

Prosjektrapport 22

Jarle R. Herje

# Varmetekniske målinger

Beskrivelse av utstyr og metoder  
ved NBI Trondheimsavdelingen

Norges byggforskningsinstitut 1987

Prosjektrapport 22

**Varmetekniske målinger**

Beskrivelse av utstyr og metoder  
ved NBI Trondheimsavdelingen

av Jarle R. Herje

UDK 536.5

ISBN 82-536-0253-7

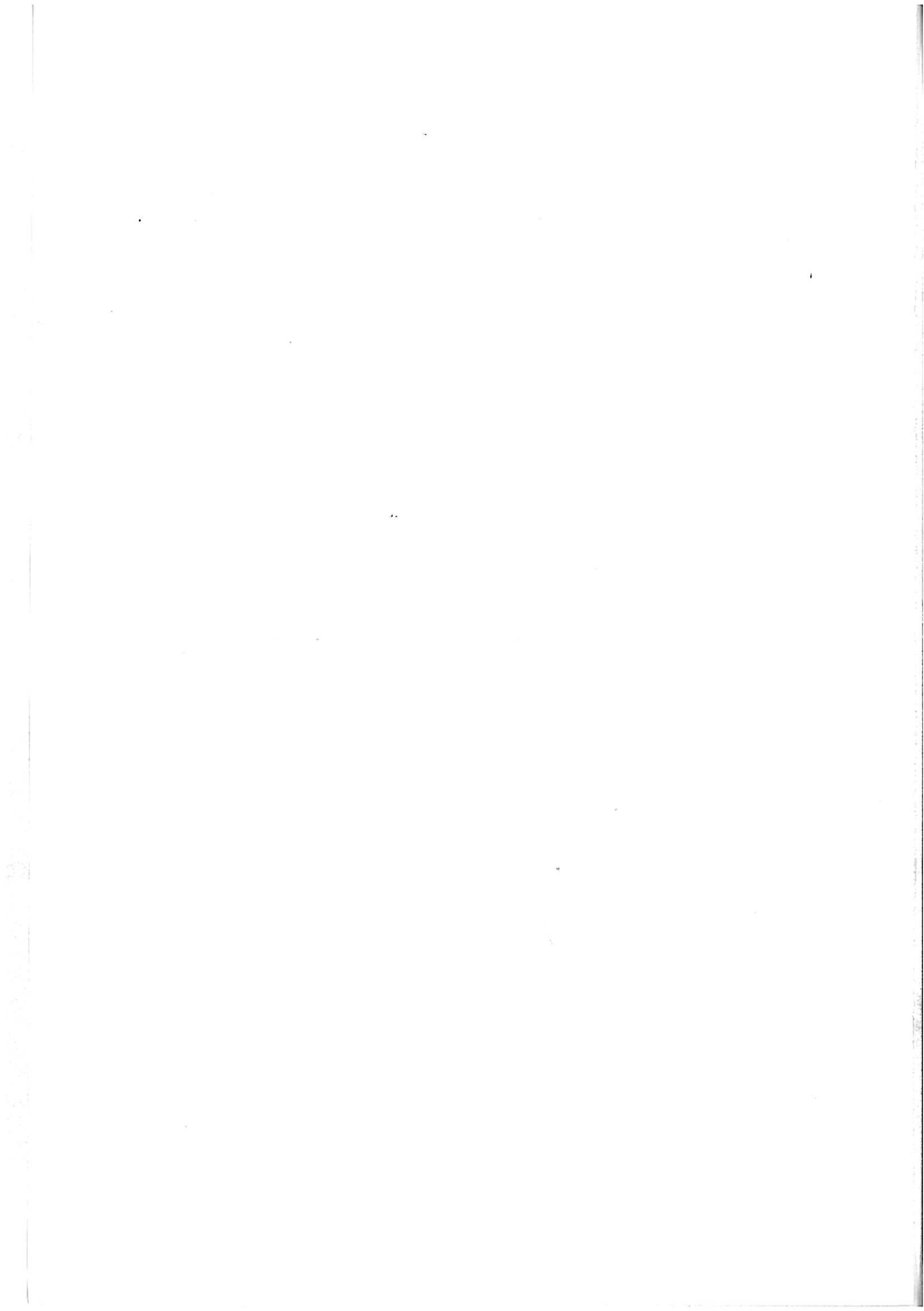
Opplag: 200 eksemplarer  
Strindheim Trykkeri A/L, Trondheim

Norges byggforskningsinstitutt 1987

**Adresser:**

Forskningsveien 3B, Postboks 123 Blindern, 0314 OSLO 3

NBI Trondheimsavdelingen, Høgskoleringen 7, 7034 TRONDHEIM NTH



INNHold

1.	Innledning	side 3
2.	Varmeisolasjonsmaterialer, typer	" 4
3.	Historikk, NBI	" 5
4.	Måleutstyr for materialer	" 6
5.	Måleutstyr for konstruksjoner	" 8
6.	Feltnålinger	" 11
7.	Internasjonal tilknytning	" 12
	English summary	" 13

## Forord

Norges byggforskningsinstitutt har i en årrekke arbeidet med forskning og rådgivning vedrørende bygningers varmetekniske egenskaper. Det har hatt sammenheng med energisparing, inneklime, etc.

Ved NBI Trondheimsavdelingen anskaffet og utviklet man tidlig apparatur både for eget bruk, salg til bedrifter for deres egenkontroll og til andre laboratorier.

Med energikrisen og utviklingen av nye prinsipper for måleteknikk, nye isolasjonsmaterialer, nye konstruksjonsmetoder etc., ble det behov for en omfattende revurdering av våre opplegg. Det var nødvendig å utnytte de nye mulighetene som forelå. Dessuten måtte nye behov dekkes fordi nye, ukjente materialer, materialkombinasjoner og materialanvendelser var på vei inn.

Vår målsetning var at vi fortsatt skulle kunne tilby brukere, kontrollorganer og produsenter all nødvendig hjelp og rådgivning ved utvikling og bruk av varmeisolasjonsmaterialer til alle formål i byggefaget.

Denne rapporten beskriver kort de viktigste utstyrsenheter og laboratorietjenestene vi nå kan stille til rådighet for løsning av behov og problemer i byggefaget. Vi mener at den kan være nyttig for virksomheter som har behov for å få utført målinger både i forbindelse med produktutvikling og kontroll m.m. I tillegg til dette kommer vår kapasitet mht. utredninger, beregninger og teoretiske studier, som ikke er omtalt her.

Samlet betyr dette at instituttet har forutsetninger for å kunne løse de oppgaver som måtte forekomme innenfor feltet varmeisolering av bygninger.

Omleggingen av rutiner, nyutviklingen av utstyr og ombyggingen av laboratorier har krevd betydelige investeringer. Uten den støtten vi fikk fra NTNf i årene 1985-1986, ville denne moderniseringen ikke ha vært mulig. Vi regner med at dette vil vise seg å være en meget fornuftig satsing som grunnlag både for forskningsinnsats og produktutvikling.

## 1. INNLEDNING

### Generelt

Måling av varmeisolasjon er nødvendig i mange sammenhenger. Man ønsker f.eks. å holde en passende temperatur i et lokale av miljømessige, helsemessige og trivselsmessige grunner med minst mulig forbruk av energi. Det kan gjelde såvel meget lave temperaturer (f.eks. i fryseri) som midlere (i bolig) eller høye (i trelasttørke).

Energi er etter hvert blitt kostbar. Mange land er avhengig av import til sin energiforsyning. Et viktig element i arbeidet med å spare energi, er utvikling av bedre varmeisolasjon for bygninger. Nye materialer kommer til og gamle forbedres. Egenskapene må klarlegges, og til det formålet er det utviklet en rekke typer utstyr, metoder og teknikker.

De bygger på forskjellige prinsipper, og graden av nøyaktighet varierer. Det kan skilles mellom laboratoriemålinger og feltmålinger, og mellom måling på komplette, sammenbygde konstruksjoner og enkeltmaterialer. Det er viktig at behovet avklares mellom bruker og prøvelaboratorium før målingene utføres. Kostnader og tidsforbruk kan tilpasses det aktuelle behovet. I en del tilfeller er det godt nok med en enkel og grov måling. I andre tilfeller kreves det meget stor nøyaktighet.

I alle tilfeller finnes valgmuligheter når det gjelder metode og nøyaktighet.

Myndighetene i de fleste land har i de siste 15 årene vært opptatt av behovet for å spare energi, blant annet ved å støtte arbeidet med å gi bygninger bedre varmeisolasjon.

Andre eksempler på utviklingen innenfor varmeisolasjonsteknikken er:

- Varmeisolering av rør i bakken for å redusere gravedybden med tanke på frostsikring.
- Varmeisolasjon i veier og jernbanelegemer for å hindre telehiv.
- Varmeisolasjon under og rundt grunnmuren for å redusere fundamenteringsdybden.
- Isolasjon av røykpiper

Egenskapene for de forskjellige varmeisolasjonsmaterialene kan variere meget. I Norsk Standard NS 3031 er angitt de varmekonduktivitetene som anbefales brukt, forutsatt at produksjonen av materialene er underlagt en anerkjent kontroll-ordning. Hvis de ikke er det, skal verdiene forhøyes med 25 %. Slike regler for å sikre kvaliteten finnes i de fleste land. I den siste utgaven av NS 3031 fra 1986 er tatt med to sett verdier, én for kontrollerte og én for ikke kontrollerte materialer.

Varmeisolasjonsegenskapene for den enkelte materialprøven kan måles svært nøyaktig. I produksjonen vil imidlertid egenskapene variere en del både på grunn av variasjonen i råstoff, produksjonsutstyr, lagringsforhold, håndtering osv. Den endelige verdien som fastlegges for bruk ved beregninger, vil derfor være en midlere verdi som bygger på flere målinger. Varmeisolasjonsevnen for enkeltmaterialer må alltid fastlegges ved måling.

For sammensatte konstruksjoner blir den samlede varmeisolasjonsevnen og overflatetemperaturen vanligvis beregnet etter anerkjente teorier ved å benytte de kjente verdiene for enkeltmaterialene. Disse beregningene kan være mer eller mindre riktige/gode, avhengig av hvor kompliserte konstruksjonene er og behovet for nøyaktighet.

Det fins imidlertid også målemetoder og utstyr for måling av varmeisolasjonsegenskaper (U-verdi) for sammensatte konstruksjoner både for bruk i felt og laboratorium. Det samme utstyret kan også benyttes for å fastlegge overflate-temperaturer når det er nødvendig, f.eks. med tanke på kondensfare.

## 2. VARMEISOLASJONSMATERIALER, TYPER

De forskjellige varmeisolasjonsmaterialene som benyttes i dag, kan deles opp i flere grupper:

### A. Uorganiske fibermaterialer i matter eller plater

Uorganiske fibermaterialer i løs form, granulater  
(bl.a. glassull, steinull, asbest)

### B. Keramiske materialer i løs form (kornform)

Keramiske materialer støpt i blokk eller plater  
(bl.a. brent, ekspandert leire, brent ekspandert vulkansk stein, skumglass)

### C. Betongmaterialer med gassfylte porer

Betongmaterialer med hull/slisser  
(bl.a. gassbetong på sement- eller kalkbasis)

### D. Organiske materialer som løsfyll

Organiske materialer i plater, matter, blokk  
(bl.a. kutterflis, sagflis, halm, kork, cellulosefiber)

### E. Plastmaterialer med gassfylte porer

Plastmaterialer med hull/slisser/luftlommer  
(bl.a. ekspandert eller ekstrudert polystyren og polyurethane, ekstruderte plastplater med kanaler)

### F. Blandingsprodukter

(bl.a. ekspandert leire støpt som hullblokk, med hullene fylt med skumplast)

Egenskapene for de forskjellige materialene kan variere i større eller mindre grad. Noen av dem krymper i den første tiden etter at de er produsert og må derfor ligge på lager en tid før de benyttes. Andre gjennomgår langvarige aldriingsprosesser som reduserer deres varmeisolasjons- eller andre egenskaper. Noen er hygroskopiske og vil gradvis miste sin isolasjonsevne hvis de utsettes for fuktighet, mens andre enten lar fuktigheten renne gjennom eller er fukt-avstøtende. Noen råtner når de blir fuktige, mens andre har tilnærmet ubegrenset holdbarhet.

I mange tilfeller er det derfor nødvendig å angi både alder, fuktighet osv. når materialet prøves. Videre må man også legge stor vekt på bruksområdet når en materialtype skal velges.

### 3. HISTORIKK, NBI

Ved NBI startet man allerede for 30 år siden med målinger av varmeisolasjons- evnen for varmeisolasjonsmaterialer. Pioneren på dette felt var siv.ing. A. Tveit. Det ble bygd måleutstyr og utviklet metoder. I den første perioden ble hovedvekten lagt på mineralullmaterialer som kom inn på det norske markedet for fullt fra omkring 1950. Kunnskap om materialegenskapene og riktig anvendelse var av avgjørende betydning for å få utnyttet de mulighetene man hadde med de nye materialene.

Da utstyr og teknikk etter hvert var fullt utprøvet, ble det en viss etterspørsel etter apparatur fra andre laboratorier og materialprodusenter. Fra da av har det år om annet vært laget apparatur for salg. Både enkle varmestrømsmålere med forskjellige grader av målenøyaktighet og komplette plateapparater er levert til forskjellige land i Europa.

Gjennom disse 30 årene har måleteknikken utviklet seg videre. Ved NBIs laboratorium er eldre apparatur kassert og erstattet med nyere og mer effektive utgaver. Dette har ført til raskere målinger og har også lagt grunnlaget for forbedringer av det utstyret som selges.

Målsetningen for tiden som kommer er fortsatt forbedring/effektivisering av det utstyret og de metodene vi selv bruker. Vi forutsetter også en økning i vårt salg av utstyr til andre, både til produksjonsbedrifter og kontroll- og forskningsorganer av forskjellig slag.

Som et ledd i kvalitetssikringen startet de norske varmeisolasjonsprodusentene en frivillig kvalitetskontrollordning i 1966 (VIF). NBI ble engasjert i dette arbeidet helt fra starten og utfører de fleste målinger av varmekonduktivitet. Medlemstallet i VIF har økt betydelig siden starten, og det samme har skjedd med antall materialtyper.

Laboratoriet har imidlertid vært i stand til å følge utviklingen, - og i dag kan vi i laboratorieskala måle varmekonduktivitet i temperaturområdet fra ca. - 30 til ca. + 1000 °C for praktisk talt alle byggematerialer. Vi bruker standardmetoder og -utstyr, og der slikt ikke finnes tilgjengelig på markedet, benyttes egenutviklede metoder og utstyr.

I tillegg til utstyr for laboratorieundersøkelser av materialer, finnes også utstyr for laboratorieundersøkelser av konstruksjoner. Undersøkelser i friluft under naturlige påkjenninger gjøres både i forsøkshusområdet Tyholt i Trondheim og som feltmålinger iferdige bygg.



#### 4. MÅLEUTSTYR FOR MATERIALER

##### "Guarded hot plate"

Prinsippet er vist i fig. 1. Det består av to kjøleplater  $K_1$  og  $K_2$  samt en varmeplate  $V$ . Varmeplaten er delt i to: en indre måleflate  $V_i$  og en ytre "guard" ring  $V_y$ , som oppvarmes elektrisk uavhengig av hverandre, men slik at temperaturen på dem holdes lik  $T_V$ .

Gjennom kjøleplatene strømmer en kjølevæske slik at temperaturen på dem holdes konstant  $T_K$ . Temperaturen på  $K_1$  og  $K_2$ ,  $V_i$  og  $V_y$  kontrolleres med termoelementer som avleses med en nøyaktighet av ca.  $\pm 0,1$  °C. Det måles på to prøver av det materiale som skal undersøkes. De plasseres mellom varme- og kjøleplaten - på skissen betegnet som P1 og P2.

Varmetilførselen til  $V_i$  og  $V_y$  reguleres helt til man får stabile forhold, det vil si at de ønskede temperaturene  $T_K - T_V$  holder seg konstante ved en konstant effektilførsel  $W$  til måleflaten  $V_i$ .

Ved målinger på isolasjonsmaterialer som skal benyttes i vanlige hus, brukes vanligvis  $T_V/T_K = 15/5$  eller  $20/0$  °C. Det gir en middeltemperatur på 10 °C på prøvestykkene.

Prøvestørrelsen er vanligvis 600 mm x 600 mm. Største tykkelse som kan måles er 120 mm.

For å kunne måles, bør materialet ha en varmemotstand på min.  $0,1 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$ . Det vil si at materialer med høy  $\lambda$ -verdi må være tykkere enn de med lav  $\lambda$ -verdi for å kunne måles. Usikkerheten i den målte  $\lambda$ -verdien er 1-3 % avhengig av materialtype, overflatebeskaffenhet m.m.

Apparatet passer ikke til måling av fuktige materialer. Det brukes også til kalibrering av varmestrømsmålere.

##### Plateapparat med varmestrømsmålere

Prinsippet er vist i fig. 2. Det består av to plater  $K_1$  og  $K_2$ , som hver for seg har en varmestrømsmåler på den ene siden ( $V_1$  og  $V_2$ ). Prøvestykket P plasseres mellom varmestrømsmålerne. Gjennom de to platene  $K_1$  og  $K_2$  kjøres væskestrømmen med temperatur henholdsvis  $T_1$  og  $T_2$ . De styres av termostater med stor nøyaktighet.

Temperaturforskjellen mellom de to platene  $K_1$  og  $K_2$  gir en varmestrøm som går fra platen med den høyeste til den med laveste temperaturen. Det fører videre til at det blir et temperaturfall over hver av varmestrømsmålerne, noe som igjen gir en elektromotorisk kraft fra termoseriene i varmestrømsmålerne. På grunnlag av den og temperaturfallet gjennom prøvematerialet kan varmemotstanden i prøvematerialet P måles.

Prøvestykket har oftest en størrelse på 600 mm x 600 mm som tilsvarer størrelsen på varmestrømsmåleren.

Materialtykkelse på prøvematerialet kan være opptil 120 mm. Det må ha en varmemotstand på minst  $0,1 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$ . Usikkerheten i målingene er omtrent som ved "guarded hot plate" apparatet.

Dette apparatet produseres også for salg og kan leveres med varmestromsmålere av forskjellig følsomhet. Normalt er måleflaten 300 mm x 300 mm, men den kan lages både større og mindre etter ønske (f.eks. 500 mm x 500 mm, eller 150 mm x 150 mm).

To av apparatene er beregnet på måling av varmestrom i vertikal retning - enten oppad- eller nedadrettet.

I det tredje apparatet, se fig. 3, kan man måle med varmestrom også i horisontal-retning, eller i hvilken som helst skråstilling mellom 0 og 90°.

Se også Norsk Standard NS 3161 (Bestemmelse av varmemotstand ved hjelp av varmestromsapparat).

### Høytemperaturapparat

Prinsippet er vist ifig. 4. Det består av tre varmeplater av temperaturbestandig materiale V1, V2, V3 og to kjøleplater K 1 og K 2.

Prøvestykkene P 1 og P.2 plasseres mellom platene.

Hver av de fem platene har separat temperaturkontroll. Den sentrale varmeplaten V 2 har dessuten en nøyaktig effektmåler.

Varmemotstanden for prøvene kan måles for forskjellige temperaturnivåer ved å variere temperaturene på de tre varmeplatene. Den sentrale platen V2 holdes på høyeste temperatur, mens de to andre holdes likt på den lavere temperaturen.

Når temperaturene har innstilt seg stabilt på de nivåene man ønsker, måles effektilførselen til V2, og prøvenes varmemotstand ved det aktuelle temperaturnivået kan beregnes, ut fra den tilførte effekten og temperaturfallet gjennom prøvestykkene.

Prøvestykkets størrelse er maksimalt 450 mm  $\varnothing$ . Maksimal tykkelse er 80-100 mm. Høyeste temperatur på den sentrale platen V2 er ca. 1000 °C.

### Granulatmålinger

Granulerte varmeisolasjonsmaterialer blåses inn i konstruksjonene ved hjelp av en spesiell dyse, enten som fri utlegging på horisontale flater eller under trykk inn i lukkede hulrom som f.eks. i vegger. Disse to metodene fører til at materialene ferdig utlagt blir forskjellig i pakning, romvekt og dermed også får forskjellige varmetekniske egenskaper.

Når man skal klarlegge egenskapene til de to forskjellige typene, må det derfor brukes forskjellig type laboratorieutstyr.

Vi bruker innblåsing i en boks (fig. 5) for de materialene som skal inn i lukkede hulrom (f.eks. vegger). Boksen plasseres etterpå i et plateapparat av tidligere omtalte typer for måling. Det er vanskelig å få den samme pakningsgrad av isolasjonen i boksen som den man får i en vegg. Det kan derfor påregnes at de praktiske resultatene vil avvike noe fra laboratoriemålingene. Men når alle materialtyper blir målt på samme måten, vil de bli stilt likt ved sammenligninger.

For utblåsing på horisontale flater har vi en annen metode, fig. 6. Her blir det materialet som skal prøves, blåst på plass med samme utblåsningsutstyr som det man i praksis bruker på en byggeplass. Det blåses ned i kassen K som har en

størrelse på ca. 1,2 m x 0,9 m, i den ønskede tykkelsen. Kassen settes inn i et klimarom med stabil temperatur ca. 0 °C. Målingene utføres ved et temperaturfall 25/0 °C fra undersiden til oversiden av isolasjonslaget. Effektmåling foretas med varmestrømsmåler.

### Sikring, styring, regulering

Alle målinger gjøres etter at de tilsiktede forholdene (temperaturer, varmestrøm, osv.) har stabilisert seg. Disse faktorene er innbyrdes avhengig av hverandre. De må følges kontinuerlig og effektilførselen må stadig reguleres, helt til den stabile tilstanden er oppnådd.

Et eget EDB-anlegg registrerer de endelige verdiene og beregner -verdier og varmemotstand. Dette reduserer muligheten for menneskelige feil.

Fig. 7 viser utsnitt av prøverommet. Plateapparatene er plassert i hvert sitt av de i alt fire temperaturstyrte kamrene.

Høytemperatur-apparat-rommet er utstyrt med eget avtrekk av hensyn til mulig røyk og gassdannelser ved høye temperaturer.

Varmelaboratoriet er luftkondisjonert med egen frisklufttilførsel.

## 5. MÅLEUTSTYR FOR KONSTRUKSJONER

NBI disponerer faste innretninger for måling av hele konstruksjoner både på en feltmålestasjon og i laboratoriet. Den faste feltmålestasjonen består av to hus, med størrelse 20 m x 5 m x 5 m og 8 m x 5 m x 3 m. Laboratorierommene har størrelser som varierer fra ca. 5,2 m x 3,3 m x 3,2 m til 6,8 m x 3,3 m x 3,2 m. (Begge deler er nærmere beskrevet nedenfor). De angitte målene på prøvehus og prøverom illustrerer maksimale størrelsene på de konstruksjonene som kan prøves. For måling av sammensatte, større konstruksjoner med kuldebroer, disponeres en "hot-box". Den har en måleflate på 2,45 m x 2,45 m når den brukes som skjermet (guarded) "hot box". Brukt som kalibrert "hot box", kan en undersøke konstruksjoner på opptil 3,2 m x 3,8 m.

I prøvehusene kjøres prøver ved det som kan betegnes som "naturlige" temperaturer utvendig og stabil temperatur på ønsket nivå innvendig.

I laboratorierom og "hot-box" kan temperaturen styres på ønsket nivå mellom ca. - 35 °C og + 70 °C.

I de forskjellige utstyrsenhetene kan det måles varmetekniske egenskaper for dører, porter, vinduer, tak-, golv- og vegg-elementer av alle typer materialer, både for fabrikkfremstilte standardkonstruksjoner og for konstruksjonene slik de utføres på en byggeplass.

### Måling i varmestrømsapparat "hot-box"

"Hot-boxens" utforming fremgår av foto - fig. 8 - og skisse fig. 9.

Den består i prinsippet av tre hoveddeler: Et kaldt rom, et varmt rom og et målekammer. Prøvefelt monteres i en sjablong som utgjør et skille mellom kaldtrommet og varmtrommet, se fig. 9. I kaldtrommet sørger et fryseanlegg for

at temperaturen hele tiden er som ønsket, vanligvis  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ , men med mulighet for å senke den ned mot  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ved hjelp av varmeelement, vifte og regulator tilføres det varme til målekammeret slik at temperaturen holdes konstant på ønsket nivå, vanligvis  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Samtidig holdes temperaturen på samme nivå i rommet rundt målekammeret, varmtrommet, slik at varmemestrømmen gjennom målekammerets fem vegger er tilnærmet lik 0. Når dette har stabilisert seg, er tilført varme til målekammeret lik varmen som strømmer ut gjennom prøvefeltet. Den tilførte varmen (effekten) måles sammen med luft- og overflatetemperaturer. På dette grunnlaget beregnes så varmemotstand og U-verdi for konstruksjonen.

I praksis vil det imidlertid også være en liten varmestrøm gjennom målekammerveggene. Denne varmestrømmen registreres ved hjelp av en såkalt termosøyle slik at nødvendige korrigeringer kan gjøres. Slik kan man måle varmeisolasjonsegenskapene for et felt svært nøyaktig, selv om feltet har en så komplisert oppbygging at en nøyaktig beregning av verdiene ikke lar seg gjennomføre.

### Måling i prøverom

Fotografiet, fig. 10, illustrerer en typisk prøveoppstilling, her i det største prøverommet. Skissen viser prinsippet.

Prøvefeltet deler rommet i to deler. I den varme delen innstilles en konstant temperatur på et eller annet nivå, vanligvis mellom  $+20$  og  $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , og på den kalde siden, en temperatur på mellom  $0$  og  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

På veggene monteres varmemestrømsmålere som avleses på instrumenter utenfor rommet.

Nødvendig størrelse på prøveveggen, samt antall varmemestrømsmålere, er avhengig av veggens oppbygging. Er den enkel og homogen, kan det klare seg med f.eks. et felt på  $1,2\text{ m} \times 1,2\text{ m}$ . Hvis den derimot er komplisert i oppbyggingen, med store variasjoner i utforming i høyde- og lengderetning, må man ha større prøvefelt for å få et riktig samlet inntrykk av veggen.

En ganske vanlig prøving i forbindelse med produktutvikling er ellers at veggen bygges opp som en samling av flere interessante varianter som måles samtidig.

Ønsker man en undersøkelse av hvordan fuktigheten på kortere eller lengre sikt influerer på isolasjonen, kan man styre fuktighetsinnholdet i luften på den varme siden til det nivået man ønsker, og ved prøver følge en eventuell fuktakkumulering i konstruksjonen.

Målingene utføres etter Norsk Standard 3161 - Bestemmelse av varmemotstand ved hjelp av varmemestrømsapparat - og vi henviser derfor til NS 3161 for fullstendig metodebeskrivelse.

NS 3161 stammer overens med Dansk Standard DS 1121 og Svensk Standard SS 024212.

## Prøvehus på Tyholt, Trondheim

### Hus 1

Husets størrelse er: Lengde 20 m, bredde 5 m, høyde 5 m. I tillegg kommer to instrument- og servicerom, samt et påbygg med lengde 6 m, bredde 4 m, høyde 2,5 m.

Fig. 11 viser østsiden av huset med instrument- og servicerom, samt tilbygg på venstre side. Hovedfasadene er orientert mot vest-sydvest og øst-nordøst. Noen flere detaljer er vist på fig. 12.

Huset ligger på et høydedrag ca. 1 km fra laboratoriet ved NBI Trondheimsavdelingen, uten nærliggende bebyggelse mot syd og vest. Nærmeste bebyggelse på vestsiden i ca. 90 m avstand, på sydsiden ca. 200 m. På østsiden ligger et lavt bygg og TV-tårn i avstand ca. 65 m og på nordsiden et større kompleks i avstand ca. 20 m. En skisse av beliggenheten er vist i fig. 13.

Veggenes og takets bæresystem er et stålskjelett montert på et fundament som består av en betongramme på pilarer. I tak, vegg og golv kan det monteres prøvematerialer og -konstruksjoner etter behov.

Innvendig kan huset deles opp i mindre rom ved hjelp av skillevegger, og i hvert av disse rommene kan temperatur og fuktighet styres individuelt.

Værpåkjeningene på de forskjellige fasadene er forskjellig pga. lokalklimaet på stedet. Vestsiden er utsatt for store påkjeninger fra vind og regn, mens nord- og østsiden har vesentlig mindre påkjeninger. Man kan derfor prøve konstruksjoner under vesentlig forskjellige påkjeninger.

Huset brukes blant annet til å undersøke fukt- og varmetekniske egenskaper for materialer og konstruksjoner under naturlige påkjeninger. Varmestrøm gjennom golv, tak og vegger kan måles enten ved hjelp av varmemestrømsmålere eller ved effektmåling.

### Hus 2

Huset står på samme tomt som Hus 1. Størrelse: Lengde 8 m, bredde 5 m, fri høyde inne 3,0 m, mønehøyde opptil ca. 5 m, fig. 11.

Dette huset er montert på hjul som beveger seg på en rund fundamentplate av betong og kan dreies 360°. Hver fasade kan derfor dreies mot hvilken som helst himmelretning.

I hovedveggen kan anordnes to åpninger, ca. 1,2 m x 1,2 m, med kalorimetre bak. Her måles solstråling f.eks. gjennom forskjellige glass-/vindustyper.

Alle vegger er utskiftbare. Varmestrøm og temperaturforhold i vegger kan undersøkes for enhver himmelretning og forskjellig solinnfall. Huset benyttes også til undersøkelser av andre fenomener: vindtrykkmålinger, luftbevegelser inne i konstruksjoner, solavskjerming, lufttetthet osv.

## 6. FELTMÅLINGER

Nøyaktige feltmålinger er vanskelig å utføre. Det henger sammen med at det er vanskelig å få stabile temperaturforhold både på husets ytterside og romsiden. En del konstruksjoner er særlig vanskelige på grunn av sin oppbygging, f.eks. vegger med luftet ytterkledning og konstruksjoner som er bygd sammen av en rekke forskjellige materialer.

Skal de måles nøyaktig, blir det gjerne tidkrevende og kostbart. Man må mer eller mindre bygge et provisorisk laboratorium omkring den aktuelle konstruksjonen.

Vi bruker imidlertid en del forenklete metoder.

### Overflatetemperaturmålere

Det enkleste er å måle overflatetemperaturen med spesielle overflatetermometere. Det vil gi indikasjon på grove feil, f.eks. luftlekkasjer, trekk, utelatt eller dårlig isolasjon. Metoden kan også vise om det kan være fare for kondens av luftfuktighet på overflatene. Det kan benyttes to typer overflatetemperaturmålere, kontaktermometer, og én type som er basert på måling av varmestråling. Den siste har form som en pistol, se fig. 15 og er særlig anvendelig fordi målingen kan gjøres på flere meters avstand slik at det forholdsvis raskt kan måles på mange steder på en konstrusjon.

### Varmestrømsmålere

Varmestrømsmålere kan gi en god indikasjon på varmeisolasjonsegenskapene under visse betingelser. Vi benytter målere med en flate på 500 mm x 500 mm. De monteres f.eks. på innvendig side av en vegg i et rom som kan få stå ubenyttet/uforstyrret noen dager mens målingen pågår. Målerne kan festes slik at det ikke oppstår skade på overflaten.

Måles det på sammensatte veggkonstruksjoner (f.eks. bindingsverksvegg), må det oftest brukes flere målere sammen for å få representative verdier.

Romtemperaturen holdes så stabil som mulig. De utvendige temperaturene må også være mest mulig stabile. For å unngå varierende stråling, bør konstruksjonen ligge i skyggen (f.eks. mot nord eller i lé av andre konstruksjoner). Brå og store variasjoner i lufttemperaturen gir større usikkerhet i måleresultatene.

Varmestrøm og temperatur registreres mer eller mindre kontinuerlig over en måleperiode, hvis lengde i vesentlig grad avhenger av temperaturstabiliteten.

Under gunstige - dvs. stabile - temperaturforhold er målenøyaktigheten god. Man kan ved gunstige forhold regne med en nøyaktighet på  $\pm 5\%$ , og under vanlige forhold ca.  $\pm 5-10\%$ .

### Termografering

NBI benytter et utstyr (fig. 14) som registrerer usynlig varmestråling og gjør den synlig - som et bilde - på en skjerm. Dette skjermbildet kan avfotograferes f.eks. med et vanlig polaroidkamera.

Bildet kan enten være svart/hvitt eller i farger. Man kan legge inn isotermer (som angir områder med samme temperatur) på bildet. Fargevariasjonene eller gråtonenyansene illustrerer temperaturvariasjonene på overflaten av den konstruksjonen som kameraet rettes mot.

Utstyret brukes mest til å lokalisere luftlekkasjer i konstruksjoner, eller til kontroll av isoleringen. Termovisjonskameraet avdekker f.eks.:

- manglende isolasjon
- kuldebroer
- luftlekkasjer
- luftbevegelser inne i en konstruksjon
- nedfuktet eller vått isolasjonsmateriale

Utstyret benyttes best ved å termograferer fra et byggs innside. Det er en fordel med stor temperaturforskjell mellom ute- og inneluft. Vanligvis er det tilstrekkelig med en forskjell på 15 °C. Skal man bare lokalisere luftlekkasjer, kan det klare seg med ned til 5 °C.

Termografering egner seg ikke til å tallfeste varmetap eller bestemme en konstruksjons U-verdi.

Metoden kan også by på problemer ved bruk mot blanke/reflekterende flater.

## 7. INTERNASJONAL TILKNYTNING

Måleutstyr, målemetoder, beregningsmetoder og krav varierer en del fra land til land.

I Skandinavia har man en målsetning om at all materialprøving av bygge-materialer skal samordnes slik at de enkelte landene både får felles krav og felles prøvemethoder. En rekke standarder (NS, DS, SS) er allerede likelydende.

Varmetekniske målinger er imidlertid samordnet, dvs. at målinger utført ved NBI ikke behøver overprøving i de andre skandinaviske landene og omvendt. Endelig godkjenning avhenger imidlertid av en del formelle krav og regler om kontroll som varierer fra land til land.

Kalibrering av varmestrømsmålere og plateapparat er samordnet på skandinavisk basis med NBIs standardapparat som kalibreringsmal.

Erfaringer fra bruk av termovisjonsutstyr utveksles regelmessig i fellesskandinaviske sammenkomster.

Det er også innenfor den fellesskandinaviske gruppen NORDTEST utviklet en serie prøvemethoder som er anerkjent av alle nordiske land. For varmetekniske målinger gjelder det blant annet:

Hot-box method:	NT Build 301
Thermal resistance - hot-box:	NT Build 119
Thermal resistance - heat flow meter:	NT Build 131

Det benyttes også metoder utarbeidet av ISO (International Standardization Organisation).

## ENGLISH SUMMARY

The laboratory of the Trondheim Division of the Norwegian Building Research Institute has specialized in studies of thermal properties of building materials and constructions.

Measurements are made both in the laboratory, on test houses and on building sites.

Instruments and equipment includes among other things:

Guarded hot plate apparatus and heat flow meters, test specimens 600 mm x 600 mm.

Special hot plate apparatus for high temperatures up to ca. 1000 °C. Test specimen 450 mm Ø.

Guarded hot box, test specimens up to 2,45 m x 2,45 m.

Heat flow meter specially designed for loose-fill materials (granulates), size 1,2 m x 0,9 m.

Temperature controlled test rooms for vertical constructions up to 2,5 m x 6,0 m or horizontal up to 4,0 m x 6,0 m.

Surface temperature measurements both remote and by contact.

Air leakages/airtightness both in field and laboratory.

IR cameras for studies of surface temperatures in laboratory and field.

Guarded hot plate apparatus and heat flow meters are produced for sale.



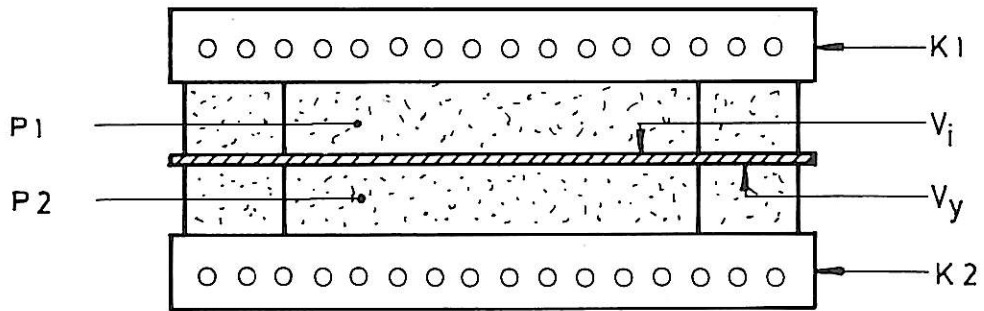


Fig. 1  
Vertikalsnitt av "Guarded hot plate".

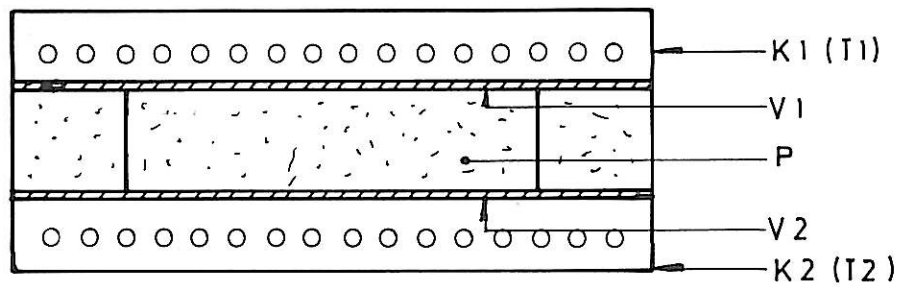


Fig. 2  
Vertikalsnitt av apparat med varmeströmsmålere

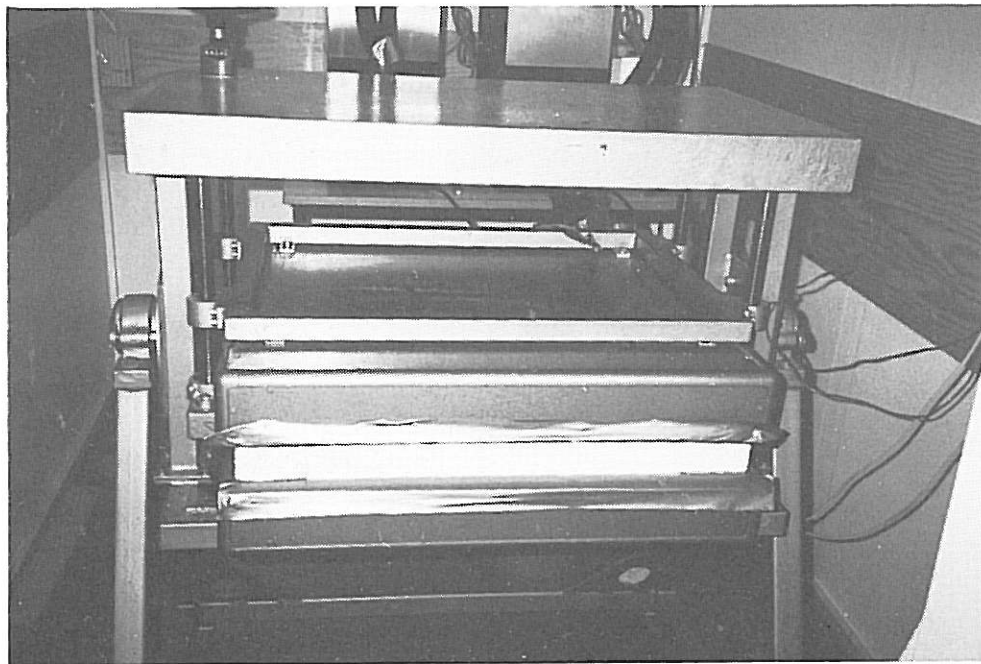


Fig. 3  
Apparat for måling av varmestrøm i horisontalretning eller i skråstillinger mellom  $0^\circ$  og  $90^\circ$

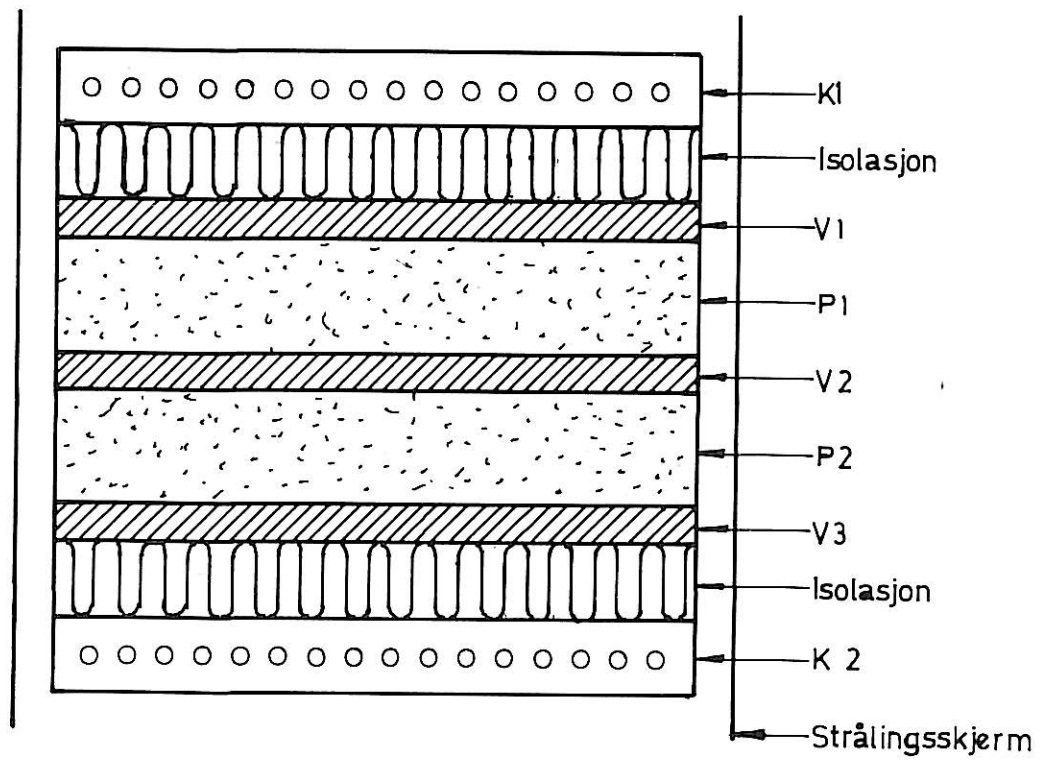


Fig. 4  
Vertikalsnitt av høytemperaturapparat

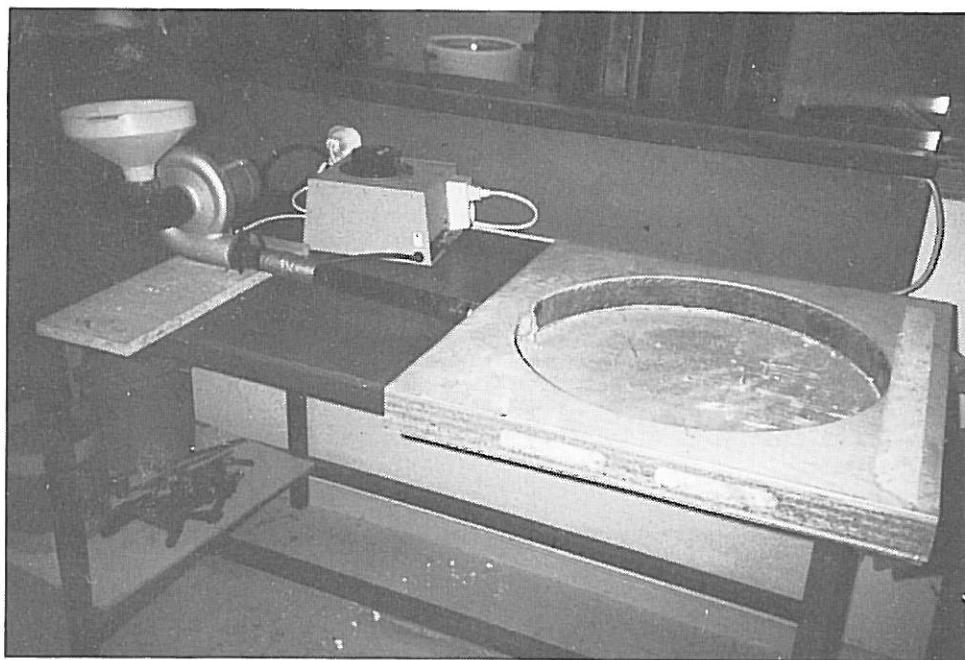


Fig. 5  
Granulatmåling, innblåsing i boks av materialer som skal brukes i lukkede hulrom

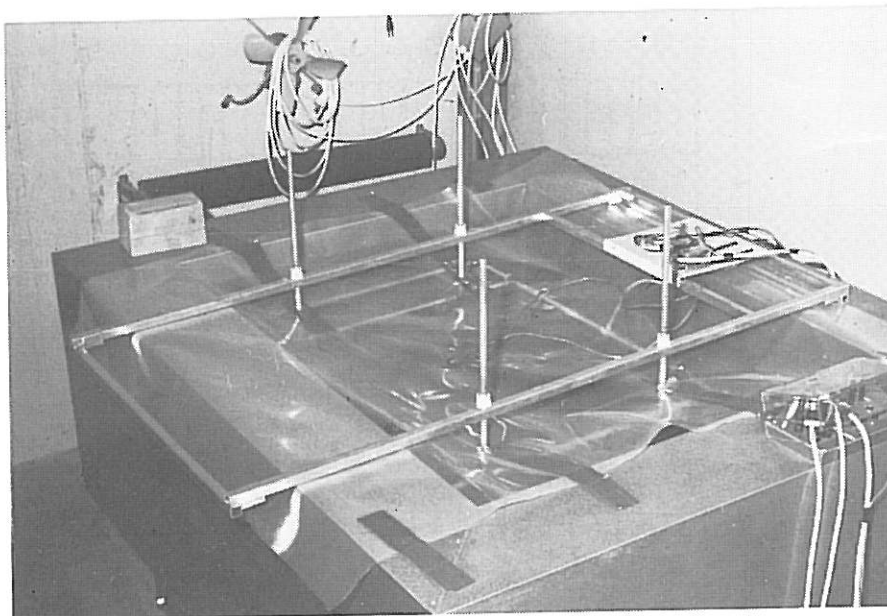


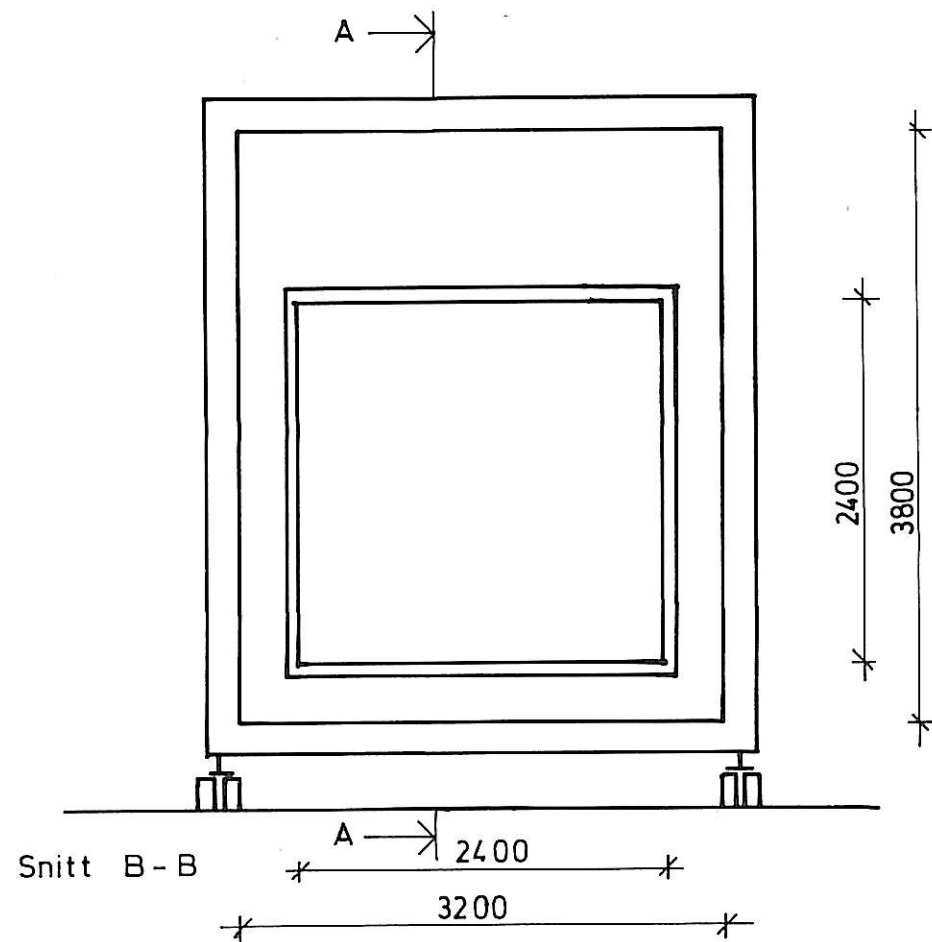
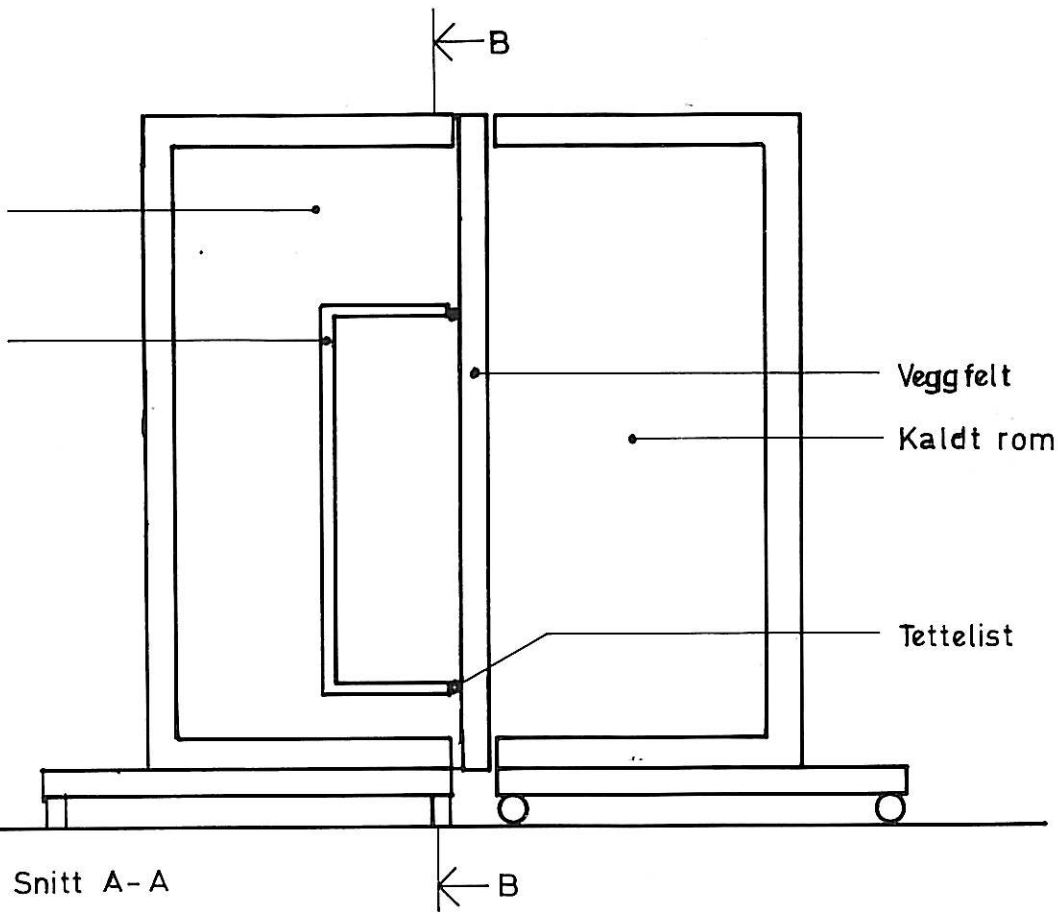
Fig. 6  
Granulatmåling, utblåsing på horisontale flater. Et lag isolasjon blåses ned i kassen, før måling utføres med varmestrømsmåler.



Fig. 7  
Utsnitt av prøverom. Fire plateapparater er plassert i hvert sitt temperaturutstyrte kammer.



Fig. 8  
Varmestrømsapparat (hot-box) for måling av konstruksjoner



ming av varmestrømsapparat (hot-box) for måling av konstruksjoner,



Fig. 10  
Typisk prøveoppstilling i det største prøverommet i laboratoriene i Trondheim



Fig. 11  
Prøvehusfeltet på Tyholt. Hus 1: Østside av prøvehus med instrument- og servicerom. Hus 2: Prøvehus på hjul, kan dreies 360°.



Fig. 12  
Samme prøvhus som på fig. 11, med flere detaljer

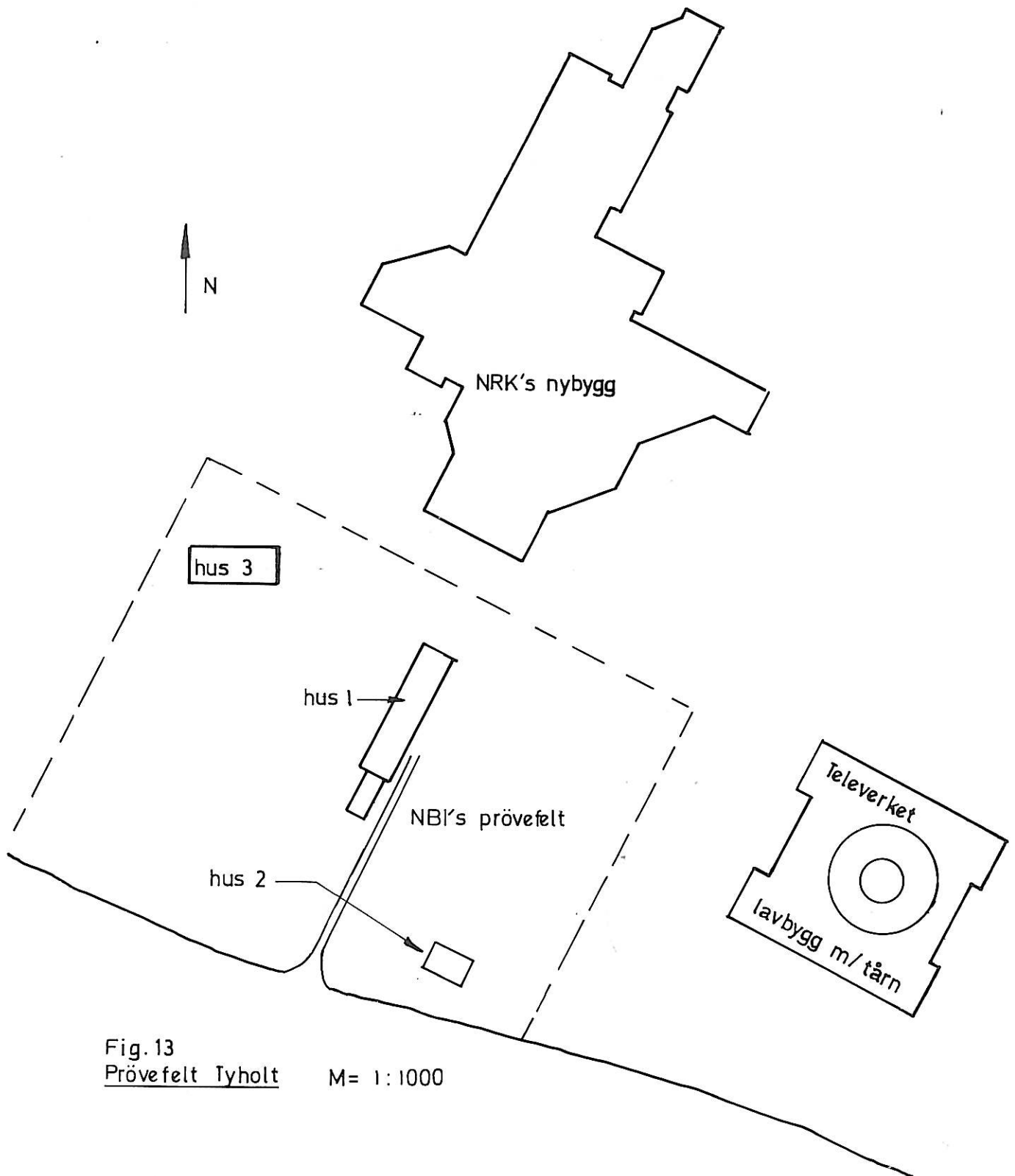


Fig. 13  
Prøvefelt Tyholt      M= 1:1000

Fig. 13  
 Skisse over prøvehusfeltet på Tyholt



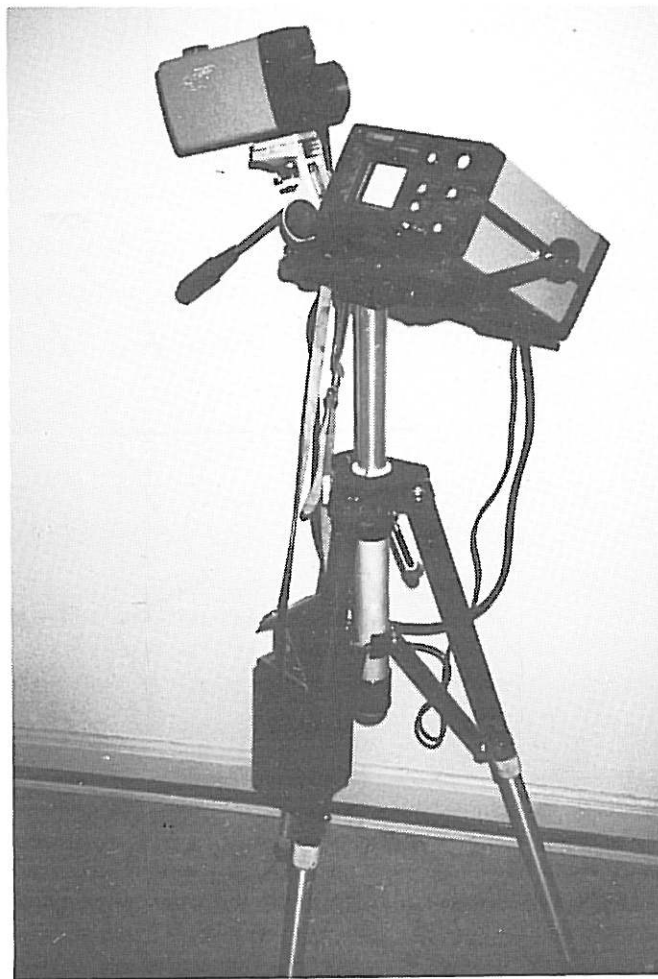


Fig. 14  
Termograferingsutstyr som registrerer usynlig varmestråling på skjerm

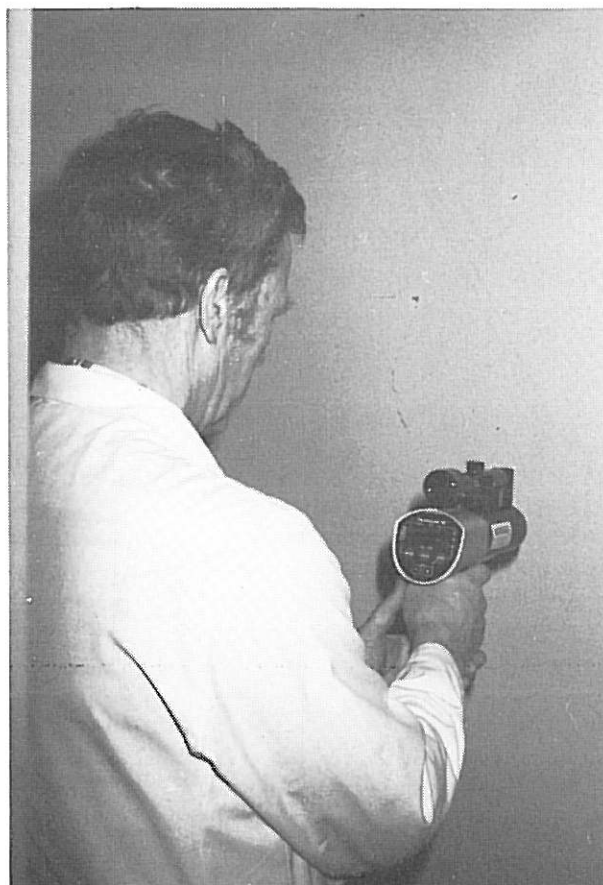


Fig. 15  
Utstyr for måling av overflatetemperatur. Måling av varmestråling med "pistolen" kan gjøres på flere meters avstand.