

BOLIGOPVARMNINGSUDVALGETS MEDDELELSE NR. 7

UNDERSØGELSER
OVER
HUDENS VARMEUDSTRAALINGSEVNE

AF

MARIUS NIELSEN
(Universitetets zoofysiologiske Laboratorium)

KØBENHAVN

1948

BOLIGOPVARMNINGSUDVALGETS MEDDELELSE NR. 7

UNDERSØGELSER

OVER

HUDENS VARMEUDSTRAALINGSEVNE

AF

MARIUS NIELSEN

(Universitetets zoofysiologiske Laboratorium)

KØBENHAVN

1948

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE
HJORTEKÆRSVEJ 99, LYNGBY, TLF. 87 88 60

nr. 113

0-0

Boligopvarmningsudvalgets Medlemmer
Members of the committee for the study of domestic heating.

Professor, dr. phil. August Krogh (formand),
Afdelingsingeniør Otto Juel Jørgensen (sekretær),
Professor F. C. Becker,
Overingeniør Carl Bruun,
Læge Sven Christiansen,
Civilingeniør J. Falck,
Direktør, Civilingeniør Gunnar Gregersen,
Vicedirektør, Civilingeniør P. Hempel,
Overlæge, Dr. phil. O. M. Henriques,
Professor E. S. Johansen,
Arkitekt Mogens Koch,
Civilingeniør A. von der Lieth,
Professor J. L. Mansa,
Direktør Niels Pedersen,
Overingeniør Carl U. Simonsen.

CONTRIBUTION NUMBER 7 FROM THE COMMITTEE FOR
THE STUDY OF DOMESTIC HEATING, COPENHAGEN

STUDIES
ON
THE HEAT RADIATING CAPACITY
OF THE HUMAN SKIN

BY

MARIUS NIELSEN
(Zoophysiological Laboratory, University of Copenhagen)

COPENHAGEN

1948

De i denne Beretning omhandlede Undersøgelser er udført paa Universitetets „Zoofysiologiske Laboratorium“ af Dr. phil. *Marius Nielsen*.

Herved indstiller jeg, at denne Beretning bliver offentliggjort som et Led i Boligopvarmningsudvalgets Publikationer.

The investigations dealt with in this report were performed in the Zoo-physiological Laboratory of the University of Copenhagen by *Marius Nielsen* Sc. D.

I hereby recommend that the report is included among the publications of the Committee.

August Krogh.

Boligopvarmningsudvalget ønsker at offentliggøre denne Beretning. Forfatteren er ansvarlig for Beretningens Resultater og Konklusioner.

The Committee for the Study of Domestic Heating has found it desirable to publish this report, the results and conclusions of which are given on the author's responsibility.

August Krogh

Formand

Carl Bruun

Sven Christiansen

J. Falck

Gunnar Gregersen

P. Hempel

O. M. Henriques

E. S. Johansen

Otto Juel Jørgensen

Mogens Koch

A. von der Lieth

J. L. Mansa

Niels Pedersen

Carl U. Simonsen

For Undersøgelser, der tilsigter en nærmere Analyse af Varmeeudvekslingen mellem Mennesket og Omgivelserne, er Kendskabet til Størrelsen af Hudens Varmeudstraalingsevne (Straalingstal) en nødvendig Forudsætning. Da Huden kun udstråler Varme i det infrarøde spektrale Omraade fra ca. 5—30 μ , er det Udstraalingsevnen i dette Omraade, som er af Interesse. Der findes i Litteraturen en Del Undersøgelser over Hudens Varmeudstraalingsevne foretaget ved at sammenligne Varmestraalingen fra Huden med Varmestraalingen fra et „absolut sort Legeme“ af kendt Temperatur. Kender man da Hudoverfladens Temperatur, kan dens Udstraalingsevne beregnes ved Hjælp af *Stefan-Boltzmanns Lov*. De Resultater, man er kommet til, er afvigende fra hinanden, hvilket sikkert først og fremmest beror paa Usikkerhed ved Bestemmelsen af Hudoverfladens absolutte Temperatur. *Christiansen og Larsen* (1935) fandt i et omfattende Arbejde en Udstraalingsevne af Huden paa 83 % af det „absolut sorte Legemes“ og anfører, at Hudtemperaturer bestemt under Antagelse af, at Huden er en „Sortlegemestraaler“, vil blive ca. 1,5° C under den virkelige Hudtemperatur. Ved Opvarmning af Huden udefra fandtes en Forøgelse af Udstraalingsevnen, som antoges at bero paa den større Blodfylde i Huden, og ved maximal Blodfylde i Huden, fremkaldt ved Hjælp af kraftig Opstemning af det venøse Blod, fandtes en Udstraalingsevne af praktisk talt samme Størrelse som det „absolut sorte Legemes“. I Modsætning hertil hævder den amerikanske Forsker *Hardy* (1934 og 1939), at den normale Huds Udstraalingsevne er af praktisk talt samme Størrelse som det „absolut sorte Legemes“. I sit sidste Arbejde fra 1939 har *Hardy* bestemt Hudens Refleksionsevne overfor Varmestraaling mellem Straalemaaler og en CO₂ Blok. Denne Straaling angaves at have praktisk talt samme spektrale Fordeling som Straalingen fra Huden. Som Resultat fandtes en Refleksionsevne af Huden paa 1,3% svarende til en Udstraalingsevne paa 98,7% af det absolut sorte Legemes. En Del andre Undersøgelser findes

udførligt omtalt og kritiseret i de nævnte Arbejder af *Christiansen & Larsen og Hardy*.

Som allerede nævnt ligger den væsentligste Usikkerhed ved de tidligere Undersøgelser over Hudens Varmeudstrålingsevne i Bestemmelsen af Hudoverfladens absolutte Temperatur. Denne er oftest bestemt ved Hjælp af et Termoelement i Kontakt med Huden, og *Hardy* (1934) hævder, at man ved en saadan Bestemmelse i bedste Fald kan opnaa en Nøjagtighed paa $\pm 1^\circ$ C. Som væsentlige Fejkilder skal her nævnes, at Termoelementet indstiller sig i Varmeligevægt mellem Huden og den omgivende Luft og saaledes under normale Betingelser tenderer til at maale for lave Temperaturer. En ikke ubetydelig Varmemængde kan bortledes fra Loddestedet, især hvis det ene af Metallerne i Termoelementet er Kobber. Paa den anden Side kan Termoelementet

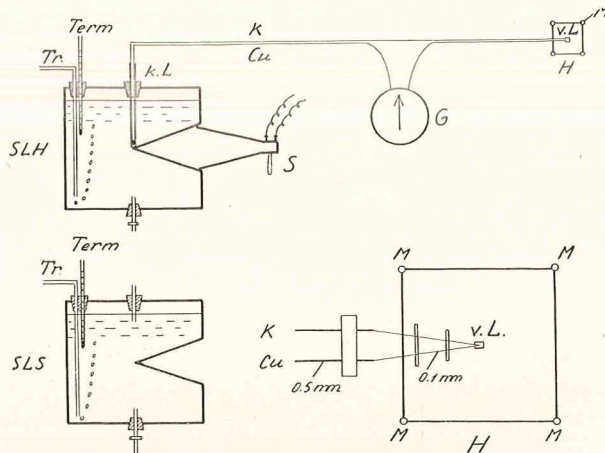


Fig. 1. Forsøgsanordningen (skitseret).

Straalemaaleren S, der er anbragt foran det absolut sorte Legeme SLH, kan tilsluttes Galvanometret G. Vandbadet i de absolut sorte Legemer SLH og SLS blandes ved Hjælp af Trykluft gennem Tr og kan opvarmes ved Hjælp af en Varmespiral. I Vandbadet til SLH er der desuden anbragt Termometret Term og det „kolde“ Loddested til Hudtermoelementet Cu K, hvis „varme“ Loddested v. L. er fastklæbet til Huden H med små Leucoplaststrimler. M, Afmærkningen af det Hudomraade, der undersøges. Hudtermoelementet er forneden vist noget mere detaillert.

Arrangement for measuring the radiating capacity of the skin.

Radiometer S can be connected with galvanometer G. Perfectly black bodies SLH and SLS. Thermocouple Cu K with „cold“ junction (k. L.) in SLH and „warm“ junction (v. L.) fixed to the skin by adhesive tape. Marking of skin area M. The skin thermocouple is below shown somewhat more detailed.

til en vis Grad hemme Varmeafgivelsen (saavel Vandfordampning som Straaling og Konvektion) fra Maalestedet, især hvis de ovenanførte Mangler søges afhjulpet ved Hjælp af varmeisolerede Materialer. Endvidere er Resultatet af Maalingen, saavel af fysiske som fysiologiske Aarsager (Paavirkning af Hudens Blodgennemstrømning), afhængigt af det Pres, der udøves af Termoelementet imod Huden. Selvom man med et hensigtsmæssigt bygget Termoelement under visse Betingelser kan opnaa rigtige Maalinger af Hudens Temperatur, kan Maalingerne under andre fysiologiske og fysiske Betingelser meget vel blive behæftet med væsentlige Fejl. Det maa derfor indvindes, at man ved disse Maalinger savner Kontrol paa, at det er den virkelige Overfladetemperatur af Huden, man bestemmer.

I det foreliggende Arbejde er Hudens Udstraalingsevne bestemt, uden at man behøver at kende Hudens absolutte Temperatur. Førend den nærmere Beskrivelse af Fremgangsmaaden samt det anvendte Apparat skal Metodens Princip i Korthed omtales: Et absolut sort Legeme (SLH i Fig. 1) bringes op paa en Temperatur, som tilnærmelsesvis er lig med Hudtemperaturen. Dette gøres ved at opvarme SLH, indtil Termoelementet (Fig. 1), hvis „kolde“ Loddested er anbragt i Vandbadet i SLH, er strømløst. SLH holdes derefter ved konstant Temperatur, og der tilvejebringes nu en Række Temperaturforskelle mellem Straalemaaler (Termosøjle) og Hud resp. SLH paa den Maade, at Straalemaalerens Temperatur varieres. Straalemaalerens Temperatur bestemmes ved Hjælp af et andet absolut sort Legeme (SLS i Fig. 1), hvis Temperatur varieres, indtil Straalemaalerens Termosøjle er strømløs. Termosøjlels Temperatur er da lig med det absolut sorte Legemes Temperatur. Den fra Huden og fra det absolut sorte Legeme (SLH) som Termostrømme (\dot{a}) maalte Straaling indtegnes i et Koordinatsystem som Ordinat med den tilsvarende Temperaturforskelle (ΔT) mellem SLH og Straalemaaler som Abscisse. Se Fig. 2. Derved fremkommer to Kurver, som repræsenterer Ændringen i Varmestraalingen fra Huden (Kurve I) og fra det absolut sorte Legeme (Kurve II) svarende til kendte Ændringer af Straalemaalerens Temperatur. For Kurve I's Vedkommende maa Temperaturforskellene mellem SLH og Straalemaaler dog korrigeres, saafremt der under Maalingerne indtræder mindre Ændringer i Hudtemperaturen. Saadanne Ændringer, der kan dreje sig om nogle faa Tiendedele °C, maales med Sikkerhed med det dertil egnede i Fig. 1 og paa Side 11 be-

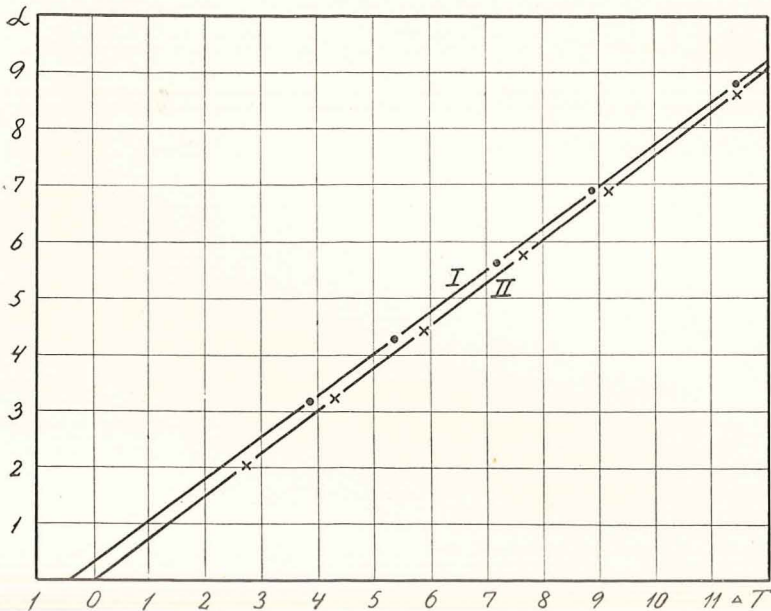


Fig. 2. Galvanometerudslagene (α) ved Straalingsmaaling fra Huden (Kurve I) og fra det absolut sorte Legeme (Kurve II) afsat i Relation til de tilsvarende Temperaturforskelle (ΔT) mellem Huden resp. det absolut sorte Legeme og Straalingsmaaleren.

Galvanometer deflections (α) by measuring heat radiation from the skin (curve I) and from the perfectly black body (curve II) in relation to the corresponding temperature differences (ΔT) between the skin resp. the perfectly black body and the radiometer.

skrevne Termoelement. Det er derimod ligegyldigt, om man med dette Termoelement maaler den absolutte Hudtemperatur et Par Grader forkert. I Fig. 2 er Kurve I simpelthen tegnet med Temperaturforskellen mellem Hudtemperaturen (maalt med det omtalte Termoelement) og Straalemaaleren som Abscisse.

De to Kurver i Fig. 2 er for det undersøgte Maaleomraade praktisk talt rette Linier. Kurve II (for det absolut sorte Legeme) gaar gennem Nulpunktet, hvad den maa i Følge Bestemmelsen. Kurve I (for Huden) skærer Abscisseaksen i en vis Afstand fra Nulpunktet. For $\alpha=0$ maa Temperaturforskellen mellem Huden og Straalemaaleren imidlertid ogsaa være = 0 uafhængigt af Værdien for Hudens Varmedudstralingsevne. Saafremt Termoelementet angav den rigtige Hudtemperatur, maatte Kurve I derfor gaa gennem Nulpunktet og forløbe parallelt med den i Fig. 2 tegnede Kurve I. Afstanden mellem Fodpunkterne af Kurve I og Kurve II svarer følgelig til den systematiske Fejl, hvormed Hudtem-

peraturen maales med det anvendte Termoelement. En Forskel i Hældningen af de to Kurver vil alene bero paa Forskel i Udstrålingsevnen af det absolut sorte Legeme og Huden, og som det vil fremgaa af nedenstaaende, kan Hudens Varmeudstrålingsevne bestemmes som Forholdet mellem Hældningen af Kurve I og Kurve II.

Idet Straalemaalerens Termoelementer regnes for absolut sorte, kan Varmestraalingen mellem Huden og Straalemaaleren (Kurve I) udtrykkes som:

$$Q_I = k \cdot C_H \cdot (T_H^4 - T_T^4) \quad (1)$$

hvor Q_I er Varmestraalingen fra Huden i kcal/Time og C_H Hudens Udstrålingsevne, T_H Hudens absolutte Temperatur maalt ved Hjælp af Hudtermoelementet og korrigeret for den systematiske Fejl, der svarer til Afstanden mellem Fodpunkterne af Kurve I og Kurve II, og T_T Termosøjleens absolutte Temperatur.

$$T_H^4 - T_T^4 = 4 T^3 (T_H - T_T), \text{ hvor } T = \frac{T_H + T_T}{2}$$

gælder med tilstrækkelig Sikkerhed for smaa Temperaturforskelle.

Ligning (1) giver da:

$$Q_I = k \cdot C_H \cdot T^3 (T_H - T_T) \quad (2)$$

Paa tilsvarende Maade faas for Straalingen mellem det absolut sorte Legeme SLH og Straalemaaler (Kurve II):

$$Q_{II} = k \cdot C_s \cdot T^3 (T_{SLH} - T_T) \quad (3)$$

Idet Q_I og Q_{II} er proportionale med α_H og α_{SLH} (Termostrømmene ved Maaling fra Hud og SLH) faar man ved Division af (2) med (3):

$$\frac{C_H}{C_s} = \frac{\left(\frac{Q_I}{T_H - T_T} \right)}{\left(\frac{Q_{II}}{T_{SLH} - T_H} \right)} = \frac{\left(\frac{\alpha_H}{T_H - T_T} \right)}{\left(\frac{\alpha_{SLH}}{T_{SLH} - T_T} \right)}$$

D. v. s., at Forholdet mellem Hudens og det absolut sorte Legemes Varmeudstrålingsevne kan bestemmes som Forholdet mellem Hældningen af Kurve I og Kurve II.

Som absolut sort Legeme anvendtes en Kobberbeholder af Form som en kort Cylinder, i hvis ene Endeflade der er indsenket en Kobberkegle, som er bøjet hornformet i Spidsen. Keglen er indvendig sværtet med et tyndt, jævnt Lag af mat sort

Maling. Kobberbeholderen fyldes med Vand, som blandes grundigt ved Hjælp af Luftgennembobling. Keglen vil da virke som et absolut sort Legeme af samme Temperatur som Vandbadet, i hvilket den er indsænket. Denne Form for absolut sort Legeme er angivet af *Hardy*, som har kontrolleret det ved Hjælp af en Standard fra U. S. Bureau of Standards; endvidere har han sammenlignet det med et absolut sort Legeme af samme Type som anvendt af *Christiansen og Larsen* og fundet nøjagtig Overensstemmelse mellem de to Typer.

Den anvendte Straalemaaler er en Termosøjle i Forbindelse med en Reflektortragt, der fungerer som Straalesamler. Straalesamlerens Aabning er i Randen forsynet med 4 Ebonitfodder af en Længde paa ca. $\frac{3}{4}$ cm. De „varme“ Loddesteder, som er sortsværtet med mat Lak, er anbragt i Focus af denne Straalesamler. Deres Varmekapacitet er meget lille, saaledes at der hurtigt (ca. 10 Sek.) opnaas Varmeligevægt, naar Apparatet flyttes fra en Straalekilde til en anden. De „kolde“ Loddesteder er anbragt frit i Luften i Straalemaalerens Basis afskærmet for den indfaldende Straaling. Termosøjleens indre Modstand er ca. 30 Ohm. Den anvendes i Forbindelse med et „Cambridge Spot Galvanometer“. (Svingningstid 1,8 Sek., indre Modstand 36 Ohm). Der blev indskudt ekstra ydre Modstand i Serie med Termosøjlen, saaledes at det opnaaede Galvanometerudslag var paa $\frac{3}{4}$ —1 cm for en Temperaturforskel paa 1° C mellem Straalemaaleren og det absolut sorte Legeme; Galvanometret aflæstes med en Nøjagtighed svarende til $\frac{1}{20}^{\circ}$ C. For at Straalemaalerens Temperatur kunde varieres, blev Reflektortragt + Basis i sin fulde Udstrækning omviklet med en Kobbertraad og grundigt varmeisoleret. Ved Hjælp af en 6 Volts Akkumulator kunde den derved bekvemt opvarmes til den Temperatur, som ønskedes. For at opvarme Straalemaaleren 1° C maatte Strømmen tilsluttes $\frac{1}{2}$ —2 Minutter, afhængig af den Temperatur, den i Forvejen havde. Efter Strømmens Afbrydelse steg Temperaturen endnu i nogle Minutter, men holdt sig derefter praktisk talt konstant indenfor den Tid, der krævedes til Maalingerne. Derimod var det ikke muligt at foretage Maalingerne, mens Strømmen var tilsluttet, da Galvanometret i saa Tilfælde stadig foretog smaa Svingninger.

Til at maale de smaa Ændringer, som sker i Hudtemperaturen under Forsøget, anvendtes et Termoelement (se Fig. 1). Selvom man med dette Termoelement ikke behøver at bestemme Hudoverfladens absolutte Temperatur ved den her anvendte Frem-

gangsmaade, er der dog taget Sigte paa at reducere de Fejl, der er forbundet med en saadan Bestemmelse (Sml. Side 6). Det „varme“ Loddested er dannet ved Sammenlodning af meget tynde Kobber- og Konstantantraade (Diameter 0,1 mm). Disse er ca. 10 cm fra Loddestedet loddet til grovere Kobber- og Konstantantraade (Diameter 0,5 mm, Længde ca. 1,5 m), hvormed det „kolde“ Loddested er dannet. Det „varme“ Loddested, der er dannet enten ved simpel Sammenlodning af de tynde Traade eller ved Lodning til en lille Sølvplade af yderst ringe Varmekapacitet, fikses til Huden ved Hjælp af en lille Leucoplastplade (Størrelse ca. 3×3 mm²). Ligeledes holdes de tynde Traade, som er isoleret med et tyndt Lag Metallak, i Kontakt med Huden ved Hjælp af smalle Leucoplaststrimler.

Forsøgene udførtes i et Kælderrum, hvor Forsøgspersonen laa paa et vandret Leje saa vidt muligt afskærmet for Luftstrømninger. Flertallet af Maalingerne foretoges paa Forsøgspersonens Underben, hvor Haarene paa Maalestedet i Forvejen var fjernet. Maalestedet afmærkedes med 4 Mærker (M i Fig. 1) svarende til Stillingen af de Ebonitfødder, der er anbragt i Randen af Straalemaalerens Reflektor, saaledes at man hver Gang kunde maale Straalingen fra nøjagtigt samme Hudareal. Et eller to Termoelementer blev fikseret i Midten eller symmetrisk i Forhold til Midten af dette Hudareal. Varmestraalingen herfra modificeres praktisk talt ikke som Følge af Termoelementernes Fiksation, idet Arealet af det paaklæbde Leucoplast er ubetydeligt i Forhold til hele det Hudareal, der inddrages under Straalemaalingen, og endvidere blev det paavist, at der kun er meget lille Forskel paa Udstraalingsevnen af Huden og af den anvendte Leucoplast. Termoelementets „kolde“ Loddested blev anbragt i Vandbadet i det absolut sorte Legeme (SLH), og SLH blev opvarmet, indtil Termoelementet var strømløst, saaledes at SLH herved fik omtrent samme Temperatur som Huden. Straalemaalerens Temperatur blev bestemt ved Hjælp af et andet absolut sort Legeme SLS, hvis Temperatur blev ændret, indtil Straalemaalerens Termosøjle var strømløs, d. v. s., indtil Galvanometerudslaget var lig med Nul. Under Forsøget aflæstes derefter Temperatur og Galvanometerudslag i følgende Rækkefølge:

1. SLS, 2. SLH, 3. SLS, 4. Hud, 5. SLS. Dette gentoges ialt tre Gange ved samme Temperatur af Straalemaaleren. Straalemaalerens Temperatur blev saaledes kontrolleret umiddelbart før og efter hver Straalemaaling, og saafremt dens Temperatur havde

ændret sig, kunde denne Ændring meget let beregnes ved Hjælp af Galvanometerudslagets Afvigelse fra Nul. I Almindelighed ændredes Straalemaalerens Temperatur ikke mere end ca. $0,05^{\circ}$ C, i enkelte Tilfælde dog op til ca. $0,10^{\circ}$ C imellem 1. og 2. Kontrol.

Fig. 2 viser Resultaterne fra et Forsøg. Hvert af Kurvepunkterne er Gennemsnitsværdien af 3 Bestemmelser. Paa Kurve I findes ingen Punkter i Nærheden af Nulpunktet. Dette skyldes, at naar Straalemaaleren opvarmes saa stærkt, at den omtrent faar Hudens Temperatur, udløses der under Straalemaalingen en tydelig Varmefornemmelse i Huden, Hudtemperaturen stiger ikke helt ubetydeligt, og det tager længere Tid end normalt, før der opnaas Ligevægt; dette er upraktisk med den anvendte Form for Opvarmning af Straalemaaleren, idet man da risikerer, at Straalemaalerens Temperatur ændres mere end ønskeligt under Maa-lingen. Det undersøgte Kurveafsnit er imidlertid fuldt tilstrækkeligt til Formaalet. Som det fremgaar af Figuren, er Kurverne for de undersøgte relativt smaa Temperaturforskelle praktisk talt rette Linier. Hældningen af Kurve I er $98,5\%$ af Hældningen af Kurve II, d. v. s., at Hudens Varmeudstraalingsevne i dette Forsøg er bestemt til at være $98,5\%$ af det absolut sorte Legemes Varmeudstraalingsevne. Kurve I skærer Abscisseaksen i en Afstand fra Nulpunktet svarende til en Temperaturforskel paa $-0,45^{\circ}$ C. Dette betyder, at der med Termoelementet er maalt en Temperatur, der er $0,45^{\circ}$ C lavere end den virkelige Hudtemperatur.

Der blev foretaget 8 Forsøgsserier svarende til den, der er gengivet i Fig. 2. Som Gennemsnitsværdi fandtes en Værdi af Hudens Varmeudstraalingsevne paa $98,5\%$ *) af Værdien for det absolut sorte Legeme med en Spredning paa Enkelbestemmelsen paa $\pm 0,6\%$. I en enkelt Forsøgsserie, hvor der var fremkaldt en stærk Blodoverfyldning af Huden ved Hjælp af Stase, fandtes ogsaa en Udstraalingsevne paa $98,5\%$. Endvidere blev der foretaget 6 Forsøgsserier over Varmeudstraalingsevnen af den Leucoplast, som anvendtes ved Fikseringen af Termoelementerne. Leucoplasten blev klæbet paa den ene Endeflade af den Kobberbeholder, der tjente som absolut sort Legeme. Termoelementerne

*) Et enkelt Forsøg, som gav en Værdi paa $93,8\%$, er ikke medtaget i dette Gennemsnit. Aarsagen til denne lave Værdi er antagelig en uheldig Fiksation af Termoelementet. Det tilraades derfor i hvert Forsøg at anvende 2 Termoelementer.

blev fikseret paa Leucoplastens Overflade paa samme Maade som paa Huden, og de „kolde“ Loddesteder anbragtes i Vandbadet i Kobberbeholderen. Gennemsnitsværdien for Varmeudstralingsevnen var i disse Forsøg 94,0 % med en Spredning paa Enkeltbestemmelsen paa $\pm 0,5$ %. Termoelementerne viste i Hudforsøgene en gennemsnitlig Afvigelse paa 0° C med en Spredning paa Enkeltværdierne paa $\pm 0,45^{\circ}$ C og i Leucoplastforsøgene paa $-0,9^{\circ}$ C, $\pm 0,15^{\circ}$ C fra den virkelige Overfladetemperatur. Den større Spredning i Hudforsøgene skyldes muligvis, at Temperaturen af det Overfladeareal, der er inddraget i Straalemaalingen, er lidt mindre ensartet end i Leucoplastforsøgene.

Den i de foreliggende Forsøg fundne Værdi for Hudens Varmeudstralingsevne er i god Overensstemmelse med *Hardy's* Undersøgelser (1939), i hvilke der ud fra Bestemmelser af Hudens Refleksionsevne blev fundet en Værdi for Udstralingsevnen paa $98,7\% \pm 0,5\%$ af Værdien for det absolut sorte Legeme. *Büttner* (1937) fandt en Værdi paa 95,4 %, men *Hardy* (1939) paapeger, at den mindre Forskel mellem hans og *Büttners* Resultater beror paa, at *Büttners* Maaling af Hudens absolutte Temperatur er behæftet med en vis Fejl. I de tidligere omtalte Undersøgelser af *Christiansen og Larsen* (1935), i hvilke Hudens Temperatur varjeredes, medens Straalemaaleren forblev ved Stuetemperatur, blev Galvanometerudslagene ved Straalemaalingen fra Huden og fra det absolut sorte Legeme ligesom i de foreliggende Undersøgelser afsat i Relation til Temperaturforskellen mellem Hud resp. sort Legeme og Straalingsmaaler. De derved fremkomne Kurver var næsten parallelle, men forskudt en vis Afstand i Forhold til hinanden. Behandles disse Forsøgsresultater paa tilsvarende Maade som Forsøgsresultaterne i de foreliggende Undersøgelser, finder man derfor, at Huden og det absolut sorte Legeme har næsten samme Udstralingsevne, og Parallelforskydningen mellem Kurverne angiver da — saafremt de maalte Temperaturvariationer er rigtige — den systematiske Fejl, hvormed den absolutte Hudtemperatur maales med de anvendte Termoelementer under de paagældende Forsøgsbetingelser*).

Efter de her fremlagte Undersøgelser udstråler Huden Varme næsten som det absolut sorte Legeme, idet dens Udstralingsev-

*) Efter mundtlig Meddelelse fra Dr. *Sven Christiansen* anser denne det netop for sandsynligt, at der i de omtalte Undersøgelser er fremkommet en systematisk Fejl ved Maalingen af den absolutte Hudtemperatur.

evne har en konstant Værdi, uafhængig af Hudens Blodfylde, som er 98,5% af Værdien for det absolut sorte Legeme. Straalingsmaalingen, der kan udføres uden Berøring med Huden og uden at ændre Betingelserne for Varmeafgiften, maa derfor anses som udmærket egnet til Bestemmelse af Hudens Temperatur. Udføres Maalingerne med en Termosøjle, der er kalibreret ved Hjælp af et absolut sort Legeme, bliver Korrektionen paa den fundne Temperatur meget lille. Med en Temperaturforskel paa 10° C mellem Huden og Termosøjlen bliver den saaledes kun ca. 0,15° C.

Det skal endvidere fremhæves, at medens Huden i Følge *Taylor's Undersøgelser* (1933) er delvis gennemtrængelig for Straaling indtil en Bølgebredde af $\lambda = 6 \mu$ (Maaling paa Hornlag af 0,02 mm Tykkelse), er normal Hud efter Undersøgelser af *Hardy og Muschenheim* (1936) indenfor det Bølgeomraade (ca. 5—30 μ), hvor den udstraalet Varme, praktisk talt uigennemtrængelig for Varmestraaler, saaledes at Dybdestraaling efter disse Undersøgelser er ubetydelig, og Forskellen mellem Temperaturen af Hudens Overflade og den ved Straalingsmaalingen bestemte Temperatur i Praksis er lig med Nul.

I det foregaaende er Maaling af Hudens Temperatur ved Hjælp af Hudtermoelementer flere Gange blevet kritiseret. For at forebygge Misforstaaelser skal det fremhæves, at denne Kritik kun gælder for nøjagtige Maalinger af Hudens absolutte Temperatur. Ved mangfoldige fysiologiske og kliniske Undersøgelser, ved hvilke det ofte drejer sig om sammenlignende Undersøgelser til Vurdering af Hudens Blodgennemstrømning, er Maalinger ved Hjælp af Termoelementer af egnet Konstruktion udmærket anvendelige.

Ligesom ved de tidligere Undersøgelser over Hudens Varmeudstraalingssevne er der i det foreliggende Arbejde til Straalingsmaalingen anvendt en Termosøjle i Forbindelse med en Reflektor til Forstærkning af Apparatets Følsomhed. Paa Grund af Anvendelsen af Reflektor saavel som af andre Grunde, som der senere (S. 16—17) skal gøres nærmere Rede for, maa der ved Maaling af Udstraalingssevne af Maaleobjekter, hvis „Sorthedsgrad“ er væsentlig mindre end det absolut sorte Legemes, indføres en Korrektion paa det direkte Maaleresultat. Ved Hjælp af de følgende Forsøg er der fremstillet Korrektionskurver, der viser Korrektionens Størrelse for Maaleobjekter af forskellig „Sorthedsgrad“.

I Fig. 3 og Tabel I er fremstillet Resultaterne fra Forsøg, hvor Aabningen mellem det absolut sorte Legeme og Straalemaaleren

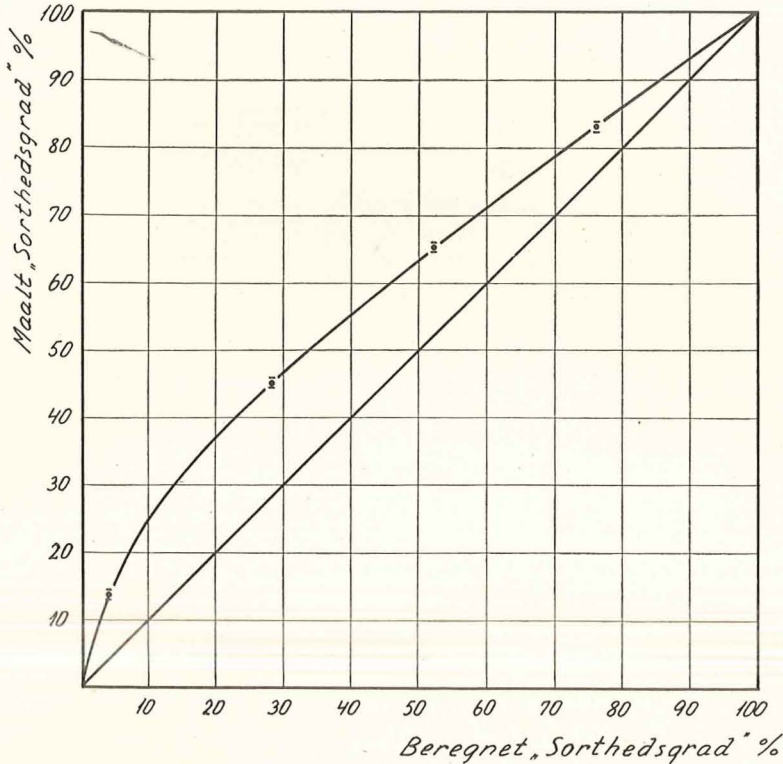


Fig. 3. Maaleobjektet ved Stuetemperatur. Straalemaaleren opvarmet til 40° , $14,9^{\circ}$ og $7,7^{\circ}$ over Stuetemperatur samt afkølet til $10,3^{\circ}$ under Stuetemperatur. De i Figuren afsatte Værdier for den maalte Varmeudstrålingsevne er Gennemsnitsværdier; Yderværdierne er angivet ved de smaa vandrette Linier. Enskeltværdierne er fremstillet i Tabel 1.

Average values of measured radiating capacity (ordinate) in relation to calculated values (abscissa).

Object for measuring at room temperature. Radiometer heated to 40, 14,9 and 7,7° C above room temperature and cooled to 10,3° C below room temperature.

er $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ og fuldstændig dækket af en blank Kobberplade. Ved den delvise Dækning blev henholdsvis 1, 2 og 3 Kvadranter af den cirkulære Aabning mellem Straalemaaleren (Moll-Termosøjle med konisk Reflektortragt) og det absolut sorte Legeme dækket af den blanke Kobberplade. Det sorte Legeme og Kobberpladen havde samme Temperatur = Stuetemperaturen. Straalemaaleren var i 3 Forsøgsserier opvarmet til henholdsvis 40° , $14,9^{\circ}$ og $7,7^{\circ}$ over Stuetemperaturen, medens den i en 4. Forsøgsserie var afkølet til $10,3^{\circ}$ under Stuetemperaturen. Dens Temperatur, der ved Hjælp af den tidligere anvendte Fremgangsmaade (se S. 11–12)

Tabel 1.

Maalte Værdier for Varmeudstrålingsevnen af det helt og delvist dækkede sorte Legeme.

Measured values of radiating capacity for a perfectly black body completely and partly covered by polished copper.

Temperaturdiff. mell. Straalem. og sort L. (Temp. diff. between radio- meter and black body)	Dækningsgrad i % (Degree of covering in per cent)			
	25	50	75	100
+ 40.0°	83.8	64.6	44.8	12.8
+ 14.9°	83.6	65.4	45.4	14.3
+ 7.7°	82.2	65.3	44.4	13.8
- 10.3°	83.5	66.1	45.8	14.2

blev kontrolleret før og efter Maalingerne, holdt sig konstant. Den maalte Varmeudstrålingsevne, $\frac{\alpha_1}{\alpha_s} \cdot 100$, hvor α_s og α_1 er Galvanometerudslagene ved Maaling fra henholdsvis det sorte Legeme og det delvis dækkede sorte Legeme, er i Fig. 3 afsat som Ordinat, og Varmeudstrålingsevnen, beregnet ud fra Dækningsgraden og under Forudsætning af, at den anvendte Kobberplades Refleksionsevne er 96%, er afsat som Abscisse. Den lodrette Afstand mellem de to Kurver angiver da Korrektionen af den maalte Varmeudstrålingsevne. Som det fremgaar af Figuren samt af Tabel 1, er Korrektionens Størrelse uafhængig af Straalemaalerens Temperatur og uafhængig af, om Straalemaaleren er opvarmet eller afkølet. For et Maaleobjekt, hvis Varmeudstrålingsevne er 50% af det sorte Legemes, udgør Korrektionen 13,5%.

Grunden til, at der for Maaleobjekter af ringe „Sorthedsgrad“ kommer en saa betydelig Korrektion, er sikkert først og fremmest den mangfoldige Straalingsrefleksion, formentlig i Forbindelse med at Reflektoren har en lidt anden Temperatur end Termosøjlen, og endvidere at Temperaturdifferensen (ΔT_K) mellem Maaleobjektet og Straalemaaleren under Straalingsmaalingen ikke er helt den samme som Temperaturdifferensen (ΔT_E) mellem Maaleobjektet og de af Termosøjlenes Loddesteder, der er exponeret for Straalingen. Maaleobjektets Udstrålingsevne bestemmes som ovenfor omtalt som $\frac{\alpha_1}{\alpha_s} \cdot 100$, idet ΔT_K holdes konstant. Straale-

maalerens Temperatur bestemmes altid som Temperaturen af de „temperaturkonstante“ Loddesteder; men det maa erindres, at det er ΔT_E der — sammen med Straalingstallene — er bestemmende for Straalingsudvekslingen mellem Maaleobjektet og Straalemaaleren, og ΔT_E er som anført mindre end ΔT_K , og Forskellen mellem de to Temperaturforskelle vil være stigende med stigende „Sorthedsgrad“ af Maaleobjektet, idet Temperaturen af de for Straalingen exponerede Loddesteder vil nærme sig mere til Maaleobjektets Temperatur, jo mere „sort“ Maaleobjektet er. Den til α_1 svarende ΔT_E er altsaa for ikke „sorte“ Maaleobjekter større end den til α_s svarende ΔT_E . Følgelig bliver Udstraalingssevnen ($\frac{\alpha_1}{\alpha_s} \cdot 100$) af Maaleobjekter med ringe Udstraalingssevne bestemt lidt for højt. For $\alpha_1 = \alpha_s$ har man naturligvis ogsaa samme ΔT_E . For Maaleobjekter, der nærmer sig til at være absolut „sorte“, vil Korrektionen for det her omtalte Forhold derfor nærme sig til 0. For Maaleobjekter, der nærmer sig til at være 100% reflekterende, vil den procentiske Fejl (hidrørende fra forskellig ΔT_E) nærme sig Maximum, men da α_1 samtidig aftager mod 0, vil den absolutte Fejl, der begaas, ogsaa nærme sig til 0. — Temperaturforskellen mellem de for Straalingen exponerede Loddesteder og de „temperaturkonstante“ Loddesteder kan bestemmes ud fra en Maaling af Termospændingen, og det viste sig, at for en Temperaturforskel paa 10° C mellem et absolut sort Legeme og Straalemaaleren steg de for Straalingen exponerede Loddesteder ca. 0,4° mere end de „temperaturkonstante“ Loddesteder. Korrektionen for det her omtalte Forhold kan derfor kun udgøre en mindre Del af den samlede Korrektion.

Ved stigende „Sorthedsgrad“ bliver den samlede Korrektion, som det fremgaar af Fig. 1, mindre og mindre, og for et Maaleobjekt som Huden, hvis maalte Varmeudstraalingssevne er 98,5% af det absolut sorte Legemes, udgør den samlede Korrektion for begge de nævnte Forhold langt under 1% af Maaleresultatet. Da denne Korrektion er uden Betydning, kan man ved Undersøgelser over Hudens Varmeudstraalingssevne se ganske bort fra den.

Fig. 4 viser Maalinger af Varmeudstraalingssevnen fra en plan, sortsværtet Kobberplade, hvor Aabningen mellem Straalemaaleren og Maaleobjektet ligesom i Forsøgene i Fig. 3 var $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ og helt dækket af en blank Kobberplade, der var i ledende Forbindelse med den sortsværtede Plade og derfor havde praktisk talt samme Temperatur som denne. I disse Forsøg var Straale-

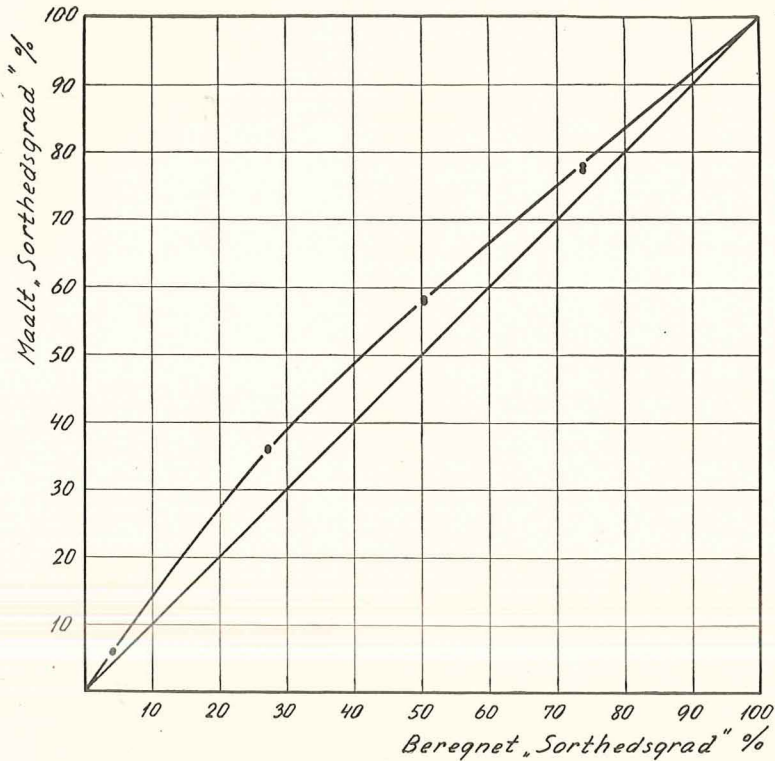


Fig. 4. Straalemaaleren ved Stuetemperatur, 20°. Maaleobjektet opvarmet til ca. 10° over Stuetemperatur.

Measured values (ordinate) and calculated values (abscissa) of radiating capacity. Radiometer at room temperature. Object for measuring heated to about 10° C above room temperature.

maalerens Temperatur konstant = Stuetemperaturen, medens Maaleobjektets Temperatur blev varieret. I Fig. 4 er ligesom i Fig. 3 den maalte Udstralingsevne afsat som Ordinat og den beregnede Udstralingsevne som Abscisse. De beregnede Værdier er ikke helt de samme som Værdierne i Fig. 3, fordi Udstralingsevnen af den sortsværtede Kobberplade kun er 97% af det absolut sorte Legemes. Man ser, at Korrektionen under disse Forsøgsbetingelser er væsentlig mindre, end naar Straalemaaleren opvarmes eller afkøles. For et 50% „sort“ Legeme er Korrektionen her saaledes kun 7,5%. Korrektionen er altsaa forskjellig for de to nævnte Forsøgsbetingelser, men er for samme Forsøgsbetingelse en konstant Størrelse, uafhængig af henholdsvis Straalemaalerens og Maaleobjektets Temperatur.

Studies on the heat radiating capacity of the human skin.

In the present paper a method for determining the radiating capacity of the skin has been described. By this method a measurement of the absolute temperature of the skin is not needed, the biggest source of error in earlier determinations in this way being avoided. The experiments were carried out in the following way.

A perfectly black body (SLH in fig. 1) is heated until the skin thermocouple (Cu K in fig. 1) is without current after which the temperature of SLH being now approximately equal to the skin temperature is kept constant. A series of temperature differences between the skin resp. SLH and the radiometer S are then produced by varying the temperature of the radiometer. The temperature of the radiometer is determined by means of another perfectly black body (SLS), the temperature of which is varied until the thermopile of the radiometer is without current. The galvanometer deflections α from measuring the heat radiation from the skin and from SLH are plotted against the corresponding temperature differences between SLH and the radiometer. See fig. 2. *The two curves are then representing changes in heat radiation from the skin (curve I) and from the perfectly black body (curve II) corresponding to known changes in the temperature of the radiometer.* For curve I the temperature differences between SLH and radiometer have to be corrected if small changes in the temperature of the skin are taking place during the measurements. Such temperature changes — which may be of the magnitude of a few tenths of a degree centigrade — are measured accurately by means of the skin thermocouple described in fig. 1. However it is of no consequence if in the

measurement of the absolute skin temperature with the thermocouple an error of a couple of °C's is involved. In fig. 2 curve I is simply drawn with the temperature difference between the skin (as measured by the skin thermocouple) and the radiometer as abscissa.

For $\alpha = 0$ the temperature difference between the skin and the radiometer is also $= 0$ — independent of the heat radiating capacity of the skin. Therefore if the measurement of the absolute skin temperature had been correct the curve for the heat radiation from the skin would have passed through the zero point as does curve II, and as the temperature differences are known to be correctly determined this curve for the skin radiation would have been parallel to curve I. Consequently the distance between the „foot points“ of curve I and curve II corresponds to the systematic error involved in the measurement of the absolute skin temperature by the thermocouple used.

Assuming the thermocouples of the radiometer to be perfectly black the heat radiation between the skin and the radiometer (curve I) according to the law of *Stefan-Boltzmann* can be expressed as follows:

$$Q_I = k \cdot c_s \cdot (T_s^4 - T_t^4) \quad 1$$

in which Q_I is the heat radiation from the skin in cal/hr and c_s the heat radiating capacity of the skin, T_s the absolute temperature of the skin as measured by the skin thermocouple and corrected as above mentioned for the systematic error involved in the measurement, and T_t the absolute temperature of the thermopile.

$$T_s^4 - T_t^4 = 4T^3 \cdot (T_s - T_t)$$

where $T = \frac{T_s + T_t}{2}$ is valid with sufficient accuracy for small temperature differences.

Equation (1) then gives:

$$Q_I = k \cdot c_s \cdot T^3 \cdot (T_s - T_t) \quad 2$$

Correspondingly the heat radiation between the perfectly black body SLH and the radiometer (curve II) can be expressed as:

$$Q_{II} = k \cdot c_b \cdot T^3 (T_b - T_t) \quad 3$$

in which Q_{II} is the heat radiation, c_b is the heat radiating capacity and T_b the absolute temperature of the perfectly black body.

Dividing (2) by (3) (Q_I and Q_{II} being proportional to the galvanometer deflections α_s and α_b from measuring the heat radiation from the skin and from the perfectly black body) you get:

$$C_s = \frac{\left(\frac{Q_I}{T_s - T_t} \right)}{\left(\frac{Q_{II}}{T_b - T_t} \right)} = \frac{\left(\frac{\alpha_s}{T_s - T_t} \right)}{\left(\frac{\alpha_b}{T_b - T_t} \right)}$$

i. e.: The heat radiating capacity of the skin can be determined as the proportion of the slope of curve I to the slope of curve II.

Eight series of experiments corresponding to the experiments in fig. 2 were performed, and an average value for the heat radiating capacity of the skin of 98,5 per cent of the value for the perfectly black body was found. The scattering of the single values from these determinations was $\pm 0,6$ per cent. One series of experiments in which the skin was maximally congested also gave a value of 98,5 per cent. In 6 series of experiments the heat radiating capacity of the adhesive tape („Leucoplast“) used for fixating the skin thermocouples was found to be 94,0 per cent $\pm 0,5\%$. The average value of the systematical error involved in the measurement of the absolute surface temperature was found to be $0^\circ \text{C} \pm 0,45^\circ \text{C}$ in the skin experiments and $-0,9^\circ \text{C} \pm 0,15^\circ \text{C}$ in the experiments performed on the adhesive tape.

The value found for the heat radiating capacity of the skin agrees with the investigations of *Hardy* (1934 and 1939). From determinations of the reflecting power of the skin (1939) *Hardy* found an average value for the radiating capacity of the skin of 98,7 per cent $\pm 0,5$ per cent. *Büttner* (1937) found a value of 95,4 per cent. The latter relatively low value is ascribed by *Hardy* (1939) to an error involved in the measurement of the absolute temperature of the skin. *Christiansen and Larsen* (1935) concluded from their experiments that the heat radiating capacity of the normal skin is considerably lower than that of a perfectly black body. By varying the temperature of the skin and plotting the values from the measuring of the heat radiation in the same way as here done in fig. 2 it was found that the curves for the skin and for the perfectly black body were nearly parallel to one another but with the curve for the normal skin shifted considerably to the right of that of the perfectly black body. Therefore from the point of view put forward in the present investigation these results show — provided that the temperature variations

measured are correct — that the heat radiating capacity is nearly the same for the skin and for the perfectly black body, and the parallel shift between the curves then indicates the magnitude of the systematical error involved in measurement of the absolute temperature of the skin for the special conditions of the experiments.

As in previous studies on the heat radiating capacity of the skin a reflector in connection with the thermopile has here been used for increasing the sensitivity of the apparatus. For this and other reasons, which will be mentioned later an error is introduced into measurements of heat radiating capacities which are essentially lower than that of a perfectly black body.

Fig. 3 and table 1 show results from experiments in which the aperture between the radiometer and the perfectly black body is $1/4$, $1/2$, $3/4$ and completely covered by polished copper. For the partial covering 1, 2 and 3 quadrants of the circular aperture of the radiometer (Moll-thermopile connected with conical reflector) was covered by the copper. The temperatures of the perfectly black body and the copper plate were equal to the room temperature, and the radiometer was in 3 series of experiments heated to 40, 14,9 and 7,7° C above the room temperature and in a 4th series of experiments cooled to 10,3° C below the room temperature. The temperature of the radiometer, which was checked before and after the measurements remained constant. The radiating capacities measured as $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} \cdot 100$ in which α_2 and α_1 respectively are the galvanometer deflections in the measurements of the heat radiation from the perfectly black body (uncovered) and from the perfectly black body partly or completely covered in the way mentioned are shown in table 1. From the degree of covering of the perfectly black body and assuming the reflecting power of the polished copper to be 96 per cent the heat radiating capacities are calculated, and the values from table 1 are in fig. 3 plotted against the calculated values. The vertical distance between the curves in fig. 3 then shows the correction to be used for the radiating capacity measured. For a 50 per cent black body the correction amounts to 13,5 per cent. It must be assumed that this big correction is due mostly to the manifold reflection of heat rays probably in combination with the fact that the temperature of the reflector may not be quite equal to the temperature of the thermopile, and further

to the fact that the temperature difference between the object measured and the thermo-junctions exposed to the radiation gets smaller the more „black“ the measured object is, even if the temperature difference between the object measured and the other set of junctions remains constant. It must be borne in mind that the temperature of the radiometer is measured as the temperature of the last named junctions, the exchange of radiating heat between the object measured and the radiometer, however, is determined by the first named temperature difference.

By increasing „blackness“ of the object measured the correction as seen from fig. 3 gets smaller and smaller, and for an object as the skin for which the heat radiating capacity is 98,5 per cent the total correction is far below 1 per cent.

Fig. 4 shows measurements of the heat radiating capacity of a plane dull black copper plate covered completely or partly ($1/4$, $1/2$ and $3/4$) by polished copper, the temperature of which in all experiments was practically the same as the temperature of the dull black plate. In these experiments the temperature of the object to be measured was varied, while the temperature of the radiometer remained constant equal to the room temperature. The measured values of the radiating capacity are in fig. 4 plotted against the calculated values. The calculated values in fig. 4 are not identical with the values in fig. 3, because the radiating capacity of the dull black plate is only 97 per cent of that of the perfectly black body. For these experimental conditions the correction is definitely smaller than if the radiometer is heated or cooled. For a 50 per cent black body the correction is here only 7,5 per cent. It is seen that the correction is different for the two conditions of experiment. However for the same condition of experiment the correction is constant independent of the temperature of the radiometer or of the temperature of the object to be measured.

Litteratur.

- Büttner, K., *Strahlentherapie* 58, 23, 1937.
Christiansen, S. and Larsen, T., *Skand. Arch. Physiol.* 72, 11, 1935.
Hardy, J. D., *J. Clin. Invest.* 13, 615, 1934.
Hardy, J. D., *Amer. J. Physiol.* 127, 454, 1939.
Hardy, J. D. and Muschenheim, C., *J. Clin. Invest.* 15, 1, 1936.
Taylor, H. J., *Proc. roy. Soc. London.* 1942, 603, 1933.