



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

R58:1986

Ventisolering

Prov i klimatkammare

**Per-Olof Carlson
Jan Sjölund
David Södergren**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

K/O
A

Byggeforskningsrådet

R58:1986

VENTISOLERING

Prov i klimatkammare

Per-Olof Carlson
Jan Sjölund
David Södergren

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811197-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson
Ingenjörbyrå AB, Stockholm.

REFERAT

Ventisolering är en konstruktionsprincip som består i att en byggnads klimatskal uppdelas i två skikt. Genom den luftspalt som sålunda bildas tas erforderlig ventilationsluft in. Denna blir då förvärmad av transmissionsenergin genom innerskiktet. Vid behov värms luften ytterligare i en speciell uppvärmningsanordning i golvet.

Projektets syfte är att undersöka möjliga besparingar i bygg-, drift- och underhållskostnader. I en inledande etapp har mätningar gjorts i en klimatkammare på en våningshöghö provvägg. Mätningarna har dels avsett luftspaltens, dels uppvärmningsanordningens funktion.

Proven i klimatkammare visar att principen fungerar väl, att luftspaltens effekt motsvarar en sänkning av k-värdet från 0,27 till 0,17 och att energibesparingen uppgår till ca 10 kWh/m² yttervägg och år.

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

R58:1986

ISBN 91-540-4581-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

	sid.
INNEHÅLLSFÖRTECKNING	3
FÖRORD	5
SAMMANFATTNING	7
1. INLEDNING	9
1.1 Bakgrund	9
1.2 Konstruktionsprinciper	10
1.3 Tekniska och ekonomiska möjligheter	10
1.4 Utvecklingsprojektet Ventisolering	13
2. PROVVÄGG MED MÄTANORDNINGAR	15
2.1 Provväggens utseende och konstruktion	15
2.2 Mätanordningar	18
2.3 Mätnoggrannhet	22
3. MÄTNINGAR	23
3.1 Bestämning och motivering av parametervärden	23
3.2 Mätpunkter	24
3.3 Mätningarnas genomförande	24
4. MÄTRESULTAT	27
4.1 Allmänt	27
4.2 Provvägg med 40 mm luftspalt	28
4.3 Provvägg med 25 mm luftspalt	38
5. UTVÄRDERING	47
5.1 Teoretisk diskussion	47
5.2 Energibesparing, k-värden	51
5.3 Förvärmning av tilluft, operativ temperatur	55
5.4 Placering av luftintag och tilluftskanal	57
5.5 Temperatur vid värmare	57
5.6 Slutord med förslag till fortsatt arbete	58
LITTERATUR	61

FÖRORD

Ventisolering är en konstruktionsprincip där ventilation och värmeisolering samverkar på ett tekniskt och ekonomiskt intressant sätt så att den traditionella gränslinjen mellan byggnadsteknik och VVS-teknik suddas ut. Principen innebär i korthet att en byggnads klimatskal uppdelas i två skikt och att genom den luftspalt som bildas tas tilluften in i byggnaden. I denna rapport redovisas etapp 1 av projektet omfattande prov i klimatkammare.

Projektarbetet har utförts som ett samarbetsprojekt mellan ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab och Bengt Dahlgren Stockholm ab. Proven i klimatkammare har gjorts vid institutionen för konstruktionslära, KTH, Stockholm. Arbetsgruppen har bestått av följande personer.

Per-Olof Carlson	projektledare
ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab	

Jan Hallberg	mätningar
Konstruktionslära, KTH	

Mikael Sievertzon	utvärdering
ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab	

Jan Sjölund	byggteknik
ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab	

David Södergren	VVS-teknik
Bengt Dahlgren Stockholm ab	

Värdefulla synpunkter på arbetet har lämnats av Tor Göran Malmström, institutionen för värme- och ventilationsteknik, KTH, samt Mats Sandberg, Byggforskningsinstitutet i Gävle. För utskriften har svarat Karin Bergström vid ARNE JOHNSON Ing.byrå.

Till alla dem som på olika sätt medverkat till projektarbetet och rapportens tillkomst vill jag rikta ett varmt tack.

Stockholm i januari 1986
Per-Olof Carlson

SAMMANFATTNING

Ventisolering är en konstruktionsprincip som består i att en byggnads klimatskal uppdelas i två skikt över hela eller större delen av byggnaden. Skalen ligger på några centimeters avstånd från varandra. En viktig del utgör vidare ett tudelat fönster där en eller två rutor hör till det yttre skiktet och resten till det inre. Se figur 1.1.

Genom den luftspalt som på detta sätt bildas mellan skikten tas erforderlig ventilationsluft in. Den blir härvid förvärmad genom att den tar upp en del av den transmissionsenergi som strömmar genom innerskiktet. Samtidigt finns förutsättningar för att ventilationsluften värms genom solstrålningen utifrån.

Som ett okonventionellt uppvärmningsalternativ, särskilt lämpat för bostäder, har studerats uppvärmning med förvärmad uteluft. Erforderlig luftmängd förs in i byggnaden rumsvis via inreglerade ventiler. För att lufttemperaturen inte skall svänga för mycket leds luften genom en exponerad obrännbar byggnadsdel med stor värmekapacitet. Denna fungerar som hjälpradiator, strålningsvärmare och lager. Se figur 1.2.

Projektets syfte är att undersöka vilka besparingar i bygg-, drift- och underhållskostnader som man skulle kunna uppnå genom den speciella utformning som skisserats av klimatskal och system för ventilation och uppvärmning. För att förverkliga detta syfte har i en inledande etapp gjorts prov i en klimatkammare. Dessa prov består i huvudsak av två delar. Den första avser luftspalten och dess funktion, den andra uppvärmningsanordningens funktion.

Provresultaten för den första delen visar bl a att

- o det yttre skiktet bör ges en relativt god värmeisolering
- o spaltvidden 25 resp 40 mm inte kan utläsas ha någon effekt på energibesparingen
- o luftspaltens effekt på väggens k-värde motsvarar en sänkning från 0,27 utan spalt till 0,17 W/m² K med spalt

- o energibesparingen uppgår till ca 10 kWh/m² yttervägg och år. Kostnaden för att anordna luftspalten bör kunna begränsas till högst 25 kr/m², dvs investeringskostnaden blir högst 2,50 kr/(kWh/år) vilket synes vara lönsamt.

Syftet med den andra delen av försöket, test av uppvärmningsanordningens funktion, har varit att undersöka om man med en uppvärmningsanordning av enklaste slag kan åstadkomma ett gott inomhusklimat utan komplicerade installationer och styrmekanismer. Provresultaten visar att detta är möjligt. Inte ens vid helt strypt lufttillförsel uppstod några besvärande höga temperaturer.

Provresultaten stämmer väl med teoretiska beräkningar med en förenklad datormodell. Vidare synes provresultaten vara intressanta såväl tekniskt som ekonomiskt. Proven i klimatkammaren föreslås därför fortsättas av en förprojektering inför ett efterföljande experimentbyggande.

1. INLEDNING

1.1 Bakgrund

För att en byggnad skall ge ett acceptabelt inomhusklimat ställs krav på innetemperatur och luftkvalitet. För att motsvara dessa krav är det nödvändigt att byggnadens klimatskal ges viss täthet och värmeisolering samt att byggnaden förses med anordningar för uppvärmning och ventilation. Dessa funktioner kan åstadkommas på olika sätt. Det är inte givet att de bästa lösningarna med hänsyn till investering, nyttjande, drift och underhåll nås genom att varje funktion ges en speciell teknisk lösning, utarbetad av en viss yrkeskategori.

Av tradition och slentrian har dock åtgärder för att få kontroll av dessa funktioner i de flesta sammanhang varit uppdelade på bygg och VVS. Byggnadsteknikern har svarat för husets värmeisolering och täthet medan VVS-teknikern har behandlat luftväxling och värmetransport. Även om informationen mellan dem har fungerat bra så har särbehandlingen inneburit att tekniska lösningar som inte passar in i denna tudelning har kommit på undantag. Incitamenten och orken att suddas ut denna gränslinje har inte varit tillräckliga. Detta har medfört att man i stor utsträckning har missat chansen till fördelaktiga samverkanslösningar.

Hos ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab har vi sedan 1981 arbetat med en konstruktionsprincip där ventilation och värmeisolering samverkar på ett intressant sätt så att den traditionella gränslinjen mellan byggnadsteknik och VVS-teknik suddas ut. En byggnad utformad enligt denna princip kan konstrueras med nya, okonventionella och fördelaktiga samverkanslösningar.

Vi har inom vårt företag under en följd av år och från olika utgångspunkter utvecklat många av de byggnadsdelar och studerat flera av de fysikaliska och ekonomiska sammanhang som är av intresse för konstruktionsprincipen. En konsekvent tillämpning av den för en hel byggnadskropp innebär dock relativt genomgripande förändringar i dagens tänkesätt och projekteringsmetodik. Vidare

får samarbetet mellan byggtekniker och VVS-tekniker avgjort ändrade spelregler.

Mot denna bakgrund har vi tillsammans med Bengt Dahlgren Stockholm AB utarbetat följande förslag till utvecklingsprojekt benämnt "VENTISOLERING".

1.2 Konstruktionsprincipen

Principen består i att en byggnads normala klimatskikt uppdelas i två ogenombrutna skikt över hela eller större delen av byggnaden. Skikten ligger på några centimeters avstånd från varandra. En viktig del utgör vidare ett tudelat fönster där en eller två rutor hör till det yttre skiktet och resten till det inre. Se figur 1.1

Genom den luftspalt som på detta sätt bildas mellan skikten tas erforderlig ventilationsluft in. Den blir härvid förvärmad genom att den tar upp en del av den transmissionsenergi som strömmar genom innerskiktet. Samtidigt finns förutsättningar att värma ventilationsluften genom solstrålningen utifrån.

1.3 Tekniska och ekonomiska möjligheter

Konstruktionsprincipen är generellt sett tillämpbar på alla typer av byggnader såsom bostäder, kontor och industrier. Den kan utnyttjas vid såväl nyproduktion som ombyggnad av befintliga byggnader. I det senare fallet innebär den befintliga huskroppen lösningar och begränsningar som är till nackdel vid en grundläggande utveckling av principen. Det har därför ansetts lämpligt att inledningsvis koncentrera intresset till nybyggnad. Härigenom kan de mest fördelaktiga lösningarna bli åtkomliga. Projektet bortser därför t v från de komplikationer som tillkommer vid ombyggnad av befintliga hus.

Utvecklingen under den senaste 10-årsperioden har inneburit att en allt större andel av boendekostnaden faller på drift och underhåll. Samtidigt har olika undersökningar visat att den snabba ökningen av bostadsbeståndet genom det s k miljonprogrammet

har inneburit stora brister som nu måste rättas till.

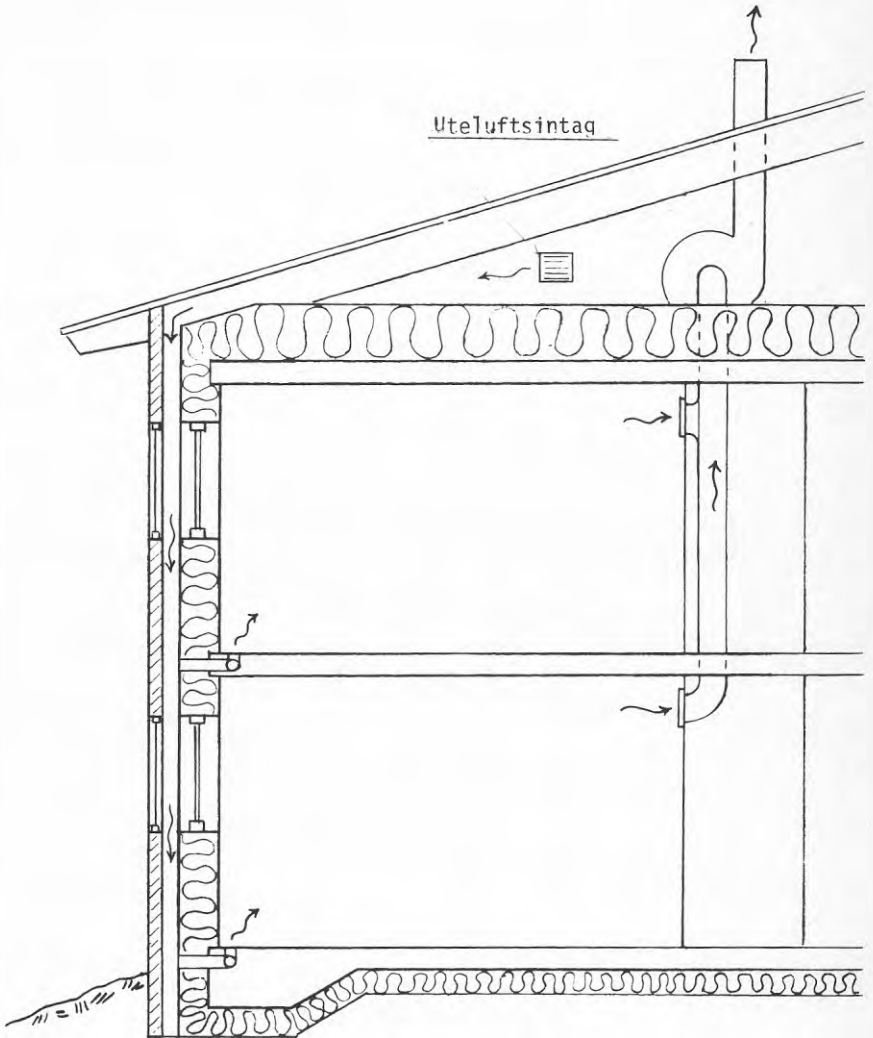
De kraftigt höjda drift- och underhållskostnaderna förklaras bl a av de drastiskt ökade priserna på energi och arbete, samt av nya material med otillräckligt kända egenskaper. Förutsättningarna för byggnadsteknisk och installationsteknisk utformning av byggnader har härigenom avsevärt förändrats. Det framtida byggandet måste anpassas till denna förändrade situation. Trenden mot allt högre drift- och underhållskostnader måste brytas.

Det föreslagna projektet innebär en del i en sådan anpassningsprocess. Den princip som projektet bygger på har en stor inneboende kraft och avsevärda möjligheter till intressanta förgreningar i detta hänseende. De tekniska och ekonomiska fördelar som skulle kunna vinnas vid nyproduktion berör främst byggnadsteknik, energihushållning, ventilation och uppvärmning.

Byggnadstekniskt innebär principen att väderberoende rörelser hos ytterskiktet i minsta möjliga utsträckning fortplantas till innerskiktet. Dessutom bör detta medföra att dagens kostnader för fukt- och mögelskador samt för målningsunderhåll kan minskas.

När det gäller energihushållning innebär en tillämpning av principen att transmissionsförlusterna kan minskas och att solvärmetillskott kan utnyttjas.

I fråga om ventilation och uppvärmning öppnar sig spännande möjligheter till radikala förändringar. Under den senaste 10-årsperioden har energi- och effektbehoven för nyproducerade bostäder i grova drag halverats till följd av tätare och bättre isolerade klimatskal. Från hus med stort värmebehov och litet ventilationsbehov har utvecklingen gått mot hus med litet värmebehov och ett stort ventilationsbehov. Den föreslagna principen innebär att tilluften blir förvärmad. Mot denna bakgrund ter sig luftvärmesystem som ett intressant framtidsalternativ till dagens vattenvärmesystem. Luftvärmesystem kan dessutom ha en betydligt lägre temperatur på luften än vattnet vanligen har i vattenvärmesystem, vilket innebär att luftvärmesystem har lättare att tillvarata lågtemperaturrenenergi.



Figur 1.1: Konstruktionsprincipen,
 Obs! i föreliggande rapport som avser
 etapp 1 Prov i klimatkammare har luft-
 spalten i yttervägg och värmaren i golv
 provats med luft direkt utifrån.

Som ett okonventionellt uppvärmningsalternativ, särskilt lämpat för bostäder, har därför studerats uppvärmning med förvärmad uteluft. Erforderlig luftmängd förs in i byggnaden rumsvis via inreglerade ventiler. För att luftmängden ej skall bli onödigt stor eller lufttemperaturen för hög leds luften genom en exponerad obrännbar byggnadsdel med stor värmekapacitet, som fungerar som hjälpradiator, strålningsvärmare och lager. Se figur 1.2. För att åstadkomma hålrummet i bjälklaget ingjuter man lämpligen en polystyrenkropp som senare kan avlägsnas med blåslampa eller lösningsmedel. Alternativt kan ett plåtrör ingjutas. För att sommartid undvika onödigt hög lufttemperatur kan man eventuellt ställa det yttre fönstret på glänt.

Ljudtekniskt synes väggkonstruktionen ge möjligheter till förbättrade ljudisolerande egenskaper.

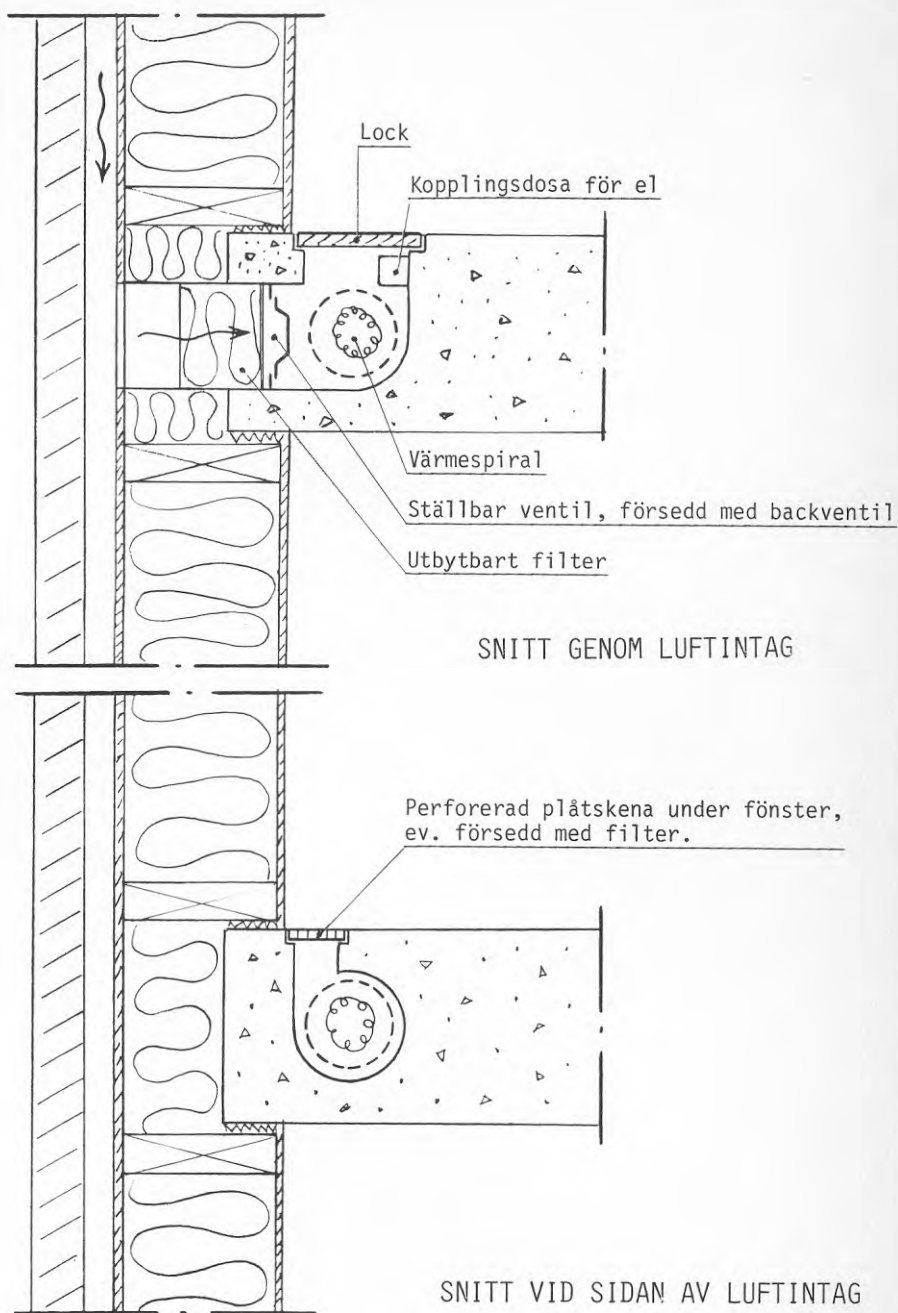
1.4 Utvecklingsprojektet Ventisolering

Projektets syfte är att undersöka vilka besparingar i bygg-, drift- och underhållskostnader som man skulle kunna uppnå genom den speciella utformning som skisserats av klimatskal och system för ventilation och uppvärmning. För att förverkliga detta syfte har det ansetts lämpligt att i en första etapp genomföra några prov i klimatkammare. Bland de parametrar som studeras märks bl a följande:

- o Isoleringsmängd och dess fördelning på de två skikten.
- o Luftspaltens vidd
- o Luftintagens placering
- o Strömningsförhållandena i spalten.
- o Luftflödets storlek

Resultaten av dessa prov jämförs med teoretiska beräkningar enligt en förenklad datormodell som utvecklats hos ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab (2).

Utfaller dessa prov och jämförelser väl är avsikten att denna inledande etapp skall följas av ytterligare etapper omfattande kompletterande studier och fullskaleprov.



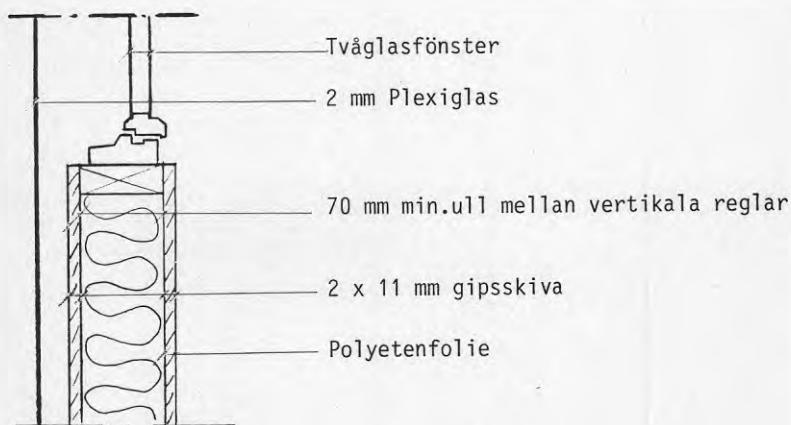
Figur 1.2: Principskiss av luftvärmaren.
Vertikalsektion genom bjälklag och yttervägg.

2. PROVVÄGG MED MÄTANORDNINGAR

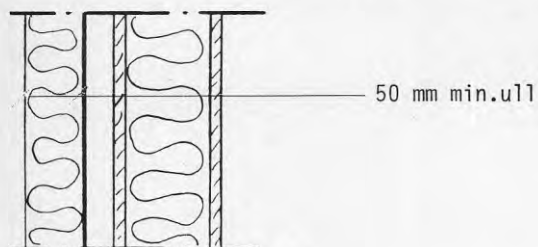
2.1 Provväggens utseende och konstruktion

Provväggen, 4,3 x 2,6 m, utgörs av ett inre skikt med ett yttre skikt på några cm avstånd, se figur 2.1.

ISOLERAT YTTERSKIKT



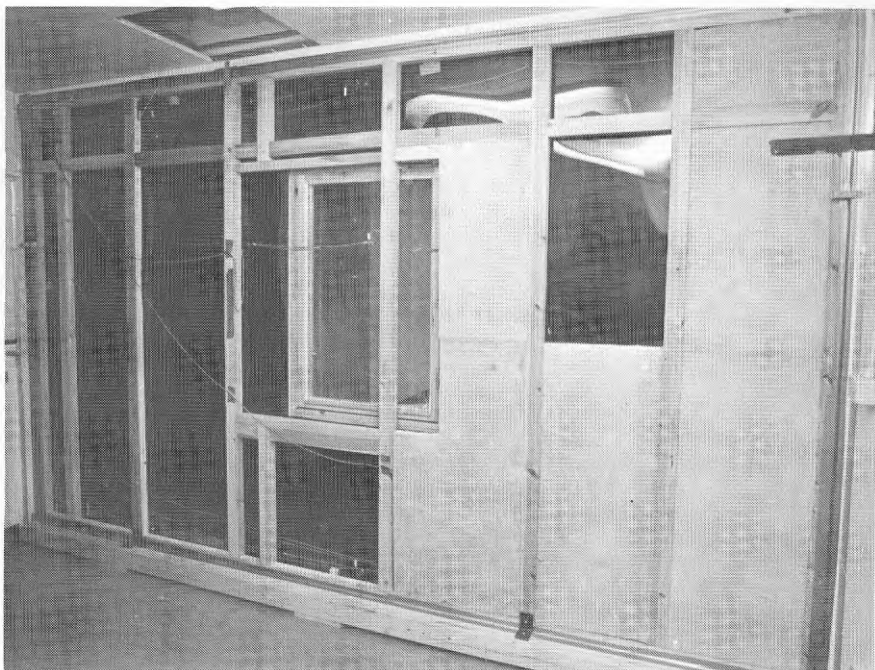
ISOLERAT YTTERSKIKT



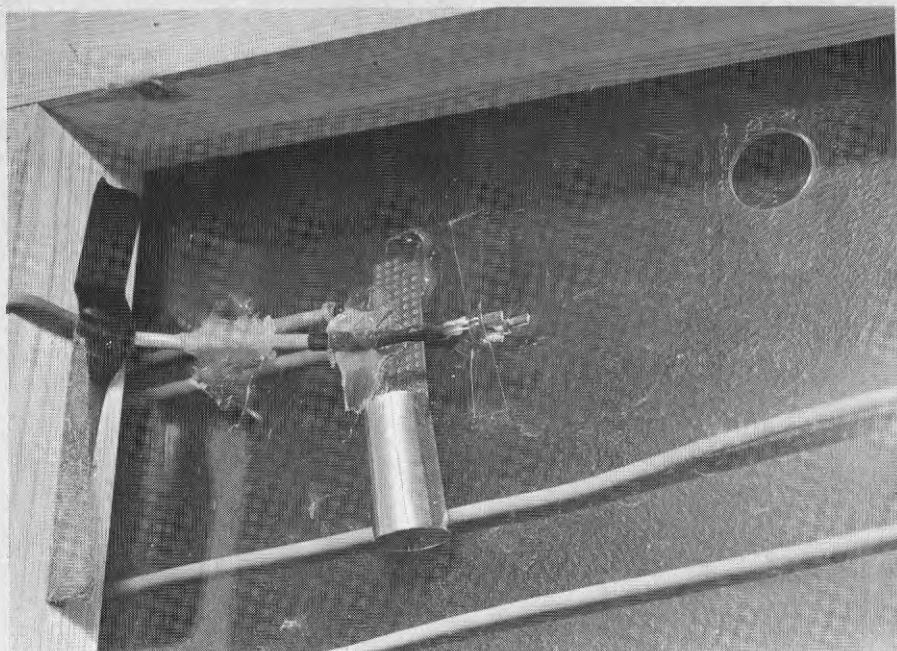
Figur 2.1: Provväggens konstruktion.

Det inre skiktet är uppbyggt som en träregelvägg med träreglar 68 x 43 mm och 11 mm gipsskiva på vardera sidan. Utfyllnad: mineralull, tätning: polyetenfolie. Skiktet är försett med ett ordinärt 2-glasfönster 740 x 1120 mm karmmått. Under fönstret nära nedkant av väggen finns en rund öppning med diameter 100 mm för intag av luft, se figur 2.6.

Det yttre skiktet består av 2 mm genomsynlig akrylplast uppstadad av ett regelverk. Nertill, upptill och vid sidorna finns ett antal hål för intag av luft. Se figur 2.6. Hål som inte används tejpas över. Det yttre skiktet hålls med distansklotsar på visst avstånd från det inre så att en luftspalt uppstår. Det yttre skiktet kan på utsidan förses med isolering av mineralull. Se figur 2.2 och figur 2.3.



FIGUR 2.2 Det yttre skiktet delvis isolerat med mineralull.
Foto Jan Hallberg.

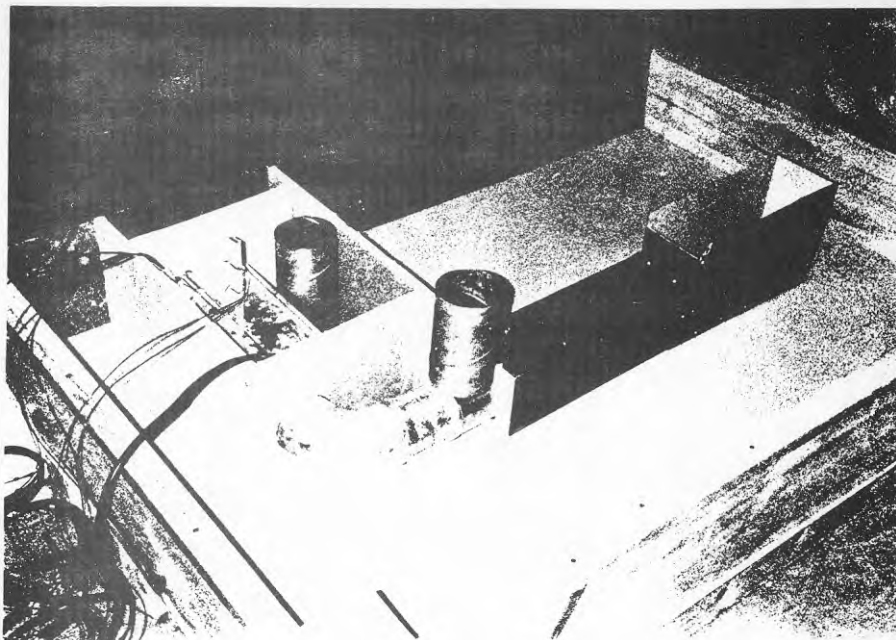


FIGUR 2.3 Ytterskiktet med temperaturgivare och ett till-lufthål. Foto Jan Hallberg

Innanför det inre skiktet finns en låda med sand för att simulera ett stycke betongbjälklag. Luftintaget i det inre skiktet mynnar i lådan som också innehåller luftkanal och en uppvärmningsanordning. Luftkanalen mynnar i ett galler i det golv som utgör lådans översida. Se figur 2.4 och figur 2.5.



FIGUR 2.4 Innerskiktet med låda som simulerar ett stycke betongbjälklag. Foto Jan Hallberg



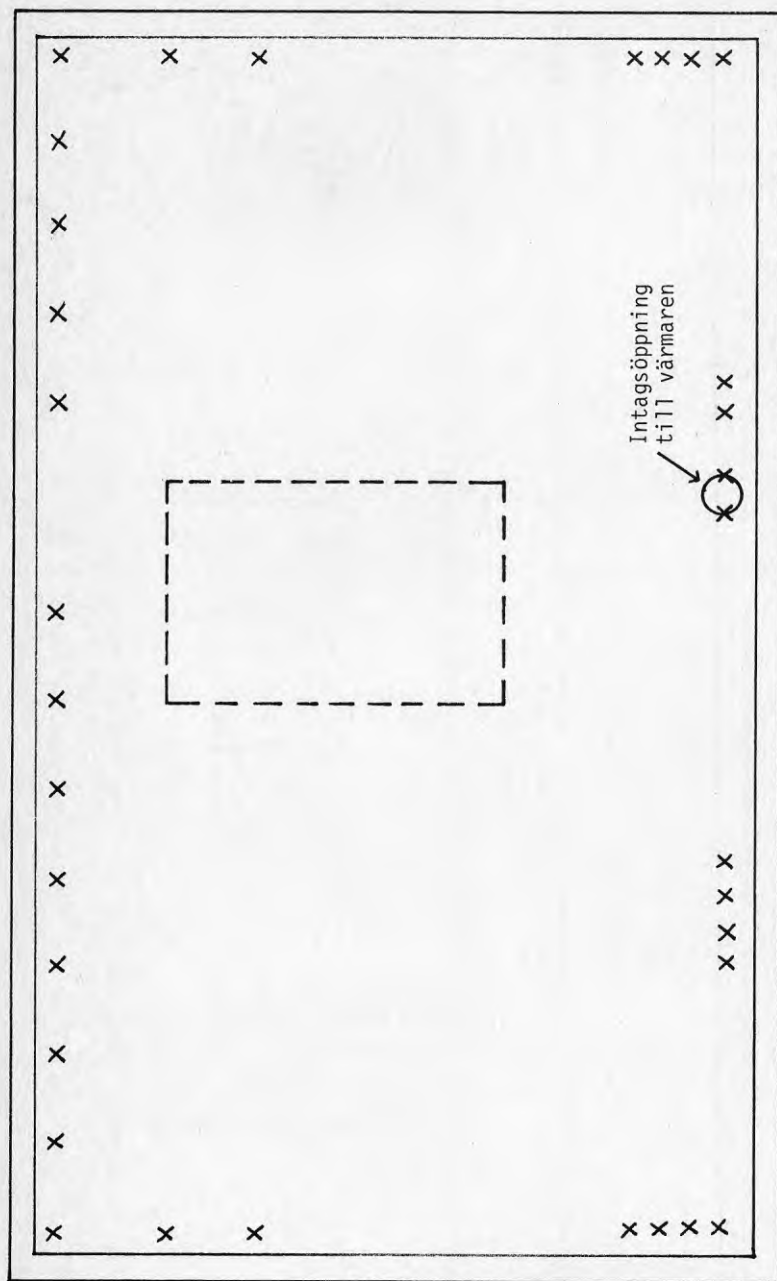
FIGUR 2.5 Låda med luftkanal och uppvärmningsanordning.
Under försöken var lådan fylld med sand.
Foto Jan Hallberg.

2.2 Mätanordningar

Provväggen är placerad som skiljeväg mellan ett frysrum och ett klimatrum. Frysrummet är sorgfälligt tätat och försett med en stös till vilken är ansluten en varvtalsreglerad fläkt med luftflödesmätare. Lufttrycket i frysrummet kan mätas.

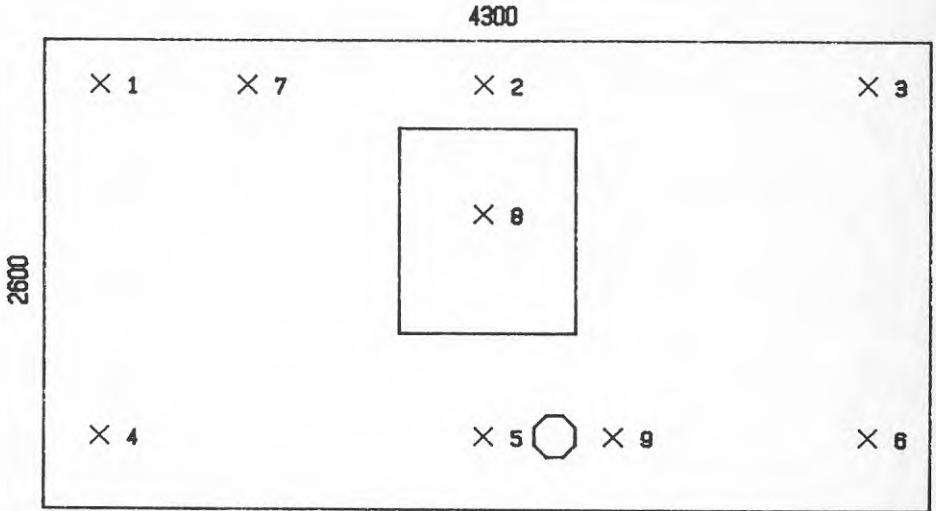
Klimatrummet har dimensionerna höjd 3,2 x längd 3,9 x bredd 4,4 m och har väggar, tak och golv av 9 cm uretancellplast med yt skikt av armerad polyester. Under mätningarna hålls klimataggregatet avstängt. En rumstermostat (försedd med accelerationselement) påverkar den i provanordningens golvdel inbyggda luftvärmaren (uppmätt effekt 450 W). Dessutom används fast basvärme i steg om 100 W. Luftkanalen kan avstängas med hjälp av en fotbollsblåsa som stoppas in och pumpas upp.

Temperaturgivare finns utplacerade i olika punkter i provväggen, se figur 2.7. Mätgivarna är av 5 olika typer för mätning av följande storheter.

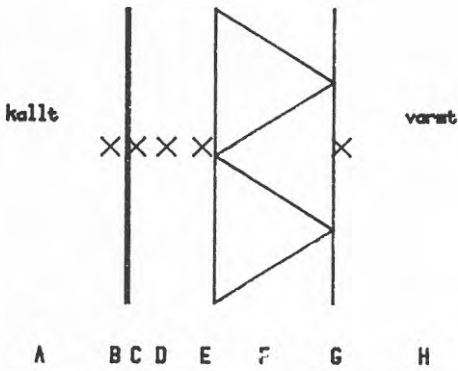


FIGUR 2.6 Hål för intag av luft. X = hål \varnothing 19 mm.
Väggen sedd från kalla sidan.

Väggen sedd från kalla sidan:

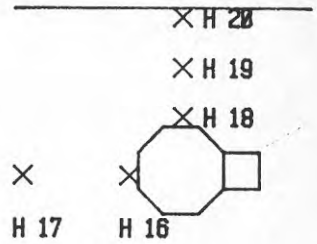


Tvärenitt:



Lufttemperatur vid
inlopp till värmare:
H 10, H 11, H 12

Lufttemperatur vid
utlopp från värmare:
H 13, H 14, H 15



FIGUR 2.7 Givarplacering

1. Lufttemperatur.

Givare AD590 av IC-typ. Den ger en utström direkt proportionell mot absoluta temperaturen. Förses med skydd mot strålningssuppvärmning. IC-givarna är inbördes kalibrerade till en noggrannhet bättre än 0,1K. Egenuppvärmning hos givarna (genom matningsströmmen) är högst 0,1 K.

2. Yttemperatur

AD590 som limmas mot ytan på lämpligt sätt. Noggrannhet se ovan. Egenuppvärmningen är här mindre.

3. Hög lufttemperatur

Givare termoelement, noggrannhet ca 0,5 K. Ingen egenuppvärmning.

4. Tillförd uppvärmningsenergi

Tillförd effekt är konstant och termostatreglerad. Till/från läge representeras av en likspänning som avläses med korta intervall. Aritmetiskt medelvärde av många avläsningar ger tillförd energi.

5. Luftflöde

Erhålls som funktion av tryckskillnad över en strypfläns i lufttillflödeskanalen. Tryckskillnaden mäts med membrangivare från FURNESS CONTROLS LTD, typ FC040.

Mätvärden insamlas av en datalogger av typ MONITOR LABS 9303 med möjlighet att mäta 40 kanaler direkt och (f n) 20 kanaler ytterligare via en slavenhet. Loggern är utrustad med vissa optioner såsom medelvärdesberäkning, skalfaktor och nollpunktsförflyttning tekniska enheter, alarmfunktioner och extra programminne för nätspänningsbortfall.

Mätdata lagras på en databandstation för vidare bearbetning i dator.

Vidare används spänningsaggregat för olika matningsspänningar samt diverse kalibrerings- och kontrollutrustning.

2.3 Mätnoggrannhet

Temperaturgivarna av typen AD590 är kalibrerade sinsemellan till en noggrannhet av $\pm 0,1$ K och absolut till $\pm 0,3$ K.

För termoelementen är motsvarande värden $\pm 0,5$ och $\pm 1,4$ K.

AD590-givarna är kalibrerade med sina anslutningar i dataloggern, varför vissa fel i denna har eliminerats.

Följande orsaker till mätfel kan konstateras:

1. Kompensation av "kalla lödstället" (gäller termoelement). Då loggerns temperatur varierar högst ca $+5$ K uppgår detta fel till högst ca $\pm 0,06$ K. (Temperaturvariation hos loggern inom området $5-45$ °C ger upphov till en avvikelse av $\pm 0,4$ K.)
2. Termospänningar i reläkontakter ger maximalt $\pm 0,006$ K mätfel, men normalt ligger felet mellan $-0,002$ och $-0,004$ K.
3. A/D-omvandlarens upplösningsförmåga ger ett fel som maximalt uppgår till en halv enhet i minst signifikanta siffra, dvs $\pm 0,005$ K.
4. A/D-omvandlarens mätnoggrannhet motsvarar ca $\pm 0,09$ K, varav $0,03$ K är kompenserat i kalibreringen av AD590.

Totala mätfelet (worst case) $\pm 0,17$ K för AD590 inbördes, och för termoelement uppgår avvikelsen maximalt till $\pm 1,5$ K.

Rent praktiskt innebär detta att alla för utvärderingen väsentliga mätvärden har en noggrannhet bättre än $\pm 0,2$ K. Undantagen är yttemperaturerna runt värmaren och lufttemperaturen i det kalla och varma rummet där absolutnoggrannheten är bättre än $\pm 1,5$ K, och relativnoggrannheten hos varje mätpunkt är mindre än $\pm 0,5$ K.

3. MÄTNINGAR

3.1 Bestämning och motivering av parametervärden

Väggens totala värmemotstånd och dess fördelning på de två skikten har en avgörande betydelse för konstruktionens funktion. Då mätningarnas primära syfte är att verifiera de teoretiska beräkningarna räcker det med att variera värmemotståndet i väggens yttre skikt. Mätningarna har utförts med isoleringstjockleken 0 resp 50 mm i detta skikt. Värmemotståndet i väggens inre skikt utgörs av 70 mm isolering och två 11 mm gipsskivor vilket ger ett k-värde på ungefär 0,45 W/m²K.

Luftspaltens vidd har i de teoretiska beräkningarna ingen inverkan på konstruktionens funktion, men påverkar i praktiken såväl hastighets- som temperaturfördelningen - och därmed funktionen - genom att luftens strömningsbild ändras.

Vid små lufthastigheter - som är konsekvenserna av stor spaltvidd - kan också okontrollerade luftrörelser orsakade av termik förekomma, varför spaltvidden bör vara relativt liten. Här har proven utförts med spaltvidden 25 mm resp 40 mm.

Luftflödets storlek anpassas till en lämplig ventilationsgrad. Ett luftflöde på 25 m³/h motsvarar ungefär en halv luftomsättning per timme i ett rum med golvarean 20 m² och höjden 2,6 m. Det förefaller vara rimligt att betjäna denna rumsvolym (20 x 2,6 m³) med ett luftintag. I försöken har luftflödet varierats mellan 15 och 45 m³/h. I ett försök har flödet satts till noll för att uttröna vad som händer om lufttillförseln till värmaren upphör.

Inne- och utetemperaturen behöver ej varieras i proven eftersom en variation av dessa endast medför en parallellförflyttning av temperaturfördelningen. Här har innetemperaturen satts till +20°C och utetemperaturen till -10°C.

Luftintagens placering framgår av figur 2.6. Genom att skifta luftintagen kan man få en bild av hur luftens strömningsväg påverkar konstruktionens funktion. Luftintagens läge bör också beaktas avseende vindtryck och luftens renhet.

3.2 Mätpunkter

Syftet med mätningarna har varit att bestämma det energitillskott och den förvärmning som tilluften får vid passagen genom luftspalten samt att kontrollera vilka lokala temperaturhöjningar som uppstår vid uppvärmningsanordningen.

Vid temperaturmätningarna har innetemperaturen antagits vara konstant +20°C, och utetemperaturen konstant -10°C. Mätningarna har omfattat följande mätpunkter, jfr fig 2.7.

- o Temperaturfördelning i tre tvärsnitt;
två vägg, ett fönster 3 x 5 = 15
- o Lufttemperatur vid inlopp till värmare = 3
- o Lufttemperatur vid utlopp till värmare = 3
- o Yttemperatur runt värmare = 5
- o Totalt luftflöde = 1
- o Tillförd uppvärmningsenergi = 2
- o Lufttemperatur i spalt = 6

Vid mätningarna har parametrarna varierats enligt följande.

- o Luftflöde i spalt 15 - 45 m³/h
- o Spaltvidd 25 resp 40 mm
- o Isolering av ytterskal 0 resp 50 mm

Luftspaltens längd har konstant varit lika med vägghöjden 2.6 m.

3.3 Mätningarnas genomförande

Det kalla rummets temperatur inställdes på ca - 10°C och det varma rummets på ca +20°C. Luft blåstes in i det kalla rummet med provväggens kanal tätad respektive öppen. Luftflöde och lufttryck mättes för de båda fallen och skillnaden i luftflödet antogs utgöra flödet genom provväggen. En sådan kalibrering av luftflödet gjordes för varje kombination av hål, spaltvidd och isolering. Utgående från kalibreringsvärdena valdes för varje provkombination ett visst flöde. I brist på mätvärdesomvandlare för tryck kunde detta flöde inte registreras kontinuerligt; däremot registrerades övertrycket i frysrummet. Med hjälp av detta värde och kalibreringskurvorna kan flödet beräknas, vilket kan vara nödvändigt om trycket varierat under mätningensperioden.

Luft- och ytemperaturer registrerades under en längre tid vanligtvis en natt, så att ett stabilt tillstånd rådde under varje mätning. Tillförd effekt i luftvärmaren uppmättes på så sätt att termostaterns läge registrerades vid varje mätning som antingen 0 eller 100 %. Mätning skedde var 60:e sek och varannan timme bildades automatiskt medelvärde (aritm) av 120 mätningar.

För kompensation av värmeförluster genom det varma rummets övriga väggar samt tak och golv tillfördes en viss basvärmeeffekt.

4.2 Provvägg med 40 mm luftspalt

Diagram 4.2A. Lufttemperatur i spalt vid inlopp till värmare.

Diagrammet visar lufttemperaturen i spalten vid inloppet till värmaren som medeltalet av mätvärdena i punkt 5 och 9, se fig 2.7. I följande tabell anges den uppmätta lufttemperaturen efter insvängning och motsvarande teoretiskt beräknade värden med idealiserade förutsättningar.

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemp (°C)		Temp ökning (K)	
		Mätning	Teori	Mätning	Teori
103	50,ÖS,15	-1,0	2,5	9,0	12,5
110	50,Ö, 23	-0,5	1,5	9,5	11,5
159	50,N, 45	-2,5	-0,5	7,5	9,5
161	0,Ö, 27	-5,0	-6,5	5,0	3,5
149	0,N, 20	-7,0	-6,5	3,0	3,5

Observationer:

- o Lufttemperaturen i spalten blir väsentligt högre än uteluftens temperatur.
- o Med isolering fås en temperaturhöjning på ca 9 K, utan isolering ca 4 K.
- o De teoretiska värdena bygger på förutsättningar att luftströmningen sker radiellt mot intagsöppningen med samma hastighet i varje sektor och utan variationer inom spaltvidden. Varje avvikelser från detta minskar temperaturhöjningen inom spalten.

Mot bakgrund av detta måste överensstämmelsen mellan mätning och teori anses vara god. Små luftmängder, som ger de termiska drivkrafterna stort utrymme, och luftintag i underkant innebär avvikelser från de teoretiska förutsättningarna vilka avspeglas i skillnader mellan mätresultat och teoretiska värden.

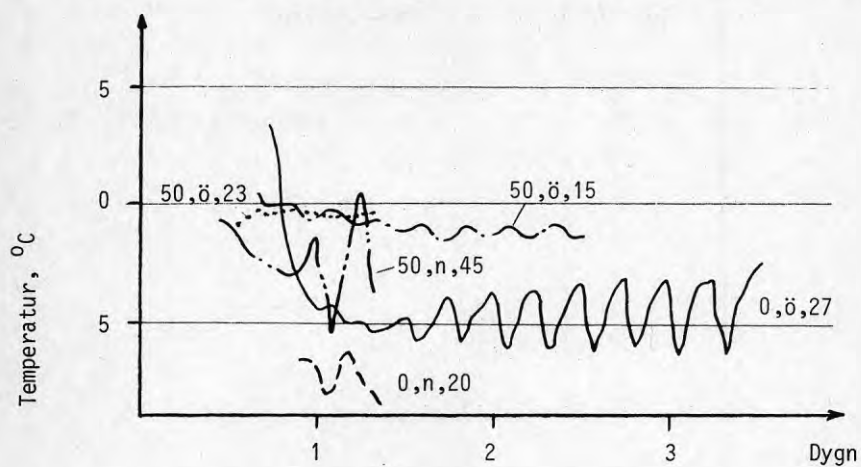


Diagram 4.2A. Lufttemperatur i spalt vid inlopp till värmare.

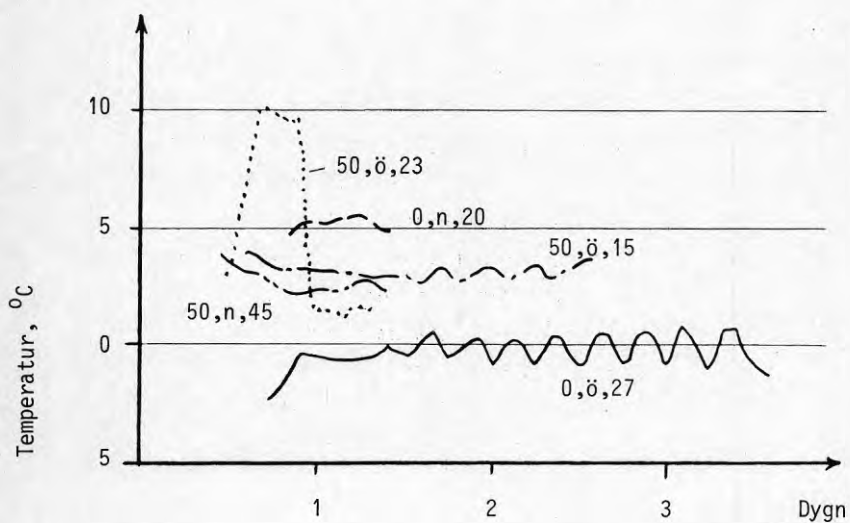


Diagram 4.2B. Lufttemperaturdifferensen mellan över- och nederkant luftspalt.

Diagram 4.2B. Lufttemperaturdifferens mellan över- och nederkant.

Diagrammet visar differensen i lufttemperatur mellan överkant och nederkant luftspalt. Lufttemperaturen vid överkanten har beräknats som medelvärdet av de uppmätta lufttemperaturerna i punkterna 1, 2, 3 och 7. Motsvarande beräkning för nederkanten omfattar punkterna 4, 5, 6 och 9. Följande tabell anger de på detta sätt beräknade lufttemperaturdifferenserna. Toppen på kurvan 50, Ö, 23 beror sannolikt på någon störning och bortses ifrån.

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemp differens (K)
103	50,Ö,15	+3,0
161	0,Ö,27	0
149	0,N,20	+5,5
159	50,N,45	+2,5

Observationer:

- o Lufttemperaturdifferensen blir mindre vid större luftflöde såväl vid luftintag nedtill (N) som upptill (Ö), dvs termiken ger upphov till en temperaturgradient i spalten. Ju mindre luftflöde desto större utrymme för termiken och desto större lufttemperaturdifferens.
- o Om man jämför de tre förstnämnda försöken i tabellen (103, 161, 149) där luftflödet är av ungefär samma storlek (15-27 m³/h) framgår att luftintag upptill (Ö) ger en lägre temperaturdifferens än vid luftintag nedtill (N). Vid luftintag upptill blandas således luften bättre och de uppåtgående termiska luftrörelserna motverkas.

Diagram 4.2C. Medellufttemperatur i spalt.

Diagrammet visar lufttemperaturen i spalten som medelvärdet av uppmätta värden i punkterna 1-9. I nedanstående tabell anges den sålunda beräknade medellufttemperaturen i spalten och som jäm-

förelse även medellufttemperaturen i spalten vid inloppet till värmaren enligt diagram 4.2A.

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemp i spalt		Differens	Lufttemp differens enligt B
		medel	vid in- lopp till värmare	spalttemp - temp vid inlopp	
103	50,Ö, 15	-0,5	-1,0	+0,5	3,0
159	50,N, 45	-1,5	-2,5	+1,0	2,5
161	0,Ö, 27	-4,5	-5,0	+0,5	0
149	0,N, 20	-3,5	-7,0	+3,5	5,5

Observationer:

- o Vid luftintag nedtill (N) är medellufttemperaturen högre än vid inloppet till värmaren.
- o Vid luftintag upptill (Ö) är medellufttemperaturen ungefär densamma som vid inloppet till värmaren.
- o Orsaken till detta är att en förhållandevis ostörd varmluftkudde kan bildas i spaltens överdel då luften tas in i underkant.

Diagram 4.2D. Lufttemperatur vid inlopp till värmare.

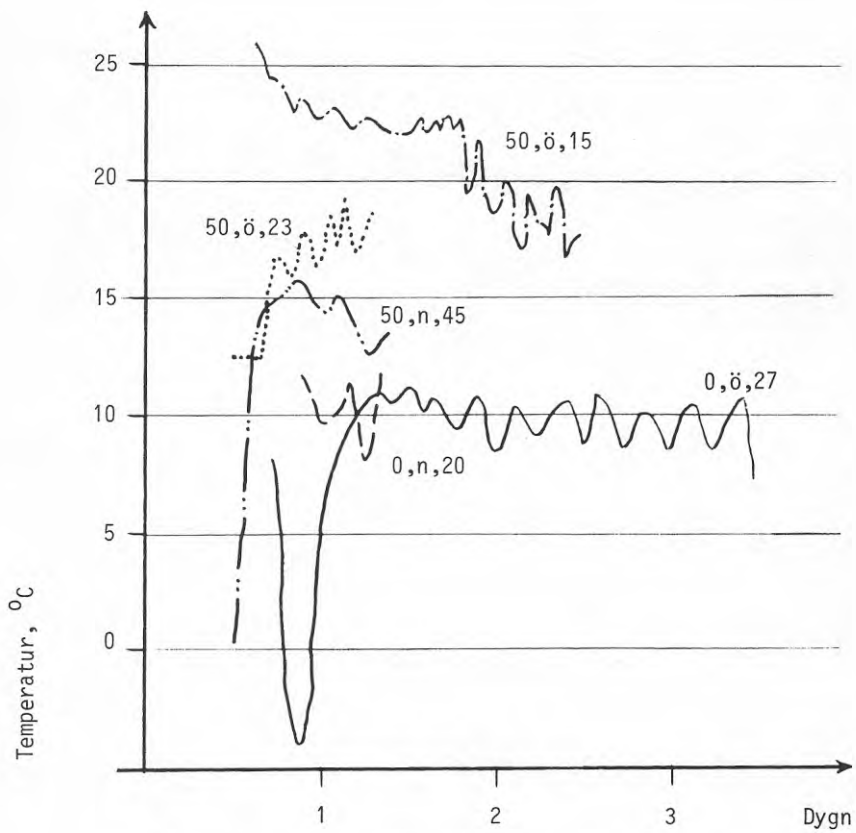
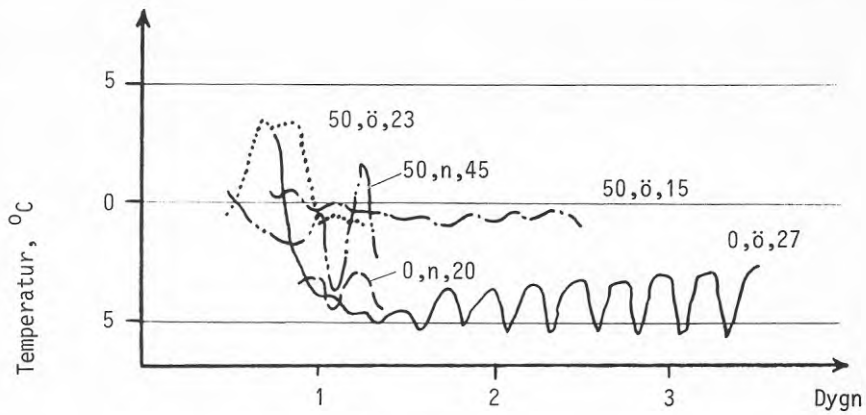
E. Lufttemperatur vid utlopp från värmare.

F. Yttemperatur på värmare.

G. Yttemperatur på golv.

Diagram D och E visar lufttemperaturen vid inlopp resp utlopp till värmare beräknad som medelvärde i punkterna 10, 11 och 12 resp 13, 14 och 15.

Diagram F och G visar yttemperaturen på värmaren resp golvet beräknad som medelvärdet av mätvärdena i punkterna 16 och 18 resp som mätvärdet i punkt 20.



I nedanstående tabell har resultaten från de olika försöken sammanställts och redovisats som bedömda värden vid fortvarighet.

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemperatur		Yttemperatur	
		inlopp	utlopp	värmare	golv
103	50,ös,15	19	28	35	25
110	50,ö, 23	18	27	32	23
149	0,N, 20	10	19	26	21
159	50,N, 45	14	22	24	20
161	0,ö, 27	10	18	20	19

Observationer:

- o Lufttemperaturen såväl vid inlopp till som utlopp från värmare är högre vid isolering än utan.
- o Yttemperaturen på värmaren varierar mellan ca 20 och ca 35°C.
- o Yttemperaturen på golv varierar mellan ca 19 och ca 25°C.

Diagram 4.2H. Luftflöden

Diagrammet visar de uppmätta luftflödena i luftspalten. Resultaten framgår av nedanstående tabell.

Försök nr	Nyckeldata	Luftflöde m ³ /h
103	50,ös,15	15
110	50,ö, 23	23
149	0,N, 20	20
159	50,N, 45	45
161	0,ö, 27	27

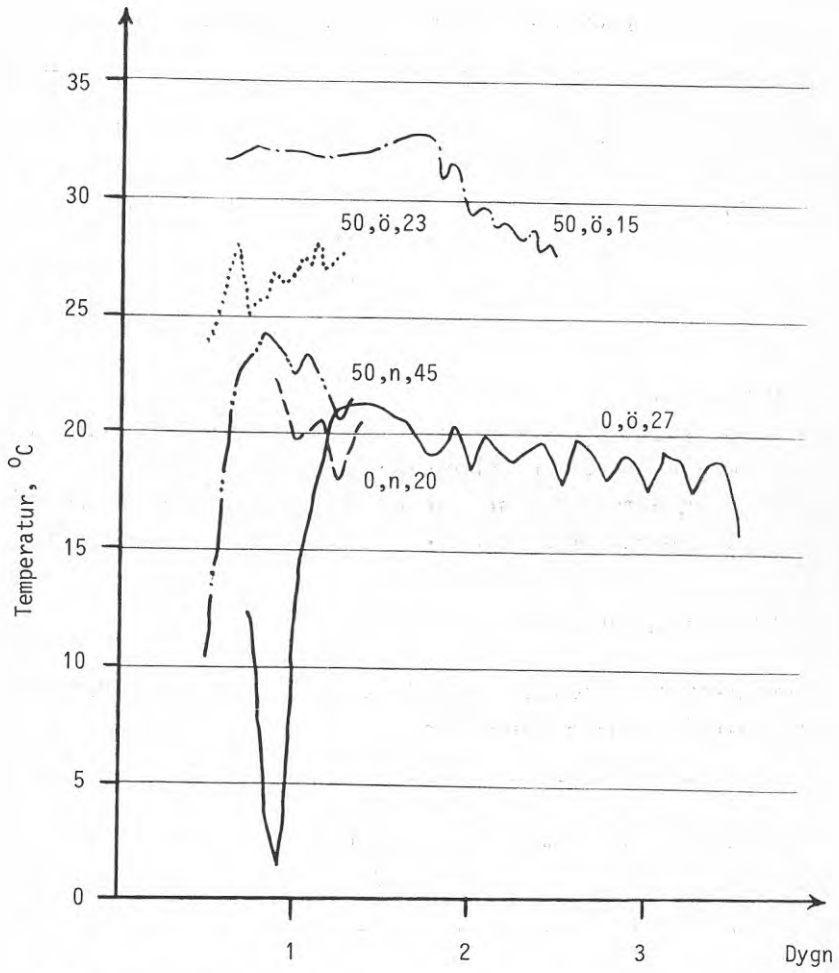


Diagram 4.2E. Lufttemperatur vid utlopp från värmare.

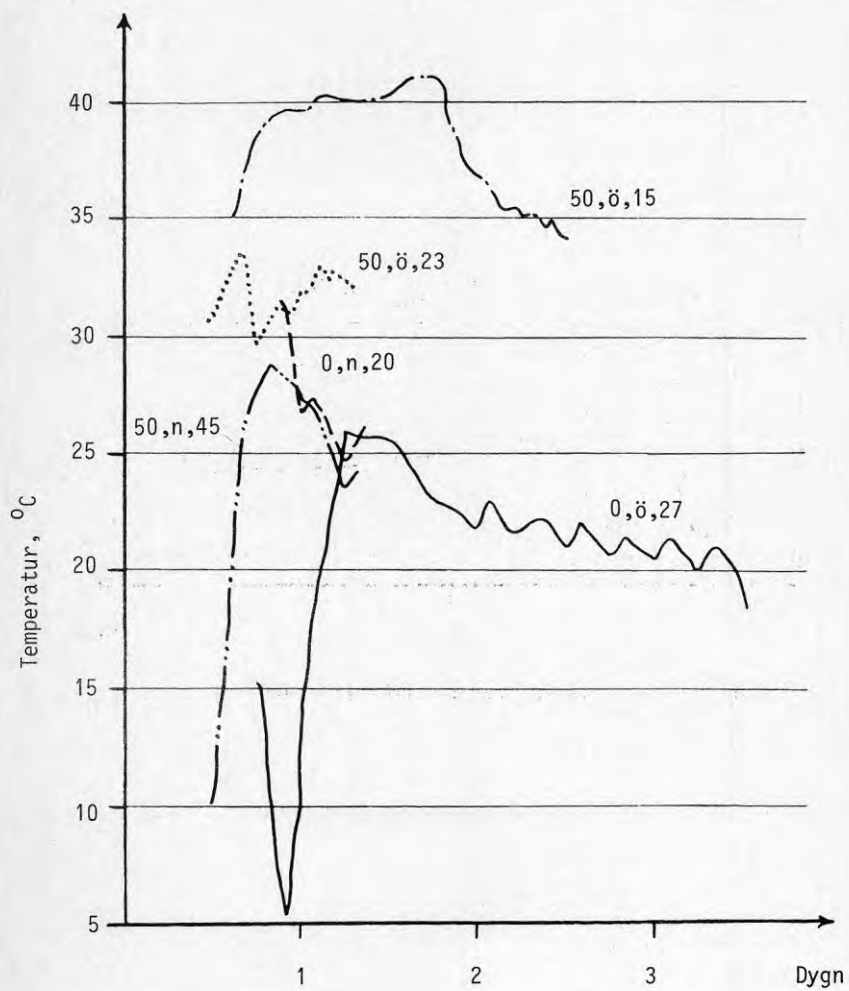


Diagram 4.2F. Yttertemperatur på värmare.

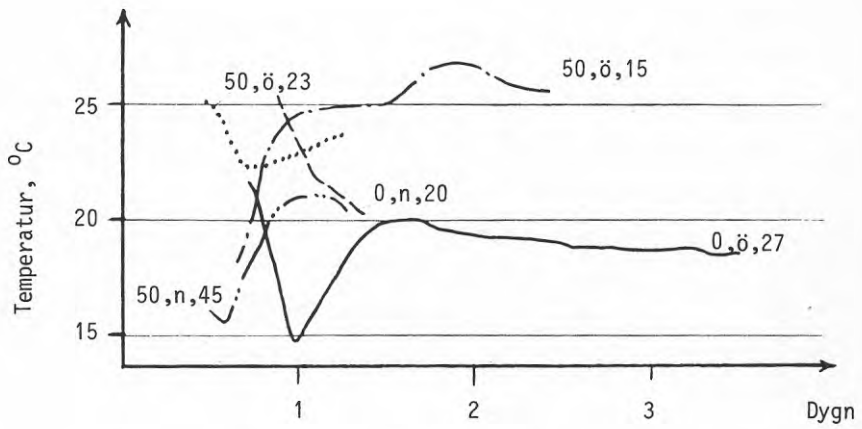


Diagram 4.2G. Yttemperatur på golv vid värmare.

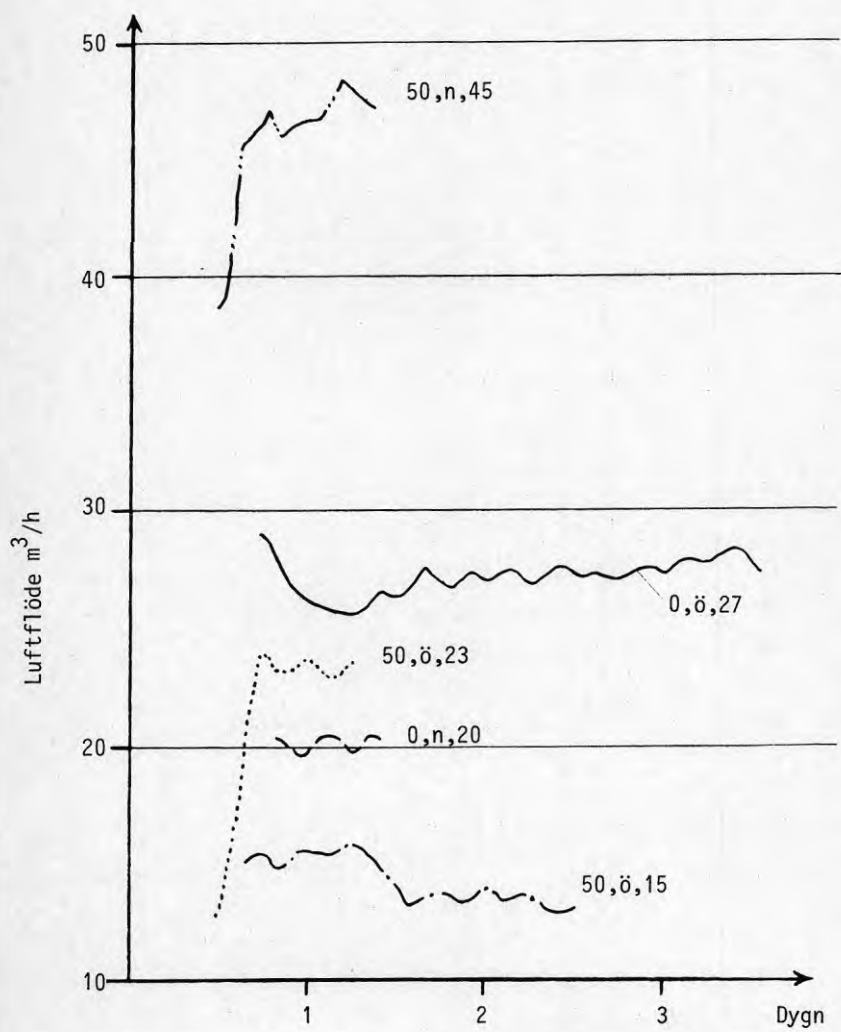


Diagram 4.2H. Luftflöden.

4.3 Provvägg med 25 mm luftspalt

Motsvarande resultat som vid 40 mm luftspalt redovisas nedan i samma typ av tabeller.

DIAGRAM 4.3A. Lufttemperatur i spalt vid inlopp till värmare.

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemp (°C)		Temp ökning (K)	
		Mätning	Teori	Mätning	Teori
249	0,N, 18	-7,5	-6,5	2,5	3,5
258	50,N, 21	-2	+1,5	8	11,5
341	50,Ö, 28	-2	+1	8	10,5
346	0,Ö, 18	-6	-6,5	4,0	3,5
349	0,Ö, 0	-5	-7	5,0	Överhettat prov

DIAGRAM 4.3B. Lufttemperaturdifferens mellan över- och underkant luftspalt.

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemp
		differens (K)
249	0,N,18	+4,0
258	50,N,21	+5,0
341	50,Ö,28	+0,5
346	0,Ö,18	+1,5
349	0,Ö, 0	-

DIAGRAM 4.3C. Medellufttemperatur i luftspalt

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemp i spalt		Differens	
		medel	vid in- lopp till värmare	spalttemp - temp vid inlopp	Lufttemp differens
249	0,N, 18	-4,0	-7,5	+3,4	+4
258	50,N, 21	+0,5	-2,0	+2,5	+5
341	50,Ö, 28	-2	-2,0	-0	+0,5
346	0,Ö, 18	-4	-6	+2	+1,5
349	0,Ö, 0	-2,0	-5	-	

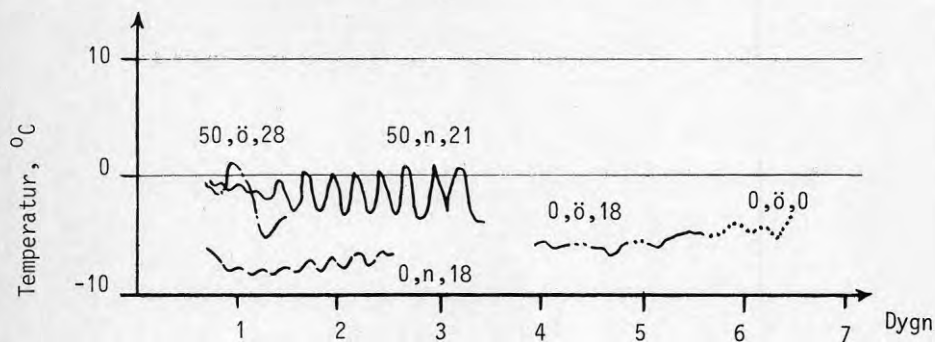


Diagram 4.3A. Lufttemperatur i spalt vid inlopp till värmare.

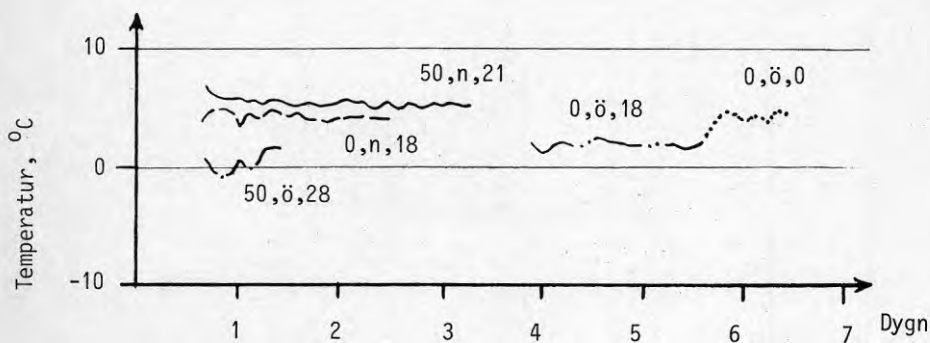


Diagram 4.3B. Lufttemperaturdifferensen mellan över- och underkant luftspalt.

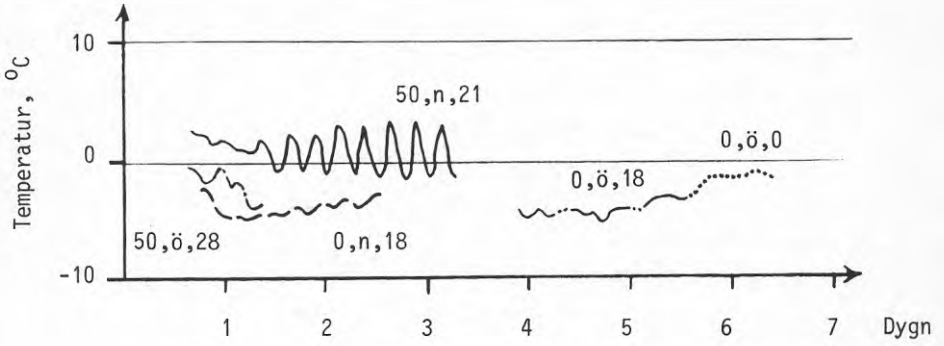


Diagram 4.3C. Medeltemperatur i luftspalt.

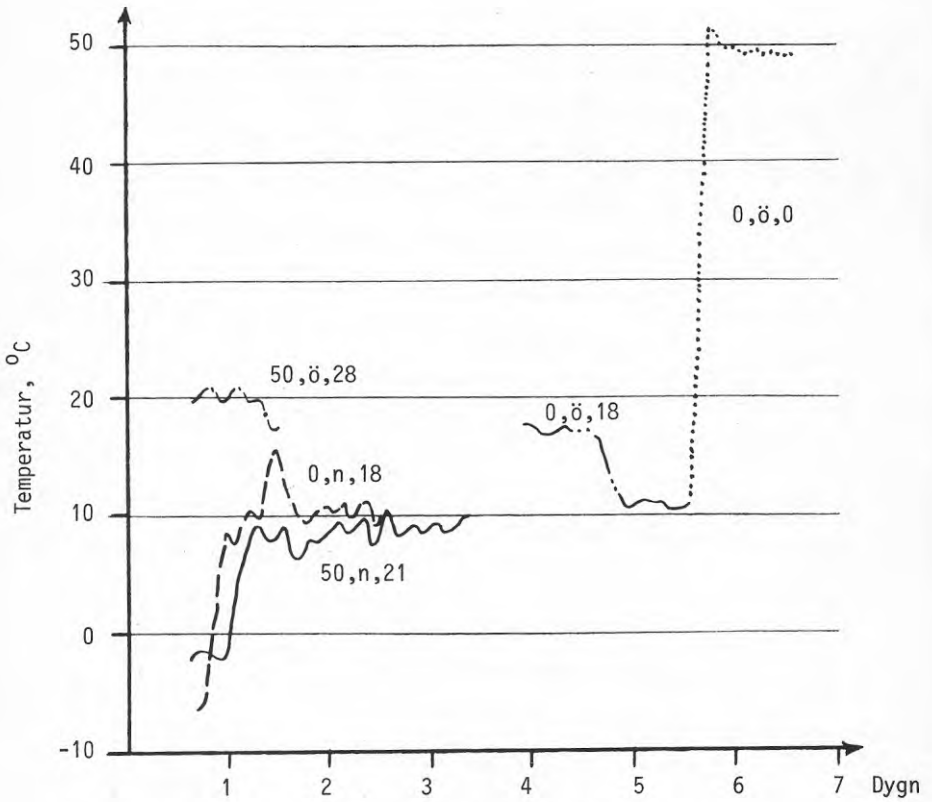


Diagram 4.3D. Lufttemperatur vid inlopp till värmare.

DIAGRAM 4.3D. Lufttemperatur vid inlopp till värmareE. Lufttemperatur vid utlopp från värmareF. Yttemperatur på värmareG. Yttemperatur på golv

Försök nr	Nyckeldata	Lufttemperatur		Yttemperatur	
		inlopp	utlopp	värmare	golv
249	0,N, 18	10	20	30	23
258	50,N, 21	9	18	24	20
341	0,N, 20	10	19	26	21
346	0,Ö, 18	11	20	30	23
349	0,Ö, 0	50	-	63	35

DIAGRAM 4.3H. Luftflöden

Diagrammet visar de uppmätta luftflödena i luftspalten. Resultaten framgår av nedanstående tabell

Försök nr	Nyckeldata	Luftflöde
		m ³ /h
249	0,N, 18	18
258	50,N, 21	21
341	50,Ö, 28	28
346	0,Ö, 18	18
349	0,Ö, 0	0

Några större skillnader mellan spaltvidderna 40 och 25 mm har inte framkommit, se tab 4.1. Det förklaras bl a av följande punkter:

1. Få försök.
2. Begränsad försökstid.
3. Svårigheter att undvika icke önskvärda variationer i ingående parametrar.
4. Ofrånkomliga mätfel är relativt stora i förhållande till mätresultatet.
5. Någon markant inverkan av luftspaltens vidd på temperaturerna och därmed energibesparingen kan man inte utläsa av proven.

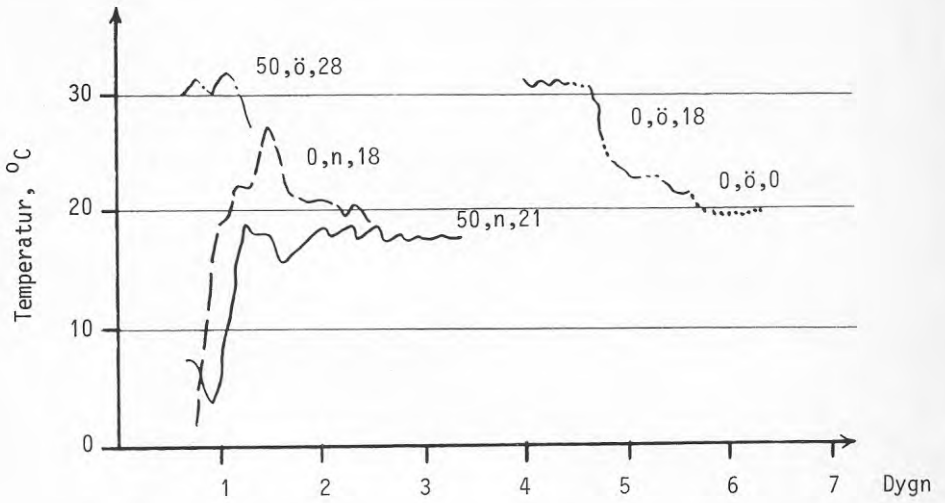


Diagram 4.3E. Lufttemperatur vid utlopp från värmare.

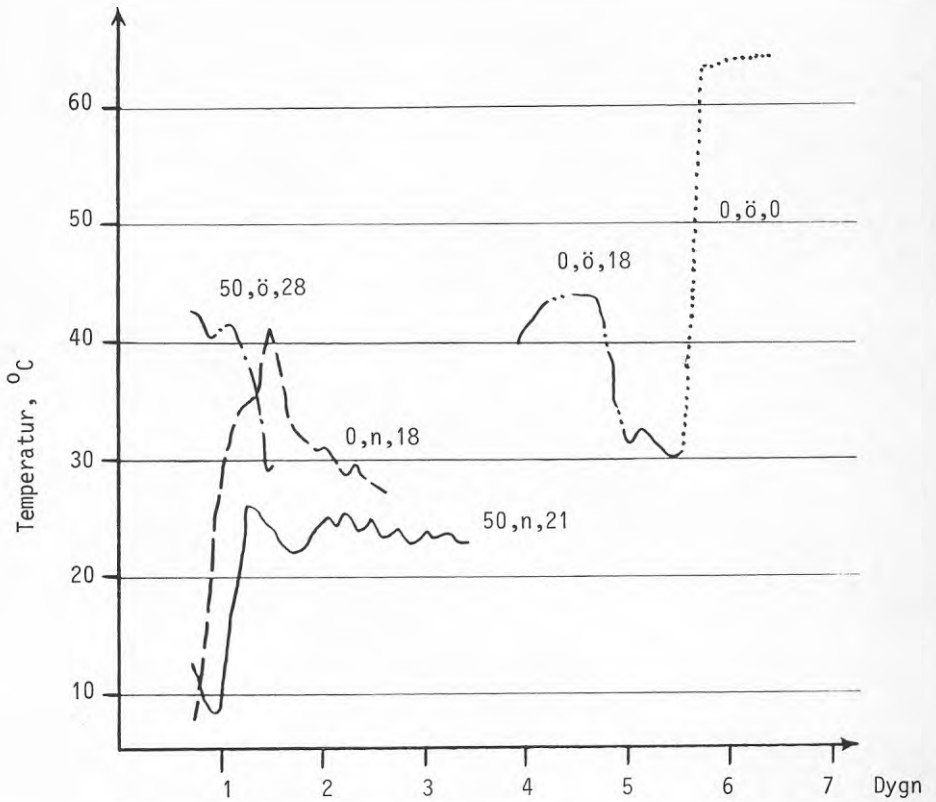


Diagram 4.3F. Yttemperatur på värmare.

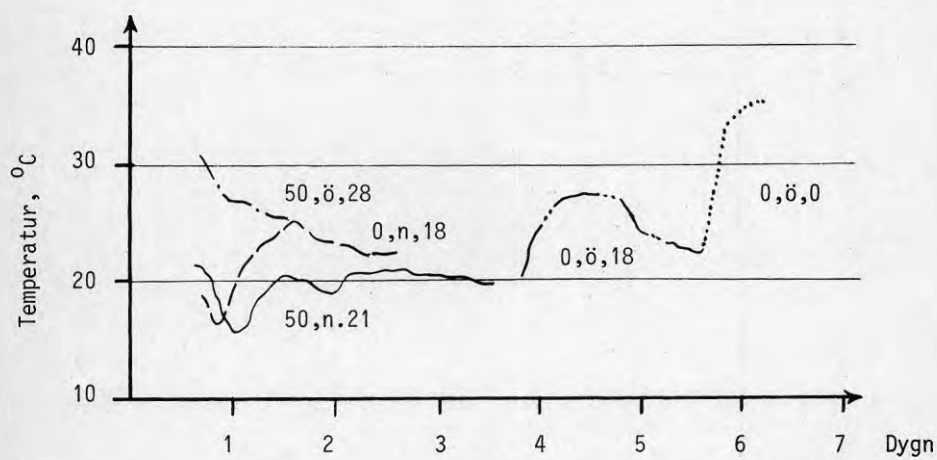


Diagram 4.3G. Yttemperatur på golv vid värmare.

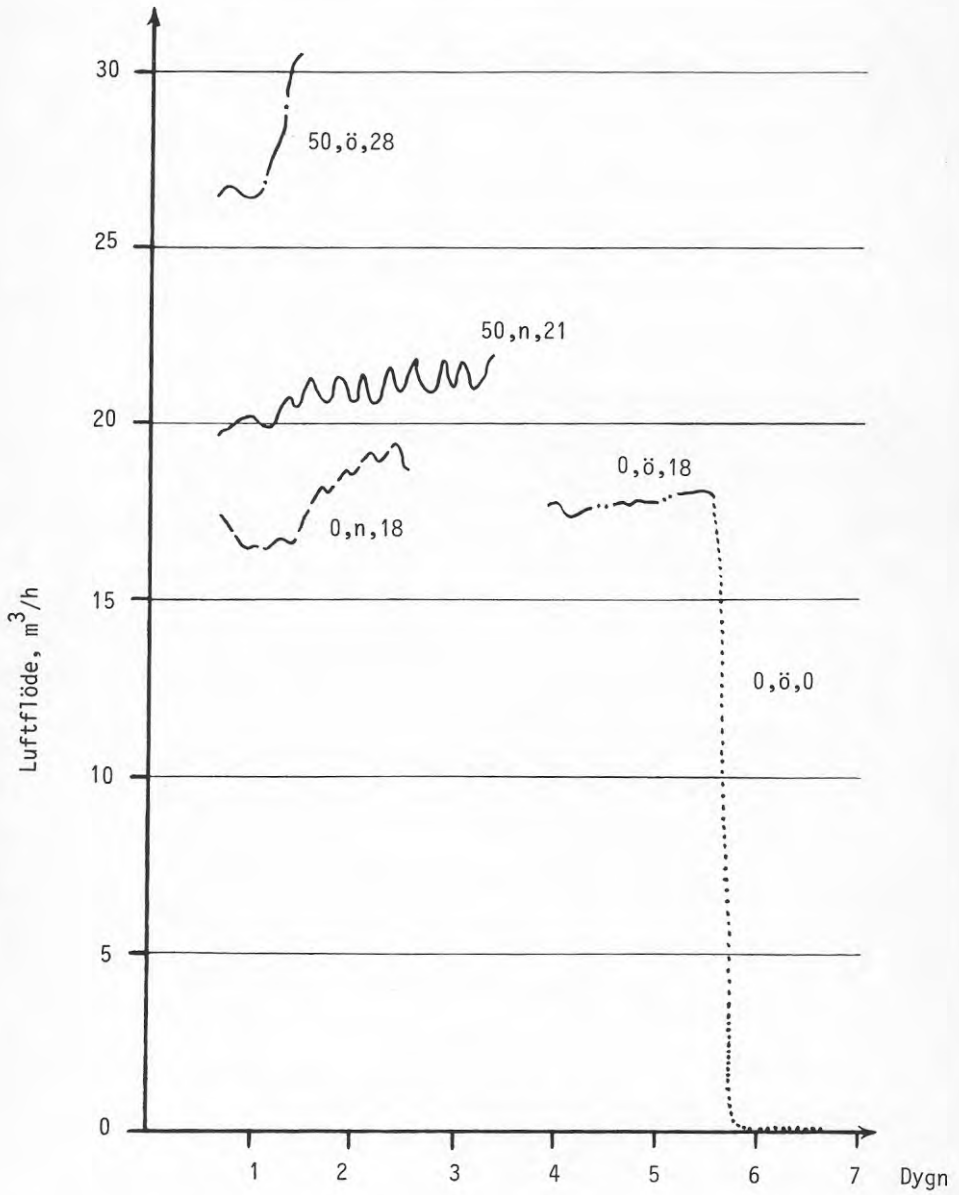


Diagram 4.3H. Luftflöden.

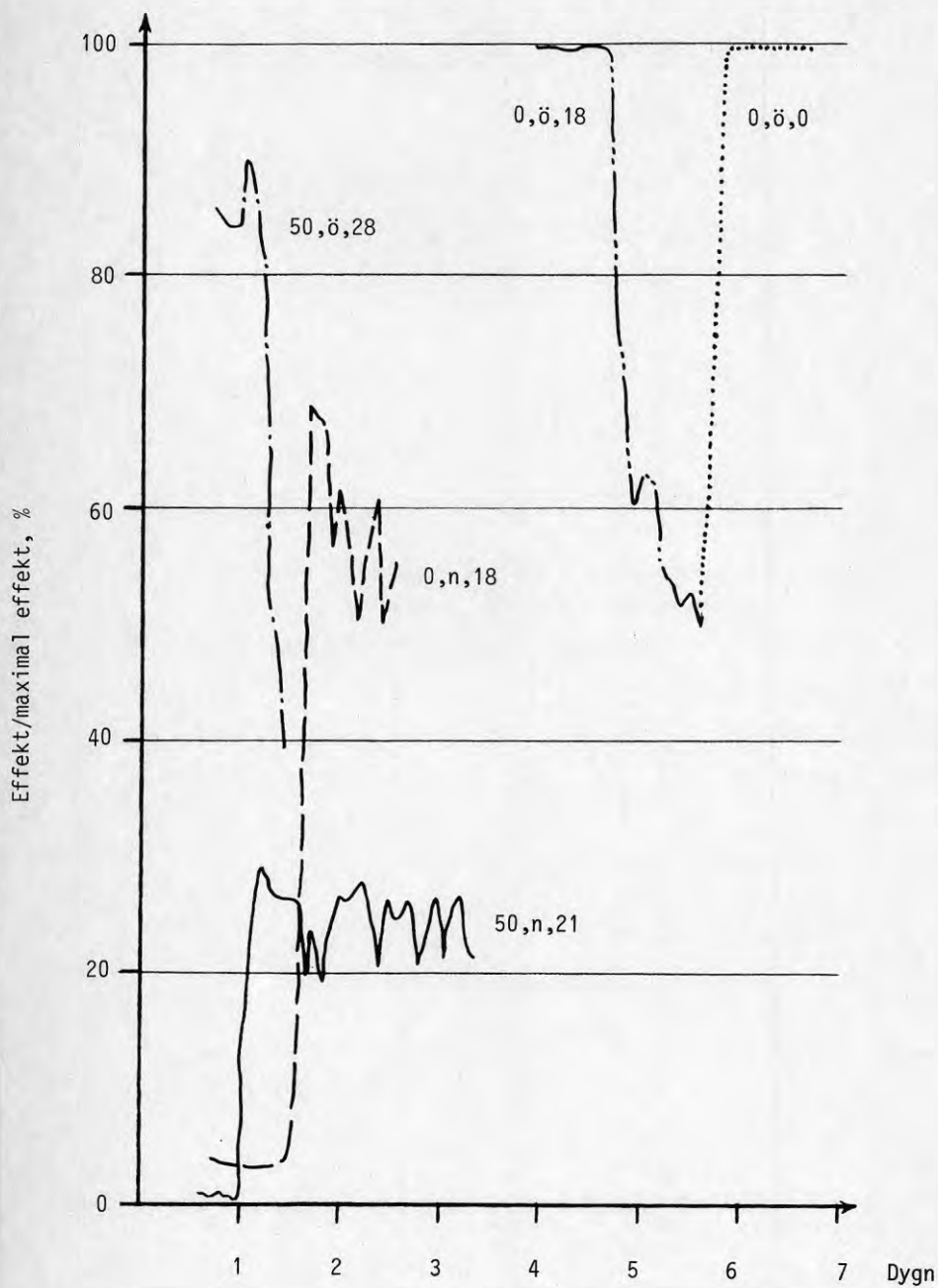


Diagram 4.3I. Värmarens effekt i procent av maximal effekt.
Medelvärden av 120 mätningar/tidssteg.

Spaltvidd		Lufttemperatur vid inlopp till värmare	Lufttemperatur- diff mell ök o nk luftspalt
mm	Nyckeldata		
40	50,Ö,15	-1,0	+3,0
40	50,Ö,23	-0,5	-
25	50,Ö,28	-2,0	+0,5
40	50,N,45	-2,5	+2,5
25	50,N,21	-2,0	+5,0
40	0,Ö,27	-5,0	0
25	0,Ö,18	-6,0	+1,5
40	0,N,20	-7,0	+5,5
25	0,N,18	-7,5	+4,0

TABELL 4.1. Spaltviddens inverkan på temperaturen vid inlopp till värmare samt på lufttemperatur-differensen mellan över- och nedkant luftspalt.

5. UTVÄRDERING

5.1 Teoretisk diskussion

Principen för ifrågavarande konstruktion är att transmissionsenergi överförs till ventilationsluften, dvs tilluften blir förvärmad. Principen kan också uttryckas så att uteluftflödet genom väggen sänker temperaturen på väggens utsida och leder till minskade transmissionsförluster från huset.

Storleken på den energi som tillförs uteluften vid passage genom spalten, är beroende av bl a värmemotståndets fördelning på de två skikten, ju mindre motstånd i det inre skiktet desto mer värms luften. Det måste dock beaktas att ett lågt värmemotstånd i det inre skiktet innebär att väggens inneryta blir kallare.

Ett lågt värmemotstånd i det yttre skiktet innebär att luften inte värms lika mycket, men också att ytterskiktet blir kallare vilket i sin tur medför att transmissionsförlusten blir lägre.

Även luftflödets storlek har betydelse för den temperaturhöjning luften får och för temperaturfördelningen i väggen. Hur luftflödet inverkar belyses senare.

Vid en bedömning av huruvida en dylik konstruktion kan utnyttjas i en byggnad måste således bl a temperaturen på väggens inneryta (dvs "komfortkravet") sättas i relation till energibesparingen och eventuellt ökad produktionskostnad (dvs "ekonomikravet").

Att göra en exakt beräkning av hur mycket energi som kan sparas är förenat med flera osäkerheter. Dels är de i kapitel 4 angivna temperaturerna uppmätta medelvärden under en tid där inne- och utetemperaturerna har varierat. Dels är registreringen av luftflödet behäftad med vissa fel.

Vid en utvärdering måste man anta vissa parametrar, bl a värmeövergångsmotstånden, vilket också kan ge upphov till fel. Dessa varierar med en mängd olika faktorer bl a luftrörelsen och ytans råhet. Ökad luftströmningshastighet och ökade ytråhet minskar övergångsmotståndet. Ett vanligt antaget motstånd inomhus är

0,17 m², K/W och utomhus 0,08 m², K/W.

Sammantaget kan dessa faktorer bli avgörande vid en effektberäkning. Speciellt värdet på övergångsmotståndet kan ha stor betydelse i vissa fall (t ex vid lågt värmemotstånd i det yttre skiktet).

Som ett mått på energianvändningen kan användas det effektbehov som respektive konstruktion kräver. Härvid menas det totala effektbehovet, \dot{Q} = summan av ventilations- och transmissionsför-lufter, W/m² väggyta (från strålning mellan skikten bortses).

För den ventilerade väggen kan effektbehovet skrivas

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{ve} &= \text{transm}_{ve}^1 + \text{vent}_{ve}^1 = \\ &= \frac{1}{m_{y-sk}} \cdot [\bar{\theta}_{sp} - \theta_{ut}] + q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{1}{A} [\theta_{in} - \theta_{ut}] \quad (5.1)\end{aligned}$$

och för den konventionella

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{ko} &= \text{transm}_{ko} + \text{vent}_{ko} = \\ &= \frac{1}{m_{tot}} \cdot [\theta_{in} - \theta_{ut}] + q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{1}{A} [\theta_{in} - \theta_{ut}] \quad (5.2)\end{aligned}$$

där m_{y-sk} är värmemotståndet för väggens yttre skikt, m²·K/W,

m_{tot} är totalt värmemotstånd för den konventionella väggen, m²·K/W,

θ_{in} och θ_{ut} är lufttemperaturen inomhus resp utomhus, K,

$\bar{\theta}_{sp}$ är luftens medeltemperatur i spalten, K,

q är luftflödet, m³/s

ρ är luftens densitet, kg/m³

c_p är luftens specifika värmekapacitet, J/kg, K,

A är betraktad väggs area, m².

Den ventilerade väggens effektbehov kan även skrivas

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{ve} &= \text{transm}_{ve}^2 + \text{vent}_{ve}^2 = \\ &= \frac{1}{m_{i-sk}} [\theta_{in} - \bar{\theta}_{sp}] + q \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{1}{A} [\theta_{in} - \theta_{sp}] \quad (5.3)\end{aligned}$$

där m_{i-sk} är värmemotståndet för väggens inre skikt, $m^2 \cdot K/W$,
 θ_{sp} är den temperatur luften har efter att ha passerat
 spalten, K.

Både ekvation 5.1 och 5.3 beskriver det totala effektbehovet för en kvadratmeter av den ventilerade väggen. Dessa ekvationer skall alltså ge samma resultat, dvs $\dot{Q}_{ve}^1 = \dot{Q}_{ve}^2$.

På grund av de onoggrannheter som mätvärden och antaganden är behäftade med kommer dock - vilket senare visas - ekvation 5.1 och 5.3 ge relativt olika resultat.

Om beräkningen av \dot{Q}_{ve}^1 och \dot{Q}_{ve}^2 istället baseras på teoretiskt beräknade temperaturer ger naturligtvis ekvation 5.1 och 5.3 samma resultat.

Av ekvation 5.1 och 5.2 framgår att vid samma yttre förutsättningar och lika stort luftflöde blir $vent_{ve}^1 = vent_{ko}$. Detta medför att

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ko} - \dot{Q}_{vo}^1 &= transm_{ko} - transm_{ve}^1 = \\ &= \frac{1}{m_{tot}} [\theta_{in} - \theta_{ut}] - \frac{1}{m_{y-sk}} [\bar{\theta}_{sp} - \theta_{ut}] \end{aligned}$$

vilket alltså är ett mått på inbesparad effekt.

När luftflödet, q , växer kommer $\bar{\theta}_{sp}$ att närma sig θ_{ut} . Detta medför att $transm_{ve}^1$ blir lika med 0 och att $\dot{Q}_{ko} - \dot{Q}_{ve}^1$ blir lika med $transm_{ko}$. Slutsatsen av detta blir att den energi som maximalt kan sparas genom att ta in tilluften genom väggen är lika med transmissionsförlusten, $transm_{ko}$, genom motsvarande oventilerade vägg. Denna besparing uppnås när luftflödet går mot oändligheten, se fig 5.1. Tilluftens temperatur kan inte bli högre än den temperatur som luftspalten får vid stillastående luft.

För att energibesparingen skall kunna tillgodogöras måste det givetvis föreligga ett ventilationsbehov som motsvarar luftflödet. Ett stort luftflöde som "ej behövs" minskar energibesparingen och kan t o m leda till ett ökat energibehov.

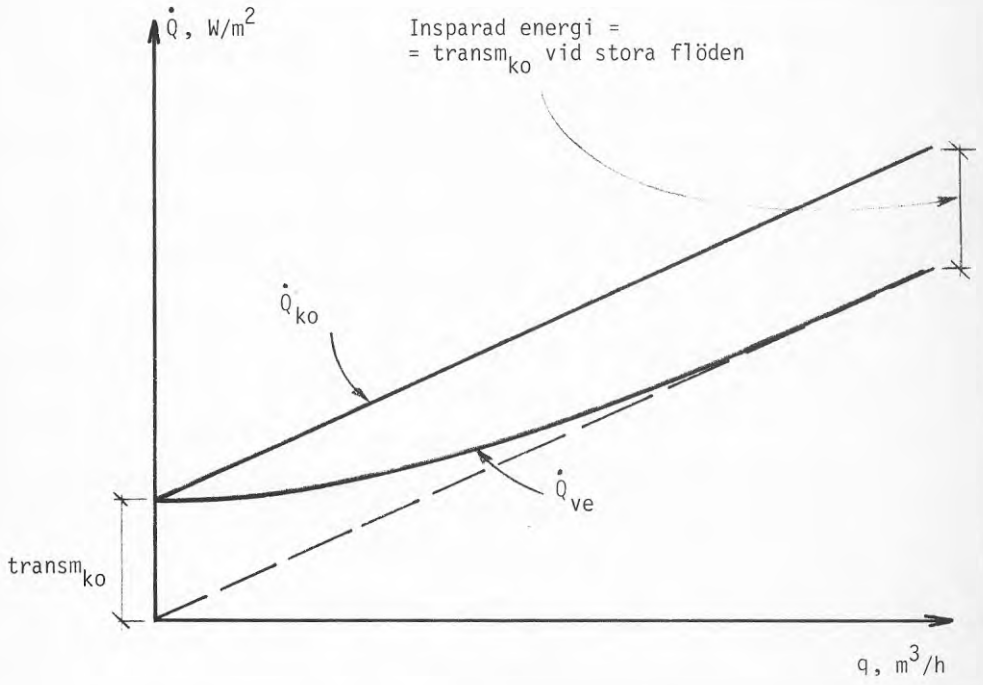


Fig. 5.1: Total effektförlust för respektive konstruktion som funktion av luftflödet.

5.2 Energibesparing, k-värden

I försöket med 50 mm isolering i det yttre skiktet, 40 mm luftspalt, luftintag i övre rand och ett luftflöde på 15 m³/h erhålls medeltemperaturen -0,5°C i luftspalten (Diagram 4.2C).

Lufttemperaturen i spalten vid inlopp till värmare uppmättes till -1,0°C (Diagram 4.2A). Rimligtvis borde lufttemperaturen vid inloppet till värmaren vara högre än luftmedeltemperaturen i spalten; luften värms ju på sin väg i spalten från luftintag till inlopp. Temperaturskillnaden är dock liten och felet ryms inom mät- och avläsningsnoggrannheten.

Den totala effektförbrukningen för en kvadratmeter av denna konstruktion blir enligt ekvation 5.1

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{ve} &= \text{transm}_{ve}^1 + \text{vent}_{ve}^1 = \\ &= \frac{1}{0,08 + 0,17 + \frac{0,05}{0,04}} \left[-0,5 - (-10) \right] + 15 \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{4,3 \cdot 2,6} \left[20 - (-10) \right] \\ &= 6,3 + 13,4 = 19,7 \text{ W/m}^2. \end{aligned}$$

Här har det antagits att värmeövergångsmotståndet vid luftspaltens yta är 0,08 m² K/W och vid väggens utsida 0,17 m² K/W (förhållandena vid väggens utsida är i detta fall likvärdiga med förhållandena vid en väggyta inomhus).

En motsvarande vägg med stillastående luft får k-värdet

$$\frac{1}{2 \cdot 0,17 + 0,16 + \frac{0,120}{0,040} + 2 \cdot 0,06} = 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$$

om det antas att luftspaltens totala motstånd är 0,16 m² K/W och motståndet i en 13 mm gipsskiva är 0,06 m² K/W.

Med luftflödet 15 m³/h blir det totala effektbehovet vid -10°C utetemperatur för den konventionella konstruktionen

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{ko} &= \text{transm}_{ko} + \text{vent}_{ko} = \\ &= 0,27 \cdot [20 - (-10)] + 15 \frac{1}{3} \frac{1}{11,18} [20 - (-10)] = \\ &= 8,1 + 13,4 = 21,5 \text{ W/m}^2.\end{aligned}$$

Med en ventilerad vägg reduceras alltså den totala effektförbrukningen med $21,5 - 19,7 = 1,8 \text{ W/m}^2$.

Nu kan ett fiktivt k-värde - k_{fikt} - beräknas, dvs det k-värde som motsvaras av den konventionella väggens transmissionsenergi minskad med den inbesparade energin.

$$k_{fikt} = \frac{8,1 - 1,8}{30} = 0,21 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

vilket kan jämföras med k-värdet för den konventionella väggen, $0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Genom att ta in tilluftsflödet $15 \text{ m}^3/\text{h}$ genom väggens luftspalt reduceras alltså i det här fallet transmissionen genom väggen med

$$\frac{0,27 - 0,21}{0,27} \cdot 100 = 22 \%$$

Motsvarande beräkning men med ekvation 5.3 ger det totala effektbehovet

$$\dot{Q}_{ve} = \text{transm}_{ve}^2 + \text{vent}_{ve}^2 = 9,7 + 9,4 = 19,1$$

vilket skall jämföras med $\dot{Q}_{ve} = 19,7$. Effektförbrukningen reduceras i detta fall med $21,5 - 19,1 = 2,4 \text{ W/m}^2$ och det fiktiva k-värdet blir

$$k_{fikt} = \frac{8,1 - 2,4}{30} = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Ekvation 5.3 ger alltså ett något gynnsammare resultat.

I motsvarande försök men med luftflödet $45 \text{ m}^3/\text{h}$ och luftintag i nedre rand (vilket kan ha en negativ inverkan, se kap 4) uppmättes medeltemperaturen $-1,5^\circ\text{C}$ i luftspalten och $-2,5^\circ\text{C}$ vid inlopp till värmare. Även här har temperaturerna fel värde i för-

hållande till varandra. Det kan dock i detta fall förklaras med att luftintaget ligger nära inloppet samt att det högre upp i spalten bildas en varm luftkudde som höjer spaltens medeltemp.

En effektberäkning med dessa temperaturer och luftflödet 45 m³/h ger enligt ekvation 5.1

$$\dot{Q}_{ve} = \text{transm}_{ve}^1 + \text{vent}_{ve}^1 = 5,7 + 40,2 = 45,9 \text{ W/m}^2.$$

Vid en jämförelse med effektbehovet för luftflödet 15 m³/h framgår att transmissionsförlusten minskar något medan ventilationsförlusten ökar kraftigt p g a att luftflödet har ökat till 45 m³/h.

Effektförbrukningen för den konventionella väggen med tilluftflödet 45 m³/h blir

$$\dot{Q}_{konv} = \text{transm}_{konv} + \text{vent}_{konv} = 8,1 + 40,2 = 48,3 \text{ W/m}^2.$$

I detta fall blir den insparade effekten 48,3 - 45,9 = 2,4 W/m² dvs något mer än vid luftflödet 15 m³/h. Det fiktiva k-värdet för luftflödet 45 m³/h blir

$$k_{fikt} = \frac{8,1 - 2,4}{30} = 0,19 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

Resultatet av en beräkning av försöket 50,0,45 enligt ekvation 5.3 redovisas tillsammans med resultaten från de övriga försöken i tabell 5.1.

Som framgår av kolumn 4 och 5 - som båda visar det totala effektbehovet för den ventilerade väggen - blir det relativt stora skillnader mellan resultaten från ekvation 5.1 respektive 5.3. Detta gäller framför allt försöken utan isolering i det yttre skiktet. Denna effekt förklaras i det följande.

Värmemotståndet för det inre skiktet är konstant och relativt stort (70 mm mineralull + 2 gipsskivor + övergångsmotstånden). Detta totala motstånd kan beräknas tämligen exakt emedan de osäkra parametrarna - övergångsmotstånden - är mycket små i för-

hållande till skiktets totala motstånd. Samma sak gäller för det yttre skiktet när det är isolerat.

I försöken utan isolerat ytterskikt är det däremot svårare att bestämma det totala motståndet. Plexiglasets egna värmemotstånd är i det närmaste försumbart och det totala motståndet består till stor del av de svårbestämda övergångsmotstånden.

Termen transm_{ve} i ekvation 5.1 är ett mått på energiströmmen genom väggens yttre skikt medan transm_{ve} i ekvation 5.3 är ett mått på energiströmmen genom väggens inre skikt.

Sammanfattningsvis gör detta att större tilltro bör sättas till ekvation 5.3 - som ej beaktar värmetransporten genom det yttre skiktet - än till ekvation 5.1. Detta verifieras också av att den ventilerade väggen ej kan få ett större effektbehov än en konventionell vägg, vilket den dock har fått enligt ekvation 5.1 vid oisolerat ytterskikt.

En annan bidragande orsak till att resultaten från ekvation 5.1 respektive 5.3 skiljer sig åt är att lufttemperaturen ej är korrekt uppmätt.

Teoretiskt skall temperaturen i spalten vid oisolerat ytterskikt ligga nära -6°C vid stillastående luft. Eftersom kall uteluft (-10°C) strömmar in i och genom spalten borde temperaturen vara ännu lägre. I dessa försök uppmättes dock spaltmedeltemperaturer på ca -4°C .

Det skall också observeras att om övergångsmotstånden är större än de antagna ökar spalttemperaturen i samtliga fall. De ökar dock mest när ytterskiktet är oisolerat.

I kolumn 7 och 8 redovisas den effektvinst man får med en ventilerad vägg, dvs $\dot{Q}_{ko} - \dot{Q}_{ve}$. Det framgår att vinsten ökar med luftflödet.

På ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab har vi tagit fram en förenklad datormodell som beräknar effektbehov och temperaturförhållanden i en dylik konstruktion (1). I modellen antas att luften strömmar

från väggavsnittets hela periferi till ett centralt beläget inlopp. Denna radiella strömningsbild torde vara den mest gynnsamma från energisparsynpunkt. Kolumn 10 kan alltså sägas redovisa den maximala effektvinst som är möjlig med ifrågavarande konstruktion.

I kolumn 11 redovisas k-värdet för väggen med stillastående luft i spalten, och i kolumn 12 och 13 redovisas de fiktiva k-värden som den ventilerade väggen ger. Beräkningen av de fiktiva k-värdena är baserade på resultatet från ekvation 5.1 resp 5.3.

I kolumn 14 visas de fiktiva k-värden som datorberäkningarna ger.

Av ovanstående och av tab 5.1 framgår vilken osäkerhet det innebär att använda uppmätta värden i effektberäkningarna. Exemplet har ändå visat att det går att spara en betydande del av transmissionsförlusten redan vid små luftflöden. Ju större transmissionen genom den konventionella väggen är desto mer energi kan sparas.

5.3 Förvärmning av tilluft. Operativ temperatur.

Temperaturhöjningen på luften beror till stor del av värmemotståndets fördelning på de två skikten. Litet motstånd i väggens inre skikt ger en hög förvärmning men en låg temperatur på väggens inneryta vilket kan inverka menligt på den operativa temperaturen i innanförliggande rum.

Lufttemperaturen -5°C i spalten ger beräkningsmässigt yttertemperaturen $+18,7^{\circ}\text{C}$ på väggens insida. I de försök som gjordes uppmättes sällan en temperatur på väggens inneryta som var lägre än $+19^{\circ}\text{C}$. På fönstrets inneryta låg temperaturen oftast omkring $+15^{\circ}\text{C}$.

Sammantaget betyder detta att isolertjockleken 70 mm i det inre skiktet ger fullt acceptabel operativ temperatur vid moderata luftflöden och utomhustemperaturer.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Isoler- tjocklek i ytter- skikt mm	Luftflöde m ³ /h, och placering av luft- uttag	Totalt effektbehov baserat på måtvärden W/m ²	Ventilerad vägg	Korv vägg	Effektöf- fers (effekt- vinst) enligt beräkning ba- serad på måt- värden, W/m ²	Teoretiskt beräknat effektbehov för venti- lerad vägg, W/m ²	Teoretiskt beräknat maximal ef- fektvinst för venti- lerad vägg, W/m ²	Teoretiskt beräknad maximal ef- fektvinst för venti- lerad vägg, W/m ²	Stilla- stående luft	k-värden, W/m ² K	k _{fikt}	Teoret. gräns- värde
40 mm	50	15 ö	19,7	19,1	21,5	1,8	2,4	20,7	3,6	0,27	0,21	0,19	0,15
luft-	50	23 ö	26,6	23,5	28,6	2,0	5,1	27,2	4,8	0,27	0,20	0,10	0,11
spalt-	50	45 n	45,9	40,3	48,3	2,4	8,0	46,6	6,6	0,27	0,19	0,01	0,05
	0	20 n	36,4	27,2	30,2	-6,2	3,0	28,4	3,9	0,41	0,62	0,31	0,28
	0	27 ö	42,5	31,7	39,9	-2,6	8,2	34,2	4,8	0,41	0,50	0,14	0,25
25 mm	50	21 n	25,8	23,0	26,9	1,1	3,9	25,6	4,5	0,27	0,23	0,14	0,12
luft-	50	28 ö	30,4	28,7	33,1	2,7	4,4	31,5	5,3	0,27	0,18	0,12	0,09
luft-	0	18 n	33,2	26,1	28,4	-4,8	2,3	26,7	3,6	0,41	0,57	0,33	0,29
spalt-	0	18 ö	33,2	25,3	28,4	-4,8	3,1	26,7	3,6	0,41	0,57	0,31	0,29

TABELL 5.1 Effektbehov och k-värden för de olika försöken.

5.4 Placering av luftintag och tilluftskanal

Från energisparsynpunkt är luftintag placerat i överkant av vägg klart att föredra under förutsättning att inlopp till värmare är placerat i nederkant. Är intag och inlopp placerade på samma höjd bildas lätt fickor med stillastående luft och konstruktionen riskerar att kortslutas och förlora sin funktion.

Vid försöken erhöles som mest temperaturdifferensen 5,5 K mellan nederkant och överkant i spalten. Denna differens uppmättes vid luftflödet 20 m³/h, ingen isolering i yttre skikt och luftintag i nederkant. Lufttemperaturen var då ungefär -7°C i underkant och -1,5°C i överkant. I spalten mitt för fönstret var lufttemperaturen också ungefär -1,5°C. Placering av tilluftskanal med värmare i bjälklag under ett fönster förefaller vara en god lösning.

Placering av luftintag vid takfot eller på vind kan vara till nackdel under t ex varma sommarkvar. Möjligheter bör då finnas att under dessa tider ställa det yttre fönstret på glänt eller att leda luften via annat intag, t ex via kryppgrund.

5.5 Temperatur vid värmare

En av idéerna med uppvärmningsanordningen består i att låta tillförd energimängd fritt få fördela sig på luftuppvärmning och radiatoruppvärmning via en betongplatta med hög värmekapacitet.

Det är då angeläget att få reda på vad det kan innebära om lufttillförseln av någon anledning skulle upphöra.

Denna situation har testats i prov 349. Det visade sig då att yttemperaturen på värmaren då steg till 63°C och att golvet då blev 35°C varmt. Till saken hör att testen gjordes i en sandbädd med betydligt bättre värmeisolering än armerad betong, vilket innebär att lägre golvtemperatur kan påräknas vid ett betonggolv.

Man kan alltså dra den slutsatsen att några obehagliga eller farliga temperaturer ej uppnås vid uppvärmningsanordningen.

5.6 Slutord med förslag till fortsatt arbete

De prov som genomförts består av två delar som lämpligen analyseras separat. Den första delen är luftspalten och dess funktion, den andra uppvärmningsanordningens funktion.

Det mest intressanta resultatet av den första delen torde vara den relativt stora skillnad mellan lufttemperaturerna i spaltens överkant och nederkant som uppstått.

Denna effekt skulle kunna hanteras på två olika sätt i praktiken. Ett sätt består i att försöka utnyttja spaltens förmåga att naturligt separera varmare luft från kallare genom att placera luftintaget i överkant.

En sådan lösning skulle ge god uppvärmningseffekt för tilluften men möjligen dålig ventilationseffekt, då varm luft tas in uppe vid tak. Att då istället införa styrlinjaler i luftspalten kan därför vara en säkrare metod att öka uppvärmningseffekten i denna.

Det bör dock observeras att exempelvis 7 K ökning av tilluften då den teoretiska ökningen är 10 K, innebär betydligt bättre verkning grad än 70 % eftersom minskad luftuppvärmning kompenseras av minskade transmissionsförluster.

Av proven framgår också att det yttre skiktet i väggen bör ges relativt god värmeisolering för att uppvärmningseffekten i spalten skall bli ekonomiskt väl utnyttjad.

Försöken visar att k-värdet med hjälp av luftspalten kan sänkas från 0,27 till 0,17 W/m²,K. Detta motsvarar en energibesparing på ca 10 kWh/m²,år. En spalt av denna typ borde kunna anordnas i många typer av ytterväggar för en kostnad av högst 25 kr/m². Investeringskostnaden blir då högst 2.50 kr/(kWh/år), vilket synes vara lönsamt.

Syftet med den andra delen av försöket, test av uppvärmningsanordningars funktion, har varit att undersöka om man med en enda uppvärmningsanordning av enklaste slag kan åstadkomma ett gott inomhusklimat utan komplicerade installationer och styrmekanismer.

Försöksresultatet visar att detta är möjligt. Inte ens vid helt strypt lufttillförsel uppstod sålunda några besvärande temperaturer.

Vid praktisk tillämpning är det angeläget att eliminera risken för baksug genom tilluftdonet. Genom att ha en luftspalt som löper obruten runt hela byggnaden, ett relativt tätt ytterskikt och ta in luften på ett "neutralt sätt" med hänsyn till vinden torde man få en relativt jämn tryckfördelning. På så sätt kan risken för baksug minskas på ett enkelt sätt.

I dag är det vanligt att de boende tätar tilluftdon beroende på det obehag en kall luftström ger. Vid den uppvärmningsprincip som provats här värms luften upp i sådan grad att detta obehag elimineras, varför risken för någon avsiktlig strypning av lufttillförseln blir liten. Det blir då också möjligt att i stort sett en gång för alla justera in ventilationssystemet i en fastighet.

Möjligheten till ytterligare en energibesparande komplettering av principen bör framhållas. Genom ett samlat frånluftsförlöde och ett närbeläggande uteluftsintag kan en värmeväxling mellan luftflödena arrangeras. Med en förvärmad uteluft i spalten blir värmeväxlingen genom väggens inre skikt lägre. Detta innebär också att till luftens temperatur närmar sig rumsluftens. I detta fall bör dock värmemotståndet i väggens yttre skikt vara relativt stort så att den förvärmade luften inte kyls ned på en hög transmission genom detta skikt. Totalt sett torde dock värmeisoleringen i väggen kunna minskas och på så sätt kompensera kostnaden för värmeåtervinning.

Sammanfattningsvis kan konstateras att provresultaten stämmer väl med teoretiska beräkningar med en förenklad datormodell. Vidare synes provresultaten vara intressanta såväl tekniskt som ekonomiskt. Projektets etapp 1 föreslås därför få en fortsättning omfattande följande etapper.

2. Förprojektering av en byggnad utformad enligt principerna för ventilisolering. I etapp 2 skall ingå att välja ut lämplig hus-typ, utföra kompletterande beräkningar och prov samt att ta fram principiella lösningar för den konstruktiva utformningen.

3. Experimentbyggande tillsammans med byggherre. I etapp 3 skall ingå alternativprojektering och uppföljning av experimentbyggandet.

LITTERATUR

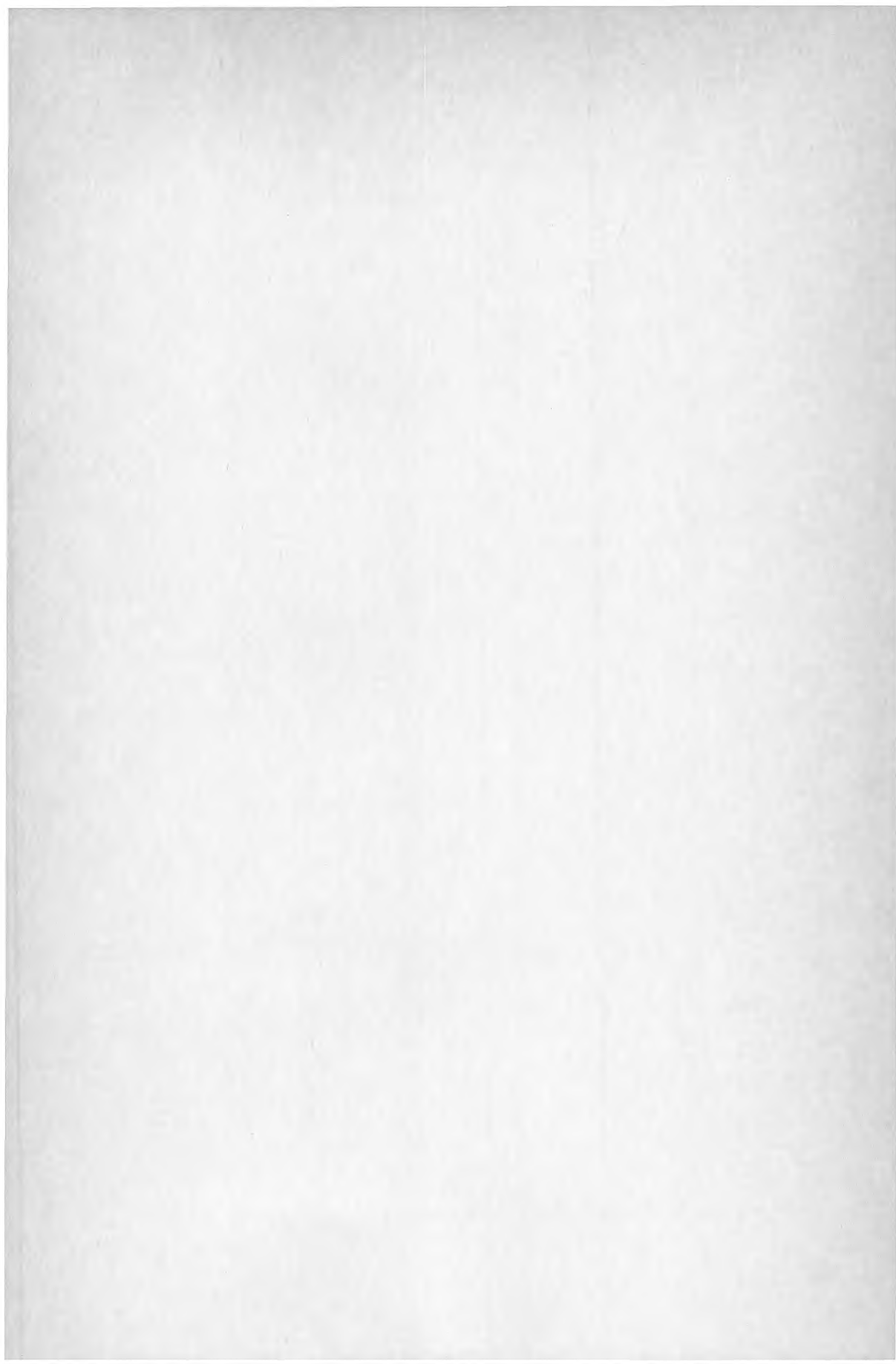
1. Franzén, Gunnar & Södergren, David
Tillvaratagande av solenergi i befintliga
flervåningsbostadshus
Opublicerad rapport. Anslag 791572-6
Byggforskningsrådet

2. Sjölund, Jan
Tilläggsisolering och ventilationsfasad
Opublicerad rapport. Projekt 80-5625
Styrelsen för teknisk utveckling
Stockholm 1983

3. Salvesen, Fritjof & Gunnarshaug, Johs
Lavenergibyggnader
SINTEF 62, Arkitektur och byggnadstekn
Trondheim 1980

4. Sievertzon, Mikael
En yttervägg som värmväxlare
Examensarbete i byggnadsteknik
Kungl Tekniska Högskolan
Stockholm 1985

5. Carlson, Per-Olof & Nylund, Per-Olof & Mwamila, Burton
Passive indoor-climate regulation for buildings in
hot climate
Document D25:1985
Swedish Council for Building Research
Stockholm 1985



**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 811197-3
från Statens råd för byggnadsforskning till Arne Johnson
Ingenjörbyrå AB, Stockholm.**

R58: 1986

ISBN 91-540-4581-9

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706058

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

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

Cirkapris: 30 kr exkl moms