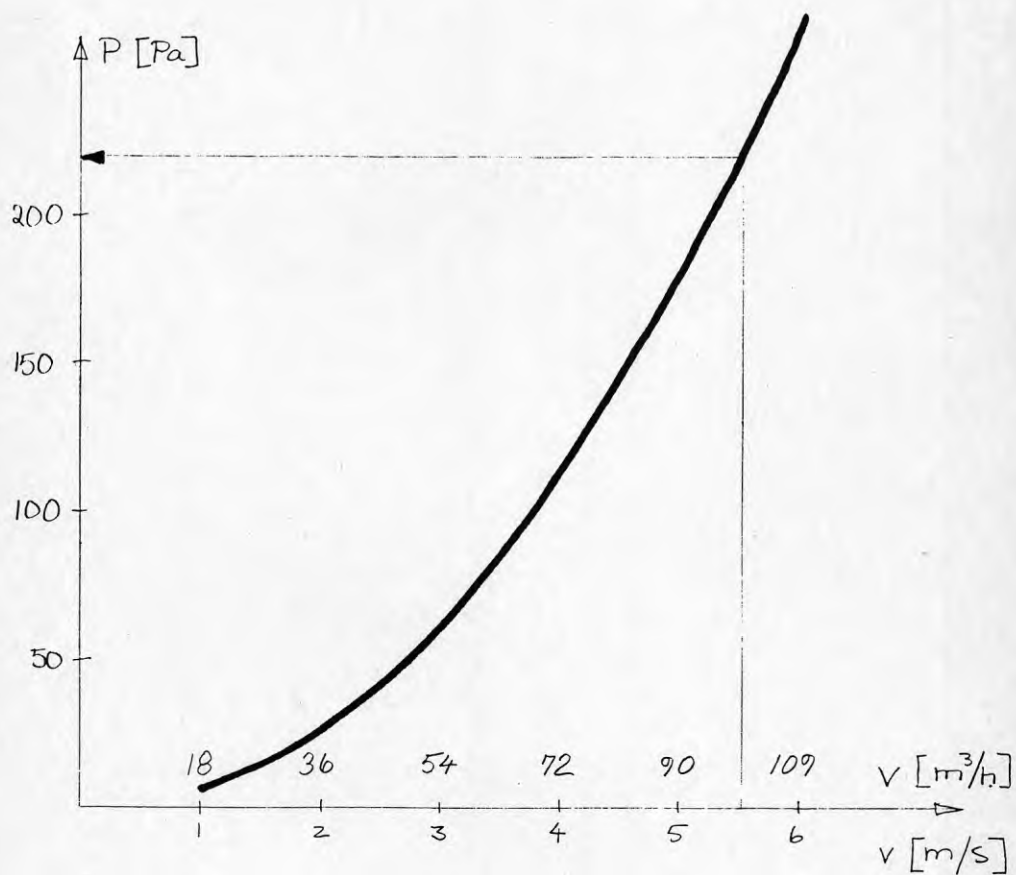


Diagram 1

Tryckfall över solfångaren vid olika hastigheter,
räknat över en kanal ϕ 0,08 m, vid en temperatur av
20°C

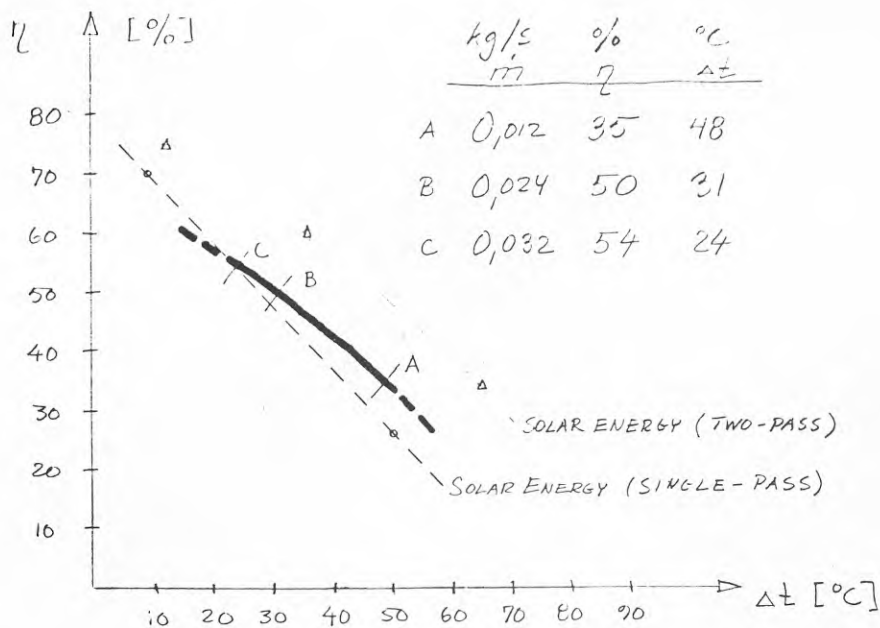


Diagram 2

Verkningsgrader och temperaturstegring vid olika massflöden, vidare gäller:

Instrålning $\approx 800 \text{ W/m}^2$

Utetemperatur $\approx 27 \text{ }^\circ\text{C}$

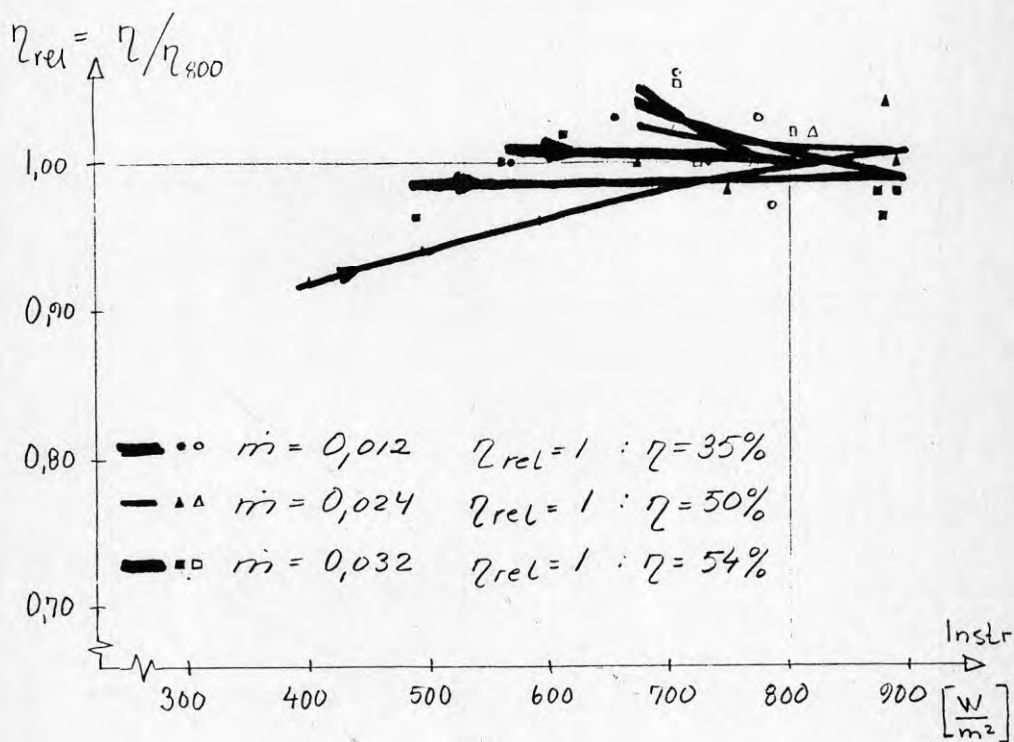


Diagram 3

Verkningsgradens variation med instrålad effekt.

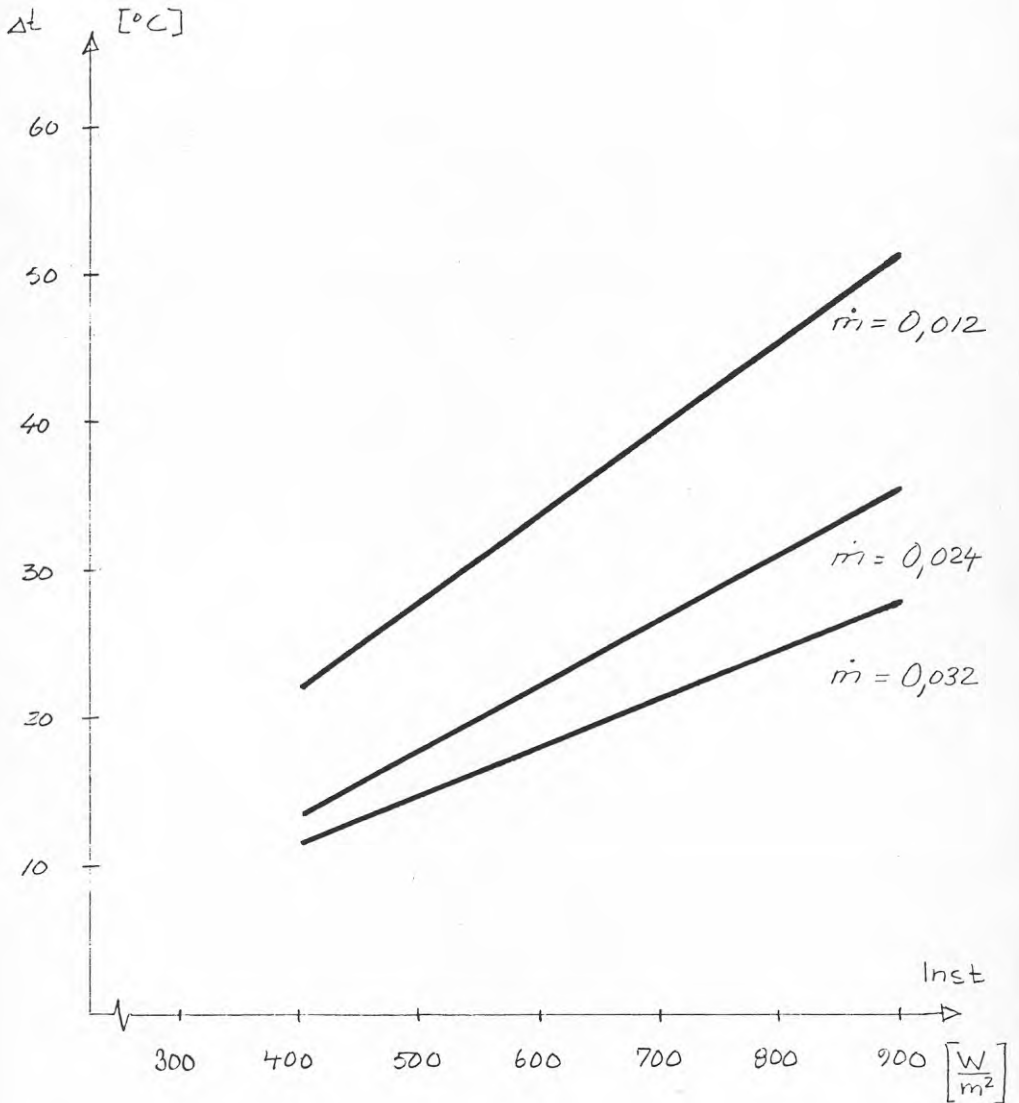


Diagram 4

Temperaturhöjning som funktion av instrålad effekt. 300 W representerar morgon och kväll medan 900 W representerar middagstid under klara dagar i juli månad.

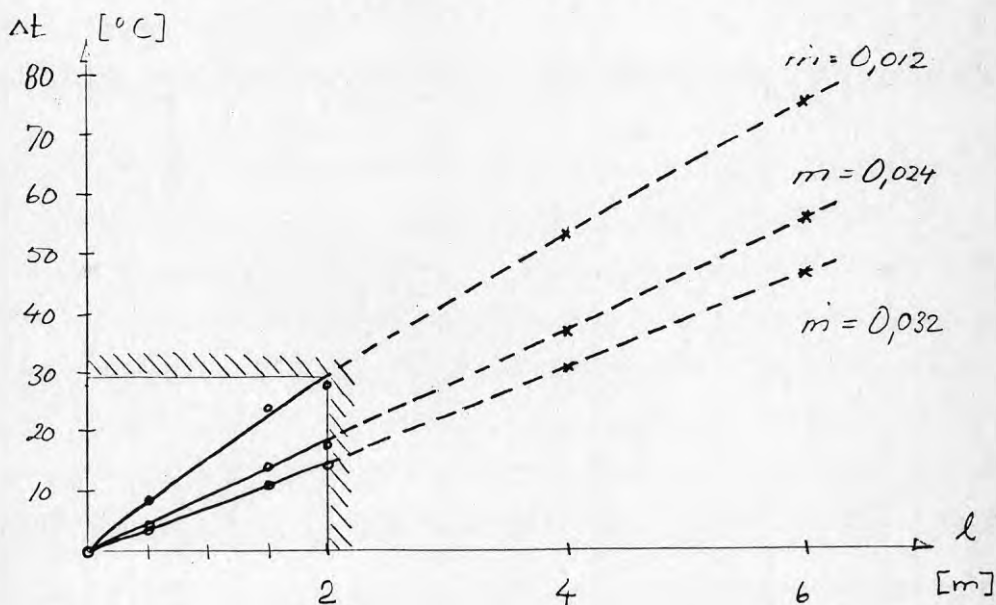


Diagram 5

Temperaturhöjningen som funktion av längden på solfångaren. Helt dragen linje markerar mätta värden medan streckad linje markerar linjär skattning.

Kurvorna gäller klockan 9.54 då instrålningen är omkring 500 W/m^2 .

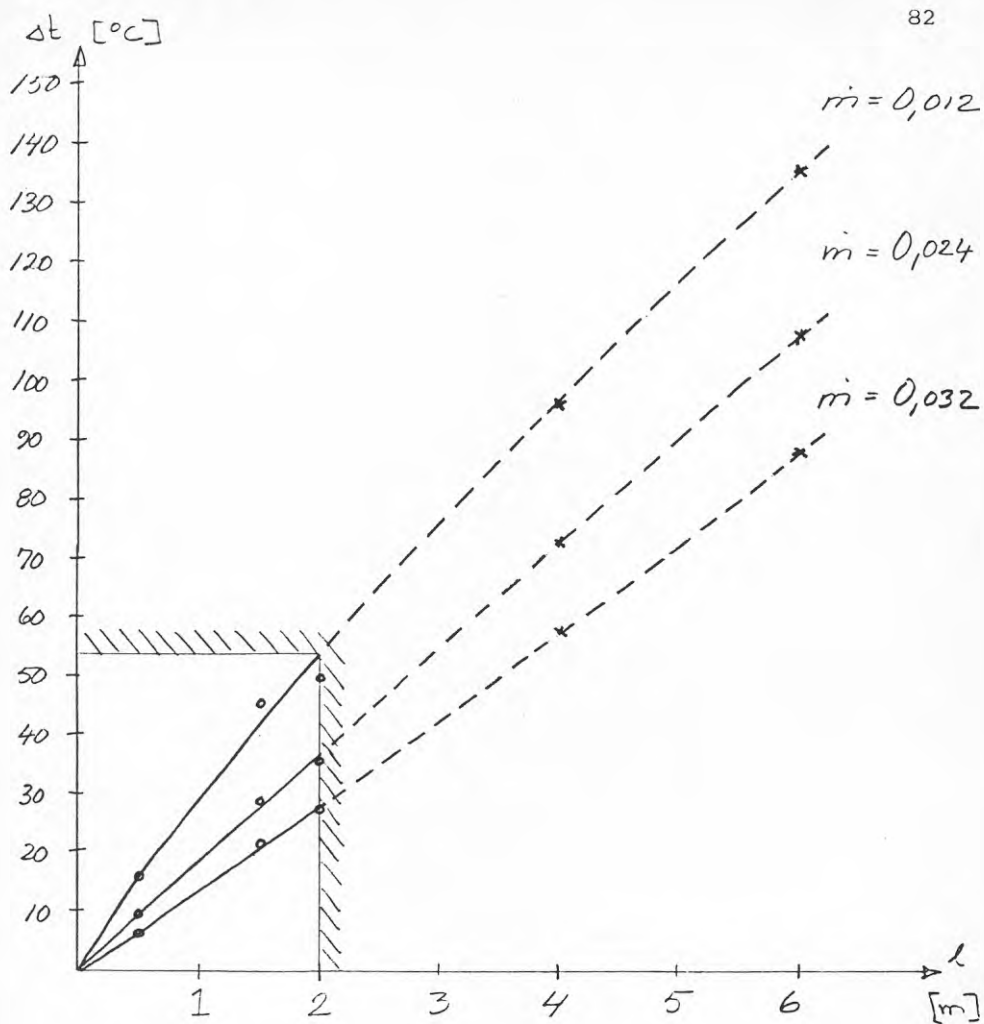


Diagram 6

Temperaturhöjningen som funktion av längden på solfångaren. Helt dragen linje markerar mätta värden medan streckad linje markerar linjär skattning.

Kurvorna gäller klockan 13.24 då instrålningen är omkring 850 W/m^2 .

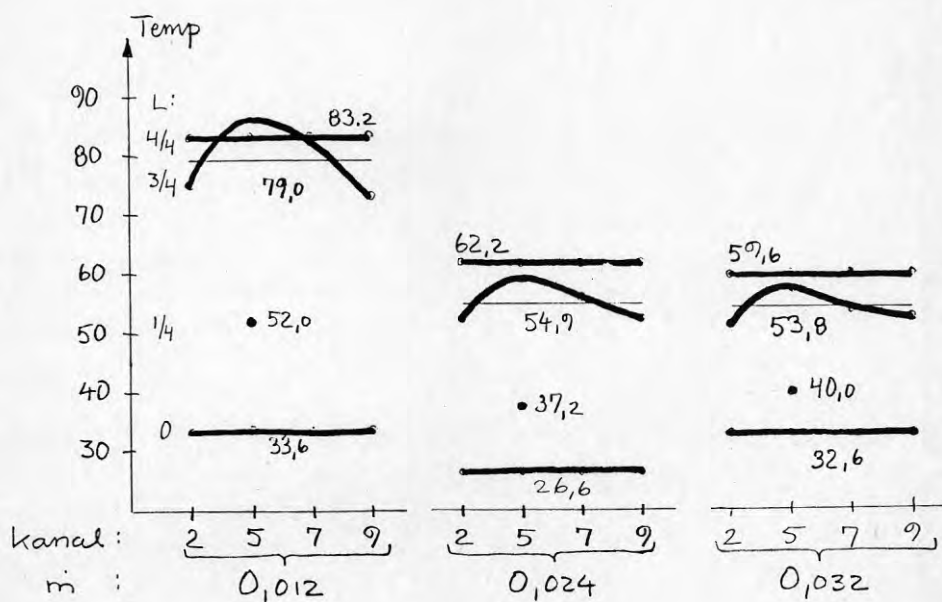
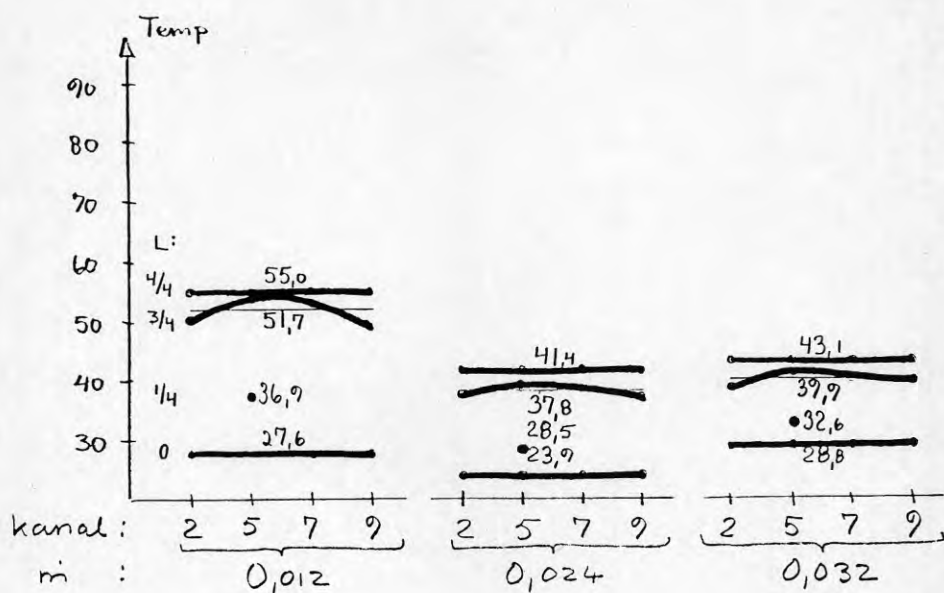


Diagram 7-8

Temperaturprofilen i solfångaren, dels klockan 9.54 och dels 13.24

($\dot{m} \approx 0,012 \text{ kg/s}$) $\sim 36 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 20°C

Verkningsgrader, temperaturhöjning, uttemperatur, effekter

Instr W/m ²	kl	t _{ute}	η	Δt	t _{ut}	Avgiven effekt W
	8 ⁵⁴		-			
	9 ²⁴		-			
(504)	9 ⁵⁴	23,7	(36%)	27,4	55,0	332
569	10 ²⁴	24,6	35	32,6	61,4	362
656	10 ⁵⁴	25,6	36	38,6	68,1	436
731	11 ²⁴	26,3	35	42,7	72,7	466
(811)	12 ⁵⁴	30,5	(35)	48,0	82,1	516
817	13 ²⁴	30,9	35	49,6	83,2	532
(788)	13 ⁴⁹	28,5	(34)	42,1	71,1	497
788	14 ²⁴	28,1	34	42,3	71,3	499
772	14 ⁵⁴	28,5	36	43,0	72,5	507
709	15 ²⁴	29,0	37	41,1	69,9	486
	15 ⁵⁴		-			

Instrålningsvärdet är medelvärdet under en kvart före klockslagen ovan.

Alla data ifrån 820715 utom 12⁵⁴ och 13²⁴ som är upptagna 820716.

820715 klart-disigt väder.

820716 klart väder.

($\dot{m} \approx 0,024 \text{ kg/s}$) $\sim 72 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 20°C

Verkningsgrader, temperaturhöjning, uttemperatur, effekter

Instr W/m^2	kl	t_{ute}	η	Δt	t_{ut}	Avgiven effekt W
(330)	8 ⁵⁴	19,7	(40%)	10,0	31,7	245
401	9 ²⁴	21,0	46	14,0	36,4	343
496	9 ⁵⁴	21,7	47	17,5	41,4	429
591	10 ²⁴	21,7	48	21,9	46,1	525
673	10 ⁵⁴	22,4	50	25,7	50,3	617
752	11 ²⁴	23,9	49	28,5	54,8	684
854	12 ⁵⁹	26,8	50	34,1	62,2	808
882	13 ²⁴	25,6	52	35,6	62,2	844
894	13 ⁵⁴	27,8	50	34,5	63,3	818
862	14 ²⁴	28,3	50	33,4	61,9	792
821	14 ⁵⁴	28,3	51	32,2	61,0	763
770	15 ²⁴	29,2	50	29,7	58,7	704
703	15 ⁵⁴	30,0	51	27,8	55,9	659

Instrålningsvärdet är medelvärdet under en kvart före klockslagen ovan.

Alla data ifrån 820714

820714 klart väder.

($\dot{m} \approx 0,032 \text{ kg/s}$) $\sim 96 \text{ m}^3/\text{h}$ vid 20°C

Verkningsgrader, temperaturhöjning, uttemperatur, effekter

Instr W/m ²	kl	t _{ute}	η	Δt	t _{ut}	Avgiven effekt W
	8 ⁵⁴					
(425)	9 ²⁴	23,7	(48)	11,7	40,0	375
496	9 ⁵⁴	23,9	51	14,3	43,1	461
488	10 ²⁴	23,4	52	14,5	42,8	468
564	10 ⁵⁴	26,6	54	17,4	45,7	561
614	11 ²⁴	26,6	55	19,2	50,1	617
872	12 ⁵⁴	27,3	53	26,8	59,2	847
884	13 ²⁴	27,1	53	27,0	59,6	859
878	13 ⁵⁴	28,5	52	26,5	59,6	837
709	14 ²⁴	30,0	57	23,1	53,8	744
803	14 ³⁹	30,2	55	25,5	57,5	806
795	15 ²⁴	27,8	54	24,5	56,6	786
724	15 ⁵⁴	26,6	54	22,6	54,5	726

Instrålningsvärdet är medelvärdet under en kvart före klockslagen ovan.

Alla data ifrån 820719 utom 9²⁴, 9⁵⁴, 12⁵⁴, 13²⁴ och 13⁵⁴ som är upptagna 820720.

820719 disigt-moln väder

820720 klart väder

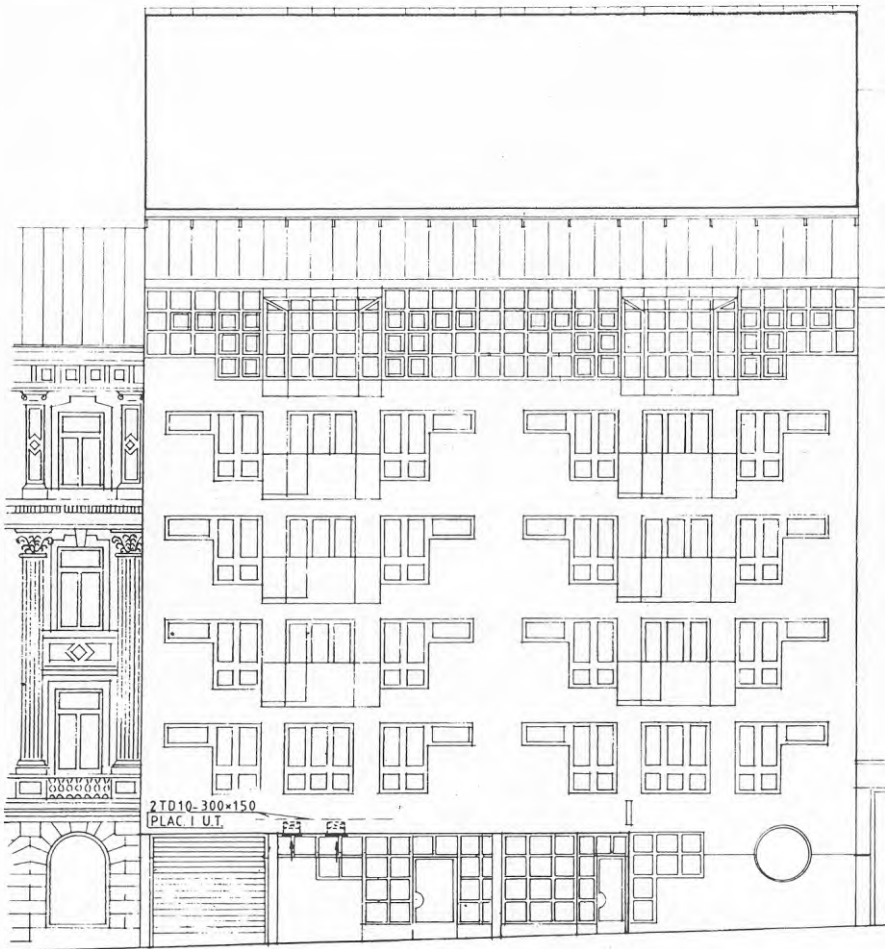
BILAGA 4Utdrag ur bygg och installationshandlingar Kv
Kejsaren 20Innehåll

1. Utdrag ur A-ritningar
 - fasader
 - sektioner

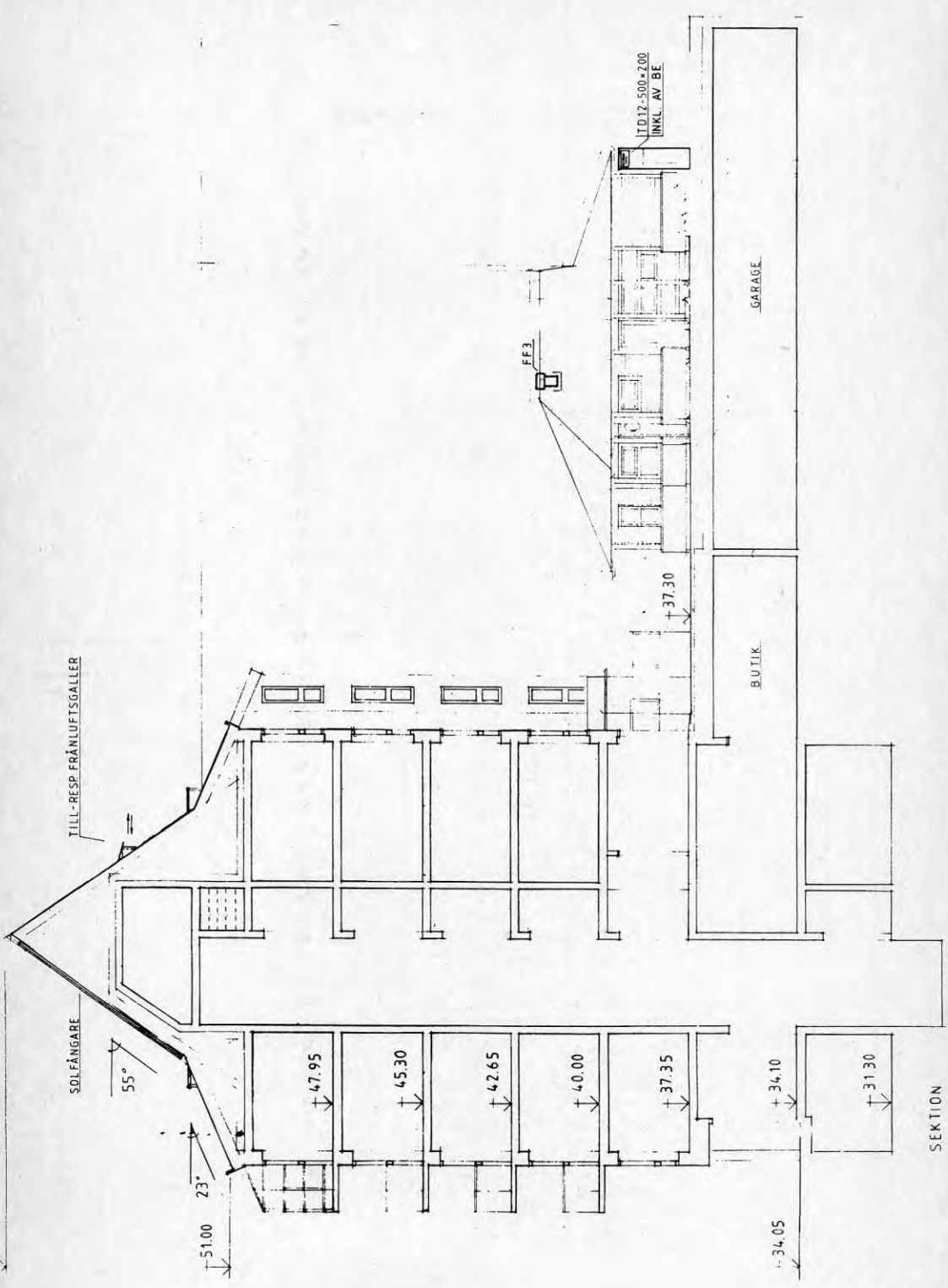
2. Utdrag ur VVS-ritningar
 - principschema vs och vent
 - luftvärmesystem: detaljer
 - solfångarkonstruktioner
 - bjälklag med hålskanalsregister

3. Utdrag ur K-ritningar
 - solfångaringlasning på tak
 - sektion genom yttervägg och vindsbjälklag

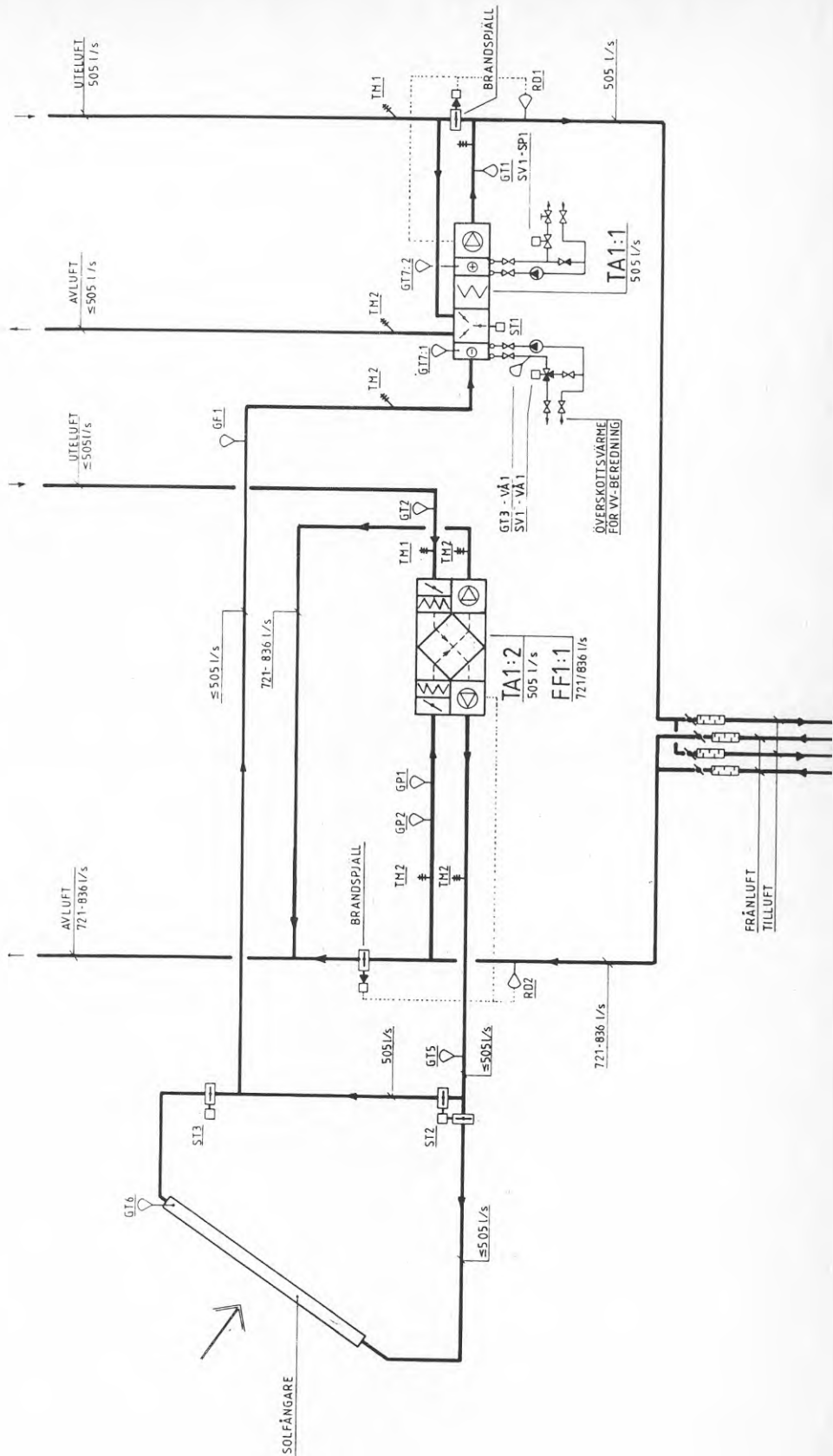
4. Styr och reglerbeskrivning

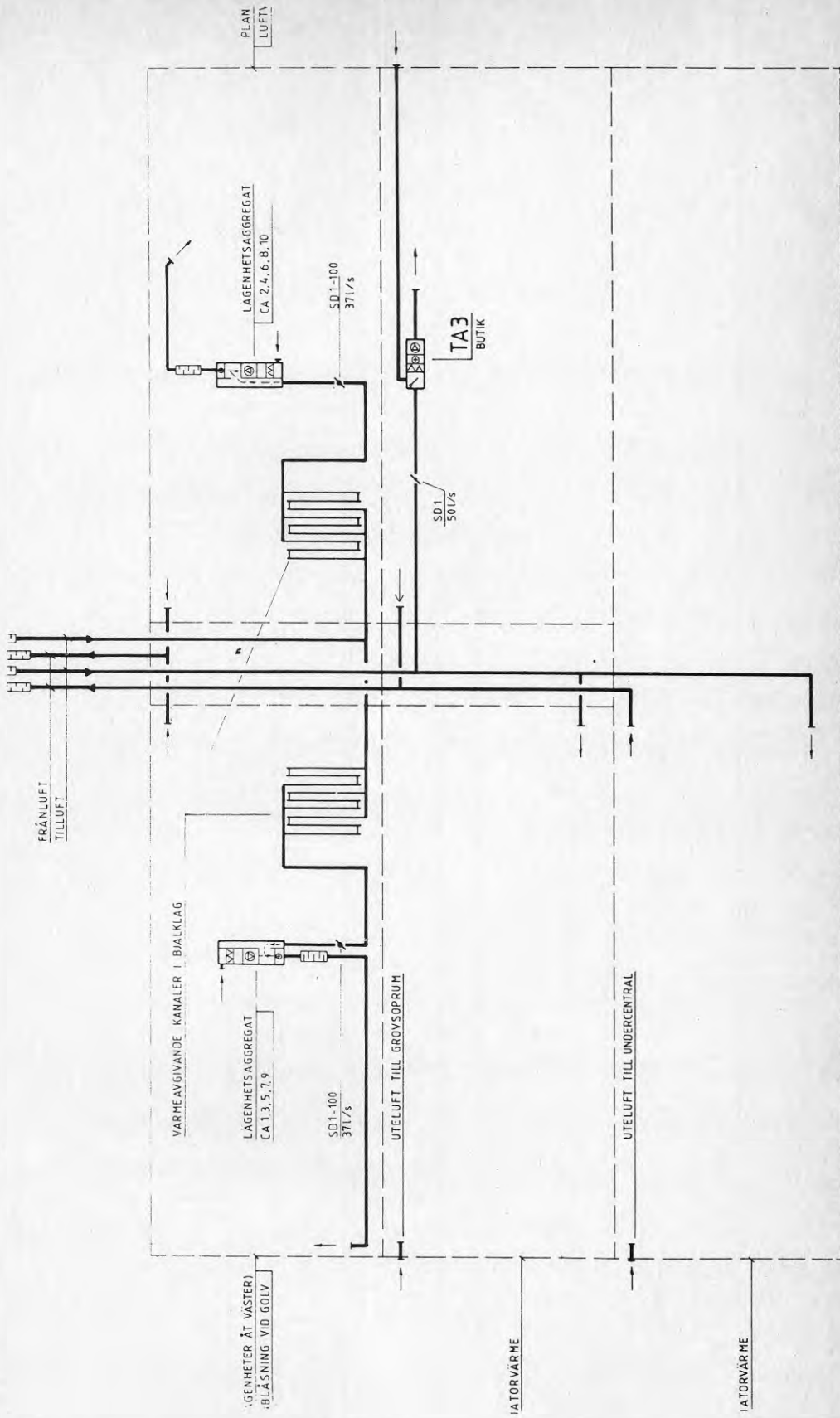


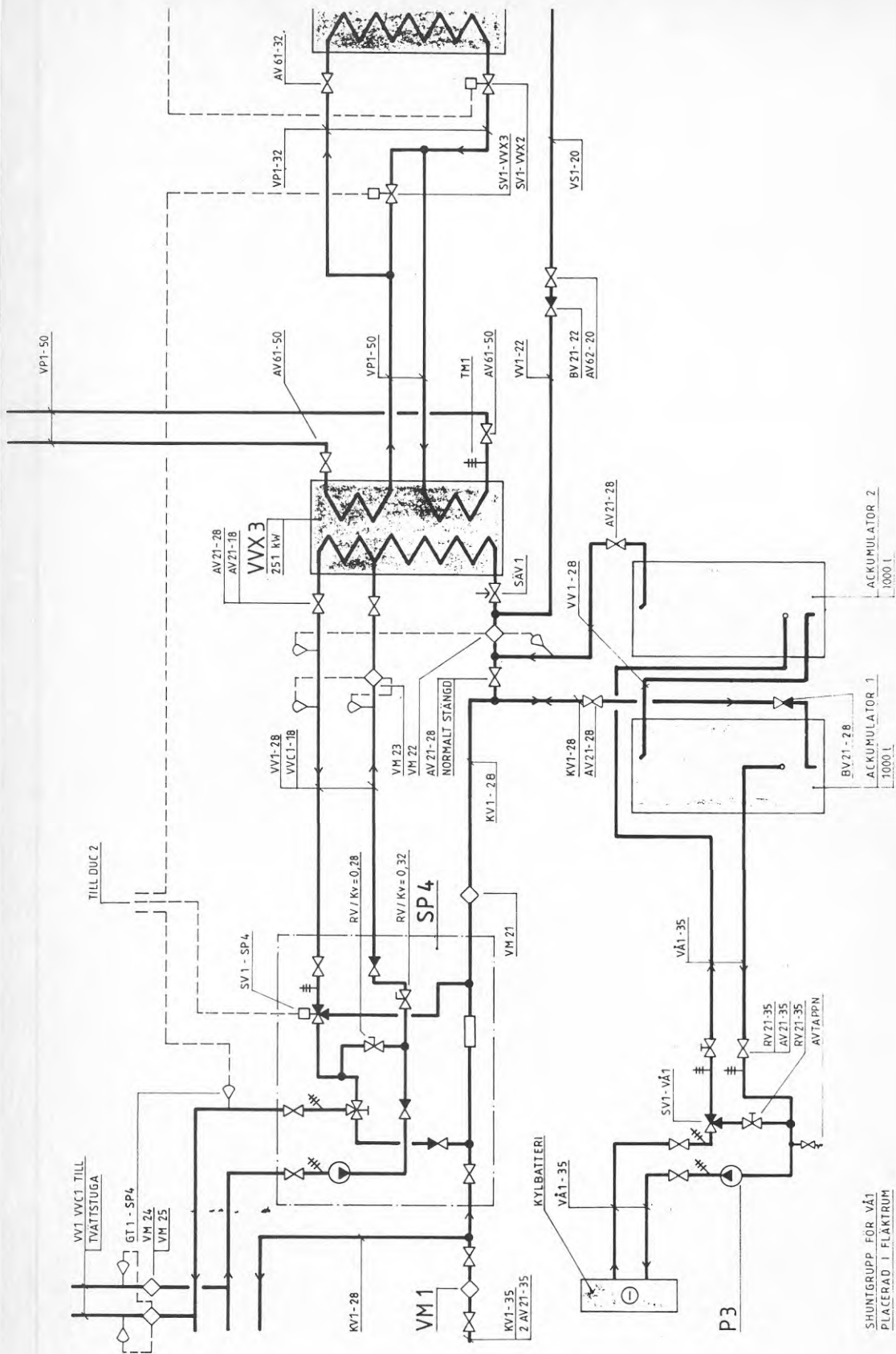
FASAD MOT SÖDER
HÖGBERGSGATAN



SEKTION



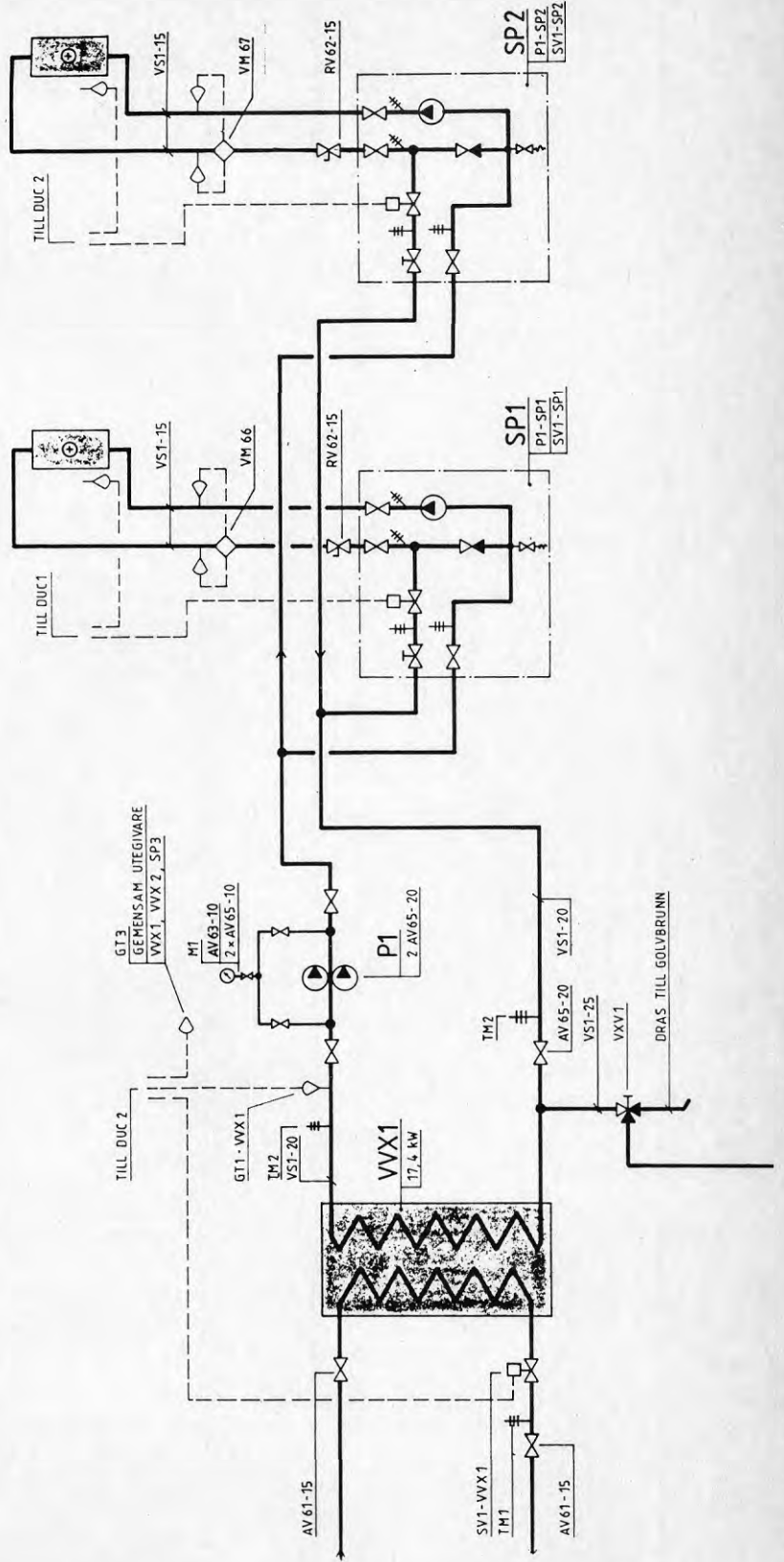


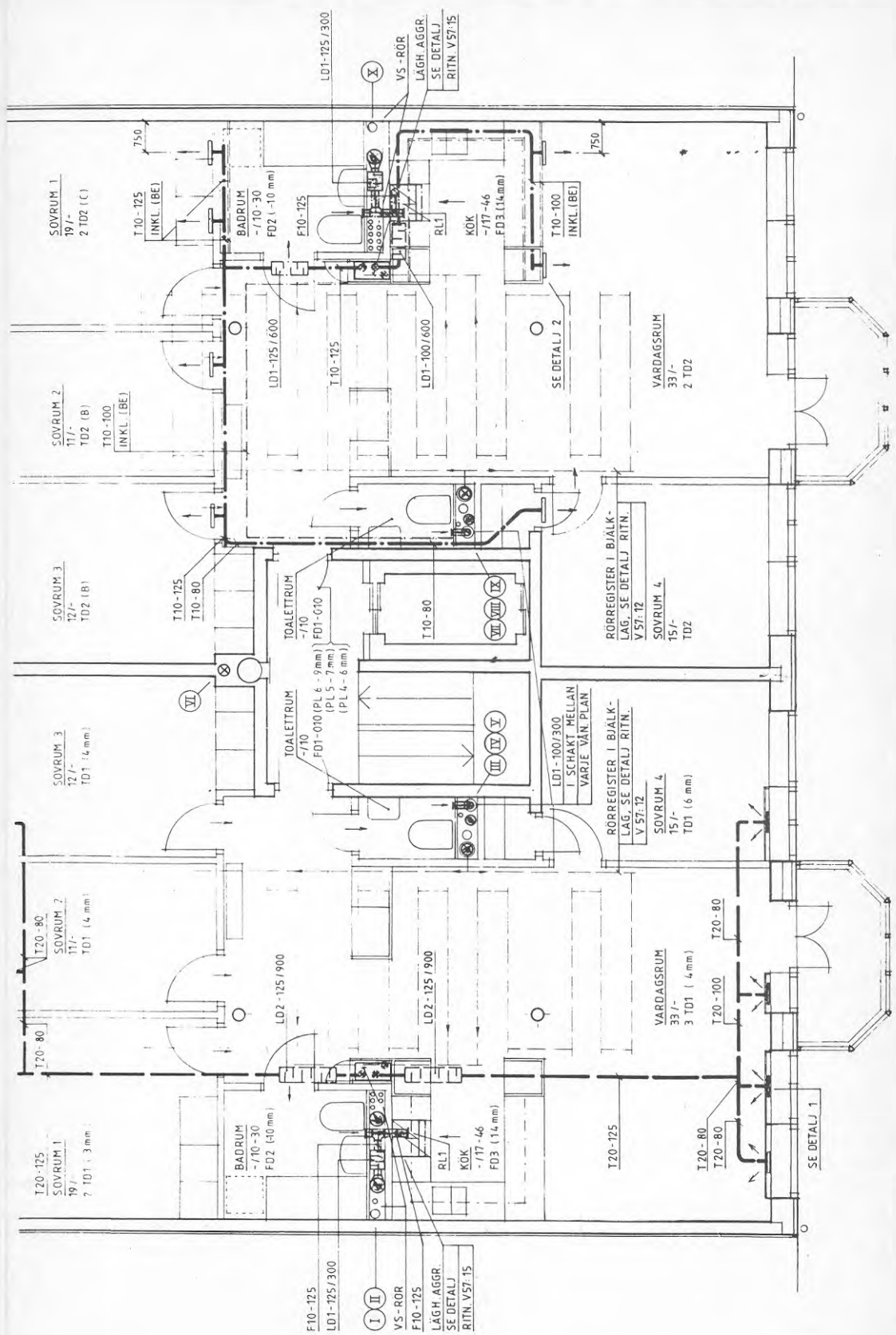


SHUNTGRUPP FÖR VÄ1
PLACERAD I FLÅKTRUM

TA1:1 CENTRALAGGREGAT (VENTI)
 9,6 kW
 PLACERAT PÅ VINDSPÄN

TA2 GARAGE
 7,8 kW
 PLACERAT I CYKELRUM PLAN 2





T20-125
SOVRUM 1
19/-
2 TD1 (3 mm)

T20-80
SOVRUM 2
11/-
TD1 (4 mm)

SOVRUM 3
12/-
TD1 (4 mm)

SOVRUM 3
12/-
TD2 (8)

SOVRUM 2
11/-
TD2 (8)
T10-100
INKL. (BE)

SOVRUM 1
19/-
2 TD2 (1)

BADRUM
- /10-30
FD2 (10 mm)

F10-125
LD1-125/300
VS-RÖR
F10-125
LÄGH. AGGR.
SE DETALJ
RITN. V57:15

TOALETTRUM
- /10
FD1-010 (PL 6 - 9 mm)
(PL 5 - 7 mm)
(PL 4 - 6 mm)

TOALETTRUM
- /10
FD1-010 (PL 6 - 9 mm)
(PL 5 - 7 mm)
(PL 4 - 6 mm)

BADRUM
- /10-30
FD2 (10 mm)

(I) (II)
VS-RÖR
F10-125
LÄGH. AGGR.
SE DETALJ
RITN. V57:15

LD1-100/300
I SCHAFT MELLAN
VARJE VÄN PLAN

RÖRREGISTER I BJÄLK-
LAG. SE DETALJ. RITN.
V57:12
SOVRUM 4
15/-
TD2

LD1-100/600
SE DETALJ 2

T10-100
INKL. (BE)

LD1-125/300
VS-RÖR
LÄGH. AGGR.
SE DETALJ
RITN. V57:15

T20-125

LD2-125/900

LD2-125/900

LD1-100/300

LD1-100/600

LD1-125/300

LD1-125/300

T20-80
T20-100

VARDAGSRUM
33/-
3 TD1 (4 mm)

SOVRUM 4
15/-
TD1 (6 mm)

SOVRUM 4
15/-
TD2

VARDAGSRUM
33/-
2 TD2

T10-100
INKL. (BE)

T10-125
INKL. (BE)

SE DETALJ 1

T20-80

T20-100

RÖRREGISTER I BJÄLK-
LAG. SE DETALJ. RITN.
V57:12

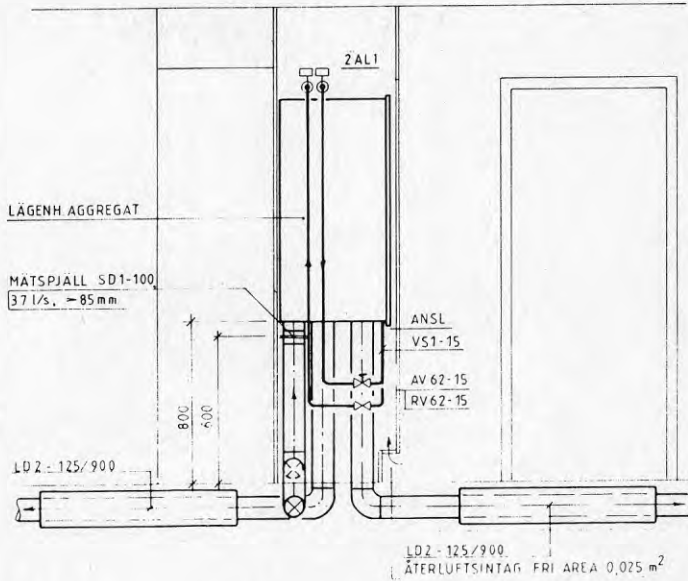
SOVRUM 4
15/-
TD2

VARDAGSRUM
33/-
2 TD2

T10-100
INKL. (BE)

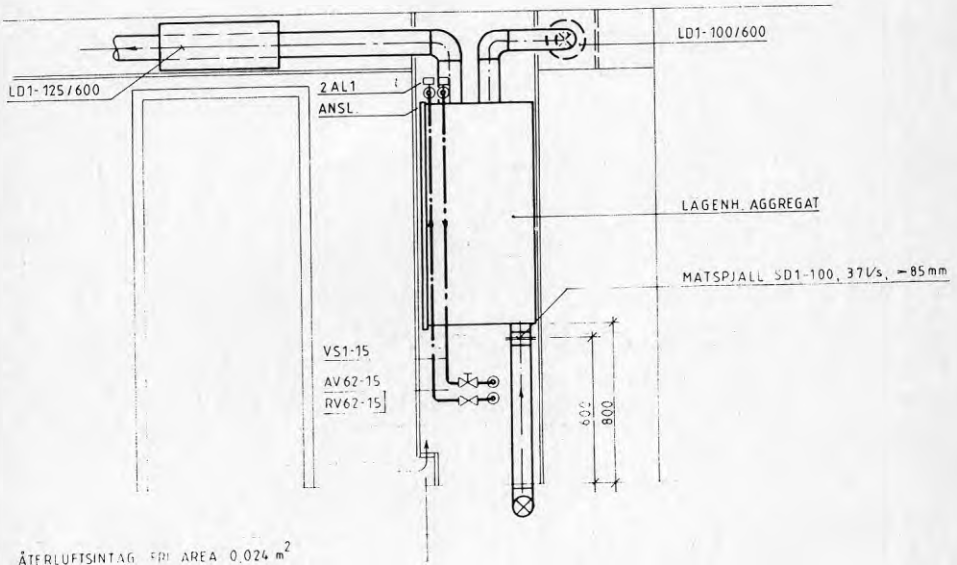
LD1-125/300
VS-RÖR
LÄGH. AGGR.
SE DETALJ
RITN. V57:15

DETALJ VISANDE LÄGENHETSAGGREGATS
PLACERING. SCHAFT RÖR- OCH KANAL-
DRAGNINGAR KRING AGGREGATEN.



SEKTION A—A

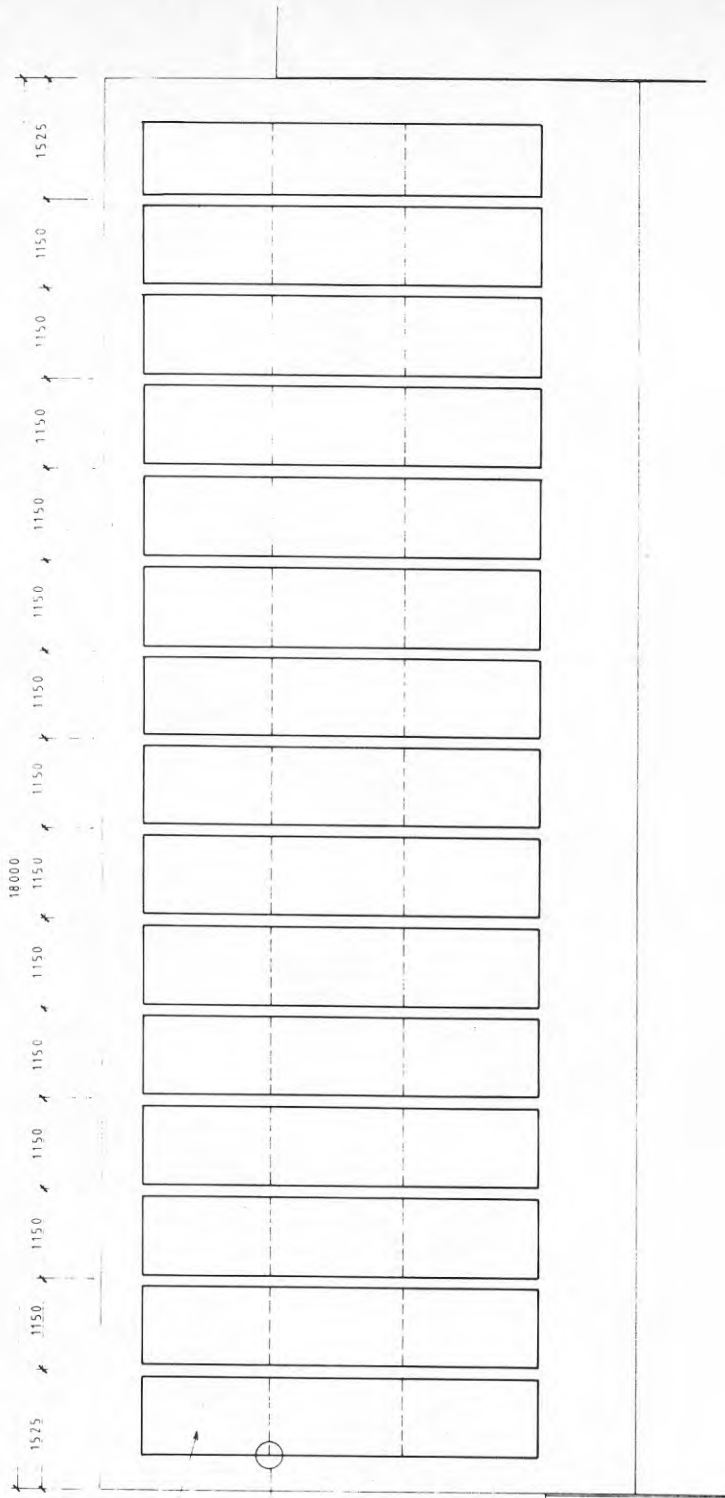
INBLÄSNING VID GOLV
LÄGENHET 1.3.5.7.9



ÅTERLUFTSINTAG FRI AREA 0,024 m²

SEKTION B—B

INBLÄSNING VID TAK
LÄGENHET 2.4.6.8.10



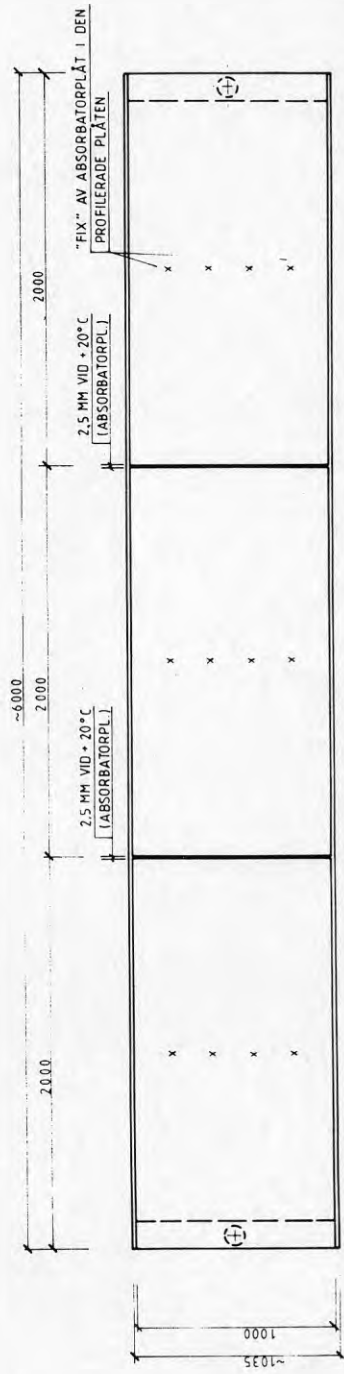
SOLFANGARMODULER
15 st

DETALJ 1

IAK FASAD MOT GATAN
1:50



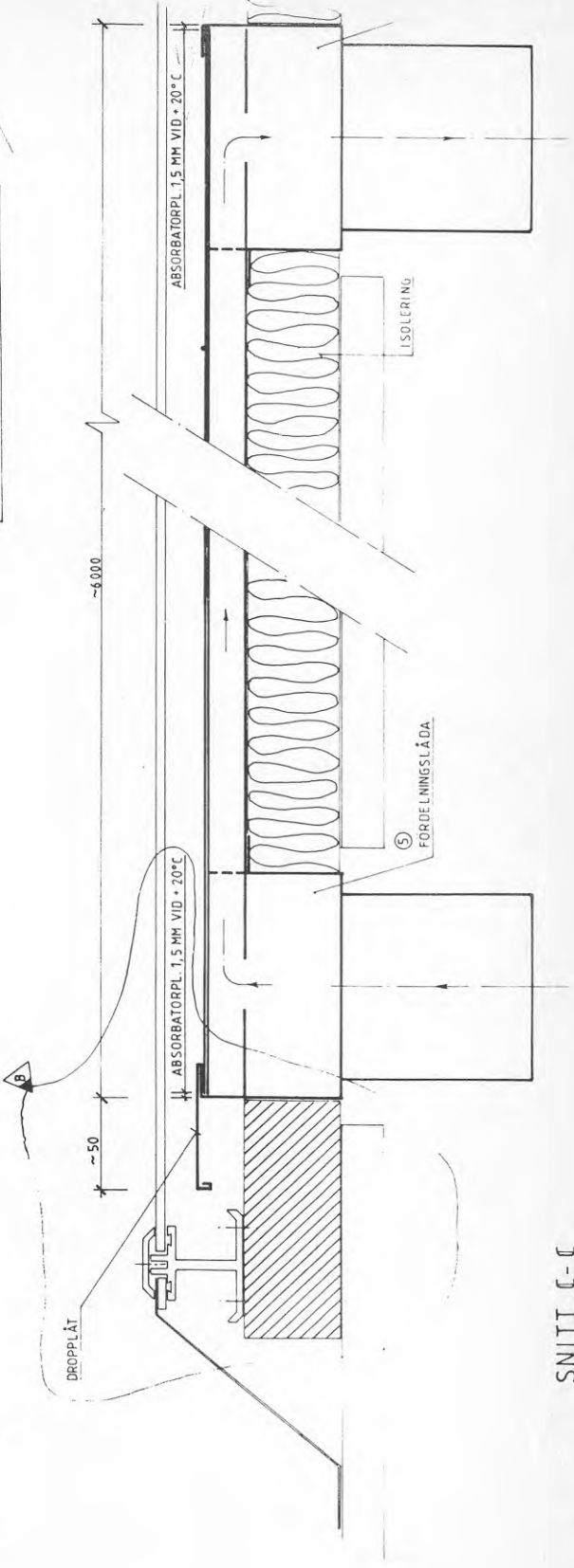
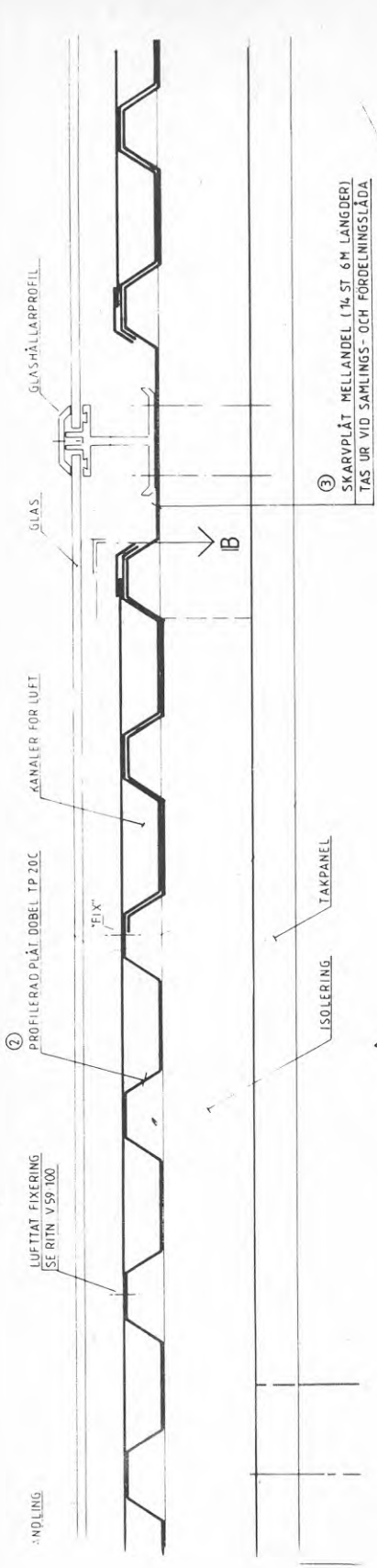
SEKTION



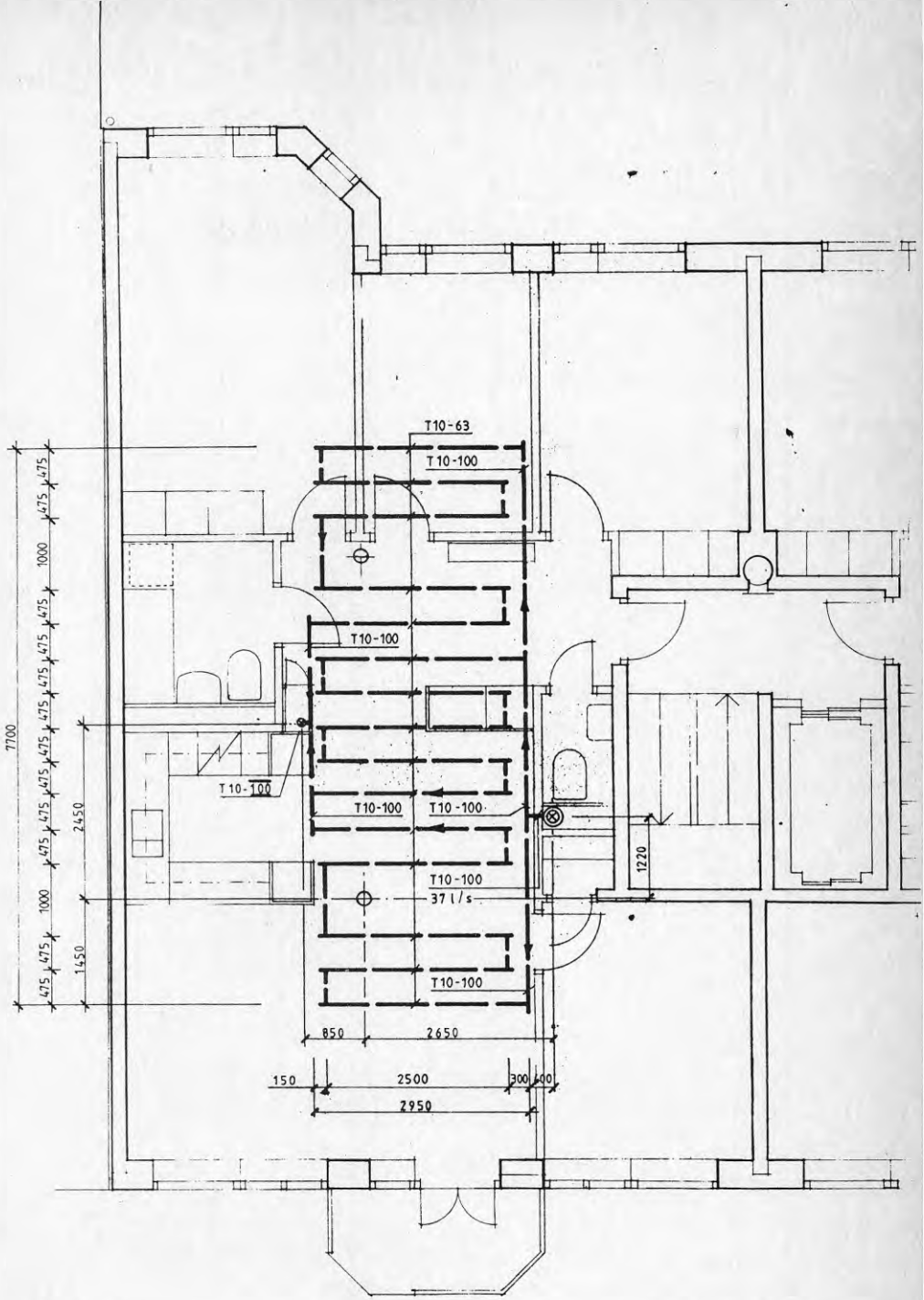
PLAN

SOLFÅNGARMODUL
 1:20

C <



SNITT C - C



15*1150*17250 (AVSER MÄTT & AL-PROFIL)

5MM HÄRDAT GLAS

L-40*20*3 ENL. SNITT f

a ←

b ←

c ←

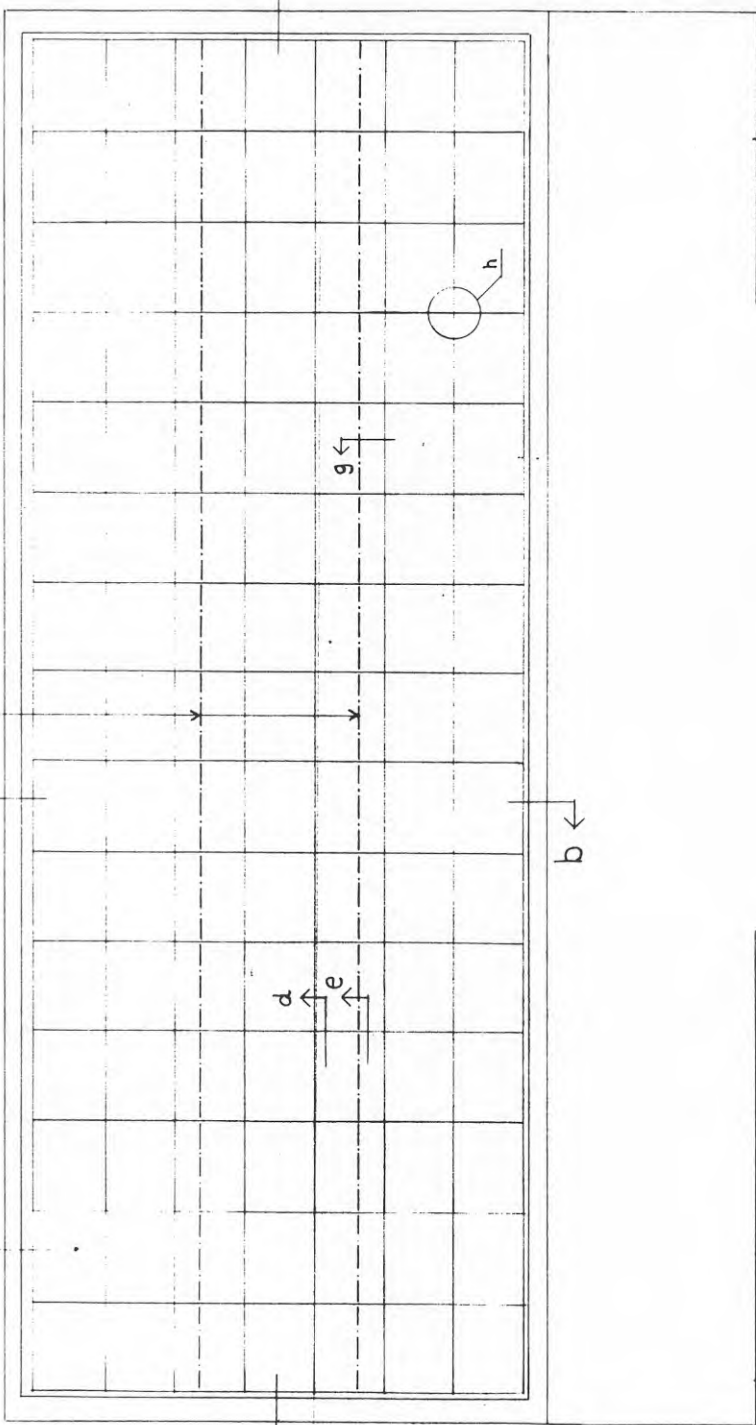
7*876*6132 (AVSER MÄTT & AL-PROFIL)

d ←

e ←

g ←

h

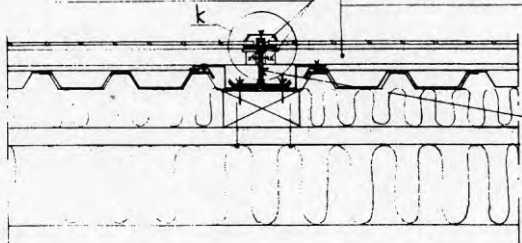


VY AV SOLFÅNGARE

-1:50-

OVALT HÅL, FÖRBADET
DRAS TILL ANLÄGNING
(FÖRSPÄNNES EJ) VAREFTER
LÄSNING GÖRS MED KÖRNSLAG

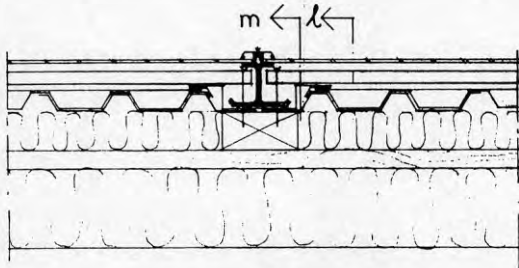
AL-PROFIL ENL. DETALJ 2. ÖVRE DEL
AV PROFILEN TAS UR OCH ENDAST LIVET
GÅR FRAM OCH FÄSTS TILL DEN ANDRA
AL-PROFILEN MED L-PROFILER AV ALU-
MINIUM OCH SKRUV



AL-PROFILEN DELAS UPP
I LÄNGDER AV 2,0 METER
MED 5 MM SPRINGA

SNITT d
-1:5-

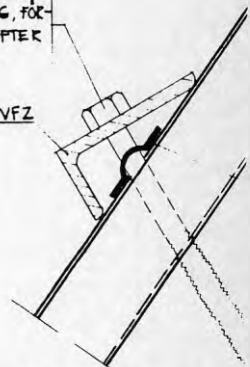
I ÖVRIGT SE SNITT c



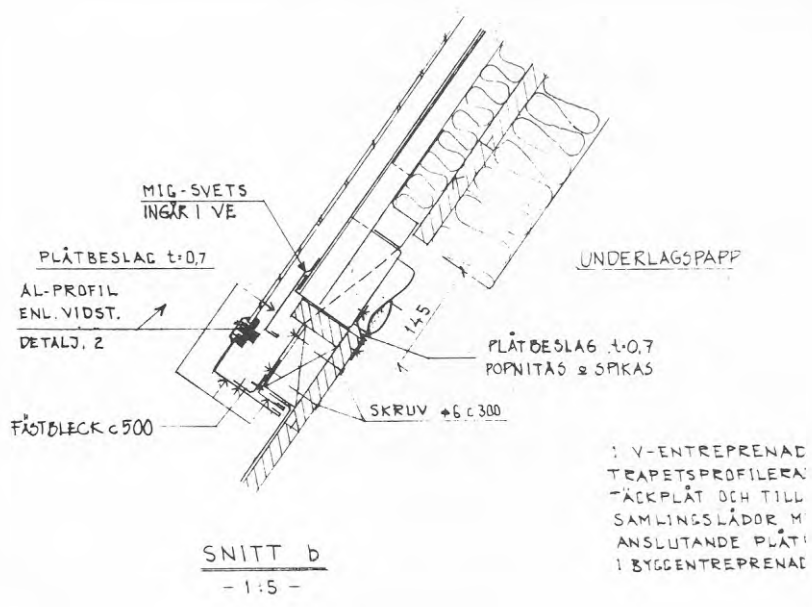
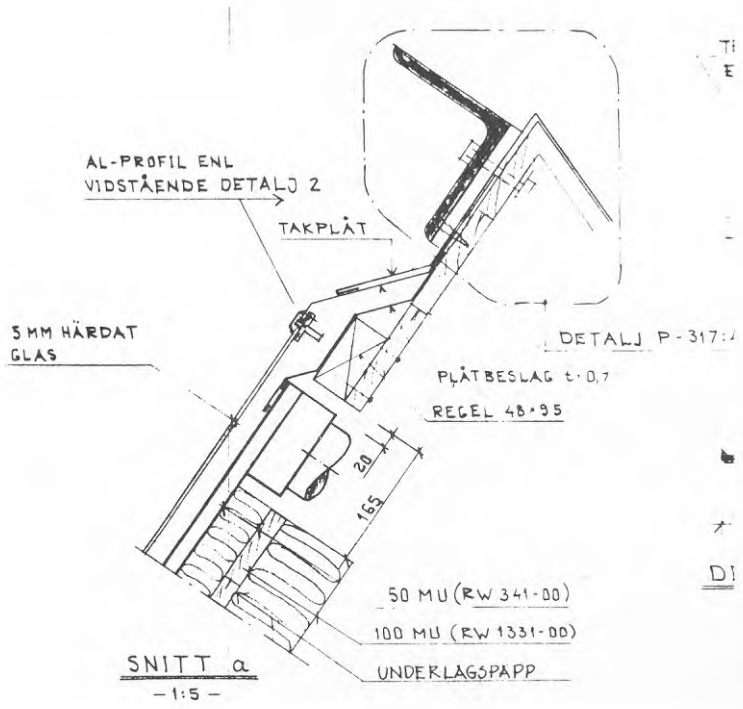
SNITT e
-1:5-

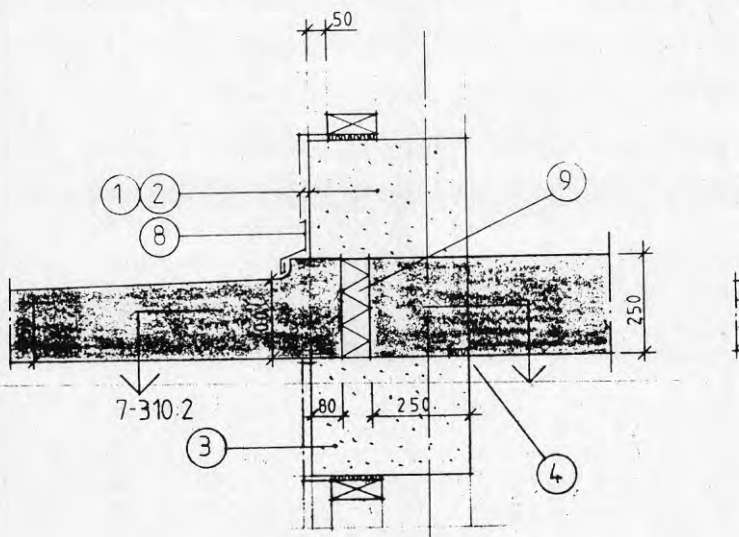
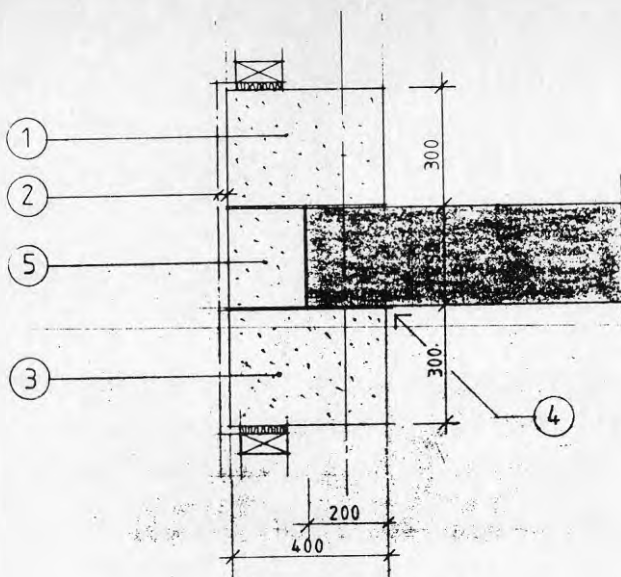
TRÄSKRUV Ø 6, DRAS
TILL ANLIGGNING, FÖR-
SPÄNNES EJ VAREFTER
LÄSNING GÖRS

L-40x20x3 VFZ



SNITT f
-1:1-





- ① LÄTTBETONG: TUNNFOGSBLOCK KVALITETSGRUPP 400, TJOCKLEK 400
- ② TRESKIKTSPUTS: ARMERAD MED FINMASKIGT NÄT. MASKSTORLEK 19, TRÄDTJOCKLEK 1,05. NÄTET FÄSTTS TILL UNDERLAGET MED AL-SPIK, ALT. FÖRZINKAD SPIK
- ③ LÄTTBETONG: BALK KVALITETSGRUPP 500, TJOCKLEK 400
- ④ CELLPLAST: REMSA 50 X 12
- ⑤ LÄTTBETONG: PASSBIT SOM MOTGJUTS, KVALITET 400, TJOCKLEK 200
- ⑥ 50 MINERALULL, MOTGJUTNINGSSKIVA RW 337-00 EL LIKV.
- ⑦ LÄTTBETONG: PASSBIT SOM MOTGJUTS, KVALITET 400, TJOCKLEK 200 / UPPLAG FÖR LÄTTBETONGBALKAR
- ⑧ BESLAGNING ENL ARK.RITN
- ⑨ 70 CELLPLASTBITAR L = 240, H = 250

FUNKTION SOLVÄRMEANLÄGGNING TAL

Temperaturgivare GT 1 - monterad i tilluftkanal - reglerar vid värmebehov via DUC 1 att i sekvens stänga spjäll för uteluft via spjällmotor ST 1, stänga styrventil SV 1 - VÅ 1 för värme till varmvattenackumulatorn, samt därefter via variabel temperaturdifferens för neutralzon öppna styrventil SV 1 - SP 1. Vid kylbehov omvänd funktion. Börvärde MV 2:20°C. Då drifttemperatur (enligt nedan) = 0°C sänks börvärdet för SV 1 - VÅ 1 till +15°C.

Under nattetid mäter temperaturgivare GT 2 - monterad i uteluftintag - via DUC 1 medeltemperaturen för natten. Det uppmätta värdet för natten ställer in den variabla neutralzonen proportionellt till utetemperaturen så att vid fallande temperatur ökas temperaturdifferensen för neutralzonen. Börvärde neutralzon: medeltemperatur +15°C. Differens-temperatur 0°C. Medeltemperatur -20°C, differens-temperatur 10°C.

När temperaturgivare GT 3:s temperatur i returvattenledning från luftkylningsbatteri understiger temperaturdifferensen till temperaturgivare GT 4 - monterad i varmvattenackumulatorn - så stängs via DUC 1 styrventil SV 1 - VÅ 1 för värme till ackumulatorn. Börvärde GT 3, GT 4: 2°C.

När temperaturgivare GT 6 - monterad i solfångare - avkänner en temperaturdifferens mot temperaturgivare GT 5:s temperatur i luftkanal efter tilluftsfläkt TA 1:2 som är högre än inställt värde öppnar via DUC 1 spjällställdon ST 2 spjäll för luftpassage genom solfångare. Börvärde GT 6, GT 5: +5°C. Om temperaturgivare GT 6 avkänner en lägre inställd differens-temperatur mot temperaturgivare GT 5 så stänger spjällställdon ST 2 spjäll mot solfångare. Börvärde GT 6, GT 5: +1°C.

I driftfallet där ställdon ST 1 öppnar spjäll mot uteluft, dels där ställdon ST 2 har öppnat spjäll mot solfångare samt dels där styrventil SV 1 - VÅ 1 är stängd mot varmvattenackumulatorn styrs via DUC 1 fläkt TA 1:2 så att flödet minskas steglöst tills SV 1 - VÅ 1 börjar öppna dock till lägst 25 procent av normflöde.

Då ST 1 är stängd för uteluft konstanthålls normflödet (505 l/s) i tilluftskanal före kylbatteriet via GF 1.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
811814-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till Stockholms kommun, Stockholm.**

R168: 1984

ISBN 91-540-4268-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704168

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 40 kr exkl moms