

MÅLING AV VARMEGJENNOMGANGSTALL  
FOR VEGGER OG BJELKELAG I TREHUS  
VED HJELP AV TERMOELEKTRISKE  
VARMESTRØMSMÅLERE

*Av A. Tveit*

OSLO 1953

---

Særtrykk av Varme (Kbh.)

I kommisjon: Johan Grundt Tanum Forlag

DK 697.133:536.5

## Måling av varmegjennomgangstall for vegger og bjelkelag i trehus ved hjelp av termoelektriske varmestrømsmålere.

Av sivilingeniør A. Tveit, Norges byggforskningsinstitutt.

Etterkrigstidens knapphet på trelast har vært en vesentlig årsak til de betydelige endringer som er skjedd i den konstruktive utførelse av trehus i Norge. Ved siden av den mere intensive utnyttelse av trematerialene er det samtidig kommet på markedet nye högverdige isolasjonsmaterialer, som har gjort det mulig å bygge husene med langt mindre trelast enn før. De nye konstruksjonsmåter inne-

bærer en rekke fordeler både for økonomi og varmeisolasjon. Det er all grunn til å tro at de er kommet for å bli, og det er derfor nødvendig allerede fra begynnelsen å utvikle og undersøke disse metoder under hensyntagen til de forskjellige krav en god bolig må tilfredsstille.

I vårt klima utgjør utgiftene til oppvarming en vesentlig del av boligomkostningene, og en god



varmeisolering av våre boliger er av den grunn av stor betydning.

Mens en massiv-veggs varmeisolerende egenskaper i første rekke karakteriseres ved dens varmegjennomgangstall og varmekapasitet, ser det ut for at de ved en vegg av moderne bindingsverkskonstruksjon best karakteriseres ved dens varmegjennomgangstall og vindtetthet. I hvilken grad ytterluft kan trenge inn i veggen, vil kunne spille en avgjørende rolle for godheten av en yttervegg i mange strøk her i landet. Særlig i de nordligste fylker og høgereliggende strøk er det ikke uvanlig at det samtidig inntreffer store vindstyrker og lave utetemperaturer. Eksempelvis kan nevnes at det i Trondheim siste vinter ble målt en utetemperatur av ca.  $+20^{\circ}\text{C}$  med samtidige vindhastigheter på 15—20 m/sek. vedvarende vel en ukes tid.

Ved Laboratorium for Husbygging i Trondheim er det i løpet av de tre siste fyringssesonger utført en rekke forsøk til måling av varmegjennomgangstall for vegger i trehus. Hensikten med målingene har vært å eksperimentelt fastlegge varmegjennomgangstallene for å kunne foreta en sammenligning med de tall som beregnes på grunnlag av godkjente varmeledningstal for bygningsmaterialer og luftsjikter etter de vanlige formler for varmegjennomgang i vegger. Formålet var også å fastlegge metodens brukbarhet til undersøkelse av samme veggers varmeisolerende egenskaper under vindpåkjenninger. Det blir i det følgende redegjort for den målemetode som har vært anvendt og de erfaringer som er gjort med den.

#### *Kort forhåndsvurdering av målemetoden.*

Det ble ansett å være så vel praktisk som økonomisk fordelaktig å kunne komme frem til en målemetode som var anvendbar i ferdige bolighus. Målingene kunne derved utføres på vegger av alminnelig god håndverksmessig utførelse og ved de temperatur- og fuktighetsforhold som i virkeligheten opptrer, samtidig som omkostninger til bygging av forsøksvegger, eventuelt egne prøvehus, bortfalt. For å kunne ha målingene under god kontroll måtte, ved forsøk i ferdighus, disse helst ligge nær laboratoriet og gi anledning til innbygging av termoelementer i veggene allerede under oppførelsen. De måleinstrumenter som skulle anvendes måtte være selvregistrerende, lett transportable og lett monterbare, og ikke ta for stor plass eller være til noen gene for leieboerne. Målingene ble forutsatt utført om vinteren for å få størst mulig temperaturfall over veggene. Døgnvariasjonen i utetemperaturen er også minst på den årstiden, og uheldige innflytelser på målingene fra solstråling kan lettere unngås.

Ved massiv-vegger og vegger oppbygget av parallelle, homogene lag er det berettiget å tale om en endimensjonal varmemestrøm. Ved bindingsverksvegger derimot, hvor isolasjonsevnen blir forskjellig ved stolpene og i feltene mellom dem, og hvor det også ofte er luftrom i hvilke det oppstår konveksjonsstrømmer, blir varmemestømmene flerdimensjonale. For å bestemme et varmegjennomgangstall som gir det midlere varmetap regnet pr.  $\text{m}^2$  veggflate, må det taes målinger over hele vegg høyden. For å kunne finne varmemestømmens fordeling over

veggflaten, hvorved en analyse av varmetransporten kunne foretas, var det påkrevet å ha varmemestømmålere som kunne måle varmetapet gjennom begrensede arealer. De alminnelig anvendte «guarded hot boxes» falt derfor ut av betraktning og det ble besluttet å gjøre forsøk med termoelektriske varmemestømmålere.

#### *Måleinstrumenter.*

1. *Varmemestømmålere.* Til dette formål ble det fra Varmeteknisk Afdeling ved Teknologisk Institut, København, bestilt tre like varmemestømmålere (1 og 2)<sup>1)</sup> med et kvadratisk målefelt på  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ . Målerne hadde en 20 cm bred beskyttelsesramme slik at de utvendig målte  $80 \times 80 \text{ cm}^2$ . Termokretsen som besto av 270 seriekoblede koppper-konstantan termoelementer (elektrisk motstand ca.  $86 \Omega$ ), var innflettet i en ca. 4 mm tykk gummiplate, og loddepunktene var på begge sider beskyttet av et 0,75 mm tykt dekklag av gummi. Til bestemmelse av varmemestømmålerens middeltemperatur og overflatetemperatur var det anbragt en del enkle termoelementer på begge sider av den 4 mm tykke gummiplaten, under dekklaget. Omsetningsfaktoren  $K$  som ved stasjonære forhold angir forholdet mellom den termospenning som i mV EMK måles over varmemestømmålerens utføringssøssinger og den varmemengde i kcal/ $\text{m}^2\text{h}$  som stømmer gjennom den, er ved justering funnet til  $K = 4,6 \div \frac{0,04 \cdot t}{3}$ , hvor  $t$  er varmemestømmålerens middeltemperatur i  $^{\circ}\text{C}$ , mellom 0 og  $+30^{\circ}\text{C}$ .

2. *Temperaturmålere.* Temperaturer og temperaturdifferenser ble målt ved hjelp av 0,5 mm koppper-konstantan termoelementer og kvikksølvtermometre. Som fikspunkt ble brukt  $0^{\circ}\text{C}$ , temperaturen i en termosflaske med smeltende, pulverisert is.

3. *Registreringsinstrumenter.* Til registrering av så vel varmemestømmålere som termoelementer har vært anvendt registrerende millivoltmetre (punktskrivere av dreiespoletypen, indre motstand ca.  $350 \Omega$ ). Hvert av instrumentene registrerte 6 målepunkter på 2 min. og hver målekrets med sin egen farge. Til enkeltobservasjoner og kontrollmålinger ble brukt et potensiometer med stor følsomhet.

4. Av utstyr ellers har det vært bruk for varmeovner med termostater og reléer, spesielle innretninger for befestigelse og beskyttelse av varmemestømmålere, etc.

#### *Valg av målesteder, montering av varmemestømmålere og termoelementer (3).*

For best mulig å unngå uheldige innflytelser fra direkte solstråling, ble målingene helst utført på nord- og østvendte vegger, og målestedet ble valgt slik at nærliggende vinduer eller dører skulle ha minst mulig innflytelse på varmetransporten i vegg.

Varmemestømmålerne ble hengt opp på veggen, og for å få godt anlegg presset mot den glatte veggflate ved hjelp av 10—15 cm lange, tilspissede trepinner (ca. 5 mm $\phi$ ). Trepinnene ble holdt fast av

<sup>1)</sup> Tallene i parentes viser til litteraturfortegnelsen i slutten av artikkelen.



tynne stålfjærer (gardinspiraller) utspent horisontalt mellom to stive stolper, som ved trekiler ble satt fast mellom gulv og tak (se fig. 1). Varmestrømsmålerne ble skjønsmessig plassert slik at gjennomsnittverdien av de tre målere nærmest mulig skulle gi veggens midlere varmetap, og samtidig muliggjøre en undersøkelse av hvor meget stolpene og isolasjonsmaterialene hver for seg bidrog med til den samlede varmeisolering.

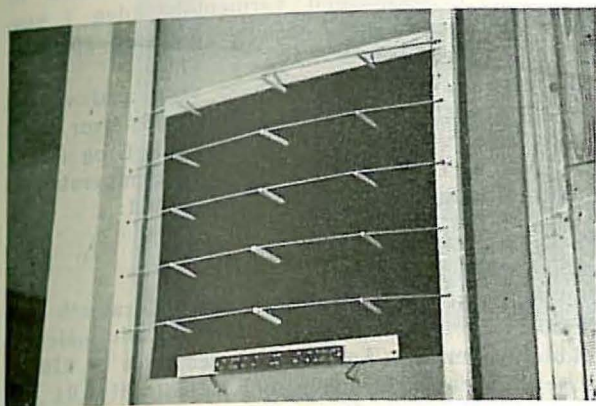


Fig. 1.

Veggens overflatetemperaturer og differensen mellom disse ble målt i de tre høydene tilsvarende varmemestrømsmålerens plassering ved hjelp av flere sett seriekoblede termoelementer (3 stk. i hver serie). Ved plassering av termoelementene ble tatt samme hensyn som ved varmemestrømsmålerne. Alle termoelementledninger ble fra målepunktet ført ut horisontalt langs vegg i en lengde av 0,7—1,0 m, og ved de termoelementer som lå under varmemestrømsmålerne, ble det nøye sett etter at det ikke dannet seg noen nevneverdige luftspalter mellom varmemestrømsmålerens indre overflater og veggflaten. De av termoelementernes loddepunkter som skulle festes på vegg, var forsynt med en liten kvadratisk plate  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  av tynn, utglødd kopperplate. Hvor det var mulig ble disse platene limt fast til veggoverflatene. Hvor liming ikke var mulig, ble platene klemt mot vegg ved hjelp av tynne tilspissede trepinner. Lufttemperaturene inne og ute ble også målt ved termoelementer. Hele det veggområde som varmemestrøms- og temperaturmålere var plassert på, ble godt beskyttet mot varmestraling ved hjelp av doble skjermer av blank aluminiumsfolie. Lufttemperaturen i »forsøksrommet« ble holdt jevnest mulig på en hensiktsmessig størrelse (ca.  $+20^\circ \text{C}$ ) ved å sette på en passende konstant ovns-effekt. Romtemperaturen holdt seg da svært stabil så lenge det ikke var nevneverdig forandringer av utetemperatur. Ved svært varierende temperaturforhold måtte anvendes termostat for temperaturregulering og dempningssjikt på varmemestrømsmålerne.

#### De enkelte forsøks varighet.

Forsøktiden varierte vanligvis fra 3 til 7 døgn alt etter hvor raskt det inntrådte noenlunde stasjonære forhold. Dette var i all vesentlig grad bare avhengig av de ytre klimaforhold. Det ble antatt at stasjonære forhold var intrådt når de registrerte

temperaturdifferenser og varmestrømmer var uforandret over  $\frac{1}{2}$  til 1 døgn. Forøvrig ga forløpet av registreringskurvene for temperaturer og varmestrømmer et godt inntrykk av stabiliteten.

#### Bestemmelse av varmegjennomgangstallet på grunnlag av de målte verdier for varmestrømmer og temperaturer.

For å unngå usikkerheten med hensyn til størrelsen av varmeovergangstallene  $\alpha_i$  og  $\alpha_u$ , ble veggens varmegjennomgangstall  $k$  beregnet ut fra deres ekvivalente varmegjennomføringstall  $A = \frac{Q}{\Delta t_0}$  kcal/m<sup>2</sup>h°C, hvor  $Q$  er varmestrømmen i kcal/m<sup>2</sup>h og  $\Delta t_0$  er differensen i °C mellom veggens overflatetemperaturer målt under stasjonære forhold. For sammenlignings skyld ble summen av indre og ytre varmeovergangsmotstand  $1/\alpha_i + 1/\alpha_u$  regnet lik 0,2 m<sup>2</sup>h°C/kcal for alle veggene, og varmegjennomgangstallet ble beregnet av uttrykket:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{A} + 0,2} = \frac{1}{\frac{\Delta t_0}{Q} + 0,2} \quad \text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$$

Middelverdien for varmestrømmen gjennom og temperaturdifferensen over vegg ble enten regnet som det aritmetiske middeltall av observasjonene for de enkelte høyder, eller det ble tegnet diagrammer for fordelingen av dem, og middelverdien funnet ved planimetrering.

Ved vegger isolert med en eller to mineralullmater innsydd i impregnert papir, og hvor det av den grunn ble flere luftfylte hulrom, var overensstemmelsen mellom de beregnede og målte verdier mindre god. Forskjellen beror sannsynligvis på usikkerheten i antagelsen av varmemotstanden for luftsjiktene og isolasjonsmattene. Det er også muligheter for at det gjennom uønskede lekkasjer kan oppstå konveksjonsstrømmer mellom de forskjellige hulrom, hvilket i enda sterkere grad vanskeliggjør en beregning av en slik veggs varmegjennomgangstall.

Civilingeniør, dr. techn. Poul Becher gjennomgår i en artikkel (4) de forskjellige metoder til beregning av varmegjennomgangstallet for inhomogene vegger. Resultatene av våre målinger utført på forskjellige bindingsverkskonstruksjoner, hvor bindingsverkets hulrom var helt utfyllt av elastiske steinullplater, ligger mellom de tall som beregnes etter de to metoder som Becher benevner »1. og 2. tilnærmet metode«.

1. tilnærmet metode: »Skillefladerne mellem de forskjellige lag tænkes at være helt varmetætte. For de enkelte dele af væggen bestemmes et transmissionstal som om varmestrommen var endimensional, og tallet for hele væggen beregnes som summen af disse transmissionstal ud fra den vægt, hvormed de indgår arealmæssigt«.

2. tilnærmet metode: »Væggen tænkes bestå af en »legering« af de forskellige materialer. Det (transmissionstallet) beregnes ud fra det varmeledningstal, der kan bestemmes for hele væggen af de enkelte bestanddeles varmeledningstal, efter den vægt, hvormed de indgår arealmæssigt«.

Fig. 2 og 3 (fra Bechers artikkel) viser hvordan isotermene kan tenkes forløpe i en vegg ved be-



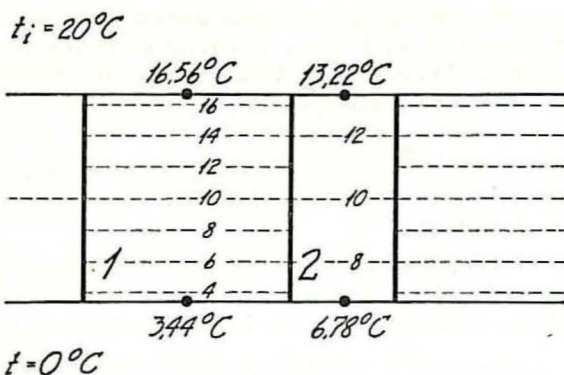


Fig. 2.

regning etter 1. og 2. metode. Veggene er 0,16 m tykk,  $\lambda_1 = 0,25 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$ ,  $\lambda_2 = 1,0 \text{ kcal/m h}^\circ\text{C}$   $\alpha_i = \alpha_u = 6 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ . Bredden av stripene 1 og 2 er henholdsvis 0,16 og 0,08 m.

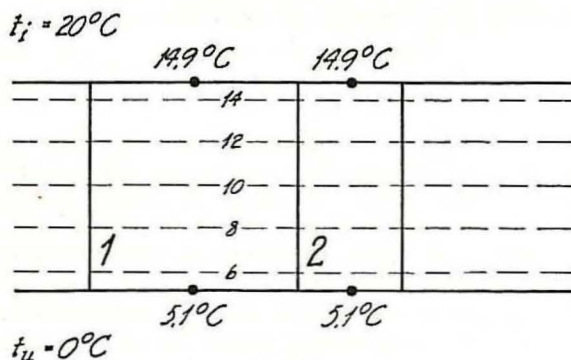


Fig. 3.

Hvor stor forskjell det blir på varmegjennomgangstallene beregnet etter de to metoder, avhenger av hvor stor del av veggflaten de forskjellige materialer arealmessig utgjør, samt av forholdet mellom deres varmeledningstall.

For en bindingsverksvegg isolert med mineralull kan for eksempel 2. metode gi over 20 % høyere varmegjennomgangstall enn 1. metode. Som Becher også skriver, er det derfor å anbefale at 2. metode anvendes ved beregninger i praksis.

#### Målemetodens brukbarhet.

Erfaringene fra de utførte forsøk tyder på at metoden, med mindre endringer, er brukbar ved korttidsforsøk under stabile eller tilnærmet stabile temperaturforhold i stille vær. Det har med et års mellomrom (1950—1951) vært utført gjentatte målinger for to vegger (en med og en uten luftrom) under samme klimaforhold. De siste forsøk ga med tilstrekkelig krav til nøyaktighet samme varmegjennomgangstall for begge veggtypene som de første forsøk. Det er på det nåværende tidspunkt ennå for tidlig å kunne si noe sikkert om det er mulig å benytte denne metode til å måle varmetapene gjennom trevegger under vindpåkjenninger. Men det er grunn til å tro at kombinerte varmestrøm- og temperaturmålinger, for visse konstruktive utførelser av veggene, kan gi et grunnlag for en vurdering av deres varmeisolerende evne også under slike forhold. Særlig kan temperaturmålinger i de forskjellige veggskjiktet være hensiktsmessige.

Ved å bruke elektroniske potensiometre med »cold junction compensation« istedenfor registrerende millivoltmetre, oppnås en rekke lettelsler både i utførelsen av målingene og beregningene, ved siden av at de gir en sikrere og nøyaktigere registrering.

#### Dempning av temperatursvingninger.

Da varmemotstanden i varmestrømsmåleren er liten sammenlignet med varmemotstanden i veggene som måles, blir temperaturfallet gjennom måleren svært lite.

*Eksempel.* Ved måling på en vegg med varmegjennomgangstall  $k = 0,40 \text{ kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$ , og hvor inne- og utetemperaturer er henholdsvis  $+20^\circ\text{C}$  og  $+10^\circ\text{C}$  ( $\Delta t_{\text{luft}} = 30^\circ\text{C}$ ), blir det midlere temperaturfall gjennom varmestrømsmåleren tilnærmet:

$$\Delta t = \frac{0,4 \cdot 30}{4,36 \cdot 270 \cdot 0,04} = 0,25^\circ\text{C}$$

idet omsetningsfaktoren  $K$  er  $4,36 \text{ kcal/m}^2\text{h mV}$  (EMK) ved  $18,2^\circ\text{C}$  hvilket omtrentlig blir målerens middeltemperatur. Antall termoelementer er 270 og disse har en termospenning av omtrent  $0,04 \text{ mV}$  pr.  $^\circ\text{C}$  ved  $18^\circ\text{C}$ . Ved målinger på vegger med lavere varmegjennomgangstall og ved mindre temperaturdifferenser over veggene, vil temperaturfallet over varmestrømsmåleren selvsagt synke. Det lille temperaturfallet gjennom varmestrømsmåleren gjør at den er svært ømfintlig for raske svingninger i luft-

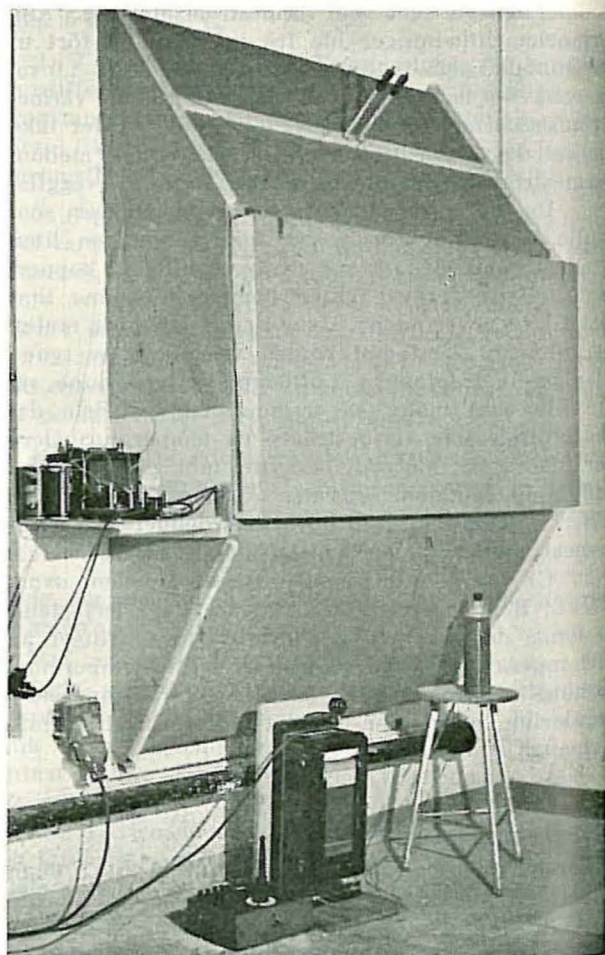


Fig. 4.



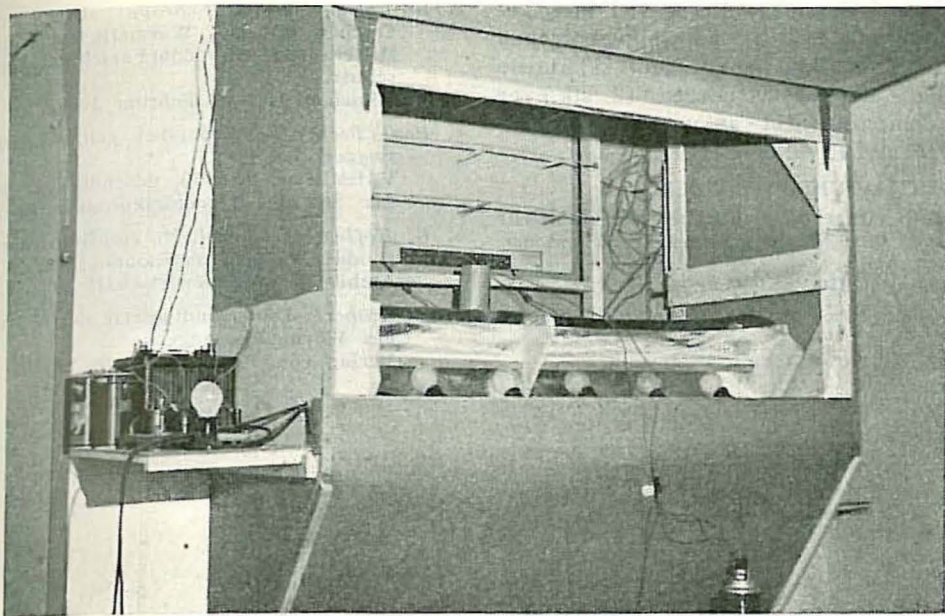


Fig. 5.

temperaturen, dersom disse svingningene uhindret kan forplante seg til målerens overflate. Ved måling på en vegg som i ovennevnte eksempel, vil en hurtig temperaturstigning av  $0,25^{\circ}\text{C}$  på varmestrømsmålerens overflate resultere i at den registrerer en varmestrøm som er omtrent den dobbelte av den

virkelige. En hurtig temperatursynkning vil derimot kunne få varmestrømsmåleren til å registrere en varmestrøm i motsatt retning av hva den virkelige går i vegg. Det er altså påkrevet å ha mest mulig stabile temperaturforhold under målingene.

Ved anvendelse av termostat for regulering av lufttemperaturen vil temperatursvingninger ikke være til å unngå. Ved imidlertid å legge et isolerende sjikt (dempningssjikt) utenpå varmestrømsmåleren, vil dette kunne dempe temperatursvingningene slik at disse ikke virker forstyrrende på målingene. Sjiktet øker varmestrømsmålerens tregheit og bør ikke være tykkere enn strengt tatt nødvendig. Tykkelsen avhenger av temperatursvingningenes amplitude og frekvens, samt temperaturledningsstallet for det materiale sjiktet lages av.

Harmoniske temperatursvingninger trenger inn i et dempningssjikt etter eksponensialligningen (5 og 6)

$$\Delta t_x = \Delta t_1 \cdot e^{-\frac{x}{a}} \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot \tau}}$$

$\Delta t_x$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) er temperatursvingningens amplitude i  $x$  meter dybde av et sjikt,  $\Delta t_1$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) er temperatursvingningens amplitude på sjiktets overflate og  $\tau$  er temperatursvingningens periode i timer (h),  $a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$  er sjiktmaterialets temperaturledningstall i  $\text{m}^2/\text{h}$ .

Beltingelsen for at temperatursvingningenes amplitude  $x$  meter inne i sjiktet skal være  $\frac{1}{n}$  av den på overflaten, blir:

$$\frac{1}{n} = e^{-\frac{x}{a}} \sqrt{\frac{\pi}{a \cdot \tau}} \quad \text{eller} \quad x = \sqrt{\frac{a \cdot \tau}{\pi}} \cdot \frac{\log n}{\log e}$$

Materialet i et dempningssjikt bør altså ha et lavt temperaturledningstall. Dempningssjiktene kan hensiktsmessig utføres av tynn, porøs trefiberplate, filt eller gummi.

Til slutt er i fig. 4, 5 og 6 vist fremgangsmåten ved målinger på veggfelter i laboratoriet. Over veggfeltet er bygget en godt isolert kasse, og luft-

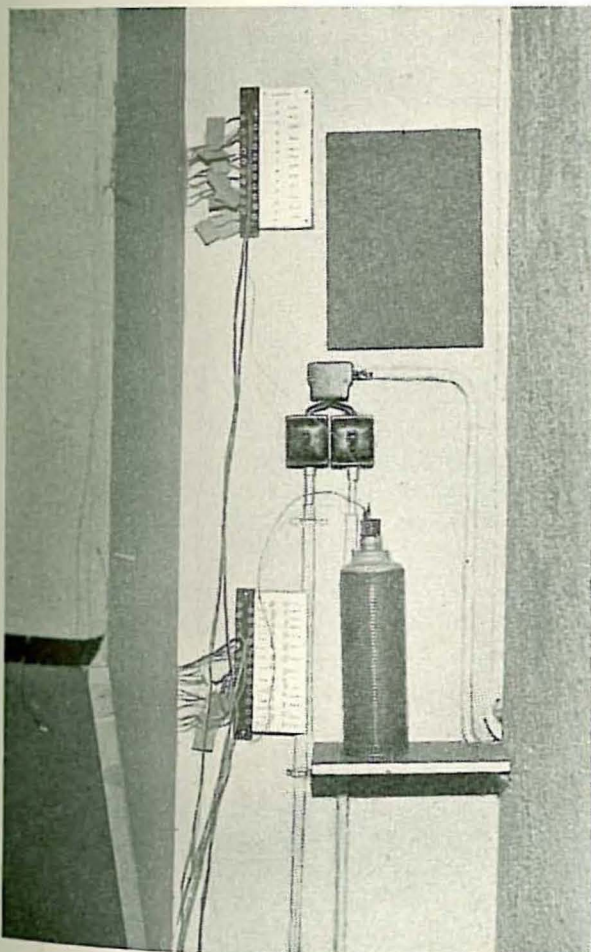


Fig. 6.

temperaturer inne i denne reguleres ved hjelp av kvikksølvkontaktermometre i den oppadstigende luftström. Som varmekilde brukes godt skjermede glödelamper. På varmeströmsmåleren (2 stk.) er lagt et tynt dempningssjikt av porös fiberplate (a er ca. 0,0003 m<sup>2</sup>/h).

#### LITTERATURFORTEGNELSE

1. *K. Hencky*: »Ein einfaches praktisches Verfahren zur Bestimmung des Wärmeschutzes verschiedener Bauweisen«. Gesundheitsing. 1919, s. 496.
2. *E. Schmidt*: »Die Messung von Wärmeverlusten im Betrieb«. Archiv für Wärmewirtschaft 1924, s. 9.
3. *E. Raisch* und *K. Schropp*: »Die thermoelektrische Temperatur- und Wärmeflussmessung«. Mitteilungen aus dem Forschungsheim für Wärmeschutz. München. Heft 8, Februar 1930.
4. *Poul Becher*: »Varmetabet gennem plane tværdelte vægge«. VARME nr. 3, 1950, udsendt som særtryk nr. 10 fra Statens Byggeforskningsinstitut.
5. *G. Hofbauer*: »Ein hoch empfindlicher selbstschreibender Wärmeflussmesser«. Archiv für Wärmewirtschaft 1929, s. 398.
6. *H. Gröber*: »Die Grundgesetze der Wärmeleitung und des Wärmeüberganges«. Verlag von Julius Springer, Berlin 1921, s. 72.



## SUMMARY

A simple method for measuring the thermal conductivity of walls and floors in frame houses was tried out in the laboratory of the Norwegian building research institute during the winter 1951—52. The criterion for the method was its applicability to short-time studies in occupied dwellings, enabling readings to be taken at temperature and humidity conditions usually prevailing in practice. Such a method should also determine the effect of wind velocity on the heat lost.

This article describes the experimental set-up which was used. Heat flow was measured by three thermo-electric heat flow gauges, and temperatures by thermocouples. The heat flow gauges, of standard design, had an effective surface 40 x 40 cm enclosed by a 20 cm wide protective frame. All gauges were so located on the walls that the mean values of their readings most accurately indicated the mean heat flow through the wall and the temperature difference of its surfaces. Heat flow gauges were shielded against radiation.

If inside temperatures fluctuated, e.g., due to temperature regulation with thermostats, a dampning shield was placed on the heat flow gauges. Heat flow and temperature were recorded continuously, and the thermal conductivity of the walls computed from constant flow conditions.

With low wind velocities and stable outside temperatures, the method was found well suited. Small fluctuations in the outside temperature increased the time required for a sufficient number of observations. Thermal conductivity was computed from the heat flow and temperature differential found as the mean for a given period of time, large enough so that inaccuracies due the phase lag between temperature and heat flow fluctuations could be neglected.

It can be subjectively concluded that the method can also be applied qualitatively to investigations and comparisons of the heat loss through timber walls with high wind velocities outside.