

# 16 / 67

Bo Göstring:

Plattapparat för bestämning av värmeledningsförmåga  
hos byggnadsmaterial

Särtryck ur tidskriften VVS 3:1967

Rapport från Byggforskningen, Stockholm

Vid Statens provningsanstalts VVS-tekniska laboratorium har konstruerats en apparat för direktmätning av värmeledningsförmåga hos byggnadsmaterial. I artikeln redogöres för apparatens konstruktiva utförande, tillhörande mätutrustning samt för dess driftsegenskaper och prestanda.

## Plattapparat för bestämning av värmeledningsförmåga hos byggnadsmaterial

Civilingenjör BO GÖSTRING, Statens provningsanstalt, Stockholm

536.2.07

I slutet av 1950-talet genomfördes i RILEM:s\*) regi undersökningar av mätnivån hos ett antal europeiska provningsanstalter och laboratorier som utför bestämning av värmeledningsförmåga hos byggnadsmaterial. Jämförande mätningar gjordes dels på ett par korkplattor, dels på ett par marmorplattor som skickades runt mellan de berörda institutionerna. Resultatet för ett och samma provmaterial visade en standardavvikelse från medelvärdet på 7 % för kork och icke mindre än 23 % för marmor.

En dylik osäkerhet i mätnivån är betänklig, med hänsyn till den vikt som i vårt land läggs vid hög isoleringsstandard. Sålunda är t. ex. den statliga belåningen vid bostadsbyggande till viss del beroende av ytterväggarnas k-värde och därmed väggmaterialets värmeledningsförmåga.

Det ansågs under dessa förhållanden angeläget, att vid Statens provningsanstalts VVS-tekniska laboratorium konstruera en apparat för direktbestämning av värmeledningsförmåga hos byggnadsmaterial, med speciell hänsyn tagen till de erfarenheter, som framkommit genom den ovan nämnda RILEM-undersökningen.

Arbetet har bedrivits med ekonomiskt bidrag från Statens Råd för Byggnadsforskning.

Den nya apparaten utgör likare för anstaltens övriga utrustning för värmeflödesmätning och är i princip utförd så, att värmeledningstalets beroende av olika föröksbetingelser, såsom medeltemperatur, temperaturgradient och provkroppens orientering i rymden närmare kan studeras.

### Teori och metoder

Värmeledningsförmågan hos en homogen kropp är

\*) "Reunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions", en internationell samarbetsorganisation för byggnadstekniska provnings- och forskningsinstitutioner.

definierad genom *Fouriers* differentialekvation:

$$dq = -\lambda \text{ grad } \vartheta \cdot dF \quad (\text{ekv. 1})$$

där  $q$  = värmemängd per tidsenhet (värmeström)  
 $\lambda$  = värmeledningsförmågan  
grad  $\vartheta$  = temperaturgradienten vinkelrätt mot ytelementet  $dF$

För bestämning av värmeledningsförmåga har utvecklats olika metoder som anknyter till ovanstående ekvation.

De s. k. stationära metoderna grundar sig sålunda på följande enkla lösning, som gäller för en homogen, planparallell skiva vid endimensionell värmeström:

$$q = \lambda \cdot F \cdot \frac{t_1 - t_2}{d} \quad (\text{ekv. 2})$$

där  $q$  = värmeströmmen vinkelrätt mot skivans ytor  
 $F$  = värmeströmmens tvärsnittsytan  
 $t_1 - t_2$  = temperaturfallet över skivan  
 $d$  = skivans tjocklek

Vid kända värden på värmeflöde per ytenhet och temperaturfall över en provskiva, kan dennas  $\lambda$ -värde alltså beräknas. I den vanligast förekommande apparaturen för bestämning av värmeledningstal, alstras värmeflödet i provstycket genom att detta placeras mellan en kall och en varm yta med konstanta temperaturer. Med avseende på sättet att bestämma värmeflödet kan två metoder särskiljas: Den *direkta* metoden innebär att värmeflödet storlek fastsätts genom en absolutmätning, exempelvis genom uppmätning av till värmeplattan förd elektrisk effekt. Enligt denna princip fungerar den i det följande beskrivna, vid provningsanstalten konstruerade s. k. poensgenapparaten. Vid *indirekt* bestämning av vär-

meflödets storlek, användes vanligen en termoelektrisk värmefflödesmätare enligt "hjälpväggsprincipen", som placerad i serie med provet ger en EMK proportionell mot temperaturfallet i värmefflödesmätaren och alltså även mot genom provet passerande värmeström. Värmefflödesmätaren måste kalibreras i en apparat med möjlighet till absolutmätning av värmefflödet. Som exempel på tillämpning av den indirekta mätprincipen kan nämnas apparat enligt *Lang*. Provplattan placeras här tillsammans med en värmefflödesmätare mellan två termostatiserade vätsketankar, en varm och en kall. Hela anordningen är belägen i en luftkonditionerad box, vars temperatur hålls lika med provstyckets medeltemperatur. Apparaten är utvecklad i USA för användning vid mätningar på högisolering material (1). Ett exemplar finns på Statens provningsanstalt, där den användes vid rutinbetonade mätningar (2).

### Poensgenmetoden

Den apparat som konstruerats vid provningsanstalten är en s. k. dubbelsidig plattapparat enligt *Poensgen*, i engelskspråkiga länder benämnd "guarded hot plate apparatus". Apparatypen har i Europa utvecklats ur den år 1912 av tysken *R. Poensgen* beskrivna apparaten (3). Metoden, och i viss mån apparaturen, är normerad i ett antal länder, exempelvis i USA (4), Tyskland (5) och

Portugal (6). Normerna uppvisar sinsemellan relativt stora olikheter.

Poensgenapparaten består av två kylplattor och en mellan dessa belägen värmeplatta. Vid mätning erfordras två skivformade provstycken, som placeras mellan värmeplattan och resp. kylplatta. Värmeplattan är sammansatt av två fält, elektriskt uppvärmda genom två separata system, nämligen ett centralt beläget mätfält och ett detta omgivande skyddsfält, vars uppgift är att säkerställa parallellt värmefflöde från mätfältet. Detta åstadkommes genom att hålla skyddsfältets temperatur vid samma nivå som mätfältets. Provstyckenas yttemperatur och till mätfältet förd effekt mätes, varefter  $\lambda$ -värdet kan beräknas enligt ekv. 2 med kännedom om mätfältets yta och provstyckenas tjocklek.

### Apparatbeskrivning

Provningsanstaltens apparat har dimensionerats för kvadratiska provstycken av format  $600 \times 600$  mm. Mätfältets area är  $300 \times 300$  mm och skyddsfältets bredd ca 150 mm.

Värmeplattans lindningar alstrar en maximal värmefflöde av ca  $300 \text{ kcal/m}^2 \text{ h}$  vid föreliggande spänning. Exempelvis motsvarar denna värmefflöde ett temperaturfall av  $10^\circ \text{ C}$  över en 30 mm tjock provplatta med  $\lambda$ -värdet  $1 \text{ kcal/mh}^\circ \text{ C}$ . Medeltemperaturen hos provstyc-

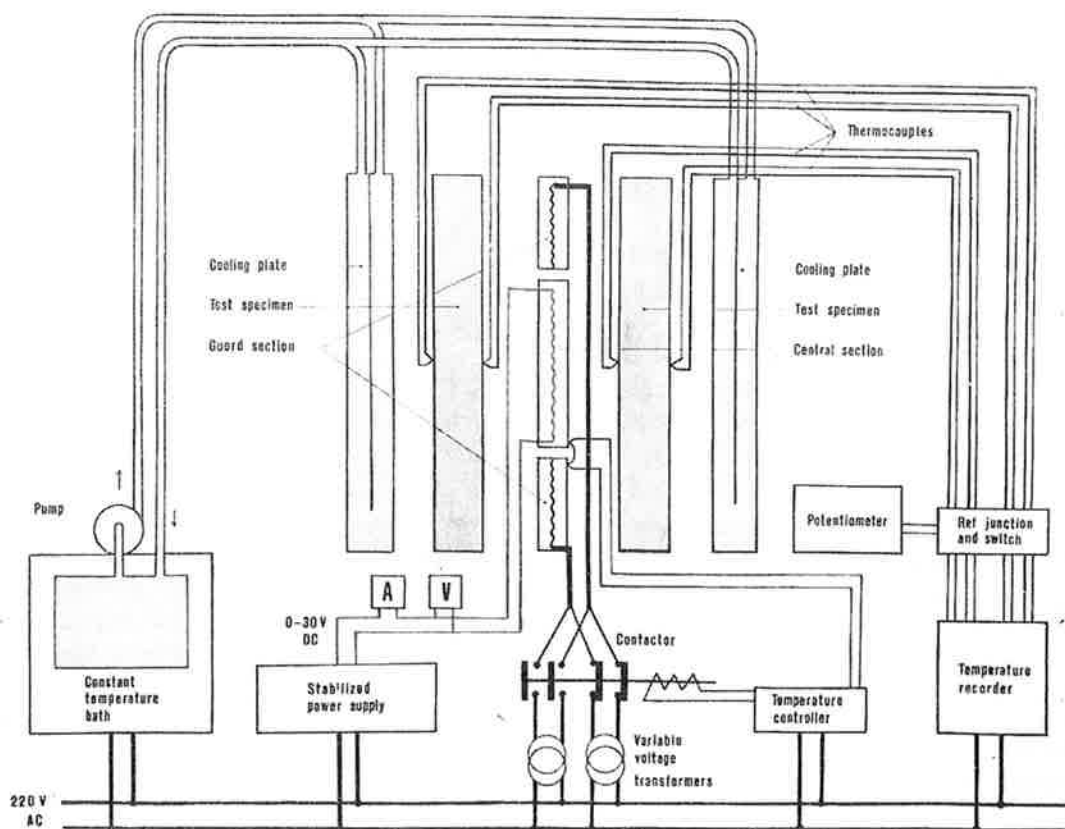


Fig. 1. Principschema över Poensgenapparaten.

kena kan varieras mellan ca  $-10$  och  $+60^{\circ}\text{C}$ . Dessa gränser betingas av disponibel kylkapacitet resp. värmeplattans material. Normalt tillämpat temperaturfall över proven är  $10^{\circ}\text{C}$ . Värmeplattans dimensioner följer de rekommendationer, som givits i ett av RILEM utarbetat förslag till normer för metodik och apparatur vid bestämning av byggnadsmaterials värmeledningsförmåga (6). I övrigt bygger apparatkonstruktionen på tidigare nämnda normer samt på andra i litteraturen redovisade erfarenheter (7,8 och 9).

För att minska värmeutbytet mellan provplattor och omgivning till ett minimum, och därmed höja utrustningens reproducerbarhet, har apparaten placerats i ett rum med möjlighet att ställa in temperaturen på samma värde som provplattornas medeltemperatur. Genom denna åtgärd minskas även risken för kondensering på mätytorna vid låga kylplatttemperaturer.

I det följande skall beskrivas, förutom själva apparaten, även den hjälputrustning som erfordras för strömförsörjning, kylning, reglering och mätning. Fig. 1 visar ett principschema över anläggningen.

#### Värmeplatta

Mätfältet bildas av en platta, vars värmelindning består av kanthalband  $5 \times 0,3$  mm, lindat på en pertinaxplatta med dimensionen  $300 \times 300 \times 2$  mm. Lindningens motstånd är 15,7 ohm. Den matas med likspänning från ett stabiliserande nätaggregat (*van der Heem* 8623), som kan ge en utspänning på upp till 32 volt och en maximal strömstyrka av 2,5 ampère. Skyddsfältets värmelindning är delad i fyra sektioner, vardera lindad med 0,3 mm kanthaltråd på en pertinaxplatta med måtten  $147 \times 450 \times 2$  mm. Varje sektion har ett motstånd av 250 ohm. Normalt är sektionerna parvis parallellkopplade med varje par inbördes seriekopplat. De kan emellertid matas separat med olika spänningar om detta skulle erfordras, exempelvis vid undersökning av material med utpräglade konvektionsegenskaper vid horisontell värmeström. I dylika fall kan olika effekt

krävas på de fyra sektionerna för att eliminera temperaturdifferens mellan mätfält och skyddsfält.

Mellan mätfältets och skyddsfältets lindningsplattor finns en spalt på 3 mm. På vardera sidan om lindningsplattorna är en elektrisk isolering placerad i form av 2 mm pertinaxplattor av storleken  $600 \times 600$  mm. Som ytbeklädnad hos värmeplattan är mot isoleringsplattornas respektive utsidor anbringade 8 mm aluminiumplåtar av samma format. Vardera plåten har ett centralt parti på  $300 \times 300$  mm, helt avskilt från omgivande metall-delar med en 3 mm spalt, som sålunda utgör gräns mellan mätfält och skyddsfält. Värmeplattans ytor är svartmålade för att maximal värmeavgivning skall kunna åstadkommas. Dess olika delar sammanhålls medelst försänkta skruvar. Fig. 2 visar värmeplattans konstruktion.

Undersökningar av *Woodside* och *Wilson* (7) har visat, att en viss temperaturdifferens mellan mätfält och skyddsfält ger upphov till större fel i  $\lambda$ -värde, ju större värmetransporten mellan dem är. Vid föreliggande konstruktion har detta förhållande beaktats genom att de två isoleringsplattorna av pertinax är de enda delar som mekaniskt förenar mätfält och skyddsfält.

Av största betydelse för apparatens precision är vidare att skyddsfältets temperatur hålles vid samma värde som mätfältets. Detta åstadkommes genom ett automatiskt verkande regleringssystem, bestående av en elektrisk temperaturregulator med termoelementgivare. Temperaturdifferensen mellan mätfältets kanter och närliggande del av skyddsfältet avkännes medelst åtta termoelementkedjor bestående av över spalten differenskopplade yttermoelement (*Philips* 6452 A/00). De åtta termoelementkedjorna är anbringade med halva antalet på vardera sidan om lindningarna, mellan isoleringsplattorna och de täckande aluminiumplåtarna. (Jfr fig. 2.) Termospänningarna från varje kedja kan mätas individuellt, men i regel seriekopplas de inbördes före ingången till regulatorn. Temperaturregulatorn (*Control Instruments* typ BP7) är av tvålägestyp med återföringsfunktion i form av en RC-krets. Känsligheten uppges vara ca  $10 \mu\text{V}$ .

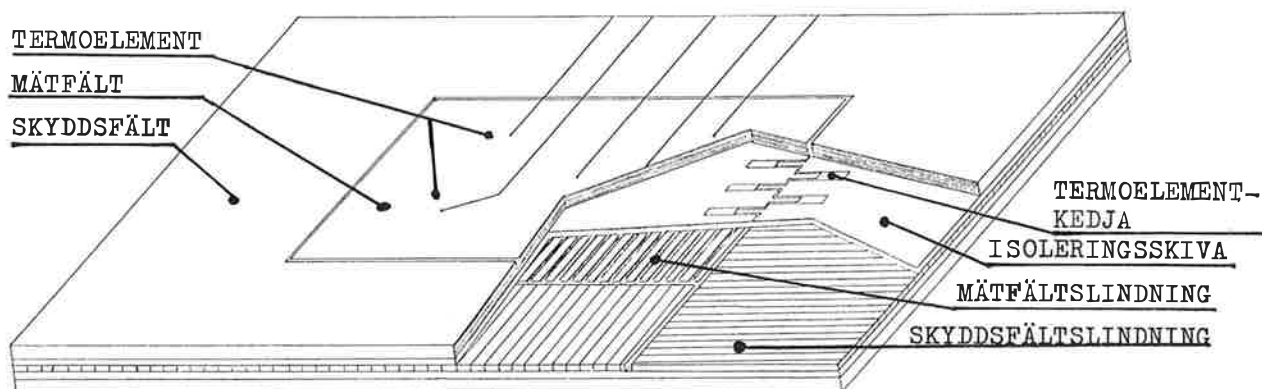


Fig. 2. Uppbyggnad av värmeplattan.

Skyddsfältets lindningar matas med växelspanning från två vridtransformatorer, som omväxlande kopplas in av temperaturregulatoren. Ena transformatorn ställs in på en spänning högre än det värde som erfordras för att ge skyddsfältet samma temperatur som mätfältet, den andra på ett lägre spänningsvärde. Om transformatorn med den lägre spänningen är inkopplad, kommer skyddsfältets temperatur att sjunka under mätfältets. Temperaturregulatoren ger härvid en impuls till kontaktern, som kopplar över spänningen till den andra transformatorn tills temperaturen på skyddsfältet stigit över det rätta värdet, varvid den lägre spänningen åter inkopplas. Sålunda kommer skyddsfältets medeltemperatur att automatiskt inregleras på samma värde som mätfältets.

#### Kylkrets

Varje kylplatta består av en 25 mm tjock aluminiumskiva med i bilfilär spiralform nedfrästa spår för kylvätska, samt ett på skivan fastskruvat lock av 6 mm aluminiumplåt. Spiralformen är betingad av önskemålet att erhålla jämnast möjliga temperatur över hela ytan. Kylplattornas ytor är liksom värmeplattornas svartmålade. Kylvätskan utgöres av en glykol-vattenblandning som hålles vid konstant temperatur av en kyltermostat, (Colora KT 30 S). Från denna leds kylvätskan genom skumgummiisolerade plastslangar till kylplattorna. Variationen i vätsketemperatur är mindre än  $0,05^{\circ}\text{C}$ .

#### Mätutrustning

Yttemperaturerna hos mät- och kylplattorna mätes med 20 st. termoelement av koppar-konstantan, 5 st. på var och en av mätfältets båda ytor, samt 5 st. på vardera av kylplattornas mot provstyckena vända ytor. Termoelementen är fast förlagda i spår, nedfrästa i resp. ytor. Vid provning av styva material kan svårigheter uppstå att få tillräckligt god anliggning mot mätytorerna. I dylika fall placeras elastiska mellanläggsskivor mellan provstyckena och plattornas ytor. Termoelementen fästes då på mellanläggsskivornas mot provstyckena vända ytor. I enlighet med RILEM:s rekommendation är fyra av varje ytas termoelement placerade i hörnen av en kvadrat med 15 cm sida, och ett i ytans mittpunkt.

Termoelementen är via en referenspunkt kopplade till en plint med kontakthylsor för laboratorieproppar. Referenspunkten utgöres av en termostat (Sunvic CJ 1), som håller en temperatur på  $40^{\circ}\text{C}$  med en noggrannhet av  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$ . Från plinten kan valfritt uttagas termospänningar motsvarande varje enskilt temperaturvärde, temperaturdifferensen över en provskiva mellan två motliggande mätpunkter, eller medeltemperaturfallet över ett prov. I sistnämnda fall kopplas termoelementen i serie, med vartannat element från kalla resp. varma sidan. Den mot temperaturfallet svarande termospänningen blir sålunda 5-faldigt förstärkt.

För uppföljning av stabiliseringsförloppet kopplas vid

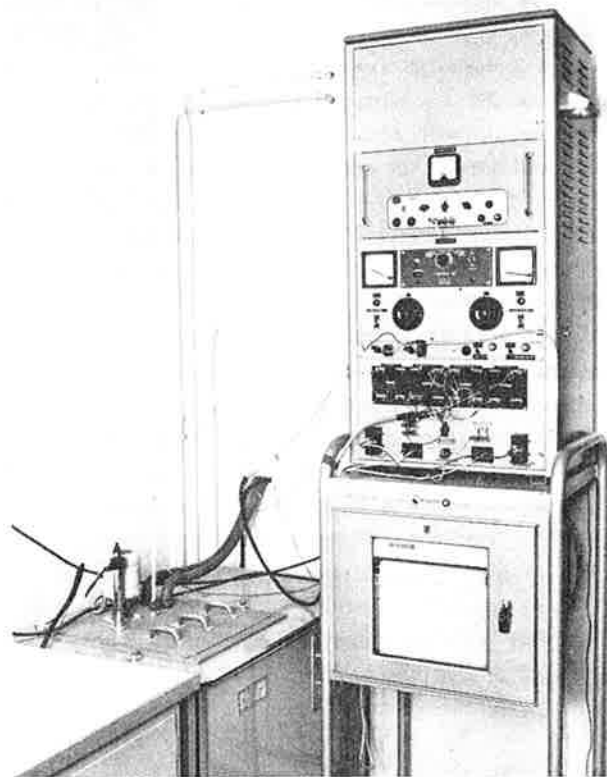


Fig. 3. Del av mätutrustningen. I racken ovanför skrivaren sitter överst likspänningsaggregatet och därunder temperaturregulatoren med vridtransformatorer. Underst i racken är intag monterade för termoelementkablarna och elledningar till apparaten. På svarta plinten finns ett uttag för varje mätpunkt. T. v. syns kyltermostaten med slangar in till det bakom väggen befintliga rummet, där apparaten är placerad.

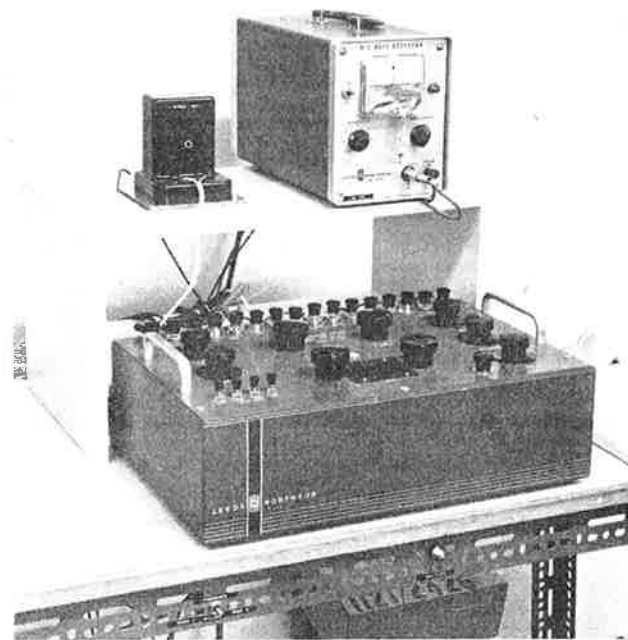


Fig. 4. Precisionskompensator med noll-detektor.

provning ett par mätpunkter från varje yta till en kompensationskrivare (*Philips* typ 3210/U00). Då stationärt tillstånd uppnått, bestäms den mot temperaturfallet svarande termospänningen över vardera provet medelst en precisionskompensator (*Leeds & Northrup* K3). Ur detta värde kan temperaturfallet beräknas med kännedom om termoelementkonstanten vid aktuell medeltemperatur.

Den mätfältet tillförda effekten mätes i form av strömstyrka och spänning medelst en kombinerad ampère- och voltmeter av klass 0,2 (*Norma* typ 50121).

Tjocklek hos provplattor av mjukt material bestäms indirekt genom uppmätning av avståndet mellan värmeplatta och resp. kylplatta i de fyra hörnen, sammanlagt åtta mätningar av vilka medelvärdet bildas. Som mätton användes skänkelmätlockor med 0,1 mm skalindelning. Om vid provning av mjuka material stora krav på exakt förinställning av provtjockleken föreligger, fixeras avståndet mellan värmeplatta och kylplattor med distanspinnar av plast. För att de ej skall påverka mätresultatet, placeras pinnarna mot skyddsfältets randparti.

Fig. 3 och 4 visar en del av till apparaten hörande mätutrustning.

#### Apparatstomme

Värme- och kylplattorna är upphängda i ett stativ, bestående av två gavlar, förenade med fyra stålrör. En av kylplattorna är fixerad mot ena gaveln, medan värmeplattan och den andra kylplattan är rörligt upphängda

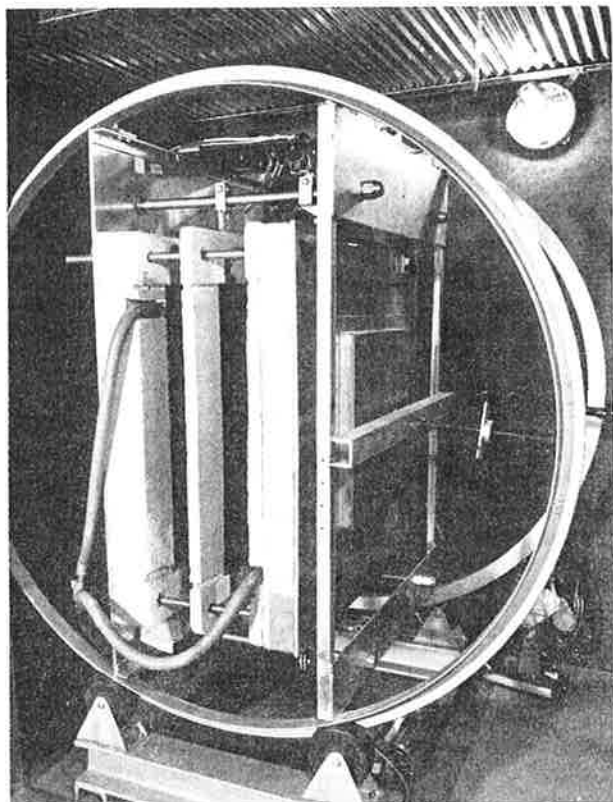


Fig. 5. Poensgenapparaten i läge för inläggning av provskivor.

i rören medelst rullbyglar. (Fig. 5.) Den rörliga kylplattan kan fixeras i godtyckligt läge med hjälp av fyra styrvastavar, som är låsbara mot stativet. Dessutom är detta försett med en skruvanordning med vilken plattorna kan pressas mot provskivorna.

Värme- och kylplattorna är försedda med kantisolering av 10 cm cellplast. Som kantisolering av provplattorna användes elastiska skumplastremmar av 10 cm bredd och med olika tjocklekar, som kan kombineras till ett mått ungefärligen motsvarande provplattornas tjocklek.

Enär det uppmätta  $\lambda$ -värdet hos vissa luftgenomsläppliga material är beroende av provplattornas läge, har stativet gjorts vridbart på rullar i ett vertikallplan vinkelrätt mot plattornas ytor.

Apparaten är placerad i ett klimatiserat rum med möjlighet till reglering av temperaturen ned till  $-10^{\circ}\text{C}$ .

#### Driftserfarenheter

##### Undersökning av skyddsfältstemperaturens inverkan på mätprecisionen

Av stort intresse är att få ett kvantitativt värde på det fel i uppmätt  $\lambda$ -värde, som erhålles vid en viss temperaturavvikelse mellan mätfält och skyddsfält. Enligt de tidigare nämnda undersökningarna (7) kan följande samband uppställas:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\theta}{\theta} \cdot \frac{d}{F} \left( \frac{q_0}{\lambda} + c \right)$$

där  $\Delta\lambda$  = fel i uppmätt  $\lambda$ -värde ( $\Delta\lambda$  positivt vid för stort  $\lambda$ ) ( $\text{kcal/m h}^{\circ}\text{C}$ )

$\theta$  = temperaturdifferens mellan mätfält och kylplatta ( $^{\circ}\text{C}$ )

$\Delta\theta$  = temperaturobalans ( $\Delta\theta$  positivt vid för kallt skyddsfält) ( $^{\circ}\text{C}$ )

$d$  = provplattornas tjocklek (m)

$F$  = mätfältets area ( $\text{m}^2$ )

$q_0$  = värmetransport över spalten mellan mätfält och skyddsfält ( $\text{kcal/h}^{\circ}\text{C}$ )

$c$  = en konstant (m).

Värdena på  $q_0$  och  $c$  är helt betingade av apparatens konstruktion och kan tas fram på empirisk väg.

Ur ekvationen kan bl. a. utläsas att felet i  $\lambda$  ökas linjärt, dels med temperaturobalansen mellan mätfält och skyddsfält, dels med provplattornas tjocklek. Ett ökat  $\lambda$ -värde hos provskivan medför däremot enligt ekvationen en minskning av felet.

För att kartlägga sambandet mellan temperaturobalans och avvikelser i  $\lambda$ -värde för apparaten, gjordes en undersökning på 50 mm tjocka cellplastplattor med ett nominellt  $\lambda$ -värde av  $0,027 \text{ kcal/m h}^{\circ}\text{C}$  vid  $+10^{\circ}\text{C}$  medeltemperatur, varvid  $\lambda$ -värden uppmättes vid olika temperaturobalans. Resultaten, som redovisas i fig. 6,

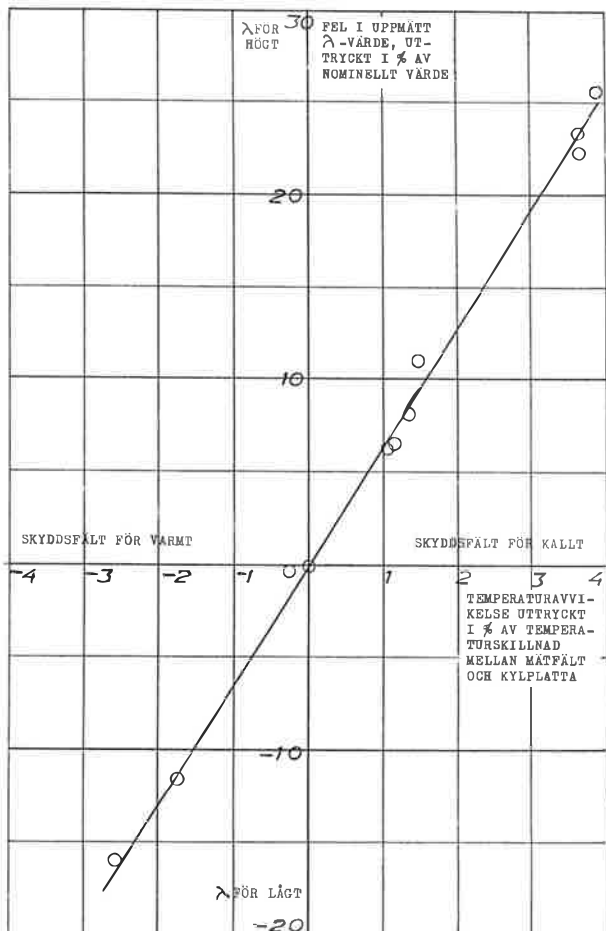


Fig. 6. Fel i uppmätt  $\lambda$ -värde som funktion av temperaturdifferensen mellan mätfält och skyddsfält. Diagrammet gäller för 50 mm tjocka cellplastplattor.

verifierar det linjära sambandet mellan nämnda storheter.

Genom försök har konstaterats att temperaturobalansen kan nedbringas till ca  $0,006^\circ\text{C}$ , vid  $10^\circ\text{C}$  temperaturfall över provstyckena. Enligt diagrammet ger denna avvikelse ett fel i  $\lambda$  på 0,4 %, vilket får anses fullt acceptabelt.

#### Stabiliseringstid

Innan mätning kan utföras, måste, som tidigare nämnts, stationärt tillstånd ha inträtt, d. v. s. stabil temperaturgradient ha utbildats i provskivorna. Poensgenapparaten stabiliseringstid är relativt lång, bl. a. på grund av mätplattans låga värmekapacitet. Kylplattorna antar inställd temperatur inom någon timme, medan mätfältet uppnår stabil temperatur tidigast efter något dygn. Mätfältets temperatur kan ej förinställas exakt, utan den bestäms av inmatad effekt, provplattornas tjocklek och  $\lambda$ -värde samt kylplattornas temperatur. Med kännedom om dessa storheters ungefärliga värde, kan ett närmevärde på erforderlig effekt beräknas.

Lång stabiliseringstid är den största nackdelen hos poensgenmetoden.

#### Jämförelse av mätnivån med andra apparater

Eftersom internationellt vedertagna likarapparater på området saknas, har överenskommelse träffats mellan nordiska provningsanstalter att välja poensgenapparaten i National Bureau of Standards, USA, som referenslikare för Norden, med poensgenapparaten vid Norges Byggeforskningsinstitut (NBI) i Trondheim som "underlikare". Nämnda apparater har under flerårig drift visat sig ha god reproducerbarhet och en mätnivå, som sammanfaller med medelvärdet av erhållna mätvärden vid större internationella jämförande mätningar (10).

Den vid Statens provningsanstalt byggda poensgenapparaten mätnivå jämfördes med ovan angivna apparater enligt följande:

Mätningar utfördes på 37 mm tjocka glasfiberskivor med en volymvikt av  $105\text{ kg/m}^3$ .  $\lambda$ -värdet upptogs för ett antal medeltemperaturer mellan  $5$  och  $25^\circ\text{C}$ , varefter plattorna provades i NBI:s apparat inom samma temperaturområde.

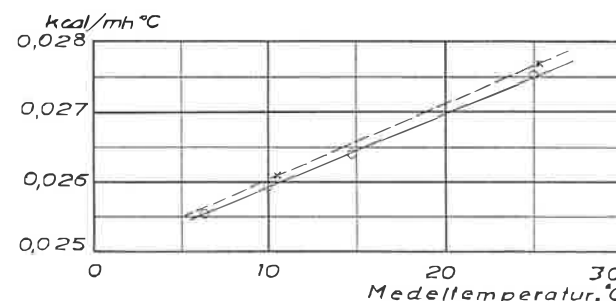


Fig. 7. Jämförelse mellan  $\lambda$ -värdesnivåerna hos NBI:s (streckad linje) och SP:s apparat (heldragen linje). Mätningarna är utförda på tungt glasullsmaterial.

Resultaten (fig. 7) visar, att vid medeltemperaturen  $+10^\circ\text{C}$  en avvikelse i uppmätt  $\lambda$ -värde på mindre än 1 % föreligger för detta material.

#### Metodens reproducerbarhet

Upprepade mätningar på identiska provstycken av tungt glasull har visat att reproducerbarheten hos apparaten är ca 0,5 %.

#### Litteraturlista

1. Lang, D. L.: "A Quick Thermal Conductivity Test on Insulating Materials". ASTM Bulletin Sept. 1956.
2. Statens provningsanstalts metodbeskrivning, SP VVS 1, 1964. "Metod för bestämning av värmeledningsförmåga hos isoleringsmaterial enligt D. L. Lang."
3. Poensgen, R.: "Ein technisches Verfahren zur Ermittlung der Wärmeleitfähigkeit plattenförmiger Stoffe." Mitteil. Forschungsarb. V.D.I., H. 130, 1912.
4. ASTM Standard C 177-63. "Standard Method of Test for Thermal Conductivity of Materials by Means of the Guarded Hot Plate."
5. DIN 52612. "Bestimmungen der Wärmeleitfähigkeit mit dem Plattengerät."
6. "Report on the RILEM Joint Test and Draft Specifica-

tion for the Determination of Coefficients of Thermal Conductivity by the Hot Plate Method." Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Setembro de 1962.

7. ASTM Special Technical Publication No. 217. "Symposium on Thermal Conductivity Measurements and Applications of Thermal Insulations" 1957.
8. *Pascal, A.*: "La mesure de la conduction thermique des matériaux du Bâtiment." Annales de l'Institut Tech-

nique du Bâtiment et des Travaux Publics No. 90, Juin 1955.

9. "Guarded Hot Plate Apparatus Complying with the Requirements of Section 4 of ASTM Standard Method of Test for Thermal Conductivity of Materials by Means of the Guarded Hot Plate." (Beskrivning av apparater utförda enligt ASTM Standard C 177. Skriften kan rekvideras från ASTM.)
10. *Paljak, I.*: "Bestämning av värmeledningsförmågan hos isoleringsmaterial." Svenske Skorstensfejaren nr 3—4, 1964.

## SUMMARY

UDC 536.2.07

GÖSTRING, B.: Hot Plate Apparatus for Determination of Thermal Conductivity of Building Materials.

At the Heating and Ventilating Engineering Laboratory of the Swedish Institute for Materials Testing an apparatus has been designed for the determination of thermal conductivity of building materials. It has been constructed as a double-faced apparatus according to Poensgen, generally known as a "guarded hot-plate apparatus".

The device consists of two cooling plates with a hot plate in between them. Two disc-shaped test pieces are required for measuring, these being placed on either side of the hot plate between the cooling plates. The hot plate comprises two fields, heated electrically by two separate systems, namely a centrally-located measuring field and, surrounding this, a protective field, the purpose of which is to ensure a perpendicular flow of heat from the measuring field through the test piece. This is done by maintaining the temperature of the protective field at the same level as that of the measuring field.

After measuring the temperature drop across the test discs ( $\Delta t$ ) and the power ( $P$ ) supplied to the measuring field, the thermal conductivity ( $\lambda$ ) is calculated, knowing the area of the measuring field ( $A$ ) and the thickness of the test pieces ( $d$ ), from:

$$\lambda = \frac{P \cdot d}{\Delta t \cdot A \cdot 2}$$

This testing method is standard in the U.S.A. (ASTM Standard C 177-63), Germany (DIN 52612) and other countries.

The apparatus designed by the Swedish Institute for Materials Testing is used for checking the other equipment for heat flow measurement at the Institute and for research work on the influence of different factors on the coefficient of thermal conductivity. The long stabilizing time, at least 24 hours, makes it less suitable for routine measuring work.

The apparatus is designed to measure

$\lambda$  values up to approx. 1 kcal/m h °C within a temperature range of —10° to 60° C. The temperature normally applied across the test pieces is 10° C

In order to avoid the risk of condensation and the influence of variations in the ambient temperature, the apparatus is arranged in an air-conditioned room maintained at a constant temperature equal to the mean temperature of the test pieces.

The measuring field is 300 × 300 mm and the overall dimensions of the protective field are 600 × 600 mm. The faces of the hot plate are painted black to provide maximum heat emission. The measuring field of the hot plate is supplied with stabilized direct current. Power supplied is measured by means of a combined voltmeter and ammeter of 0.2 class. The protective field of the hot plate is supplied with stabilized alternating current and is maintained at the same temperature as the measuring field with the aid of a regulator, thus ensuring a perpendicular flow of heat from the measuring field. Temperature control is by a highly-sensitive two-position regulator with a restoring function, that is controlled by a differentially-connected chain of thermocouples between measuring and protective fields.

The cooling plates are manufactured of aluminium and, like the hot plate, are painted black on the faces turned compound used as coolant is pumped through the plates, and is maintained at a constant temperature by means of a thermostat.

The external temperature of the test sheets is measured with the aid of thermocouples and registered by a compensating recorder during the stabilizing process, whilst the final values are measured by an accurate potentiometer.

Hot plate and cooling plates are supported in a frame, where one cooling plate is fixed in the frame, whilst the hot plate and the other cooling plate are movable. After insertion of the test pieces, the plates can be pressed together by means of a screw device and fixed in the desired position. The entire apparatus can be rotated to permit the tests to be made in vertical or horizontal positions, which can be of significance when measuring material pervious to air.

The accuracy of the values of  $\lambda$  obtained is dependent on the temperature difference between measuring and pro-

TECTIVE fields, and diminishes linearly with increasing temperature difference. In order to obtain a quantitative value of the accuracy of the designed apparatus, a test was made with 50-mm thick foamed plastic discs. The results show that the least deviation in temperature that can be obtained, approx. 0.006° C, gave a deviation of  $\lambda$  value of 0.4 % with a 10° C temperature drop across the test pieces.

The accuracy of the apparatus has been compared with that of the National Bureau of Standards, which is on the same measuring level as the Poensgen apparatus of the Norwegian Building Research Institute that has been selected as standard for Scandinavia. The measurements were taken on 37-mm thick glass wool discs with a density of 105 kg/m<sup>3</sup>, and the value of  $\lambda$  was taken at a number of different temperatures between 5 and 25° C. The results show a deviation in the value measured of less than 1 %.

The reliability of the measurements has, after repeated tests on glass wool discs, been found to be approx. 0.5 %.

## AUSZUG IN KURZFASSUNG

DK 536.2.07

GÖSTRING, B.: Plattengerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen.

Bei dem Wärme- und Lüftungstechnischen Laboratorium der Staatlichen Materialprüfungsanstalt ist ein Gerät zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen konstruiert worden, das als so genanntes doppelseitiges Plattengerät nach Poensgen ausgeführt ist und in englischsprechenden Ländern die Bezeichnung "guarded hot plate apparatus" erhalten hat.

Das Gerät besteht aus 2 Kühlplatten, zwischen denen sich eine Wärmeplatte befindet. Zur Durchführung der Messung sind 2 scheibenförmige Prüfkörper erforderlich, die auf beiden Seiten der Wärmeplatte zwischen den Kühlplatten angebracht werden. Die Wärmeplatte besteht aus zwei



Feldern, die durch zwei gesonderte Systeme elektrisch erwärmt werden, nämlich ein zentral belegenes Messfeld und ein dieses umgebendes Schutzfeld, das dazu dient, einen Wärmefluss winkelrecht von dem Messfeld durch die Probe herzustellen. Dies wird dadurch erreicht, dass die Temperatur des Schutzfeldes auf der gleichen Höhe gehalten wird wie die des Messfeldes.

Nach dem Messen des Temperaturgefälles über die zu prüfenden Platten ( $\Delta t$ ) und des dem Messfeld zugeführten Effektes (P) kann die Wärmeleitfähigkeit ( $\lambda$ ) bei Kenntnis der Fläche (A) des Messfeldes und der Stärke (d) der Prüflinge gemäss folgender Formel berechnet werden:

$$\lambda = \frac{P \cdot d}{\Delta t \cdot A \cdot 2}$$

Das Prüfverfahren ist in den USA (ASTM Standard C 177-63) und in Deutschland (DIN 52612) sowie in mehreren anderen Ländern genormt.

Das bei der Prüfungsanstalt konstruierte Gerät wird zur Kontrolle der übrigen Ausrüstung der Anstalt für Wärmeflussmessungen und Forschungsaufgaben über die Einwirkung verschiedener Faktoren auf die Wärmeleitfähigkeit benutzt. Zuzufolge seiner langen Stabilisierungszeit, mindestens 24 Stunden, ist das Gerät für Normalmessungen weniger geeignet.

Das Gerät ist konstruiert zum Messen von  $\lambda$ -Werten bis etwa 1 kcal/m<sup>2</sup>h°C im Temperaturbereich -10 bis +60°C. Das normale Temperaturgefälle über die Prüflinge beträgt 10°C.

Zur Verhinderung von Schwitzwasserbildung und der Einflüsse schwankender Umgebungstemperatu-

ren ist der Gerät in einem konditionierten Raum untergebracht, dessen Temperatur auf der Mitteltemperatur der Prüflinge konstant gehalten wird.

Das Messfeld hat die Abmessungen 300 x 300 mm und das Schutzfeld ein Aussenmass von 600 x 600 mm. Die Wärmeplatten sind schwarz angestrichen, wodurch die grösste Wärmeabgabe erzielt wird. Das Messfeld der Wärmeplatten wird mit stabilisiertem Gleichstrom gespeist. Die Leistungsaufnahme wird mittels eines kombinierten Volt- und Ampere-messers der Klasse 0,2 gemessen. Das Schutzfeld der Wärmeplatte wird mit stabilisiertem Wechselstrom gespeist und mit Hilfe eines Regulators auf derselben Temperatur wie das Messfeld gehalten. Damit wird ein winkelrechter Wärmefluss von diesem gewährleistet. Die Temperaturregelung erfolgt mit einem hochempfindlichen zweistufigen Regulator mit Rückstellungsfunktion, der von differenzgekuppelten Thermoelementketten zwischen Mess- und Schutzfeld gesteuert wird.

Die Kühlplatten sind aus Aluminium und wie die Wärmeplatten an den nach den Prüflingen gewendeten Flächen schwarz angestrichen.

Als Kühlflüssigkeit wird ein Glykolwassergemisch verwendet, das durch die Platten gepumpt wird. Die Temperatur der Flüssigkeit wird durch einen Thermostaten konstant gehalten.

Die Oberflächentemperatur der Prüflinge wird mit Thermoelementen gemessen und mittels eines Kompensationsschreibers während des Stabilisierungsverlaufes registriert, während die Schlusswerte mit einem genauen Kompensator gemessen werden.

Die Wärme- und Kühlplatten sind in einem Stativ aufgehängt. Eine Kühlplatte ist im Stativ fest verspannt, während die andere und die Wärmeplatte beweglich sind. Nach dem Einsetzen der Prüflinge können die Platten mittels einer Schraubvorrichtung zusammengepresst und in gewünschter Lage fixiert werden. Das ganze Gerät ist drehbar, so dass die Proben in vertikaler und horizontaler Lage gemessen werden können. Dies kann bei Messungen von luftdurchlässigen Stoffen von Bedeutung sein.

Die Genauigkeit der erhaltenen  $\lambda$ -Werte hängt von dem Temperaturunterschied zwischen Mess- und Schutzfeld ab und nimmt bei steigendem Temperaturunterschied in direktem Verhältnis ab. Um einen quantitativen Wert für die Genauigkeit des Gerätes zu erhalten, wurde eine Untersuchung an 50 mm dicken Schaumstoffplatten gemacht. Hierbei zeigte es sich, dass bei der geringsten erhaltlichen Temperaturabweichung, etwa 0,006°C, bei einem Temperaturgefälle von 10°C die Abweichung von  $\lambda$  über die Prüflinge 0,4% ausmacht.

Die Genauigkeit des Gerätes wurde mit der des National Bureau of Standards verglichen. Diese Genauigkeit besitzt auch der Poensgenapparat des norwegischen Bauforschungsinstitutes, der als Eichmass für den Norden gilt. Die Messungen wurden an 37 mm dicken Glaswolleplatten mit einem Volumgewicht von 105 kg/m<sup>3</sup> ausgeführt, wobei die  $\lambda$ -Werte bei einer Anzahl Temperaturen 5° und 25°C gemessen wurden. Die Ergebnisse zeigen eine Abweichung des Messwertes von weniger als 1%.

Durch wiederholte Messungen an Glaswolleplatten ergab sich die Reproduzierbarkeit zu 0,5%.