



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

R54:1977

**Undersökning av
byggnaders isoler- och
täthetsutförande genom
termografering**

**Bengt Axén
Bertil Pettersson**

BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation

Hälsingegatan 47

113 31 Stockholm, Sweden

Tel 08-34 01 70

Telex 12563. Telefax 08-32 48 59

Byggforskningen

ser

R54:1977

Undersökning av byggnaders isoler- och
täthetsutförande genom termografering

Bengt Axén
Bertil Pettersson

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 498
och C 780 från Statens råd för byggnadsforskning till
Svenska Riksbyggen och Statens provningsanstalt, Stock-
holm.

V-BIBLIOTEKET BYGG
Lunds Tekniska Högskola
Box 118, 221 00 LUND

Nyckelord:

Termografering
Värmekameror
Provningsutrustning
Isoleringsmätning
Värmeisolering
Vindtäthät
Värmeläckor

UDK 620.1.08
699.82
699.86

R54:1977
ISBN 91-540-2742-X
Statens råd för byggnadsforskning

LiberTryck Stockholm 1977

FÖRORD

Föreliggande rapport behandlar termograferingsmetodens användbarhet vid undersökning av byggnaders isoler- och täthetsutförande. Metoden har använts vid undersökningar utförda under perioden 1972-1976 dels i laboratorium, dels i fält. Under denna tid har metoden utvecklats för en rutinmässig användning inom byggnadstekniken. Speciellt har metoden fått omfattande tillämpning till följd av nya krav på energihushållning inom byggnadsbeståndet. Rapporten kan ses som en fortsättning av ett tidigare redovisat metodutvecklingsarbete vid Statens provningsanstalt under titeln "Termografering av byggnader", 1972.

Rapporten redovisar genom en stor mängd praktikfall ett omfattande underlag beträffande byggnaders isoler- och täthetsutförande. De redovisade resultaten understryker kraftigt betydelsen av arbetsutförande, materialval och konstruktionsval. De konstaterade skillnaderna mellan dimensionerat och verkligt utförande visar vikten av en väl utvecklad provningsverksamhet.

De teoretiska förutsättningarna liksom de ingående laboratorieundersökningarna har utförts vid Statens provningsanstalt. Fältmätningarna har i huvudsak utförts gemensamt av provningsanstalten och Svenska Riksbyggen.

Undersökningarna har bekostats med medel dels från Statens råd för byggnadsforskning dels från provningsanstaltens eget bidragsanslag. Därutöver har material erhållits i samband med provningsanstaltens och Riksbyggens uppdragsverksamhet. De av Byggeforskningsrådet beviljade medlen har avsett samarbete mellan Statens provningsanstalt och Svenska Riksbyggen. En gemensam slutrapport har därför utarbetats.

Till våra kollegor som har lämnat värdefulla synpunkter på arbetets uppläggning eller som medverkat vid undersökningarna samt till de som har ritat figurer och skrivit ut manuskript vill vi framföra ett varmt tack.

Det är vår förhoppning att föreliggande rapport skall vara ett användbart underlag vid tillämpning av mätmetoden samt bidra till ökad kännedom beträffande byggnaders isoler- och täthetsutförande.

Stockholm i juli 1977

Bertil Pettersson
Statens Provningsanstalt

Bengt Axén
Svenska Riksbyggen

1	INLEDNING	7
	1.1 Inledning	7
	1.2 Disposition	9
2	ENERGIFÖRBRUKNING OCH PROVNING I BYGGNADER ...	12
	2.1 Energiförbrukning	12
	2.2 Provning och kontroll	15
	2.3 Metoder för verifiering av isoler- och täthetsutförande	19
3	INVERKANDE PARAMETRAR VID TERMOGRAFERING	22
	3.1 Principen för IR-kameran	22
	3.2 Värmestrålning	29
	3.2.1 Svart-kroppsstrålning	30
	3.2.2 Emittansen, ϵ	31
	3.2.3 Reflektansen, ρ	35
	3.2.4 Transmittansen, τ	37
	3.3 Yttertemperaturer och värmemotstånd	40
	3.3.1 Yttertemperaturer	40
	3.3.2 Värmeövergångsmotstånd	41
	3.3.3 Experimentell undersökning av värmeövergångsmotståndet	47
	3.3.4 Störningskällor vid termografering	53
	3.4 Yttertemperatur och luftläckage	55
	3.4.1 Tryckförhållanden i en byggnad ...	55
	3.5 Icke-stationära temperaturförhållanden ..	63
	3.5.1 Inverkan av sol vid termografering	73
4	ANVÄNDNING AV TERMOGRAFERING	76
	4.1 Mätbetingelser och mätsäsong	76
	4.2 Tolkning av termogram	80
	4.3 Kamerainställning	87
	4.4 Mätmetodens tillförlitlighet	87
	4.5 Värmemotståndsmätning och termografering.	97
5	JÄMFÖRELSETERMOGRAM FRÅN FÄLTMÄTNINGAR	98
6	SPECIELLA KONSTRUKTIONER OCH KONSTRUKTIONSDETALJER	144
	6.1 Ytterväggar för industribyggnader	144
	6.2 Vindskydd i yttervägg	144
	6.3 Fogtätningssystem	144
	6.3.1 Fogtätningssystem vid golvsyll ...	145
	6.3.2 Fogtätningssystem kring fönster- och dörrpartier	146

7	EXEMPEL PÅ FÖRBÄTTRINGSÅTGÄRDER	169
8	BRISTER I ISOLER- OCH TÄTHETSUTFÖRANDET I BYGGNADER	169
8.1	Förutsättningar	169
8.2	Byggfelsredovisning	188
9	ERFARENHETER	209
9.1	Byggnadstekniska erfarenheter	209
9.1.1	Konstruktion	211
9.1.2	Material	213
9.1.3	Tätskikt	215
9.1.4	Fogtätning	216
9.1.5	Installationer	217
9.1.6	Arbetsutförande	217
9.2	Mättekniska anvisningar	219
9.2.1	Förberedelser	219
9.2.2	Termografering	220
9.2.3	Rapport.....	221
9.3	Termografins utveckling.....	223
10	SAMMANFATTNING.....	225
11	APPENDIX.....	226
12	LITTERATUR.....	232

1 INLEDNING

1.1 Inledning

Kravet på energisnåla konstruktioner har ökat väsentligt jämfört med tidigare. Utvecklingen inom energiområdet har tillsammans med kravet på gott inomhusklimat medfört att allt större vikt måste fästas vid såväl funktionen hos byggnadens värmeisolering och lufttäthet som effektiviteten hos dess värme- och ventilationssystem.

Planverket har i Svensk Byggnorm, SBN 1975 Supplement 1, infört nya regler och bestämmelser beträffande energihushållning i byggnader innebärande krav på högisolerade och täta konstruktioner. Beträffande arbetsutförande och tillsyn har även införts skärpta krav på provning och kontroll såväl vad avser laboratorie- som fält-mätningar. Behovet av lämpliga provningsmetoder för kontroll av byggnaders värmeisolering och täthet är stort. Hittills har sådana provningsmetoder för rutinmässig användning saknats.

Vid högisolerade och täta konstruktioner kan brister i isoler- och täthetsutförandet få stor inverkan på energiförlusterna. Brister i byggnadens värmeisolering och lufttäthet medför ej enbart risk för alltför höga uppvärmnings- och underhållskostnader utan ger också förutsättningar för dåligt inomhusklimat.

Väl grundade uppgifter på hur mycket isolerfel och luftläckage betyder i ökad årlig energiförbrukning finns ej att tillgå. Resultat från olika undersökningar tyder emellertid på att sådana brister är mycket vanliga även i nybyggda bostäder och att dess inverkan på energiförbrukningen är hög.

En byggnads isoleringsgrad anges ofta i form av ett värmemotståndsvärde (el k-värde) för de olika byggnadsdelarna. Angivna värden på värmemotstånd utgör emellertid sällan mått på de verkliga energiförlusterna i en byggnad. Luftläckage genom otäta fogar och anslutningar samt bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet ger ofta upphov till avsevärda avvikelser från de dimensionerade och förväntade värdena.

Verifiering av att enskilda material och byggnadsdelar håller utlovade egenskaper kan erhållas genom laboratorieprovning. För att säkerställa att den avsedda isoler- och täthetsfunktionen i byggnaden verkligen uppnås, är verifiering genom provning och kontroll i den färdiga byggnaden nödvändig.

Under de senaste åren har undersökningar utförts i Sverige i syfte att utveckla en metod för rutinmässig kontroll av isoler- och täthetsutförande i byggnader genom s k termografering. Med hjälp av denna metod kan temperaturfördelningen hos (egentligen temperaturstrålningen från) ytor bestämmas och avbildas.

Vid den byggnadstekniska tillämpningen används termografi för att studera temperaturvariationer utefter byggnadskonstruktionens ytor. Variation i konstruktionens värmemotstånd ger under vissa förutsättningar upphov till temperaturvariationer på dess ytor. Även läckage av kall (eller varm) luft genom konstruktionen påverkar yttemperaturfördelningen. Detta ger möjlighet att lokalisera och kartlägga isolerfel, köldbryggor och luftläckage i byggnadens omslutande konstruktionsdelar.

Termograferingsmetoden är kvalitativ och anger ej kvantitativt konstruktionens värmemotstånd eller lufttäthet. I de fall kvantifiering av värmemotstånd eller lufttäthet önskas måste kompletterande mätningar göras. Vid termografering av byggnader krävs vissa förutsättningar ifråga om temperatur- och tryckförhållanden över konstruktionen. För bedömning av mätresultatet ställs speciella krav på kompetens och erfarenhet hos mätpersonalen.

Detaljer, former och kontraster i värmebilden kan variera påtagligt vid ändringar i vissa parametrar. För en ingående analys och tolkning av värmebilden fordras därför goda kunskaper om bl a material- och konstruktions-egenskaper, klimatinverkan samt aktuell mätteknik.

1.2 Disposition

Föreliggande rapport avser att bl a närmare klarlägga värmekamerans användbarhet och tillförlitlighet att lokalisera och kartlägga brister i isoler- och täthetsutförandet i färdiga byggnader samt ange lämplig arbetsgång vid rutinmässig användning av termograferingsmetoden.

De grundläggande förutsättningarna för termografering av byggnader har tidigare undersökts vid Statens provningsanstalt. En del av arbetet har redovisats i en byggforskningsrapport, Paljak & Pettersson (1972). I den nämnda rapporten där mätningarna var utförda i huvudsak i laboratorium ges förslag till tolkningsregler för värmebilder. Undersökningarna i föreliggande rapport är i huvudsak utförda i fält d v s i färdiga byggnader och behandlar mera ingående bl a inverkan av parametrar, mätbetingelser, tolkningsförfarande samt praktiska exempel från termograferingsarbetet beträffande systematiska fel i byggnaders värmeisolering och lufttäthet.

Rapporten har getts följande disposition.

I kap 2 behandlas allmänt energiförbrukning och provning och kontroll i byggnader. En orientering ges om olika metoder för verifiering av byggnaders isoler- och täthetsutförande. Avsnittet avslutas med en bedömning om vilken inverkan effektiv provning och kontroll kan ha beträffande byggnadens isoler- och täthetsutförande samt energiförbrukning.

I kap 3 behandlas inverkan av olika parametrar vid termografering av byggnader. En kortfattad beskrivning av principen för IR-kamerans funktion ges här. I avsnittet redogörs för värmestrålning och hur ytans emitterande, reflekterande och transmitterande egenskaper påverkar IR-kamerans möjlighet att rätt återge ytans temperatur. I kapitlet behandlas sambandet mellan yttemperaturer och värmemotstånd. Vidare redogörs för hur varierande betingelser såsom vind, värmeövergångsmotstånd, temperatur och sol påverkar värmebildens utseende.

I kap 4 ges krav på mätbetingelser vid termografering av byggnader. I kapitlet ges regler för och ex.på tolkning av framtagna termogram samt användning av jämförelsetermogram. I avsnittet berörs även vikten av rätt kamerainställning för att uppnå god kvalitet på värmebilderna och termogrammen. Kapitlet behandlar även mätmetodens tillförlitlighet d v s om man med tillfredsställande noggrannhet kan lokalisera och bestämma fel i byggnaders isoler- och täthetsutförande. Exempel på verifiering av termograferingsresultatet ges.

I kap 5 ges exempel på ett antal jämförelsetermogram över normalt i praktiken förekommande brister i byggnaders isoler- och täthetsutförande. Syftet med jämförelsetermogrammen är att underlätta tolkning och bedömning av termogram framtagna i fält.

I kap 6 ges exempel från ett antal praktikfall där vissa speciella konstruktioner och konstruktionslösningar har undersökts.

I kap 7 ges exempel på effektiviteten hos vidtagna åtgärder vid vissa typer av isolerfel.

I kap 8 lämnas en redovisning av systematiska fel i byggnaders värmeisolering och lufttäthet vid vissa konstruktionstyper. Undersökningen omfattar ca 400 projekt motsvarande ca 3000 lägenheter i småhus och flerbostadshus. Den geografiska fördelningen av projekten hänförs till olika delar av landet.

I kap 9 lämnas vissa byggnadstekniska erfarenheter beträffande konstruktion, material och arbetsutförande. I kapitlet ges mättekniska anvisningar och lämplig arbetsgång vid termografering av byggnader. Kapitlet avslutas med en kortfattad redogörelse av termografins utveckling.

I kap 10 ges en sammanfattning av rapporten.

Kap 11 innehåller ett appendix där bl a vissa fysikaliska data lämnas för några material.

Rapporten avslutas med en litteraturförteckning i kap 12.

2 ENERGIFÖRBRUKNING OCH PROVNING I BYGGNADER

2.1 Energiförbrukning

Energiförbrukningen i Sverige har under de senaste åren och fram till år 1973 i genomsnitt ökat med mellan 4 och 5 procent per år. Efter en tillfällig nedgång i förbrukningen med ca 6 % år 1974 ökade förbrukningen åter år 1975 med 2 % och år 1976 bedöms tillväxten vara ca 6 %.(Se FIG 1). Den tillfälliga nedgången i förbrukningen och minskningen i ökningstakten år 1974 resp 1975 hade bl a samband med onormalt varma vintrar. År 1975 uppgick energiförbrukningen i landet till 416 TWh. /14./

I energistatistik uppdelas normalt förbrukningen i sektorerna industri, samfärdsel och övrigt. Fördelningen mellan de olika sektorerna var 1975 42, 19 respektive 39 %. Industrisektorn omfattar då både processenergi och lokalkomfort inom industrin. Övrigsektorn omfattar i huvudsak uppvärmning av bostäder och lokaler såsom kontor, sjukhus, skolor och fritidshus. Tas hänsyn till uppvärmning av industrins lokaler (ca 30 TWh) motsvarar posten uppvärmning av bostäder och övriga lokaler närmare hälften av landets energiförbrukning.

Av den energiförbrukning som totalt hänförs sig till byggnader är den del som går åt för själva byggprocessen (byggande, transporter och framställning av byggnadsmaterial) liten, cirka 7 %, i förhållande till den del som behövs för uppvärmning av byggnader, ca 94 %, vid en beräknad brukningstid av cirka 40 år.

Det energipolitiska beslut som riksdagen tog 1975 innebär att ökningstakten för landets totala energikonsumtion måste begränsas till 2 % per år fram till 1985. (FIG 1). För att inte äventyra sysselsättning m m kommer denna ökning att i huvudsak tillfalla industrisektorn. Inom övrigsektorn kommer det i praktiken att innebära en snolltillväxt av energiförbrukningen trots att antalet bostäder beräknas öka (FIG 2). Detta medför att energiförbrukningen såväl i nyproducerade som i befintliga byggnader måste reduceras jämfört med tidigare.

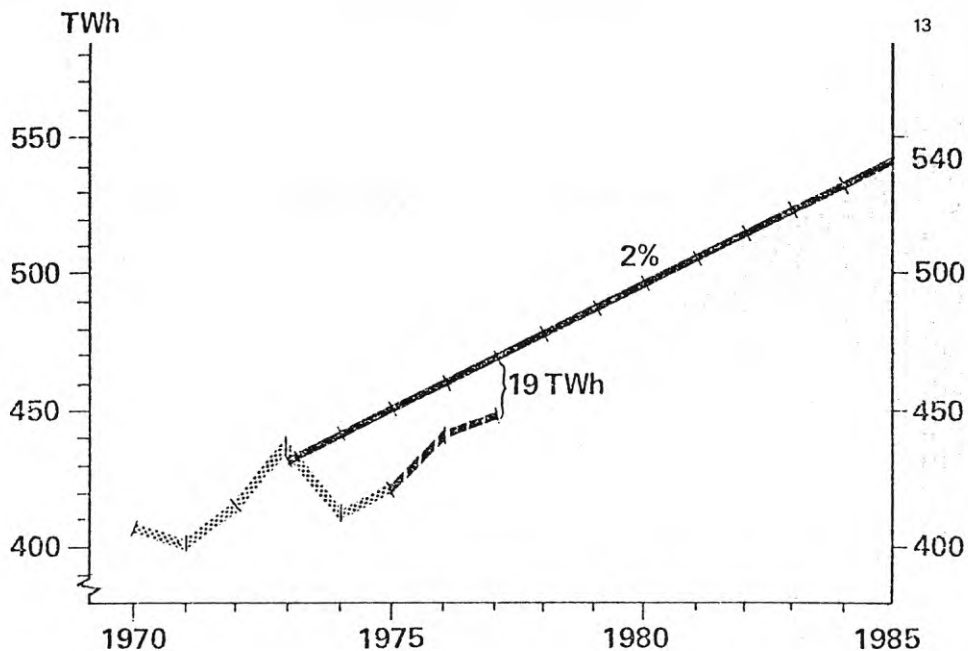


FIG 1 Den totala energitillförselns utveckling från 1970 - 1975 samt prognos för 1976 - 1977.

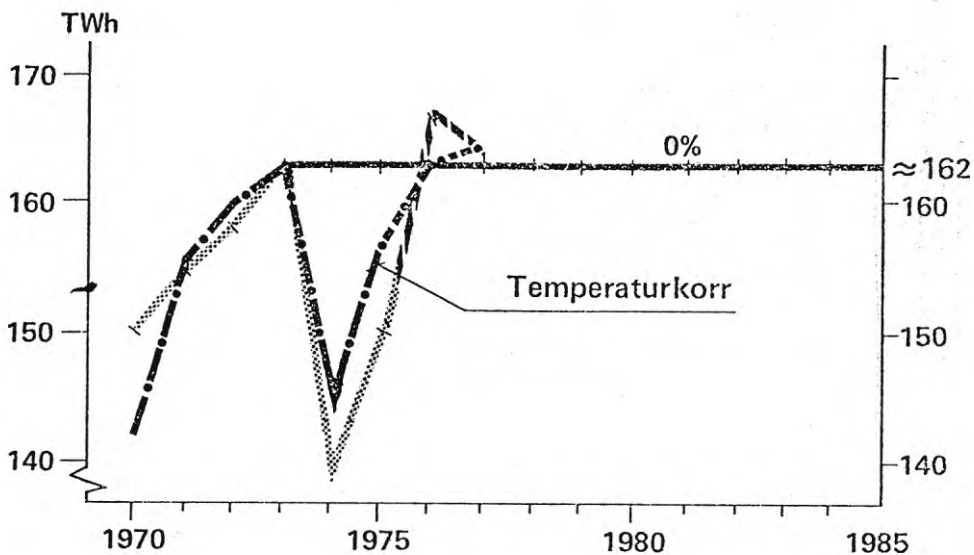


FIG 2 Övrigsektorns energiförbrukning från 1970-1975 samt prognos för 1976 - 1977. Den punkterade kurvan avser temperaturkorrigerade värden där 1973 betraktas som referensår.

Nettoenergiförlusterna i en byggnad kan uppdelas i följande förlustposter

- transmissionsförluster genom väggar, golv, tak, fönster och dörrar
- ventilationsförluster genom härför upptagna ventilationsöppningar samt genom oavsiktliga otätheter i byggnadens omslutande delar
- förluster genom tappvarmvatten.

Som exempel kan nämnas att nettoenergibehovet per år för ett källarlöst småhus med en bostadsyta av 125 m² och beläget i mellansverige är ca 35000 kWh. Härvid förutsättes att värmeisoleringen och tätheten är av medelgod standard enligt SBN 67 och att manuell reglering används för att styra värmetillförseln. Motsvarande behov för en lägenhet med en bostadsyta av ca 75 m² är ca 17000 kWh. /1./

Fördelningen av förlusterna i t ex ett småhus med ovan angivna isoler- och täthetsstandard kan beräknas uppgå till följande enligt EPU.

Transmissionsförluster:	ca 55 %
Ventilationsförluster:	" 30 %
Tappvarmvatten:	" <u>15 %</u>
Summa	100 %

Planverket har i Svensk Byggnorm, SBN 1975, infört ökade krav på funktionen hos byggnadens värmeisolering och lufttäthet jämfört med tidigare.

I SBN 1975, Supplement 1 kap 33, står bl a följande: "Byggnad, som avses att hållas uppvärmd, värmeisoleras och tätas så att hygieniska olägenheter inte uppkommer samt så att värmeavgivningen och luftläckningen genom dess omslutande delar begränsas med hänsyn till kravet på god energihushållning..."

De nya bestämmelserna för energihushållning i byggnader avser att minska energiförbrukningen med 40-50 % i småhus jämfört med nu vanlig standard. Motsvarande gäller för flerbostadshus.

2.2 Provning och kontroll

Funktionen hos värmeisoleringen och lufttättheten i en färdig byggnad kan vara svår att förutse. Vid montering av de olika komponenterna och byggnadsdelarna på arbetsplatsen förekommer moment som i hög grad kan påverka slutresultatet. Inverkan av transporter, hantering och förvaring på arbetsplatsen samt arbetsutförandet kan ej förhandsberäknas. För att säkerställa att avsedd funktion verkligen uppnås, är verifiering genom provning och kontroll i den färdiga byggnaden nödvändig.

Med dagens isolerteknik har det teoretiska värmebehovet minskats jämfört med tidigare. Detta innebär emellertid att relativt små felaktigheter - men på betydelsefulla ställen - t ex otäta fogar eller bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet kan få stora konsekvenser ur såväl värme- som komfortsynpunkt. Verifierande provningar genom t ex termografering har visat sig vara värdefulla ur såväl projektörens, entreprenörens som byggherrens, fastighetsförvaltarens och brukarens synpunkter.

Ur projektörens synpunkt är det viktigt att få kännedom om funktionen hos olika typer av konstruktioner så att dessa kan utformas med hänsyn till såväl arbetsmetodik som funktionskrav. Han måste även känna till, hur olika material och materialkombinationer fungerar i praktiken. En effektiv provning och kontroll samt erfarenhetsåterföring kan därvid ge en önskad utveckling inom området.

Ur entreprenörens synpunkt är det angeläget med utökad provning och kontroll i syfte att säkerställa att konstruktionerna håller en förväntad och riktig funktion, som motsvarar uppställda krav i myndighetsföreskrifter och kontraktshandlingar. Han vill i ett tidigt byggskede få information om eventuella förändringar som behöver vidtagas så att konsekvent uppkomna fel förhindras.

I byggskedet bör kontrollen därför utföras t ex i de först färdigställda husen i en serieproduktion. På så sätt kan systematiska fel vid det fortsatta byggnadet elimineras och onödiga kostnader och framtida problem undvikas. En sådan typ av varudeklaration är till gagn för såväl producent som konsument.

För byggherren och fastighetsförvaltaren är det väsentligt att kontrollera byggnaden ur värmeeconomisk synpunkt, underhållssynpunkt (skador på grund av fukt eller fuktläckage) samt komfortsynpunkt för de boende (t ex nedkylda ytor, luftrörelser i vistelsezon etc).

Ur brukarens (konsumentens) synpunkt är det angeläget att den färdiga produkten uppfyller utlovade krav beträffande byggnadens värmeisolering och lufttäthet.

För den enskilde konsumenten rör det sig om stora ekonomiska åttaganden vid köp av hus. Han är därför intresserad av att priset på huset hålls nere och att ev fel i utförandet ej får allvarliga ekonomiska konsekvenser. Brister i utförandet kan även medföra hygieniska olägenheter.

Vid köp av t ex ett radhus har köparen oftast inte möjlighet att se just den färdiga produkten som han sedan ev genom avtal binder sig vid. Som regel tillhandahålles en kortfattad byggnadsbeskrivning som mycket fullständigt beskriver utförandet, speciellt betr byggnadens värmeisolering och täthet.

Vid hittills tillämpad besiktningssprocedur har köparen möjlighet att närvara vid slutbesiktningstillfället (sker vid inflyttning) och vid garantibesiktningen (utförs ca ett år efter slutbesiktningstillfället). Besiktningen utförs härvid av besiktningssman, utsedd av byggherren, genom okulärbesiktning. Att bedöma byggnadens isoler- och täthetsutförande genom okulärbesiktning är mycket svårt och sådana besiktningar omfattar därför främst uppenbara fel och s k skönhetsfel. Grova dolda fel i utförandet kan härvid passera med allvarliga konsekvenser för brukaren som följd.

Inverkan av provning och kontroll av byggnadens värmeisolering är av dels fysiologisk dels ekonomisk art.

Den fysiologiska upplevelsen av klimatmiljön inomhus är mycket individuell och varierar beroende på att människokroppens värmebalans och temperaturupplevelse är olika hos olika människor. Klimatupplevelsen är beroende av såväl rumslufttemperaturen som omgivande ytors temperatur. Rumsluftens hastighet och fukttinhåll har även betydelse. Fysiologiskt innebär känslan av drag, lokal avkylning av kroppsdel eller kroppsytan orsakad av:

- för stora luftrörelser i vistelsezonen med normal lufttemperatur
- normala luftrörelser i vistelsezonen med för låg lufttemperatur
- stort strålningsvärmeutbyte med en kall yta.

Den kvantitativa inverkan av provning och kontroll av byggnaders värmeisolering och lufttäthet är svårbedömd. I samband med undersökningarna har emellertid följande framkommit.

Kostnad för åtgärder för tillrättaläggande av fel i isoler- och täthetsutförandet har visat sig i ett flertal fall kunna uppgå till mellan 3.000 - 5.000 kr per hus om felet upptäcks först när husen är färdigställda och inflyttade. Provning och kontroll bör sättas in i början av en byggnadsetapp (de först färdigställda lägenheterna i en seriebyggnation) och ha sådan omfattning att förekommande fel av systematisk karaktär kan avslöjas och i ett tidigt skede tillrättaläggas. Exempel har visat, att kostnaderna för åtgärder och ändringsarbeten i sådana fall kan minskas till mycket låg nivå. Stickprovskontroll i ett visst antal småhus eller lägenheter i en etapp byggnader kan få märkbar effekt utan att alla enheter behöver provas.

Undersökningarna har visat att det ofta upptäcks brister i byggnaders värmeisolering och lufttätthet som motsvarar 20 - 30 % ökade värmeförluster jämfört med förväntade. Uppföljning av energiförbrukning före och efter åtgärd i relativt stora småhusområden samt i flerbostadshus har visat detta. Denna siffra är sannolikt ej representativ för byggnader i allmänhet då undersökningsmaterialet ej kan sägas vara signifikativt för hela byggnadsbeståndet. Vid en försiktig bedömning kan emellertid en effektiv provning och kontroll av byggnadens värmeisolering och täthet få till följd ca 10 % minskad energiförbrukning.

Enligt tidigare redovisat exempel på energiförbrukning i byggnader skulle detta innebära för småhus en årlig besparing per enhet på ca 2.800 kWh (transmissions- och ventilationsförluster) och motsvarande för lägenhet ca 1.300 kWh, med dagens isoler- och täthetsstandard. Vid högisolerade och täta byggnader enligt kraven i SBN 1975, Supplement 1, skulle motsvarande besparingar bli ca 1.700 resp 800 kWh.

Om årsproduktionen antas vara 70.000 lägenheter fördelade på 40.000 småhus och 30.000 lägenheter i flerbostadshus blir därvid besparingen ca 151.000.000 kWh vid nuvarande standard och 92.000.000 kWh vid en standard enligt energihushållningsreglerna. Detta motsvarar vid ett energipris av 0.10 kr per kWh en minskad årlig energikostnad på ca 15 resp ca 9 Mkr. Det bör påpekas att denna besparing har en kumulativ effekt.

Undersökningarna har visat att ökad energiförbrukning i samband med fel ofta orsakas av att de boende höjer inomhustemperaturen någon eller några grader över det normala för att kompensera inverkan av obehaglig värmestrålning mot nedkylda ytor eller känsla av störande luft rörelser i rummet.

Vid de fall där t ex termografering har varit föreskriven som kontrollmetod i kontraktshandlingarna har en märkbar förbättring i utförandet kunnat iakttagas jämfört med vad som normalt brukar vara fallet.

2.3 Metoder för verifiering av isoler- och täthetsutförande

Brister i byggnadens värmeisolering och täthet kan uppmärksammas genom onormalt höga uppvärmningskostnader och bristfälligt inomhusklimat.

Beträffande arbetsutförande och tillsyn har planverket infört skärpta krav på provning och kontroll såväl vad avser isoler- som täthetsutförandet i en byggnad.

I SBN 75 Supplement 1, Energihushållning m m står bl a: "Kontroll av lufttäthet hos färdig konstruktion utförs genom stickprov. Särskild kontroll av värmeisolering och lufttäthet hos färdig konstruktion utförs i övrigt när tveksamhet råder om tillfredsställande utförande åstadkommit och byggnadsnämnden finner anledning föreskriva sådan kontroll".

Vidare anges i Kommentarer till Svensk Byggnorm att:

"Luftläckor kan spåras med värmekamera.

Särskild kontroll av värmeisolering kan utföras på ettdera av följande sätt

- a) kvalitativ bedömning av värmeisoleringens utförande genom termografering med värmekamera
- b) uppmätning av värmeisoleringsförmågan i aktuella snitt genom värmemotståndsmätning
- c) isärtagning av konstruktionen i aktuella snitt och okulär kontroll av värmeisoleringens utförande".

Nedan anges vissa metoder som visar hur några av de storheter som påverkar energiförlusterna och klimatet i en byggnad kan verifieras. Metoderna har prövats bl a i samband med föreliggande undersökning. I anslutning till respektive metod anges vissa synpunkter som därvid erhållits beträffande fördelar och nackdelar som metoden (instrumentet) ifråga har.

A. Uppmätning av väggytans temperaturfördelning med hjälp av

1) termografering med värmekamera (IR-kamera)

Fördelar: Metoden är snabb och ger momentant en över-skådlig visuell bild av temperaturfördelningen (temperaturstrålningen) hos ett större ytparti. Svåråtkomliga ställen kan mätas på. Vid mätningen förekommer ej störande kontakt mellan mätinstrumentet och mätobjektet. En kvalitativ bild av konstruktionens värmeisolering och täthet erhålles. Med hjälp av IR-kameran kan man lokalisera och kartlägga isolerfel, luftläckage och köldbryggor hos konstruktionen.

Nackdelar: Metoden är kvalitativ. Mätmetoden ställer vissa krav på randvillkoren. I metoden ingår bedömningsmoment som kräver kompetent och erfaren mätpersonal.

2) yttemperaturmätning medelst yttermometer, termoelement el strålningspyrometer

Fördel: Mätning sker i vissa punkter där ytans verkliga temperatur bestämmes.

Nackdelar: Det är tidsödande att lokalisera ev isolerfel el luftläckage och att erhålla en fullständig bild av temperaturfördelningen på ytan. Den nedkylda ytans konturer är tidskrävande att kartlägga. Yttemperaturfältet kan störas vid mätningen p g a kontakt mellan givare och mätyta.

B. Uppmätning av värmemotstånd med hjälp av värmeflödesmätare eller Hot Box.

Fördelar: Mätningen ger kvantitativa värden på väggens värmemotstånd. Relativt hög reproducerbarhet.

Nackdelar: Mätningarna ställer speciella krav på randvillkoren. Mätvärden erhålles endast vid enstaka mät-punkter eller ytpartier. Det är tidskrävande att lokalisera och kartlägga isolerfel hos konstruktionen.

C. Provning av täthet hos konstruktionen med hjälp av

1) spårgasmetoden

Fördelar: Mätningen ger kvantitativa värden på byggnadens ofrivilliga ventilation.

Nackdelar: Metoden är tidskrävande och erfaren mätpersonal är nödvändig. Läckageställena kan ej lokaliseras och kartläggas. Mätningen är ett resultat av samverkan mellan byggnadens otätheter och den vädersituation som råder vid mättillfället. Luftrörelser i konstruktionen kan ej verifieras.

2) tryckmetoden

Fördelar: Mätningen ger kvantitativa värden på byggnadens lufttäthet. Mätningen är normalt oberoende av väderlek vid mättillfället. Mätproceduren är relativt enkel .

Nackdelar: Mätningen ger primärt ej något mått på den ofrivilliga ventilationen. Mätningen anger ej var ev luftläckage förekommer. Luftrörelser i konstruktionen kan ej verifieras.

3) lufthastighetsmätare

Fördelar: Mätningen ger värden på lufthastighet vid läckageställena. Instrumentet är lätt att hantera och kan användas vid lokalisering av luftläckage.

Nackdelar: Tidsödande att lokalisera luftläckage. Mätning med instrumentet anger ej läckagets storlek och omfattning. Luftrörelse inne i konstruktionen kan ej upptäckas.

4) rökgasprovning

Fördelar: En kvalitativ bild av luftrörelserna vid läckagestället erhålles. Rökgasen ger information om luftens strömningsriktning och ungefärliga hastighet i rummet.

Nackdelar: Tidskrävande att lokalisera felställen. Undersökningen ger ej värden på luftläckagets storlek. Rökgasen kan vara besvärande.

3 INVERKANDE PARAMETRAR VID TERMOGRAFERING

3.1 Principen för IR-kameran

Med IR-teknik menas här en tillämpning där den infraröd-strålning (värmestrålning) som emitteras från ett objekt utnyttjas för att avbilda detta och skaffa information om dess temperatur. Den emitterade strålningen från en yta vid rumstemperatur faller inom det infraröda området (0,7 - 1000 μm). Strålningen från en yta beror inte enbart av ytans temperatur utan även av dess emitterande och reflekterande egenskaper. En IR-kamera registrerar och avbildar den värmestrålning som emitteras eller reflekteras från ytor i form av en svart-vit bild, värmebild, på en oscilloskopsskärm. Tekniken att avbilda och uppmäta värmestrålningen på detta sätt kallas termografi.

IR-kamerans egenskaper bestäms av dess känslighetsområde, termiska och optiska upplösningförmåga, av bildfältets storlek samt avsökningshastighet. De moderna infrarödkamerorna, med känslighetsområde 2-5,6 μm , är försedda med ett bildavsökningssystem som möjliggör uppmätning av den individuella energiutstrålningen från ett stort antal delement av en yta och kameran kan därigenom bygga upp en "strålningsbild" av ytan. Strålningsbilden (värmebilden) framträder på en bildskärm på ett oscilloskop (FIG 3 a). Värmebilden kan avfotograferas med en vanlig kamera varvid erhålles ett termogram (FIG 3 b).

Vissa kameratyper kan återge temperaturfördelningen både enligt en gråtonsskala (från svart till vitt) och enligt en färgskala.

I den svart-vita värmebilden (FIG 3 b) motsvarar partier med mörkare gråton ytor med lägre temperatur och partier med ljusare gråton ytor med högre temperatur.

I ett färgtermogram (se FIG 33) motsvarar varje färgton ett visst temperaturintervall. Temperaturfördelningen på ytan återges därvid med god åskådlighet.



a) Termografering med IR-kamera av vägg- och takparti. Värmebilden återges på oscilloskåpets bildskärm.



b) Termogram av ytparti vid takvinkel enligt a). Inga isotermer inlagda (gråtonsbild). Aktuellt mätområde anges av en siffra (här 2) längst upp till vänster i termogrammet.

c) Termogram av samma ytparti som vid b) med två isotermer inlagda (isotermbild).

FIG 3 Fotografi av IR-kamera, AGA THV 750, i funktion samt olika typer av termogram för samma mätobjekt.

Då apparaten kontinuerligt avsöker fler bilder per sekund innehållande 7.000 - 10.000 bildelement vardera (beroende på kameratyp) erhålles en relativt flimmerfri och detaljrik värm bild. Principskiss för strålgången i en IR-kamera visas i FIG 4. Mätytan av-söks utefter ett antal horisontella linjer som kan fram-träda i vissa termogram.

Bildelementens storlek är bestämda av detektorns storlek och kameraoptiken och brukar anges med en vinkelupplösning. För de använda kameratyperna uppges denna upplösning t ex vara ca 3 mrad vid 20^o-lins och ca 1 mrad vid 10^o-lins. Det minsta delement som kan upptäckas på en yta är där-vid en funktion av avståndet mellan mätobjekt och kamera. Konturerna i värmebilden framträder mera diffust vid stora avstånd än vid små. Vid stora avstånd mellan mätobjekt och kamera bör man därför använda en lins med mindre bildvinkel.

Som detektor i de flesta IR-kameror användes indiuman-timonid (InSb) som vid 77 K är känslig inom våglängds-området 0-5,6 μm . Kamerans undre gränsvåglängd bestäms dock av germaniumlinser i kameran till 2 μm . IR-kamerans känslighetsområde visas på diagrammet i FIG 5.

I värmebilden (FIG 3 b) är svärtningsgraden en funk-tion av den utstrålade energin och därmed temperaturen hos den undersökta ytans olika partier. IR-kamerans temperaturområde är ca -30^oC till +2000^oC. I närheten av +30^oC mäter kameran temperaturen med en upplösning som är bättre än 0,2^oC. Vid mätning av lägre tempera-turer avtar känsligheten något. Detta framgår även av utseendet hos kalibreringskurvan för apparaturen. (FIG 6).

En värm bild skiljer sig till karaktären från en foto-bild, som återger den reflekterade strålningen normalt inom det synliga området. Värmebilden återger den emitterade och reflekterade egenstrålningen inom det för IR-kameran känsliga området 2,0 - 5,6 μm . En foto-bild återger former och konturer med stor skärpa. Värme-bilden har ofta en grövre struktur och diffusare kontur-återgivning. Detta beror främst på skillnaden i upp-lösningsförmåga men beror även på att värmeledning i ytan ibland ger mjukare övergångar.

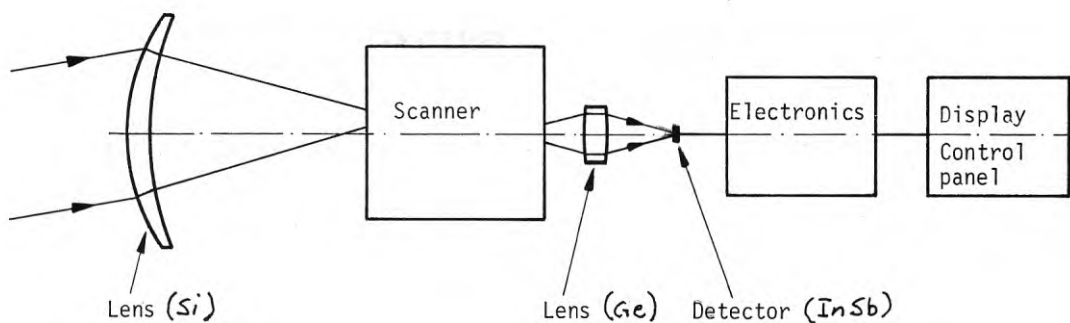


FIG 4 Skiss för strålgången i en IR-kamera.

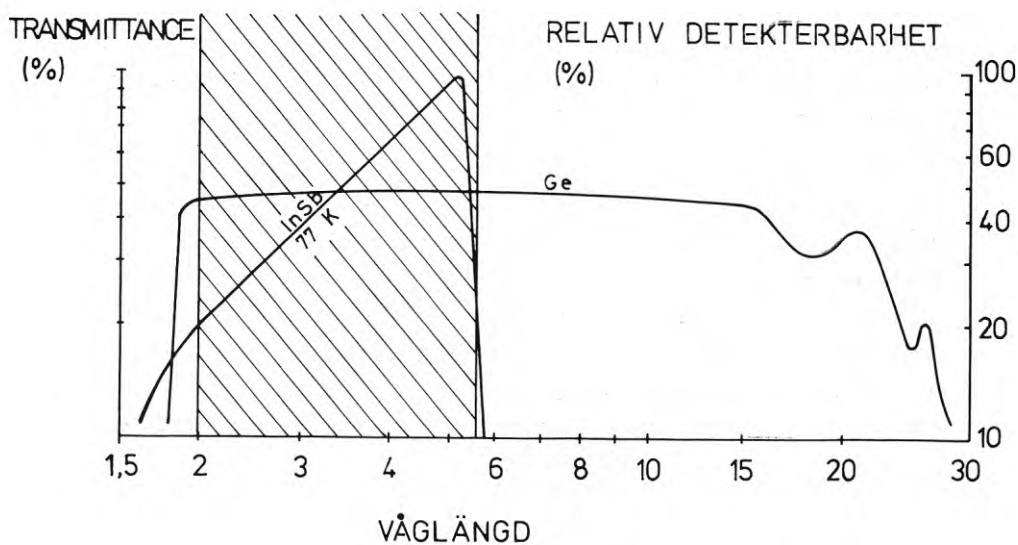
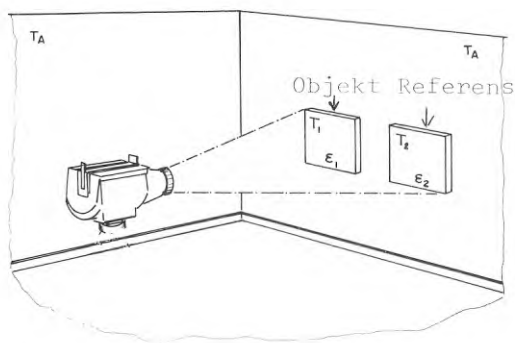


FIG 5 Spektral transmittans för germanium, Ge, (tjocklek 2 mm) och relativ detekterbarhet för indium antimonid, In Sb. Dessa två material begränsar våglängdsområdet inom vilket IR-kameran är känslig.

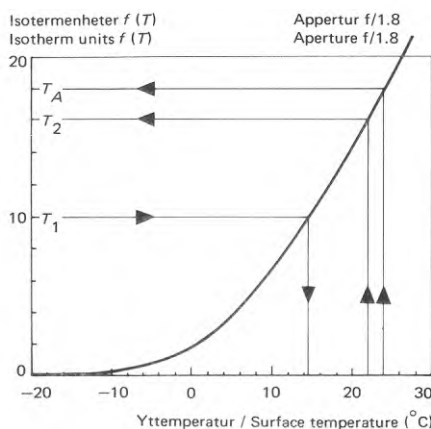
För underlättande av uppmätning av temperaturskillnader mellan olika ytpartier inom värmebilden har IR-kameran försetts med en s k isotermfunktion. Med hjälp av denna kan ytpartier inom värmebilden med samma temperatur bringas att lysa upp - isotermer uppstår i bildfältet och man får en isotermbild (FIG 11 c). Isothermer kan förläggas på valfri temperatur och omspanna variabelt temperaturområde inom bilden. Vissa kameratyper är utrustade med två isotermfunktioner. Avlästa isoterm-skillnader, isotermenheter, överförs till motsvarande skillnader i celsiusgrader ($^{\circ}\text{C}$) om aktuella värden insätts i kamerans kalibreringsfunktion (ekv. 8).

Vid bestämning av temperaturer, som är aktuella inom byggområdet, normalt $-20 - +40^{\circ}\text{C}$, bör en speciell kalibreringskurva för den använda IR-kameran framtagas inom det aktuella området.

Exempel på sådan kalibreringskurva visas i appendix, FIG 124.



a) Yttemperaturmätning med IR-kamera.



b) Kalibreringskurva med inlagt tillämpningsexempel.

FIG 6 Bestämning av yttemperatur hos mätobjekt med IR-kamera.

Som ovan angivits bestämmer IR-kameran endast relativa temperaturskillnader inom bildfältet. Önskar man bestämma ytans verkliga temperatur erfordras dels kännedom om verklig temperatur i en referenspunkt inom mätytan, dels emissionstalet för referensytan och hela mätobjektet, dels slutligen kamerans s k temperaturfunktion och kalibreringskurvor (FIG 14).

$$f(T_1) = \frac{\Delta I_{12}}{\epsilon_1} + \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \cdot f(T_2) + \left(1 - \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}\right) f(T_A) \quad (3.1)$$

där	T_1	Temperatur i punkt 1 på mätobjekt, K
	T_2	Temperatur i punkt 2 på mätobjekt, K
	T_A	Omgivningens temperatur, K
	ϵ_1	Emittans i punkt 1 på mätobjekt
	ϵ_2	" " " 2 " "
	ΔI_{12}	Skillnad i isotermenheter mellan isotermmarkeringarna för punkt 1 och 2
	$f(T_1)$	Funktionsvärdet för T_1 enligt kalibreringskurva
	$f(T_2)$	" " T_2 " "
	$f(T_A)$	" " T_A " "

Om storheterna till höger om likhetstecknet i ekv. 3.1 är kända kan $f(T_1)$ beräknas och T_1 bestämmas.

Vid mätning på homogena ytor är ofta $\epsilon_1 = \epsilon_2$. Därvid erhålles

$$f(T_1) = \frac{\Delta I_{12}}{\epsilon_1} + f(T_2) \quad (3.2)$$

Storleken hos det bildfält som kameran ser bestäms av kamerans optiksystem. Bildfältets storlek vid olika kameraobjektiv visas i FIG 7. /11./

Vid våra undersökningar har vi i huvudsak använt två typer av värmekameror tillverkade av AB AGA, nämligen THV 680 och THV 750. Funktionen och egenskaperna hos de två modellerna är ungefär lika. THV 750 är en liten och bärbar utrustning och mera lämplig för fältmätningar. THV 680 är större och mera lämplig för laboratoriebruk.

Termogram tagna med resp kameratyp är uppbyggda på motsvarande sätt. Vissa skillnader finns beträffande skalor och indikering av aktuellt mätområde. I termogram tagna med THV 680 visas gråtonsskalan (graderad i tio delstreck) på termogrammets nedre del (Se FIG 8). Denna gråtonsskala visas ej i termogram tagna med THV 750 (Se FIG 3). Den graderade skalan är här vertikalt placerad till vänster i termogrammet. Aktuellt mätområde anges för THV 680 av den svarta slitsens läge på den vänstra eller högra vertikala skalan. För THV 750 anges mätområdet av en siffra längst upp på termogrammet.

Bildfrekvensen för THV 680 är 16 bilder per sekund och för THV 750 25 bilder per sekund.

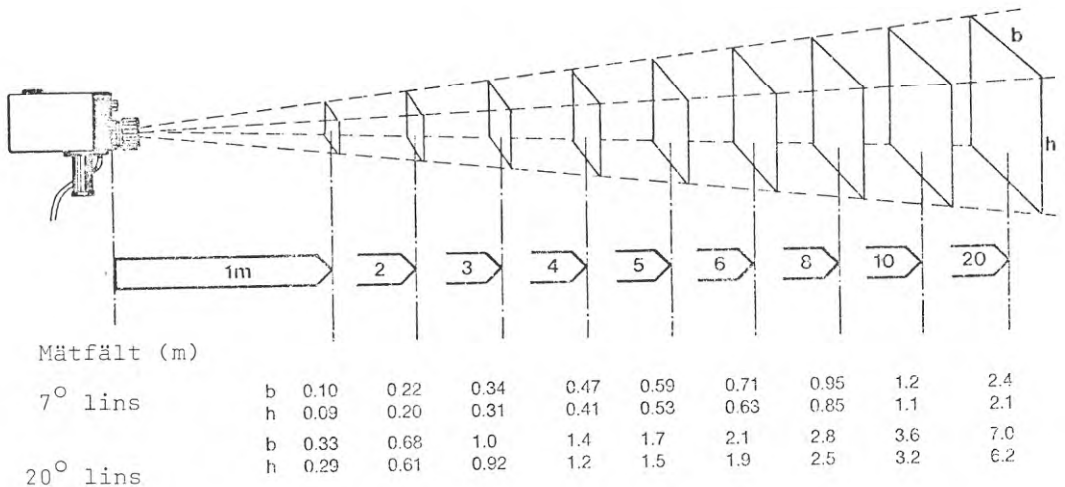


FIG 7 IR-kamerans mätfält vid olika avstånd mellan mätobjekt och kamera vid 7°x7° lins och 20°x20° lins.

3.2 Värmestrålning

En grundläggande förutsättning för strålningsmätning med hjälp av IR-kamera är att alla kroppar i vår omgivning utsänder infrarödstrålning, som är en form av elektromagnetisk strålning. Parallellt med ordet infrarödstrålning används ord som värmestrålning, temperaturstrålning eller termisk strålning. Infrarödstrålningen omfattar ett våglängdsområde som ligger i intervallet $0,7 - 1000 \mu\text{m}$ (FIG 8). I litteraturen finner man ibland en indelning av IR-området i "nära IR" (NIR $0,7 - 3 \mu\text{m}$), "mellan IR" (MIR $3 - 6 \mu\text{m}$), "fjärran IR" FIR $6 - 15 \mu\text{m}$) samt "extrema IR" (XIR $15 - 1000 \mu\text{m}$).

I området $0,7 - 2 \mu\text{m}$ kan man använda reflekterad solstrålning eller artificiella belysningskällor för detektering av föremål (aktiv IR). Används i vissa fall t ex vid övervakning och spaning i mörker i militära sammanhang.

IR-fotografering med infrarödkänslig film, som är känslig för strålning motsvarande temperaturer över 400°C , kan ej användas för avbildning av egenemitterad temperaturstrålning från ytor med temperaturer omkring 20°C , d v s det temperaturområde som är av intresse inom byggnadstekniken. IR-fotografering med IR-känslig film används normalt i området $0,7 - 1,2 \mu\text{m}$. Vid termografering med värmekamera utnyttjas primärt föremålets emitterade IR-strålning inom våglängdsområdet $2,0 - 5,6 \mu\text{m}$.

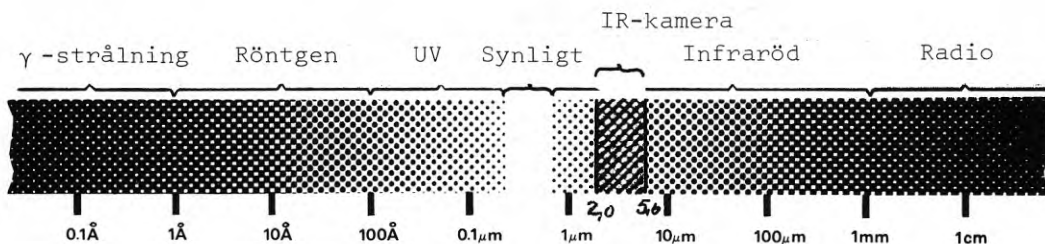


FIG 8 Elektromagnetiska spektrat.

3.2.1 Svart-kroppstrålning

En svart kropp definieras av att den absorberar all infallande strålning oberoende av våglängd.

För en icke svart kropp kan viss del av den mot ytan infallande strålningen absorberas (α), viss del transmitteras (τ) och viss del reflekteras (ρ). Om beteckningarna α , τ och ρ anger de relativa andelarna gäller sambandet

$$\alpha + \tau + \rho = 1 \quad (3.3)$$

För en svart kropp gäller därvid

$$\alpha = 1 \text{ och } \tau = \rho = 0$$

En opak yta absorberar eller reflekterar all infallande strålning d v s

$$\alpha + \rho = 1 \text{ och } \tau = 0 \quad (3.4)$$

Vid byggnader är det senare oftast fallet. Undantag är t ex fönster.

Strålningsintensiteten hos den termiska strålningen från en svart kropp är en funktion av såväl våglängden (λ) som temperaturen (T) och beskrivs av Plancks fördelningslag

$$E_{\lambda, T} = \frac{2 \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \text{ W/m}^2 \text{ (}\mu\text{m)} \quad (3.5)$$

där

$E_{\lambda, T}$ = den spektrala svart-kroppsstrålningen inom ett intervall av $1 \mu\text{m}$ vid våglängden λ (μm) och temperaturen T (K)

c = ljusets hastighet, 3×10^8 m/s

h = Planck's konstant $6,63 \cdot 10^{-34}$ Ws^2

k = Boltzmanns konstant $1,38 \cdot 10^{-23}$ Ws/K

T = absolut temperatur, K

I diagram FIG 9 illustreras den spektrala strålningsintensiteten i ett snedställt koordinatsystem där strålningsintensiteten motsvarar y-axeln och våglängden motsvarar x-axeln med temperaturen som parameter. /11./

I diagrammet har IR-kamerans känslighetsområde markerats.

Av diagrammet framgår att strålningsintensiteten vid 300 K (27°C) ligger i huvudsak inom våglängdsområdet 3 - 20 μm . Intensiteten ökar med temperaturen för alla våglängder. Ökningen är större vid kortare våglängder och maximum för strålningen förskjuts mot kortare våglängder vid högre temperatur. Större del av den utstrålade energin faller därvid inom kamerans känslighetsområde, 2,0 - 5,6 μm . Våglängd vid maximal spektral strålningsintensitet beskrivs av Wiens förskjutningslag

$$\lambda_{\text{max}} = \frac{2896}{T} (\mu\text{m}) \quad (3.6)$$

Genom integration av den spektrala strålningsintensiteten i intervallet 0 till ∞ erhålles det totala strålningsflödet (Stefan-Boltzmanns formel)

$$E = \sigma \cdot T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3.7)$$

där σ = Stefan-Boltzmanns konstant $5,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ws/m}^2\text{K}^4$

3.2.2 Emittansen

Den utstrålade energin från en verklig yta är alltid mindre än från en svart yta. Kurvorna för verkliga ytor kommer således att ligga under den svarta kroppens (FIG 10).

Förhållandet mellan den utstrålade energin från en verklig yta och en svart yta vid viss temperatur kallas ytans emittans (ϵ).

Enligt Kirckhoffs lag gäller att

$$\epsilon = \alpha \quad (3.8)$$

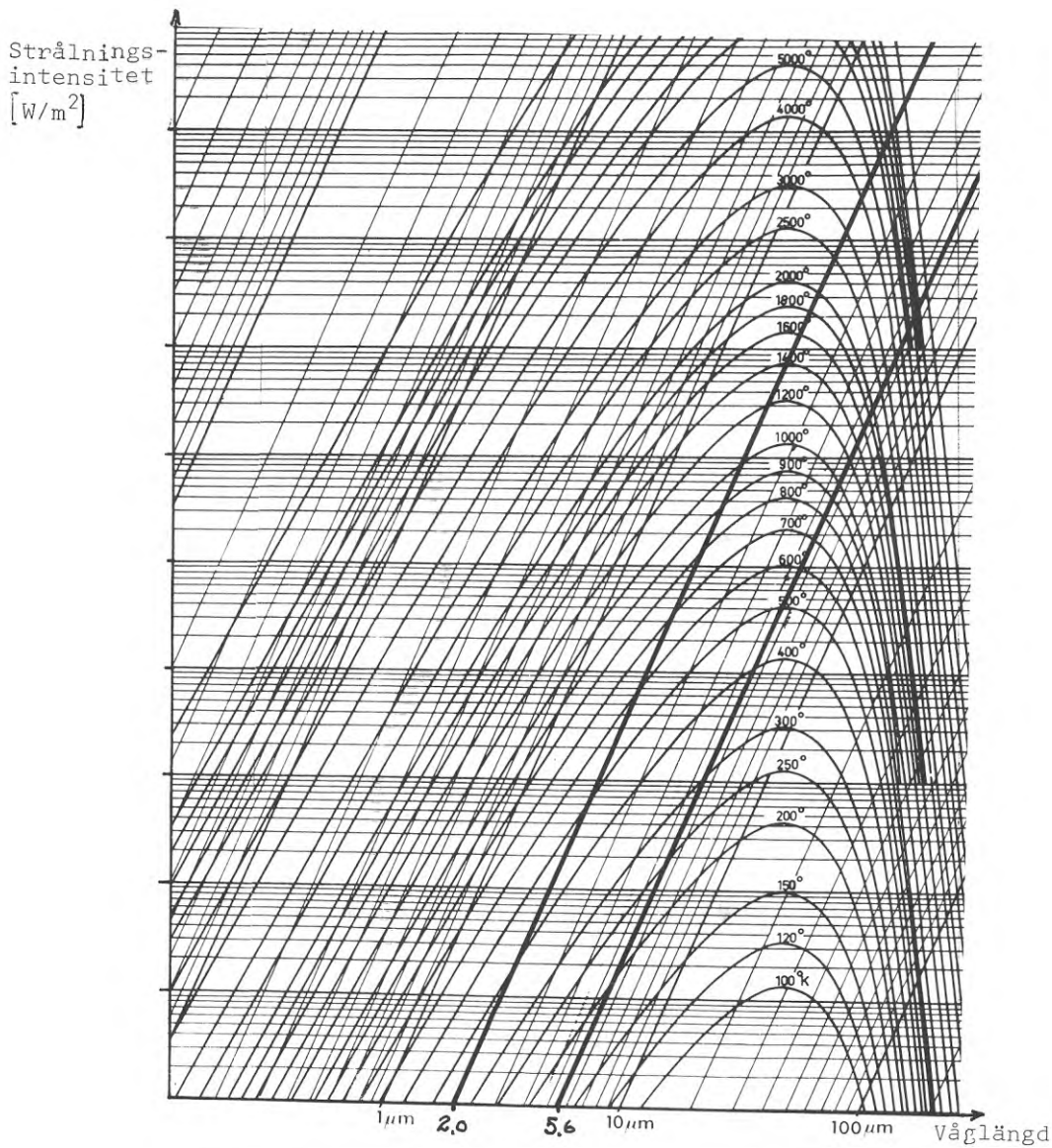


FIG 9 Strålningsintensiteten för en absolut svart kropp vid olika temperaturer (100-5000 °K) som funktion av våglängden med IR-kamerans känslighetsområde (2,0 - 5,6 μm) markerad.

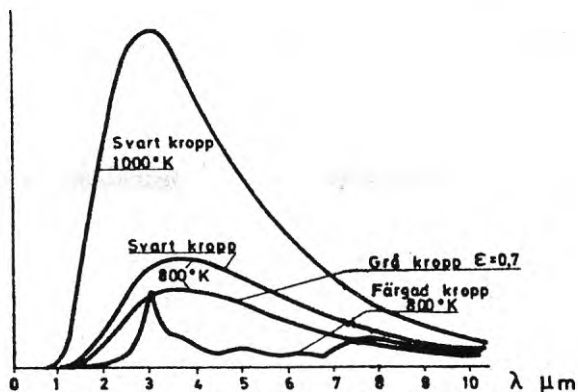


FIG 10 Emittansens beroende av våglängden för svart, grå respektive färgad kropp.

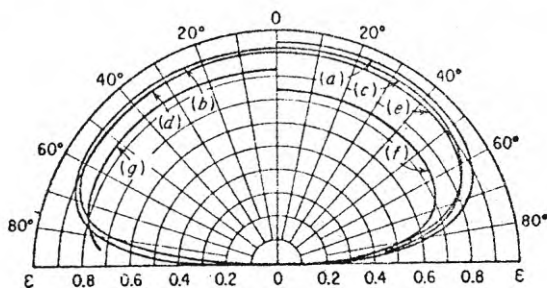
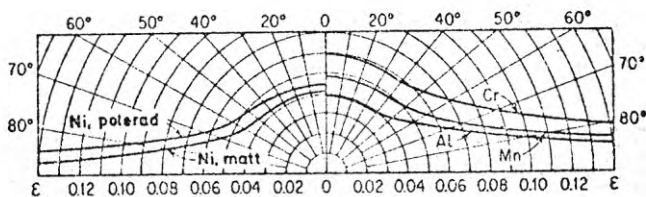


FIG 11 Emittansen för olika material i olika riktningar (enligt E Schmidt och E Eckert). Metallytornas temperatur var ca 150°C och icke-metallernas yttemperatur var mellan 0 och 90°C .

- | | |
|-----------|------------------|
| a. Våt is | e. Lera |
| b. Trä | f. Kopparoxid |
| c. Glas | g. Aluminiumoxid |
| d. Papper | |

Emittansen varierar med ytans temperatur, strålningens våglängd och utstrålningsriktning $d v s$

$$\epsilon = f (T, \lambda, \phi)$$

I de temperaturområden som är aktuella inom byggnadstekniken ca $-20 - ca 60^{\circ}C$ kan man bortse från ϵ -värdets temperaturberoende.

Om ϵ -värdet är oberoende av våglängden kallas ytan grå annars färgad.

I FIG 11 visas emittansens riktningsberoende för dels några metaller dels några icke elektriskt ledande material. ϵ -värdets variation med utstrålningsriktning. Av figuren framgår att emissionstalet för s k icke-metaller är i huvudsak konstant för vinklar mellan 0° och ca $65^{\circ}C$. Sedan avtar emittansen. För vinklar större än 70° avtar ϵ -värdet relativt snabbt mot 0. En s k diffus yta karakteriseras av att ϵ -värdet är oberoende av strålningsriktningen. I byggnadstekniska sammanhang kan ytornas utstrålning normalt anses vara diffus. Undantag utgör metaller. Jämför dock med FIG 11 för stora infallsvinklar.

För metaller är emissionstalets riktningsberoende i enlighet med övre delen av FIG 11. Här är ϵ -värdet i det närmaste konstant (0,04 - 0,06) mellan 0 och 30° . Vid större ϕ ökar ϵ -värdet.

Om ytan är grå och diffus skulle ett värde för emit-
tansen kunna användas vilket skulle förenkla bedöm-
ningen av strålningen från ytan.

I tabeller anges ϵ -värdet för olika material dels för
vissa våglängder, dels som ett medelvärde inom hela
våglängdsområdet. De flesta använda ytmaterialen i
byggnader med undantag av blanka metaller har ϵ -värdet
 $0,90 \pm 0,05$. De för IR-kameran lämpliga ϵ -värdena har
tidigare framtagits vid Statens provningsanstalt och
redovisas i appendix, tabell 18./12./

För blanka metaller är ϵ -värdet som regel mindre än 0,1.
Vid mätning på sådana ytor kommer därför huvuddelen av
utstrålningen bero på i ytan reflekterad strålning från
motstrålande ytor.

Det emitterade energiflödet från en verklig yta blir
enligt ekv 3.7

$$E = \epsilon \sigma \cdot T^4 \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (3.9)$$

3.2.3 Reflektansen, ρ

Vid strålningsmätning med IR-kamera registreras den
värmestrålning, E_{tot} , som ytan dels emitterar, E_e ,
dels reflekterar, E_r .

$$E_{\text{tot}} = E_e + E_r \quad (3.10)$$

Enligt tidigare samband gäller

$$\rho = 1 - \tau - \alpha = 1 - \tau - \epsilon$$

Vid opaka ytor ($\tau=0$) erhålles

$$\rho = 1 - \epsilon$$

För material med $\epsilon \approx 0,9$ utgör reflektionen således ca 10 % av den mot ytan infallande strålningen. Reflektionen sker som regel diffust.

Ekv 3.10 ger

$$E_{\text{tot}} = \epsilon_1 \cdot \sigma T_1^4 + (1-\epsilon_1) E_{\text{in}} \quad (3.11)$$

där E_{in} utgör den mot ytan infallande strålningen

$$E_{\text{in}} \approx \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_0^4$$

där ϵ_0 och T_0 är motstrålande ytans emittans resp temperatur. Härvid bortses från bidraget genom reflektion i denna yta

d v s

$$E_{\text{tot}} = \epsilon_1 \cdot \sigma \cdot T_1^4 + (1-\epsilon_1) \epsilon_0 \sigma T_0^4 \quad (3.12)$$

Skillnaden i strålning från olika delytor beror på temperaturskillnader mellan ytorna under förutsättning att ϵ_1 , ϵ_0 och T_0 är konstanta.

Enligt sambandet, ekv 3.12, varierar strålningen från en yta både med objektets och omgivningens temperatur. Varierande värden på reflektansen (vid t ex blanka och delvis oxiderade metallytor) kan återges i värmebilderna på ett svårtydligt sätt.

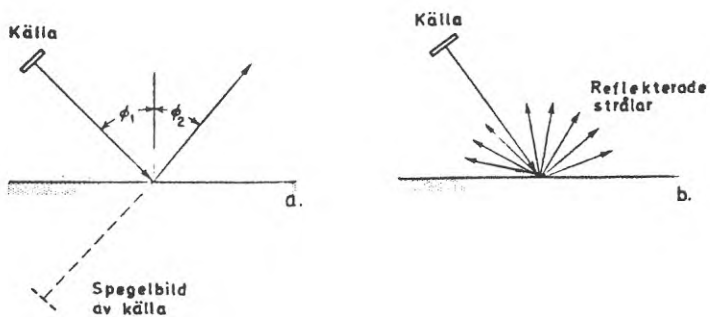


FIG 12 (a) Optisk reflektion (b) Diffus reflektion.

Vid blanka ytor av metall kan strålningsvariationer som orsakas av reflektioner ge skenbara temperaturskillnader i värmebilden. Om ytan är grov blir reflektionen diffus och om ytan är mycket jämn (finkornig) erhålles en spegelreflektion (Se FIG 12).

Vid termografering av sådana ytor kan den blanka metall- ytan behandlas så att emittansen ökar. Detta kan ske genom att måla ytan med ett tillräckligt tjockt lager färg t ex kritfärg eller oljefärg med högt ϵ -värde. Se bilderna i FIG 13 a och b.

Jämna ytor kan ge upphov till märkbara reflexer trots att emittansen är hög (t ex vid vissa plastmaterial). För att avgöra om en strålningsvariation i mätytan är betingad av en reflektion från motstrålande föremål kan ytan ifråga studeras från olika mätpositioner. En reflex ändrar därvid läge i ytan. En nedkyld eller uppvärmd yta som är betingad av motståndsändring hos konstruktionen behåller samma läge på ytan oberoende varifrån den termograferas.

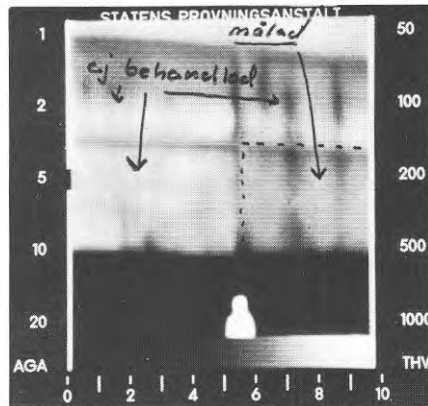
3.2.4 Transmittansen, τ

Yttemperaturmätning på glasytor medför särskilda mätproblem. Vanliga glasmaterial är genomskinliga i de nära infraröda området (se FIG 14). Normalt fönsterglas är transparent för strålning inom våglängdsområdet 0-5 μm . Glaset genomsläpper således strålning även inom en del av IR-kamerans känslighetsområde (2-5,6 μm). Utförs termografering av fönster på vanligt sätt kommer termogrammet därför att även innehålla genom glaset transmitterad värme-strålning. Mätproblemet löses lämpligen genom införandet av strålningsfilter på kameran som avskärmar infallande strålning inom våglängdsområdet 0-5 μm . Sådana filter finns som extra tillbehör till kameran, vilket ger den en annan känslighet och kalibreringskurva.

Mätningen på tunn plastfilm t ex PE-folie medför motsvarande problem. Transmissionsvåglängderna för tunn plastfilm är dock olika de för glas, vilket medför att strålningsfiltret härför är transparent i ett litet intervall omkring 3,4 μm (FIG 15). /7./



- a) Fotografi av yttervägg taget från insidan. Väggbeklädnaden på väggens insida består här av dels blank trapetskorrugerad stålplåt dels målad (matt grå färg) korrugerad plåt (ytparti A).



- b) Termogram av samma ytparti som vid a) taget från något annan vinkel. Störande reflexer syns i termogrammet vid väggens övre partier motsvarande de, som ej var målade. I termogrammets nedre vänstra del framträder ett ljus område som motsvarar övre del av en person.

FIG 13 Exempel på hur reflexer i ytan kan påverka termogrammets utseende.

Transmission (%)

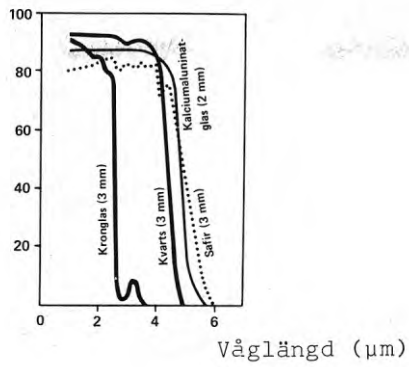


FIG 14 Transmission för vanliga glasmaterial.

Transmission (%)

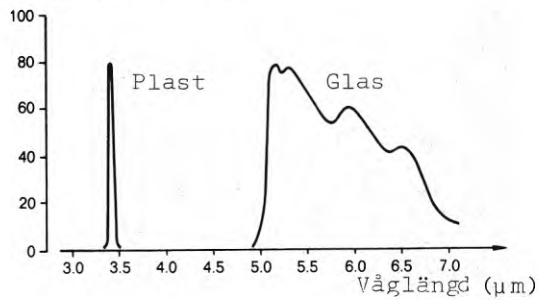


FIG 15 Transmission för filter som kan användas vid mätningar på glas och tunn plastfilm.

3.3 Yttemperaturer och värmemotstånd

3.3.1 Yttemperaturer

Yttemperaturerna på en vägg kan för endimensionellt och stationärt värme flöde förenklat bestämmas ur följande samband

$$t_{vi} = t_i - \frac{m_i \cdot (t_i - t_u)}{m_i + m_u + M} \quad (3.13)$$

$$t_{vu} = t_u + \frac{m_u \cdot (t_i - t_u)}{m_i + m_u + M} \quad (3.14)$$

där

$m_i (= \frac{1}{\alpha_i})$ Värmeövergångsmotstånd vid väggens varma yta

α_i Värmeövergångskoefficient vid väggens varma yta

$m_u (= \frac{1}{\alpha_u})$ Värmeövergångsmotstånd vid väggens kalla yta

α_u Värmeövergångskoefficient vid väggens kalla yta

M Väggens värmemotstånd

t_i Lufttemperatur på varma sidan

t_{vi} Väggens yttemperatur på varma sidan

t_{vu} Väggens yttemperatur på kalla sidan

t_u Lufttemperatur på kalla sidan

Värmemotståndet (M) för byggnadsdel med olika parallella skikt vinkelräta mot värmeströmmen bestäms enligt sambandet

$$M = \sum \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (3.15)$$

d_i är tjocklek för materialskiktet i , m

λ_i är praktiskt tillämpbara värmeledningsförmåga för materialskiktet i , $W/m^{\circ}C$

Ibland används uttrycket totalt värmemotstånd (M_{tot}) som inkluderar värmeövergångsmotstånden vid ytorna

$$M_{tot} = m_i + M \quad {}^{\circ}Cm^2/W \quad (3.16)$$

I byggnadssammanhang används ofta det s k k-värdet. Detta är en värmegegnomföringskoefficient definierad enligt sambandet

$$k = \frac{1}{M_{\text{tot}}} \quad \text{W/m}^2\text{C}$$

Ojämnheter i värmemotstånd hos konstruktionen resulterar i en temperaturvariation utefter dess yta. För konstruktionens varma yta bestäms enligt ekv 10 yttemperaturerna vid vägg 1 och 2 med motstånden M_1 resp M_2 enligt följande (se FIG 16).

$$t_{vi,1} = t_i - \frac{m_{i,1}(t_i - t_u)}{m_{i,1} + m_{u,1} + M_1} = t_i - m_{i,1} \cdot k_1 (t_i - t_u) \quad (3.17)$$

$$t_{vi,2} = t_i - \frac{m_{i,2}(t_i - t_u)}{m_{i,2} + m_{u,2} + M_2} = t_i - m_{i,2} \cdot k_2 (t_i - t_u) \quad (3.18)$$

Antag att $m_{i,1} = m_{i,2}$ då erhålles

$$t_{vi,2} - t_{vi,1} = m_{i,1} (k_1 - k_2) (t_i - t_u) \quad (3.19)$$

3.3.2 Värmeövergångsmotstånd

Vid termografering utomhus d v s av konstruktionens kalla sida kan mätningen störas av yttre klimatfaktorer (regn, sol och vind). Normalt föreligger ett lägre värmeövergångsmotstånd vid väggens utsida än vid väggens insida. Detta medför att temperaturskillnaden blir mindre på den kalla väggytan än på den varma vid en ändring av väggens värmemotstånd. Man får alltså en sämre upplösning på mätresultatet vid utomhusmätning. FIG 16.

Den inre värmeövergångskoefficienten, α_i , definieras enligt följande samband

$$q = \alpha_i (t_i - t_{vi}) \quad (3.20)$$

där

$$q = \text{värmeflödestätheten, W/m}^2$$

α kan således i princip bestämmas genom uppmätning av temperaturskillnaden, $t_i - t_{vi}$, och värmeflödestätheten, q .

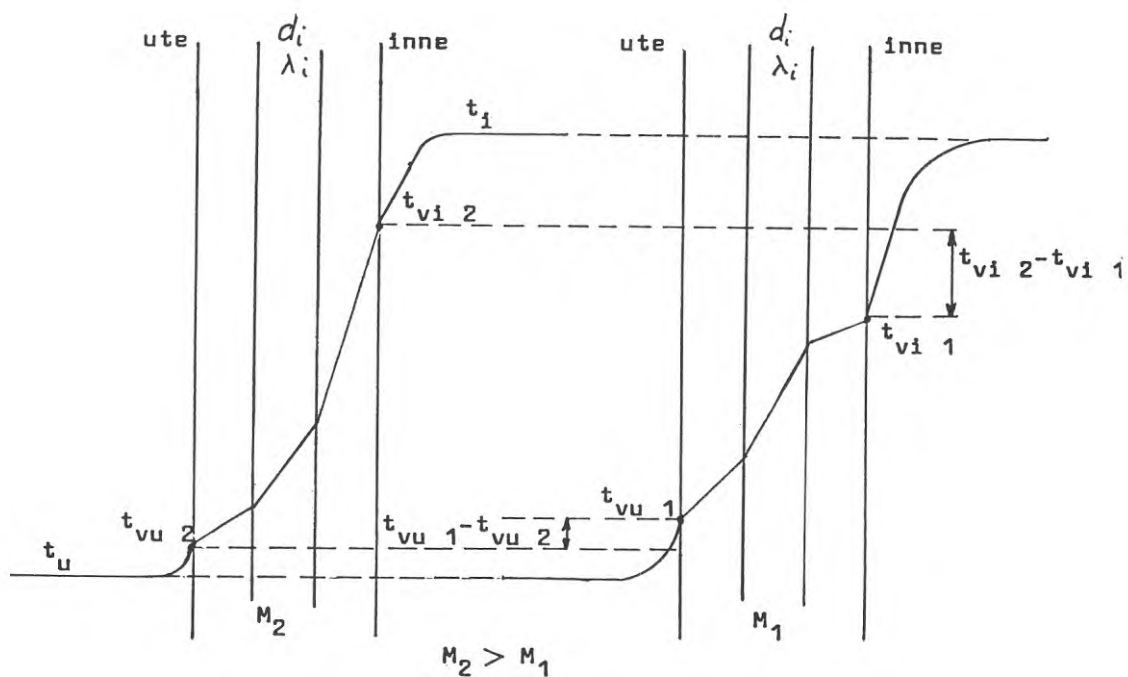


FIG 16 Temperaturförlopp i vägg med värmemotstånden M_1 och M_2 ($M_2 > M_1$)

Värme överförs till en väggyta från omgivande luft i huvudsak genom konvektion och strålning från motstrålände ytor. Härvid bortses från värmeövergång genom kondensation och avdunstning.

Värme överförs till väggytan genom konvektion enligt det definierade sambandet

$$q_k = \alpha_k (t_i - t_{vi}) \quad (3.21)$$

För att få ett mått på den konvektiva värmeövergångskoefficienten vid en väggyta i ett normalt bostadsrum kan följande samband tillämpas./5./

$$\alpha_k = 1,85 (t_i - t_{vi})^{0,32} \quad (3.22)$$

FIG 17 a visar hur α_k varierar med $T_i - T_{vi}$

Om reflektionen mellan ytorna försummas och om ϵ_o och ϵ_n är oberoende av temperaturen överförs genom strålning

$$q_s = \Sigma \phi_n \epsilon_o \cdot \epsilon_n C_s \left\{ \left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_o}{100} \right)^4 \right\} \quad (3.23)$$

där C_s = strålningskonstanten för svart kropp $5,7 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

ϕ_n = den n:te avgivande ytans vinkelkoefficient

T_n = " " " " temperatur, K

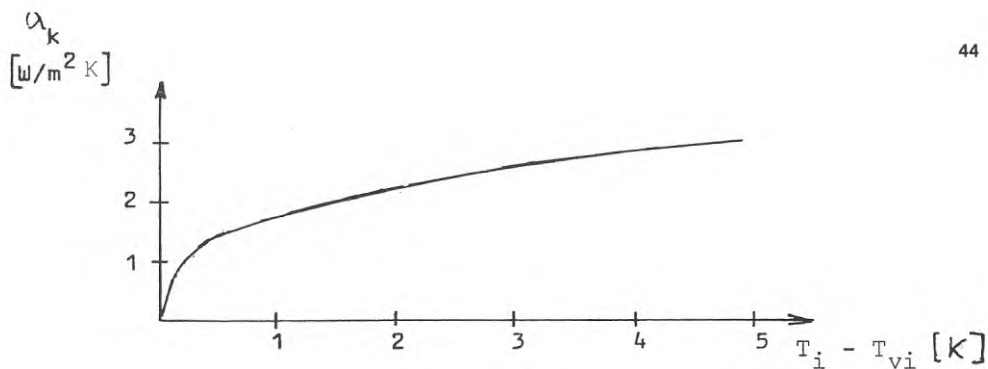
ϵ_n = " " " " emissionstal

T_o = den mottagande ytans temperatur, K

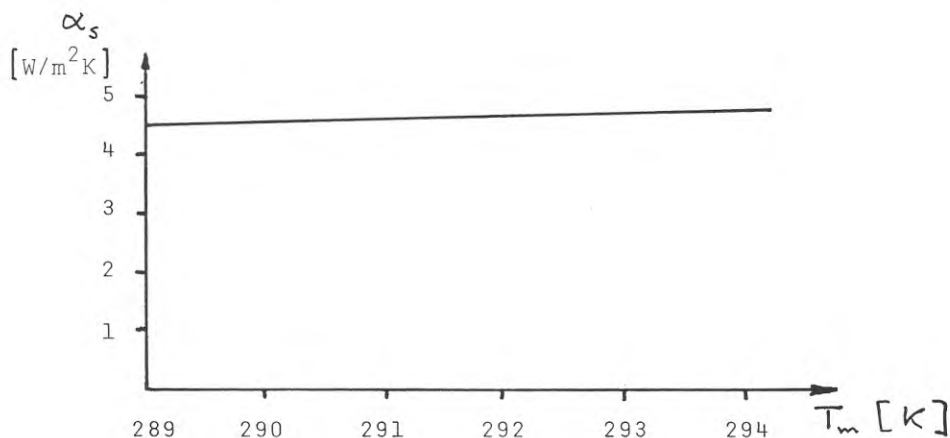
ϵ_o = " " " " emissionstal

Vinkelkoefficienten ϕ_n definieras som den del av strålningen som lämnar den n:te ytan i alla riktningar och som träffar den mottagande ytan.

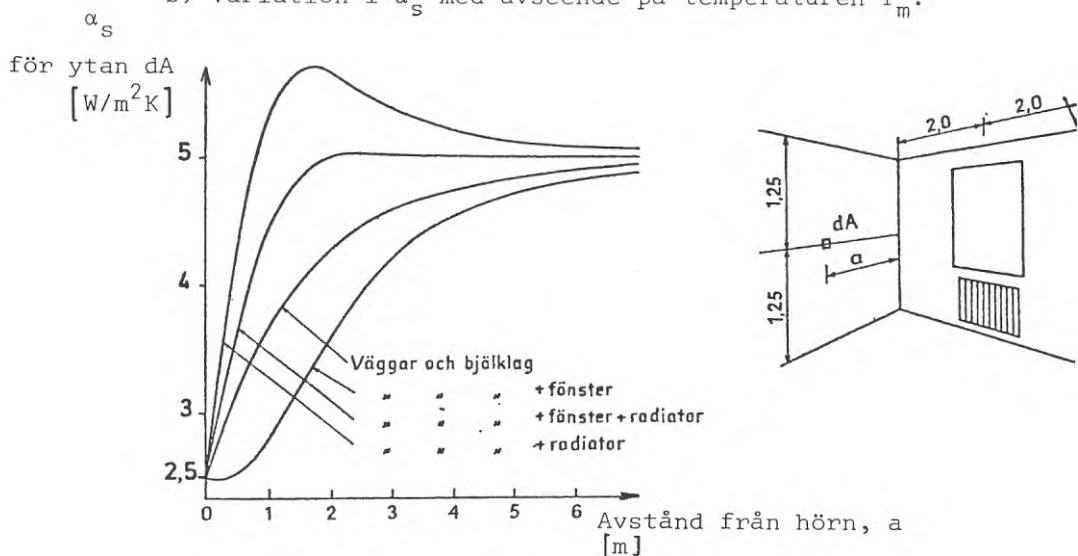
$\Sigma \phi_n$ varierar mellan 0-1. När de omgivande ytorna tillsammans bildar ett halvrum sett från den mottagande ytan blir $\Sigma \phi_n = 1$



a) Variation i α_k med avseende på temperaturskillnaden $T_i - T_{vi}$.



b) Variation i α_s med avseende på temperaturen T_m .



c) Exempel på värmeöverföringskoefficientens (α_s) variation på olika avstånd från ytterväggshörn.

FIG 17 Värmeöverföringskoefficientens variation.

Hänsyn till återreflektion kan tas i enkla fall t ex vid två planparallella väggar (1 o 2) med sådana dimensioner att avståndet mellan dem kan anses vara litet. Vid strålningsöverföring vid en ytterväggs inneryta antas ibland att innerväggarnas temperatur är lika med rumslufttemperaturen ($T_n = T_i$). /10./

Om $T_o = T_{vi}$, $\epsilon_o = \epsilon_1$ och $\epsilon_n = \epsilon_2$ erhålles

$$q_s = \epsilon_{12} \cdot C_s \left\{ \left(\frac{T_i}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{vi}}{100} \right)^4 \right\} \quad (3.24)$$

där

ϵ_{12} = resulterande emittansen

$$\frac{1}{\epsilon_{12}} = \frac{1}{\epsilon_1} + \frac{1}{\epsilon_2} - 1$$

För jämförelse med α_k kan α_s förenklas genom serieutveckling varvid följande samband tillämpas $(a^4 - b^4) = (a - b)(a^3 + a^2b + ab^2 + b^3)$.

Vid byggnader är som regel skillnaden mellan T_i och T_{vi} ganska liten jämfört med deras absolutvärden. Vid hänsyn till detta erhålles

$$q_s = \epsilon_{12} \cdot C_s \frac{T_i - T_{vi}}{100} \cdot 4 \left(\frac{T_m}{100} \right)^3 \quad (3.25)$$

där

$$T_m = \frac{T_i + T_{vi}}{2}$$

$$q = q_k + q_s \quad (3.26)$$

Ekv 3.19, 3.20, 3.23 och 3.24 ger

$$\alpha_i = \alpha_k + 0,04 \cdot \epsilon_{12} \cdot C_s \left(\frac{T_m}{100} \right)^3 \quad (3.27)$$

$$\text{sättes } \alpha_s = 0,04 \cdot \epsilon_{12} \cdot C_s \left(\frac{T_m}{100} \right)^3 \quad (3.28)$$

erhålles

$$\alpha_i = \alpha_k + \alpha_s \quad (3.29)$$

α_s kan således bestämmas om man känner temperaturerna T_i , T_{vi} och ϵ_{12} .

I FIG 17 b visas hur α_s varierar med T_m varvid följande förutsättningar antas gälla.

$$\begin{aligned}\epsilon_{12} &= 0,82 \\ C_s &= 5,7 \quad \text{W/m}^2\text{K}^4 \\ T_i &= 294 \quad \text{K} \quad (t_i = 21^\circ\text{C}) \\ T_{vi} &= 284-294 \quad \text{K} \quad (t_{vi} = 11-21^\circ\text{C}) \\ T_m &= 289-294 \quad \text{K}\end{aligned}$$

Värdet på α_s har även samband med geometriska förhållanden och kan variera påtagligt vid t ex ytterväggshörn. FIG 17 c visar hur α_s varierar på olika avstånd i ett ytterväggshörn.

Även värdet på α_k har samband med geometrin vid konstruktionens yta.

Vid temperaturerna $T_i = 294 \text{ K}$ och $T_{vi} = 292 \text{ K}$ erhålles följande värden på α_i mitt på yttervägg.

$$\alpha_i = \alpha_k + \alpha_s = 4,7 + 2,3 = 7,0 \text{ W/m}^2\text{C}$$

eller

$$m_i = 0,14 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Om värmeövergångsmotstånden m_i och m_u vid den varma resp kalla väggytan vore kända liksom temperaturerna T_i och T_{vi} skulle en kvantitativ bestämning av väggens värmemotstånd (M) vara möjlig (se ekv 3.13).

3.3.3 Experimentell undersökning av värmeövergångsmotstånd

I syfte att klarlägga α -värdets variation över en väggyta vid olika miljöbetingelser utfördes en orienterande undersökning vid provningsanstalten. Undersökningarna utfördes såväl i laboratorium som i fält.

Laboratoriemätning

Vid laboratorieundersökningen användes en provvägg vars konstruktion framgår av FIG 18.

Undersökningen utfördes i klimatanläggning försedd med ett klimatrum och ett kylrum båda temperaturreglerade och åtskilda genom nämnda provvägg.

Strålningsförhållandena i mätrummet (klimatrummet) kan i stort jämföras med förhållandena i ett bostadsrum dock med modifiering för värmekällans placering.

Mättrumets strålningsegenskaper definieras enligt följande: väggar och tak var målade med ljus oljefärg och golvet täcktes av en grå korkmatta. Värmekällan i mätrummet var placerad vid den bakre väggen bakom en strålningsskyddande plåt.

α -värdet bestämdes ur uppmätta temperaturer och värme-flöden, varvid ekv 3.19 användes. Värme-flöden genom väggen uppmättes med hjälp av ett antal termoelektriska värme-flödesmätare av hjälpväggstyp anbringade på provväggens varma yta i mätpunkterna 1-21 enl FIG 18.

Utsignalerna från värme-flödesmätarna registrerades med hjälp av kompen-sationsskrivare. Yttertemperaturerna på värme-flödesmätarens varmare sida (t_{vi}) uppmättes i varje mätpunkt medelst termoelement. Lufttemperaturerna (t_i) uppmättes 10 cm framför resp värme-flödesmätare medelst strålningsskyddade termoelement. Detta avstånd valdes efter orienterande försök av lufttemperatursänkningens utsträckning från väggytan. Temperaturskillnaden $T_i - T_{vi}$ uppmättes medelst seriekopplade termoelement.

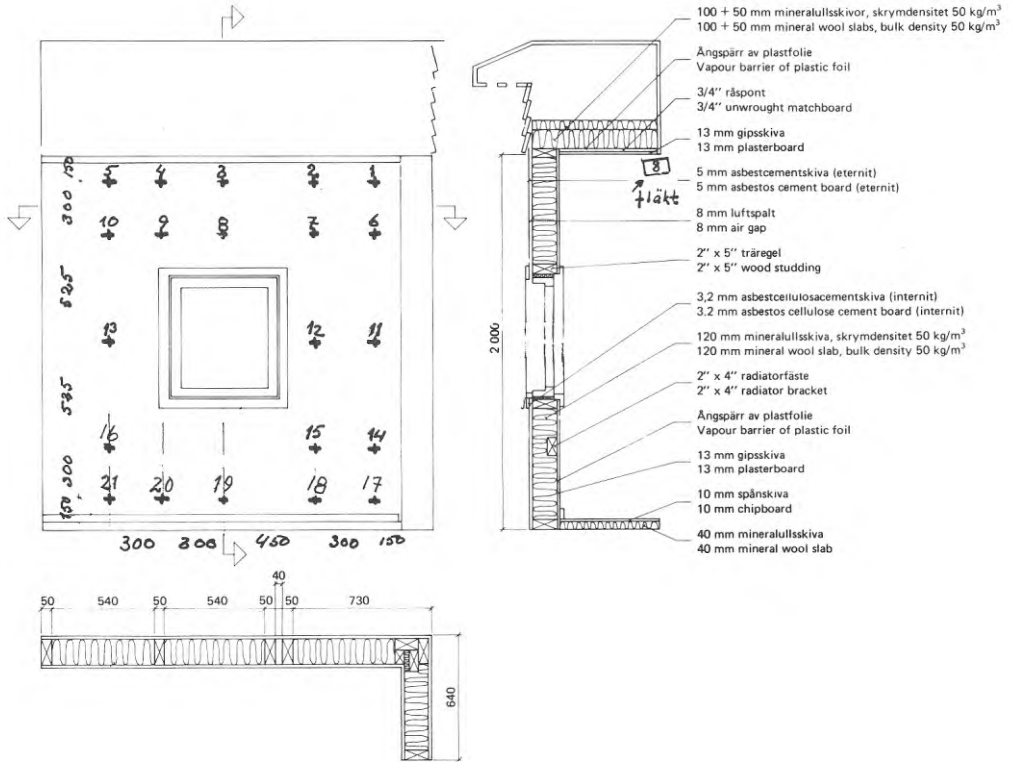


FIG 18 Konstruktion av yttervägg (regelvägg nr 1) som användes vid bestämning av α -värdets fördelning över ytan. Mätpunkternas placering har markerats med siffrorna 1-21.

Mätningarna utfördes vid tre olika mätfall.

- 1) Normalfall (inga störningskällor)
- 2) Störningskällor i form av fläktar riktade mot provväggen i syfte att ge höga konvektiva α -värden. Fläktarna placerades under takytan riktade mot provväggens övre del. Jfr FIG 18. Lufthastigheten invid väggytan varierade härigenom mellan ca 0,2 och 1 m/s.
- 3) Störningskälla i form av en punktformig strålningskälla (värmelampa 250 W) placerad ca 2 m från den varma väggytan och centralt i klimatrummet. Lampan riktades vinkelrätt mot ytan.

Lufttemperaturerna i kylrummet inställdes på -20°C och hölls konstant vid alla tre mätfallen. Lufttemperaturen på den varma sidan varierade mellan 21 och 23°C vid de olika mätfallen. Mätningarna utfördes vid fortvarighetstillstånd och upprepades tre gånger.

De vid mätningarna erhållna resultaten framgår av tabell 1. Mättonoggrannheten hos de uppmätta värdena bedöms vara ca $\pm 8\%$.

Av resultaten framgår att α varierade mellan ca 6 och $10\text{ W/m}^2\text{C}$ vid mätfall 1, mellan ca 7 och $18\text{ W/m}^2\text{C}$ vid mätfall 2 samt mellan ca 8 och $33\text{ W/m}^2\text{C}$ vid mätfall 3.

Vid mätfall 1 var α -värdets variation utefter en horisontell linje på viss höjdnivå över golv relativt liten, $6,4 - 8,4\text{ W/m}^2\text{C}$. I vertikal led är variationen något större ca $7 - 10\text{ W/m}^2\text{C}$. Extremvärdena erhöles vid väggens kantpartier med de högsta värdena nedtill på väggen. I normalfallet synes α -värdet variera symmetriskt och relativt konstant i horisontalled med undantag av ytpartier nära vägghörn. I vertikalled förekommer en viss variation. Det högre värdet nedtill på väggen här har sannolikt samband med värmekällans placering i provningsrummet och luftströmningsförhållandena utefter provväggen.

TABELL 1

M Ä T F A L L

Mät- pkt	1			2			3		
	q W/m ²	t _i -t _{vi} °C	α W/m ² °C	q W/m ²	t _i -t _{vi} °C	α W/m ² °C	q W/m ²	t _i -t _{vi} °C	α W/m ² °C
1	11,3	1,6	7,1	11,9	1,0	11,9	11,8	1,0	12,1
2	10,2	1,4	7,3	11,2	0,8	14,0	9,7	0,8	12,1
3	9,1	1,3	7,0	9,8	0,8	12,3	9,2	0,7	13,1
4	16,9	2,6	6,5	19,2	1,8	10,7	17,7	2,2	8,0
5	8,8	1,3	6,8	9,5	0,9	10,6	9,5	0,9	10,6
6	9,5	1,6	5,9	10,0	0,7	14,3	9,7	0,5	19,4
7	9,0	1,4	6,4	10,0	0,6	16,7	9,7	0,4	24,3
8	10,1	1,4	7,2	10,8	0,8	13,5	10,0	0,3	33,3
9	17,0	2,4	7,1	20,3	1,7	11,9	17,0	1,8	9,4
10	9,2	1,1	8,4	9,1	0,6	15,2	8,7	0,5	17,4
11	12,2	1,9	6,4	13,0	1,5	8,7	12,1	0,5	17,3
12	10,1	1,4	7,2	11,5	0,9	12,8	10,2	0,7	14,6
13	9,1	1,2	7,6	10,4	0,8	13,0	9,3	0,7	13,3
14	10,4	1,3	8,0	11,1	1,5	7,4	11,1	0,5	22,2
15	9,4	1,1	8,5	10,5	1,2	8,8	9,8	0,4	24,5
16	8,6	1,0	8,6	9,4	0,8	11,8	8,2	0,3	27,3
17	13,9	1,9	7,3	15,5	2,0	7,8	14,7	0,9	16,3
18	10,3	1,0	10,3	11,5	1,4	8,2	11,3	0,5	22,6
19	10,2	1,0	10,2	11,4	1,2	9,5	10,2	0,6	17,0
20	18,0	2,1	8,6	19,9	2,4	8,3	19,3	1,4	13,8
21	14,2	1,4	10,1	15,4	1,5	10,3	14,2	0,7	20,3
	Medelvärde		7,8			11,3			17,6

Medelvärdet av ytttemperaturen, t_{vi}, var vid

mätfall 1: 17,9°C

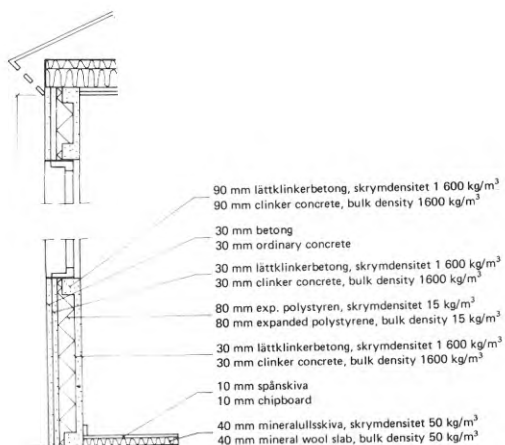
" 2: 21,8°C

" 3: 21,4°C

Vid mätfall 2 ökades α -värdet genom ökad lufthastighet vid väggytan. Den införda störningen var ej symmetriskt fördelad över väggytan varför en något ojämn inverkan på α -värdet erhöles här. α -värdet ökade mest vid väggens övre del där fläktarna var placerade. En sådan ojämn störning av luftströmningen vid väggens insida inverkar lokalt på väggytans temperatur. En konstant ökning av α -värdet utefter hela ytan verkar utjämnande på väggens yttemperaturfördelning.

Vid mätfall 3 utgjordes störningen av en värmelampa centralt placerad på visst avstånd från väggytan. Strålningskällans inverkan på α -värdet är relativt jämnt fördelad, med undantag av värdena i mätpunkterna 4 och 9, över hela den exponerade ytan med något ökad effekt på väggens centrala delar. α -värdet ökade markant här och temperaturskillnaden mellan väggyta och rumsluft minskas. Sådana variationer i α kan lokalt påverka ytans temperatur så att yttemperaturskillnader som motsvarar värmemotståndets variation minskas.

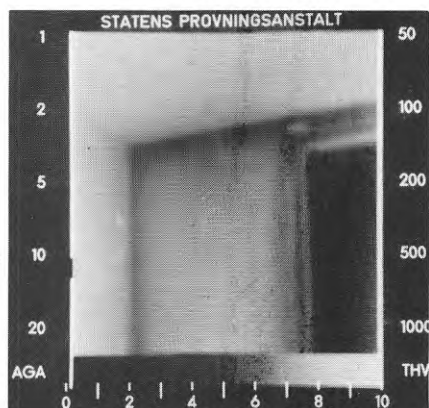
Uppmätning av α -värdets variation i fält utefter en ytterväggs yta utfördes i en lägenhet i ett flerbostadshus (7 våningar). Ytterväggens konstruktion framgår av FIG 19. Mätningarna utfördes här i fyra mätpunkter på väggytan utefter en vertikal linje på nivåerna 20, 90, 165 och 235 cm över golv. Takhöjden i lägenheten var 250 cm. Ytterväggen var försedd med fönster och radiator. Fotografi av yttervägg och provningsuppställning visas i FIG 19. Motstrålade ytor utgjordes av väggar, golv och tak som gränsade mot uppvärmda utrymmen. Lägenheten var ej möblerad eller inflyttad vid mättillfällena. Temperaturer och värmflöden uppmättes på motsvarande sätt som vid laboriemätningarna. Dock uppmättes lufttemperaturen inne i rummets geometriska mittpunkt här, varför \bar{t}_1 utgör ett medelvärde av rumslufttemperaturens variation i rummet.



- a) Konstruktion av yttervägg på vilken mätning utfördes vid bestämning av α -värdets variation utefter väggytan.



- b) Fotografi av mätutrustning vid bestämning av α -värdet.



- c) Termogram av ytterväggens övre del, t v om fönster.

FIG 19 Bestämning av α -värdets variation på en yttervägg.

α_1 -värdet bestämdes enligt tidigare definierat samband (ekv 3.20) men med denna temperatur.

Upprepade mätningar utfördes under en längre tid (ca 1 månad). Medelvärde av värdet på α_1 i resp mät-punkt 20, 90, 165 och 235 cm över golv blev: 5,4, 6,6, 6,2 och 5,0 W/m²°C.

Av resultatet framgår att α -värdets variation är relativt liten i väggens mittdel. De lägsta värdena erhöles vid golv- och takvinkel.

Jämför även med termogram från partiet ifråga, FIG 19 c.

3.3.4 Störningskällor vid termografering

Risken att vid termografering förväxla temperaturvariationer som betingas av isolerfel med sådana som har samband med α -värdets naturliga variation utefter en konstruktions varma yta bedöms som liten vid normala förhållanden.

De temperaturändringar som har samband med α -värdets variation är som regel gradvisa och symmetriskt fördelade över ytan. Sådana variationer är naturligt lokaliserade till tak-, golvvinklar och vägghörn.

Temperaturändringar som har samband med luftläckage eller isolerfel är oftast mer påtagliga med skarpa konturer av karakteristisk form. Temperaturbilden har vanligen osymmetrisk form.

Vid termografering och tolkning av termogram kan framtagna jämförelsetermogram härvid lämna värdefull information vid bedömningen.

De i praktiken vanligaste störningskällorna vid termografering utgörs av inverkan av sol på den yta som skall termograferas (instrålning genom fönster), varma radiatorer med tillhörande ledningar, tända lampor riktade mot och placerade intill mätytan samt i vissa fall luftströmmar (från t ex luftintag) riktade mot ytan.

Termografering skall ej utföras på solbelysta ytor. Om risk föreligger för påverkan av sol skall fönstren täckas för (persienner skevas).

En varm radiator framträder som en markant ljus yta i termogrammet. Yttemperaturen på väggytan intill en uppvärmd radiator får en förhöjd temperatur som kan dölja ev brister.

För att i möjligaste mån hindra störande inverkan från varma radiatorer kan dessa slås av kort tid före mätningen. Rumslufttemperaturen får härvid emellertid ej sänkas så att den påverkar yttemperaturfördelningen på konstruktionens ytor. Elvärmepaneler har relativt liten tröghet varför de svalnar relativt snabbt efter fränkoppling (20-30 min).

Vid termografering av ytpartier bakom en radiator måste den avlägsnas så att väggytan här kan exponeras för IR-kameran. Hänsyn måste därvid tas till att sådana ytpartier kan vara påverkade av lagrad värme i konstruktionen även en tid efter det att radiatoren har borttagits.

Belysningslampor som är placerade invid väggytan bör vara släckta vid mättillfället.

Vid termografering bör störande luftströmmar (t ex öppet fönster, öppen ventil, fläkt riktad mot mätytan) ej förekomma och få påverka de ytor som skall termograferas.

Betydande störningar av ovan angivet slag kan normalt upptäckas och elimineras före mätningen.

Om det vid termografering är omöjligt att avskärma de mätytorna från störande faktorer skall detta beaktas vid tolkning och bedömning av resultatet. Aktuella mätbetingelser skall noggrannt anges vid varje mättillfälle.

3.4 Yttertemperatur och luftläckage

Fel i värmeisoleringen som följd av små öppningar i konstruktionen kan avslöjas medelst yttertemperaturmätning. Om det råder undertryck i den undersökta byggnaden strömmar luft in till rummet genom otätheter i byggnaden. Kall uteluft som strömmar genom små öppningar hos en vägg sänker vanligen temperaturen på angränsande väggpartier. Följden blir att nedkylda ytpartier med karakteristisk form uppstår på den inre väggytan. Med hjälp av termografering kan de nedkylda ytpartierna upptäckas. Luftrörelser vid väggytan kan uppmätas med hjälp av lufthastighetsmätare. Om det råder övertryck inne i byggnaden som undersöks kommer den varma rumsluften att läcka ut genom otätheterna i väggen och ge upphov till lokalt varma ytpartier intill läckageställena.

Storleken av ett luftläckage är beroende av dels förekommande otätheter, dels tryckskillnaden över konstruktionen.

3.4.1 Tryckförhållanden i en byggnad

De väsentligaste orsakerna till att det uppstår tryckskillnader över en konstruktionsdel i en byggnad är

- vindförhållanden kring byggnaden
- ventilationssystemets inverkan
- temperaturskillnad mellan inne- och uteluft (skorstensverkan)

De verkliga tryckförhållandena i en byggnad är som regel en kombination av dessa faktorer.

Den resulterande tryckgradienten genom de olika byggnadsdelarna kan exemplifieras av FIG 20. Vindens oregelbundna inverkan på en byggnad gör att tryckförhållandena i praktiken kan bli relativt varierande och komplicerade.

I en fri vindström gäller Bernoullis lag

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{konstant} \quad (3.30)$$

där

ρ = luftens densitet, kg/m^3

v = vindens hastighet, m/s

p = statiskt tryck, Pa

där den första termen i uttrycket utgör det dynamiska trycket och den andra termen det statiska. Summan av dessa tryck bildar det totala trycket.

Vid vindlast mot en yta övergår det dynamiska trycket ($\frac{\rho v^2}{2}$) i ett statiskt tryck mot ytan. Storleken av det statiska trycket bestäms bl a av ytans form och lutning i förhållande till vinden.

Den del av det dynamiska trycket som övergår till statiskt tryck på ytan (P_{stat}) bestäms av en sk formfaktor

$$C = \frac{P_{\text{stat}}}{\frac{\rho v^2}{2}} \quad (3.31)$$

Om ρ sättes lika med $1,23 \text{ kg/m}^3$ (luftens densitet vid 15°C) erhålles följande lokala tryck i vindströmmen

$$P_{\text{stat}} = C \cdot \frac{\rho v^2}{2} = C \cdot \frac{v^2}{1,63} \text{ Pa} \quad (3.32)$$

Om hela det dynamiska trycket övergår i statiskt tryck blir $C = 1$. Exempel på formfaktorsfördelning vid olika vindriktningar för en byggnad visas i FIG 21. /2./

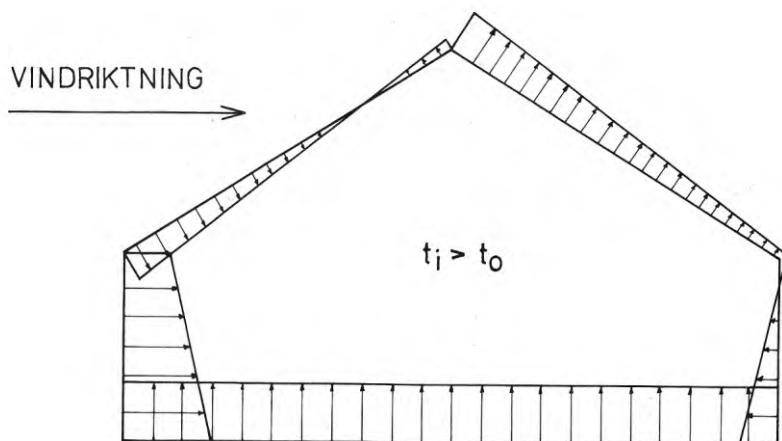


FIG 20 Resultande tryckfördelning på en byggnads omslutande ytor beroende på vindens inverkan, ventilationen samt temperaturskillnaden inne-ute.

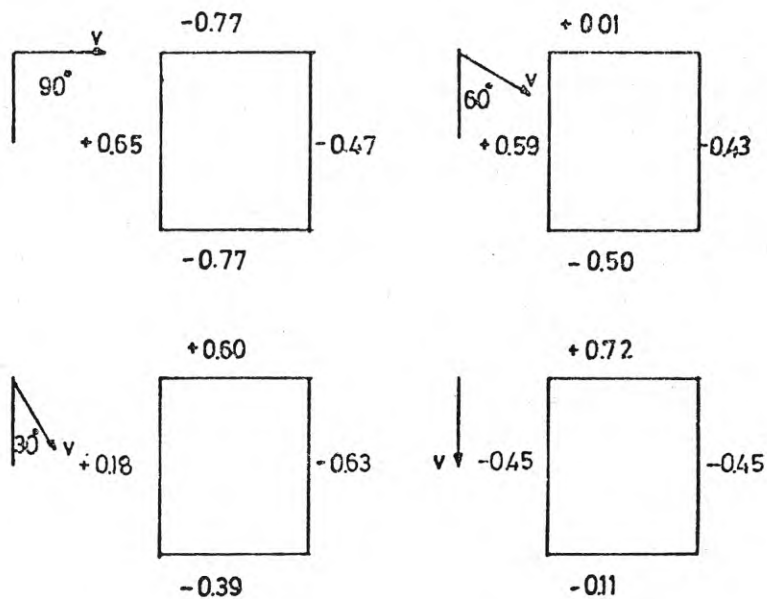


FIG 21 Formfaktorfördelning vid olika vindriktningar mot en byggnad.

Vinden orsakar således ett invändigt undertryck på vindsidan (lovartsidan) och ett invändigt övertryck på läsidan. Lufttrycket inomhus är beroende av vindförhållanden, förekommande otätheter i byggnaden samt hur dessa är fördelade i förhållande till vindriktningen. Vid en jämn fördelning av otätheterna i byggnaden kan trycket inomhus variera med $\pm 0,2 P_{\text{stat}}$. Förekommer större andel otätheter på lovartsidan ökar inomhustrycket något och vid det omvända fallet med större otätheter på läsidan minskar inomhustrycket. /3./

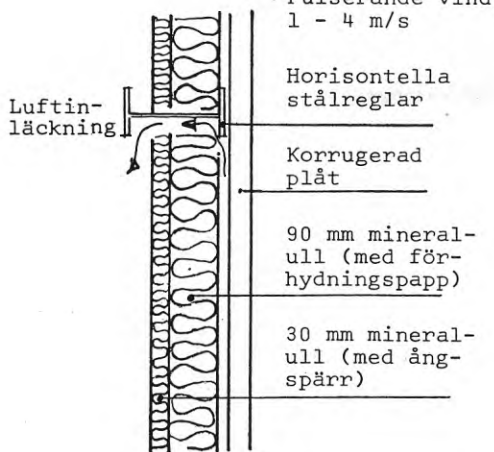
Vindförhållandena kan variera kraftigt med tiden och vid relativt närbelägna platser. Vid termografering kan sådana variationer inverka påtagligt på mätresultatet. Exempel visas i FIG 22. Lokala variationer p g a bebyggelsens utformning samt omgivande terräng kan förekomma.

Enligt försök har kunnat visas att tryckdifferensen över en fasad utsatt för en medelvindstyrka av ca 5 m/s blir ca 10 Pa.

Den mekaniska ventilationen ger upphov till ett konstant, invändigt undertryck eller övertryck (beroende på ventilationens riktning). Mätningar i samband med våra undersökningar har visat att undertryck orsakat av mekaniskt utsug (köksfläkt) i småhus som regel ligger mellan 5 och 10 Pa. I flerfamiljshus är undertrycket som regel något större 10-50 Pa vid mekanisk utsugning av ventilationsluften. Vid s k balanserad ventilation (mekaniskt styrd till- och frånluft) brukar normalt inställning ske så att der råder ett mindre undertryck på insidan (3-5 Pa).

Insida

Utsida



Mätbetingelser.

59

Molnighet:

mulet

Lufttemp. ute:

- 1°C

- " - inne:

+19°C

Vindförhållande:

1-4 m/s
(mot fasad-
en)

$P_i - P_u$:

-10 till 0 Pa
(pulserande
med vind-
trycket)

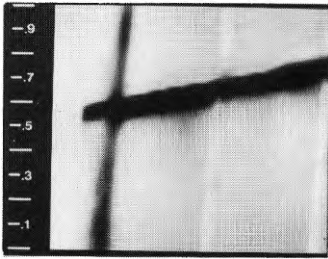
a) Yttervägg med
stålkonstruktion

b) Efter 0 minuter. Den horisontella
regeln nedkyld. Små antydningar
till luftläckage framträder i
bilden.



c) Efter 1 minut. Mörka
partier framträder på
väggytan under stålregeln.

d) Efter 2 minuter. De mörka
partierna är här större än vid b).



e) Efter 3 minuter. De mörka
partierna under regeln
framträder fortfarande.

f) Efter 4 minuter. Termogrammet
liknar återigen det vid a).

FIG 22 Exempel på vindens inverkan på temperaturfördelningen vid väggens insida vid otät konstruktion. Termogrammen är här tagna på samma mätområde (2).

Tryckdifferensen orsakad av temperaturskillnader s k skorstensverkan (täthetsskillnader hos luft med olika temperaturer) medför att det råder ett undertryck inne i byggnadens nedre del och ett övertryck upptill. På viss höjd ligger en neutralzon där trycket inne och ute är lika. Se FIG 23 . Denna tryckdifferens kan beskrivas av sambandet

$$\Delta p = g \cdot \rho_u \cdot h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right) \quad \text{Pa}$$

där Δp Luftryckskillnad över konstruktionen, (Pa)

g 9,81 m/s²

ρ_u Luftens densitet (kg/m³)

T_u Lufttemperatur utomhus (K)

T_i - " - inomhus (K)

h Avstånd till neutrala zonen, m

Om $\rho_u = 1,29 \text{ kg/m}^3$ (luftens densitet vid temperaturen $\pm 0^\circ\text{C}$ och 760 mmHg) erhålles

$$\Delta p \approx 13 \cdot h \left(1 - \frac{T_u}{T_i} \right)$$

Vid en skillnad av 25°C mellan lufttemperaturen ute och inne erhålles en skillnad i tryckdifferensen över konstruktionen av ca 1 Pa per m höjdskillnad.

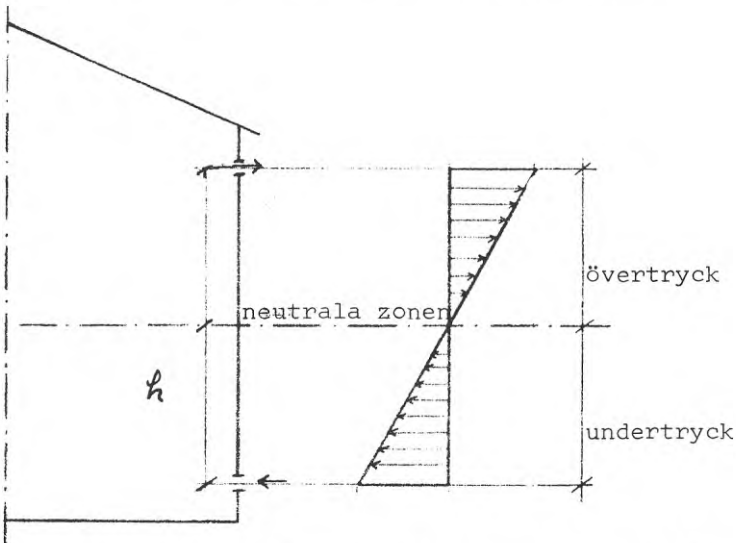


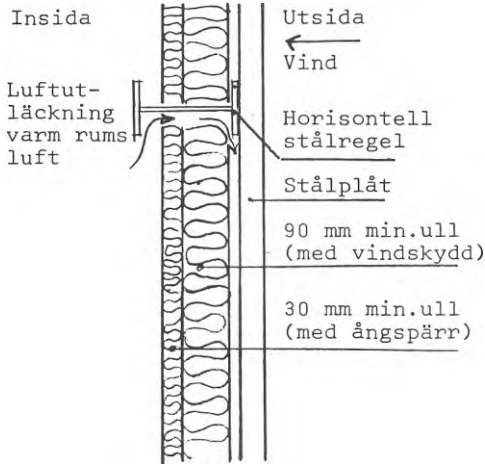
FIG 23 Tryckfördelningen över en vägg med två öppningar och lägre temperatur ute än inne.

Läget hos neutralzonen kan variera beroende på förekommande otätheter i huset. Om otätheterna är jämnt fördelade i byggnadens höjddled ligger denna zon nära byggnadens halva höjd. Vid ökade otätheter vid byggnadens nedre delar förflyttas neutralzonen nedåt och uppåt vid ökade otätheter i byggnadens övre partier. Med skorsten som mynnar över tak fås stor inverkan på neutralzonens läge och undertryck kan uppstå i hela byggnaden. I småhus är detta förhållande det mest vanliga.

I en större byggnad, typ högre industribyggnad, med förekommande otätheter vid portar och ev fönster vid byggnadens nedre del ligger neutrala zonen på ca 1/3 av byggnadens höjd. Exempel på olika luftflödesriktningar genom samma konstruktion vid olika nivåer visas i FIG 24.

Vid termografering från insidan är det en fördel om det råder undertryck i byggnaden och lika tryckförhållanden vid de olika byggnadsdelarna. Eventuella (luft-) läckageställena framträder härvid tydligt och under liknande betingelser. Den kalla uteluften läcker då in genom otätheter hos konstruktionen och kyler på den varma sidan lokalt ned närliggande ytpartier. På utsidan inverkar ett sådant läckage obetydligt på väggytans temperaturfördelning eftersom yttemperaturen här som regel ligger nära den inläckande luftens temperatur.

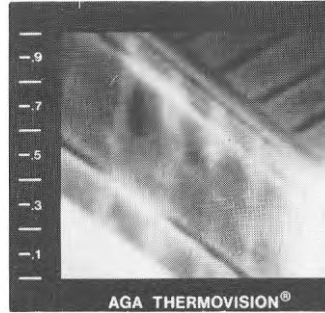
$$P_i - P_u = 15 \text{ Pa}$$



Mätbetingelser:

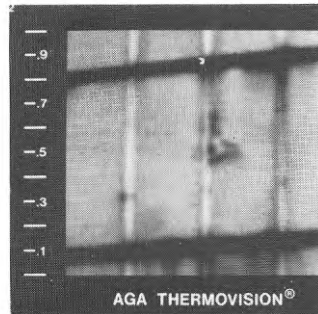
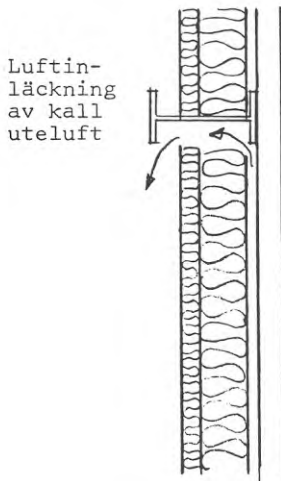
62

Molnighet: mulet
 Lufttemp. ute: -1°C
 - " - inne: 20°C
 Vind (mot fasaden): 3-4 m/s



- a) Termogram från väggens insida på dess övre del (omkring 15 m över golvnivå). Vissa ytpartier är varma beroende på luftläckage av varm rumsluft ut genom den otäta konstruktionen.

$$P_i - P_u = -5 \text{ Pa}$$



- b) Termogram från väggens nedre del (ca 5 m över golv) vid samma vertikalsnitt som a). Här är vissa ytor kalla p g a luftinläckning av kall uteluft genom otät konstruktion.

FIG 24 Exempel på ett isoler- och täthetsfel som orsakar luftläckage genom konstruktionen. Olika luftflödesriktningar genom samma konstruktion vid olika nivåer p g a invändigt övertryck vid väggens övre del och invändigt undertryck nedtill.

Vid övertryck inne i byggnaden framträder läckageställena som varmare partier i termogrammet såväl från insidan som utsidan. Läckagen framträder under sådana förhållanden mera diffust, speciellt på den varma sidan där temperaturvariationerna som regel blir mindre än vid luftinläckning. Detta beror på att temperaturskillnaden mellan rumsluft och väggyta som regel är liten. I det senare fallet kan utomhusmätning vara fördelaktig (Se FIG 25).

Vid enbart isoleringsbrister, d v s om isoleringsmaterial saknas i visst parti där konstruktionen är tät, påverkas väggens yttemperatur ej av tryckförhållandena över konstruktionen. Luftläckage är emellertid den dominerande feltypen varför tryckförhållandena över konstruktionen normalt är av avgörande betydelse vid termografering.

3.5 Icke-stationära temperaturförhållanden

Under verkliga förhållanden råder som regel icke-stationära temperaturförhållanden i konstruktionen.

Dygnsvariationer hos lufttemperaturen utomhus med som regel förhöjd dagstemperatur och sänkt natttemperatur påverkar temperaturen på insidan av väggen med dels en viss fasförskjutning, dels en viss amplitudförändring. Graden av påverkan har samband med väggens sammansättning och materialens värmekapacitet. Den värmemängd som lagras i en vägg är dels beroende av väggmaterialets värmetekniska egenskaper, dels av hur snabbt en temperatursvängning kan fortplantas i ett material.

Det senare kan beskrivas av temperaturledningstalet $a = \frac{\lambda}{\rho c}$. Om a är litet fortplantas en temperatursvängning långsamt. Värmeinträngningstalet $\sqrt{\lambda \rho c}$ är en materialkonstant som anger hur snabbt värme kan lagras i ett material och ju större nämnda konstant är, desto mer värme kan lagras inom viss tid.

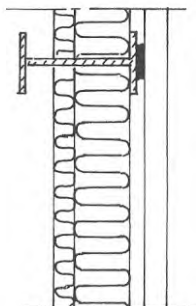
Utifrån räknat:

Horisontell väggregel
Fasadplåt (målad)
90 mm mineralull (med vind-
skydd)
30 mm mineralull (med diffu-
sionsspärr)

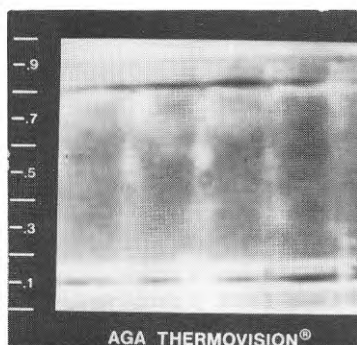
Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	- 1°C
" inne:	+19°C
Vindförhållanden:	3-4 m/s (cirka 45° från fasaden)
$P_i - P_u$:	+15 Pa

Insida Utsida



- a) Konstruktion av yttervägg med utvändig plåtbeklädnad.



- b) Termogram av väggpartiets övre del (taget från insidan). Här framträder vissa uppvärmda områden intill såväl de vertikala profilerna som de horisontella väggreglarna. Uppvärmningen har samband med utläckande rumsluft. Motsvarande väggavsnitt termograferat från utsidan visas i bild c.



- c) Termogram av motsvarande ytparti som i bild b. Den utläckande varma rumsluften värmer plåtfasadens yta vid vissa partier. De aktuella vindförhållandena medför att de varma partierna erhåller en viss dragning åt vänster i bilden.

FIG 25 Exempel på termogram tagna av motsvarande väggparti dels från insidan, dels från utsidan.

En yttervägg är som regel sammansatt av olika material med olika termiska egenskaper t ex träreglar, mineralull och lättbetong, ofta placerade intill varandra. En temperaturändring utomhus påverkar därvid olika insidans väggtemperatur i varierande grad beroende på väggens sammansättning i det aktuella partiet. Exempel på termogram från sådant parti visas i FIG 28, sid 73.

Termografering bör ej utföras vid starkt varierande temperatur. Temperaturvariationer ställer högre krav på temperaturfallet över konstruktionen om upptäckbara skillnader i värmebilden skall erhållas. För att klarlägga vilka villkor som bör vara uppfyllda utfördes en numerisk beräkning av yttemperaturens variation på insidan vid varierande temperatur utomhus. Beräkning gjordes genom att lösa den allmänna värmelednings-ekvationen i en dimension med enkel framåtdifferensmetod med hjälp av dator.

Följande förutsättningar antogs gälla

- endimensionellt värmefflöde
- lufttemperaturen (inne) hålles konstant vid $t_i = 20^{\circ}\text{C}$
med $\alpha_i = 7 \text{ W/m}^2\text{C}$
- lufttemperaturen (ute) varierar sinusformigt över dygnet enligt

$$t_{u,e} = t_u + t_1 \sin \frac{\pi}{12} (\tau-8)$$
 med $\alpha_u = 20 \text{ W/m}^2\text{C}$ ($\tau = \text{tidpunkt på dygnet}$)
- temperaturerna råder under flera på varandra följande dygn

Beräkningar gjordes för två olika konstruktioner enligt FIG 26 och 27.

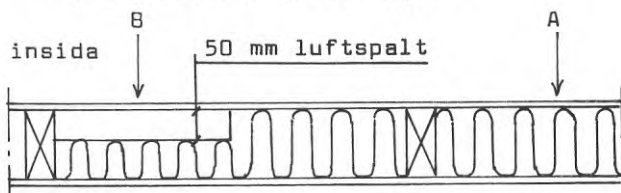
Från insidan:

13 mm gipsskiva

PE-folie

120 mm mineralull $\rho = 45 \text{ kg/m}^3$

13 mm asfaltimpregnerad
träfiberskiva $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$



utsida

Horizontalsnitt

Fig 26 Konstruktion I av yttervägg på vilken temperaturberäkning utfördes.

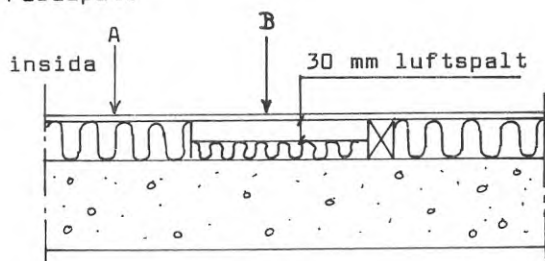
Från insidan:

13 mm gipsskiva

70 mm mineralull, $\rho = 45 \text{ kg/m}^3$

150 mm lättbetong $\rho = 500 \text{ kg/m}^3$

Fasadputs



utsida

Horizontalsnitt

Fig 27 Konstruktion II på vilken temperaturberäkning utfördes.

Isolerminskningen vid snitten B har valts så att en minsta motståndsminskning av ca 35 % av väggens totala värmemotstånd skall kunna upptäckas vid termografering. Erfarenheter från praktiska mätningar har gett denna bedömning. Detta ger t ex möjlighet att upptäcka om en 5 cm tjock isoleringsskiva saknas i en konstruktion med 5 + 7 cm isolering.

Beräkningarna har utförts vid följande utomhustemperaturer.

$$- t_u = 10 + 3 \sin \frac{\pi}{12} (\tau - 8)$$

$$- t_u = 10 + 5 \sin \frac{\pi}{12} (\tau - 8)$$

$$- t_u = 7 + 3 \sin \frac{\pi}{12} (\tau - 8)$$

$$- t_u = 7 + 5 \sin \frac{\pi}{12} (\tau - 8)$$

$$- t_u = 7 + 10 \sin \frac{\pi}{12} (\tau - 8)$$

Temperaturerna hos luften utomhus, väggytan vid snitten A och B vid olika tidpunkter under dygnet framgår till viss del av tabellerna 2-5.

Vid väggtyp 1 är fasförskjutningen mellan maximal utomhustemperatur och maximal väggtemperatur inomhus 1-2 timmar. Motsvarande fasförskjutning för väggtyp 2 är 6-7 timmar. Fasförskjutningen mellan yttemperaturerna vid snitten A och B är 0,5 - 1,0 timmar för båda väggtyperna.

Om isolerminskningen vid snitt B skall kunna upptäckas med IR-kameran måste $t_{vi,A} - t_{vi,B} \geq 0,2^{\circ}\text{C}$.

De perioder där $t_{vi,A} - t_{vi,B} < 0,20^{\circ}\text{C}$ har markerats i tabellerna.

Vid fastställande av en minsta temperaturskillnad vid vilken termografering i fält är meningsfull är beroende främst på kamerans temperaturupplösningsförmåga och temperaturtillståndet i väggen. Den isoleringsminskning som nätt och jämt kan upptäckas vid stationära förhållanden vid olika lufttemperaturskillnader (inne -ute) över väggen och vid olika värmemotstånd finns redovisad i byggforskningsrapporten Paljak & Pettersson (1972).

I praktiken är isolerfelen oftast av sådan karaktär att det råder bristfällig isoleringsutfyllnad i kombination med luftläckage. Detta förhållande förstärker felets effekt med ökad temperaturskillnad på ytan som följd. Vid små temperaturskillnader över väggen (10-15°C) är kravet på temperaturstabilitet hos omgivande luft högre än vid större temperaturskillnader.

Tabell 2

Konstruktionstyp I
Mätfall A

Kl	t_u	t_i °C	t_{vi} i snitt	
			A	B
00	7,4	20	19,50	19,25
01	7,1		19,47	19,22
02	<u>7,0</u> min		19,46	19,20
03	7,1		<u>19,45</u> min	19,19
04	7,4		<u>19,45</u>	19,20
05	7,9		19,46	19,22
06	8,5		19,47	19,25
07	9,7		19,50	19,28
08	10,0		19,50	19,33
09	10,3		19,56	19,42
10	11,5		19,59	19,42
11	12,1		19,62	19,47
12	12,6		19,65	19,51
13	12,9		19,67	19,54
14	<u>13,0</u> max		19,69	19,55
15	12,9		<u>19,70</u> max	19,56
16	12,6		<u>19,70</u>	19,56
17	12,1		19,69	19,54
18	11,5		19,67	19,51
19	10,3		19,65	19,47
20	10,0		19,62	19,43
21	9,7		19,59	19,38
22	8,5		19,56	19,33
23	7,9		19,52	19,29
24	7,4		19,50	19,25
			19,58 ± 0,12	19,38 ± 0,19
Vid stationärt tillstånd	10	20	19,58	19,38

Tabell 3

Konstruktionstyp I

Mätfall D

Kl	t_u °C	t_i °C	t_{vi} i snitt	
			A	B
00	2,7	20	19,32	18,98
01	2,2		19,28	18,93
02	<u>2,0</u> min		19,25	18,90
03	2,2		<u>19,24</u>	<u>18,88</u> min
04	2,7		<u>19,24</u> min	18,89
05	3,5		19,25	18,92
06	4,5		19,28	18,97
07	5,7		19,32	19,03
08	7,0		19,36	19,11
09	8,3		19,42	19,18
10	9,5		19,47	19,26
11	10,5		19,52	19,34
12	11,3		19,57	19,40
13	11,8		19,61	19,45
14	<u>12,0</u> max		19,64	19,49
15	11,8		<u>19,65</u>	<u>19,50</u> max
16	11,3		<u>19,65</u> max	19,49
17	10,5		19,64	19,46
18	9,5		19,61	19,41
19	8,3		19,57	19,35
20	7,0		19,52	19,28
21	5,7		19,47	19,20
22	4,5		19,42	19,12
23	3,5		19,36	19,04
24	2,7		19,32	18,98
			19,45 ± 0,21	19,19 ± 0,31
Vid stationärt tillstånd	7	20	19,45	19,19

Tabell 4

Konstruktionstyp II

Mätfall C

Kl	t_u °C	t_i °C	t_{vi} i snitt	
			A	B
00	4,4	20	19,42	19,19
01	4,1		19,40	19,17
02	<u>4,0</u> min		19,39	19,15
03	4,1		19,37	19,12
04	4,4		19,36	19,10
05	4,9		19,34	19,07
06	5,5		19,33	19,06
07	6,7		19,32	<u>19,04</u>
08	7,0		<u>19,31</u>	<u>19,04</u>
09	7,3		<u>19,31</u> min	<u>19,04</u> min
10	8,5		<u>19,31</u>	<u>19,04</u>
11	9,1		19,32	19,06
12	9,6		19,33	19,07
13	9,9		19,34	19,10
14	<u>10,0</u> max		19,36	19,12
15	9,9		19,37	19,15
16	9,6		19,39	19,17
17	9,1		19,40	19,19
18	8,5		19,42	19,21
19	7,3		19,43	<u>19,23</u>
20	7,0		19,43	<u>19,23</u> max
21	6,7		<u>19,44</u> max	<u>19,23</u>
22	5,5		19,43	19,22
23	4,9		19,43	19,21
24	4,4		19,42	19,19
			19,38 ± 0,07	19,14 ± 0,10
Vid stationärt tillstånd	7	20	19,38	19,14

Tabell 5

Konstruktionstyp II

Mätfall E

Kl	t_u °C	t_i °C	t_{vi} i snitt	
			A	B
00	-1,7	20	19,52	19,33
01	-2,7		19,48	19,26
02	<u>-3,0</u>		19,43	19,17
03	-2,7		19,37	19,09
04	-1,7		19,32	19,00
05	-0,1		19,27	18,93
06	+2,0		19,22	18,87
07	+4,4		19,19	18,83
08	7,0		19,17	<u>18,81</u>
09	9,6		<u>19,16</u> min	<u>18,81</u> min
10	12,0		19,17	18,83
11	14,1		19,19	18,87
12	15,7		19,22	18,94
13	16,7		19,27	19,01
14	<u>17,0</u>		19,32	19,09
15	16,7		19,37	19,18
16	15,7		19,43	19,26
17	14,1		19,48	19,34
18	12,0		19,52	19,40
19	9,6		19,55	19,44
20	7,0		19,57	<u>19,46</u>
21	4,4		<u>19,58</u> max	<u>19,46</u> max
22	2,0		19,57	19,44
23	-0,1		19,55	19,39
24	1,7		19,52	19,33
			19,37 ± 0,21	19,13 ± 0,33
Vid sta- tionärt tillstånd	7	20	19,37	19,13

3.5.1 Inverkan av sol vid termografering

I orienterande syfte utfördes orienterande mätningar i fält för att klarlägga hur solen och varierande utetemperatur inverkar på temperaturbilden på väggens insida.

Om väggytan i ett rum utsätts för direkt solbestrålning sker en omedelbar uppvärmning av ytan och ev temperaturvariationer tenderar att utjämnas. Om solen faller på fasadens utsida erhålles en temperaturförhöjning på väggens insida efter viss tid och med en storlek som har samband med dels väggens sammansättning dels solens intensitet. Se FIG 28. Exempel på solens inverkan på yttervägg visas i termogram FIG 28.

I en provlägenhet i ett flerbostadshus i Märsta termograferades ett ytterväggsparti vid olika betingelser. Ytterväggens konstruktion bestod här av från insidan räknat: 13 mm gips, 0,13 mm PE-folie, 120 mm mineralull, (2" x 5" träreglar), 12 mm asfaboard samt panel. Vid ett parti t v om fönstret sett från insidan (se foto FIG 29 a) reducerades isoleringstjockleken till ca 50 % av den ursprungliga tjockleken. Väggpärtiet ifråga var delvis skärmat från ev sol genom utskjutande balkongparti.

Termografering av detta parti utfördes från insidan vid olika tidpunkter på dygnet och vid olika mätbetingelser.

Undersökningarna visade att under typiska höst- och vinterdagar med måttliga dygnsvariationer hos lufttemperaturen utomhus, \pm ca 3°C , påverkas värmebildens utseende ej nämnvärt från ett sådant parti. Vid mätningarna var $T_i - T_u > 15^{\circ}\text{C}$. Det nedkylda partiets yttemperatur följer på ett naturligt sätt variationen utomhus. Störningarna är ej så stora att tolknings-svårigheter uppstår. Se FIG 29.

Vid en typisk vårdag med relativt låg nattemperatur ca $\pm 0^{\circ}\text{C}$ och förhöjd dagstemperatur ca $+ 14^{\circ}\text{C}$ samtidigt som solen belyser delar av fasaden är mätning med IR-kameran vansklig att genomföra.

Utifrån räknat:

Fasadtegel
 Asfaboard
 95 mm mineralull
 (2" x 4" träreglar)
 PE-folie
 13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

Molnighet:

klart
 (solen påverkar
 delar av ytter-
 väggen påtag-
 ligt)

Lufttemp ute:

+ 6°C

" inne:

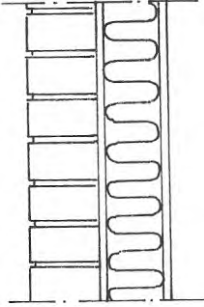
+20°C

Vindförhållanden:

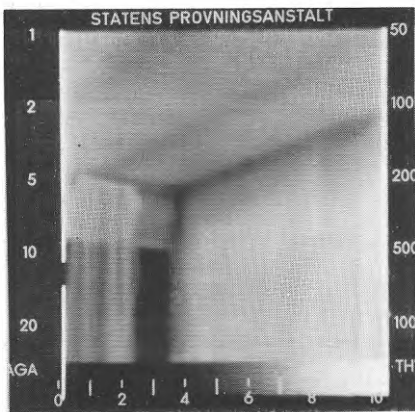
vindstill

$p_i - p_u$:

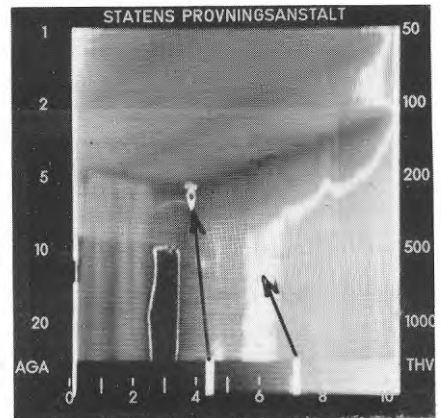
-5 Pa



a) Konstruktion av yttervägg.

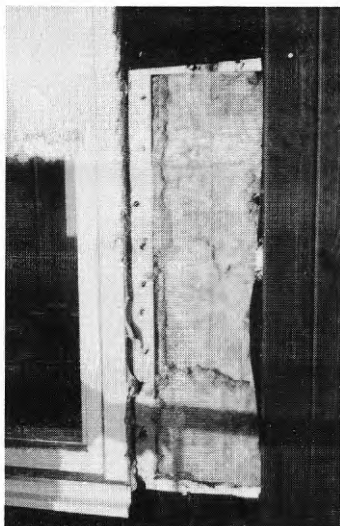


b) Termogram av ytparti vid vägg (mot söder) som varit utsatt för solbestralning under 3-4 timmar. Det mörkare partiet intill takvinkeln har samband med att solen avskärmas här av utvändigt taksprång.

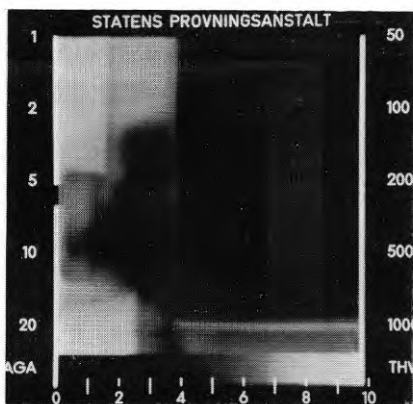


c) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,7$ i enh
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

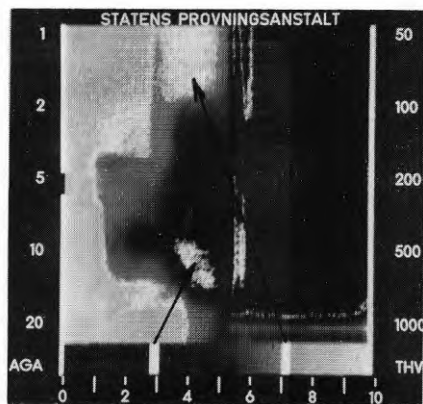
FIG 28 Exempel på termogram tagna av yttervägg (mot söder) som varit utsatt för sol.



Fotografi av frilagt väggparti från utsidan där isoleringen reducerades med ca 50 %.



- a) Termogram av väggparti t h om fönster. Det nedkylda partiet hade lika utseende under hela dygnet vid denna väderlekstyp. Graden av nedkyllning hos defekt parti varierade något.



- b) $t_i = 23^{\circ}\text{C}$
 $t_u = 5-7^{\circ}\text{C}$ (variation under dygnet)
 (ej påverkad av sol)
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$

FIG 29 Exempel på termogram tagna vid varierande lufttemperatur utomhus. Termogrammen är tagna från insidan.

Mätningarna visade att temperaturkontraster vid det felaktiga partiet utjämnades relativt snabbt och felet maskerades större delen av dagen. Resultaten framgår delvis av termogrammen i FIG 30.

Termografering skall ej utföras när sol har påverkat byggnadsdelen i någon omfattning. Tillfällig sol kan accepteras om det ej bedöms påverka resultatet.

I samband med termografering av byggnader bör man bestämma max- och min-temperaturen på mätplatsen under ett dygn före termograferingen, t ex med hjälp av en max-min-termometer. Solförhållandena under nämnda dygn bör även vara kända.

4. Användning av termografering

4.1 Mätbetingelser och mätsäsong

Med ledning av vad som sagts tidigare kan följande sammanfattning göras beträffande krav på mätbetingelser vid termografering av byggnader.

Termografering sker så att minska möjliga störande inverkan fås från yttre klimatfaktorer. Mätning sker därför inomhus, d v s för uppvärmd byggnad undersöks konstruktionens varma yta.

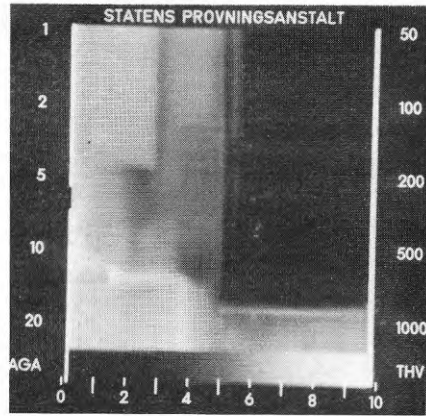
Utomhustermografering tillämpas endast vid orienterade mätningar på större fasadytor. I vissa fall, t ex där isoleringen är mycket dålig eller där invändigt övertryck råder kan utomhusmätning vara värdefull.



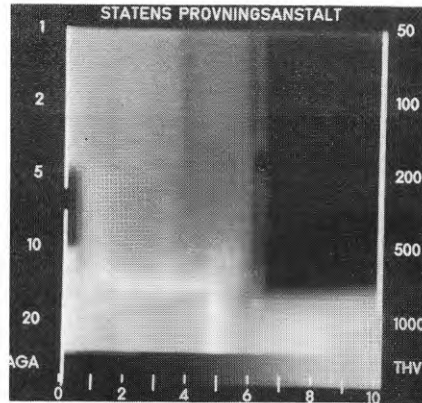
a) Solbelysning på fasaden kl 09.00. Ytparti med reducerad isolering har markerats.



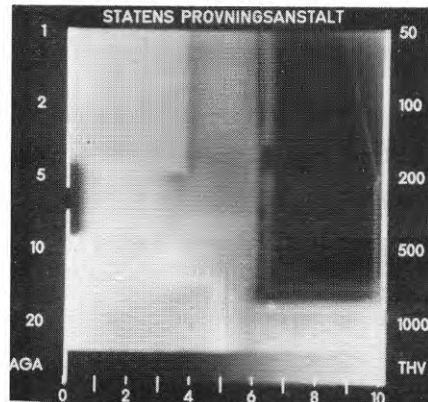
b) Solbelysning på fasaden kl 15.00. Ytparti med reducerad isolering har markerats.



c) $t_i = 23^{\circ}\text{C}$
 $t_u = 6^{\circ}\text{C}$
 $t_{vu} = \sim 35^{\circ}\text{C}$ (på solbelyst yta)



d) $t_i = 24^{\circ}\text{C}$
 $t_u = +11^{\circ}\text{C}$
 $t_{vu} = \text{ca } 40^{\circ}\text{C}$ (på solbelyst yta)



e) $t_i = 24^{\circ}\text{C}$
 $t_u = 14^{\circ}\text{C}$
 $t_{uv} = \text{ca } 40^{\circ}\text{C}$ (på solbelyst yta)

FIG 30 Exempel på solens inverkan på värmebildens utseende.

Följande villkor bör vara uppfyllda:

Under minst ett dygn före termograferingen och så länge den pågår skall lufttemperaturfallet över byggnadsdelen vara minst 10°C . Under samma tid får lufttemperaturfallet inte variera mera än $\pm 30\%$ av temperaturfallet vid termograferingens början. Under termograferingen bör lufttemperaturen inomhus ej ändras mer än 2°C .

Under minst ett halvt dygn före termograferingen och så länge den pågår får inget solljus falla på byggnadsdelen.

Vid termografering i syfte att lokalisera enbart luftläckage i byggnader kan kraven på mätbetingelserna vara lägre. Här torde det räcka med endast några graders differens (ca 5°C) mellan lufttemperaturen inne och ute för att upptäcka sådana brister. Här föreligger dock vissa krav på tryckfall över konstruktionen.

Nämnda krav på mätbetingelser begränsar den period under året vid vilken termografering kan utföras i Sverige.

Enligt statistik från SMHI betr medelvärden av max- och min-temperaturer för varje dygn under resp månad jan - dec under en 30-årsperiod 1931-1960 kan mätsäsongens längd uppskattas. Se tabell 6. För platserna Kiruna, Stockholm och Lund erhålles vid en inomhus-temperatur av $+20^{\circ}\text{C}$ följande perioder under vilka termografering kan utföras.

Kiruna:	mitten av september-mitten av maj (ca 8 månader)
Stockholm:	början av oktober-slutet av april (ca 6,5 månader)
Lund:	mitten av oktober-mitten av april (ca 6 månader)

Solens inverkan har därvid ej beaktats. Vid en förhöjning av inomhustemperaturen kan mätsäsongen förlängas.

Tabell 6

	Kiruna		Stockholm		Lund	
	max	min	max	min	max	min
jan	-8,2	-17,1	-1,0	-4,7	+1,1	-2,8
feb	-8,3	-17,0	-1,2	-5,5	+1,4	-3,2
mar	-4,3	-14,4	+1,9	-3,6	+4,6	-1,5
apr	+0,5	- 8,5	+8,3	+0,7	+10,6	+2,5
maj	+6,7	- 1,4	+14,6	+5,7	+16,7	+6,7
jun	+13,7	+ 4,7	+19,2	+10,4	+20,6	+10,6
jul	+17,6	+ 8,4	+21,8	+14,0	+22,4	+13,1
aug	+14,9	+ 6,2	+20,2	+13,3	+21,3	+12,7
sep	+ 8,7	+ 1,9	+15,3	+ 9,4	+17,1	+ 9,8
okt	+ 1,5	- 4,6	+ 9,0	+ 4,8	+10,7	+ 5,8
nov	- 3,6	-10,7	+ 4,5	+ 1,0	+ 6,6	+ 2,5
dec	- 6,4	-14,6	+ 1,9	- 1,9	+ 3,1	- 0,2

4.2 Tolkning av termogram

Som nämnts tidigare måste termografins uppgift i huvudsak begränsas till att lokalisera fel i värmeisolering i ytterväggar och bjälklag samt att bestämma felets typ och dess omfattning. Man kan även formulera mätuppgiften så att yttemperaturmätningen avser att konstatera om den undersökta väggen besitter utlovade isoler- och täthetsegenskaper. De "utlovade värmeisolerings-egenskaperna" för väggen enligt ritning kan omsättas i en förväntad yttemperaturfördelning för den undersökta ytan om mätbetingelser vid mättillfället är kända.

I praktiken innebär metoden följande.

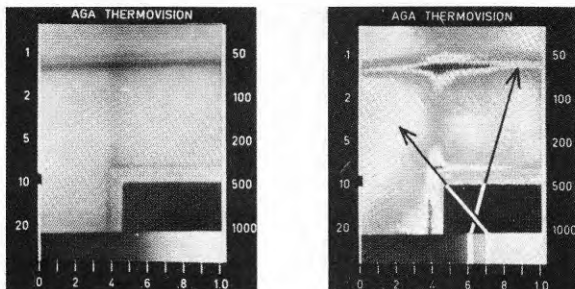
Med hjälp av antingen laboratorieförsök eller fältförsök framställs i förväg en förväntad temperaturfördelning, i form av "typ- eller jämförelsetermogram", för vanligen förekommande väggkonstruktioner innefattande såväl felfria konstruktioner som konstruktioner med innbyggda fel. Exempel på typtermogram visas i FIG 31.

Om termogram tagna av konstruktionsparti vid fältmätning skall kunna användas som jämförelsetermogram måste konstruktionens uppbyggnad, arbetsutförande och rådande mätbetingelser vara väl kända och dokumenterade.

För att vid termografering kunna uttala sig om orsakerna till eventuella avvikelser från förväntat resultat måste man ha kännedom om de fysikaliska, mättekniska och byggnadstekniska förutsättningarna.

Tolkning av termogram tagna från ett väggparti vid fältmätning kan i korthet beskrivas enligt följande.

Ett termogram utväljes ur samlingen med jämförelsetermogram med utgångspunkt från aktuell väggkonstruktion och vid fältmätningen rådande betingelser. Jämförelse göres mellan det tagna termogrammet och jämförelsetermogrammet. Om avvikelser föreligger som inte kan förklaras av konstruktionsritning eller mätbetingelser noteras dessa som misstänkta isolerfel.



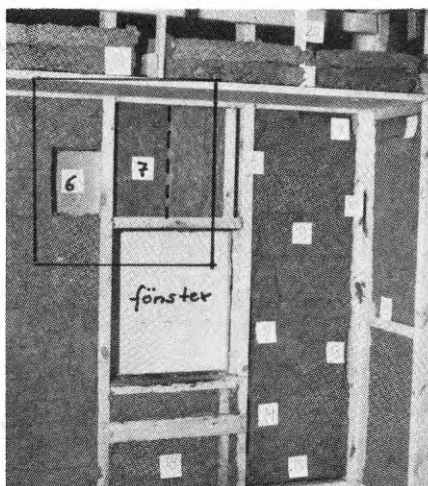
- a) Typtermogram av ytparti vid takvinkel för regelvägg nr 1 vid felfri konstruktion.

$$\text{Temperaturskillnad (inne-ute) } t_i - t_u = 26^{\circ}\text{C}$$

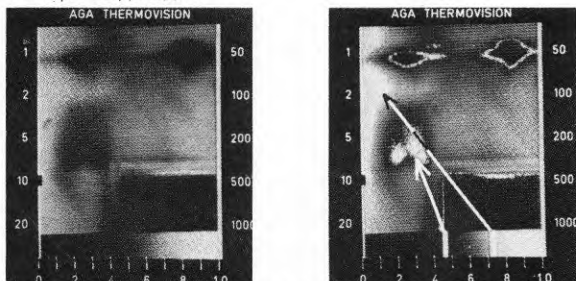
$$\text{Tryckskillnad (inne-ute) } p_i - p_u = -50 \text{ Pa}$$

$$\text{Referenstemperatur } t_{\text{ref}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Temperaturskillnad på väggytan } \Delta t = 2,7^{\circ}\text{C} \text{ (uppmätt med IR-kameran)}$$



- b) Fotografi av regelvägg nr 1 med gipsplatta och plastfolie borttagna. Läget av olika fel är markerade. Läggs speciellt märke till fel nr 6 och 7 där isolertjockleken är reducerad till 100 resp 50 % av den ursprungliga.



- c) Typtermogram av ytparti vid takvinkel för regelvägg nr 1 med inbyggda fel. Läggs märke till felen nr 6 och 7. Luftinläckning genom otät anslutning vid takfot förekommer. $t_i - t_u = 26^{\circ}\text{C}$ $t_{\text{ref}} = 20^{\circ}\text{C}$

FIG 31 Exempel på jämförelsetermogram. $p_i - p_u = -50 \text{ Pa}$ $\Delta t = 4,1^{\circ}\text{C}$

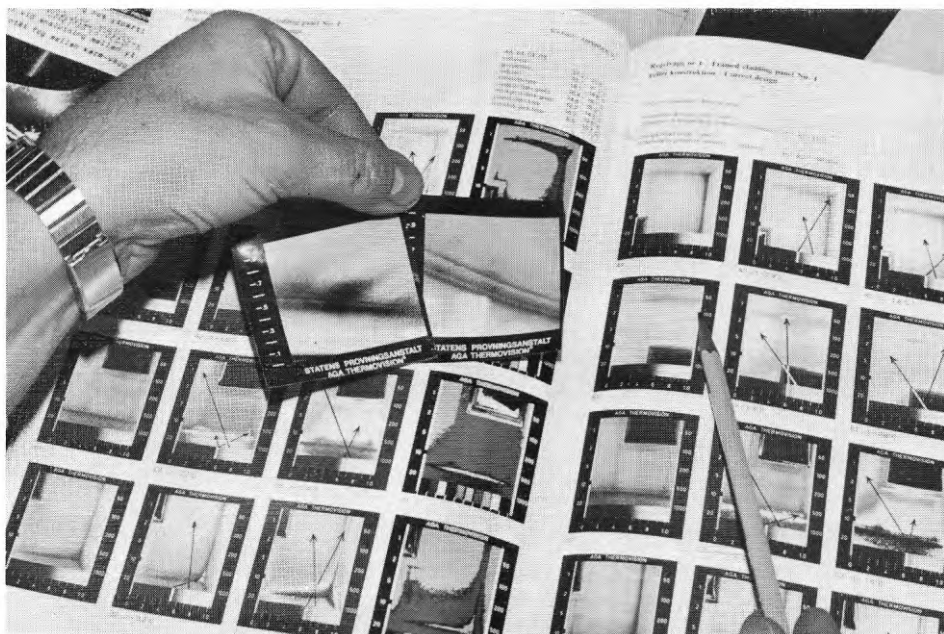
Felens art och omfattning bestäms normalt med hjälp av s k "jämförelsetermogram" som visar olika fel. Om lämpliga jämförelsetermogram saknas får en erfarenhetsmässig utvärdering och bedömning göras. Därvid krävs en noggrannare motivering vid analysen.

Vid utvärdering av termogram bör följande undersökas i termogrammet.

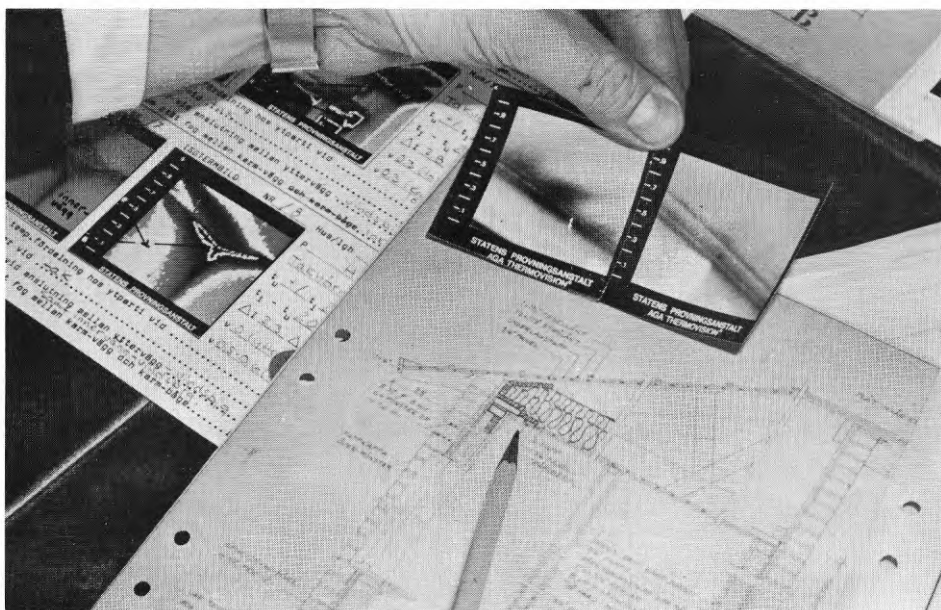
- Jämnhet i ljusheten hos termogram från ytpartier där s k köldbryggor saknas
- Regelbundenhet och förekomst av kallare (mörkare gråton) vid t ex reglar och hörnpartier
- Kontur och karakteristisk form hos det nedkylda ytpartiet
- Storlek hos uppmätt temperaturskillnad mellan väggens normala yttemperatur mitt på väggparti och valt nedkylt ytparti
- Kontinuitet och jämnhet hos isotermskurvan utefter konstruktionens yta

Avvikelser och oregelbundenheter i det beskrivna utseendet hos termogram tyder ofta på isolerfel. Utseendet hos termogram från väggpartier med isolerfel kan naturligtvis variera mycket. Vissa typer av isolerfel har som regel en karakteristisk form i termogrammet. Exempel på tolkning av termogram visas i FIG 32 A-B.

Vid termografering av samma objekt bör man sträva efter att termogrammen från olika partier är tagna med samma inställning hos IR-kameran. Därvid kan man lätt göra jämförelser mellan de olika partierna. Vid undersökning av ett ytparti tas normalt en gråtonsbild (inga isotermer inlagda) och en isotermbild av samma parti (med isotermer inlagda). Isotermerna förläggs härvid till utvalda partier på ytan. Referenstemperatur motsvarande den ena isotermen bestäms (t ex med en yttermometer). Därvid kan temperaturskillnader mellan olika ytpartier bestämmas.

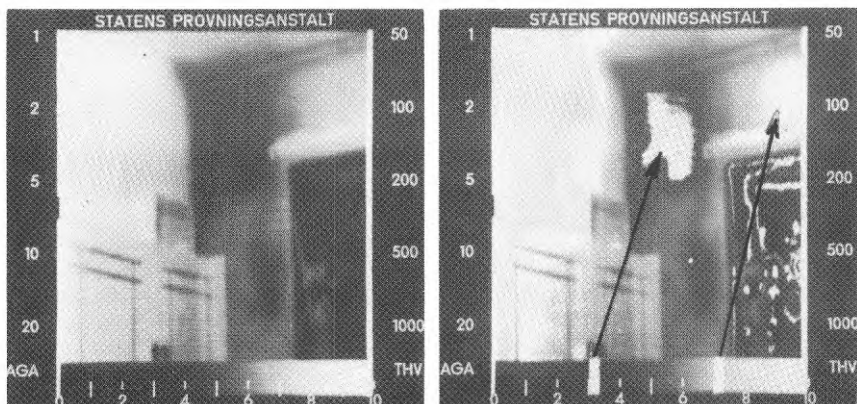


Termogrammen jämförs med typtermodogram.



Aktuell konstruktion studeras.

FIG 32 a Exempel på tolkning och bedömning av termogram tagna i fält.



- a) Termogram för yttervägg av ytparti vid takvinkel. Nedkylda (mörka) områden framträder i termogrammet till vänster om fönstret (gråtonsbild till vänster och isotermbild till höger).

$$t_i - t_u = 21^{\circ}\text{C} \quad t_{\text{ref}} = 21^{\circ}\text{C}$$

$$p_i - p_u = -3 \text{ Pa} \quad \Delta t = 3,0^{\circ}\text{C} \text{ (skillnad i yttemperatur mellan "normal" väggtemperatur och nedkylt ytparti)}$$

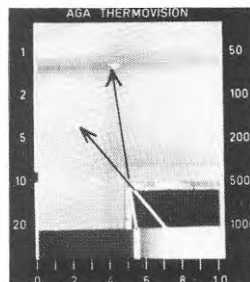
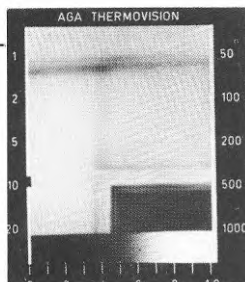
- b) Typtermogram för yttervägg med i princip lika konstruktion (regelvägg nr 1) som den vid 14 a) och vid följande mätbetingelser.

$$t_i - t_u = 26^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{ref}} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$p_i - p_u = 0 \text{ Pa}$$

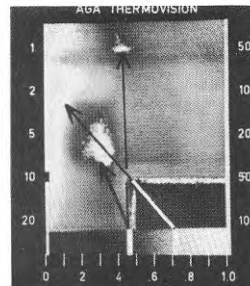
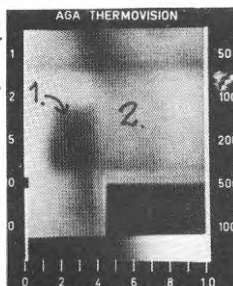
$$\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$$



Vid jämförelse med termogram i 14 a) kan avvikelse konstateras.

- c) Typtermogram för samma yttervägg som vid 14 b) men med inbyggda fel. Mätbetingelserna är lika som vid 14 b).

$\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$ (skillnad i yttemperatur) mellan "normal" väggtemperatur (20°C) och nedkylt område. Jämförelse mellan termogram i 14 a) och 14 b) göres.



Fel nr 1 motsvarar 100 % isoleringsreduktion i väggen
Fel nr 2 - " - 50 % - " - " - " - " -

Slutsats: Konstruktionen saknar sannolikt isolering vid det nedkylda ytpartiet i bild a).

FIG 32 b Exempel på tolkning av termogram.

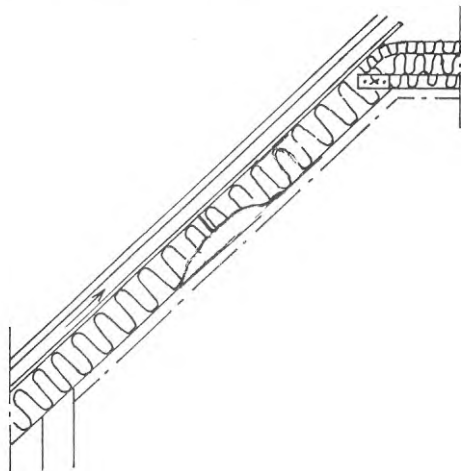
Den beskrivna principen för tolkning av värmebilder avser i första hand svart-vita termogram, som är mest förekommande vid praktiska mätningar. Utvärdering av färgtermogram kan emellertid ske på motsvarande sätt. Vid våra undersökningar har vi i huvudsak tagit termogram i svart-vitt av följande skäl.

- detaljer och temperaturvariationer framträder med stor tydlighet i svart-vita termogram. (Åskådligheten kan dock vara större vid termogram i färg).
- utrustning för framställning av svart-vita termogram är billigare än sådan för färgtermogram.
- förfarandet vid och kostnaden för reproducering av erhållet bildmaterial är enklare och billigare vid termogram i svart-vitt.

Exempel på färgtermogram visas i FIG 33.

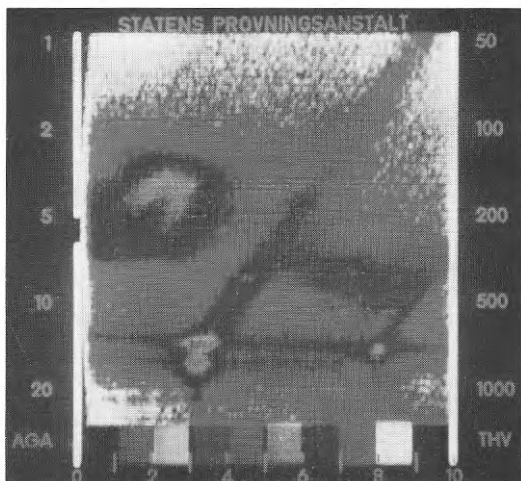
Uppifrån räknat (snedtak):

- Takbeläggning
- Underlagspapp
- 3/4" råspont
- 3 mm träfiberskiva
- 108 mm mineralull
- Ångspärr
- 13 mm gipsskiva



Mätbetingelser

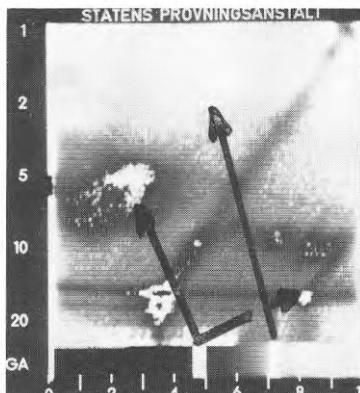
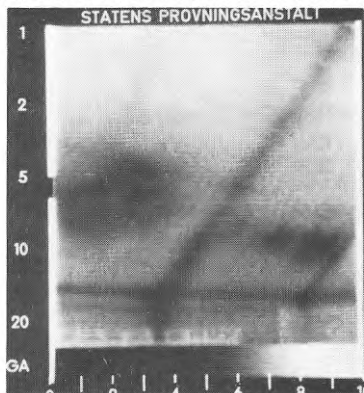
- Molnighet: klart (termograferad byggnadsdel ej påverkad av sol)
- Lufttemp ute: - 2°C
- " inne: +21°C
- Vindförhållanden: vindstill
- P_i - P_u: -5 Pa



- a) Konstruktion av isolerat snedtaksparti med bristfälligt isoleringsutförande.
 Övre temperaturgräns för färgton

vit:.....	21,0°C
gul:.....	20,4°C
röd:.....	19,7°C
violett:.....	19,0°C

ljusgrön:.....	18,4°C
mörkgrön:.....	17,7°C
ljusblå:.....	17,0°C
mörkblå:.....	16,3°C



- c) Termogram (gråtonsbild) av motsvarande ytparti som färgtermogram bild b. De nedkylda (mörka) partierna har samband med bristfälligt isoleringsutförande. Jämför bild b.

- d) t_{ref} = 20°C
 $\Delta I = 1,2$ i enh
 $\Delta t = 2,0$ °C
 v = 0 m/s

FIG 33 Exempel på färgtermogram och "svart-vita" termogram tagna av samma ytparti.

4.3 Kamerainställning

Vid termografering är det viktigt att IR-kamerans inställning är sådan att rätt ljushet och kontrast erhålles i värmebilden. Fabrikantens anvisningar bör därvid följas.

Olika kamerainställningar visas i appendix, FIG 123.

Vid inställning av lämpligt mätområde hos IR-kameran är det väsentligt att de temperaturvariationer man eftersträvar att åskådliggöra framträder så tydligt som möjligt. Väljes för känsligt mätområde är risken stor att de nedkylda partierna blir för mörka med svårigheter att urskilja detaljer i bilden som följd. Vid detaljstudier av t ex isolerade ytterväggspartier kan dock hög känslighet erfordras.

Huvudprincipen vid inställning av lämpligt mätområde skall vara den att området omspanner aktuellt temperaturområde på den mätyta, som studeras.

4.4 Mätmetodens tillförlitlighet

Vid ca 150 fall har fel som lokaliserats med värmekameran, noggrant kunnat verifieras antingen genom upprivning av väggparti och okulärbesiktning eller genom kompletterande mätningar med hjälp av andra mätmetoder t ex värmeflödesmätning. Sådana verifierande metoder har omnämnts tidigare i kap 2.

Det är av grundläggande intresse dels att inga isolerfel av betydelse kan förbli oupptäckta, dels att fel som lokaliserats medelst termografi är verkliga isolerfel.

I FIG 34-40 visas några exempel där termograferingsresultatet har noggrant verifierats.

Varje mätfall redovisas på en sida innehållande termogram av aktuell byggnadsdel, konstruktionens utseende och aktuella mätbetingelser. Dessutom redovisas använd metodik för att verifiera IR-kamerans registrering i det aktuella fallet.

Termogrammen är sammanställda två och två med det termogram, som anger temperaturfördelningen enligt gråtonsskalan (gråtonsbild, inga isotermer inlagda) till vänster och termogrammet av samma parti med de två isotermerna inlagda (isotermbild) till höger. På isotermbilderna är pilar dragna mellan isotermmarkeringarna på skalan och motsvarande ytparti på bilden.

Följande beteckningar är använda.

t_r	Uppmätt referenstemperatur på utvalt ytparti, °C
ΔI	Avläst skillnad mellan isotermmarkeringarna på isotermbilden (isotermenheter)
Δt	Temperaturskillnad motsvarande ΔI , °C
$P_{inne} - P_{ute}$	Tryckfall över konstruktionsdel uppmätt med U-rörsmått, Pa
v	Lufthastighet vid luftläckagepunkt (invid ytan) uppmätt med varmtrådsanemometer, m/s

Lufttemperaturerna är uppmätta med hjälp av kvicksilvertermometer. Referenstemperaturen på ytan har uppmätts med yttertermometer.

Undersökningarna har visat att i alla fall där ett isolerfel eller luftläckage lokaliserats med hjälp av IR-kameran kunde också ett sådant fel verifieras vid noggrann kontroll. IR-kameran har vid våra undersökningar ej föranlett felbedömning vid de fall där angivna krav på mätbetingelser har förelegat.

Beträffande risken för feltolkning kan följande sägas.

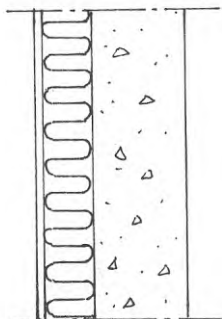
Vi vet med stor säkerhet termogrammens utseende från felfria väggpartier. Risken att fel av betydelse skall förbli oupptäckta är mycket liten om aktuella krav på mätbetingelserna är uppfyllda. Det bör dock påpekas att värmekameran har svårt att upptäcka en jämnt underdimensionerad isolering i en konstruktion. Viss ledning kan fås genom jämförelse mellan t ex innerväggens och ytterväggens temperatur. I sådana fall kan emellertid en kompletterande mätning vara nödvändig. Fel av typen luftläckage samt bristfällig isoleringsutfyllnad i kombination med konvektiva luftströmningar i konstruktionen upptäcks effektivt, speciellt om det råder undertryck inne i byggnaden.

Beroende på dess goda förmåga att avslöja isolerfel har termograferingsmetoden använts i samband med rättsliga tvister mellan köpare och säljare av en byggnad. I samband med våra undersökningar har termografering utnyttjats vid ungefär 50 sådana tvister. Några fall har gått till domstol, som härvid har lagt stor vikt vid den utförda termograferingen. De flesta tvisterna löses genom skiljedom. Vid fall där allvarliga brister föreläggat har felen tillrättalagts med som regel utan kostnad för köparen.

Om termografering skall genomföras på riktigt sätt krävs speciella kunskaper i byggnadsteknik och mätteknik. För riktig tolkning och bedömning av resultatet ställs dessutom speciella krav på erfarenhet och kunskaper i byggnadsfysik och VVS-teknik.

Utifrån räknat:

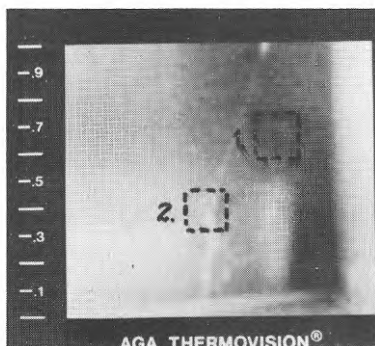
Fasadplåt
80 mm mineralull
160 mm betong
Puts



a) Konstruktion av yttervägg.

Uppmätt värmefflöde i mät-
punkt 1 respektive 2.
Mät punkt 1: 14,7 W/m²
" 2: 9,8 W/m²

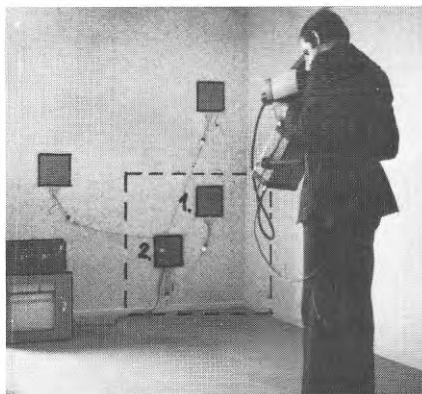
K-värdet vid respektive mät-
punkt bestämdes till
Mät punkt 1: 0,60 W/m²°C
" 2: 0,40 W/m²°C



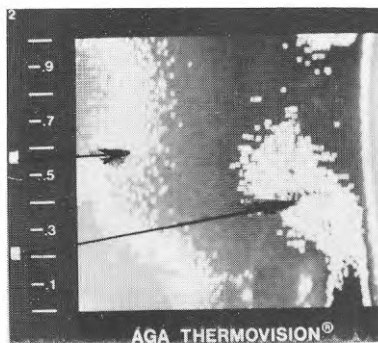
c) Termogram från ytparti mot-
svarande det som är markerat
i fotografi a. Två av flödes-
mätarnas placering har marke-
rats med siffrorna 1 och 2 i
termogrammet.

Mätbetingelser (vid termografering)

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: - 1°C
" inne: +23°C
Vindförhållanden: cirka 3 m/s
(från fasaden)
 $P_i - P_u$: -3 Pa



b) Fotografi av provningsuppställ-
ning vid samtidig mätning på
yttervägg med värmefflödesmätare
och IR-kamera. Två av mät-
punkterna har markerats med
siffrorna 1 och 2.



d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,7$ i enh
 $\Delta t = 1,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

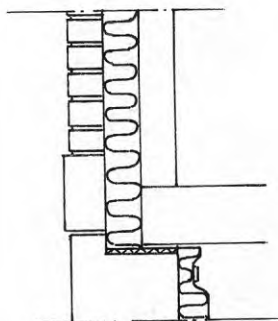
FIG 34 Exempel på jämförande undersökning av värmeisolerings-
förmågan hos yttervägg med värmefflödesmätare och värme-
kamera.

Utifrån räknat:

Fasadtegel
120 mm mineralull
120 mm betong

Mätbetingelser (vid termografering)

Molnighet: mulet, lätt snöfall
Lufttemp ute: - 1°C
" inne: +20°C
Vindförhållanden: Vindstilla
 $P_i - P_u$: -10 Pa



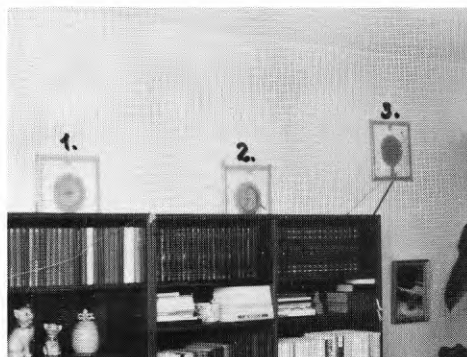
a) Konstruktion av yttervägg.

K-värdet vid respektive mät-
punkt bestämdes till

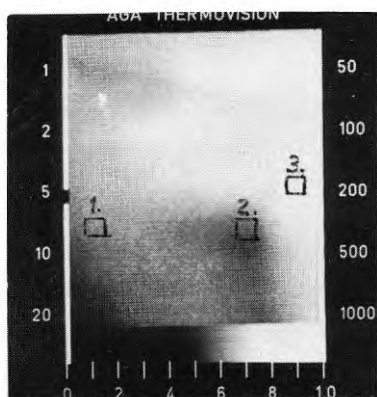
$$k_1 = 0,45 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$k_2 = 0,80 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

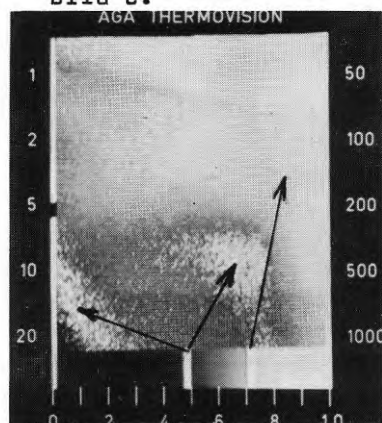
$$k_3 = 0,30 \text{ W/m}^2\text{°C}$$



b) Fotografi visande värme-
flödesmätare uppmonterad på motsvarande
ytparti som i bild c. Flödes-
mätarna har markerats i bilden
med siffrorna 1, 2 och 3. Mot-
svarande markering har gjorts i
bild c.



c) Termogram av delvis nedkyllt
ytparti mitt på vägg. Ned-
kylningen har sannolikt sam-
band med bristfällig utfyllnad
av isoleringsmaterialet. Bil-
den tyder på att mineralullen
ej ligger an mot betongen sam-
tidigt som konvektiva luft-
rörelser förekommer.



d) $t_{ref} = 19\text{°C}$
 $\Delta I = 1,1 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 1,5\text{°C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

FIG 35 Exempel på jämförande undersökning av värmeisolerings-
förmågan hos yttervägg med värme-
flödesmätare och värme-
kamera.

Takbeläggning

Underlagspapp

3/4" råspont

3 mm träfiberskiva

100 mm min.ull

Ångspärr

13 mm gipsskiva

Mätbetingelser:

Molnighet:

Lufttemp. ute:

Lufttemp. inne:

Vindförhållanden:

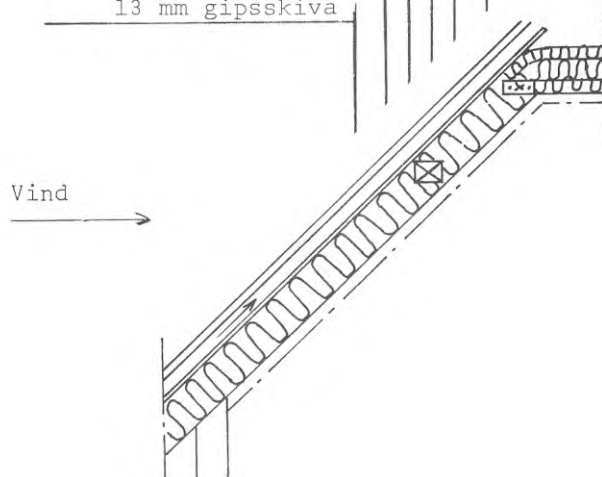
 $P_i - P_u$

klart

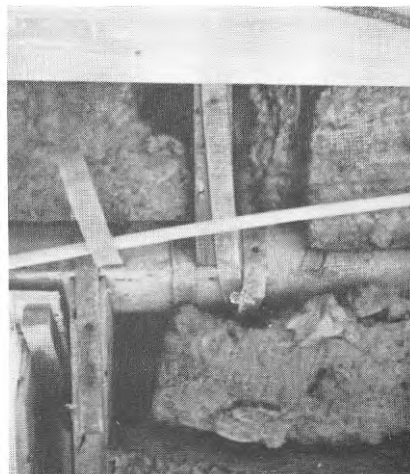
 $\pm 0^\circ\text{C}$ $+20^\circ\text{C}$

2-3 m/s

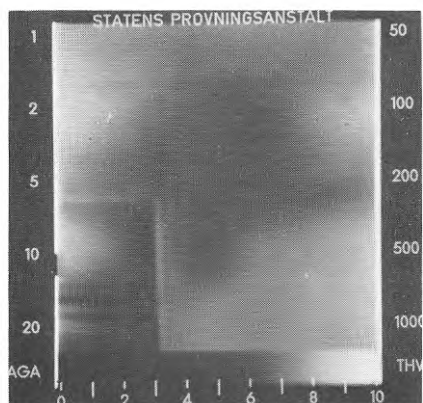
- 5 Pa



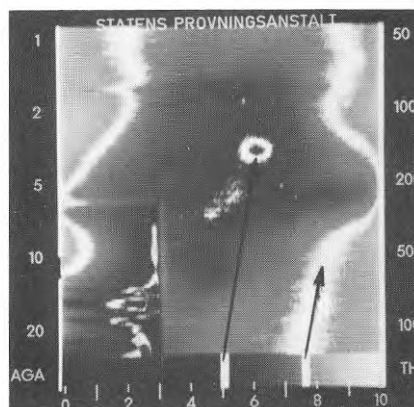
a) Isolerat yttertak.



b) Fotografi av öppnat väggparti från insidan. Isoleringmaterialet har bristfällig utfyllnad mot regler och gipsskivan. (Något komplicerad konstruktion).



c) Termogram av ytparti vid lutande tak. Nedkyllt område framträder till höger om burspråk. Nedkylningen här har samband med de brister som visas i b).



d)

$$t_{\text{ref}} = 19^\circ\text{C}$$

$$\Delta I = 2,5$$

$$\Delta t = 3,5^\circ\text{C}$$

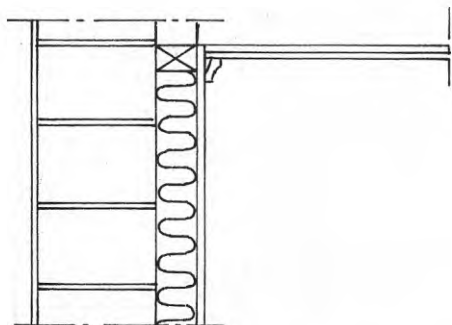
FIG 36 Exempel på termogram, där misstänkt fel har verifierats genom friläggning av aktuellt parti. (Ej arbetsvänlig konstruktion).

Utifrån räknat:

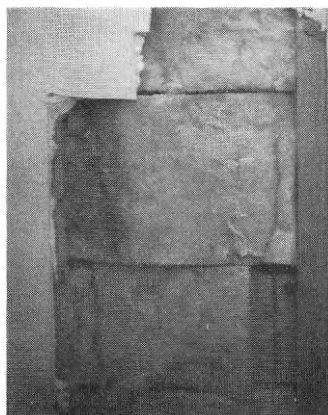
Cementputs
200 mm betonghålstén
70 mm mineralull
13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

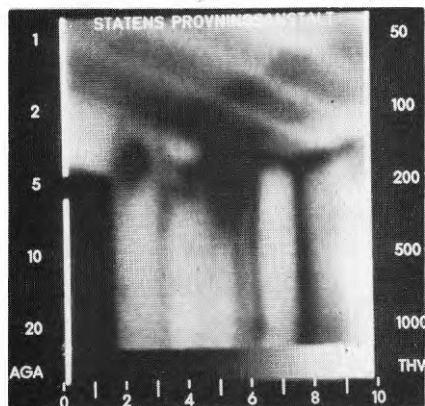
Molnighet: klart
Lufttemp ute: + 5°C
" inne: +21°C
Vindförhållanden: 2-3 m/s
(mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



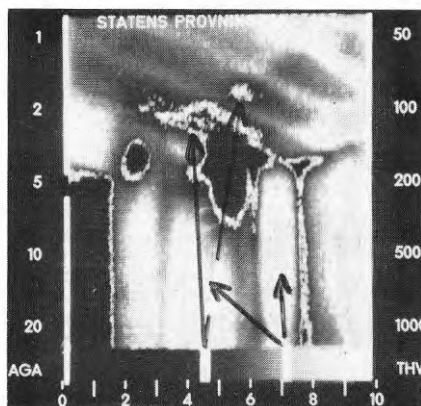
a) Konstruktion av yttervägg.



b) Fotografi av öppnat väggparti från insidan. Luftrörelser i vertikal led orsakade nedsmutning av mineralullen. Isoleringsringen bestod av mindre bitar som var ej tillfredsställande tillpassade i facken mellan reglarna.



c) Termogram av delvis nedkyllt väggparti. Nedkylningen är lokaliserad till dels den vertikala regeln i väggen dels väggens övre del.

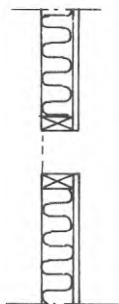


d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $I = 1,2$ i enh
 $t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v =$ cirka 0,5 m/s (vid takvinkeln)

FIG 37 Exempel på termogram, där misstänkt fel har verifierats genom friläggning av aktuellt parti.

Inifrån räknat:

13 mm gipsskiva
PE-folie
100 mm mineralull
Papp
(Väggen gränsar mot
oinrett vindsutrymme)



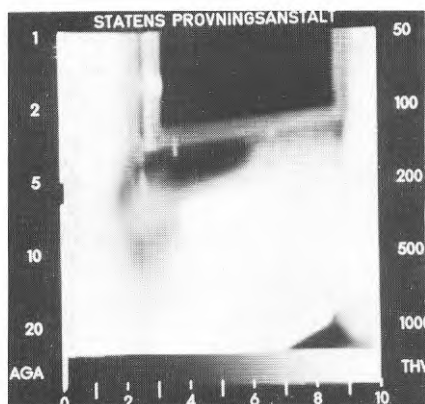
a) Konstruktion av yttervägg vid bröstningsparti.

Mätbetingelser

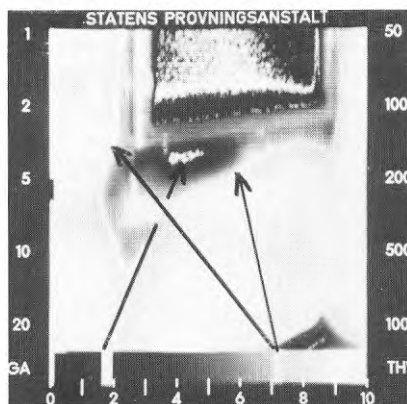
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 1°C
" inne: +23°C
Vindförhållanden:
 $p_i - p_u$:



b) Fotografi av frilagt väggparti. Bristfälligt anpassat isoleringsmaterial.



c) Termogram av väggparti taget från insidan. Här framträder en nedkyld yta vid underkant fönster. Nedkylningen, som orsakas av isoleringsfelet i bild b, har en relativt begränsad omfattning. Termogrammets utseende tyder även på att det förekommer lufttrörelser i konstruktionen.



d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,7$ i enh
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 0,7$ m/s (lokalt vid fönsterkarm)

Obs! Viss störning erhålles från den varma vattenradiatoren som framträder som en markant ljus yta i bilden.

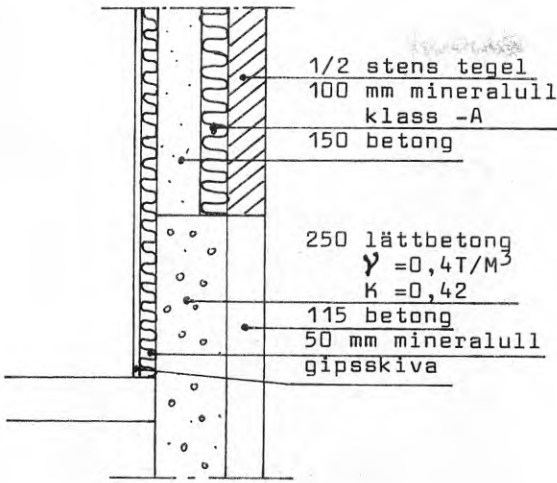
FIG 38 Exempel på termogram, där misstänkt fel har verifierats genom friläggning av aktuellt parti.

Mätbetingelser

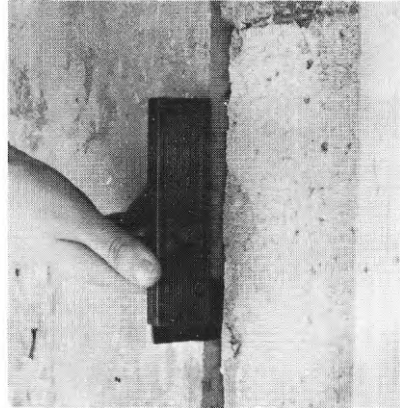
Molnighet:

Lufttemp ute: - 4°C

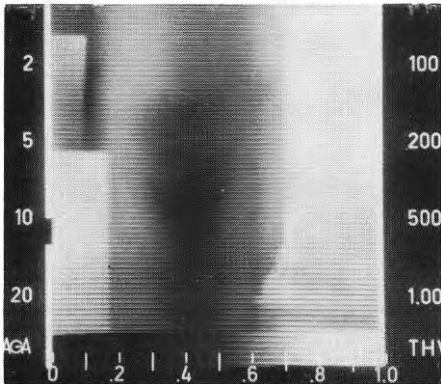
" inne: +21°C

Vindförhållanden: 3 m/s
(mot fasaden) $P_i - P_u$: -5 Pa

a) Konstruktion av yttervägg.



b) Fotografi av frilagt väggparti sett från den varma sidan. Genomgående spalt (sprickbildning) med vertikal utsträckning mellan lättbetongblock och betong. Denna defekt medförde att kall uteluft läckte in i konstruktionen med nedkylda ytpartier som följd.



c) Termogram av delvis nedkyllt väggparti. Det nedkylda området har en vertikal utsträckning med relativt diffusa gränser och motsvarade en relativt stor andel av yttervägg från golv till tak. Nedkylningen här har samband med fel enligt bild b.

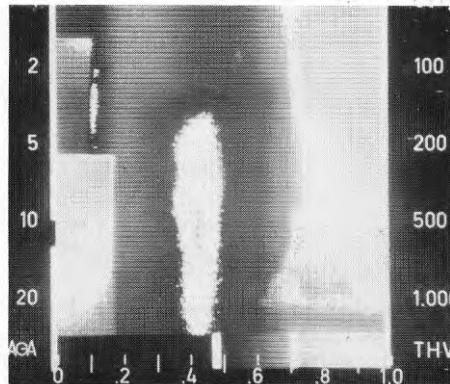
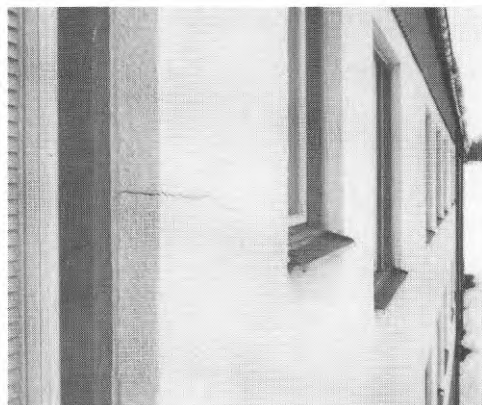
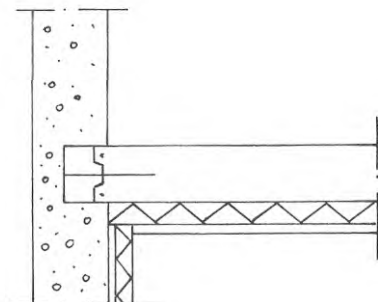
d) $t_{ref} = 20^{\circ}C$
 $\Delta t = 2,4$ i enh
 $\Delta t = 3,5^{\circ}C$
 $v = 0$ m/s

FIG 39 Exempel på termogram, där misstänkt fel har verifierats genom friläggning av aktuellt parti.

Puts
250 mm lättbetong
Puts

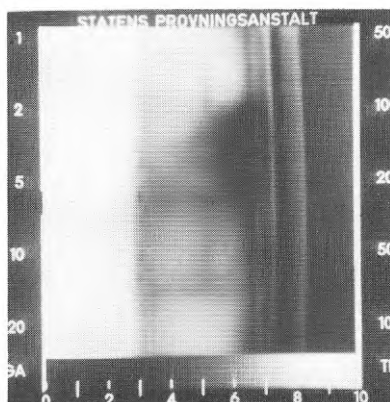
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: 3°C
" inne: +23°C
Vindförhållanden: Vindstilla
 $P_i - P_u$: -20 Pa

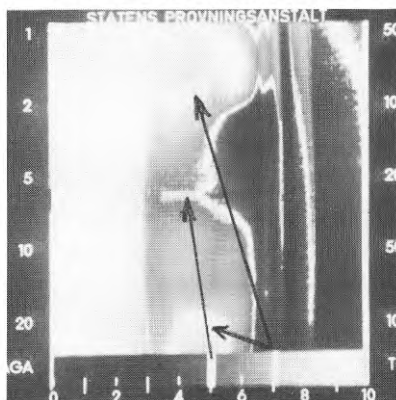


a) Konstruktion av yttervägg av lättbetong.

b) Fotografi av sprickbildning hos väggparti (taget från utsidan). Sprickan var genomgående och medförde direkt luftinläckning i rummet.



c) Termogram av delvis nedkyllt parti intill fönsterparti, luftinläckning dels genom fog mellan betongblock dels genom otät fog mellan vägg och fönsterparti.



d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,1$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = \text{cirka } 0,3 \text{ m/s}$ (invid väggytan vid spricka)

FIG 40 Exempel på termogram, där misstänkt fel har verifierats genom okulärbesiktning, rökgasprov och lufthastighetsmätning.

4.5 Värmemotståndsmätning och termografering

IR-kameran erbjuder stora möjligheter att under vissa förutsättningar göra relativt noggranna undersökningar av yttemperaturens variation utefter konstruktionens yta. Därigenom kan en bild av värmeflödes- och luftläckagefördelningen erhållas.

Vid bestämning av konstruktionens värmemotstånd enligt sambandet ekv 3.13 måste följande förutsättningar gälla.

1. Ytans emitterande, reflekterande och transmitterande egenskaper är kända och konstanta inom aktuellt ytavsnitt
2. Den mot ytan infallande strålningen är känd och lika fördelad över mätytan
3. Temperaturjämvikt och stabilitet råder i konstruktionen och hos omgivande luft
4. Värmeövergångsmotstånden vid konstruktionens ytor är kända och konstanta över aktuellt ytparti
5. Inre värmekällor saknas i konstruktionen
6. Relevanta temperaturer uppmättes

I praktiken föreligger en viss variation hos m_i -värdet utefter en konstruktions yta beroende på dels konstruktionens geometriska utformning (hörnpartier m m) dels den miljö konstruktionen befinner sig i. Exakta värden på m_i och m_u är okända och osäkerheten hos uppskattade värden på m_i och m_u är som regel så stor att en exakt bestämning av väggens värmemotstånd ej är meningsfull. Vid momentan mätning i fält tillkommer en osäkerhetsfaktor p g a att det som regel ej råder temperaturjämvikt.

Sammanfattningsvis kan sägas att termograferingsmetoden är kvalitativ och används i första hand för att påvisa variationer i värmemotstånd och luftläckage. För kvantifiering av värmemotstånd och lufttäthet i en byggnad krävs kompletterande undersökningar.

5 JÄMFÖRELSETERMOGRAM FRÅN FÄLTMÄTNINGAR

De redovisade typtermogrammen i byggforskningsrapporten "Termografering av byggnader" är framtagna i laboratorium. Vid sådana förhållanden begränsades möjligheterna att ta fram termogram av dels olika konstruktionstyper och konstruktionsdetaljer, dels i praktiken ofta förekommande feltyper.

Syftet med föreliggande undersökning var att komplettera det tidigare framtagna materialet med ett antal praktikfall. Här har termogram tagits av ofta återkommande fel beträffande isolering och täthet vid olika typer av konstruktioner där olika typer av material har använts.

Syftet med jämförelsetermogram är att underlätta tolkning och bedömning av termogram så att en mera detaljerad och entydig information kan hämtas ur värmebilderna vid termografering.

De valda konstruktionerna tillhör de mest förekommande i landet. Väggarna utgörs av lättväggar med regelstomme och högvärdigt isoleringsmaterial och sådana med lättbetong eller betongstomme. Bjälklagen består som regel av olika typer av träkonstruktioner med mineralullsisolering men även av betong.

De redovisade exemplen är hämtade ur ett undersökningsmaterial som totalt omfattar ca 400 projekt motsvarande ca 3000 lägenheter i småhus och flerbostadshus där varje delprojekt kan motsvara ett litet antal lägenheter eller småhus upp till flera hundra lägenheter.

Jämförelsetermogrammen är tagna vid väl kända betingelser motsvarande de krav som tidigare har redovisats. Tolkning och analys av termogrammen har skett dels genom jämförelse med typtermogram dels genom okulärbesiktning eller genom kompletterande mätningar.

Varje praktikfall visas i form av två termogram (gråtonsbild och isotermbild).

Av redovisningen framgår konstruktionsritning och kortfattad beskrivning av aktuellt fel. I anslutning till respektive mätfall ges kortfattade kommentarer beträffande termogrammens utseenden.

Beteckningar som har använts motsvarar de i föregående avsnitt. Angivna kringdata har även uppmätts på motsvarande sätt.

Exemplen med jämförelsetermogram är indelade i grupper efter konstruktionsdel och konstruktionstyp enligt följande.

I FIG 41-46 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet vid takfot (sadeltak).

I FIG 47-48 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet vid takfot (plana resp pulpettak).

I FIG 49-53 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet vid isolerat yttertak.

I FIG 54-56 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet vid takbjälklag.

I FIG 57-63 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet i mellanbjälklag.

I FIG 64-68 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet vid bottenbjälklagets anslutningar.

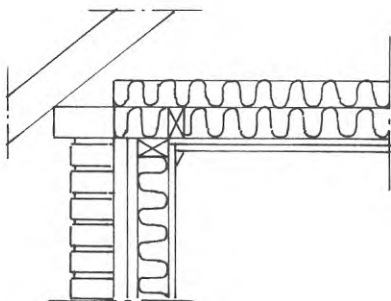
I FIG 68-84 visas exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet i yttervägg.

Utifrån räknat:

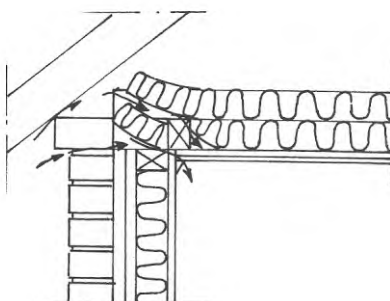
75 + 75 mineralull (B-kval)
 Diffusionsspärr
 3/4" glespanel
 13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

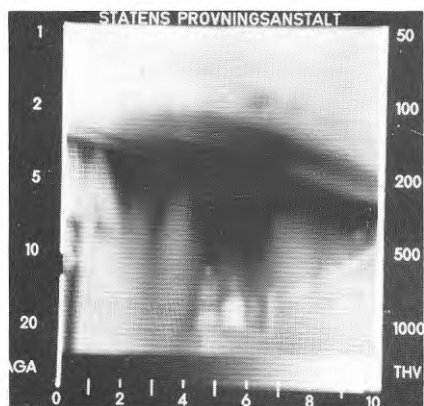
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: - 7°C
 " inne: +21°C
 Vindförhållanden: cirka 2 m/s
 (vinkelrätt mot
 fasaden)
 P_i - P_u: -20 Pa



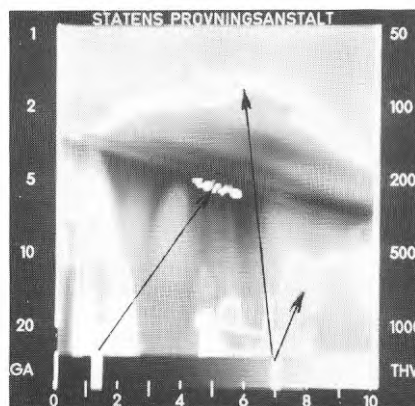
a) Konstruktion vid takfot.



b) Skiss visande iakttaget fel i isoler- och täthetsutförandet.



c) Termogrammet visar nedkyllt ytparti vid takvinkel. Det mörka området har här en typisk "tandad" kontur, vilken tyder på luftinläckning av kall uteluft.



d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 11,6$ i enh
 $\Delta t = 17^{\circ}\text{C}$
 $v = 1,0 - 1,5$ m/s (vid taklist)

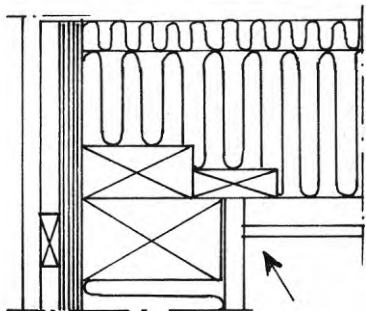
FIG 41 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (sadeltak).

Utifrån räknat:

30 mm mineralullsmatta
 120 mm mineralullsskiva
 3/4" glespanel
 PE-folie
 13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 20°C
 " inne: +21°C
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (vinkelrätt mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



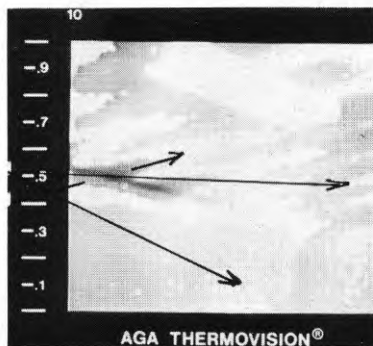
a) Konstruktion vid takfot.



b) Fotografi visande iakttaget fel i isolerutförandet. (PE-folie ej monterad här)



c) Termogram av ytparti vid takvinkel. Nedkylda ytpartier i tak framträder som väl markerade mörka ränder.



d) $t_{ref} = +20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,2$ i enh
 $\Delta t = 2,0$
 $v = 0$ m/s

FIG 42 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (sadeltak).

Tak, ovanifrån räknat:

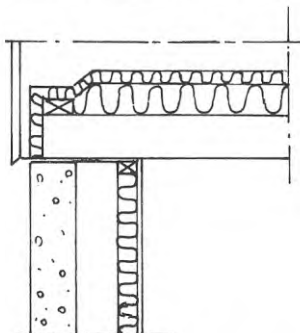
130 mm mineralull
160 mm betong

Vägg, utifrån räknat:

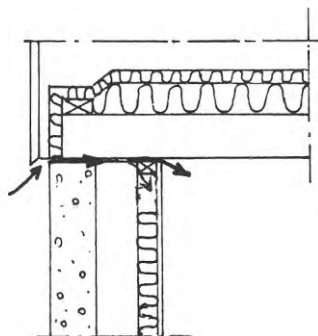
Lättbetong 75 mm
Betong 75 mm
Mineralull 20 mm
Gipsskiva 13 mm

Mätbetingelser

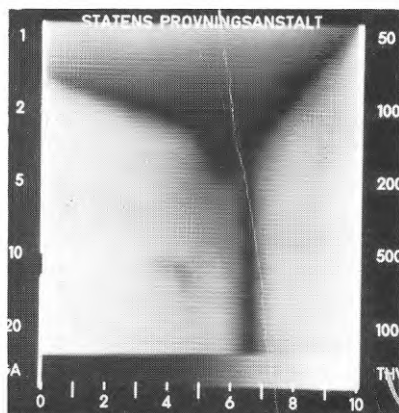
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: -30°C
" inne: $+23^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden: Vindstilla
 $P_i - P_u$: -20 Pa



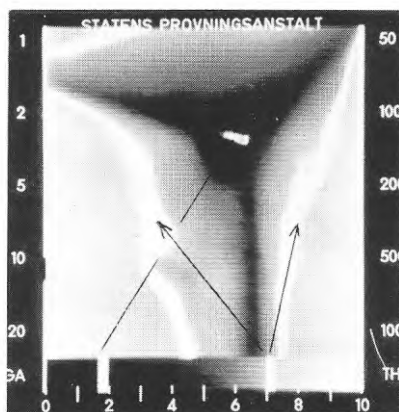
a) Konstruktion vid takfot.



b) Skiss visande iakttaget fel (sprickbildning vid takfoten).



c) Termogram av ytparti vid takhörn visar ett nedkyllt område in vid takvinkeln. Nedkylningen här orsakas av luftinläckning genom otät fog (sprickbildning).



d) $t_{\text{ref}} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 5,3 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 8,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 1-3 \text{ m/s}$

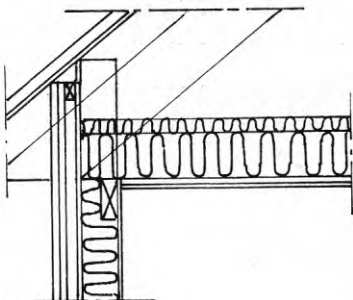
FIG 43 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (sadeltak).

Ovanifrån räknat:

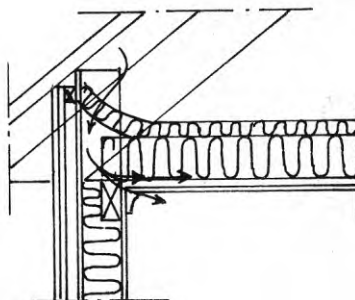
50 + 150 mm mineralull
 Plastfolie
 3/4" gles panel
 1/2" spontat träfiberplank

Mätbetingelser

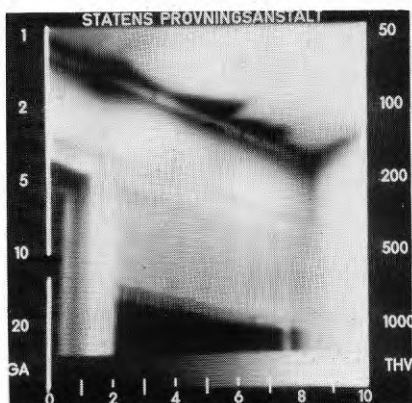
Molnighet: klart
 Lufttemp ute: -20°C
 " inne: $+19^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållanden: 1-2 m/s
 (cirka 45° mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -7 Pa



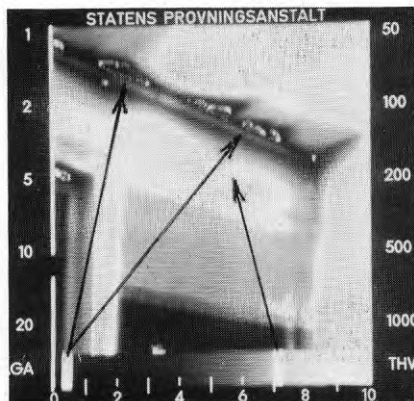
a) Konstruktion av takfotsanslutning.



b) Skiss visande felaktigt isoleringsutförande vid takfot.



c) Termogram av ytparti vid takvinkel. Takytan intill taklisten är nedkyld. Nedkylningen orsakas dels av luftinläckning dels av bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet.



d) $t_{\text{ref}} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 6,8^{\circ}\text{C}$ i enh
 $\Delta t = 10,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 3,0 \text{ m/s}$

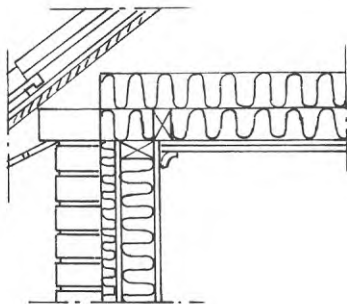
FIG 44 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (Sadeltak).

Ovanifrån räknat:

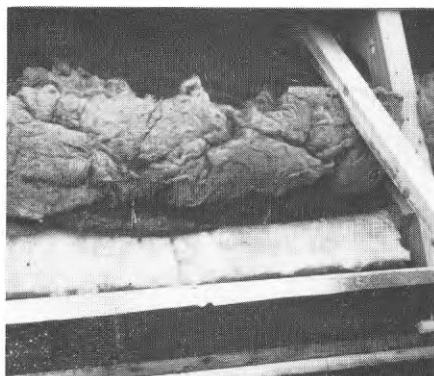
200 mm mineralull
3/4" glespanel
PE-folie
13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

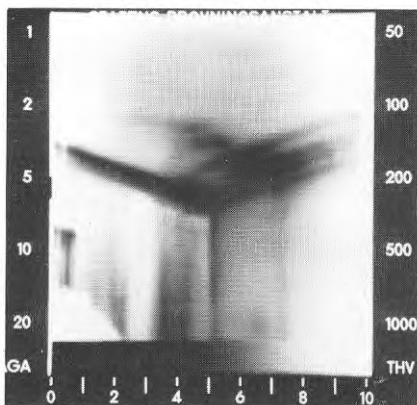
Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	+ 2°C
" inne:	+20°C
Vindförhållanden:	Vindstilla
$P_i - P_u$:	-5 Pa



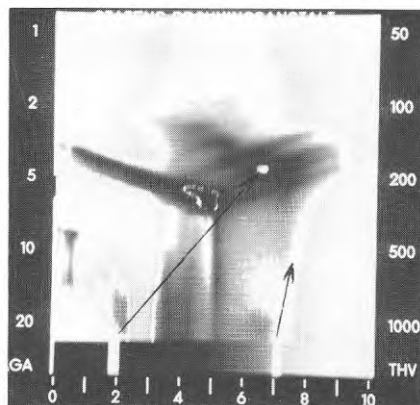
a) Konstruktion av takfotsanslutning.



b) Skiss av luftläckagefel vid takfot. Bristfällig isoleringsutfyllnad kring takstol. Kontinuitet hos vindskyddet saknas vid själva takstolen.



c) Termogram av ytparti vid takvinkel sedd från bottenplan. Det nedkylda området i taket intill takvinkeln har samband med bristfällig isolering kring takstol vid bjälklagskanten. Nedkylningen sprids även i de kanaler som bildas av glespanelkonstruktionen. Viss luftinläckning i bostadsutrymmet förekommer.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 5,2$ i enh
 $\Delta t = 8,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,7$ m/s

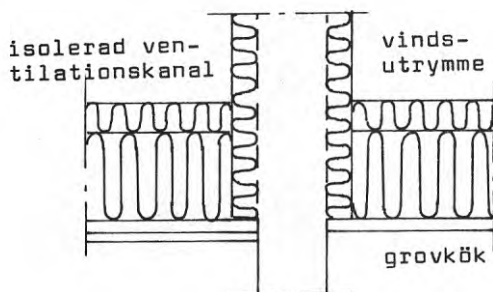
FIG 45 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (sadeltak).

Ovanifrån räknat:

50 + 150 mm mineralull
 Plastfolie
 3/4" glespanel
 1/2" spontat träfiberplank
 (vid genomgång för ventila-
 tionskanal från torkskåp)

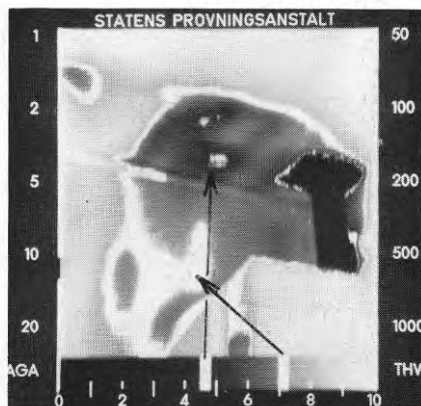
Mätbetingelser

Molnighet: klart
 Lufttemp ute: -20°C
 " inne: $+19^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (cirka 45° mot
 fasaden)
 $P_i - P_u$: -7 Pa



a) Konstruktion av takbjälk-lag vid ventila-tionskana-lens genomgång.

b) Fotografi av felaktigt isole-ringsutförande vid ventila-tionskanalens anslutning mot bjälklaget.



c) Termogram av ytparti vid tak där ventila-tionskanal från torkskåp ansluter. Ytpartiet är nedkyllt på grund av ojämn funktion hos mineralullsisoleringen.

d) $t_{\text{ref}} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\triangle I = 2,5$ i enh
 $\triangle t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 46 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takbjälklag med genomföring av ventila-tionskanal (sadel-tak).

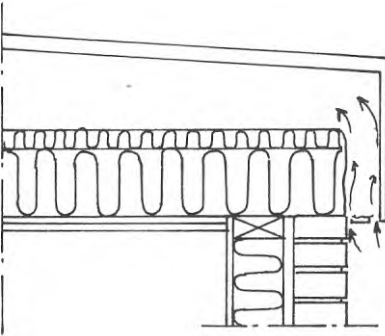
Ovanifrån räknat (tak):
 120 + 30 mm mineralull
 Glespanel
 Diffusionsspärr
 Gipsskiva

Utifrån räknat (vägg):
 Fasadtegel
 Luftspalt
 Mineralull
 Diff spärr
 Gipsskiva

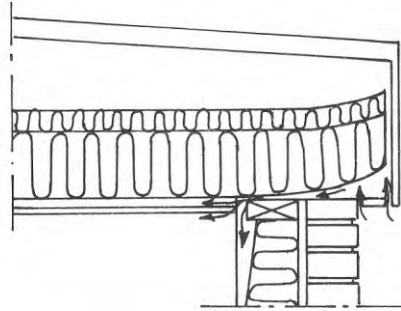
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: - 4^oC
 " inne: +21^oC
 Vindförhållanden: 0,5 m/s
 (snett mot
 fasaden)

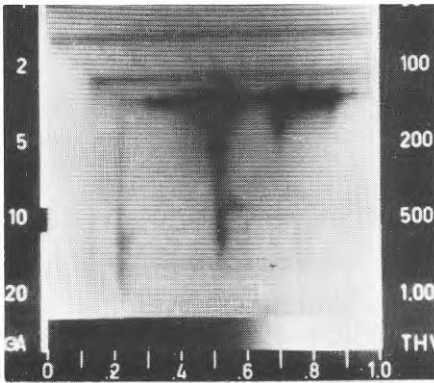
$P_i - P_u$: -5 Pa



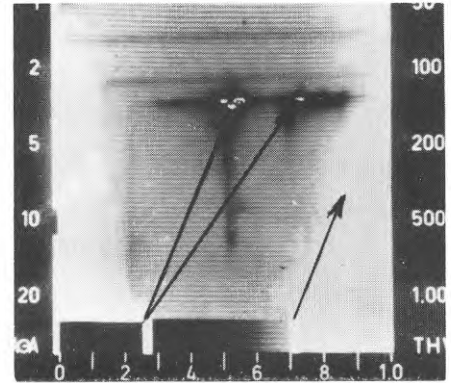
a) Konstruktion vid takfot.



b) Skiss av felaktigt isolerutförande vid takfot.



c) Termogrammet av ytparti vid takvinkel visar ett nedkylt ytparti med oregelbunden form. Ett smalt nedkylt område sträcker sig en bit ned i vägg. Nedkylningen har dels samband med luftläckage, dels bristfälligt isolerutförande i vägg och vid takfot.



d) $t_{ref} = 20^{\circ}C$
 $\Delta I = 4,5$ i enh
 $\Delta t = 7,0^{\circ}C$
 $v = 0,5 - 1,8$ m/s

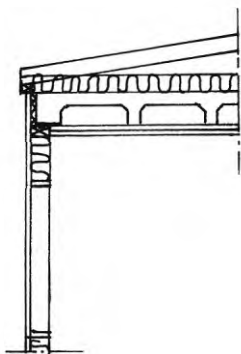
FIG 47 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (plana tak).

Inifrån räknat:

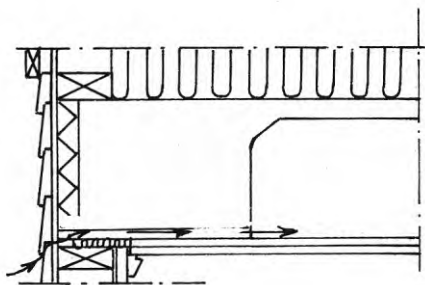
13 mm gipsskiva
 3/4" glespanel
 Betongelement
 150 mm mineralull

Mätbetingelser

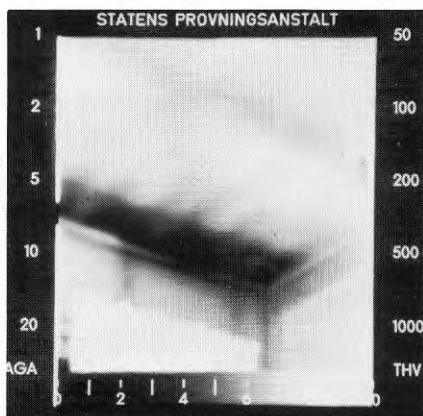
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 3°C
 " inne: +23°C
 Vindförhållanden: Vindstilla
 $p_i - p_u$: -5 Pa



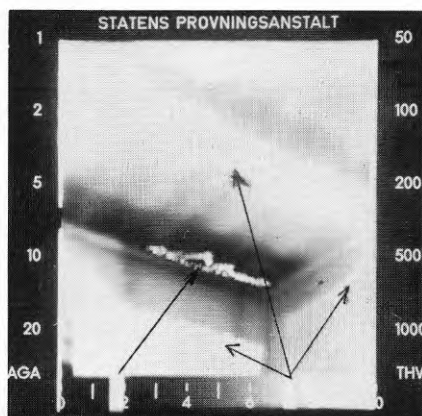
a) Konstruktion av bjälklag av betongelement.



b) Detalj av konstruktiv köldbrygga vid takfotsanslutning.



c) Termogram av ytparti vid takvinkel. Ett band med bredden 15-20 cm från takvinkeln sträcker sig utefter ytterväggen. Viss luftinläckning i glespanelkonstruktionen förekom. Mindre luftinläckning även i bostadsutrymmet.



d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,7^{\circ}\text{C}$ i enh
 $\Delta t = 4^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,2 - 0,3$ m/s (lokalt)

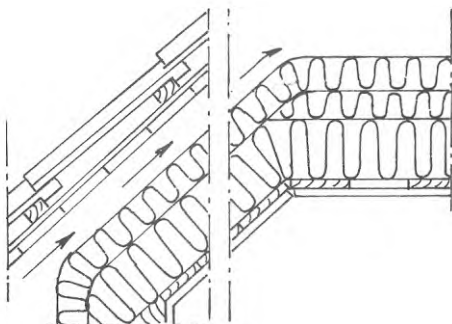
FIG 48 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takfot (pulpettak).

Underifrån räknat:

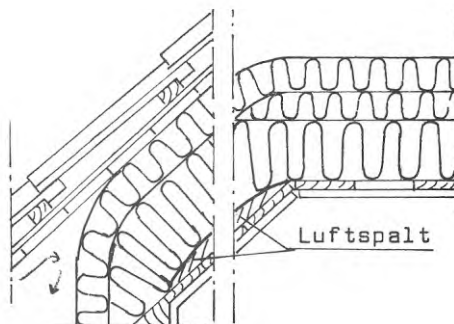
13 mm gipsskiva
 Diffusionsspärr
 3/4" glespanel
 100 + 50 mm mineralull
 50 mm luftspalt
 Yttertakkonstr

Mätbetingelser

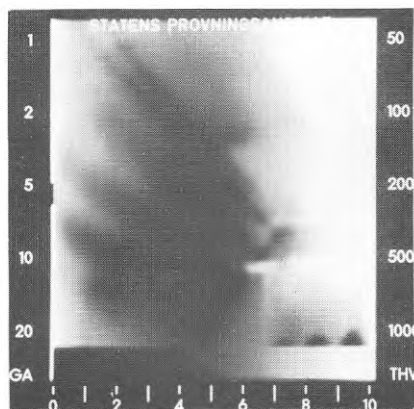
Molnighet: klart
 Lufttemp ute: + 2°C
 " inne: +20°C
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (från fasaden)
 $P_i - P_u$: -18 Pa



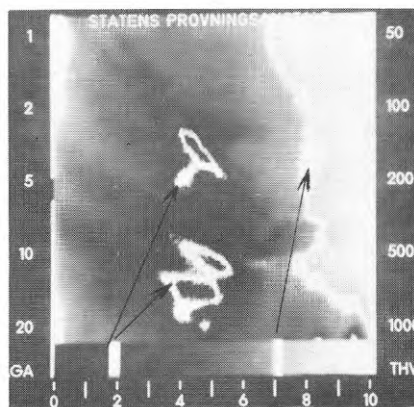
a) Konstruktion av isolerat yttertak.



b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande.



c) Termogram av ytparti vid snedtak sett från insidan. Solinstrålning genom fönster.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,6 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

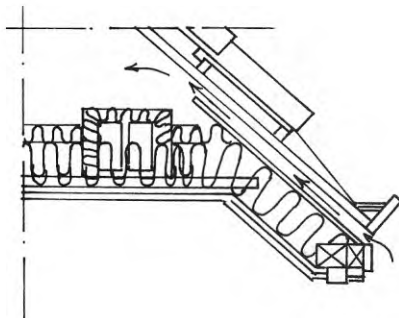
FIG 49 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid isolerat yttertak (snedtak).

Utifrån räknat:

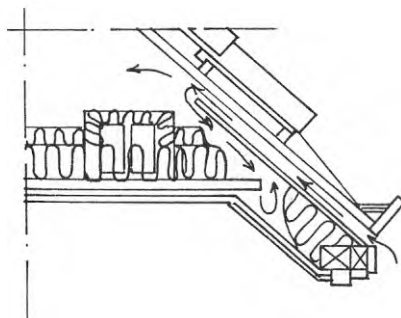
Träfiberskiva
100 mm mineralull
Träpanel
Plastfolie
13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

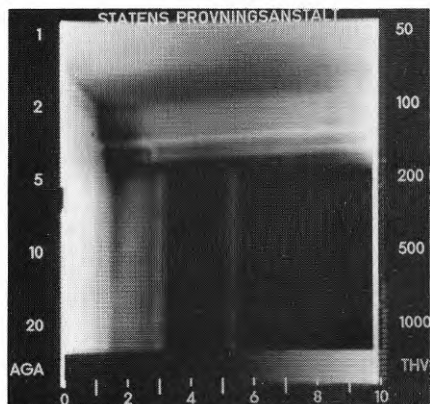
Molnighet: halvmulet
Lufttemp ute: $\pm 0^{\circ}\text{C}$
" inne: $+20^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden: 2-3 m/s
(parallellt med
taket)
 $P_i - P_u$: -4 Pa



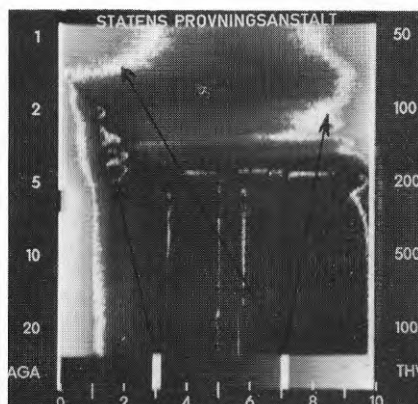
a) Konstruktion av isolerat yttertak (långfasad mot norr).



b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande.



c) Termogram av ytparti vid snedtak ovanför fönster. Lokal nedkylning av dels snedtaket dels det anslutande horisontella taket.



d) $t_{\text{ref}} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,0$ i enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

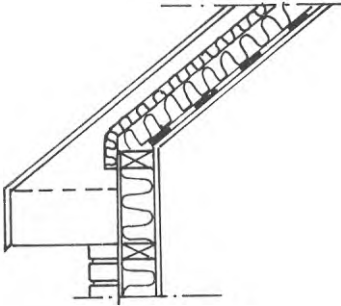
FIG 50 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid isolerat yttertak (snedtak vid burspråk).

Ovanifrån räknat:

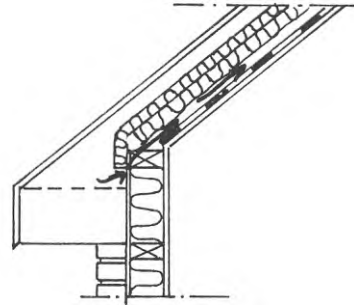
30 + 120 mm mineralull
 3/4" glespanel
 Plastfolie
 13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

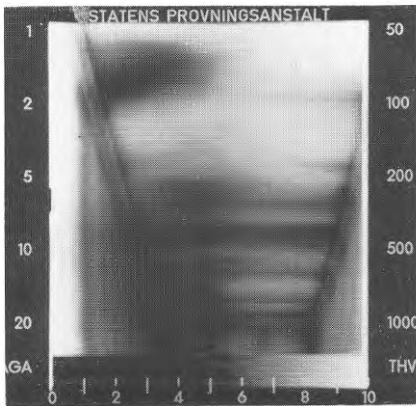
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: - 3°C
 " inne: +21°C
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (från fasad)
 $P_i - P_u$: - 5 Pa



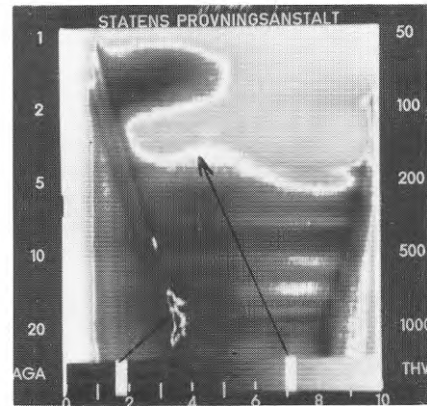
a) Konstruktion av isolerat yttertak.



b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande.



c) Termogram av ytparti vid yttertak. Takytan har en ojämn temperaturfördelning. De nedkylda ytpartierna markerar i viss mån kanalerna hos glespanelen.



d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,7$ i enh
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,7 - 1,0$ m/s (vid takvinkel)

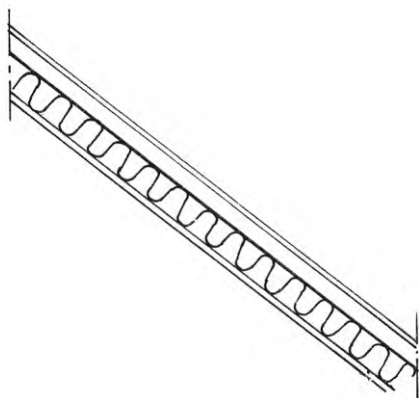
FIG 51 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid isolerat yttertak.

Underifrån räknat:

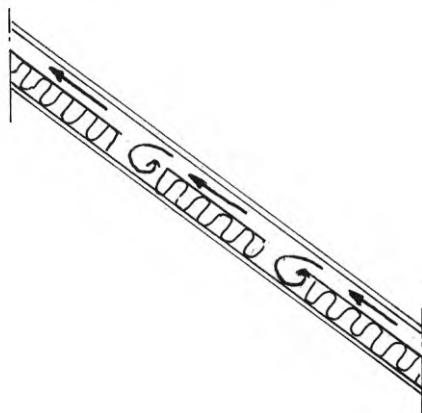
13 mm gipsskiva
 PE-folie
 100 mm mineralull (B-kval)
 Förhrydningspapp
 Luftspalt
 Yttertak

Mätbetingelser

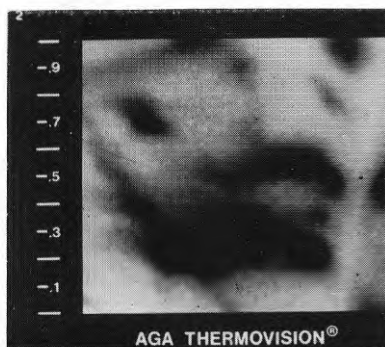
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 3°C
 " inne: +19°C
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (nordvästlig)
 $P_i - P_u$: -6 Pa



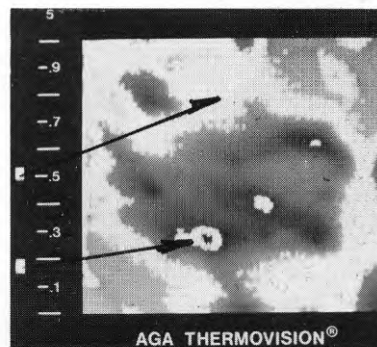
a) Konstruktion av yttertak.



b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande.



c) Termogram av ytparti i tak. Här framträder vissa nedkylda områden enligt ett oregelbundet mönster över takytan. Nedkylningen har samband med bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet i kombination med konvektiva luftrörelser.



d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,7 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

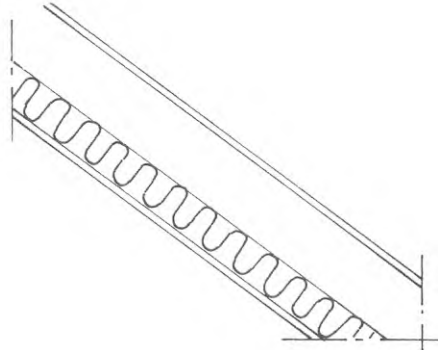
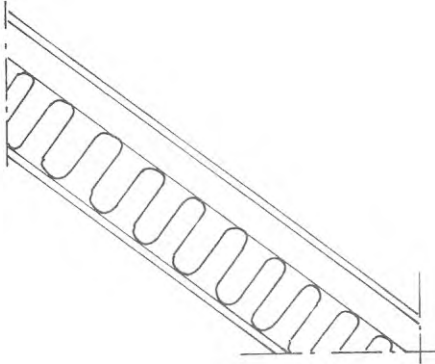
FIG 52 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid isolerat yttertak.

Inifrån räknat:

13 mm gips
 PE-folie
 120 mm mineralull
 Förhydningspapp
 50 mm luftspalt
 Yttertak

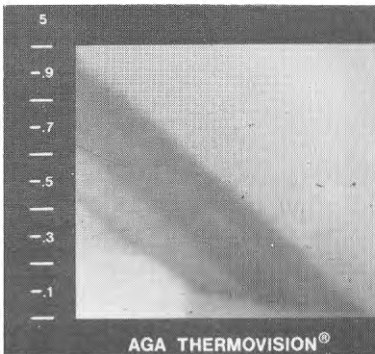
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: 3°C
 " inne: 19°C
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (nordvästlig)
 $P_i - P_u$: -6 Pa

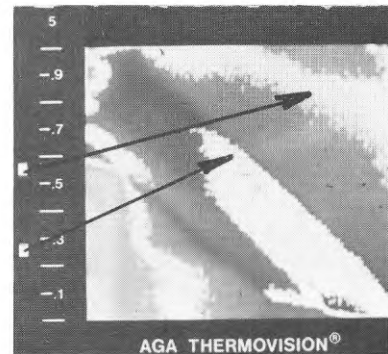


a) Konstruktion av yttertak.

b) Skiss av fel. Isoleringstjockleken är här reducerad till ungefär 50 % av ursprunglig tjocklek.



c) Termogram av nedkyllt ytparti i tak. Det nedkylda området är väl markerat med jämna konturer. Nedkylningen här har samband med att delar, cirka 50 %, av isoleringsmaterialet saknas i facken mellan reglarna i det isolerade yttertaket.



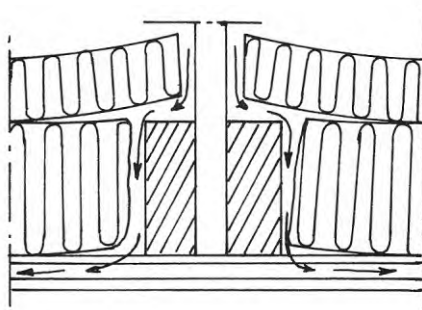
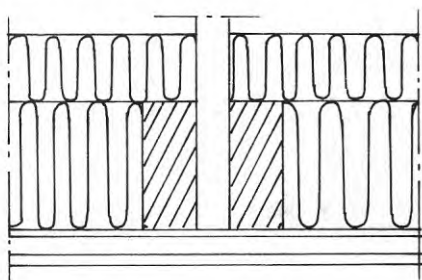
d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,5$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 53 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid isolerat yttertak.

Ovanifrån räknat:
 150 + 70 mm mineralull
 3/4" glespanel
 Plastfolie
 13 mm gipsskiva

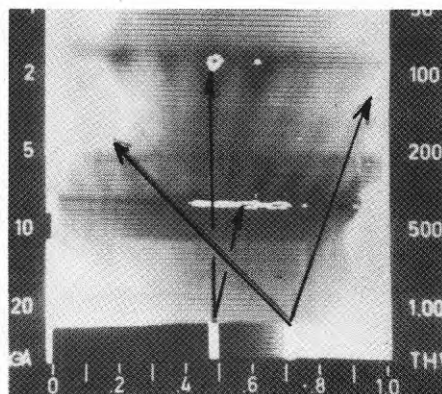
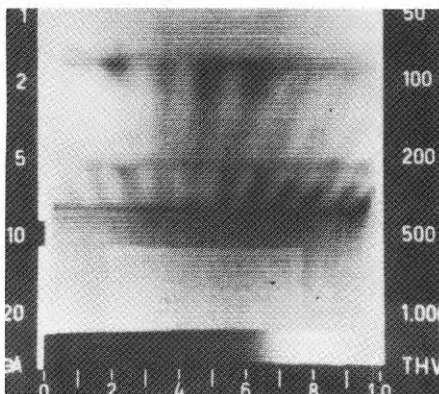
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: - 4°C
 " inne: +21°C
 Vindförhållanden: 0,5 m/s
 (vinkelrätt mot takfoten)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



a) Konstruktion av takbjälklag. För att erhålla god funktion hos isoleringen krävs noggrant isoleringsutförande.

b) Isoleringsmaterialet är bristfälligt utfyllt. Kall uteluft sprids i de uppkomna hålrummen och i de kanaler som bildas av glespanelkonstruktionen.



c) Termogram av ytparti vid tak och takvinkel. Nedkylda områden framträder i taket som mörka parallella ränder med utgångspunkt från takstolarna.

d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,2$ i enh
 $\Delta t = 3,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5$ m/s

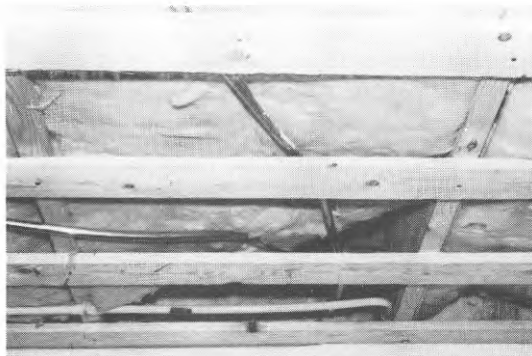
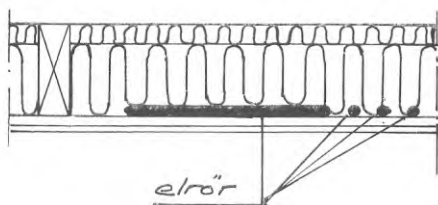
FIG 54 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takbjälklag.

Ovanifrån räknat:

120 + 30 mm mineralull B-kval
 Elledningar
 Glespanel
 Diffusionsspärr
 Gipsskiva

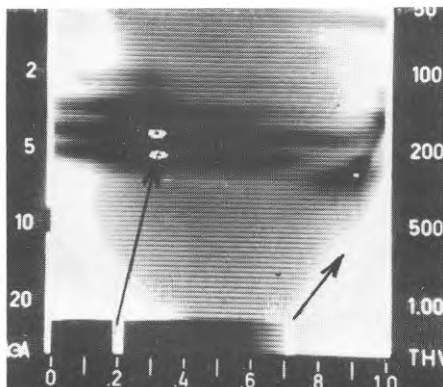
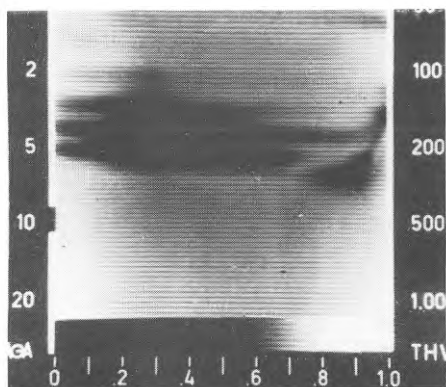
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: -4°C
 " inne: $+21^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållande: 0,5 - 1,0 m/s
 (vinkelrätt mot takfoten)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



a) Konstruktion av takbjälklag.

b) Fotografi av isoleringsfel i anslutning till elrör.



c) Termogram av ytparti i tak visar ett relativt kraftigt nedkyllt område. Nedkylningen orsakades av bristfälligt utförande av isolering kring förekommande elledningar. Nedkylda områden breder ut sig från takstolarna.

d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta l = 5,1 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 7,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

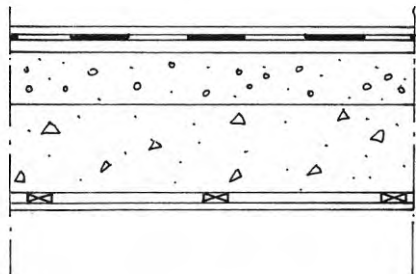
FIG 55 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid takbjälklag.

Ovanifrån räknat:

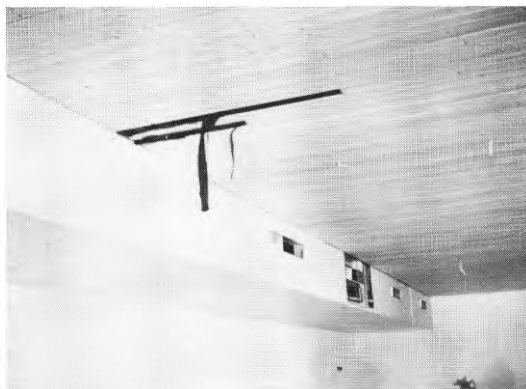
Takbeläggning
40 mm betong
150-200 mm lättklinker
300 mm betong
7/8" läkt
1" träpanel

Mätbetingelser

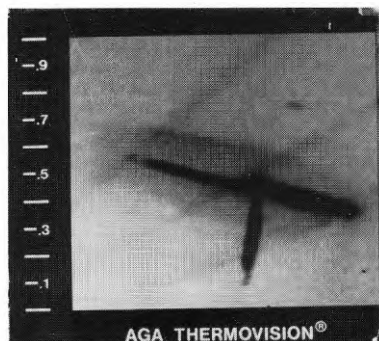
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 4°C
" inne: +16°C
Vindförhållanden: Vindstill
 $P_i - P_u$: -2 Pa



a) Takkonstruktion.



b) Fotografi av takparti där del av träpanel är borttagen. Ytan hos träpanelen var torr vid mättillfället. Emellertid var såväl betong som papp fuktig på grund av vattenläckage genom otät konstruktion.



c) Termogram av takparti visande ett nedkyllt område. Nedkylningen har samband med fuktskada.



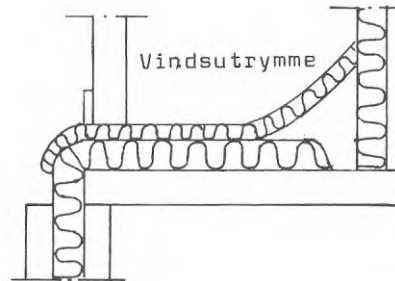
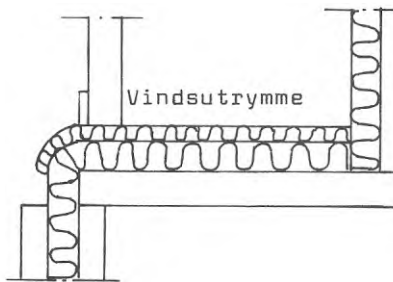
d) $t_{ref} = 16^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,4$ i enh
 $\Delta t = 0,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

Ovanifrån räknat:

- 5 cm mineralullsmatta med överliggande papp
- 10 cm mineralullsfilt
- 10 cm resp 12 cm betong (platsgjutes)

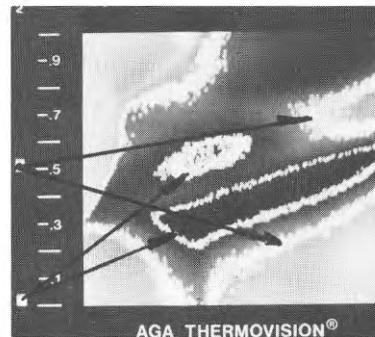
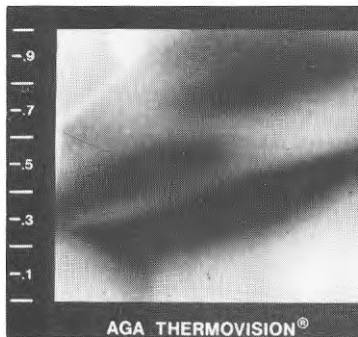
Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	+ 3°C
" inne:	+18°C
Vindförhållanden:	2-3 m/s (nordvästlig)
$P_i - P_u$:	-6 Pa



- a) Konstruktion hos mellanbjälklag av betong med tilläggsisolering av mineralull.

- b) Skiss av brist i isoleringsutförande.



- c) Termogram av ytparti i tak och vid takvinkel. Nedkylningen i taket här har samband med bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet på bjälklaget dels där stödbensvägg på övervåningen ansluter mot bjälklaget dels vid takfoten.

- d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,0 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

FIG 57 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i mellanbjälklag av betong.

Vägg, utifrån räknat:

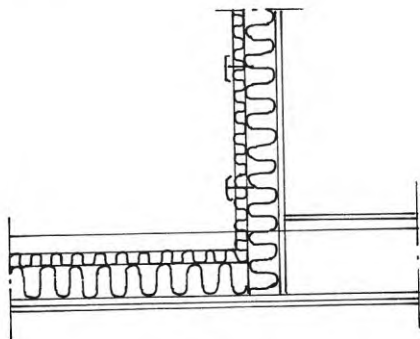
Papp
100 mm mineralull
PE-folie
13 mm gipsskiva

Bjälklag, ovanifrån räknat:

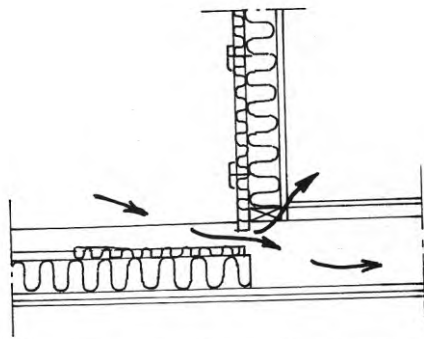
120 + 30 mm mineralull
PE-folie
Råspont
Gipsskiva

Mätbetingelser

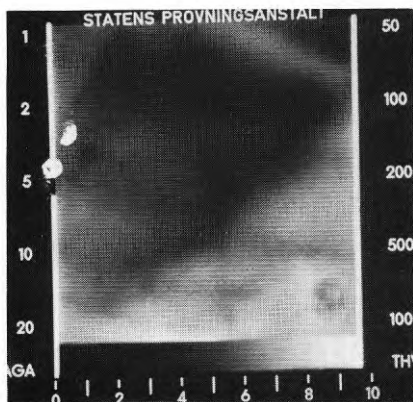
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: $-0,5^{\circ}\text{C}$
" inne: $+22^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden: 1-2 m/s
(mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



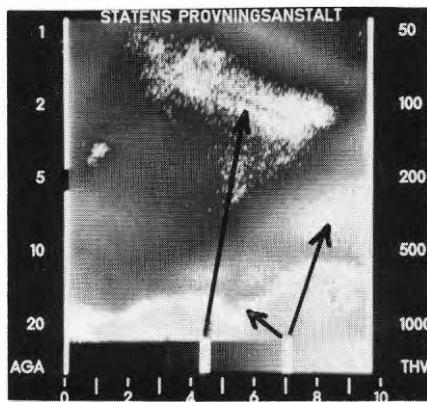
a) Konstruktion av mellanbjälklag och anslutande stödbensvägg.



b) Skiss av brist i isoler- och täthetsutförandet.



c) Termogram av ytparti i tak sett från bottenvåningen. Den vänstra delen av taket är nedkyllt. Nedkylningen här orsakas av att luft läcker in i bjälklaget enligt a.



d) $t_{\text{ref}} = 21^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,4 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

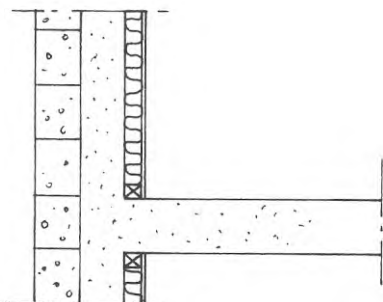
FIG 58 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i mellanbjälklag av trä.

Utifrån räknat:

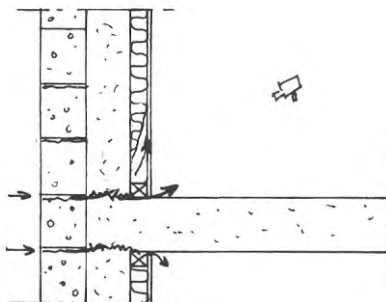
150 lättbetong $\gamma = 0,5$
 150 betong
 50 mineralullsisolering
 Reglar 2" x 2", c/c max 600
 13 gipsskiva aluminiumfolierad

Mätbetingelser

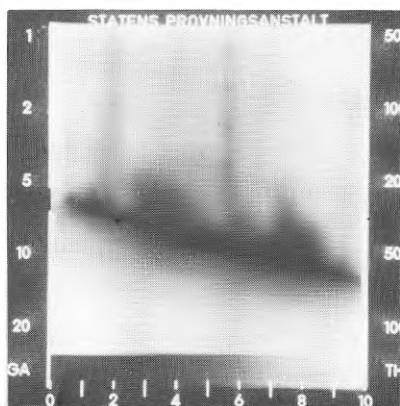
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 10°C
 " inne: +23°C
 Vindförhållanden: Vindstilla
 $P_i - P_u$: -20 Pa



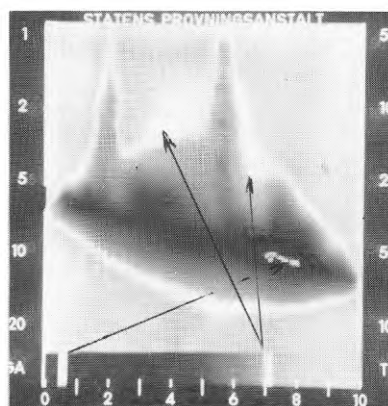
- a) Konstruktion av mellanbjälklaget med anslutning mot yttervägg.



- b) Skiss av luftläckage vid mellanbjälklagets anslutning mot gavelvägg.



- c) Termogram av ytparti vid golvvinkel (övre våningsplan). Här iaktogs nedkylda områden med relativt ojämn kontur. Nedkylningen orsakades av luftinläckning i fogar.



- d) $t_{ref} = +22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta t = 3,3$ i enh
 $\Delta t = 5,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 1-3$ m/s

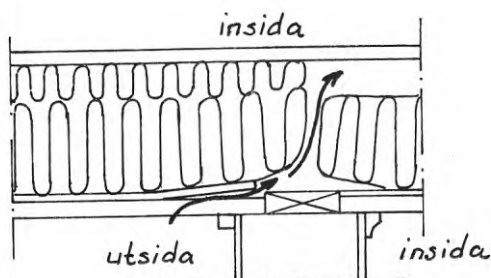
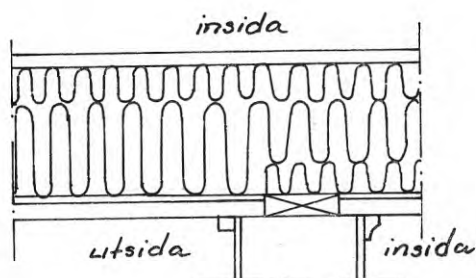
FIG 59 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i mellanbjälklag av betong.

Ovanifrån räknat:

22 mm parkettgolv
Plastfolie
220 mm mineralull
1/2" asfaboard
1" spontad panel

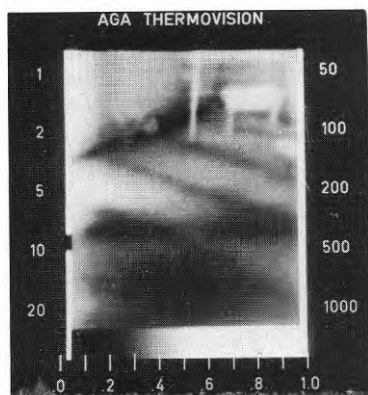
Mätbetingelser

Molnighet: klart
Lufttemp ute: -7°C
" inne: $+22^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden: 2-3 m/s
(mot fasad)
 $P_i - P_u$: -4 Pa

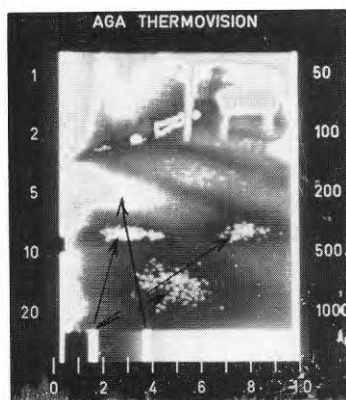


a) Konstruktion av mellanbjälklagets anslutning till yttervägg.

b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande vid mellanbjälklaget.



c) Termogram av ytparti vid golv. Nedkylda ytpartier med ojämn kontur iaktogs här. De nedkylda ytorna var belägna vid anslutning till den indragna ytterväggen i bottenvåningen. Luftinläckning förekommer i bjälklaget.



d) $t_{\text{ref}} = 21^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,2 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 3,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

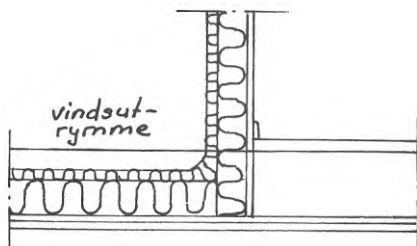
FIG 60 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i mellanbjälklag av trä vid överkragat mellanbjälklag.

Inifrån räknat (vägg):

13 mm gipsskiva
PE-folie
100 mm mineralull
30 mm mineralullsmatta

Ovanifrån räknat (bjälklag):

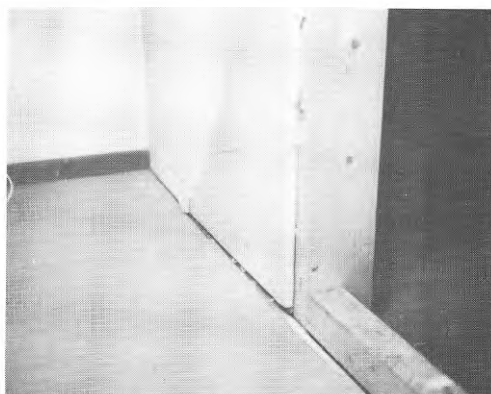
120 + 30 mm mineralull
PE-folie
råspont



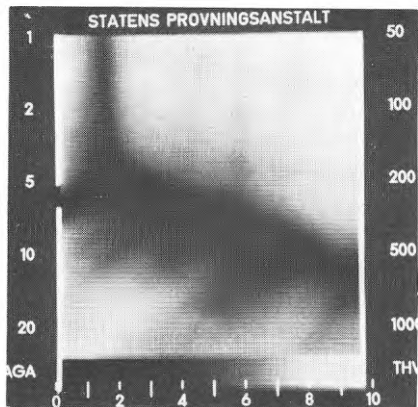
- a) Konstruktion av mellanbjälklag och anslutande stödbensvägg.

Mätbetingelser

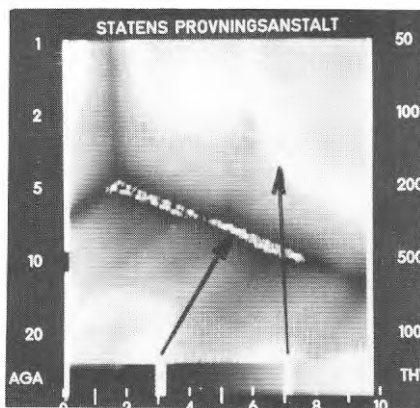
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: $-0,5^{\circ}\text{C}$
" inne: $+23^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden:
 $P_i - P_u$: -5 Pa



- b) Fotografi av termograferat väggparti (delvis uppbruten vägg) med golvlister borttagen. Här syns att den inre väggbeklädnaden är avbruten.



- c) Termogram visande nedkyllt ytparti vid golvvinkel. Nedkylningen här har samband med bristfälligt utfört tätskikt med kraftig luftinläckning som följd.



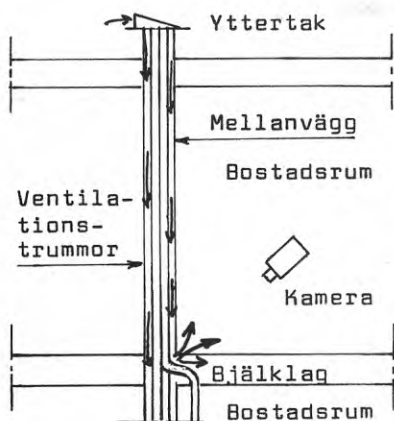
- d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta t_1 = 4,0 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 6,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 3,0 \text{ m/s}$

FIG 61 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i mellanbjälklag av trä.

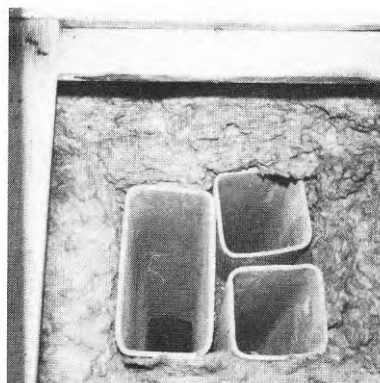
Mätbetingelser

Molnighet: klart
 Lufttemp ute: -7°C
 " inne: $+22^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållanden: 2-3 m/s

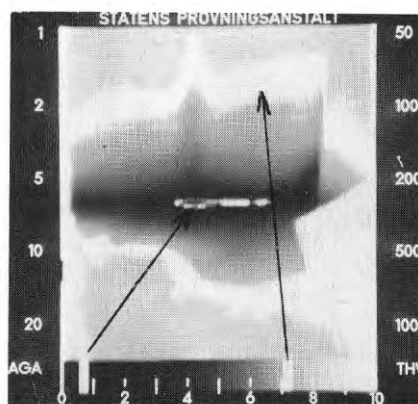
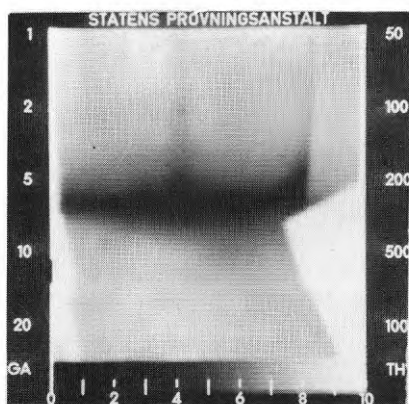
$P_i - P_u$: -4 Pa



- a) Skiss av isoleringens utförande kring ventilationskanaler.



- b) Fotografi av det verkliga utförandet. Betydande luftspalter mellan ventilationskanalerna.



- c) Termogram av ytparti vid golvvinkel, där mellanvägg ansluter mot mellanbjälklag. Området intill golvsokkel är nedkyllt. Här finns ej kallt utrymme bakom konstruktionsdelarna. Nedkylningen här har samband med luftinläckning av kall luft mellan ventilationskanalerna. Luften sprids i bjälklaget med koncentration till partier, där ventilationstrumma ansluter mot bjälklaget.

- d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 7,4 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 11,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 2,0 - 5,0 \text{ m/s}$

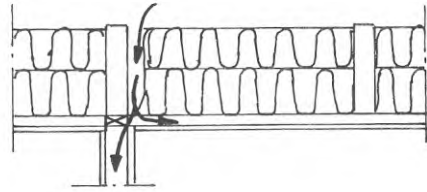
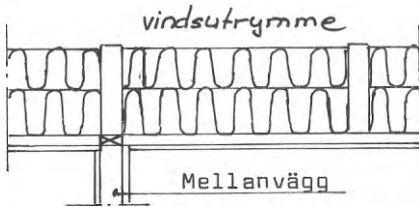
FIG 62 Exempel på läckage i mellanbjälklag i anslutning till ventilationskanal.

Underifrån räknat:

Gipsskiva
Glespanel
PE-folie
150 mm mineralull

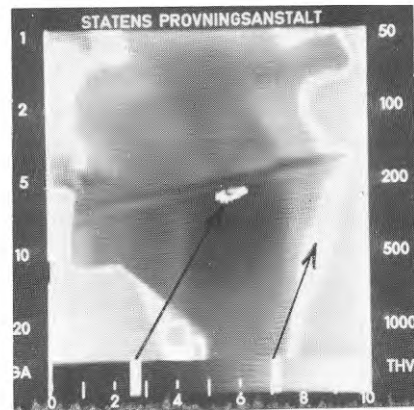
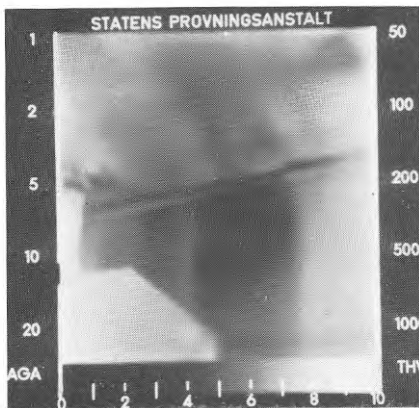
Mätbetingelser

Molnighet: klart
Lufttemp ute: 19°C
" inne: +20°C
Vindförhållanden: 1-2 m/s
 $P_i - P_u$: -5 Pa



a) Konstruktion av mellanbjälklaget och dess anslutning mot mellanvägg.

b) Skiss av brist i isolerutförandet där mineralullen har bristfällig anliggning mot takstol.



c) Termogram av ytparti vid takvinkel där innervägg ansluter mot mellanbjälklag (sett från bv). Här framträder nedkylda ytor både i tak och på vägg. Den kalla luften sprids såväl i mellanvägg som i bjälklag.

d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $t_i = 4,5$ i enh
 $t = 7,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,2 - 0,3$ m/s (luftinläckning i rummet.)

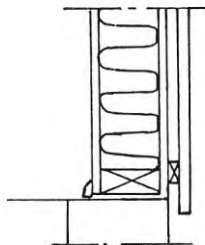
FIG 63 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i mellanbjälklag av trä.

Utifrån räknat:

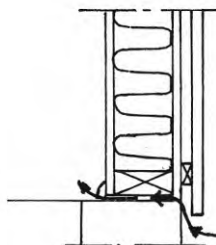
Panel
Luftspalt
Asfaboard
100 mm mineralull
PE-folie
13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

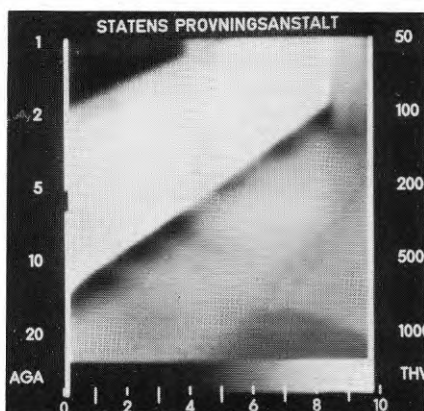
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 1°C
" inne: +23°C
Vindförhållanden:
 $P_i - P_u$: -5 Pa



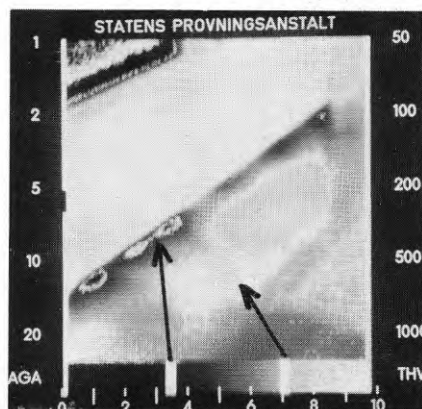
a) Konstruktion vid ytterväggens anslutning mot bottenbjälklaget.



b) Skiss av bristfälligt täthetsutförande vid syll.



c) Termogram av ytparti vid golvinkel under fönsterparti med elvärmekanaler (något varmare). Ojämn nedkylning vid golvlister. Nedkylningen här har samband med luftläckage genom otät fog vid syll enligt a).



d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 3,7$ i enh
 $\Delta t = 5,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 1,5$ m/s

FIG 64 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid bottenbjälklagets anslutning mot yttervägg.

Utifrån räknat: (vägg):

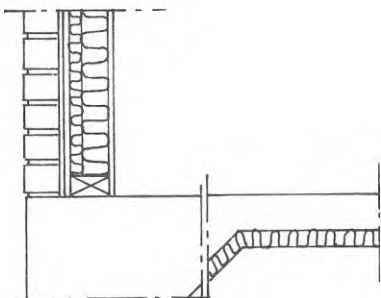
19 mm asfaboard
 30 mm mineralullsskiva
 90 mm mineralullsskiva
 Diffusionstät papp
 13 mm spånskiva

Ovanifrån räknat (bjälklag):

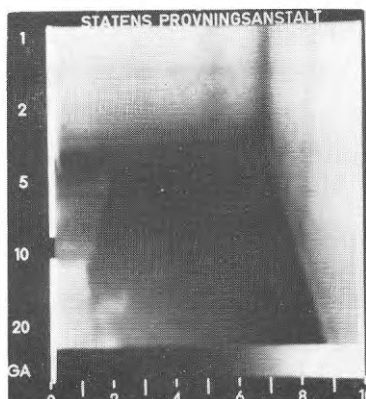
120 mm betong
 50 mm mineralull

Mätbetingelser

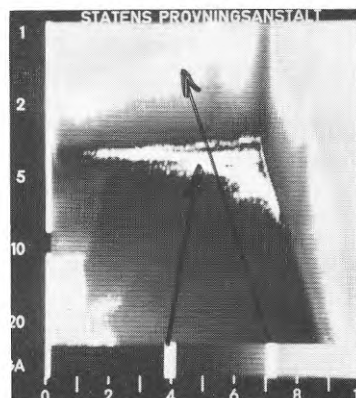
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: 1°C
 " inne: $+20^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållanden: 3-5 m/s
 (mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



a) Konstruktion av bottenbjälklag och yttervägg.



b) Termogram av nedkyllt golvparti intill yttervägg. Nedkylningen hade en utbredning av cirka 0,5 m från yttervägg, hade samband med att isolering av kantbalk saknades.



c) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 3,1 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 4,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

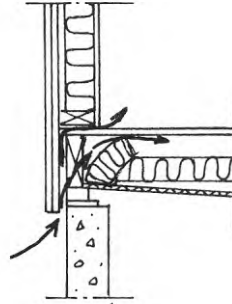
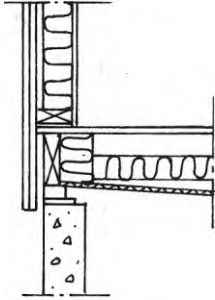
FIG 65 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid bottenbjälklagets anslutning mot yttervägg.

Inifrån räknat:

13 mm gipsskiva
 95 mm mineralull
 Asf impr träfiberskiva
 Luftspalt
 Träpanel

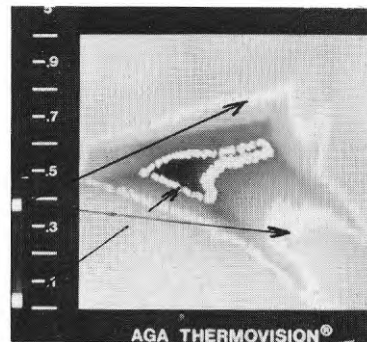
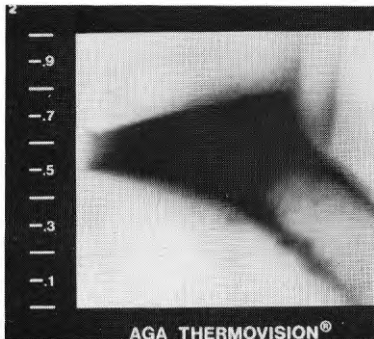
Mätbetingelser

Molnighet:
 Lufttemp ute: $\pm 0^{\circ}\text{C}$
 " inne: $+21^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 $P_i - P_u$: -7 Pa



a) Konstruktion av bottenbjälklag

b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande i bottenbjälklag där isoleringsmaterialet ej har god utfyllnad vid bjälklagskant.



c) Termogram av nedkyllt ytparti vid golvvinkel (ytterväggs-hörn). Nedkylningen har samband med luftinläckning dels in i bjälklaget dels in i bostadsutrymmet.

d) $t_{\text{ref}} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta l = 1,8$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 1,0 - 1,5$ m/s

FIG 66 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid bottenbjälklagets anslutning mot yttervägg.

Utifrån räknat:

30 mm mineralull
95 mm mineralull

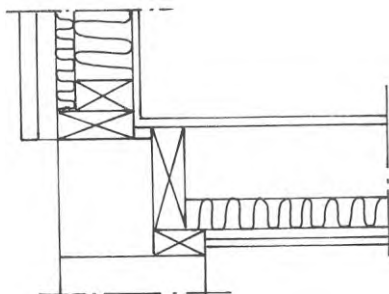
Ovanifrån räknat:

20 mm golvbeläggning
125 mm luftspalt
50 mm mineralull

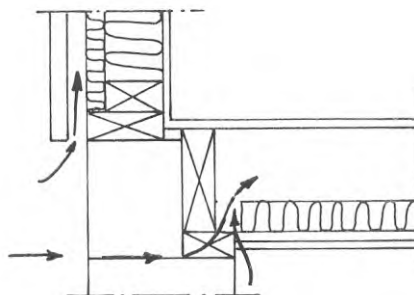
Blindbotten

Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 2^oC
" inne: +20^oC
Vindförhållanden: 2-5 m/s
 (mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



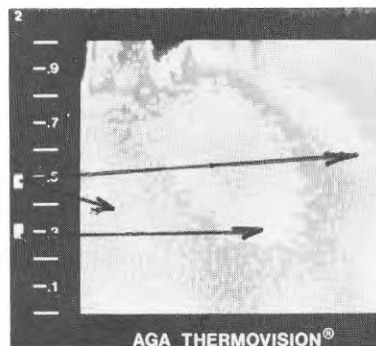
a) Konstruktion av bottenbjälklag av trä i småhus med kryppgrund.



b) Skiss av felaktigt isoleringsutförande i bottenbjälklaget.



c) Termogram av ytparti vid golv. Här framträder en nedkyld zon på golvet. Nedkylningen har samband med luftinläckning i bjälklaget.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}C$
 $\Delta l = 0,4$ i enh
 $\Delta t = 0,5^{\circ}C$
 $v = 0$ m/s

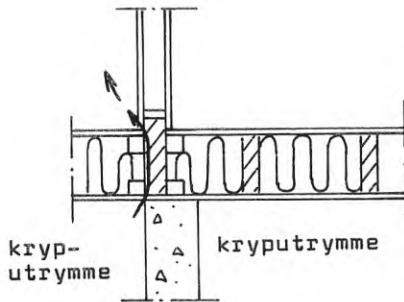
FIG 67 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid bottenbjälklagets anslutning mot yttervägg.

Ovanifrån räknat:

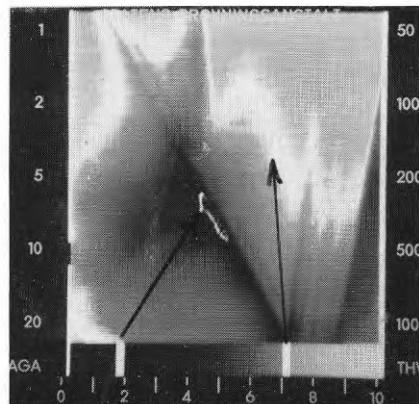
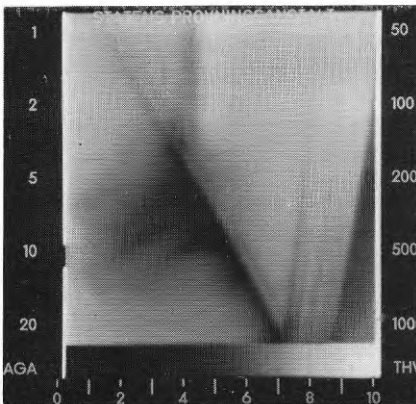
Golvbjälkar 2" x 8"
 70 + 80 mm mineralull
 19 mm träfiberplatta
 Papp
 10 mm träfiberplatta

Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 5°C
 " inne: +22°C
 Vindförhållanden: 1-5 m/s
 $P_i - P_u$: -5 Pa



- a) Konstruktion av bottenbjälklag (prefabricerade bjälklagselement) samt mellanväggs anslutning. Läckageväg för inläckande luft har markerats.



- b) Termogram av nedkylt ytparti där mellanvägg ansluter mot bottenbjälklag. Nedkylningen har samband med luftinläckning av kall uteluft genom otät fog mellan bjälklagselement.

c) $t_{ref} =$
 $\Delta t = 5,2$ i enh
 $\Delta t = 7,5^\circ\text{C}$
 $v =$

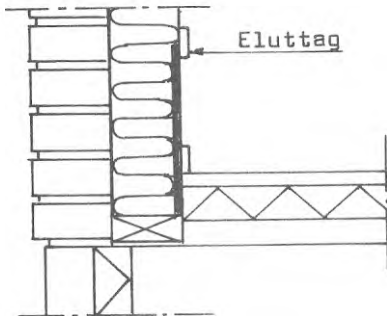
FIG 68 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid bottenbjälklagets anslutning mot innervägg.

Utifrån räknat:

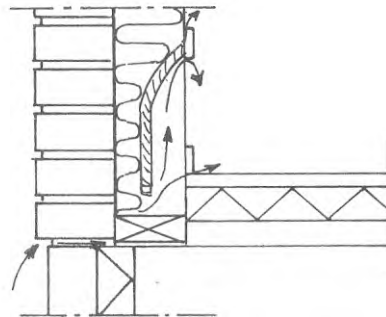
Fasadtegel
Förhydningspapp
120 mm mineralull
PE-folie
13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

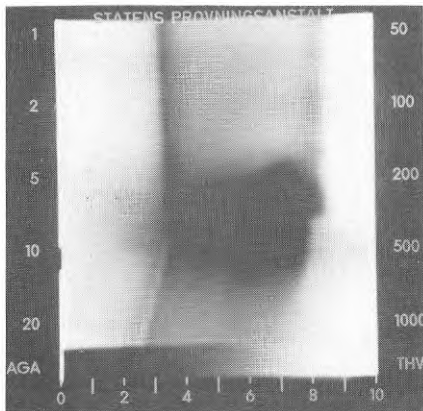
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: -20°C
" inne: +19°C
Vindförhållanden: 1-2 m/s
 (mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



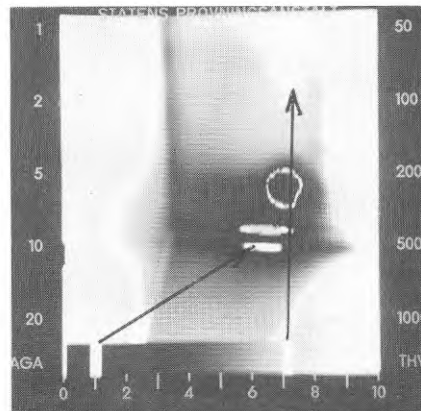
a) Konstruktion av yttervägg och bjälklag i anslutning till eluttag.



b) Skiss av bristfälligt utförd isolering kring eluttag i väggen.



c) Termogram av ytparti vid golvvinkel. Området kring eluttaget är kraftigt nedkylt på grund av dels bristfällig isolering kring elledningarna i väggen dels luftinläckning.



d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 6,1$ i enh
 $\Delta t = 9,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 2-3$ m/s (vid eluttag och golvvinkel)

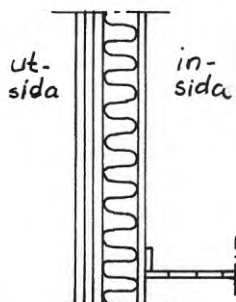
FIG 69 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

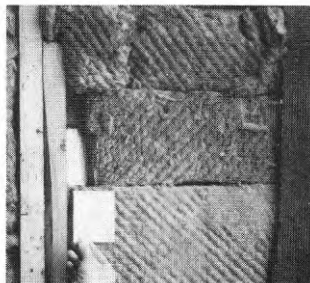
3/4" x 1 1/2" lockläkt
 1" x 6" panel
 Asfaltimpregnerad trä-
 fiberskiva
 1 1/2" x 3" reglar
 120 mm mineralull (B-kval)
 13 mm gipsskiva med
 al-folie

Mätbetingelser

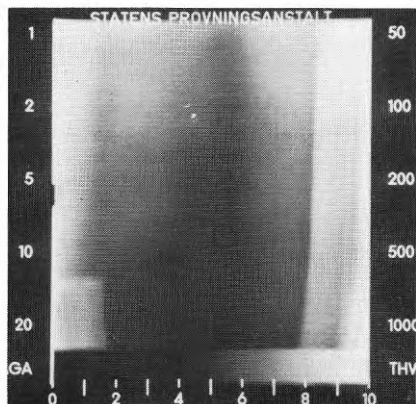
Molnighet: klart
 Lufttemp ute: -21°C
 " inne: +20°C
 Vindförhållanden: 0,5 - 1,0 m/s
 (mot fasaden)
 $p_i - p_u$: -10 Pa



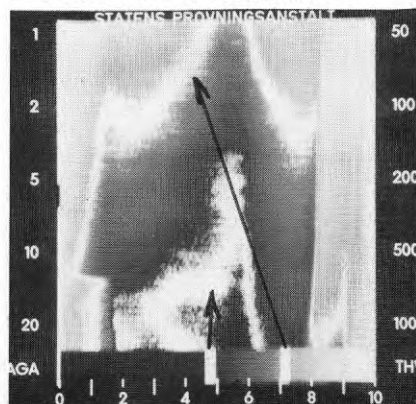
a) Konstruktion av yttervägg.



b) Fotografi av frilagt väggparti som visar bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet. Isolering saknas vid vissa lokala partier. (Väggen uppbruten från utsidan).



c) Termogram av ytparti mitt på vägg t v om fönsterparti. Området mellan de vertikala reglarna är nedkyllt på grund av bristfällig funktion hos isoleringen.

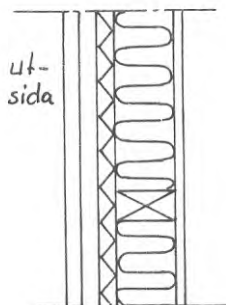


d) $t_{ref} = +18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,2$ i enh
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 70 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

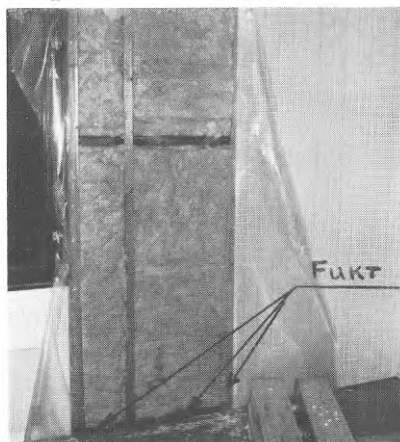
1" träpanel
 30 mm luftspalt
 30 mm styrencellplast
 100 mm mineralull (B-kvalitet)
 PE-folie
 13 mm gipsskiva



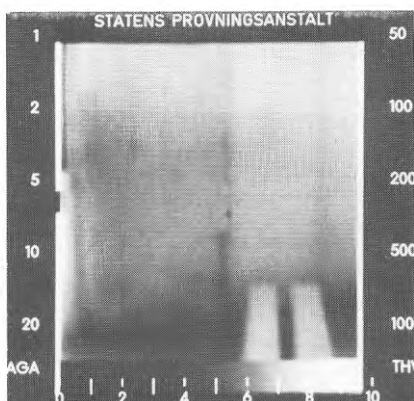
a) Konstruktion av yttervägg.

Mätbetingelser

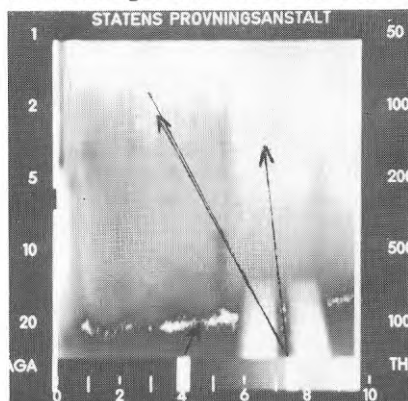
Molnighet:	mulet (regn)
Lufttemp ute:	+ 8°C
" inne:	+19°C
Vindförhållanden:	cirka 2 m/s (vinkelrätt mot fasad)
$p_i - p_u$:	-4 Pa



b) Fotografi av frilagt väggparti motsvarande ytparti i termogram c och d. Fullgod isoleringsutfyllnad föreligger. Syllar och delar av de vertikala reglarna är fuktiga (fritt vatten).



c) Termogram av yttervägg vid golvvinkel. Väggytan har en något ojämn temperaturfördelning. Området intill golvsöckeln är ojämnt nedkyllt. Ytpartiet motsvarar anslutning mellan yttervägg och mellanbjälklag.



d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,8$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

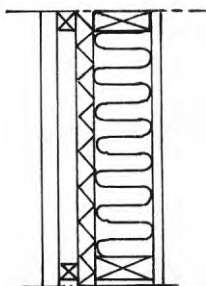
FIG 71 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

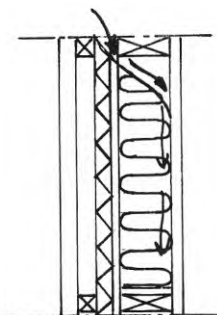
19 mm träpanel
 Luftspalt
 30 mm cellplast
 100 mm mineralull (B-kval)
 PE-folie
 13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

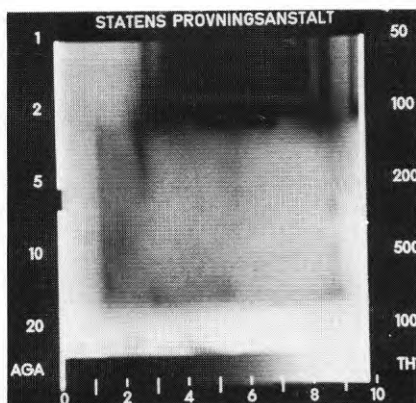
Molnighet: mulet (regn)
 Lufttemp ute: + 8°C
 " inne: +19°C
 Vindförhållanden: cirka 3 m/s
 (mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



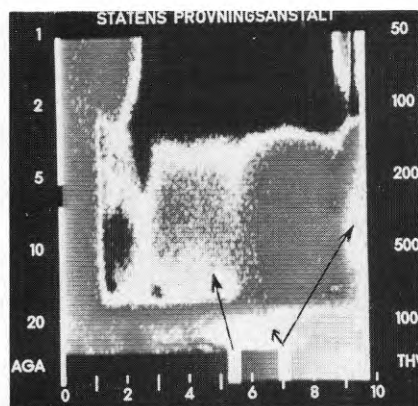
a) Konstruktion av yttervägg.



b) Skiss av fel.



c) Termogram av väggparti under fönster. Bilden visar ojämn nedkylning av väggytan beroende dels på bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet i väggen dels brister i vindskyddet.



d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,9$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

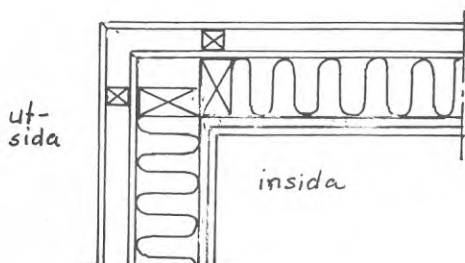
FIG 72 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

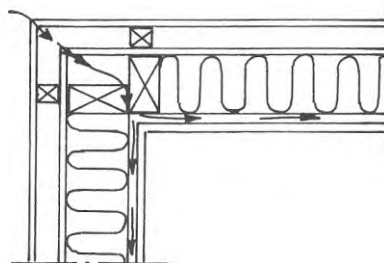
Sidiplattor
 1 1/4" x 2" läkt
 3,2 mm liggande internitskivor
 100 mm mineralull (klass A)
 7/8" glespanel
 Diffusionstät papp
 13 mm spånskiva

Mätbetingelser

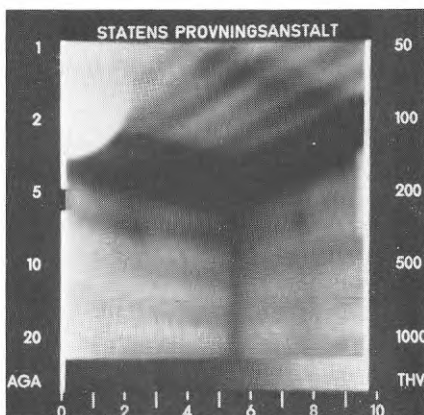
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: $\pm 0^{\circ}\text{C}$
 " inne: $+21^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållanden: 5-6 m/s
 $P_i - P_u$: -2 Pa



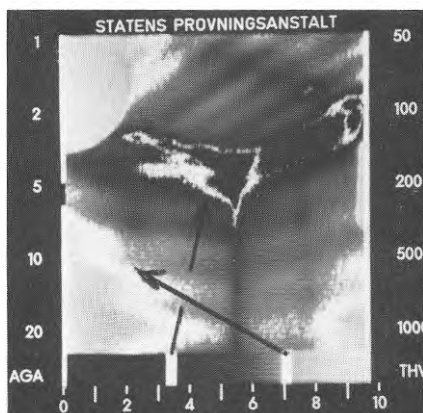
a) Konstruktion yttervägg.
 (Horisontalsektion)



b) Skiss av brist i täthetsutförandet.

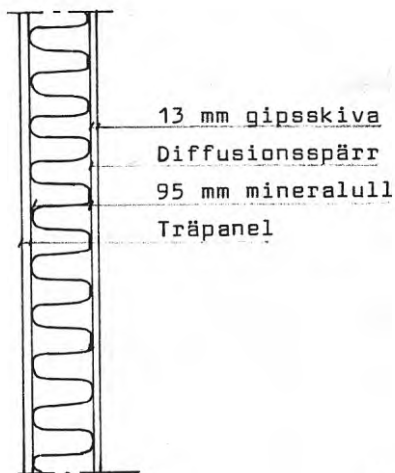


c) Termogram av ytparti vid vägghörn. Bilden visar att såväl vägg- som takytan är nedkyld. Nedkylningen har samband med luftläckning i de kanaler som bildas av glespanelen.



d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,9$ i enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,4$ m/s (lokalt vid vägghörn)

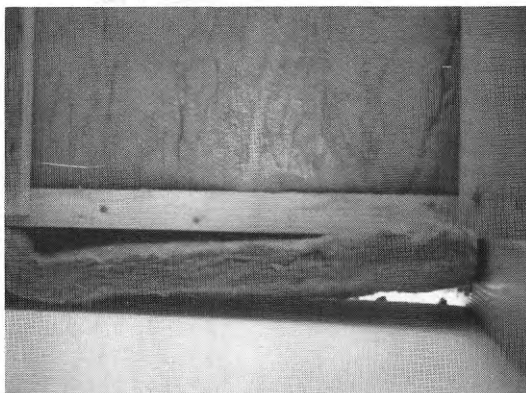
FIG 73 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.



a) Konstruktion av yttervägg

Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	+ 1°C
" inne:	+23°C
Vindförhållanden:	vindstilla
$P_i - P_u$:	-10 Pa



b) Fotografi av frilagt väggparti visande ofullständig utfyllnad av isoleringsmaterialet. I facket mellan reglarna har materialet ojämn utfyllnad hel våningshöjd.



c) Termogram av nedkyldt väggparti. Det nedkylda väggpartiet hade en vertikal utbredning från golv till tak.

d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,0$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

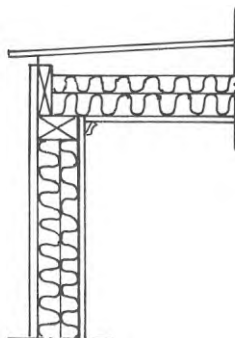
FIG 74 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

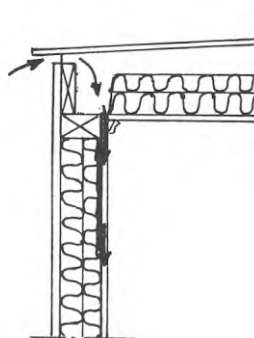
22 mm träpanel
Förhydningspapp
70 + 50 mm mineralull (B-kval)
Diffusionsspärr
10 mm träfiberplatta

Mätbetingelser

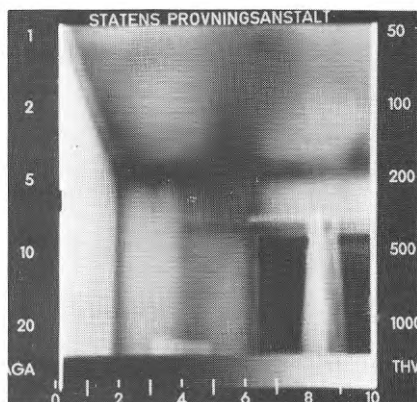
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 5°C
" inne: +22°C
Vindförhållande: cirka 2 m/s
(mot fasaden)
 $p_i - p_u$: -5 Pa



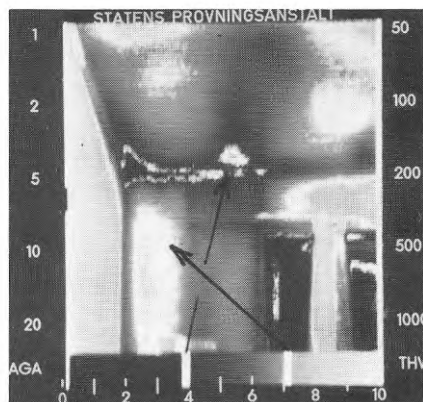
a) Konstruktion hos yttervägg och bjälklag.



b) Skiss av brist i isoler- och täthetsutförandet.



c) Termogram av nedkyllt ytparti vid takvinkel. Den ojämna temperaturfördelningen på vägg- och takytan har samband med konvektiva luftrörelser i konstruktionen.



d) $t_{ref} = 21^{\circ}\text{C}$
 $\Delta t = 1,6$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

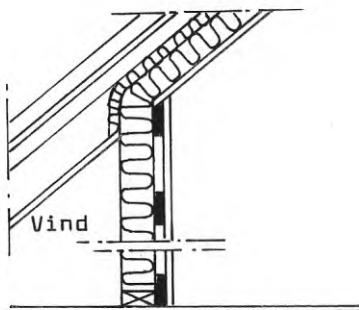
FIG 75 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Inifrån räknat:

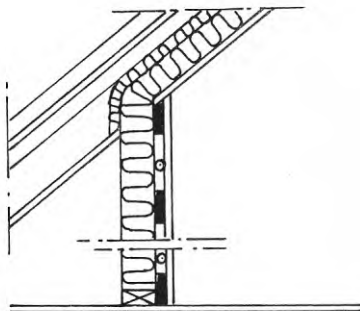
13 mm gipsskiva
 7/8" råspont (gles panel)
 0,07 plastfolie
 stolpar 45 x 95 c/c 600
 100 mm mineralull

Mätbetingelser

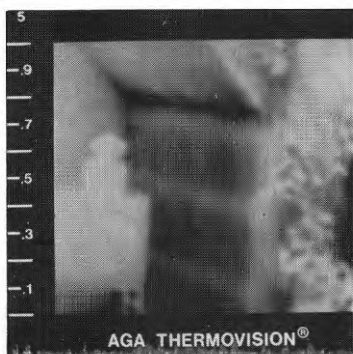
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 2^oC
 " inne: +20^oC
 Vindförhållanden: 2-5 m/s
 (mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -5 Pa



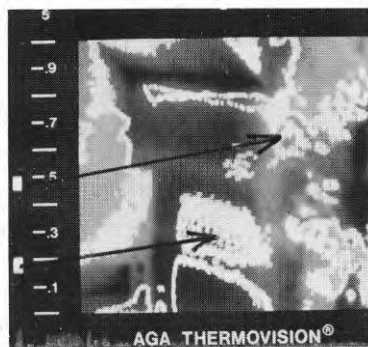
a) Konstruktion av vägg vid burspråk.



b) Skiss av brister i isoler- och täthetsutförande.



c) Termogram av ytparti vid burspråk. Den vertikala delen av ytterväggen är ojämnt nedkyld på grund av att kall uteluft sprids i de kanaler som bildas av glespanelkonstruktionen.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}C$
 $\Delta l = 1,5$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}C$
 $v = 0$ m/s

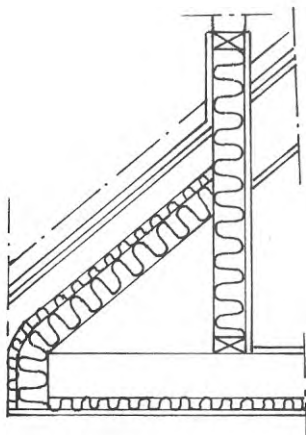
FIG 76 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

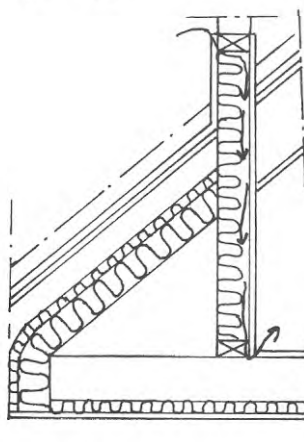
13 mm gips
 0,07 plastfolie
 Reglar 45 x 95 c/c 600
 100 mineralull (A-kvalitet)

Mätbetingelser

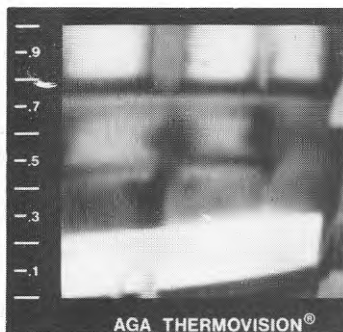
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 2°C
 " inne: +20°C
 Vindförhållanden: 2-5 m/s
 (västlig)
 $P_i - p_u$: -6 Pa



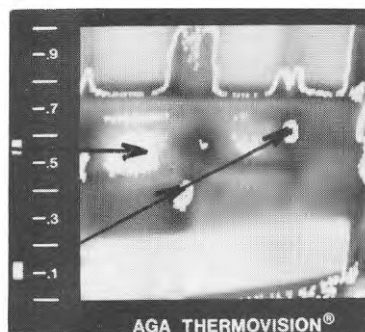
a) Konstruktion av vägg vid yttervägg.



b) Skiss av bristfällig utfyllnad och anliggning av mineralull mot den varma ytan (speciellt vid regler).



c) Termogram av ytparti under fönster. Vissa områden i anslutning till regler i väggen är nedkylda på grund av bristfällig funktion hos isoleringsmaterialet. Den markant ljusa ytan i nedre delen av bilden har samband med uppvärmd elvärmepanel.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,3$ i enh
 $\Delta t = 3,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

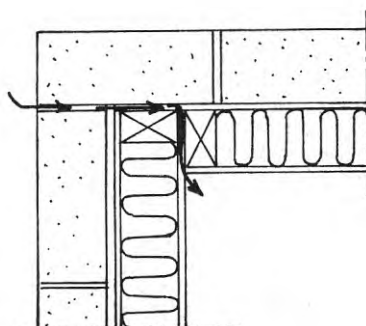
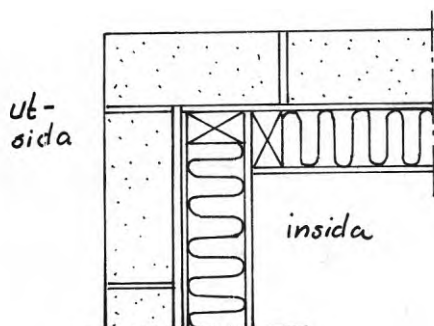
FIG 77 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i yttervägg av trä.

Utifrån räknat:

1/2 stens fasadtegel
Luftspalt
Träfiberskivor
100 mm mineralull

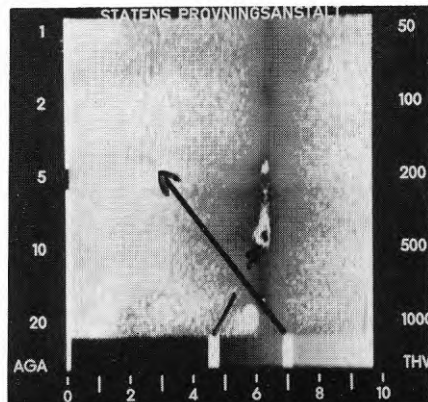
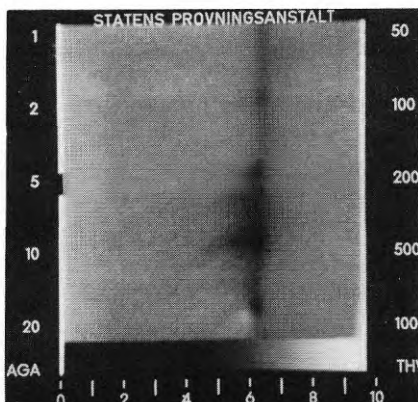
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: $\pm 0^{\circ}\text{C}$
" inne: $+21^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden 5-6 m/s
 (sydlig)
 $P_i - P_u$: -3 Pa



a) Horisontalsnitt av ytterväggskonstruktion, hörn (prefabricerade väggelement)

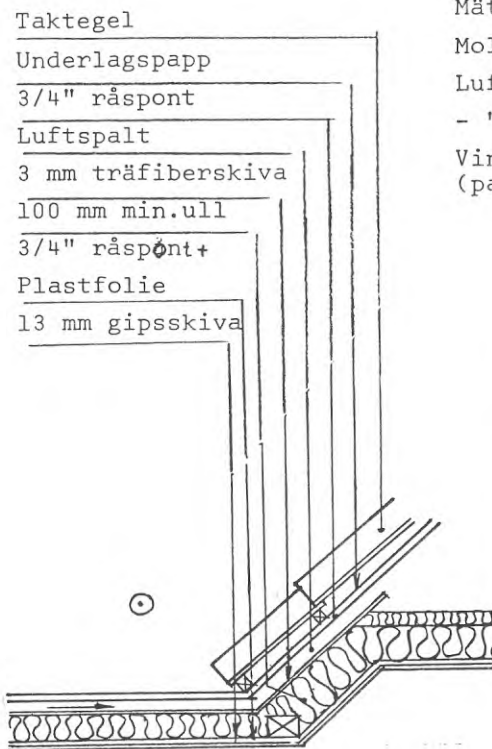
b) Skiss av brist i täthetsutförandet på grund av otät anslutning vid vägghörn.



c) Termogram av nedkyllt ytparti vid vägghörn. Nedkylningen orsakas av luftinläckning genom otät vertikal fog. Varierande luftinläckning på grund av ojämnt luftmotstånd hos yt-skiktet (delvis sprucken tapet).

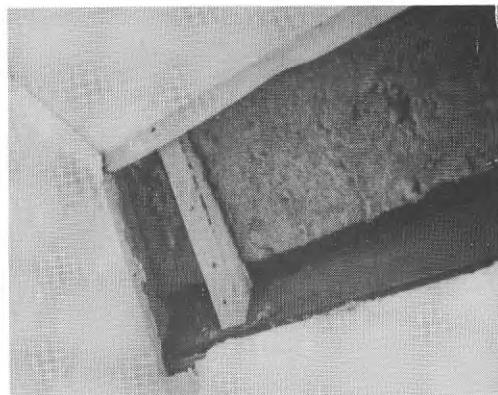
d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,3$ i enh
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 2,5$ m/s (vid ytan vid vertikal fog i vägghörn).

FIG 78 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet i ytterväggshörn.



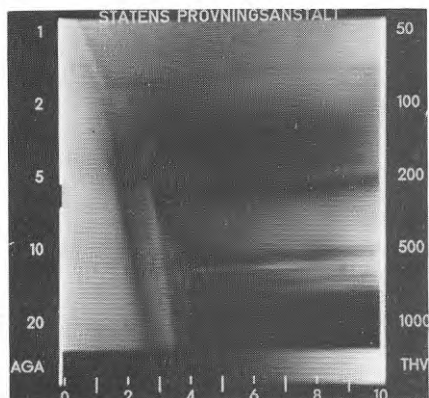
Mätbetingelser:

Molnighet:	klart
Lufttemp. ute:	$\pm 0^{\circ}\text{C}$
- " - inne:	$+20^{\circ}\text{C}$
Vindförhållanden: (parallellt med taket)	2-3 m/s



a) Yttertaketets konstruktion vid burspråk.

b) Fotografi av öppnat väggparti från insidan. Isoleringsmaterialet har bristfällig passning mot regler och ligger ej dikt an mot väggmaterialet på den varma sidan.



c) Termogram av ytparti vid lutande tak visar nedkylda ytpartier. Nedkylningen har samband med att kall luft tränger in i konstruktionen i det med min.ull bristfälligt utfyllda utrymmet.



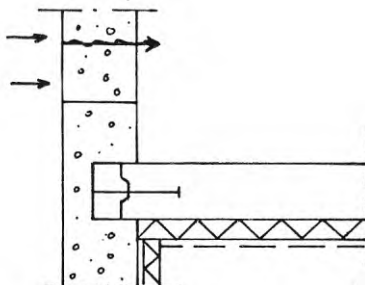
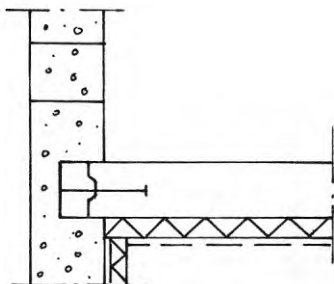
d) Uppmätt tryckskillnad $p_i - p_u = -4 \text{ Pa}$
 Referenstemperatur: 19°C
 Δt : $3,0^{\circ}\text{C}$

FIG 79 Exempel på bristfälligt isoleringsutförande vid isolerat yttertak.

Tunnputs
250 mm lättbetong
Tunnputs

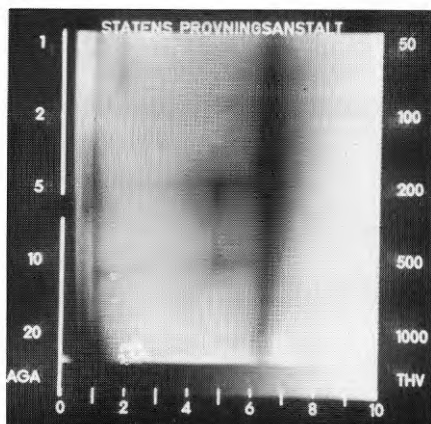
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 10°C
" inne: +23°C
Vindförhållanden: Vindstilla
 $P_i - P_u$: -20 Pa

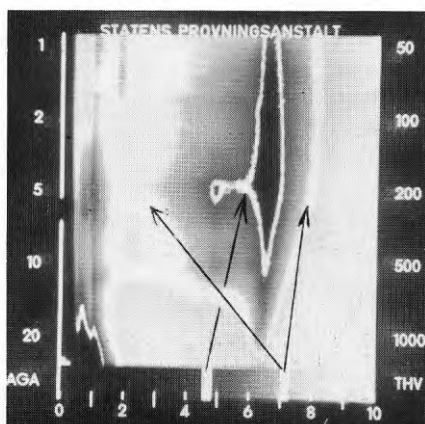


a) Konstruktion av yttervägg med anslutning mot mellanbjälklag.

b) Skiss av brist i isoler- och täthetsutförandet. Sprickbildning främst i fogar mellan blocken.



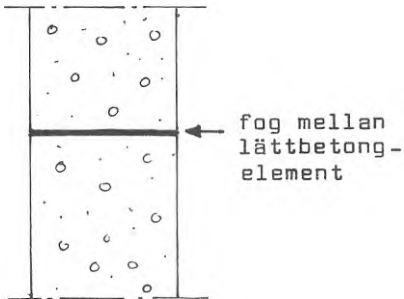
c) Termogram av ytparti vid vaggghörn t h om fönsterparti. Blockskarvarna framträder som mörkare ränder. Vissa blockskarvar samt ytparti vid vaggghörn är nedkyllt på grund av luftinläckning genom uppkomna sprickor som är genomgående.



d) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,2$ i enh
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,3$ m/s (vid vägspricka)
 $v = 0,5$ m/s (vid vaggghörn)

FIG 80 Exempel på fel i täthetsfunktionen hos yttervägg av lättbetong.

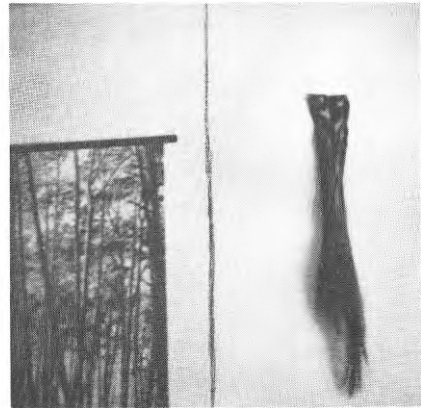
250 mm lättbetong



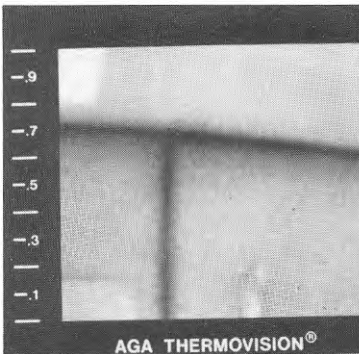
a) Konstruktion (horisontal-snitt) av yttervägg.

Mätbetingelser

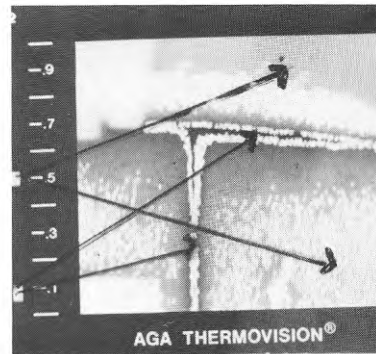
Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	- 1 ^o C
" inne:	+17 ^o C
Vindförhållanden:	Vindstilla
$p_i - p_u$:	-3 Pa



b) Fotografi visande spricka (genomgående) cirka 2 mm i fog mellan lättbetong-element.



c) Termogram av ytparti vid takvinkel. I bilden framträder ett nedkylt vertikalt band vid fog mellan lättbetongelement. Nedkylningen här har samband med luftinläckning av kall uteluft genom otät fog enligt a).



d) $t_{ref} = 16^{\circ}C$
 $\Delta I = 0,8$ i enh
 $\Delta t = 1,0^{\circ}C$
 $v = 0,3 - 0,5$ m/s

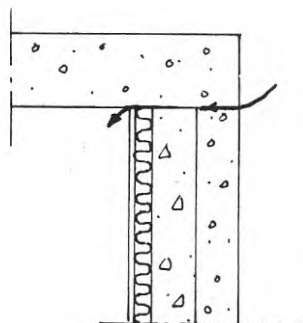
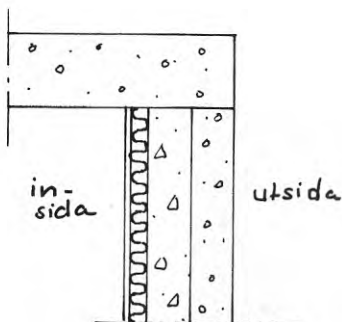
FIG 81 Exempel på fel i täthetsfunktionen hos yttervägg av lättbetong.

Utifrån räknat:

150 mm lättbetong
 150 mm betong
 50 mm mineralull
 13 mm gipsekiva

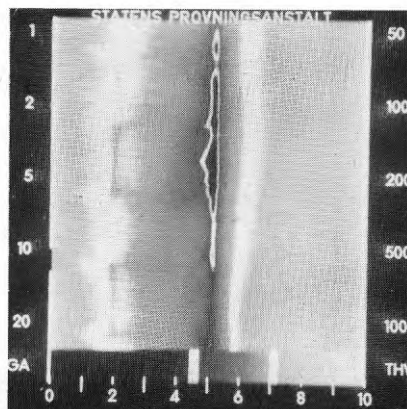
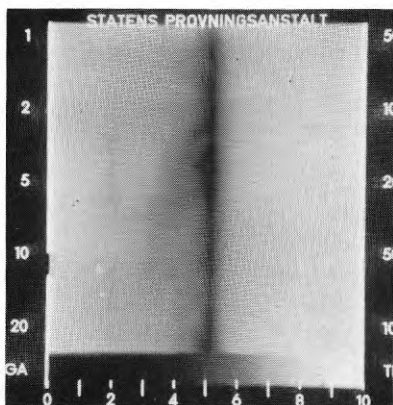
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 1°C
 " inne: +24°C
 Vindförhållanden: Vindstilla
 $P_i - P_u$: -20 Pa



- a) Konstruktion av yttervägg vid anslutning långfasad - gavelfasad. (Horisontal-sektion)

- b) Skiss av luftläckage, inläckning genom otät fog.



- c) Termogram av ytparti vid vagghörn. Väggytan är nedkyld på grund av luftinläckning genom otät fog mellan långfasad och gavelfasad.

- d) $t_{ref} = 23^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,6$ i enh
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 1-3$ m/s

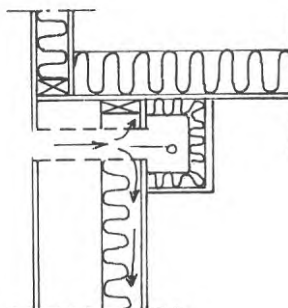
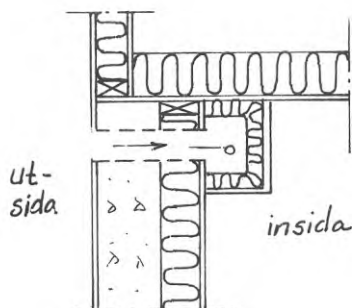
FIG 82 Exempel på fel i täthetsfunktionen hos yttervägg av lättbetong och betong.

Utifrån räknat:

200 mm betonghålstén
70 mm mineralull
13 mm gipsskiva

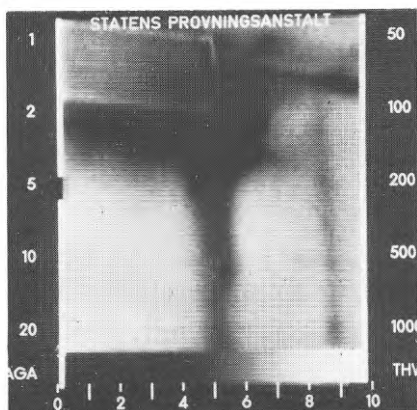
Mätbetingelser

Molnighet: klart
Lufttemp ute: 5°C
" inne: +21°C
Vindförhållanden: 2-3 m/s
(ostlig)
 $P_i - P_u$: -5 Pa

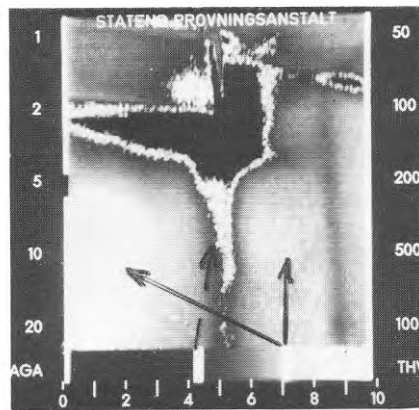


a) Konstruktion av yttervägg vid ventilationskanal (horisontalsektion).

b) Skiss visande bristfällig isoleringsutfyllnad i yttervägg vid ventilationskanal.



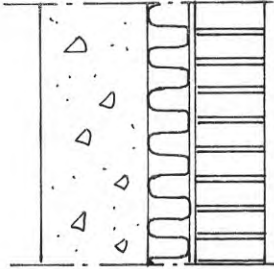
c) Termogram av nedkyllt område hos yttervägg vid takvinkel där ventilationskanal ansluter. Den kalla uteluf-ten sprids i de hålrum som bildas på grund av bristfälligt utfyllnad av mineralullsisoleringen. Den nedkylda ytan har även vertikal utsträckning, vilket tyder på konvektiva luftströmmar i konstruktionen.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,4$ i enh
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 83 Exempel på fel i täthetsfunktionen hos yttervägg av betonghålstén.

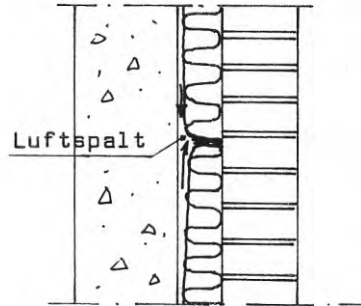
Utifrån räknat:
 120 mm fasadtegel
 (19 håls)
 10 mm luftspalt
 70 mm mineralull
 (klass B, kramlad)
 180 mm betong



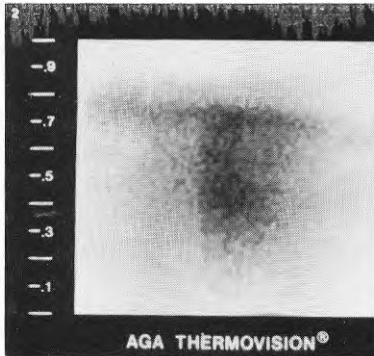
a) Konstruktion av yttervägg.

Mätbetingelser

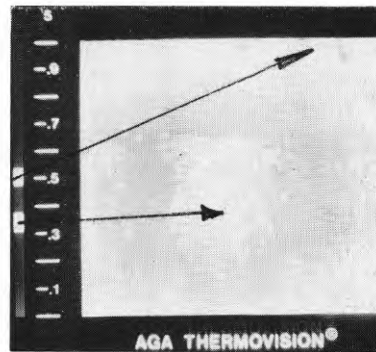
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 1^oC
 " inne: +20^oC
 Vindförhållanden: Vindstill
 $P_i - P_u$: -3 Pa



b) Skiss av brist i isolerutförandet.



c) Termogram av ytparti mitt på vägg. Här framträder en nedkyld yta som motsvarar ett hörnparti hos en mineralullskiva. Nedkylningen har samband med bristfällig utfyllnad och anläggning mot betongens utsida.



d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,9$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 84 Exempel på bristfällig isoleringsfunktion hos yttervägg av betong.

6 SPECIELLA KONSTRUKTIONER OCH KONSTRUKTIONSDETALJER

Undersökningarna har visat att vissa typer av konstruktioner och konstruktionsdetaljer är svåra att utföra i praktiken så att tillfredsställande isoler- och täthetsfunktion erhålles.

Exempel på detta ges i de följande avsnitten. I dessa redovisas gjorda undersökningar på motsvarande sätt som tidigare.

I figurerna ges mätbetingelser och mätvärden tillsammans med kortfattade kommentarer kring aktuell undersökning.

6.1 Ytterväggar för industribyggnader

I FIG 85-94 visas några exempel på bristfälligt isoler- och täthetsutförande vid olika ytterväggskonstruktioner avsedda för industribyggnader.

6.2 Vindskydd i yttervägg

Alternativ utformning av vindskydd, bestående av mineralullsisolering med hög densitet i yttervägg, har provats vid några olika projekt. Resultaten framgår delvis av FIG 95-96.

6.3 Fogtätningssystem

Alternativa typer av fogtätningssystem har provats vid olika undersökningar och resultaten redovisas i FIG 97-105. Speciellt behandlas fogtätningssystem vid golvsyll resp kring fönster- och dörrpartier.

6.3.1 Fogtätningssystem vid golvsyll

Följande alternativa utföranden av sylltätning har provats med hjälp av IR-kameran.

- a) Sylltätning med mineralullsremsa: Gullfibers syll-isolering 5137. Se FIG 98.
- b) Sylltätning med Gullfibers fogtätningssystem 1610 "Fogfiber". Se FIG 99.
- c) Sylltätning med polyuretanskum av en-komponent-typ (BPA-skum 100). Se FIG 100.
- d) Sylltätning med list av EPDM-gummi, Rockwools S-list 8445. Se FIG 101.

Fogtätningalternativen a, b och c har inmonterats och provats i 3 st 3-vånings flerbostadshus av lika konstruktion och belägna inom samma område i Skellefteå.

Termografering utfördes vid följande tider.

- Vid slutbesiktningstillfället.
- Cirka 12 månader efter slutbesiktningstillfället.

Beträffande alternativ d, Rockwools sylltätning av EPDM-gummi, har provning utförts på två olika projekt och endast vid slutbesiktningstillfället. Detta har skett på grund av att materialet har funnits på marknaden under relativt kort tid.

Kommentarer:

Alt a Se FIG 98. Syllisoleringsremsor av mineralull placerade ovikta under syllen, ger ofta upphov till relativt kraftiga återkommande luftläckage vid golvsockeln, speciellt vid ojämn yta hos bjälklagskanten. Luftrörelser som uppmättes vid dessa läckagepartier varierade kraftigt beroende bl a på tryckskillnaden över konstruktionen. Vid kontrollmätning 12 månader efter slutbesiktningstillfället iaktogs att luftläckagen ökat i omfattning. Resultaten var entydiga från samtliga undersökta hus.

- Alt b Se FIG 99. Gullfibers Fogfiberssystem gav i allmänhet tillfredsställande resultat. Vid lokala partier kunde luftläckage i begränsad omfattning iakttagas. Vid mätning 12 månader efter slutbesiktningen var resultaten som regel oförändrade.
- Alt c Se FIG 100. Resultaten av undersökningarna på polyuretanskumfyllda fogar gav generellt goda resultat. Såväl tätnings- som isoleringsvärdena var tillfredsställande. På någon enstaka punkt hade blåsa uppstått i materialet, vilket medförde ett smärre luftläckage. Resultaten från mätningar utförda efter 12 månader var oförändrat tillfredsställande.
- Alt d Se FIG 101. Fogtätning med syllisolering av EPDM-gummi gav vid undersökningstillfällena tillfredsställande resultat. Resultaten syntes jämförbara med alternativ b. Vid kontroll 12 månader efter den första mätningen kunde ingen märkbar förändring i funktionen iakttagas.

6.3.2 Fogtätningssystem kring fönster- och dörrpartier (fog mellan karm - vägg)

Följande alternativa utföranden av fogtätning vid fönster- och dörrpartier har provats med hjälp av IR-kameran.

- a) Gullfibers drevningsremsa typ 5097 (5 cm bredd), enkel och ovikt. I övrigt se FIG 97 och 102-103.
- b) Gullfibers system 1610, Fogfiber. Se FIG 104.
- c) Fogsprutning med polyuretanskum av en-komponent-typ (BPA:s fogskum 100). Se FIG 105.

Fogtjocklekarna var lika vid de olika alternativen 15 ± 5 mm.

Fogtätningssystem a-c har inmonterats och provats dels i vissa delar av 3 st 3-vånings flerbostadshus av samma konstruktion och belägna inom samma område i Skellefteå dels i 2 st 3-vånings flerbostadshus av samma konstruktion och belägna inom samma område i Lysekil.

Undersökning av de olika alternativen, med undantag av alt c, har utförts vid följande tider.

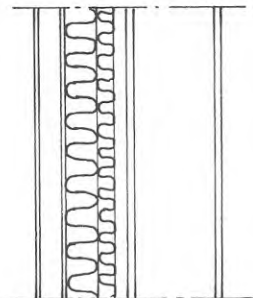
- Vid slutbesiktningstillfället.
- Cirka 2 månader efter slutbesiktning.
- " 12 " " " "

Kommentarer

- a) Funktionen hos fogar tätade med enkel, ovikt drevningsremsa gav som regel bristfälliga resultat. Luftläckage förekom i relativt stor omfattning och återkom i varierande grad utefter stora delar vid fönsterkarmarnas anslutningar mot väggpartierna. Luftrörelserna invid läckageställena varierade beroende bl a på aktuell tryckdifferens över konstruktionen. Vid kontrollmätning 2 respektive 12 månader efter slutbesiktningstillfället erhöles en markant försämring av täthetsfunktionen jämfört med kontrollen vid slutbesiktningstillfället. Se FIG 102.
- b) Vid mätningen på fogar tätade med Gullfibers fogtätningssystem "Fogfiber" erhöles vid slutbesiktningstillfället i huvudsak tillfredsställande resultat. I anslutning till distanskilar och hörn, där drevningsremsan ej var sammanhängande, kunde dock smärre läckage iakttagas. Vid kontrollmätning 2 respektive 12 månader efter slutbesiktningstillfället erhöles oförändrade resultat.
- c) Fogtätning med polyuretanskum av en-komponenttyp syntes ge god tätning även i anslutning till distanskilar och hörn. Ifrågavarande material visade god vidhäftning mot angränsande material (med undantag av PE-folie). Resultaten var oförändrade vid samtliga måttillfällen.

Utifrån räknat:

Korrugerad fasadplåt
 Vindskydd (papp)
 70 mm mineralull
 30 mm mineralull
 0,1 PE-folie tejpad mot
 profiler)
 Korrugerad plåt (perforerad
 delvis)
 Stålprofil

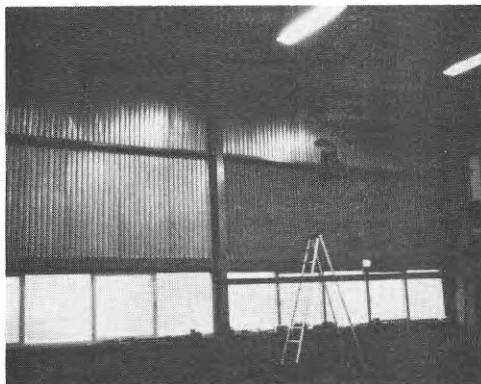


a) Konstruktion av yttervägg med in- och utvändig plåtbeklädnad.

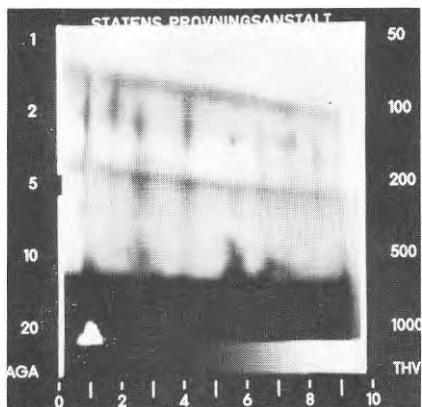
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 3°C
 " inne: + 18°C
 Vindförhållanden: Vindstill
 $P_i - P_u$: -28 Pa

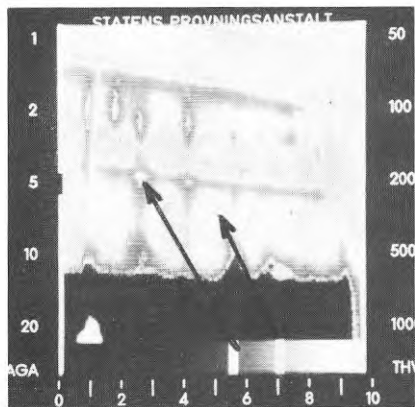
(Obs! invändigt undertryck)



b) Fotografi av den invändiga plåtytan. Delar av plåtytan var målade med matt grå färg (en strykning).



c) Termogram av ytterväggsparti. Vissa nedkylda områden framträder här. Nedkylningen har samband med konvektiva luftrörelser i konstruktionen. Vissa fogar mellan mineralullsskivorna framträder som mörka vertikala ränder.



d) $t_{ref} = 16^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,8$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 2-4$ m/s (genom fog mellan fönster och väggparti)

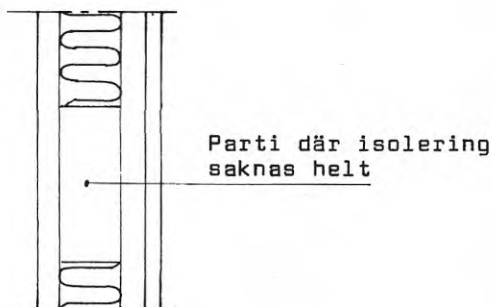
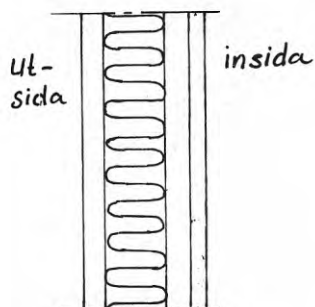
FIG 85 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändig plåtbeklädnad.

Utifrån räknat:

Trapetskorrugerad stålplåt
Förhydningspapp
95 mm mineralull (A-kval)
0,15 mm PE-folie
Trapetskorrugerad stålplåt

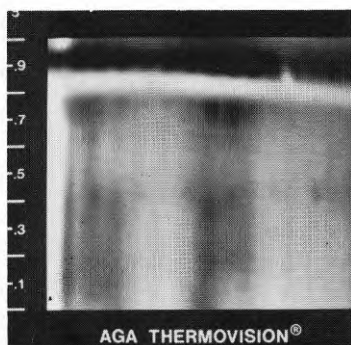
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 1°C
" inne: +12°C
Vindförhållanden: 3-4 m/s
 (sydvästlig)
 $P_i - P_u$: -15 Pa

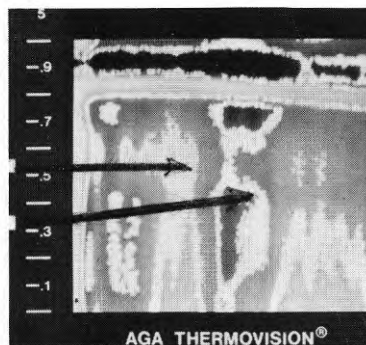


a) Konstruktion av yttervägg med in- och utvändig plåtbeklädnad.

b) Isolering saknas till hela sin tjocklek i vissa delar av väggen.



c) Termogram av nedkyllt ytparti mitt på vägg. Defekten här har samband med att isoleringsmaterialet helt saknas i vissa delar av väggen.



d) $t_{ref} = 11^{\circ}\text{C}$
 $\Delta l = 1,0$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

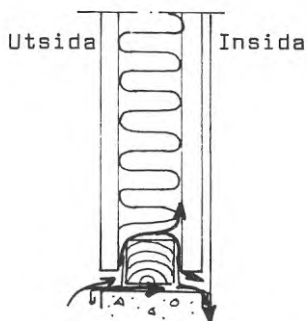
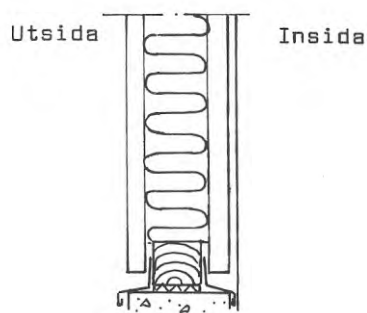
FIG 86 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändig plåtbeklädnad.

Utifrån räknat:

Trapetskorrugerad stålplåt
Förhydningspapp
95 mm mineralull
0,15 mm PE-folie
Trapetskorrugerad stålplåt

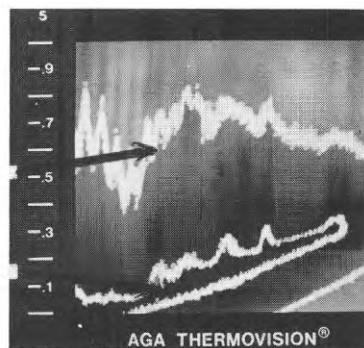
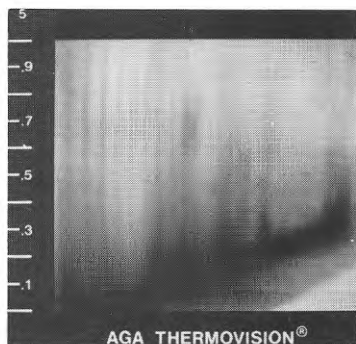
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 1°C
" inne: +12°C
Vindförhållanden: 3-4 m/s
(sydvästlig)
 $P_i - P_u$: -15 Pa



- a) Konstruktion av yttervägg med in- och utvändigt plåtbeklädnad.

- b) Skiss av bristfällig tätning vid syll samt ofullständig utfyllnad av värmeisoleringsmaterialet i vägg.



- c) Termogram av ytparti vid golvinkel där den inre plåtbeklädnaden ansluter mot betongsockel. Nedkylningen här orsakas av luftinläckning genom otät fog mellan syll och sockel. Luften sprids även uppåt i väggen mellan plåten och isoleringsmaterialet.

- d) $t_{ref} = 11^{\circ}\text{C}$
 $\Delta l = 1,9$ i enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 2,0$ m/s (vid plåtens anslutning mot betongsockel)

FIG 87 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändigt plåtbeklädnad.

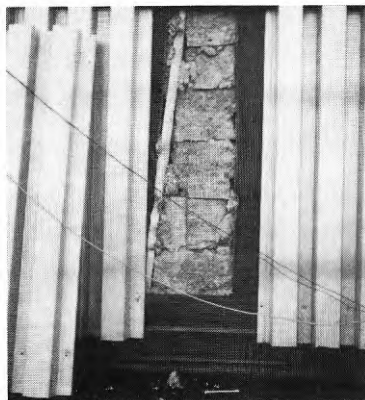
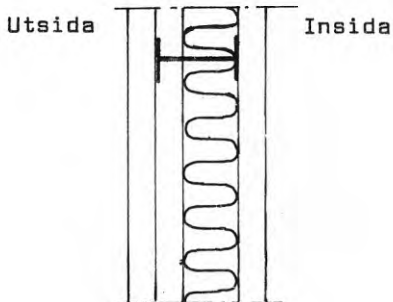
Utifrån räknat

Trapetskorrugerad stålplåt
Vindskyddande papp
100 mm mineralull
Diffusionsspärr
Trapetskorrugerad stålplåt

Mätbetingelser

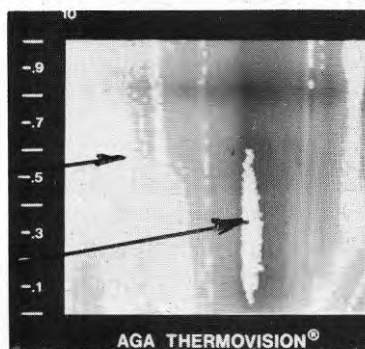
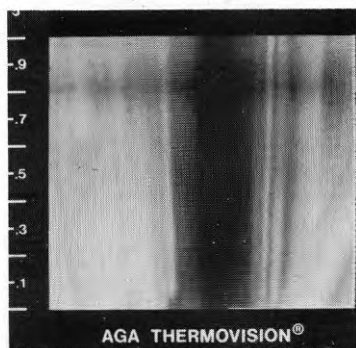
Molnighet: klart
Lufttemp ute: + 2°C
" inne: +17°C
Vindförhållanden: cirka 3 m/s
(parallellt med fasaden)

$P_i - P_u$: -5 Pa



a) Konstruktion av yttervägg med in- och utvändig plåtbeklädnad.

b) Fotografi av friläggning av väggpartiet från utsidan. Delvis saknas vindskyddet helt. Isolering består av bitar av mineralull, vilka anpassats bristfälligt.



c) Termogram av ett nedkyllt väggparti. Nedkylningen motsvarar en bredd på cirka 30 cm med en vertikal utbredning på cirka 1,5 m.

d) $t_{ref} = 16^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 3,4 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 5,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$ (tät plåtbeklädnad)

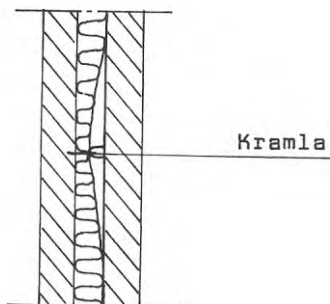
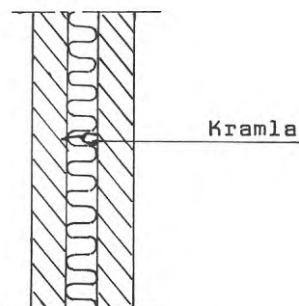
FIG 88 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändig plåtbeklädnad.

Utifrån räknat:

Fasadtegel
100 mm mineralull
Murtegel

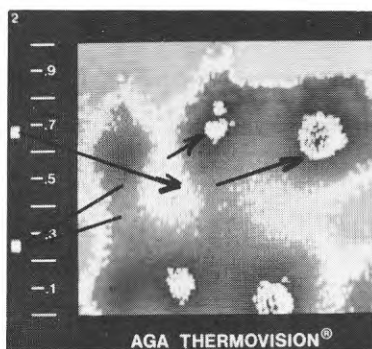
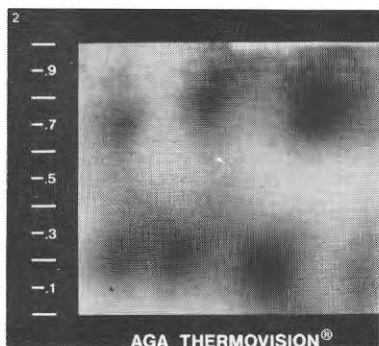
Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: - 3°C
" inne: +18°C
Vindförhållanden: 1 m/s
 (snett mot fasad)
 $P_i - P_u$: -7 Pa



a) Konstruktion av yttervägg.

b) Skiss av brist i isoler- och täthetsutförandet.



c) Termogram av ytterväggsparti. De nedkylda partierna har samband med bristfälligt isolerutförande i kombination med konvektiva luftströmlar. Fogarna (hörnen) mellan isolerskiivorna framträder som mörka områden.

d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,8$ i enh
 $\Delta t = 1,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 89 Exempel på fel i isoler- och täthetsutförandet i yttervägg med ut- och invändig tegelbeklädnad och mellanliggande mineralullsisolering.

Utifrån räknat:

Fasadplåt

100 mm mineralull med utvändig pappbeklädnad

Plåtkassetter 0,6 x 6,0 m

Mätbetingelser

Molnighet:

mulet

Lufttemp ute:

+ 2°C

" inne:

+21°C

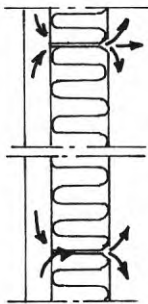
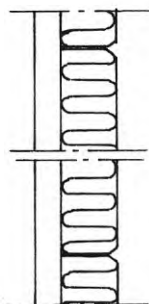
Vindförhållanden:

2 m/s
(från fasaden)

$p_i - p_u$:

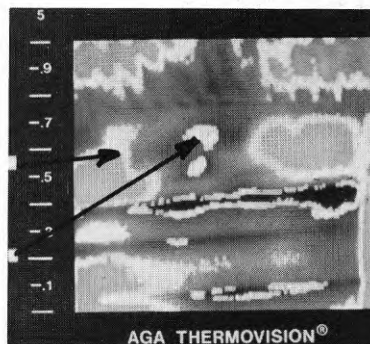
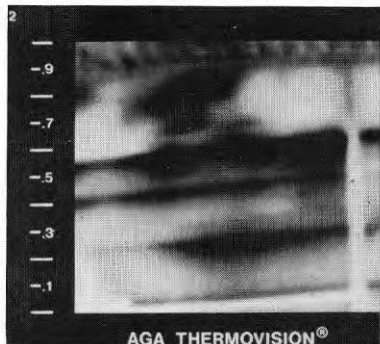
-10 Pa

inside



- a) Konstruktion av yttervägg med in- och utvändig plåtbeklädnad. Plåtkassetter med fogtätning av gummi-list. Plåtytan på insidan var slät och lackerad.

- b) Skiss av luftläckagets väg genom konstruktionen.



- c) Termogram av delvis nedkyllt ytparti på väggens övre del. Nedkylningen här har samband med att kall uteluft läcker in och genom konstruktionen med nedkylda ytor som följd.

- d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,6$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 1,0 - 2,0$ m/s (vid horisontell fog mellan plåtkassetterna).

FIG 90 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändig plåtbeklädnad.

Utifrån räknat:

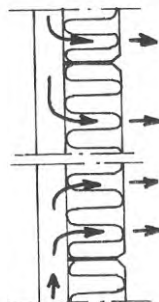
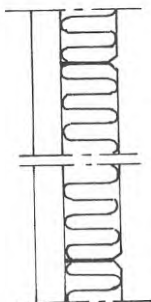
Fasadplåt
100 mm mineralull med utvändig
pappbeklädnad
Plåtkassetter (0,6 x 6,0 m)
Invändigt perforerad yta

Mätbetingelser

Molnighet: mulet
Lufttemp ute: + 2°C
" inne:
Vindförhållanden: cirka 2 m/s
(västlig, snett
mot fasaden)

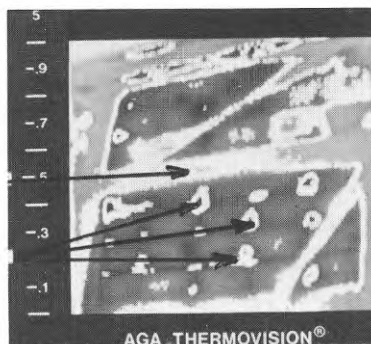
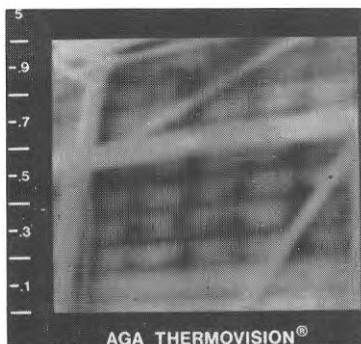
$P_i - P_u$:

utsida insida



a) Konstruktion av yttervägg med in- och utvändigt plåtbeklädnad.

b) Skiss av yttervägg och luftläckagets väg genom konstruktionen vid de horisontella spalter som bildas av de bristfälligt anpassade mineralullsskivorna.



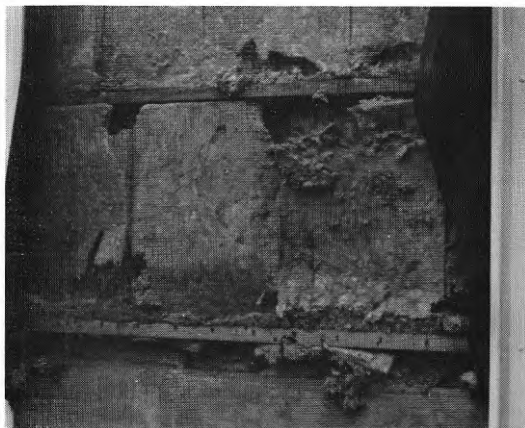
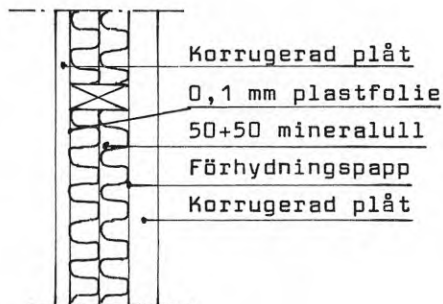
c) Termogram av delvis nedkyllt väggparti taget från insidan. De nedkylda områdena bildar ett visst mönster som har samband med att kall luft läcker in genom otätheter hos konstruktionen främst vid fogar mellan mineralullsskivorna med nedkylda ytpartier som följd.

d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,5$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,3 - 1,0$ m/s (vid vägg-
ytan. Variationen över
ytan har samband med per-
forering)

FIG 91 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändigt plåtbeklädnad.

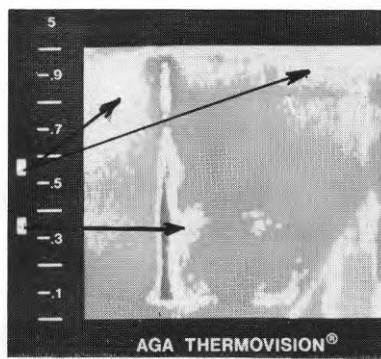
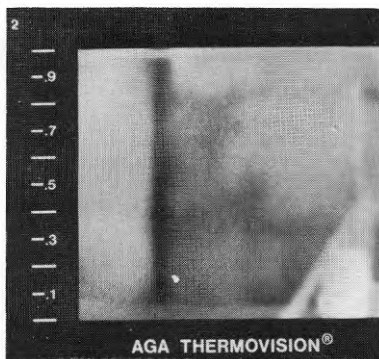
Mätbetingelser

Molnighet:	molnigt
Lufttemp ute:	+ 3°C
" inne:	+12°C
Vindförhållanden:	0,5 m/s (västlig)
$P_i - P_u$:	-5 Pa



a) Konstruktion hos yttervägg med in- och utvändigt plåtbeklädnad.

b) Fotografi av frilagt väggparti (från utsidan).



c) Termogram av väggparti vid vertikal stålprofil med ojämn temperaturfördelning. Nedkylningen vid vissa partier har samband med bristfällig utfyllnad av mineralullen. Håligheter i facken mellan reglarna hade samband med att råttorna hade transporterat bort isoleringsmaterial.

d) $t_{ref} = 11^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,6$ i enh
 $\Delta t = 1^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 1,0$ m/s vid vertikal pelare.

FIG 92 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med in- och utvändigt plåtbeklädnad.

Utifrån räknat:

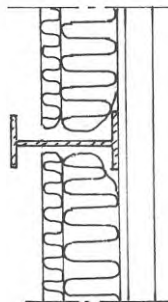
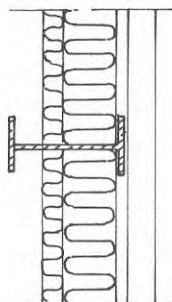
Väggregel
 10 mm Gullfiberboard
 90 mm mineralull med vindpapp
 Diffusionsspärr
 30 mm mineralull med diffu-
 sionsskydd (stapelfiber)

Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: - 1°C
 " inne: +17°C
 Vindförhållanden: 3-4 m/s
 (sydostlig)
 $P_i - P_u$: -10 Pa

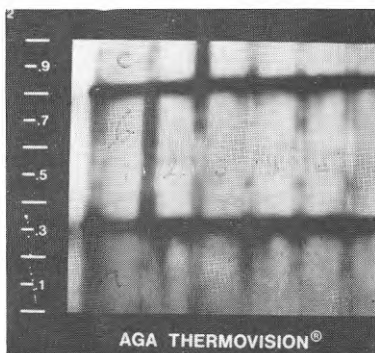
insida

utsida

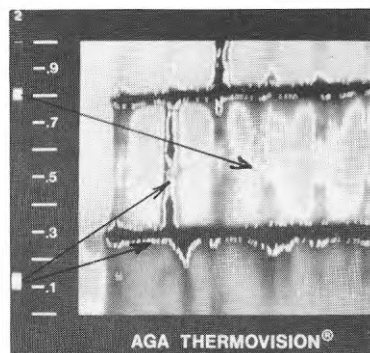


a) Konstruktion hos yttervägg.

b) Skiss av bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterial samt med luftläckning som följd.



c) Termogram av nedkylda yt-partier hos yttervägg. Nedkylningen har samband med inläckande kall uteluft genom otätheter hos konstruktionen främst i anslutning till de horisontella stålprofilerna.



d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,4 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 2,0 \text{ m/s}$ (vid de horisontella stålprofilerna)

FIG 93 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med utvändigt plåtbeklädnad.

Utifrån räknat:

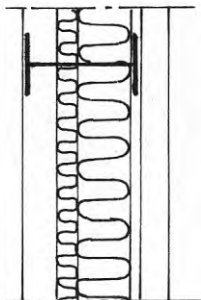
Väggregel

10 mm Gullfiberboard

90 mm Gullfiber 3024 med
vindpapp

30 mm Gullfiber 3024 med
diff skydd och
stapelfiber

Diffusionsspärr



a) Konstruktion av yttervägg.

Mätbetingelser

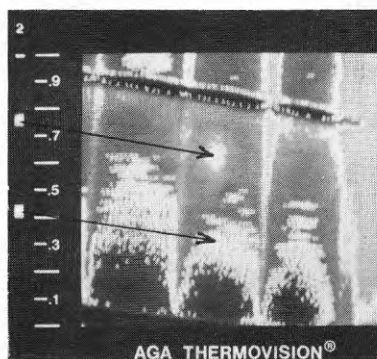
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: - 1°C
" inne: +18°C
Vindförhållanden: 3-4 m/s
 (sydostlig,
 från fasaden)
 $P_i - P_u$: +10 Pa



b) Fotografi av yttervägg från insidan. Ett mörkare (nedsmutsat) ytparti framträder mitt på väggfältet. Nedsmutsningen har orsakats av utläckande, smutsig innerluft genom lokala otätheter hos väggpartiet.



c) Termogram av väggpartiet. Här framträder ett varmt område mitt på det isolerade väggfältet. Uppvärmningen här har samband med utläckande varm luft.



d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,7$ i enh
 $\Delta t = 1,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,2 - 0,3$ m/s (utläckande luft)

FIG 94 Exempel på fel i isolerings- och täthetsutförandet vid ytterväggar med utvändigt plåtbeklädnad.

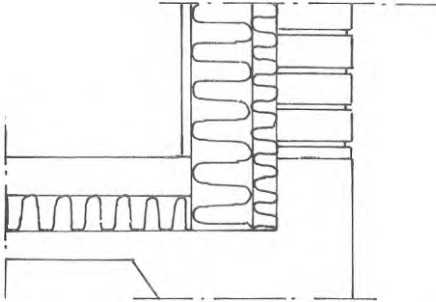
Inifrån räknat:

13 mm gipsskiva
0,12 mm PE-folie
95 mm mineralull klass A
30 mm mineralull (hög densitet)
Fasadtegel

Mätbetingelser

158

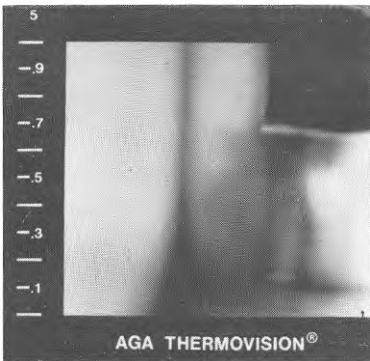
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: 4°C
" inne: +16°C
Vindförhållanden: 5-6 m/s
 (sydväst, mot
 fasaden)
 $P_i - P_u$: -15 Pa



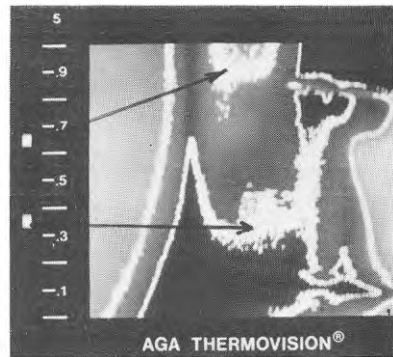
a) Konstruktion av yttervägg.



b) Fotografi från insidan av den yttre mineralullsskivans anläggning mot reglarna. Vid den nedre horisontella syllan ligger skivan ej dikt an mot syllan. En spalt på 3 cm föreligger här.



c) Termogram av ytparti vid golvhörn och väggparti t v om och under fönster. Varm radiator framträder i bildens högra kant (markant ljus yta). Väggytan här har en oregelbunden temperaturfördelning. Detta tyder på en ojämn funktion hos väggisoleringen. I väggpartier förekommer konvektiva luftrörelser orsakade av felet ovan.



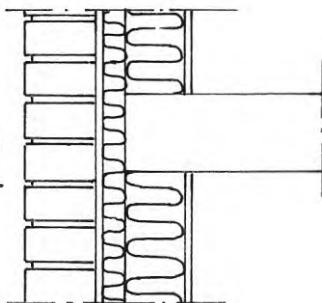
d) $t_{ref} = 15^{\circ}\text{C}$
 $\Delta t = 1,5$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 1-2$ m/s (vid golvsokkel och vid golvhörn)

FIG 95 Exempel på yttervägg med vindskydd av mineralull med hög densitet.

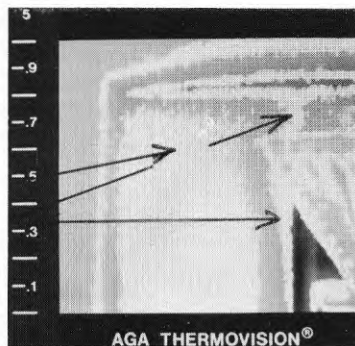
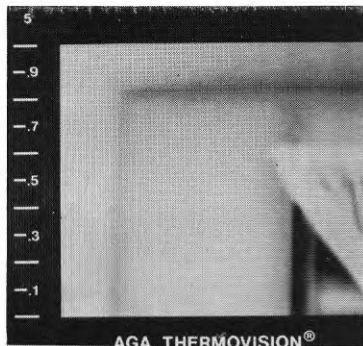
Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	- 1°C
" inne:	+21°C
Vindförhållanden:	3-4 m/s (sydvästlig)
$P_i - P_u$:	-20 Pa

Inifrån räknat:
 13 mm gipsskiva
 PE-folie
 95 mm mineralull klass A
 30 mm mineralull (densitet 100 kg/m³)
 Fasadtegel



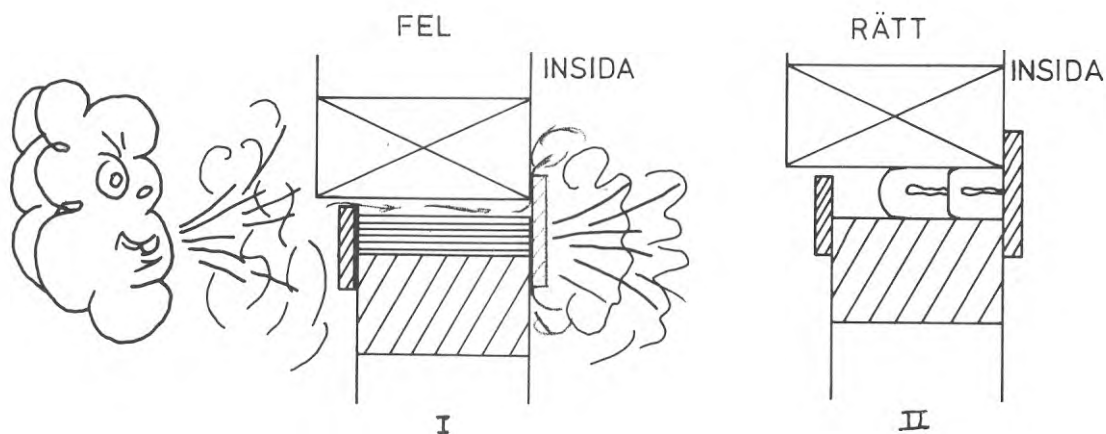
a) Konstruktion av yttervägg



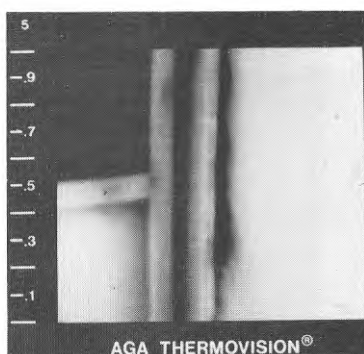
b) Termogram av ytparti vid takvinkel och vägghörn t v om fönster. Jämn temperaturfördelning hos väggytan tyder på tillfredsställande funktion hos isolering och tätning mot fönsterpartiet.

c) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,6$ i enh
 $\Delta t = 1,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 96 Exempel på yttervägg med vindskydd av mineralull med hög densitet.



- a) Tätning av fog mellan dörrkarm och väggparti bör utföras enligt **II**. I praktiken utförs tätning av fog ofta enligt **I** d v s med endast en tätningsremsa som ligger ovikt. Kall uteluft läcker härvid genom den otäta fogen. Ytparti intill dörrkarm vid väggens insida blir nedkyllt pga luftläckage.

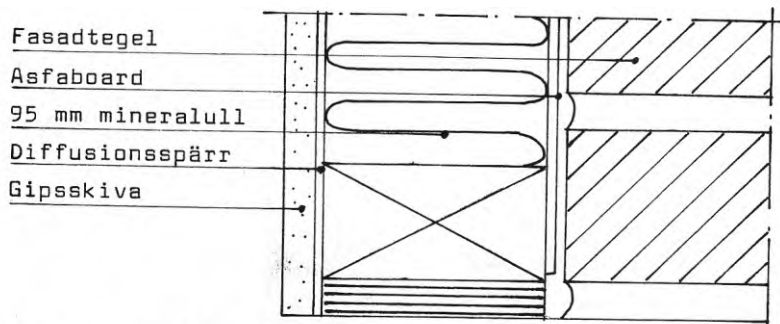


- b) Termogram av ytparti vid dörrkarmens anslutning mot väggpartiet. Temperaturskillnaden mellan "normal" yttemperatur och nedkyllt område är här ca 4°C . Lufthastigheten intill läckagestället vid väggytan är ca 1 m/s.

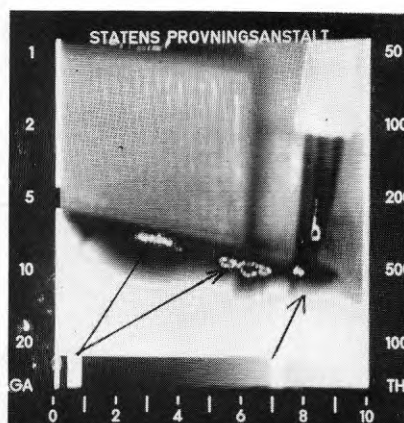
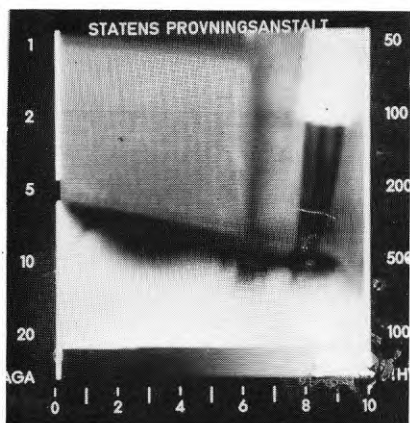
FIG 97 Exempel på fogtätning mellan karm och vägg.

Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	- 4°C
" inne:	+23°C
Vindförhållanden:	2-3 m/s (mot fasad)
$P_i - P_u$:	-35 Pa



a) Skiss av fogtätning vid syll med syllisoleringsremsa av mineralull.



b) Termogram av nedkyllt ytparti vid golvvinkel. Nedkylningen orsakas av luftinläckning genom otät fog mellan syll och betong.

c) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 3,2$ i enh
 $\Delta t = 5,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 2-3$ m/s (invid golvlist)

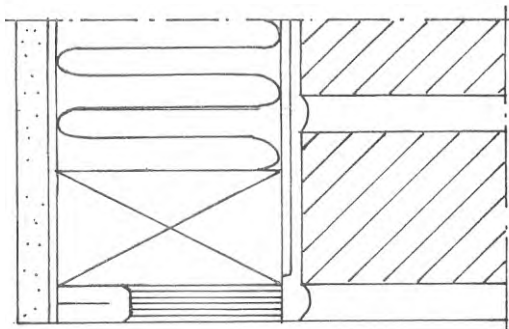
FIG 98 Exempel på fogtätning vid syll med syllisoleringsremsa av mineralull.

Utifrån räknat:

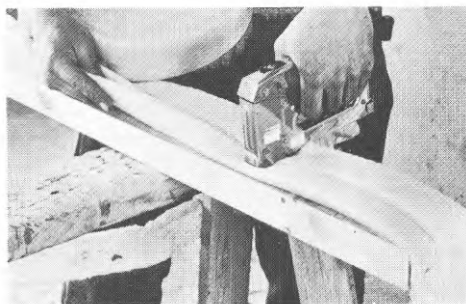
Fasadtegel
Asfaboard
95 mm mineralull
Diffusionsspärr
Gipsskiva

Mätbetingelser

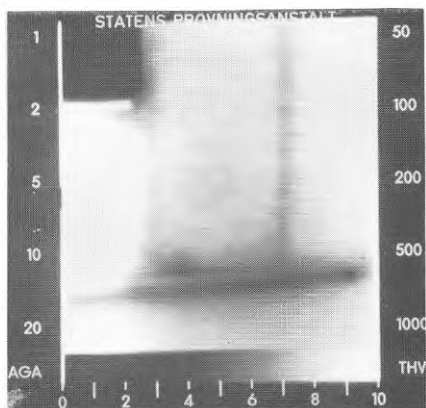
Molnighet: mulet
Lufttemp ute: -12°C
" inne: +19°C
Vindförhållanden: cirka 1 m/s
 (parallellt
 med fasaden)
 $P_i - P_u$: -6 Pa



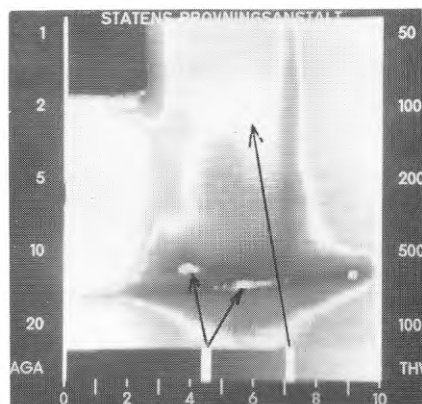
a) Skiss av fogtätning vid syll med system "Fogfiber"



b) Fotografi visande montering av Fogfiber.



c) Termogram av ytparti vid golvvinkel. Vissa begränsade, nedkylda ytpartier kunde iakttagas vid detta system. Luftläckagen är av begränsad omfattning och lokalt betingade.

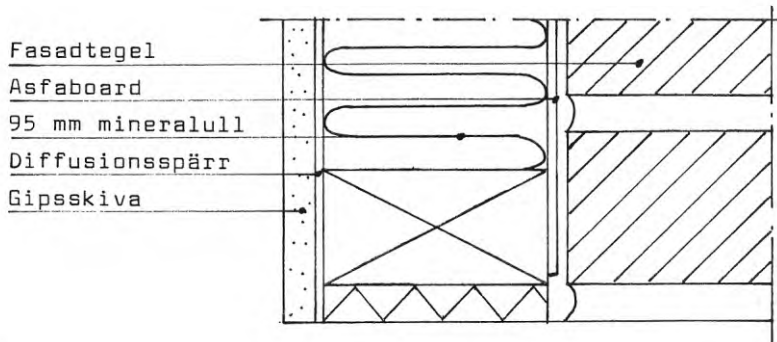


d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta t_i = 1,4 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,2 - 0,3 \text{ m/s (lokalt)}$

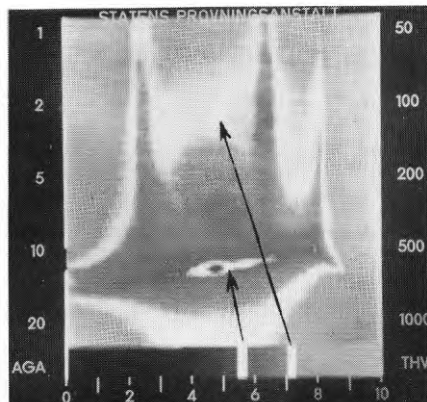
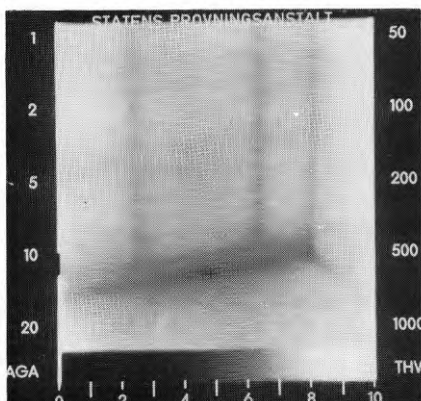
FIG 99 Exempel på fogtätning vid syll med system "Fogfiber".

Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	-12°C
" inne:	+19°C
Vindförhållanden:	cirka 1 m/s (parallellt med fasaden)
$P_i - P_u$:	-6 Pa



a) Skiss av fogtätning vid syll med polyuretanskum.



c) Termogram av ytparti vid golvvinkel. Med undantag av en liten obetydlig defekt erhöles tillfredsställande resultat med detta tätningssystem.

d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,6$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

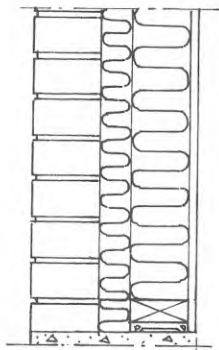
FIG 100 Exempel på fogtätning vid syll med polyuretanskum.

Utifrån räknat:

Fasadtegel
 50 mm mineralull
 95 mm mineralull
 Diffusionsspärr
 13 mm gipsskiva

Mätbetingelser

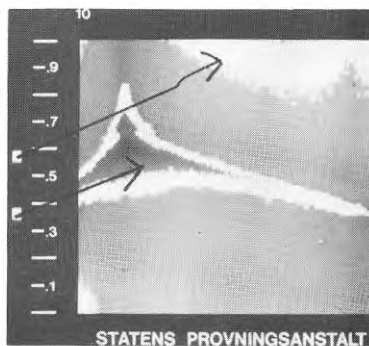
Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: + 50°C
 " inne: +24°C
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (mot fasaden)
 $P_i - P_u$: -17 Pa



a) Skiss av fogtätning vid syll Rockwools S-list.



b) Termogram av ytparti vid golvvinkel. Tillfredsställande täthet erhöles med detta system.



c) $t_{ref} = 23^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,1$ i enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 101 Exempel på fogtätning vid syll med Rockwools "S-list" av EPDM-gummi.

Mätbetingelser

1974-01-21

Molnighet:

Lufttemp ute:

" inne:

Vindförhållanden:

mulet

+ 4°C

+20°C

5-8 m/s

(mot fasaden)

-25 Pa

 $P_i - P_u$:Mätbetingelser

1974-03-13

Molnighet:

Lufttemp ute:

" inne:

Vindförhållanden:

halvmulet

+ 3°C

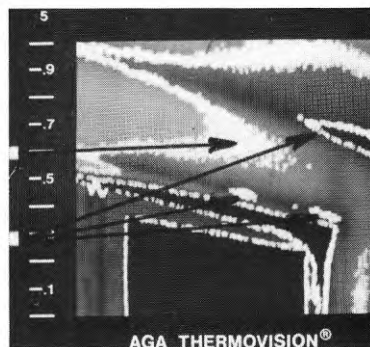
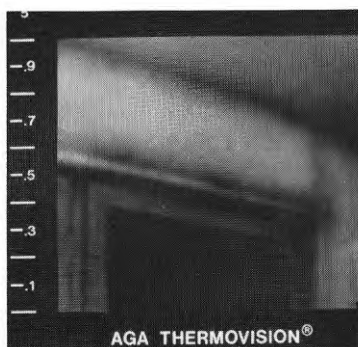
+20°C

2-3 m/s

(i riktning

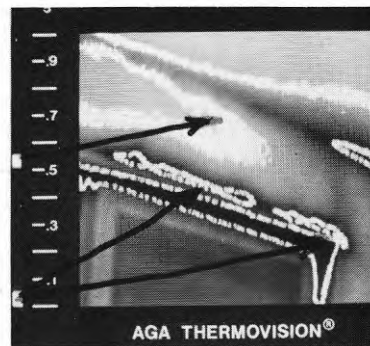
från fasaden)

-20 Pa

 $P_i - P_u$:

- a) Termogram av ytparti över fönster. Nedkyllt område vid övre horisontell fönsterkarm. Nedkylningen har samband med luftinläckning genom otät fog mellan fönsterkarm och väggparti.

- b) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,6$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,3 - 0,8$ m/s



- c) Termogram av samma ytparti som i bild cirka 2 månader senare. Här framträder de nedkylda ytpartierna kraftigare på grund av ökat luftläckage jämfört med vid det tidigare mätillfället. Luftinläckning genom fog har ökat på grund av rörelser hos träkonstruktionen.

- d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,5$ i enh
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 1,5$ m/s (vid fog fönsterkarm - vägg).

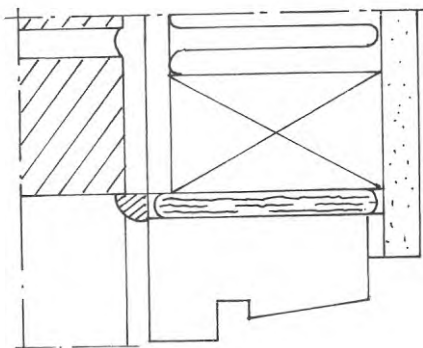
FIG 102 Exempel på fogtätning mellan fönsterkarm och vägg (mätning med tvåmånaders-intervall).

Utifrån räknat

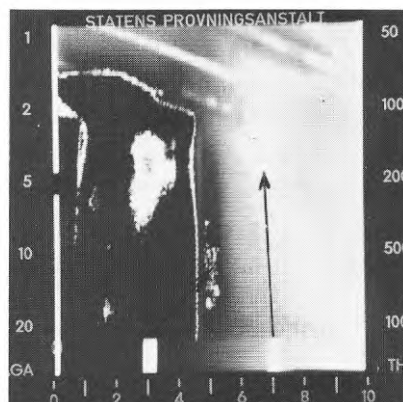
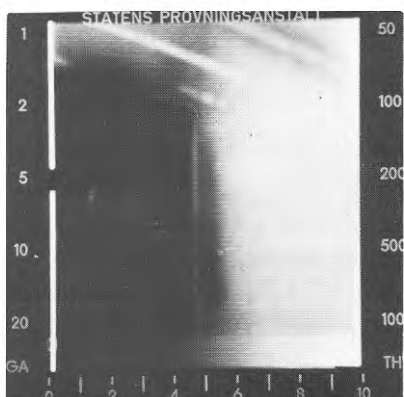
Fasadtegel
 Asfaboard
 95 mm mineralull
 Diffusionsspärr
 Gipsskiva

Mätbetingelser

Molnighet: mulet
 Lufttemp ute: - 4^oC
 " inne: +23^oC
 Vindförhållanden: 2-3 m/s
 (parallellt
 med fasaden)
 $P_i - P_u$: -35 Pa



- a) Skiss av tätningssystem mellan väggparti och fönsterkarm. (Drevningsremsa av mineralull).



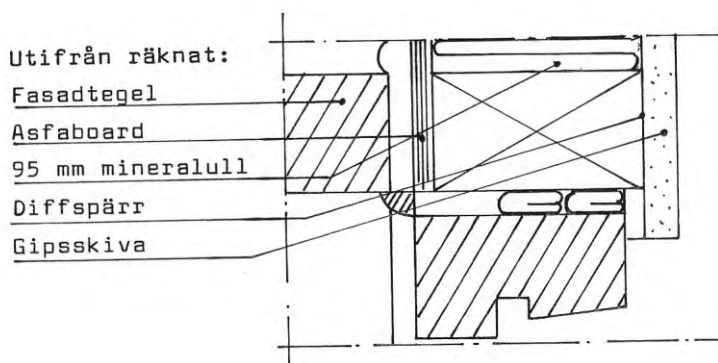
- b) Termogram av ytparti vid fönstrets anslutning mot väggparti. Ytpartierna intill fogen vid fönsterkarm är nedkyllda såväl vid den övre horisontella fogen som den vertikala fogen. Nedkylningen här har samband med luftinläckning genom otät fogen mellan fönsterkarm och väggparti.

- c) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,0$ enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,3 - 1,0$ m/s (vid fogen i fönsterkarm - vägg)

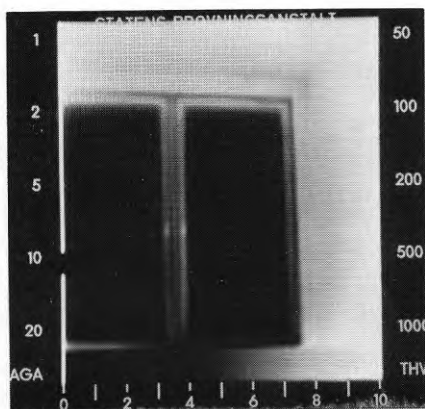
FIG 103 Exempel på fogtätning mellan fönsterkarm och vägg med remsa av mineralull.

Mätbetingelser

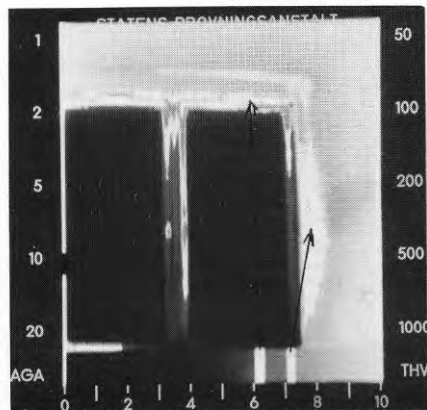
Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	-12°C
" inne:	+19°C
Vindförhållanden:	cirka 1 m/s (parallellt med fasaden)
$P_i - P_u$:	-35 Pa



a) Skiss av fogtätning med system Fogfiber.



b) Termogram av ytparti vid fönster visande fullgod funktion hos tätning av fog mellan fönsterkarm och väggparti.



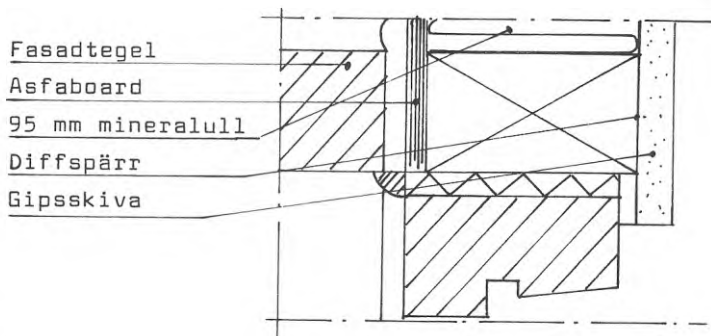
c) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,0$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 104 Exempel på fogtätning mellan fönsterkarm och vägg med system "Fogfiber".

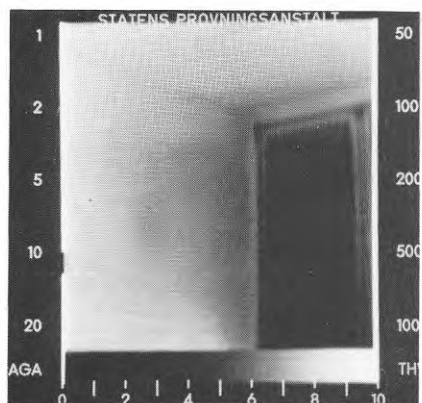
Mätbetingelser

Molnighet:	mulet
Lufttemp ute:	- 4°C
" inne:	+23°C
Vindförhållanden:	2-3 m/s (parallellt med fasaden)
$P_i - P_u$:	-35 Pa

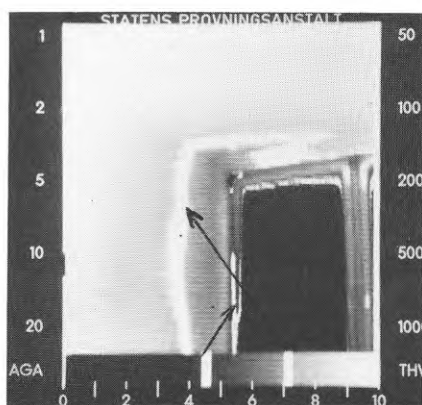
Utifrån räknat:



- a) Skiss av fogtätning mellan fönsterkarm och vägg med polyuretanskum.



- b) Termogram av ytparti vid fönstrets anslutning mot väggparti. Fullgod funktion hos tätning av fog mellan fönsterkarm och väggparti.



- c) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,7 \text{ i enh}$
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0 \text{ m/s}$

FIG 105 Exempel på fogtätning mellan fönsterkarm och vägg med polyuretanskum.

7 EXEMPEL PÅ FÖRBÄTTRINGSÅTGÄRDER

I samband med undersökningarna har termografering även använts vid kontroll av effektiviteten hos vissa förbättringsåtgärder och där brister i isoler- och täthetsutförandet först har iakttagits med hjälp av IR-kameran. Sådana exempel visas i FIG 106-122.

Varje exempel redovisas som regel på två figursidor (undantag FIG 122) där aktuell konstruktion och iakttagen brist i isoler- och täthetsutförande visas. Vidare anges utförd förbättringsåtgärd.

Termogram från aktuellt ytparti visas dels före dels efter åtgärd. I figurerna ges mätbetingelser och mätvärden på motsvarande sätt som i föregående kapitel. Kortfattade kommentarer kring aktuell undersökning ges i anslutning till figurerna.

8 BRISTER I ISOLER- OCH TÄTHETSUTFÖRANDET I BYGGNADER

8.1 Förutsättningar

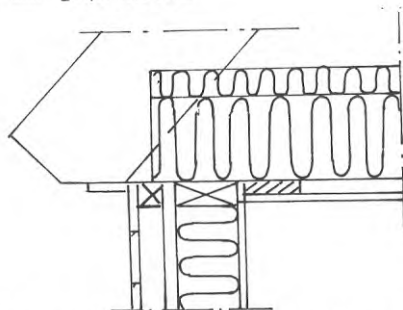
Föreliggande byggfelsredovisningar är baserade på fältundersökningar med IR-kamera under tidsperioden 1972 - 1976. Undersökningarna har avsett kvalitativ funktionskontroll av byggnaders värmeisolering och lufttäthet.

Av det totala antalet undersökta projekt, cirka 400 st, har ca 150 projekt närmare granskats med avseende på systematiska fel i isoler- och täthetsutförandet. De redovisade projekten har varit föremål för termografisk undersökning av följande skäl.

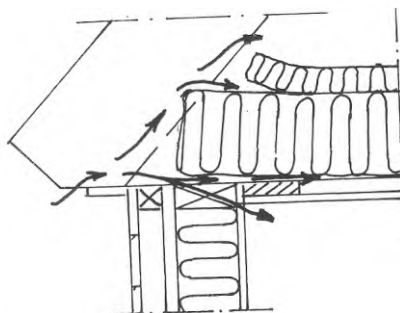
- a) Klagomål på mindre gott inomhusklimat (störande kalldrag och strålningsdrag) från de boende och påstådd onormalt hög energiförbrukning
- b) Undersökning föranledd av föreskrift i bygghandling, byggherrens eller entreprenörens önskan om provning och kontroll i byggskedet eller vid slutbesiktningstillfället.

Ovanifrån räknat:

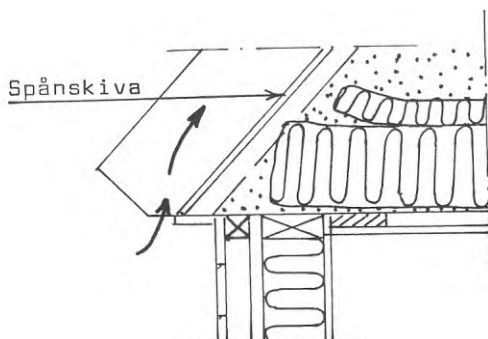
50 + 150 mm mineralull
 Glespanel
 PE-folie
 13 mm gipsskiva



a) Konstruktion av takbjälklag.



b) Skiss av iakttagen feltyp. Bristfällig tillskärning och tillpassning av mineralullen på takbjälklaget delvis på grund av förekommande el-installation.



Följande åtgärd vidtogs:

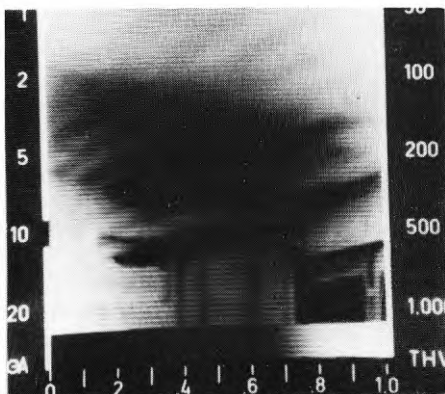
- c) Fyllning av kutterspån med en tjocklek av cirka 20 cm ovanpå befintlig mineralullsisolering med noggrann packning av materialet kring takstolar och vid takfot. Obs! Spånskiva monterades vid takfoten för att dels få materialet på avsedd plats dels tillgodose yttertakets luftning.

Resultat:

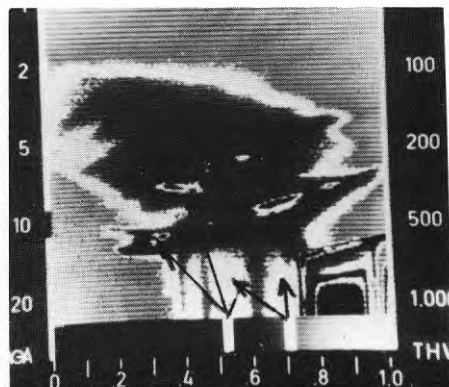
Den termografiska undersökningen av byggnadsdelen efter åtgärd visade tillfredsställande funktion hos såväl konstruktionens värmeisolering som lufttätethet. Även luftinläckningen upphörde vid takfoten. Denna undersökning utfördes cirka 1 år efter det att den första termograferingen utfördes. Se FIG 107.

FIG 106 Exempel på åtgärd (tilläggsisolering med kutterspån) på takbjälklag av trä vid sadeltak.

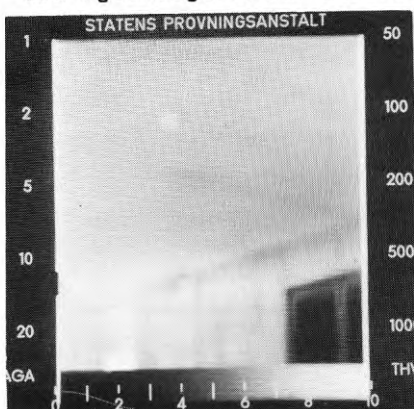
Mätbetingelser	före åtgärd	efter åtgärd
Molnighet:	mulet	klart
Lufttemp ute:	- 2°C	-17°C
" inne:	+21°C	+20°C
Vindförhållande:	vindstilla	vindstilla
$P_i - P_u$:	-5 Pa	-5 Pa



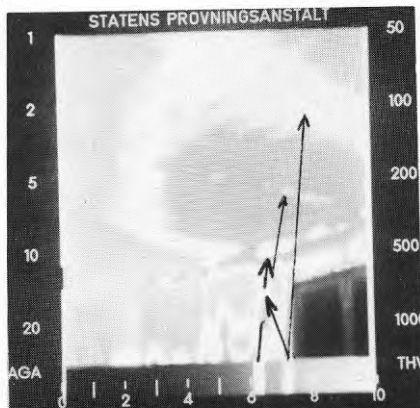
- a) Termogram av nedkyllt ytparti i tak (före åtgärd). Nedkylningen här har samband med bristfälligt isoler- och täthetsutförande enligt fig. Luftinläckning genom otät fog vid bjälklagskanten förekommer.



- b) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,9$ i enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,3 - 0,4$ m/s (vid takvinkel)



- c) Termogram av samma ytparti i tak som i bild a, efter åtgärd. Bildens utseende här tyder på en tillfredsställande funktion beträffande värmeisolering och lufttäthet.



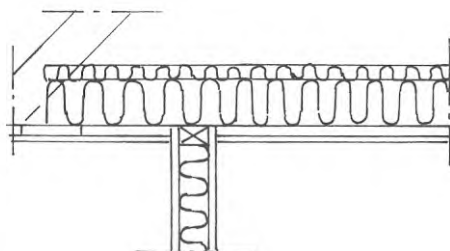
- d) $t_{ref} = 17^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,0$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 107 Termogram tagna före respektive efter åtgärd enligt FIG 106.

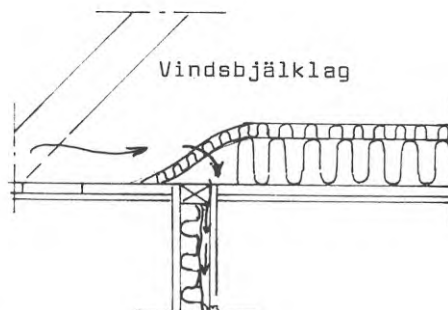
Ovanifrån räknat

50 + 150 mm mineralull
glespanel
0,13 PE-folie
13 mm gipsskiva

utifrån räknat



a) Konstruktion av takbjälklag vid indraget balkongparti.



b) Iakttagen brist i isoler- och täthetsutförandet på takbjälklaget.



c) Fotografi av takbjälklagets isolering efter tilläggsisolering.

Följande åtgärd är vidtagen;

Fyllning av kutterspån med en tjocklek av cirka 20 cm ovanpå den ursprungliga isoleringen av cirka 20 cm (se även ex 7.1).

Resultat:

Vid termografisk undersökning erhöles en påtagligt förbättrad funktion hos konstruktionsdelens värmeisolering och lufttätethet jämfört med tidigare. De konvektiva luftströmmarna i väggpartiet upphörde. Se fig. 109

FIG 108 Exempel på åtgärd (tilläggsisolering med kutterspån) på takbjälklag av trä vid sadeltak.

Mätbetingelser

Molnighet:

Lufttemp ute:

" inne:

Vindförhållanden:

 $p_i - p_u$:

före åtgärd

mulet

- 2°C

+21°C

vindstill

-5 Pa

efter åtgärd

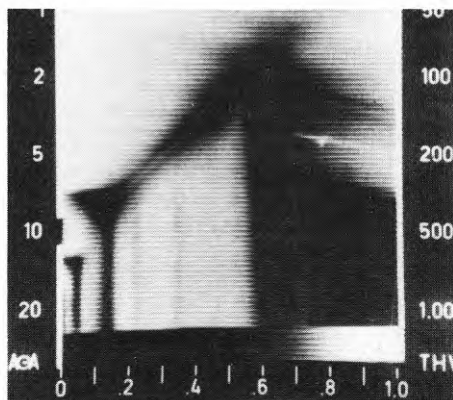
klart

-17°C

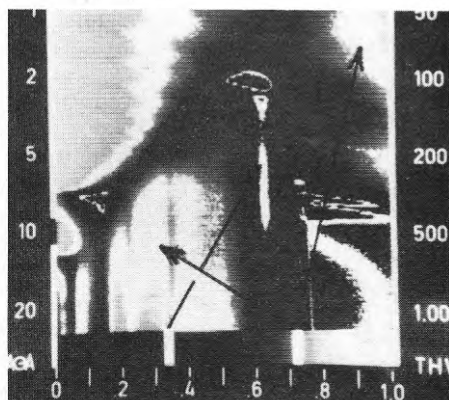
+20°C

vindstill

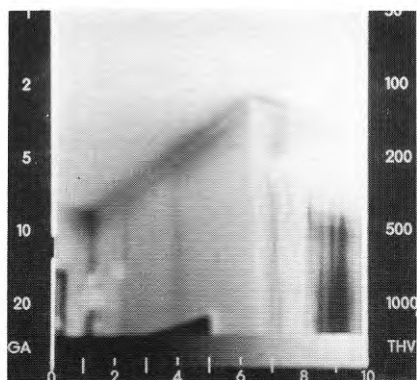
-5 Pa



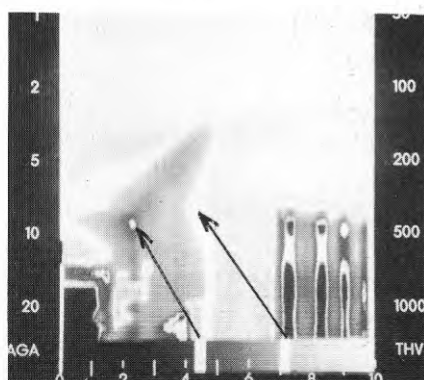
a) Termogram av nedkyllt ytparti vid takvinkel och vägg och t v om fönsterdörr (före åtgärd.) Felorsak se fig



b) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 3,8$ i enh
 $\Delta t = 5,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s



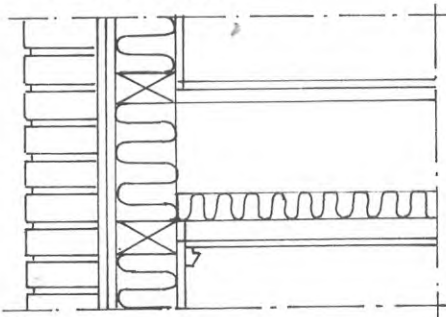
c) Termogram av samma ytparti som i bild a, efter åtgärd.



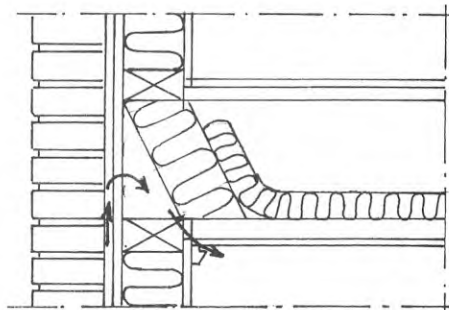
d) $t_{ref} = 18^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,8$ i enh
 $\Delta t = 4,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 109 Termogram tagna före respektive efter åtgärd enligt FIG 108.

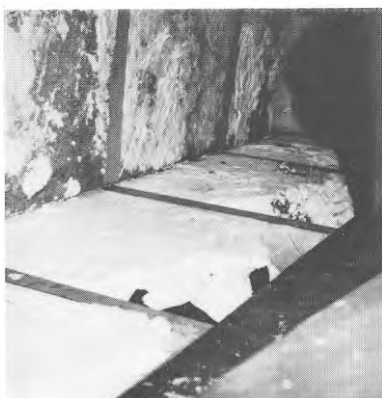
Utifrån räknat:	Golvbeläggning (Ovanifrån räknat)
Fasadtegel	Luftspalt
Asfaboard	50 mm mineralull (B-kval)
95 mm mineralull	Glespanel
PE-folie	13 mm gipsskiva
13 mm gipsskiva	



a) Konstruktion av mellanbjälklag vid anslutning mot yttervägg.



b) Skiss visande iakttaget fel i isoler- och täthetsutförandet.



c) Fotografi visande cellplastmaterialet efter insprutning.

Följande åtgärd är vidtagen:

Injicering med karbamidharts av fabrikat Isoschaum från yttervägg och 80-100 cm in i bjälklaget.

Resultat:

Vid den termografiska undersökningen av byggnadsdelen före och efter åtgärd erhöles en påtaglig förbättring av funktionen ur såväl täthets- som isoleringssynpunkt. Kontrollen utfördes cirka 2 månader efter det att åtgärden vidtogs. Krympning hos skummaterialet uppmättes till cirka 5 % vid friläggningen.

Se fig. 111

FIG 110 Exempel på åtgärd (tilläggsisolering med karbamidhartsskum) i mellanbjälklag av trä.

Mätbetingelser

Molnighet:

Lufttemp ute:

" inne:

Vindförhållanden:

 $P_i - P_u$:

före åtgärd

mulet

- 1°C

+21°C

1,0 - 1,5 m/s
(parallellt med
fasaden)

-5 Pa

efter åtgärd

klart

(termograferad fasad ej
påverkad av sol)

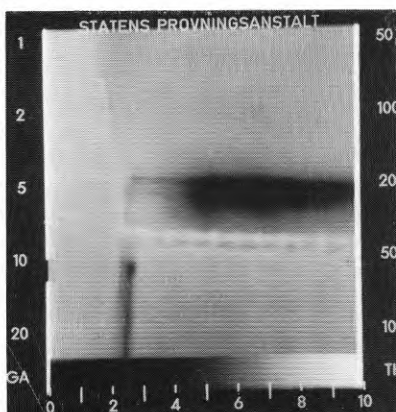
+ 4°C

+21°C

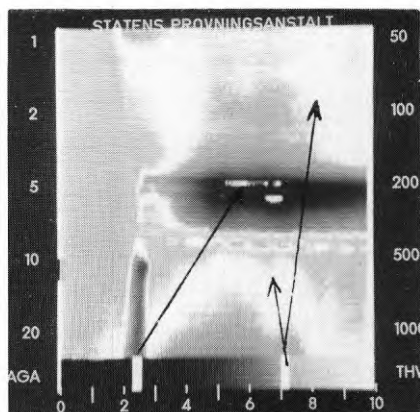
2 m/s

(parallellt med
fasaden)

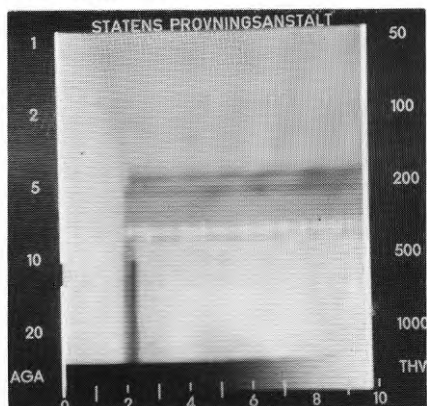
-5 Pa



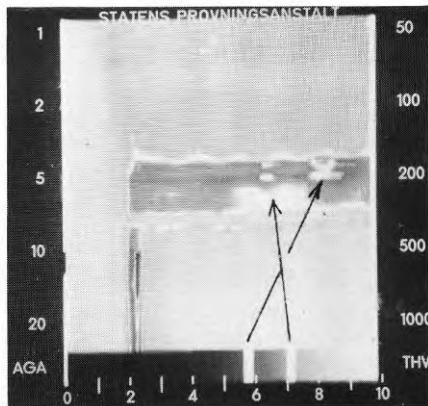
- a) Termogram av nedkyllt ytparti vid takvinkel (före åtgärd). Nedkylningen har samband med brister i isoler- och täthetsutförandet.



- b) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 4,8$ i enh
 $\Delta t = 7,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,3 - 0,6$ m/s (vid taklist)



- c) Termogram av samma ytparti som i bild a, efter åtgärd. Bildens utseende tyder på en tillfredsställande funktion hos byggnadsdelens isoler- och täthetsfunktion.



- d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,3$ i enh
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 111 Termogram tagna före respektive efter åtgärd enligt FIG 110.

Ovanifrån räknat:

Takbeläggning

Takpanel

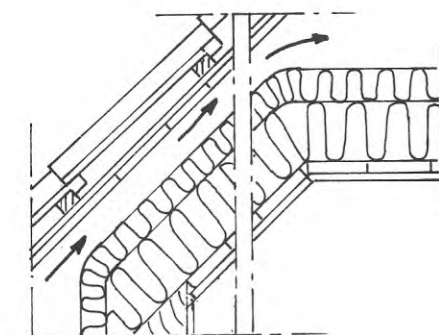
50 mm luftspalt

95 + 50 mineralull

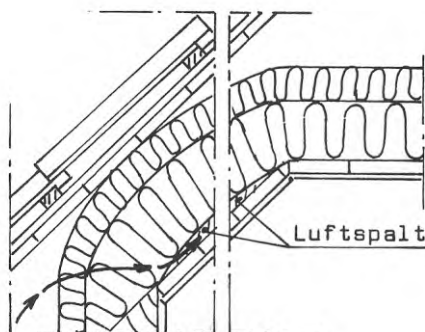
Glespanel

PE-folie

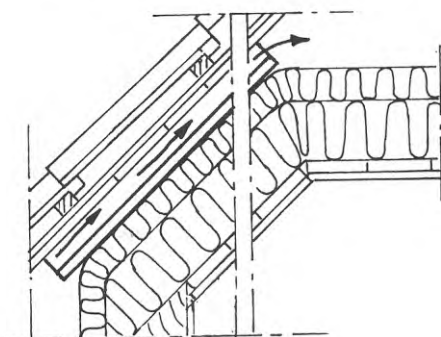
13 mm gipsskiva



a) Konstruktion av isolerat snedtak vid inredd vindsvåning (1 1/2-planshus).



b) Skiss av iakttaget fel i isoleringsutförandet.



Följande åtgärder är vidtagna:

Mellan takpanel och mineralullsisolering har träfiberskiva på läkt (3 läkt per fack) skjutits in så att packning av mineralullsisoleringen mot den varma takytan erhålls varvid en avgränsad luftspalt för luftning av yttertakets erhålles. Isoleringsmaterialet har tillrättalagts beträffande tillpassning och anliggning mot takstolar.

Resultat:

Vid termografering av ytpartiet ifråga cirka 1 månad efter vidtagen åtgärd iaktogs en klart förbättrad funktion hos byggnadsdelens värmeisolering jämfört med tidigare. Se fig. 113

FIG 112 Exempel på åtgärd (justering av mineralullsisolering och vindskydd) vid isolerat snedtakparti.

Mätbetingelser

Molnighet:

Lufttemp ute:

" inne:

Vindförhållanden:

 $P_i - P_u$:

före åtgärd

mulet

- 1°C

+21°C

1,0 - 1,5 m/s

(parallellt
med fasaden)

-5 Pa

efter åtgärd

klart (aktuell byggnads-
del har ej påverkats
nämnvärt av solen)

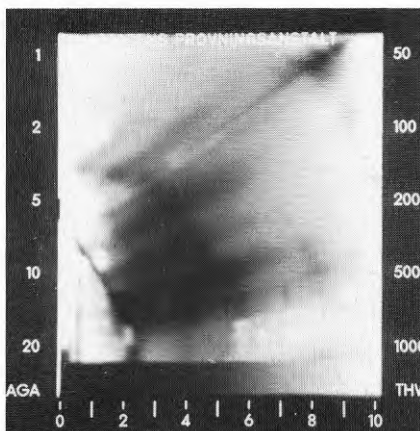
+ 4°C

+21°C

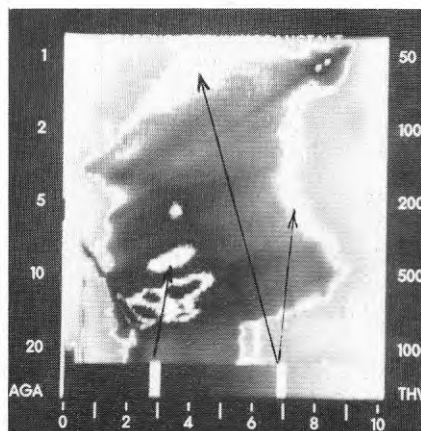
cirka 2 m/s

(parallellt
med fasaden)

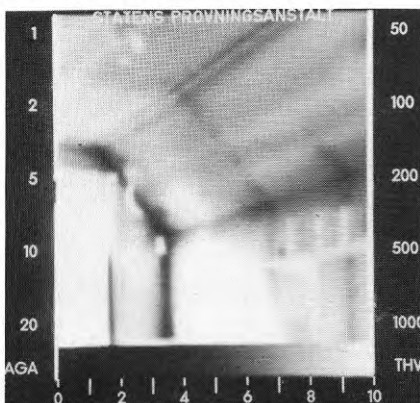
-5 Pa



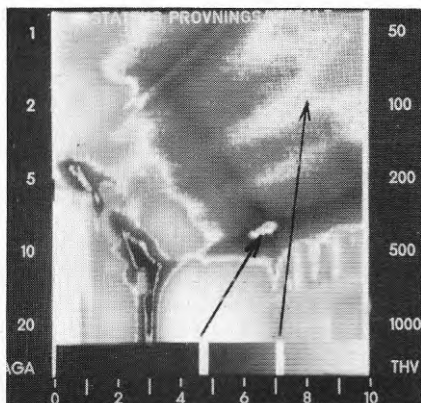
a) Termogram av nedkylt ytparti vid snedtak före åtgärd. Nedkyllningen här har samband med fel beskrivet i fig.



b) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,0$ i enh
 $\Delta t = 3,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s



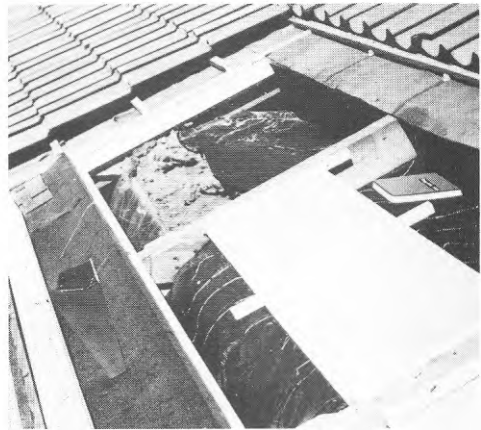
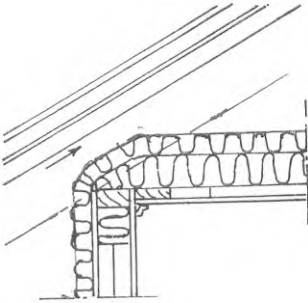
c) Termogram av samma ytparti som i bild a, efter åtgärd. Bilden tyder på att funktionen hos byggnadsdelens värmeisolering har förbättrats påtagligt. Obs! Solstrålning genom fönstret påverkar delar av vägg- och takparti (påverkar ej mätning på taket ifråga).



d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,2$ i enh
 $\Delta t = 2,0^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 113 Termogram tagna före respektive efter åtgärd enligt FIG 112.

50 + 100 mm mineralull
Glespanel
PE-folie
13 mm gipsskiva



a) Konstruktion av takbjälklag.

b) Fotografi av iakttaget fel i isoler- och täthetsutförandet (facket t v). Till höger i bilden visas vidtagen förbättring av vindsydd och isolering (utfördes från utsidan).



c) Följande åtgärd är vidtagen:

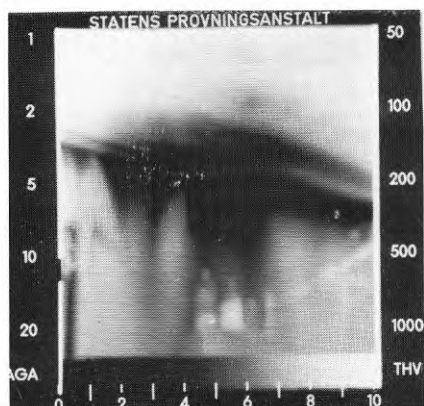
Mineralullsmattan har lyfts och noggrann packning av malen kutter-spån har utförts i partierna kring takstolarna vid takfotsanslutningen. Mineralullsmattan har noggrant lagts tillbaka och läktats fast vid bjälkar. Från utsidan har vindsyddet förbättrats med hjälp av en träfiberskiva.

Resultat:

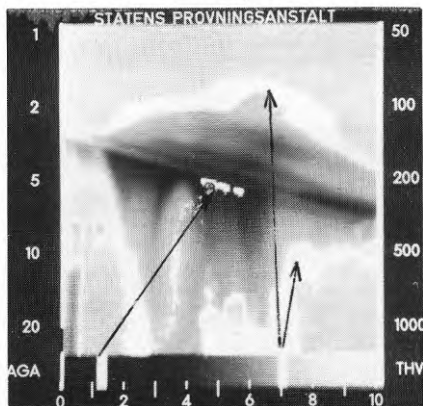
Vid termografisk undersökning av byggnadsdelen cirka 5 månader efter åtgärd erhöles tillfredsställande isoler- och täthetsfunktion. Se fig 115

FIG 114 Exempel på åtgärd (komplettering och justering av isolering) vid takfotsanslutning vid sadeltak.

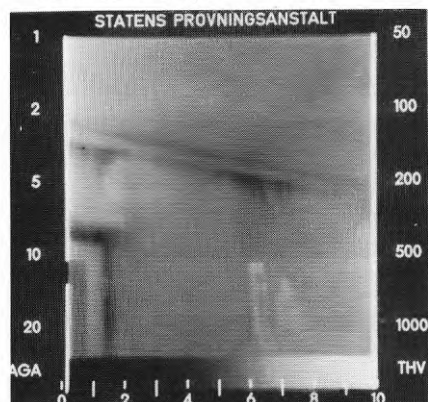
Mätbetingelser	före åtgärd	efter åtgärd
Molnighet:	mulet	mulet
Lufttemp ute:	+ 7°C	+ 8°C
" inne:	+21°C	+21°C
Vindförhållanden:	2 m/s	5-6 m/s (snett mot fasad)
$p_i - p_u$:	-20 Pa	-20 Pa



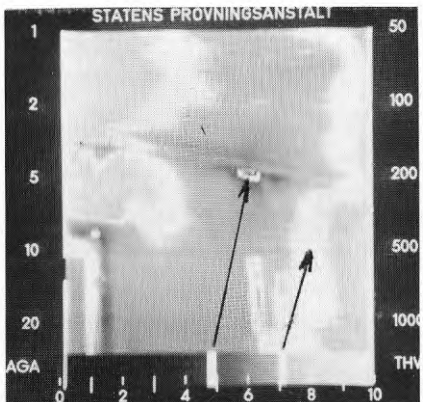
a) Termogram av nedkyllt ytparti vid takvinkel (före åtgärd). Kraftig luftinläckning förekommer här på grund av brister i isoler- och täthetsutförandet (se fig).



b) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 11,8$ i enh
 $\Delta t = 18^{\circ}\text{C}$
 $v = 1-2$ m/s (cirka 60 % av löpmeter fog här i rummet).



c) Termogram av samma ytparti som i bild a, efter åtgärd. Ett mindre luftläckage kan fortfarande iakttagas vid själva takvinkeln. Isolerfunktionen betydligt förbättrad jämfört med tidigare.

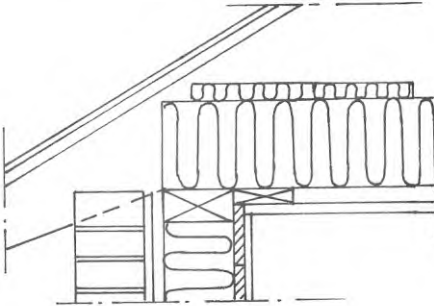


d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 2,2$ i enh
 $\Delta t = 3,3^{\circ}\text{C}$
 $v = 0,5 - 1,0$ m/s (lokalt och begränsad omfattning)

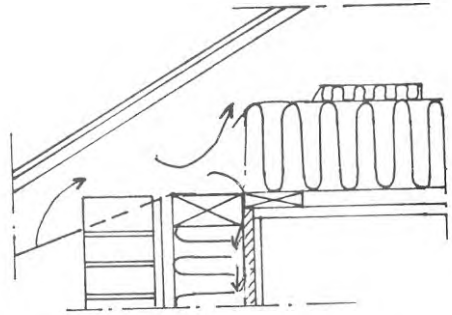
FIG 115 Termogram tagna före respektive efter åtgärd enligt FIG 114.

Bjälklaget, ovanifrån räknat:
 30 mm mineralullsmatta
 150 mm mineralullsfilt
 Glespanel
 Spånskiva

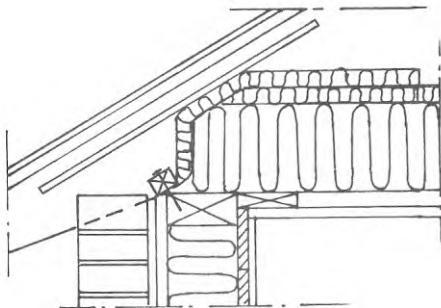
Vägg utifrån räknat:
 120 tegel
 Luftspalt
 12,5 mm impr träfiberskiva
 120 mm mineralullsskiva
 Diff tät papp
 17 mm panel
 9 mm gipsskiva



a) Konstruktion av takfot.



b) Skiss av iakttagen feltyp:
 Avsaknad av vindskydd vid takfot samt dålig anpassning av mineralullsisolering mot takstolar och hammarband.



Följande åtgärd vidtagen:

Korrigerig av befintlig isolering mot takstol och hammarband. Mineralullsmatta monterad vid takfot som vindskydd. Mattan har läktats fast vid takstolar och hammarband. För att erhålla tillfredsställande luftning av yttertakets har en träfiberskiva på läkt monterats mot takpanelen.

Resultat:

Vid termografisk undersökning för kontroll hur effektiv den vidtagna åtgärden är erhöles tillfredsställande resultat. God täthet vid takfot och jämn temperaturfördelning över ytan förelåg. Kontrollen utfördes cirka 2 år efter tidpunkten för den första termograferingen och cirka 1/2 år efter den vidtagna åtgärden. *Se FIG 117*

FIG 116 Exempel på åtgärd (justering av isoleringsmaterial och vindskydd) vid takfotsanslutning vid sadeltak.

Mätbetingelser

Molnighet:

Lufttemp ute:

" inne:

Vindförhållanden:

 $P_i - P_u$:

före åtgärd

klart (aktuell
byggnadsdel ej
påverkad av sol)

+ 5°C

+22°C

2-3 m/s

(mot aktuell bygg-
nadsdel)

-3 Pa

efter åtgärd

mulet

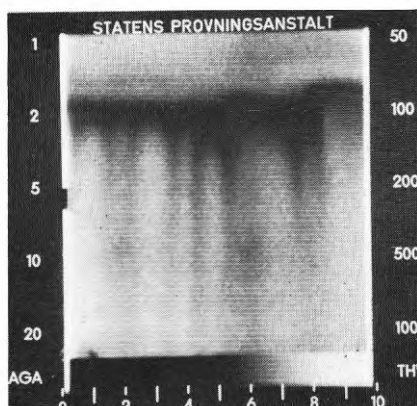
+ 1°C

+21°C

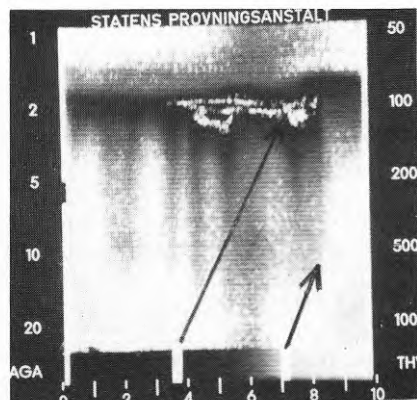
1-2 m/s

(snett mot aktuell
byggnadsdel)

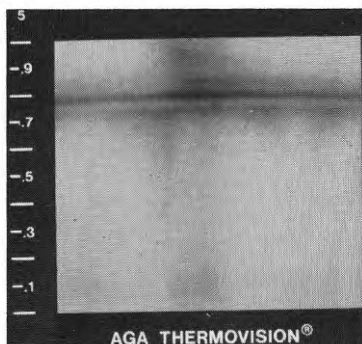
-5 Pa



- a) Termogram av nedkylt område vid takvinkel (före åtgärd). Den nedkylda ytans "tandade" form tyder på att nedkylningen har samband med luftläckage. Luftinläckning i bostadsrummet kunde ej uppmätas eller iakttagas här. Nedkylningen här har samband med att kall uteluft läcker in i konstruktionen och sprids i väggen mellan mineralullen och gipskivan.



- b) $t_{ref} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,7$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s



- c) Termogram av samma ytparti som i bild a, efter åtgärd. Bilden visar en betydligt bättre funktion hos isolering och tätning jämfört med tidigare.

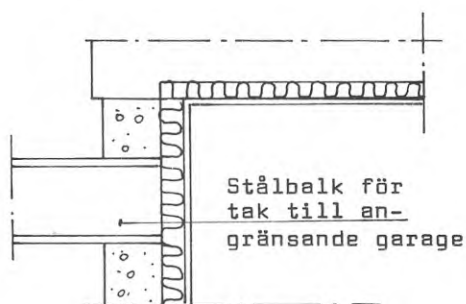


- d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,1$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

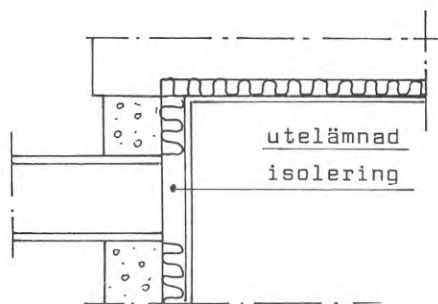
FIG 117 Termogram tagna före respektive efter åtgärd enligt FIG 116.

Utifrån räknat:

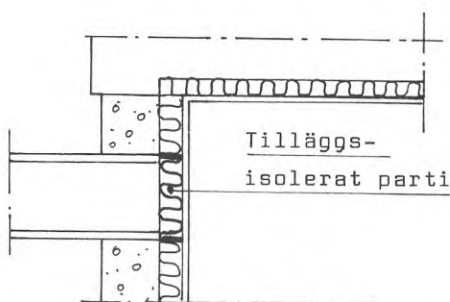
Cementputs
200 mm betonghålstén
70 mm mineralull
13 mm gipsskiva



a) Konstruktion av vägg vid anslutning av bärande balk.



b) Skiss av iakttagen feltyp. Nedkylt väggparti på grund av bristfälligt isoleringsutförande vid balkupplag. Isoleringsmaterial saknas mellan stålbalk och invändig väggbeklädnad.



Följande åtgärd är vidtagen:

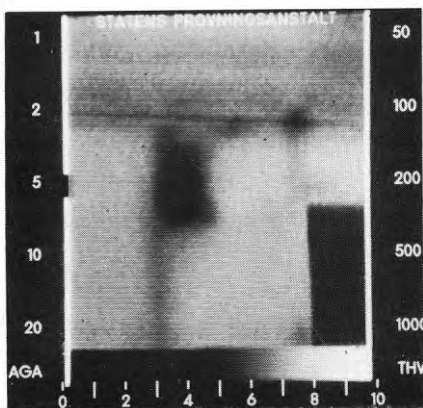
Tilläggsisolering av partiet med 7 cm mineralullsisolering i samband med friläggning av partiet från insidan.

Resultat:

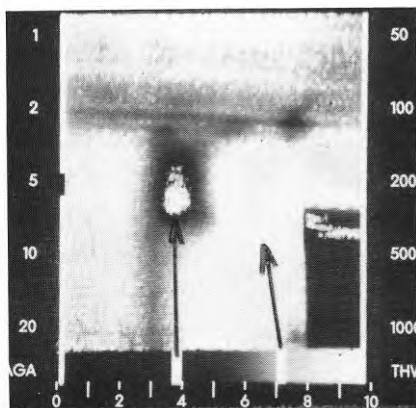
Termografering av väggpartiet efter åtgärd visar fullgod isoleringsfunktion beträffande isoleringen. Kontrollen är utförd cirka 2 år efter första termograferingen samt cirka 1/2 år efter vidtagen åtgärd. *Se FIG 119.*

FIG 118 Exempel på åtgärd (komplettering av mineralullsisolering) vid bärande balk i yttervägg.

Mätbetingelser	före åtgärd	efter åtgärd
Molnighet:	klart	mulet
Lufttemp ute:	+ 5°C	+ 1°C
" inne:	+21°C	+20°C
Vindförhållanden:	2-3 m/s (mot fasad)	1-2 m/s (snett mot fasad)
$P_i - P_u$:	-3 Pa	-5 Pa



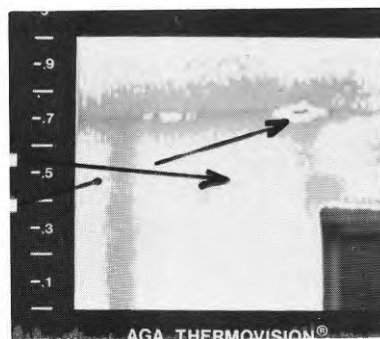
- a) Termogram av delvis nedkyllt ytparti på vägg vid takvinkel (före åtgärd). Nedkylningen här har samband med infästning av en stålbalk. Isolering vid den varma sidan har ej utförts. Se fig.



- b) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,6$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s



- c) Termogram av samma ytparti som i bild a men efter isolering av balkens kantparti här. Bilden visar en fullgod funktion hos väggens isolering.

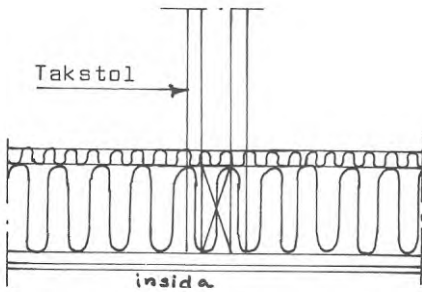


- d) $t_{ref} = 19^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,9$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

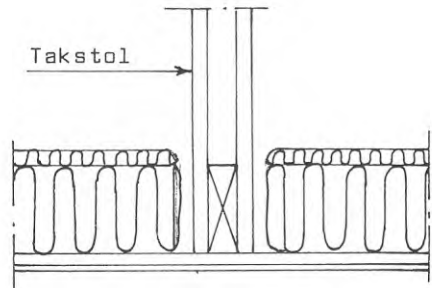
FIG 119 Termogram visande ytparti av vägg före och efter åtgärd enligt FIG 118.

30 mm mineralullsmatta
150 mm mineralullsfilt
Glespanel
PE-folie
Spånskiva

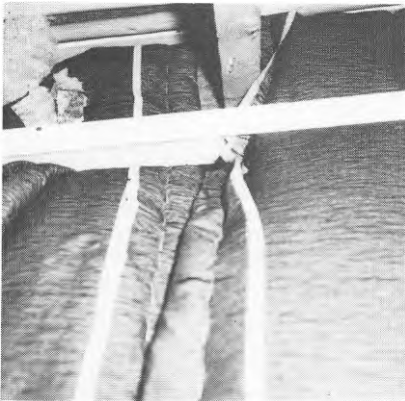
(ovanifrån räknat)



a) Konstruktion av takbjälklag.



b) Skiss av brist i isoler- och täthetsutförandet på takbjälklag kring takstol.



c) Fotografi av isolering på bjälklag efter vidtagen åtgärd.

Följande åtgärd är vidtagen:

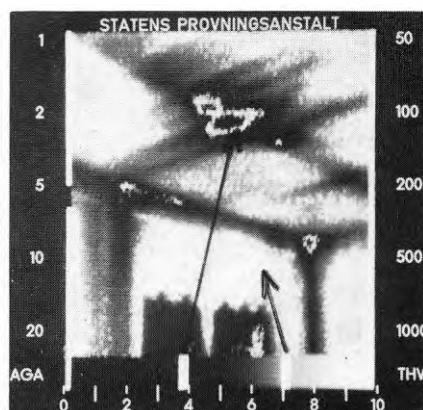
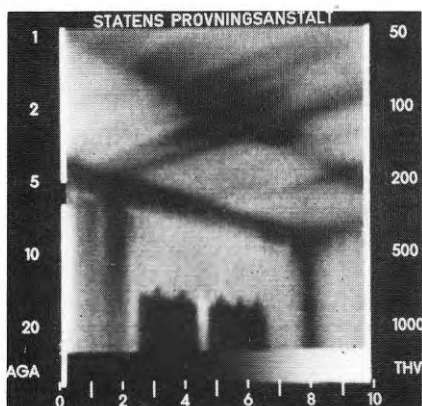
Den undre mineralullsskivan har kompletterats beträffande anpassning mot takstol. Den pappbeklädda mineralullsmattans läge på bjälklaget har korrigerats och fastspikats med läkt vid takfoten.

Resultat:

Den termografiska undersökningen av byggnadsdelen efter vidtagen åtgärd gav tillfredsställande resultat. Dock iaktogs fortfarande en mindre defekt i tak vid eluttag för taklampa. Se fig. /2/

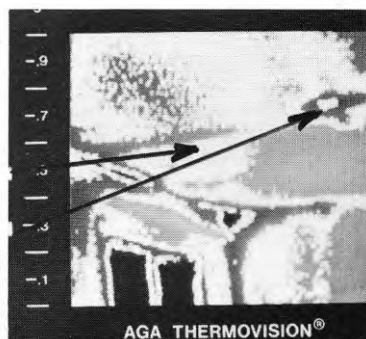
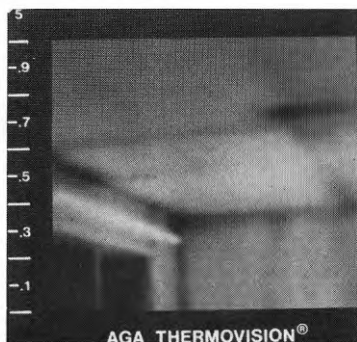
FIG 120 Exempel på åtgärd (komplettering och justering av bjälklagets mineralullsisolering) vid takbjälklag av trä.

Mätbetingelser	före åtgärd	efter åtgärd
Molnighet:	klart	mulet
Lufttemp ute:	+ 5°C	+ 1°C
" inne:	+22°C	+21°C
Vindförhållanden:	2-3 m/s (parallellt med fasaden)	1-2 m/s (snett mot fasaden)
$P_i - P_u$:	-3 Pa	-5 Pa



a) Termogram av nedkylt ytparti i tak och vid takvinkel (före åtgärd). Den nedkylda ytans form tyder på att konvektiva luftströmmar förekommer i konstruktionen.

b) $t_{ref} = 21^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,6$ i enh
 $\Delta t = 2,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

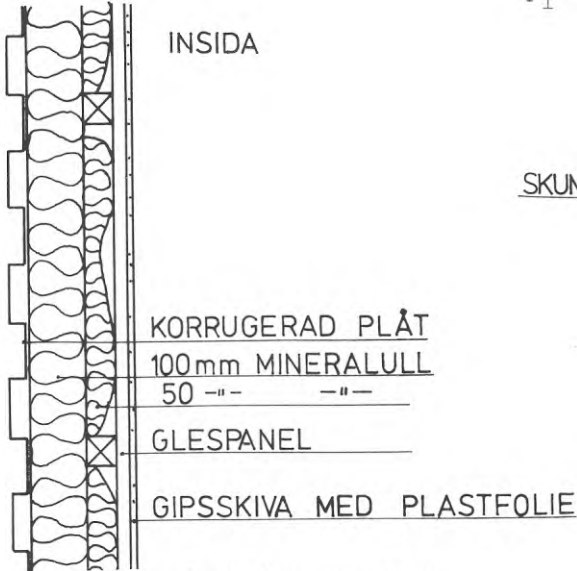


c) Termogram av samma ytparti som i bild a, efter åtgärd. Vissa begränsade nedkylda områden förekommer fortfarande i takytan och vid takvinkeln. Bildens utseende visar emellertid en klar förbättring jämfört med tidigare. Funktionen hos byggnadsdelens värmeisolering är acceptabel.

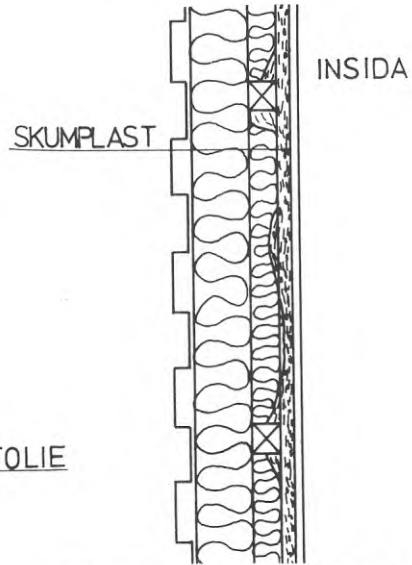
d) $t_{ref} = 20^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 1,0$ i enh
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$
 $v = 0$ m/s

FIG 121 Termogram visande ytparti av takbjälklag före och efter åtgärd enligt FIG 120.

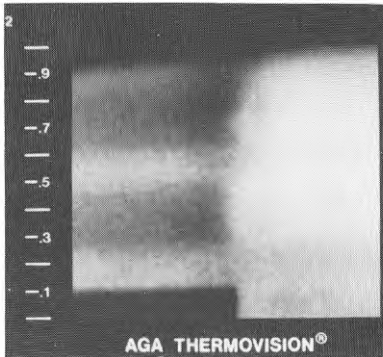
Mätbetingelser:
 Molnighet: mulet
 Lufttemp. ute: $\pm 0^{\circ}\text{C}$
 Lufttemp. inne: $+ 23^{\circ}\text{C}$
 Vindförhållande: vindstill
 $P_i - P_u$ $- 8 \text{ Pa}$



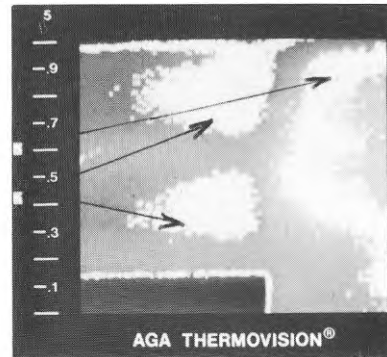
- a) Horisontalsektion av yttervägg. Mineralullsskivorna har bristfällig anpassning och utfyllnad i väggen.



- b) Ytterväggen är här tilläggsisolerad med skumplast.



- c) Termogram av väggparti där ytparti till höger motsvarar tilläggsisolerat parti enligt b) och ytparti till vänster i termogrammet är ej åtgärdat.



- d) $t_{\text{ref}} = 22^{\circ}\text{C}$
 $\Delta I = 0,9$
 $\Delta t = 1,5^{\circ}\text{C}$

FIG 122 Exempel på termografering av yttervägg, där åtgärd delvis vidtagits.

De utvalda projekten är geografiskt fördelade över hela landet med tyngdpunkt på mellansverige. Vid val av projekten har hänsyn tagits till konstruktionens utformning, materialval och arbetsmetodik. Mätningarna har i huvudsak utförts på 1-5 år gamla byggnader.

De undersökta projekten har utvalts av tillgängligt material utan att göra anspråk på att följa statistiskt riktig utvalsprincip. Materialet kan ej anses ge en korrekt bild av felfrekvensen i byggnader i allmänhet. Däremot kan det redovisade materialet ge en anvisning om förekommande feltyper samt vilka konstruktionsdelar och -typer som är mest utsatta för fel.

I de fall de aktuella byggnadsprojekten har varit uppdelade i olika byggnadsetapper, har endast de hus respektive lägenheter, som ingår i undersökt etapp medtagits i denna bearbetning. Det aktuella materialet omfattar ca 3.000 undersökta lägenheter (småhus och flerbostadshus). De undersökta lägenheterna har i allmänhet utgjort 15-20 % av antalet lägenheter i hela byggnadsetappen. Redovisningen omfattar ej enstaka lägenheter.

Vid bedömning om huruvida iakttagen brist i isoler- och täthetsfunktionen i viss byggnadsdel är acceptabel eller bristfällig har följande förenklade huvudprinciper använts. Bristfällig funktion har bedömts föreligga om

- ytpartiets nedkylning bedöms motsvara en reduktion av ca 40 % av föreskriven isoleringstjocklek. Den nedkyllda ytans storlek är mer än ca 20 % av aktuell byggnadsdel i viss rumsenhet
- uppmätt lufthastighet hos inläckande luft invid läckageställe är större än 0,3 - 0,4 m/s vid ett normalt tryckfall av ca 5 Pa över konstruktionen och luftläckning omfattar mer än 30 % av löpmeter fog eller anslutning

- uppmätt lufthastighet invid läckageställe är mer än 1-2 m/s vid ett normalt tryckfall av 5 Pa eller om konvektiva luftrörelser förekommer i konstruktionen varvid bedömning gjorts med hänsyn till kravet på dels god energihushållning, dels gott inomhusklimat samt risk för skador.

Inverkan av konstruktivt betingade köldbryggor och underdimensionerad isolering i väggar och bjälklag har ej särskilt redovisats.

8.2 Byggfelsredovisning

Materialet redovisas i form av en tabelluppställning där följande uppgifter lämnas i resp tabell,

- Typ av konstruktion
- Antal projekt materialet omfattar
- Totala antalet småhus resp lägenheter i flerbostadshus som ingår i projekten
- Antal undersökta småhus resp lägenheter i flerbostadshus med aktuell konstruktion
- Antalet småhus och lägenheter i flerbostadshus med bristfällig resp acceptabel isoler- eller täthetsfunktion hos aktuell byggnadsdel

Vid redovisning av iakttagna brister i funktionen hos byggnadens värmeisolerings- och lufttäthet har varje byggnadsdel behandlats separat med följande uppdelning:

bottenbjälklag
 mellanbjälklag
 vindsbjälklag
 isolerat yttertak (snedtak)
 takfotsanslutningar
 bjälklagsanslutningar
 ytterväggar

Kortfattade kommentarer beträffande iakttagna feltyper m m i de olika byggnadsdelarna lämnas i följande avsnitt.

Bottenbjälklag, typ bb 1. Betongplatta på mark med uppreglat golv med mineralullsisolering lagd ovan på betongplattan. Se tabell 7.

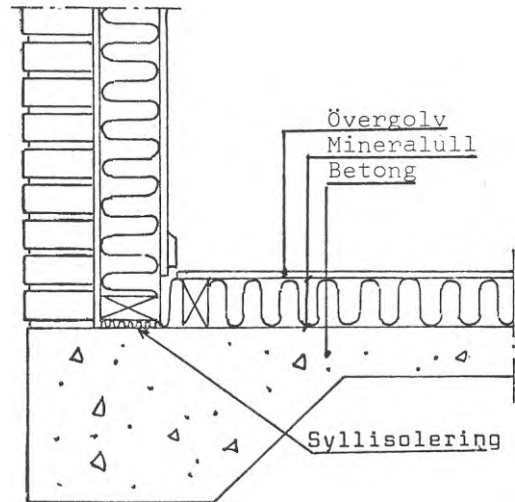
Bristfällig funktion beträffande värmeisolering och täthet föreligger i relativt stor omfattning främst hos partier intill yttervägg. Defekterna här beror som regel på bristfällig utfyllnad och tillpassning av isoleringsmaterialet vid bjälklagskanten. Luftläckage genom otät anslutning vid syll förekommer ofta. Den kalla uteluften kan spridas i bjälklag och läcka in i bostadsutrymme. Effektiv och noggrann sylltätning samt god utfyllnad av värmeisoleringsmaterialet i facken mellan golvreglarna, speciellt i det yttre randfältet krävs om fullgod funktion skall erhållas. Inverkan av förekommande köldbryggor blir härvid relativt liten.

Bottenbjälklag typ bb 2. Betongplatta på mark med mineralullsisolering placerad under betongplattan. Se tabell 8.

De brister som iakttagits här har samband med dels bristfällig sylltätning med direkt luftinläckning i bostadsutrymmet som följd, dels ojämn funktion hos kantbalkens isolering. Dessa förhållanden ger ofta upphov till onormalt kraftigt nedkylda partier på golvytor intill yttervägg. Luftinläckning i dessa partier ger som regel upphov till stora lokala temperaturvariationer med distinkta gränser i termogrammet. Ojämn funktion hos kantbalkens isolering medför mindre temperaturvariationer med som regel diffusa gränser hos de nedkylda ytorna. Denna konstruktionstyp ger emellertid upphov till lägre golvtemperatur än vid konstruktionstyp bb 1.

Tabell 7

Konstruktionsdel:
 bottenbjälklag typ bb1
 (platta på mark med upp-
 reglat golv)



Hustyp	A n t a l				
	undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
		bjlg	bjlg-ansl	bjlg	bjlg-ansl
småhus	240	92	62	148	178
flerbostadshus	14/81	4/31	0/0	10/50	14/81

Totalt antal hus/lgh i det undersökta projektet

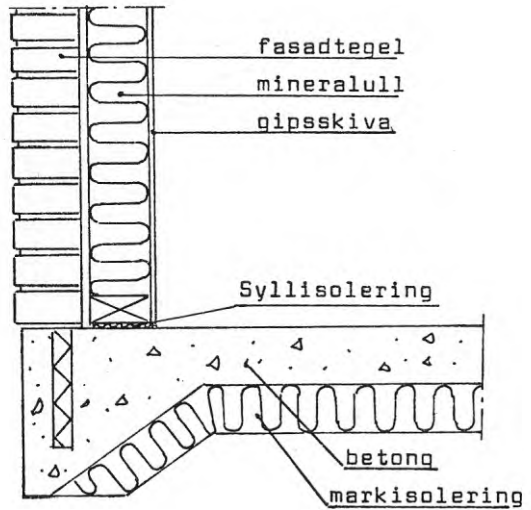
småhus 1365
 flerbostadshus 20/291

Konstruktionsdel:

bottenbjälklag typ bb2

Betongplatta på mark med mineralullsisolering placerad under betongplattan.

kantisolering



Hus typ	Antal olika projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
			bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	6	60	60	35	0	25
Flerbostadshus	4	4/33	4/33	3/21	0	1/12

Antal hus/lgh i de undersökta projekten (totalt)

småhus 205

flerbostadshus 7/165

Bottenbjälklag typ bb 3. Bjälklag på mark med lättklinkerisolering (lättklinkerkantbalk samt ytstabiliserad lättklinker) Se tabell 9.

De brister, som iakttagits vid denna konstruktionstyp, utgörs främst av luftinläckning på grund av bristfällig funktion hos sylltätningen. De nedkylda partierna begränsas i allmänhet till bjälklagets kantparti i anslutning till själva bjälklagskanten. Bjälklagets isoleringsfunktion i övrigt påverkas ej.

Konstruktionen är ur tätningssynpunkt beroende av noggrann ytavjämning vid bjälklagets kantparti samt effektivt fogtätningssystem. Konstruktionen ifrågasätter, liksom vid konstruktionstyp bb 2, upphov till något lägre golvtemperatur än vid konstruktionstyp bb 1.

Regelvägg av trä med mineralullsisolering och utvändigt beklädnad av fasadtegel alternativt träpanel yv 1. Se tabell 10

Defekter som har iakttagits i ytterväggarna, har i huvudsak samband med luftläckage genom otäta anslutningar mellan olika byggnadsdelar. Detta förhållande kan påverka värmeisoleringsfunktionen i väggpartier intill läckageställena genom att kall uteluft sprids i konstruktionen med konvektiva luftrörelser och nedsett värmemotstånd som följd. Defekterna här är därför som regel lokaliserade till partier intill fogar och anslutningar (främst bjälklagsanslutningar). Resultatet tyder på att väggens isoleringsfunktion är genomgående bättre vid användning av hög mineralullskvalitet (A-kvalitet). Isoleringsbrister mitt på obrutna väggpartier synes vara av begränsad omfattning.

Vid konstruktioner med luftspalt (tryckutjämnande) mellan värmeisoleringsmaterialet och fasadbeklädnaden har kunnat konstateras att risken för luftläckning genom konstruktionen är mindre än om ifrågasvarande luftspalt utelämnats. Vid vindlast mot fasaden får lokala defekter i väggens tätskikt större inverkan, om den tryckutjämnande luftspalten saknas än om den finns. Undersökningarna har visat vikten av att väggens tätskikt är intakt.

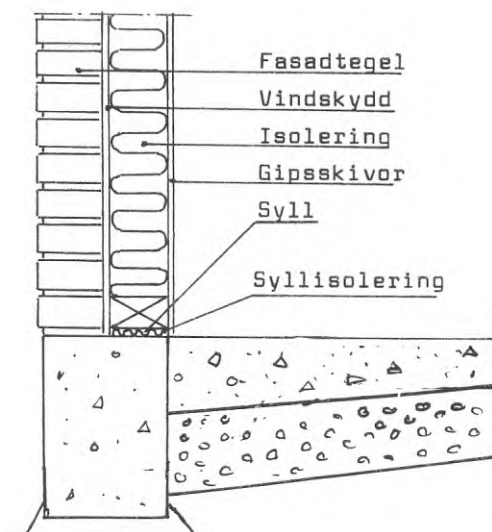
Vidare har konstaterats, att vertikala luftspalter uppkomna genom bristfälligt anpassat isoleringsmaterial mot reglar, elledningar etc, kan få betydande inverkan på värmeisoleringsfunktionen genom att luftrörelser uppstår i spalterna.

Vid prefabricerade hus föreligger ett märkbart bättre utförande beträffande ytterväggarnas värmeisolering och speciellt lufttätethet jämfört med platsbyggda hus.

Tabell 9

Konstruktionsdel:

bottenbjälklag typ bb3
(bjälklag på mark med lätt-
klinkerisolering).



Hustyp	Antal projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
			bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	36	293	293	142	0	151
Flerbostadshus	19	33/198	33/198	12/48	0	21/150

Totalt antal hus/lgh i de undersökta projekten

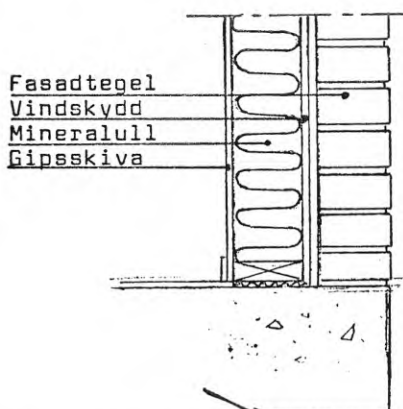
småhus 1758

flerbostadshus 56/997

Tabell 10

Konstruktionsdel:

Yttervägg yv 1



Hustyp	Antal projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
			vägg	bjlg ansl	vägg	bjlg ansl
Småhus	74	659	573	325	86	296
Flerbostadshus	27	46/280	28/166	18/106	18/114	28/172

Totalt antal hus/lgh i de undersökta projekten

småhus 3110

flerbostadshus 86/1558

Mellanbjälklag av lättbetong, mb 1. Se tabell 11.

Bristerna vid denna konstruktionstyp har som regel samband med otät anslutning vid bjälklagskanten ofta med luftinläckning i bostadsutrymmet som följd. De nedkylda ytpartierna är begränsade till bjälklagets kantparti. Bjälklaget i övrigt fungerar tillfredsställande. Vid fullgod funktion hos sylltätning erhålles en relativt liten inverkan av köldbryggan här.

Mellanbjälklag av trä, mb 2, delvis fyllt med värmeisoleringsmaterial. Se tabell 12.

Konstruktionen förekommer huvudsakligen vid småhus, varför dessa utgör huvudparten av de i undersökningen ingående projekten.

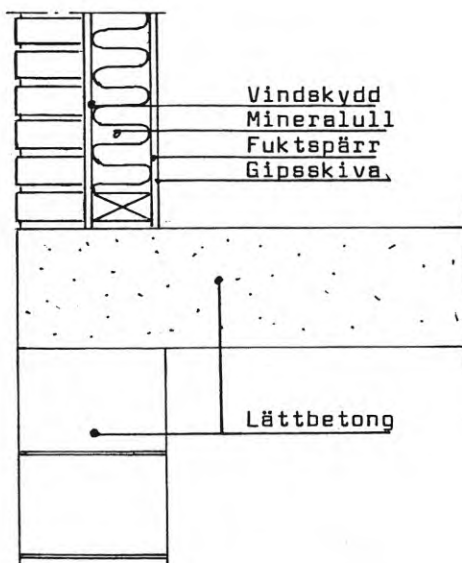
Bristerna vid denna konstruktionstyp har som regel samband med otät anslutning mellan bjälklag och yttervägg samt bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet vid bjälklagskanten med luftinläckning i konstruktionen som följd. Härigenom kan relativt stora ytor bli nedkylda i tak- och golvparter. Den inläckande luften i bjälklaget kan även spridas i mellanväggar och sedan via otäta fogar och anslutningar (eluttag) läcka in i bostadsutrymmet.

Resultaten tyder på en relativt hög felfrekvens. Här bör observeras vikten av att isoleringsmaterialet skall fylla hela utrymmet i bjälklaget vid kantpartiet, cirka 1 m från yttervägg.

Tabell 11

Konstruktionsdel:

mellanbjälklag typ m.b.1



Hustyp	Antal projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
			bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	6	41	41	7	-	34

Totalt antal hus/lgh i de undersökta projekten

småhus 41

Tabell 12

Konstruktionsdel:

mellanbjälklag, typ mb 2



Hustyp	Antal projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
			bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	37	380	80	39	300	341

Totalt antal hus/lgh i de undersökta projekten

småhus 1906

Mellanbjälklag av betong, mb 3. Se tabell 13.

Undersökningsmaterialet domineras av bjälklag i flerbostadshus.

Luftinläckning vid bjälklagsanslutning förekommer i relativt stor omfattning vid denna typ av konstruktion. Luftläckaget påverkar därvid golv - taktemperaturerna i närheten av själva läckagestället.

Defekter på grund av bristfällig isolering förekommer av konstruktiva skäl ej här. Vid bjälklag över ej uppvärmd källardel kan relativt låga golvtemperaturer erhållas på grund av bjälklagets låga värmemotstånd.

Vid denna typ av konstruktion föreligger viss köldbryggeeffekt vid bjälklagsanslutningarna.

Vindsbjälklag av trä, vb 1, vid sadeltak med mineralullsisolering och glespanelkonstruktion. Se tabell 14.

De brister som iakttagits är lokaliserade dels till takfotsanslutningen, dels till partier i takbjälklaget i anslutning till takstolar och konstruktionsvirke.

Vid takfotsanslutning föreligger som regel ej kontinuitet hos isoleringsmaterial i vägg och bjälklag. Ofta förekommer bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet i de härför avsedda utrymmena. Kontinuitet i konstruktionens yttre och inre tätskikt är ofta förbisedd. Resultatet blir genomblåsning i konstruktionen med dels nedsättning av värmemotståndet, dels luftinläckning i bostadsutrymmet som följd. Luften kan även spridas i de kanaler som bildas av glespanelkonstruktionen med nedkylda ytor relativt långt in i bjälklaget som följd.

Isoleringsdefekter i vindsbjälklaget förekommer i relativt stor omfattning på grund av att isoleringsmaterialiet ofta är bristfälligt tillpassat mot takstolar m m. Vid varierande tryckförhållanden över konstruktionen kan luften i vindsutrymmena tränga ned i springor och hålrum och spridas i kanalerna ifråga.

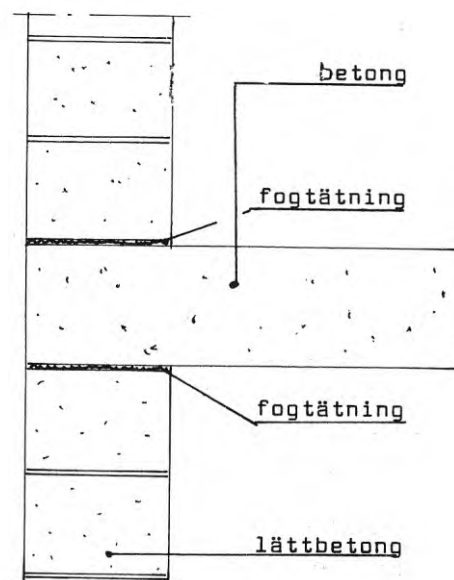
Undersökningen har visat att diffusionsspärrens placering mellan glespanel och innertaket ger generellt betydligt större möjligheter för luften att spridas i konstruktionen än vid diffusionsspärrens placering dikt mot isoleringsmaterialiet.

Vidare har konstaterats, att använt format och kvalitet hos isoleringsmaterialiet påverkar märkbart isoler- och täthetsfunktionen hos konstruktionen. Vid isoleringsmaterial med hög luftgenomsläpplighet och låg mineralullskvalitet har iakttagits, att utfyllnad och tillpassning av isoleringsmaterialiet kräver noggrannare arbetsutförande för att erhålla tillfredsställande isoler- och täthetsfunktion.

Elinstallationer i bjälklaget försvårar ofta ett fullgott arbetsutförande och medför därvid defekter i konstruktionens isolerings- och tätskikt.

Tabell 13

Konstruktionsdel:
mellanbjälklag m.b.3



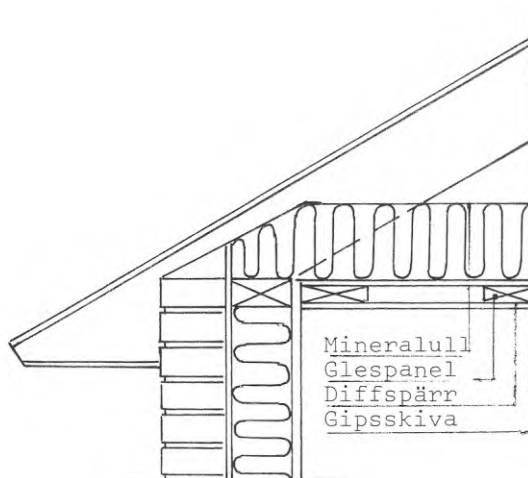
Hustyp	Antal projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion	hus/lgh med bristfällig funktion	bjlg	bjlg ansl
Flerbostadshus	14	19/155	33/805	4/32	0	15/123

Antal hus/lgh i de undersökta projekten

flerbostadshus 33/805

Tabell 14

Konstruktionsdel:
vindsbjälklag vb 1



Hustyp	Antal projekt	A n t a l				
		undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
			bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	47	243	73	65	170	178
Flerbostadshus	13	18/106	11/58	11/58	7/48	7/48

Antal hus/lgh i de undersökta projekten

småhus 1352

flerbostadshus 29/553

Vindsbjälklag av trä, vb 2, med isolerat snedtaks-
parti (inredd vind). Se tabell 15.

Konstruktionen förekommer huvudsakligen i småhus och låghusbebyggelse.

De iakttagna bristerna är lokaliserade till takfotsanslutningen (se vindsbjälklag vb 1), stödbensväggens anslutningar mot bjälklagen samt isolerade snedtaks-partiet.

Vid stödbensväggens anslutning mot mellanbjälklag föreligger ofta bristfällig tillpassning av isoleringsmaterial mot träreglar samt ojäm utfyllnad i de för isolering avsedda utrymmena. Isoleringens kontinuitet mellan stödbensvägg och bjälklag saknas ofta.

Isoleringen i bjälklag mellan de uppvärmda bostadsutrymmena i över- och bottenvåning utelämnas ofta eller utgörs enbart av en tunn (cirka 5 cm) mineralullsisolering (ljudisolering). Kontinuiteten av tätskikt i dessa anslutningar är ofta bristfällig. Dessa förhållanden kan medföra luftinläckning dels i bostadsutrymmet dels i bjälklaget (genomblåsning) och därigenom ge upphov till stora nedkylda ytpartier inne på bjälklaget. Otätheter kan även påverka stödbensväggens isoleringsfunktion genom luftinläckning i denna konstruktion.

Snedtakets anslutningar mot stödbensvägg och vindsbjälklag har visat sig vara känslig ur isoler- och täthetssynpunkt.

Snedtakets isolerfunktion visar sig ofta vara bristfällig på grund av att dels mineralullsisoleringen ej ligger an mot den inre (varma) beklädnadsskivan dels genom brister i tätskiktet. Detta ger ofta upphov till att den kalla uteluften tränger in i förekommande hålrum och kortsluter värmeisoleringens verkan. Undersökningarna har även visat att isoleringsmaterial kan ligga an mot yttertakets och förhindrar därvid erforderlig luftning av konstruktionen.

Fukt- och rötskador har i vissa fall iakttagits. Användning av distansskiva mellan isoleringsmaterial och yttertak, vilken samtidigt tjänstgör som vindskydd, har visat sig ge bättre resultat.

Vid horisontellt vindsbjälklag, är bristerna främst lokaliserade till bjälklagets anslutning mot gavelväggar på grund av dels bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterialet mot konstruktionsreglar, dels defekter i konstruktionens tätskikt. Vid glespanelkonstruktioner kan detta få effekter även inne i bjälklaget som tidigare har påpekats.

Vindsbjälklag av trä med mineralullsisolering vid plana tak, vb 3. Se tabell 16.

Undersökningarna har visat att brister förekommer i relativt stor omfattning vid takfotsanslutningen främst vid husens långsidor där isoleringsmaterialet ofta är bristfälligt tillpassat så att bristfällig utfyllnad erhålles. Ofta föreligger brister beträffande utfyllnaden av isoleringsmaterialet även på takbjälklaget vid t ex stödben och konstruktionsvirke.

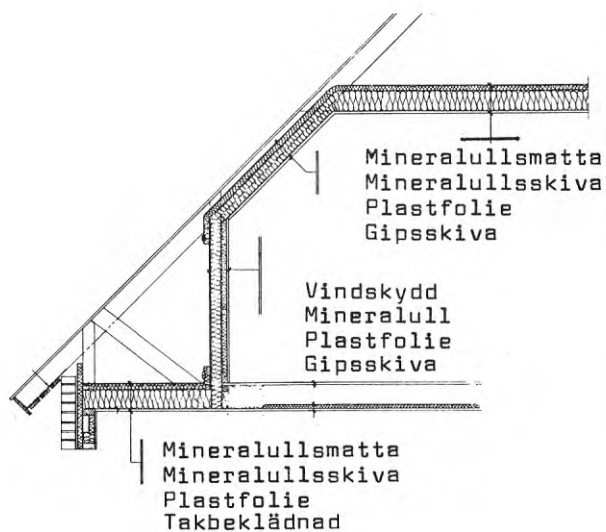
Vid bristfälligt vindskydd kan den kalla uteluften tränga in i konstruktionen i förekommande hålrum och spridas i bjälklaget, i synnerhet vid glespanelkonstruktioner.

Bristfälligt isoler- och täthetsutförande i vindsbjälklag kan även medföra att kall luft läcker in och sprids i innerväggar.

Tabell 15

KONSTRUKTIONSDDEL:

Vindsbjälklag Vb 2



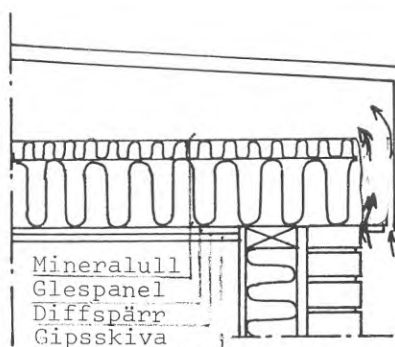
Hustyp	A n t a l				
	undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
		bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	246	40	28	206	218

Antal hus/lgh i de undersökta projekten

Småhus 1.077

Tabell 16

KONSTRUKTIONSDEL:
Vindsbjälklag Vb 3



Hustyp	A n t a l				
	undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
		bjlg	bjlg ansl	bjlg	bjlg ansl
Småhus	155	74	62	81	93

Antal hus/lgh i de undersökta projekten
Småhus 703

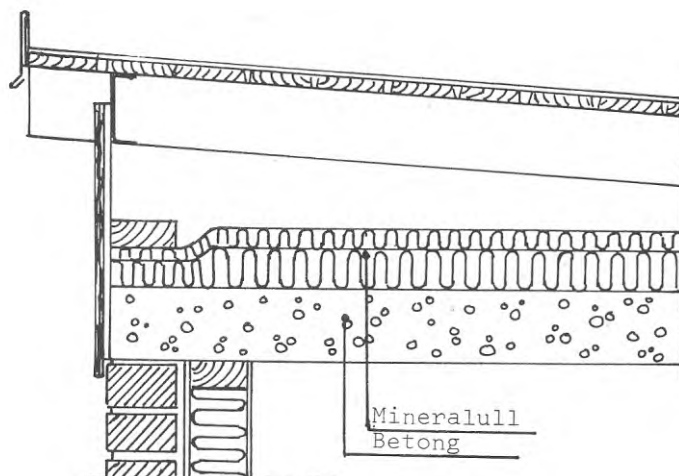
Vindsbjälklag av betong med mineralullsisolering
vid plana tak, vb 4. Se tabell 17.

Konstruktionen förekommer huvudsakligen vid flerbostads-
hus. Undersökningarna har visat att de brister, som har
iakttagits här är som regel lokaliserade till vinds-
bjälklagets kantpartier. Tillpassningen av isolerings-
materialet är ofta bristfällig med relativt kraftig
köldbryggeeffekt som följd. Vissa brister har även
iakttagits i anslutning till ventilationskanaler och
installationer på vindsbjälklag på grund av svårig-
heter att anpassa isoleringsmaterialet på ett tillfreds-
ställande sätt.

Luftläckage genom otäta anslutningar mellan bjälklag
och yttervägg synes förekomma i viss omfattning då
yttervägg och bjälklag består av olika material.

Tabell 17

KONSTRUKTIONSDDEL:
Vindsbjälklag Vb 4



Hustyp	A n t a l				
	undersökta hus/lgh i projektet	hus/lgh med acceptabel funktion		hus/lgh med bristfällig funktion	
		bjlg	bjlg	ansl	bjlg
Småhus	18	4	3	14	15
Flerbostads- hus	23/170	12/92	12/92	11/78	11/78

Antal hus/lgh i de undersökta projekten

Småhus 81

Flerbostadshus 33/778

9 ERFARENHETER

9.1 Byggnadstekniska erfarenheter

Undersökningarna har visat att brister i isoler- och täthetsutförande förekommer i stor utsträckning även i nybyggda hus. Sådana brister är ofta av systematisk karaktär och återkommer med stor regelbundenhet vid vissa typer av konstruktioner, material samt vid vissa arbetsmetoder. Orsakerna till avvikelser från avsedd funktion har samband med olämplig konstruktionslösning, mindre gott materialval samt bristfälligt arbetsutförande. Dessa faktorer samverkar som regel och en förklarad förklaring att fel beror enbart på t ex bygglarv saknar i allmänhet grund.

Vissa konstruktionsdelar är mera utsatta för misslyckanden än andra. Sådana utsatta delar är bjälklags- och takfotsanslutningar, vissa isolerade bjälklags- och snedtakspartier samt fogar mellan olika byggnadsdelar. Se FIG 123.

Luftläckage genom otäta fogar och anslutningar samt bristfällig utfyllnad av isoleringsmaterial i de partier, som är markerade i FIG 123, synes vara de mest frekventa feltyperna. Sådana fel kan ge upphov till otillfredsställande temperaturfördelning och obehagliga luftrörelser (drag) i rummets vistelsezon samt lokalt låga yttemperaturer på konstruktionens ytor med risk för kondens och smutsavsättning. Brister i konstruktionens inre eller yttre tätskikt medför risk för genomblåsning av konstruktionen och kan även ge upphov till ansamling av fukt.

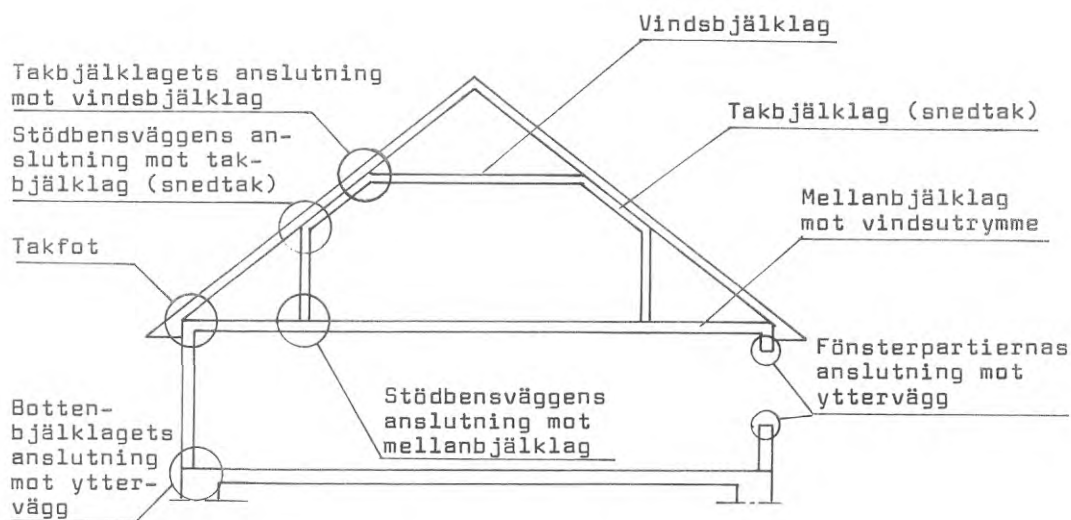


FIG 123 Skiss av småhus (1 1/2-plan) med de ur värmeisolerings- och täthetssynpunkt känsliga konstruktionsdelarna markerade.

Nya materialbesparande konstruktioner (t ex glespanel) har ofta visat sig vara mycket känsliga ur lufttäthets- och värmesynpunkt. Otätheter i s k flerskiktskonstruktioner kan ofta "kortslyta" stora delar av isolerade partier.

Undersökningarna har även visat att fabrikstillverkade hus som regel har ett bättre isolerings- och täthetsutförande jämfört med platsbyggda hus. Dock förekommer variationer inom respektive grupp.

Slutresultatet vid en byggnation hör intimt samman med ett antal olika faktorer såsom

- byggnadens konstruktiva utformning
- materialval och materialkännedom
- förekommande ledningar och installationer, t ex elledningar och rör genomföringar i konstruktionen
- arbetsmetodik och utförande

9.1.1 Konstruktion

I Svensk Byggnorm (SBN 1975 kap 33) har man uppställt ökade krav på byggnaders värmeisolering och täthet. Bl a föreskrives följande: "Värmeisolerande byggnadsdelar och anslutning mellan sådana byggnadsdelar anordnas så att sådan luftströmning inte uppkommer inne i byggnadsdelarna som olägligt nedsätter värmeisoleringsförmågan. Vidare anordnas konstruktionen så att för dess funktion och beständighet skadligt hög fukthalt inte uppkommer i de material som ingår i konstruktionen. Dessutom utformas konstruktionen så att olägliga köldbryggor inte uppkommer ...".

Dessa allmänna krav kompletteras med högsta tillåtna värden på k-värden och lufttäthet för dels byggnadsdelar, dels färdiga byggnader.

En konstruktion skall naturligtvis utformas så att ett gott utförande av dess värmeisolering och täthet är möjlig att åstadkomma med hänsyn till dagens arbetsmetodik och snabba arbetstakt. Kontrollmöjligheter av isoler- och täthetsutförandet med IR-kameran har uppenbart visat sig ha en stark preventiv effekt och påverkar även den byggnation, som ej direkt blir utsatt för provning. Det synes angeläget, att väl prövade typkonstruktioner kommer till användning i allt större utsträckning för att uppnå tillfredsställande förhållanden med hänsyn till dels energiförbrukning dels komfortkrav.

Vid konstruktioner med glespanel i bjälklag och väggar (stödbensväggar) bör diffusionsspärren placeras i skiktet närmast värmeisoleringsmaterialet. Härigenom minskas risk för luftinläckning i konstruktionen och att luft sprids i de kanaler som bildas mellan glespanelbräderna. Undersökningarna har visat att en bättre funktion erhålles hos värmeisoleringen när diffusionsspärren placeras på detta sätt. Ett visst merarbete kan dock föreligga med hänsyn till att kompletterande tätningar erfordras vid t ex elinstallationer etc.

Vid stödbensväggar i småhus med inredd vind förekommer ofta luftinläckning i väggkonstruktionen i hörnpartier, speciellt om glespanel förekommer på insidan av värmeisoleringen. Vid denna typ av konstruktion är det angeläget att fullgod tätning erhålles vid anslutning mot gavelvägg, tak och bjälklag. Stödbensväggar bör utvändigt förses med ett tillfredsställande vindskydd. Anslutning mot bjälklag måste här utföras med stor noggrannhet. Brister förekommer även vid stödbensväggens anslutning mot snedtak. Här föreligger konstruktiva svårigheter att erhålla fullgod utfyllnad av värmeisoleringsmaterial och lufttäthet i konstruktionen.

Takfotspartier är mycket känsliga ur isoler- och täthetssynpunkt. Här föreligger ofta svårigheter att få kontinuitet hos isoleringsmaterial och tätskikt. Olika sätt att utforma konstruktionsdetaljen har visat ge stora variationer i isoler- och täthetsfunktionen. Speciallösningar i form av takfotselement har visat sig förenkla arbetsutförandet och ge som regel tillfredsställande funktion.

9.1.2 Material

Högvärdiga isoleringsmaterial finns att tillgå idag. De värmeisolerande egenskaperna hos dessa är relativt väl kända. Genom laboratoriemätningar sker en relativt omfattande provning- och kontrollverksamhet (t ex VIM-kontroll). En konstruktions funktion bestäms av de enskilda materialens egenskaper. Det är väsentligt att de i konstruktionen ingående materialen "passar" ihop så att konstruktionens avsedda funktion erhålles även vid de påfrestningar, som uppstår i praktiken.

Undersökningen har visat, att mineralullsisolering av högre kvalitet (A-kvalitet) ger en bättre funktion än vid användning av lägre kvaliteter. Material av A-kvalitet synes som regel ge bättre utfyllnad i konstruktionen. Vid lägre materialkvalitet (B-kvalitet) erfordras i allmänhet ett noggrannare arbetsutförande. Mätningar på lätta takbjälklagskonstruktioner isolerade med mineralull av dels B-kvalitet, dels A-kvalitet har gett märkbar skillnad i resultatet beträffande såväl isoler- som täthetssynpunkt.

Material av lägre kvalitet har en högre luftgenomsläpplighet och är därmed mera beroende av ett fullgott tätskikt, som ofta förbises vid t ex takstolsanslutningar etc.

Förekomst av speciella isolerprodukter t ex "takstolsskiva", "vingskiva" etc kan underlätta arbetsutförandet väsentligt. Därvid minskas risk för ej önskvärda luftspalter och kanaler i konstruktionen. Utveckling och användning av sådana specialprodukter förbättrar förutsättningarna för ett gott utförande.

Vid tunga konstruktioner (lättbetong och betong) erhålles som regel en relativt tät konstruktion. Vissa problem föreligger här vid fogar och anslutningar mellan olika byggnadsdelar med olika material. Här förekommer ofta otätheter med luft- och fuktläckage som följd. Detta har samband med materialens olika egenskaper, som vid klimatvariationer utvidgar sig olika ofta med sprickbildning som följd.

Vid väggar av betong med utvändig isolering av mineralull har undersökningarna visat att isoleringsmaterialets kvalitet har en avgörande betydelse för isolerfunktionen. För att uppnå tillfredsställande funktion krävs hög mineralullskvalitet så att materialet kan limmas fast eller motgjutats mot betongväggen.

Konstruktioner av lättbetong ger ofta en relativt god lufttäthet. Undersökningarna visar emellertid att betydande sprickbildningar såväl i fogar som i själva blocken kan förekomma.

9.1.3 Tätskikt

Väsentligt för konstruktionens isoler- och täthetsfunktion inre och yttre tätskiktens funktion. Vindskydd av papp, placerat utanpå isoleringsmaterialet, har i vissa fall visat sig ge mindre god funktion. Vid friläggning av byggnadsdel har iakttagits att skador i pappen ofta förekommer i form av sönderrivna partier, bristfällig fastsättning samt otillräcklig omlottläggning. Vid uppmätning av luftrörelser i väggkonstruktioner, där brister iakttagits synes papp i vissa fall kunna ge upphov till en s k pumpeffekt d v s luftströmmar i befintliga spalter och hålrum vid varierande vindtryck på konstruktionen. Vid placering av papp innanför det yttre isolerskiktet t ex vid typ "västkustvägg" har sådan effekt ej iakttagits.

Vindskydd bestående av träfiberskivor (typ masonite) synes ej ha tillfredsställande funktion p g a svårighet med att få täta fogar dels inbördes, dels mot regelstommen, speciellt om materialet varit utsatt för fukt. Försöket att tejpa skarvar har ej givit avsedd effekt.

Vindskydd i form av asfaltimpregnerad träfiberskiva (typ asfaboard) synes som regel ge tillfredsställande resultat. Även här bör påpekas vikten av att materialet ligger dikt an mot regelstommen. Kompletterande spikning av träfiberskivorna kan erfordras om materialet blivit uppfuktat.

Undersökningar har även utförts i syfte att söka klarlägga den vindskyddande effekten hos mineralullsskivor av hög densitet med i övrigt alternativa utföranden av värmeisoleringsringen. Resultaten från mätningarna tyder på att värmeisoleringsfunktionen hos konstruktioner med ifrågavarande vindskydd är utan anmärkning under förutsättning, att isoleringsmaterialet ligger dikt an mot regelstommens utsida och har god passning inbördes. Mätningarna visar relativt hög felfrekvens där monteringsanvisningarna ej följts. Den vindskyddande funktionen synes vara likvärdig med motsvarande funktion hos andra vindskyddande material under förutsättning att montering skett enligt respektive fabrikants anvisningar.

Brister i det yttre vindskyddet får mindre menlig inverkan på isoler- och täthetsfunktionen hos en konstruktion om det inre tätskiktet är helt intakt. En plastfolie med 20 cm omlottläggning i alla skarvar, hörnpartier etc ger som regel en tillfredsställande funktion. Ett plastfolierat väggmaterial synes ej ge samma goda effekt på grund av att otäta fogar kan uppstå mellan skivorna.

Speciellt bör uppmärksammas diffusionstättning vid takpartier, takbjälklagets anslutning mot gavelväggar etc. Här kan bristande tätning medföra läckning av varm luft in i konstruktionen, varvid risk föreligger för fuktutfällning i dessa partier. Fuktskador i kombination med röt- och mögelskador har iakttagits i samband med sådana brister.

9.1.4 Fogtätning

Luftläckage genom otäta fogar och anslutningar är ofta förekommande. Vid utformning av denna konstruktionsdetalj måste hänsyn tas till att tillräcklig fogbredd erhålles så att effektiv fogtätning kan utföras. Det har visat sig att en fogbredd av 15 ± 5 mm är lämplig.

Vid fogtätning har val av material stor betydelse för täthetsfunktionen. Vissa typer av material är mindre lämpliga med hänsyn till såväl funktion som arbetsutförande. Tättningsremсор av mineralull kräver dels att remсорna viks vid monteringen i fogen dels att utfyllnaden är tillräcklig (minst två remсор krävs som regel). Se FIG Den bästa täthetsfunktionen synes erhållas vid användning av polyuretanskum, sylltättningslist av EPDM-gummi och Gullfibers "Fogfiber-system". Se FIG

9.1.5 Installationer

Elinstallationer och genomföringar i konstruktioner medför ofta problem med hänsyn till isoler- och täthetsfunktionen. Luftrörelser förekommer ofta dels i rören för elinstallationer dels i bildade kanaler mellan rör och isoleringsmaterial. Speciellt känslig är också eldragningar som utförs i anslutning till takfotspartier. Vid de fall, där elinstallationer ej har placerats i yttervägg utan placerats i t ex innervägg, har som regel en bättre isoler- och täthetsfunktion erhållits.

9.1.6 Arbetsutförande

Vid arbetsutförande används ibland utbildad personal vid montering av isolerings- och fogtättningsmaterial. Detta ger ofta upphov till mindre gott utförande p g a bristande kännedom om de olika materialens funktion och egenskaper. De som utför isoleringsarbetet skall ha kännedom om dels konstruktionens "känsliga" partier dels de olika materialsiktens funktion i konstruktionen.

I samband med fältmätningar har noterats att isolering av bjälklag utförs som regel från bjälklagets mitt ut mot bjälklagets anslutningar. Tillpassning av isoleringsmaterial och vindsydd blir härigenom ofta bristfälligt utfört vid takfot och bjälklagskanter.

Vid isolering av yttervägg är det väsentligt att fullgod utfyllnad av isoleringsmaterialet erhålles i konstruktionen såväl mot reglar som mot väggens "varma sida". Föreligger spalter eller kanaler i dessa partier, kan luftinläckning i konstruktionen förekomma t ex genom otäta fogar varigenom man erhåller en sämre isoleringsfunktion på grund av konvektiva luftströmmar i konstruktionen. Förekommer dessutom brister i diffusionsspärren, kan direkt luftinläckning i bostadsutrymmet erhållas. Isoleringfunktionen hos ytterväggar synes förbättras vid högre isoleringskvaliteter (A-kvalitet) och vid användning av hela isolerskivor som passar i facken mellan reglarna i konstruktionen. Småbitar av värmeisoleringsmaterialet ger ofta en bristfällig utfyllnad med besvärande spalter och kanaler som följd. Värmeisoleringsmaterial som monteras i olika skikt i väggen kompenserar ofta lokala brister i utförandet. Vid montering av en tyngre isolerskiva i väggens yttre del, utanpå regelstommen, erhålles en förbättrad isoleringfunktion med minskad köldbryggeeffekt som följd. Härvid måste dock kravet på gott vindskydd tillgodoses.

9.2 Mättekniska anvisningar

9.2.1 Förberedelser

Innan termografering av en byggnad utföres inhämtas kännedom om byggnadens konstruktiva utformning t ex ritningar och teknisk beskrivning.

Termografering kan utföras när angivna krav på mätbetingelser är uppfyllda. Mätning utförs som regel från insidan av en byggnadsdel för att bl a eliminera störande inverkan från yttre klimatfaktorer. Utomhusmätning kan tillämpas t ex vid orienterande mätningar på större fasadytor. Vid bristfällig värmeisolering och lufttäthet eller vid invändigt övertryck kan utomhusmätning vara fördelaktig.

Vid termografering bestäms och iakttages följande på mätplatsen:

- maximi- och minimitemperaturen under 1 dygn före mätningen (t ex med max- mintermometer eller genom uppgifter från SMHI)
- solförhållandena under ett halvt dygn före mätningen
- vindförhållanden (vindriktning och styrka) vid mättillfället
- byggnadens orientering samt omgivande bebyggelse och terräng (situationsplan)
- lufttemperatur utomhus vid mättillfället
- molnighet (nederbörd) och uppgift om ev nedfuktning av byggnadsdels yta
- tryckdifferens över byggnadens omslutande yttertytor uppmättes med t ex U-rörsmanometer. Mätning bör göras på varje våningsplan på såväl lovart- som läsida. (Undertryck skapas i byggnaden där detta är möjligt t ex med befintlig fläkt)

- ytmaterialens emittans (ϵ -värde)
- luftströmnings- och värmestrålningsförhållandena i rummet
- förekomst av ingjutna rör och varma radiatorer (stängs om möjligt av före termograferingens början)
- lufttemperaturen inomhus under mätningens gång
- referenstemperatur för bestämning av temperaturdifferenser inom värmebilden

9.2.2 Termografering

IR-kameran uppmonteras och sätts igång (bör vara igång några minuter före mätning). Kamerans funktion och inställningar kontrolleras varvid tillverkarens anvisningar följes. Översiktlig undersökning av byggnadsdelens varma yta utföres. Lämpligt känslighetsområde hos IR-kameran väljes. För att lätt kunna göra jämförelser mellan olika partier inom samma byggnad bör så långt som möjligt samma känslighetsområde bibehållas. Vid detaljstudier av utvalda ytpartier väljes emellertid erforderlig känslighet för att erhålla upptäckbara kontraster i värmebilden. Utvalda delar av objektet (såväl felfria partier som partier med misstänkta fel) dokumenteras genom avfotografering av värmebilden (termogram erhålles). För varje ytparti tages som regel en gråtonsbild och en isotermbild. Isotermer förläggs dels till felfritt parti (ytparti med "normal" yttemperatur) dels till parti med misstänkt fel eller köldbrygga. Det lägre isotermvärdet bör därvid motsvara karakteristiskt parti hos nedkyld yta (ej alltid lägsta yttemperatur). Läget hos tagna termogram markeras på t ex planskiss. Tolkning och bedömning av värmebilderna göres enligt metodik som tidigare har angivits.

Om termogrammets utseende tyder på luftläckage verifieras detta genom lufthastighetsmätning. Härvid uppmättes hastigheten hos inläckande luft invid läckage-stället med t ex varmtrådsanemometer. Uppmätta värden bör därvid vara karakteristiska för i värmebilden förekommande läckage.

För att underlätta senare rapportskrivning bör erhållna termogram monterats på härför avsedda bildsidor (exempel visas i appendix).

9.2.3 Rapport

En termograferingsrapport bör innehålla följande:

- byggnadens konstruktion (väggar, bjälklag och anslutningar)
- typ av ytmaterial (ϵ -värde) hos de termograferade partierna
- byggnadens orientering (situationsplan) samt omgivande bebyggelse och terräng
- syftet med undersökningen
- lufttemperaturförhållanden vid termograferingstillfället samt under 1 dygn före termograferingen
- solstrålningsförhållanden under 1/2 dygn före samt under mätningen
- vindförhållanden vid mättillfället
- tryckfall över byggnadsdelen
- planskiss över den undersökta byggnaden med uppgift om läget hos de i termogrammen förekommande ytpartierna
- termogram, med lägesangivelse och kommentarer av utvalda delar av de undersökta ytpartierna i byggnaden

- tolkning av termogrammen med en bedömning av de olika konstruktionsdelarnas isoler- och täthetsutföranden
- kort analys av iakttagna isolerfel beträffande typ och omfattning vid de olika konstruktionsdelarna.

Rapporten bör även innehålla en bedömning av felens inverkan samt om ev åtgärd bör vidtagas.

9.3 Termografin utveckling

De första undersökningarna i fält med IR-kameran utfördes år 1968. Riksbyggen och provningsanstalten utförde därvid vissa orienterande mätningar i syfte att närmare klarlägga metodens användbarhet. Vid provningsanstalten genomfördes ett utvecklingsarbete i syfte att närmare klarlägga förutsättningarna för termografering av byggnader samt ge förslag till tolkningsregler för värmebilder. En del av arbetet har redovisats i byggforskningsrapporten "Termografering av byggnader" publicerad 1972.

Föreliggande undersökning har utförts i syfte att bl a klarlägga IR-kamerans användbarhet och tillförlitlighet i fält och precisera metoden termografering av byggnader för rutinemässig användning i fält.

Intresset för termograferingsverksamheten har ökat markant under de senaste åren. Det har blivit alltmer vanligt att föreskriva termografering i kontraktshandlingar och att utnyttja metoden vid tvist mellan köpare och säljare. I Svensk Byggnorm 1975, Supplement 1, rekommenderas användning av IR-kamera vid särskild kontroll av byggnaders isolering och täthet.

Termografering har visat sig vara en användbar och tillförlitlig metod att undersöka en byggnads isolering och täthetsutförande om den tillämpas på ett riktigt sätt. Byggherrar och byggföretag kan uppnå stora besparingar genom att använda termografering i byggkontrollen. Metoden kan användas vid undersökningar i samband med utveckling av nya produkter och material. Termografering ger brukaren möjlighet att få en form av deklaration att byggnaden håller utlovade isolering och täthetsegenskaper.

Metoden kommer sannolikt att få stor betydelse som ett led i bevisföringen vid rättsliga tvister. I framtiden torde metoden få en ökad tillämpning p g a dels nya krav på energihushållning i byggnader, dels utvecklingen inom energiområdet.

Det ökade behovet av provning och kontroll genom termografering ställer stora krav på metodik och dess tillämpning. F n pågår utarbetande av en Svensk Standard för mätmetoden "Termografering av byggnader".

Metoden är kvalitativ och innehåller bedömningsmoment, som ställer speciella krav på kompetens och erfarenhet hos mätpersonalen. Regler för auktorisation för termografering av byggnader håller på att utarbetas vid SP.

Fältverksamheten med IR-kamera vid provningsanstalten resp Riksbyggen omfattar f n 2-3 fältgrupper. Varje grupp består av två personer (mätledare och assistent) och är utrustad med IR-kamera och nödvändig kringutrustning. Verksamheten avser att byggas ut med ytterligare ett antal fältgrupper under de närmaste åren vid såväl SP som SR.

Termografering har också introducerats i andra länder, där intresset för metoden har visat sig vara stort. Detta har inneburit internationella kontakter med såväl forskningsinstitutioner som statliga myndigheter och företag bl a i USA, Kanada, Frankrike och Sovjet.

Förslag till internationell standard har framlagts vid ett ISO-möte i Stockholm i april 1976.

10 SAMMANFATTNING

Föreliggande arbete behandlar förutsättningar att undersöka byggnaders isoler- och täthetsutförande genom termografering med IR-kamera.

IR-kameran registrerar den avgivna värmestrålningen från en yta och återger yttemperaturfördelningen (temperaturstrålningen) i form av en visuell bild (värmebild) på en oscilloskopsskärm. Vid termografering kan isolerfel och luftläckage i byggnaders omslutande ytterytor lokaliserar och kartläggas.

Principen för IR-kamerans funktion samt inverkan parametrar vid termografering av byggnader beskrivs. Krav på mätbetingelser och metodens tillämpning har undersökts.

Regler för tolkning och användning av termogram beskrivs. För att ur värmebilden hämta en så detaljerad och entydig information som möjligt beträffande isolerfelens karaktär har ett antal jämförelsetermogram från i praktiken vanligen förekommande fel i olika konstruktioner framställts. Metodens användbarhet och tillförlitlighet har kunnat verifieras vid ett stort antal undersökningar.

Erfarenheter beträffande systematiska fel i byggnaders isoler- och täthetsutförande, alternativa konstruktionslösningar samt vissa förbättringsåtgärder redovisas.

Praktiska anvisningar och lämplig arbetsgång vid termografering beskrivs.

11 APPENDIX

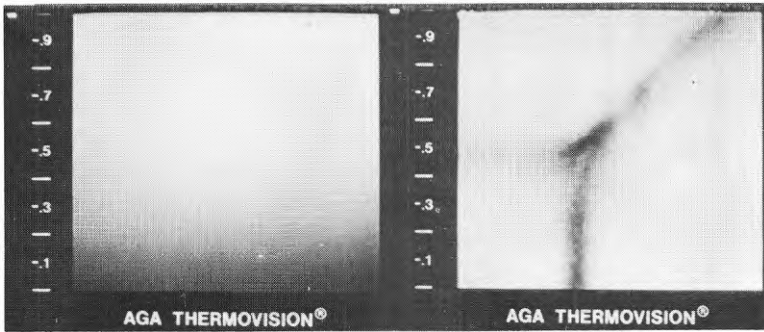
I FIG 124 visas termogrammets (värmebildens) utseende vid olika inställningar hos IR-kameran.

I FIG 125 visas kalibreringsdiagram inom området 5-25°C för AGA THV 680. Diagrammet är speciellt framtaget för den använda IR-kameran.

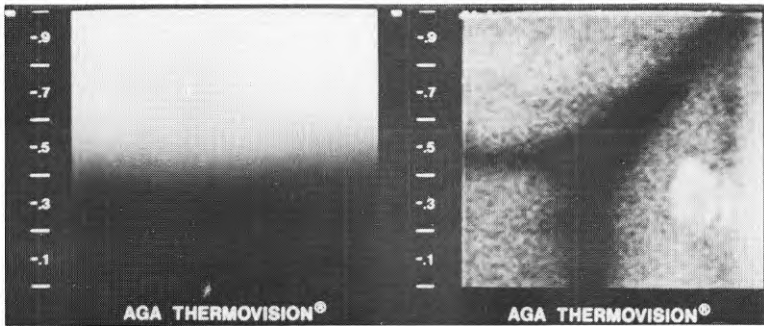
I tabell 18 ges emittansen för några vanliga ytmaterial. Emissionstalet är bestämt med hjälp av IR-kameran

I tabell 19 ges fysikaliska data för några byggnadsmaterial

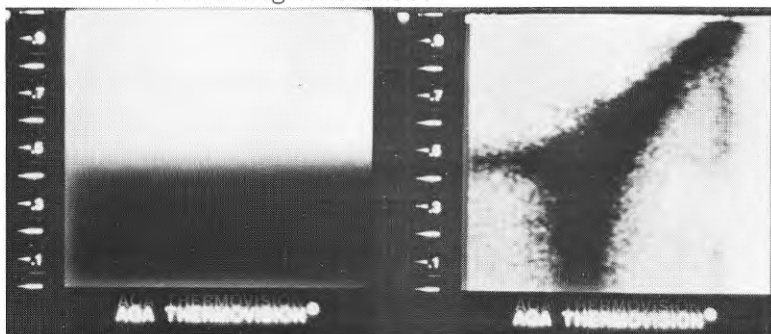
I BILAGA 1 visas förslag till montering av termogram vid redovisning av termograferingsresultat.



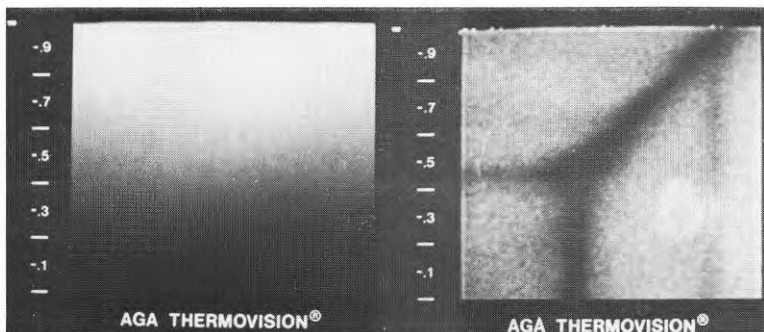
a) För låg kontrast.



b) För hög kontrast.



c) För hög kontrast och ljushet.



d) Rätt inställning och gråskala.

FIG 124 Exempel på variation av termogrammets utseende, beroende på olika inställning av gråskala.

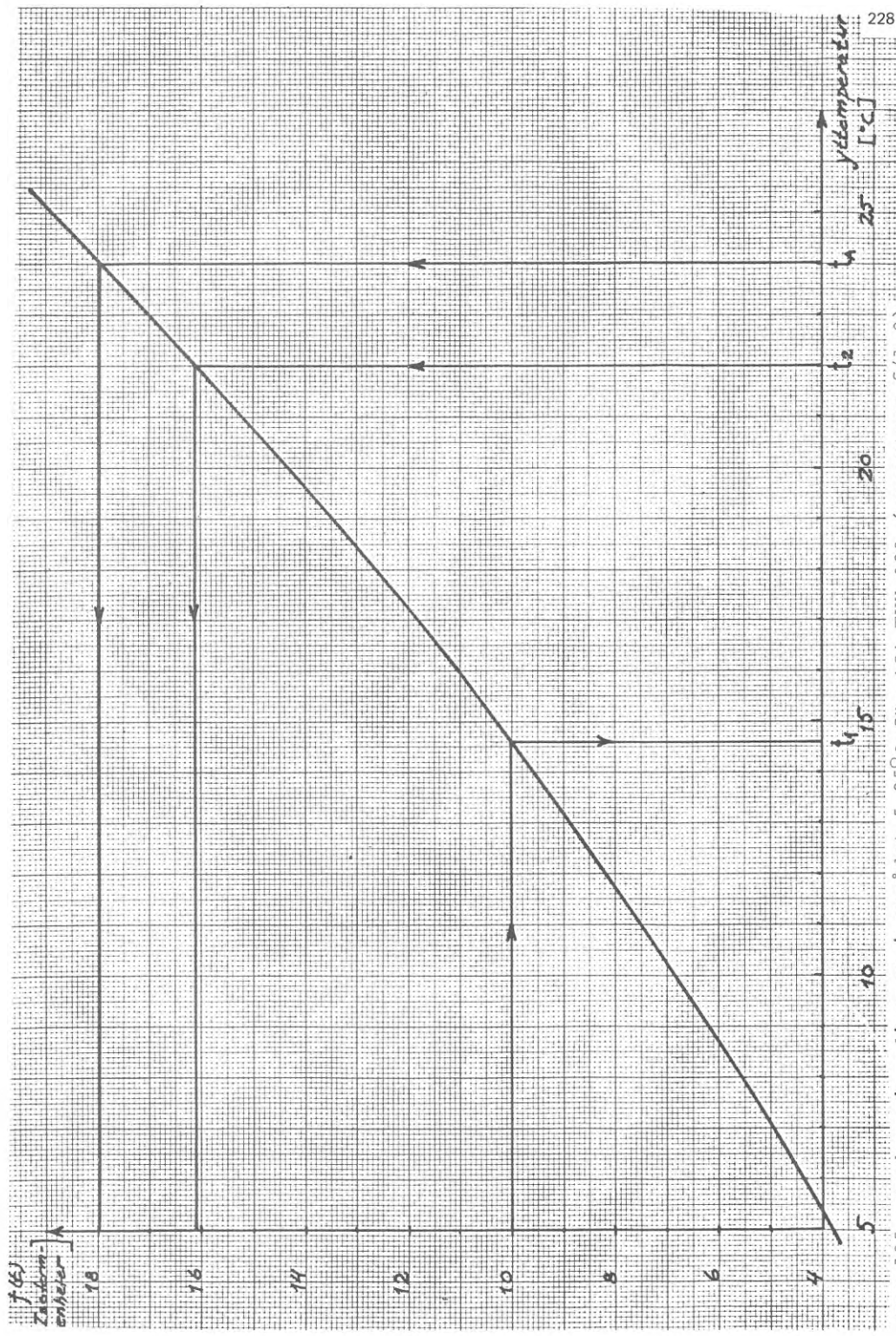


FIG 125 Kalibrierungsdiagramm i området 5-25°C för AGA THV 680 (appertur, f/1.8)

med inlagt tillämpningsexempel.

Tabell 18. Emissionstal, inom våglängdsområdet
2-5,6 μm , för några vanliga ytmaterial.

Ytmaterial	Emissionstal
Träfiberplatta (porös), obehandlad	0,85
Träfiberplatta (hård), obehandlad	0,85
Plywood, obehandlad	0,83
Furu (hyvlad), obehandlad	0,83
Furu (ohyvlad), obehandlad	0,84
Gipsplatta, obehandlad	0,90
Spånplatta, obehandlad	0,90
Sandspackelfärg, vit	0,88
Oljefärg, grå matt	0,97
Oljefärg, grå blank	0,96
Oljefärg, svart matt	0,94
Oljefärg, svart blank	0,92
Plastfärg, vit	0,84
Plastfärg, svart	0,95
Kaduvinlack, matt	0,93
Tapet (svagt mönstrad), ljusgrå	0,85
Tapet (svagt mönstrad), röd	0,90
Plasttapet, vit	0,84
Plasttapet, röd	0,94
Juteväv, ofärgad	0,87
Juteväv, grön	0,88
Fasadtegel, röd	0,92
Fasadtegel, gul	0,72
Puts, grå	0,92

TABELL 19. FYSIKALISKA DATA FÖR NÅGRA
 BYGGNADSMATERIAL¹⁾

Material	γ kg/m ³	λ W/m°C	$\delta \cdot 10^7$ m ² /s	c_p J/kg°C	$\alpha \cdot 10^6$ 1/°C	Hygr fukthalt i kg/m ³ vid RF =			
						30%	50%	70%	90%
Granit	2700	3,49	-	800	8				
Betong	2300	1,75	3	880	14	19	28	39	56
KC bruk	1800	1,05	9	~800	9	20	30	42	70
Gasbetong	510	0,15	40	1050	8	16	20	22	40
Kalksandsten	1800	0,93	9	840	8	6	9	15	45
Tegel	1500	0,58	50	840	4-6	18	20	22	25
Asbestcement	1800	0,58	20	840	10	5	8	10	40
Internit	1950	0,24	6						
Fönsterglas	2600	0,81	-	750	8,5				
Trä furu	500	0,14	1,5	2300		40	50	70	140
Spånskiva	600	0,14	8			35	45	65	130
Trällsplatta	~300	0,08	55			13	18	23	35
Hård träfiberskiva	1000	0,13	3	1350		60	80	100	190
Halvhård "	600	0,08	18	1350		40	55	70	120
Porös "	300	0,052	75	1350		20	23	30	55
D:o asfaltimpregn.	300	0,07	45			11	13	19	28
Korkplatta	140	0,041	5	1900		10	12	15	25
Mineralull kval. A	x)	0,041	175	750		2	2	2	4
" kval. B	x)	0,047	175	750		2	2	2	4
Cellplast, polystyren	15-30	0,041	10	1400		0,2	0,2	0,2	0,3
Gipsskiva	900	xx)	15	840	25	15	17	20	100
Linoleum		0,25	0,1			20	30	50	90
Al	2700	~200	-	890	23				
Cu	8900	~380	-	385	16				
Stål	7800	~60	-	460	12				

x) varierande

xx) se Kommentarer till Svensk Byggnorm 1977:3,
tabell B 33.21

λ : 1 kcal/m·h·°C = 1,163 W/m·°C

c_p : 1 kcal/kg·°C = 4187 J/kg·°C

δ : fukt diffusionstalet

α : termiska längdutvidgningskoefficienten

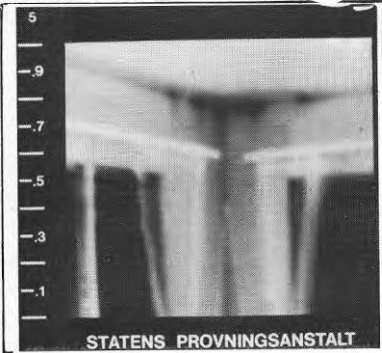
Objekt _____

231

GRÅTONSBILD NR 1

ISOTERMBILD NR 2

Hus/lgh 1



P A

Takhorn i v-rum

$t_u -6$ $t_i 25$ $t_r 23$

$t_i - t_u 31$ $\Delta p -5$

$\Delta I 2,5$ $\Delta t 4,0$

v 0,2

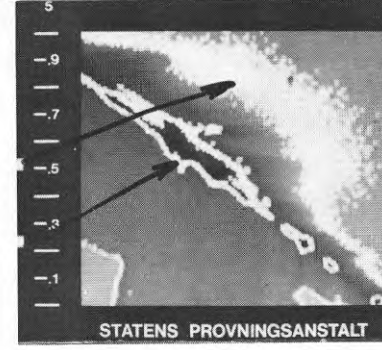
v _____

- Förväntad-jämn temp.fördelning hos ytparti vid
- Nedkylta ytpartier vid takvinkel (luftläckage) (30%).
- Nedkylta ytpartier vid anslutning mellan yttervägg
- Luftläckage genom otät fog mellan karm-vägg och karm-båge.....

GRÅTONSBILD NR 3

ISOTERMBILD NR 4

Hus/lgh _____



P B

Takvinkel i v-rum

$t_u -6$ $t_i 25$ $t_r 23$

$t_i - t_u 31$ $p -5$

$\Delta I 1,4$ $\Delta t 2,0$

v 0

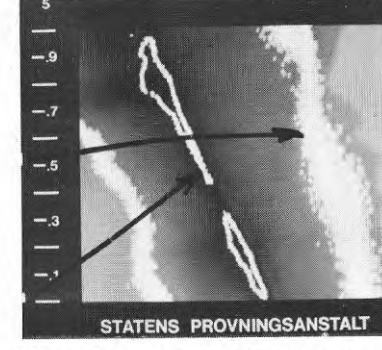
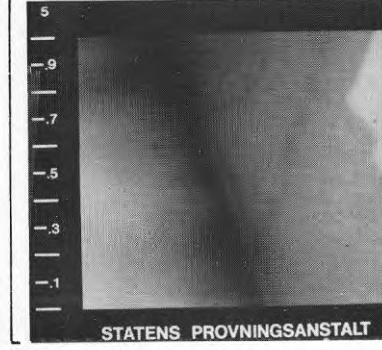
v _____

- Förväntad-jämn temp.fördelning hos ytparti vid
- Nedkylta ytpartier vid tak (vid bjällkorgsanslutning) (30%).
- Nedkylta ytpartier vid anslutning mellan yttervägg
- Luftläckage genom otät fog mellan karm-vägg och karm-båge.....

GRÅTONSBILD NR 5

ISOTERMBILD NR 6

Hus/lgh _____



P C

Golvvinkel v-rum

$t_u -6$ $t_i 25$ t_r _____

$t_i - t_u 31$ $\Delta p -5$

$\Delta I 2,6$ $\Delta t 4,0$

v 0,2-0,3 (vid golvlister)

v _____

- Förväntad-jämn temp.fördelning hos ytparti vid
- Nedkylta ytpartier vid golvvinkel (luftläckage) (40%).
- Nedkylta ytpartier vid anslutning mellan yttervägg
- Luftläckage genom otät fog mellan karm-vägg och karm-båge.....

12 LITTERATUR

- /1./ Adamsson, B, 1974: Energikonsumtion för lokal-komfort och hushåll. Kursmaterial i samband med kurs "Rationell energianvändning genom förbättrad byggnads- och installationsteknik" arrangerad av STF Ingenjörsutbildning 1974-10-17--18, i Stockholm.
- /2./ Andreasson, S, Gustafsson, D, 1971: Luft-rörelser vid byggnader (Institutionen för byggnadskonstruktionslära, LTH), Kompendium i byggnadsteknik, Lund.
- /3./ ASHRAE Handbook of Fundamentals, 1967, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc., New York.
- /4./ Bankvall, C, 1969: Temperaturbestämning av värmeisoleringsundersökning genom strålningsmätning (Institutionen för byggnadsteknik, LTH). Rapport 11, Lund.
- /5./ Brown, G, 1959: Ytterväggars värmeisoleringsförmåga, Statens nämnd för byggnadsforskning, Stockholm.
- /6./ Clark, JA, 1963: Theory and Fundamental Research in Heat Transfer, Pergamon Press, Oxford.
- /7./ FOA orienterar om infrarödteknik nr 11, Försvarets Forskningsanstalt, Stockholm.
- /8./ Kommentarer till Svensk Byggnorm 1977:3, Energihushållning m m, Statens planverk, Stockholm.
- /9./ Love, TJ, 1968: Radiative heat transfer, Charles E. Merrill Publishing Company, Columbus, Ohio.
- /10./ Nevander, L-E, Bankvall, C, 1968: Värme (Institutionen för byggnadsteknik, LTH) Kompendium i byggnadsteknik, Lund.
- /11./ Operating Manual AGA Thermovision System 680/102 B, AGA, Lidingö.
- /12./ Paljak, I, Pettersson, B, 1972: Termografering av byggnader, Statens institut för byggnadsforskning, Stockholm.

- /13./ Pettersson, B, 1976: Lokalisering av isolerfel och luftläckage i byggnader med hjälp av IR-kamera, Statens provningsanstalt, SP-RAPP 1976:15, Borås.
- /14./ Rapport avseende energiförbrukningens utveckling 1973-1976 samt prognos för 1977, Energisparkommittén, Stockholm.
- /15./ Sparrow, E M, Cess, R D, 1967: Radiation and heat transfer, Brooks/Cole Publishing Company, Belmont, California.
- /16./ Svensk Byggnorm 1975, Supplement 1, Energi-hushållning m m, 1976, Statens planverk, Stockholm.
- /17./ Tamura, G T, Wilson, A G, 1964: Air leakage and pressure measurements on two occupied houses, ASHRAE Transactions Vol 72, New York.
- /18./ Wolfe, W L, 1965: Handbook of military infrared technology (US Government printing Office), Washington.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag C 498 och C 780
från Statens råd för byggnadsforskning till Svenska Riksbyggen
och Statens provningsanstalt, Stockholm.**

R54: 1977

**ISBN 91-540-2742-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6600654
Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm
Telefon 08-24 28 60**