

BOLIGOPVARMNINGSUDVALGETS MEDDELELSE NR. 6

MAALING

AF

TEXTILERS VARMEISOLERENDE EGENSKABER

EN FORELØBIG MEDDELELSE

AF

AUGUST KROGH

KØBENHAVN

---

1948

MAALING AF TEXTILERS  
VARMEISOLERENDE EGENSKABER

EN FORELØBIG MEDDELELSE

AF

AUGUST KROGH

KØBENHAVN

---

1948

*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 6 FROM THE COMMITTEE FOR  
THE STUDY OF DOMESTIC HEATING, COPENHAGEN

---

THE HEAT  
INSULATING PROPERTIES  
OF TEXTILES

A PRELIMINARY COMMUNICATION

BY

AUGUST KROGH

COPENHAGEN

---

1948

LABORATORIET FOR VARMEISOLERING  
DANMARKS TEKNISKE HØJSKOLE  
HJORTEKÆRSVEJ 99, LYNGBY, TLF. 87 80 00

*nr. 112*

*0-0*

De i denne Beretning omhandlede Undersøgelser er udført paa Universitetets „Zoofysiologiske Laboratorium“.

Herved anmoder jeg om, 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.

I hereby submit 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*

Ovenstaaende er ikke tiltraadt af Professor *F. C. Becker*. Der henvises til Bemærkningerne Side 19.



For problemet boligopvarmning er spørgsmaalet om den varmeisolerende virkning af beboernes beklædning af ganske væsentlig betydning, men frembyder meget store, saavel principielle som tekniske vanskeligheder.

Den ganske umiskendelige tendens til at opvarme beboelsesrum til en stadig højere og mere ensartet temperatur, som har gjort sig gældende ihvertfald gennem det sidste aarhundrede, hvor den bl. a. kan aflæses af, at maaleapparater til kemiske laboratorier nu justeres til anvendelse ved  $20^{\circ}$  eller derover, imod  $15^{\circ}$  for 70 aar siden, har samtidig medført, at den indendørs beklædning gennemgaaende, og navnlig hos yngre, er blevet meget lettere og mindre varmeisolerende. Om at dette føles som en behagelighed, kan der vel ikke være tvivl, om hvad der er heldigst for sundheden, ved vi derimod meget lidt.

Spørgsmaalet om klædedragtens varmeisolerende egenskaber kan forsøgsmæssigt angribes paa to forskellige maader, der formentlig er egnede til at supplere hinanden. I U.S.A. har man foretaget talrige direkte maalinge paa menneskelignende termostater, svarende til den af Juel Jørgensen konstruerede „Jernhenrik“, iført de dragter, man ønskede prøvet, medens jeg har forsøgt at gaa mere analytisk til værks ved at studere de enkelte tekstiler, hvoraf klædedragten er sammensat. Manglende interesse fra textilindustriens side har medført, at vi — Dr. Marius Nielsen og jeg — kun er naaet frem til orienterende forsøg med den udarbejdede metodik, der utvivlsomt kan udvikles videre.

Vi har paa tøjprøver søgt at maale følgende størrelser:

1. Tøjets tykkelse.
2. Varmeledningen fra en blank metalflade til en anden gennem tøjet, sammenlignet med varmeledningen gennem et luftlag.
3. Vandindholdet af tekstiler ved forskellige temperaturer og fugtighedsgrader og betydningen heraf for de varmeisolerende egenskaber.

4. Diffusionen af en luftart ( $\text{CO}_2$ ) gennem tekstilprøver, sammenlignet med fri diffusion i luft og udtrykt ved det ækvivalente luftlags tykkelse.

5. Textilers vindtæthed, maalt ved filtrationen i ml luft pr. minut,  $\text{cm}^2$  og 0.0001 atmosfæres tryk.

Mine bestræbelser har gaaet ud paa at tilvejebringe fremgangsmaader, der var lette og hurtige at udføre, saa at man ikke behøvede at vige tilbage for et stort antal enkeltbestemmelser, og samtidig tilstrækkelig nøjagtige.

1. Tykkelsen af en tøjprøve kan næppe bestemmes helt exakt. Da bestemmelsen af varmegennemgangen medfører, at prøven af en blank og plan kobberplade presses op mod en anden plade, som den eventuelt løfter lidt, har vi maalt tøjets tykkelse under et tryk af tilnærmelsesvis samme størrelse. Hertil er anvendt

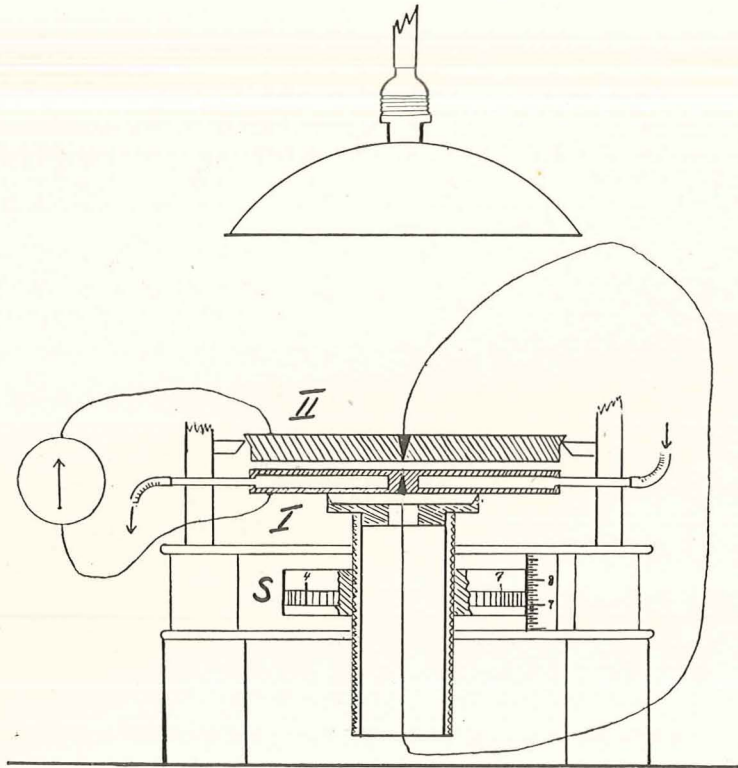


Fig. 1. Apparat til maaling af varmeledningstal for tynde stoffer.  
*Apparatus for measuring of heat transmission through textiles.*



to planpolerede jernklodser paa  $10 \times 12$  cm. Den ene hviler direkte paa et mikroskopbord. Den anden kan lægges ovenpaa, og et mærke paa dens øverste flade indstilles i mikroskopet. Naar en tøjprøve lægges imellem, vil den blive underkastet et tryk paa ca.  $3 \text{ g/cm}^2$ , og ved en fornyet indstilling paa mærket, kan prøvens tykkelse under dette tryk aflæses paa mikrometerskruen. Herved anvendes i reglen en forstørrelse paa ca. 100 gange.

2. Varmegennemgangen maales ved hjælp af apparatet fig. 1. Dette bestaar af en vandret kobberdaase 7 cm i diameter og 5,2 mm tyk med to planparallele flader. Ved hjælp af et tilførende og fraførende rør, der styres i kulisser, saa at daasen kan bevæges ca. 1 cm op og ned, kan daasen gennemstrømmes med vand af konstant tp., saa nær som muligt = værelsets, fra en stor Mariotteflaske. Daasen kan hæves og sænkes ved hjælp af skruen S, der bevæger sig 1 mm pr. omdrejning, og hvis hoved er inddelt i 100 dele. Daasens plane overflade er blankpoleret, og i dens centrum befinder sig det ene loddested af et termoelement. Over daasen og parallelt med den er anbragt en kobberplade af 7 cm diameter og 4,5 mm tyk, hvis øverste flade er sværtet mat sort, medens underfladen er blankpoleret. I centrum af denne flade befinder sig det andet loddested af termoelementet. De to loddesteder er forenede gennem en konstantantraad (0,5 mm), der er ført isoleret gennem pladerne, og de to kobberplader er gennem kobbertraade forbundet med et tilstrækkeligt fintmærkende galvanometer. Vi har benyttet et Hartmann-Braun visergalvanometer ( $6,5 \Omega$ ). Den øverste plade opvarmes konstant ved stråling fra en lille elektrisk lampe (6 volt, 0,5 amp) med reflektorskærm, der er ophængt 18 cm over pladen. Afskærmning er foretaget, saa at kun pladen, men ikke den øvrige del af maaleapparatet bestraales. Lampen drives af en akkumulator, og strømstyrken kontrolleres med et ampèremeter. Naar akkumulatoren er rigtigt opladet, holder strømstyrken sig konstant under en række bestemmelser, der foretages samme dag. Til nøjagtigere bestemmelser maa apparatet være opstillet i et rum, hvor temperaturen holdes konstant, og ogsaa fugtighedsgraden forbliver den samme indenfor et par procent. Der overføres varme fra den øverste kobberplade til kobberdaasen enten gennem et luftlag, hvis tykkelse kan indstilles med skruen, eller gennem en tøjprøve. Jo mere varme, der overføres,  $\nu$ : jo tyndere luftlaget er, desto mindre bliver det paa galvanometret aflæste udslag, svarende til temperaturforskellen mellem de to blanke kobberflader. Maalingen gaar ud paa at



bestemme tykkelsen af det luftlag, der giver samme udslag, som den undersøgte tøjprøve. Som tallene i det gengivne eksempel (tabel 1) viser, kan en konstant aflæsning ved prøver paa indtil 1 mm tykkelse opnaas efter 10—20 minutter. For væsentlig tykkere prøver tager det længere tid.

Fig. 2 viser galvanometerudslaget ( $\alpha$ ) i relation til tykkelsen af luftlaget mellem fladerne. Særlige forsøg, i hvilke den øverste plade var taget ud og nedsænket i vand af kendt tp., viser, at 6

Tabel 1.

Forsøgsprotokol. *Protocol of one experiment*, 13—5—1942.  
Vandstrøm. *Flow of water through copper box* 37 ml/min.  
Textilprøve I Linned, *Linen* 0.79 mm  
II Kamgarn, *Worsted* 0,89 mm III Kamgarn 1,08 mm.

Tid (Time)	Prøve (Sample)	Galvano- meter- aflæsning (Reading)	Vandtp. (Tp. of water) °C	Stuetp. (Tp. of room) °C	Fugtigheds- grad % (Percentage moisture)	Strømstyrke (Current to lamp) A
9 <sup>58</sup>	Luft (Air) 0,3 mm.		29.60	29.6	43	0.428
10 <sup>07</sup>		9.75				
10 <sup>13</sup>		9.75				
10 <sup>15</sup>	1 lag (layer) 0,79 mm					
10 <sup>22</sup>		10.8				
10 <sup>28</sup>		10.9				
10 <sup>40</sup>		10.9				
10 <sup>45</sup>	Luft (Air) 0,5 mm.					
10 <sup>57</sup>		13.8				
11 <sup>03</sup>		14.1				
11 <sup>14</sup>		14.1				
11 <sup>25</sup>	I 2 lag 1,45 mm...					
11 <sup>38</sup>		16.0				
11 <sup>43</sup>		15.85				
11 <sup>52</sup>		15.85	29.59	30.0	43	0.428
11 <sup>56</sup>	II 0,89 mm.....					
12 <sup>09</sup>		14.3				
12 <sup>16</sup>		14.6				
12 <sup>25</sup>		14.3				
12 <sup>30</sup>		14.3				
13 <sup>25</sup>	III 1,08 mm.....		29.60	30.0	41	0.428
13 <sup>45</sup>		16.3				
13 <sup>50</sup>		16.2				
14 <sup>05</sup>		16.25				
14 <sup>10</sup>	Luft (Air) 0,70 mm		29.60	30.3	41	0.427
14 <sup>20</sup>		17.75				
14 <sup>39</sup>		17.7		30.2	41	

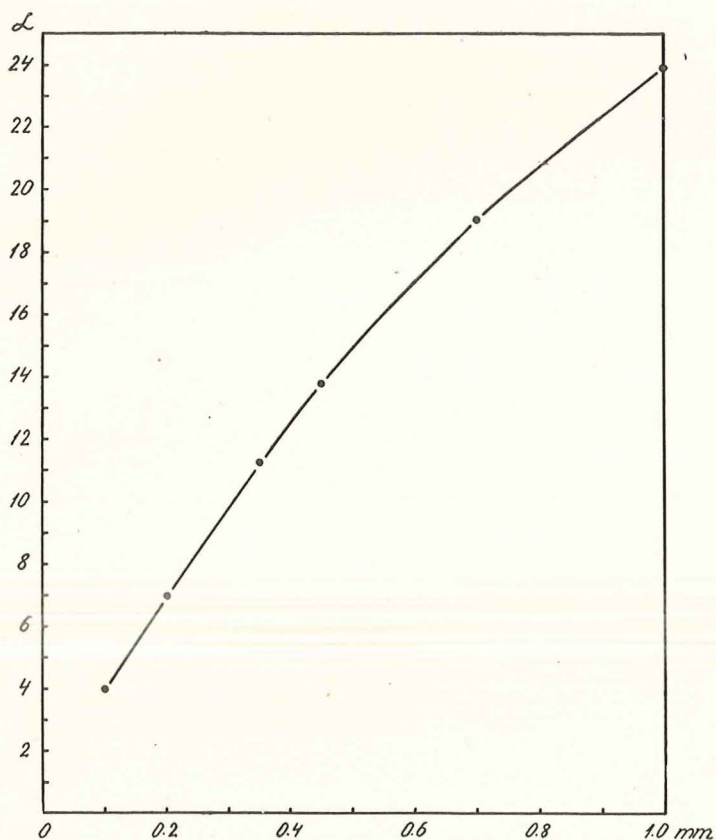


Fig. 2. Relation mellem galvanometerudslag og tykkelse af luftlag.  
*General relation between the thickness of the air space and the galvanometer reading.*

skalainddelinger svarer til en  $t_p$  forskel paa ca.  $1^\circ$ . Ved en afstand paa 1 mm mellem pladerne er den øverste altsaa, med den anvendte varmestraaling, ca.  $4^\circ$  varmere end kobberdaasen, hvis  $t_p$  er meget nær = det gennemstrømmende vands. Som i det gengivne eksempel benyttes kurven i fig. 2 ikke direkte til bestemmelser, men man sammenligner tøjprøverne umiddelbart med luftlag, der giver meget nær samme galvanometerudslag. Herved elimineres i betydelig udstrækning fejl, der skyldes variationer i strømstyrke og temperaturer.

Hvis man antager, at kobberfladernes reflexionsevne for straa-  
 ling af de her forekommende bølgelængder er 95%, kan det  
 beregnes, at varmestraalingen mellem fladerne ved 0,5 mm af-

stand svarer til 3,1 % og ved 1 mm til 6 % af den samlede varme-strøm. For denne fejkilde er der i vore foreløbige forsøg ikke korrigeret, da reflexionsevnen ikke er direkte bestemt og mulig er noget større.

Vi har regnet med varmeledningstal for atm. luft efter Nusselt i kcal/m/time/°C  $\lambda = 0,0203$  ved 0°, 0,0216 ved 20° og 0,0228 ved 40°. Vi har ikke taget hensyn til mulige variationer med luftens fugtighedsgrad og almindelig benyttet værdien 0,022 som gældende ved 30°. Efter Nusselt er vanddamps varmeledningsevne ved 100° 0,0201 og ved 120° 0,0212. Under vore forsøg maa værdien for vanddamp være kendeligt lavere end for tør luft, men under hensyn til det ringe indhold af vanddamp selv i mættet luft maa forskellen blive forsvindende.

Vi har foretaget en enkelt sammenligning med et varmegennemgangstal bestemt i Fysisk Laboratorium, Danmarks tekniske Højskole, for bygningsmaterialet haard masonit i tykkelsen 6,1 mm, der blev opgivet os at være 0,076, medens vi fandt 0,075, men vi tillægger ikke denne uoverensstemmelse nogen videre vægt, da vort apparat er beregnet for væsentlig mindre tykkelser af det varmeisolerende lag.

Vi har iøvrigt søgt at kontrollere apparatet ved sammenlignende maalinger paa 1—4 lag af samme tøj. I et forsøg af <sup>25</sup>/<sub>2</sub> 42 fandt vi

Tabel 2.  
Varmegennemgang gennem lag af vestefor.  
*Passage of heat through layers of waistcoat lining.*

Lag (Layer)	Tykkelse (Thickness) mm	Svarende til Luftlag (Corresponding to air thickness) mm	$\lambda$
1	0.24	0.15	0.0345
2	0.48	0.28	0.037
3	0.72	0.41	0.037
4	0.96	0.53	0.039

I dette tilfælde var apparatet tydeligvis indstillet svarende til multipla af 1 lags tykkelse, men i de følgende forsøg viste det sig, at flere lag ved samme totale tryk komprimeres mere end det enkelte lag og viser en relativt større varmegennemgang, saaledes <sup>21</sup>/<sub>4</sub>



Tabel 3.  
Varmegennemgang gennem lag af kittelstof.  
*Passage of heat through layers of cotton textile.*

Lag	Tykkelse mm	Luftlag mm	$\lambda$
1	0.78	0.34	0.050
2	1.45	0.58	0.055
3	2.10	0.78	0.059

Dette maa formentlig forklares som følge af 1) at en relativt større del af varmeoverførelsen sker ved stråling i tøjets porer, hvis vægge selv i hvidt tøj næsten fuldstændigt absorberer varmemstrålingen og 2) at de isolerende luftlag som følge af kompressionen bliver tyndere.

3. I en mindre forsøgsrække har vi arbejdet med spørgsmaalet om fugtighedsgradens indflydelse paa tekstilers varmelednings- evne. Textiler kan ved stigende fugtighed binde ikke ubetydelige vandmængder, og vi har først søgt at udfinde, hvorvidt disse mængder var afhængige hovedsagelig af fugtighedsgraden eller af vanddamtrykket, der ved samme fugtighedsgrad stiger stærkt med temperaturen. Forsøgene udførtes ved, at tøjprøver af samme størrelse som dem, der anvendes ved varmeledningsfor- søg (ca. 100 cm<sup>2</sup>), først tørredes fuldstændigt og vejedes, inde- sluttet i smaa glasdaaser; derefter udsattes de i mange timer for luft af kendt fugtighedsgrad og ved konstant temperatur, indtil ligevægt var opnaaet, og vejedes da paany. Resultaterne frem- gaar af tabel 4, der viser en klar afhængighed af fugtighedsgraden, men uafhængighed (indenfor fejlgrænserne) af damptrykket.

Tabel 4.  
Vandabsorption af tøjprøver og tilsvarende varmeafgivelse.  
*Water absorbed by textile samples and corresponding heat liberated.*

Fugtighed (Moisture) %	Damptryk (Vapour pressure) Tp. °C mm	Kamgarn, Worsted 1.08 mm.			Kittelstof, cotton textile 0.79 mm		
		Vægt g/m <sup>2</sup> (Weight)	Forøgelse % (Increase)	kcal/m <sup>2</sup>	Vægt g/m <sup>2</sup>	Forøgelse %	kcal/m <sup>2</sup>
0	0	393			268		
35	7.5 2.6	436	10.9	25	281	4.8	7
	30.5 11.5	433	10.1		280	4.5	
100	7.0 7.5	511	30.0	69	315	17.5	29
	30.5 32.8	513	30.5		323	20.5	

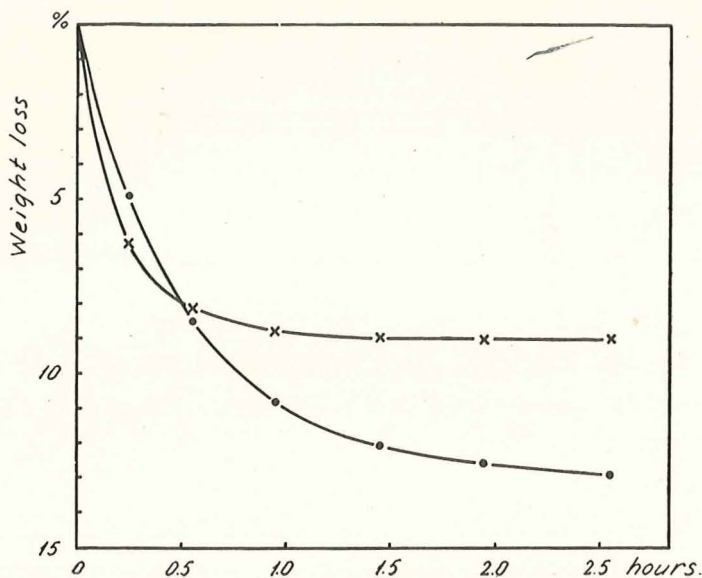


Fig. 3. Textilers vægttab i relation til tiden efter flytning fra luft med 100 pCt. fugtighed til luft med 40 pCt. fugtighed.

*The time required for samples to come into equilibrium with a new moisture environment.*

× kittelstof, cotton textile.  
 . kamgarn, wollen worsted.

Fig. 3 viser, at det for kittelstof ved 20° tager ca. 2 timer at afgive den vandmængde, 9% af vægten, der svarer til differensen mellem 100% og 40% fugtighed, medens kamgarn ikke har naaet ligevægt efter 2½ time. De vandmængder, der bindes ved stigende fugtighedsgrad, overgaar fra dampform til vædskeform, og den tilsvarende varmemængde frigøres (tabel 4), medens den absorberes fra omgivelserne ved faldende fugtighedsgrad. Det er klart, at man ved bestemmelser af varmeledningsevne maa være sikker paa, at tøjet er i ligevægt med den forhaandenværende fugtighedsgrad, der maa holdes konstant under forsøget.

Ved undersøgelser af 3 tekstilstoffer for afhængigheden mellem fugtighedsgrad og varmeledningsevne fandtes resultaterne i tabel 5.

De fundne forskelle er saa smaa og variable, at en eventuel indflydelse af fugtighedsgraden paa varmeledningsevnen, indenfor de undersøgte grænser, maa være ringe. Enkelte forsøg udført paa flere lagtykkelser af stofprøver viste dog en stærkere tendens til stigende varmeledningsevne ved stigende fugt-

Tabel 5.

Indvirkning af fugtighedsprocent paa varmeledningsevne.  
*Influence of percentage moisture upon heat conductivity.*  
 I Kattelstof, cotton textile. II, III Kamgarn, worsted.

Dato (Date)	Fugtighed (Moisture) %	Temperature °C		Prøve (Sample)	Tykkelse (Thickness) mm	Svarende til Luft (Corresponding to air) mm	λ 0,0
		Vand (Water)	Luft (Air)				
14/4	31—32	30.5	31.4—31.5	I	0.78	0.32	54
				II	1.00	0.57	39
				III	0.85	0.44	43
17/4	76—78	29.8 — 30.0	30.0—30.1	I	0.78	0.32	54
				II	1.00	0.505	44
				III	0.90	0.44	45
21/4	42—44	29.6 — 29.9	29.5—29.7	I	0.78	0.34	50
				II	1.00	0.53	42
				III	0.89	0.44	45
27/4	32	29.5 — 29.6	29.5—29.6	I	0.78	0.34	50
28/4	32—35	29.6 — 29.6	29.4—29.6	II	1.00	0.53	42
30/4	83—91	29.6 — 29.75	29.6—30.2	I	0.78	0.315	55
13/5	41—43	29.6	29.6—30.3	I	0.79	0.35	50
				II	1.08	0.615	39
				III	0.89	0.51	38
14/5	81—85	29.58—29.62	29.6—30.2	I	0.79	0.35	50
				II	1.08	0.59	40
				III	0.94	0.51	41

tighedsgrad. Værdierne for de sidste forsøg (13-14/5) er af ukendte grunde noget lavere end de øvrige.<sup>1)</sup>

4. Diffusionsmaalingerne med CO<sub>2</sub> foretoges paa cirkelrunde tøjskiver, der kunde indspændes i et særligt diffusionsapparat. Prøverne blev med undtagelse af en nøje bestemt cirkelflade i midten gjort lufttætte ved neddykning i smeltet paraffin. Hertil anvendtes en speciel skrueklemme, hvori tøjprøven fastspændtes mellem to cirkelrunde slebne flader, hvorefter det hele nedsænkedes nogle minutter i paraffin. Der er anvendt 3 forskellige cirkelflader med diametrene 10 mm, 15 mm og 20 mm.

Paa den ene side af prøven førtes en langsom luftstrøm med kendt CO<sub>2</sub>-indhold, paa den anden en strøm af CO<sub>2</sub>-fri luft,

<sup>1)</sup> Henriques' resultater, der gaar ud paa nedsat varmeledning gennem fugtig tøj har ikke kunnet bekræftes.



begge med samme tryk og hastighed. Den gennemdiffunderede  $\text{CO}_2$ -mængde bestemtes ved analyse. Diffusionen udtrykkes i % af den fri diffusion gennem et luftlag af samme tykkelse og areal, og følgende resultater kan meddeles

Tabel 6.

Diffusion af  $\text{CO}_2$  gennem tekstilprøver i procent af fri diffusion.

*Diffusion of  $\text{CO}_2$  through textiles in percent of free diffusion.*

I Skjortetøj, *cotton shirt*. II Vestefor, *waistcoat lining*. III Kamgarn, *worsted*.

	Tykkelse (Thickness) mm	Diffusion %	Ækivalent <sup>s</sup> luftlag (Airthickness) mm
I	0.26	9	2.9
II	0.17	4	4.2
III	0.93	18	5.0

$\text{CO}_2$  diffusionen har i sig selv meget ringe interesse, men diffusionen af vanddamp vil være proportional med den, og det har en vis interesse, om den fra menneskets hud afgivne vanddamp normalt kan passere ud ved diffusion gennem klæderne, eller om en luftudvexling ved massestrømning er nødvendig. Beregninger ud fra  $\text{CO}_2$  diffusionen viste, at under alle normale forhold (uden produktion af synlig sved) vil diffusion være tilstrækkelig til at fjerne vanddampen, hvilket giver sig udtryk i, at luften indenfor klæderne i reglen har en betydeligt mindre fugtighedsprocent end udenfor som i følgende eksempel fra en af vore bestemmelser.

Tabel 7.

	$T_p$ , °C	Fugtighed (Moisture) %	Damptryk (Vapour pressure) mm
I værelset ( <i>In room</i> ) . . . . .	21.2	46	8.6
Paa klæderne ( <i>On clothes</i> )	24.5	41	9.3
Paa huden ( <i>On skin</i> ) . . . . .	33.6	36	13.9

Yderligere forsøg over diffusion gennem tøj vil næppe have interesse.

5. Vindtætheden af tøjprøver bestemmes let ved hjælp af et spirometer af en i fysiologisk laboratorium almindelig anvendt type, f. ex. Vippespirometret (Krogh og Lindhard 1912).

En tøjprøve behandlet med paraffin, som under diffusionsbestemmelsen beskrevet, fastspændes over spirometrets udstrømningsåbning. Spirometret belastes med en lille vægt, og udstrømningens hastighed (mængde pr. tidsenhed) måles ved aflæsning eller grafisk registrering. Ved de små belastninger, der er tale om, er udstrømningen ligefrem proportional med trykket ( $\text{g/cm}^2$ ) og arealet af tøjprøvens frie flade. Som eksempel anføres følgende resultater. Trykket svarer til en vindhastighed af 4 m/sec.

Tabel 8.  
Filtration af luft gennem samme prøver som i tabel 6.  
*Filtration of air through samples of table 6.*  
ml/minute/cm<sup>2</sup>/1 mm vandtryk = 0,1 g/cm<sup>2</sup>

		Filtration ml	Filtration ml pr. mm
I	0.26	190	50
II	0.17	140	24
III	0.93	85	79

Vindtæthed vil i adskillige tilfælde være af betydning i praksis, men dog navnlig udendørs.

Jeg skylder Dr. Marius Nielsen megen tak for hans bistand ved disse undersøgelser. Optegnelserne om bestemmelserne af diffusion og vindtæthed er for største delen gaaet tabt.

#### Litteratur:

- Henriques, O. M. Tidsskrift for Textilteknik, Nr. 4, Side 57, 1944.  
Krogh, A. og Lindhard, J. Skand. Arch. f. Physiol. 1912, 27, 103.  
Nusselt, „Hütte“, Berlin 1928.

### English summary.

The heat insulating properties of human clothing are of interest in connection with the heating of houses, and the tendency to maintain higher indoor temperatures in winter is correlated with a tendency to wear lighter clothes.

The properties of clothes can be studied directly on thermostats given the form of the human body, but it is also possible to approach the problem analytically and study the properties of the textiles from which the clothes are made. Methods for this latter study are described and the following properties were measured in a few cases.

1. The thickness of textiles.
2. The conduction of heat from one plane polished copper surface to another through textile samples as compared with the conduction through air.
3. The water content of textiles at different temperatures and degrees of moisture and the possible influence of this upon the heat conduction.
4. The diffusion of a gas ( $\text{CO}_2$ ) through textile samples compared with free diffusion in air.
5. The resistance of textile samples to filtration of air at a low pressure difference (wind resistance).

1. Thickness is measured under a constant pressure of  $3 \text{ g/cm}^2$  to which the samples are exposed in the heat conductivity apparatus. A metal plate with a plane polished lower surface rests upon a similar plate and a mark on the upper surface is focused through a microscope. The textile sample is placed between the two polished surfaces and the mark again focused. The thickness is read on the adjusting micrometer screw.

2. The transmission of heat is measured by means of the apparatus fig. 1. (I) is a copper box, 7 cm in diameter with a plane, polished upper surface, through which a constant flow



of water at room tp. is maintained. The center of the polished surface is the cold junction of a thermocouple while the hot junction is in the center of the polished lower surface of the copper plate (II). The upper dull black surface of this plate is heated by radiation from a small incandescent lamp fed from an accumulator. The distance between the box and the plate can be regulated and read to 0,01 mm by the micrometer screw (S) supporting the copper box. The thermo=element is connected to a galvanometer of suitable sensitivity. The more heat is transmitted through an intervening layer of air or a textile sample from the upper to the lower plate the smaller the recorded temperature difference. In the determinations a textile sample is directly compared with air to find the equivalent thickness (table 1). Thermal equilibrium is usually reached within 10—20 minutes for samples up to 1 mm thickness.

Fig. 2 shows the general relation between the thickness of the air space and the galvanometer reading ( $a$ ). 6 scale divisions correspond approximately to 1° C temperature difference.

If polished copper reflects 95% of the dark radiation emitted the transfer of heat by radiation will be 3,1 % of the total at a distance of 0,5 mm and 6 % at 1 mm. No corrections for this error have been introduced so far, because the figure 95 is uncertain.

Heat conductivities of textiles are calculated on the basis of Nusselt's figure for air  $\lambda$  in kcal/m/hour/°C = 0,022 at about 30°. Determinations were made on 1—4 layers of the same textile. In table 2 a waistcoat lining was examined at multiples of the thickness of 1 layer. In table 3 the thickness of the combined layers of a linen sample was determined and found to be definitely less than corresponding to the number of layers and the  $\lambda$  found consequently increasing. These results are probably to be explained 1) by the increased transmission of heat by radiation within the pores of the textile and 2) by the decreasing thickness of the isolating layers of air.

3. In a small series of experiments the influence of moisture upon the heat conductivity of textiles was studied. Textiles bind rather large quantities of water from moist air, and we first studied the question whether the amount of bound water was related to the percentage moisture or to the vapour pressure. Samples of about 100 cm<sup>2</sup> were first dried completely, weighed in small glass containers, exposed for many hours to air at

constant temperatures and degrees of moisture and finally weighed again. Table 4 gives the results. It is seen that the water content depends upon the degree of moisture and not upon the water-vapour pressure. Fig. 3 shows the time required for samples to come into equilibrium with a new moisture environment.

The water combined at increasing degrees of moisture is condensed from vapour and a corresponding quantity of heat is liberated, which has to be absorbed again from the environment, which means from the body of the wearer, when the moisture of the air is reduced. In determinations of the heat conductivity it is evidently necessary that the samples are in moisture equilibrium with the surrounding atmosphere.

Three textiles were examined for the influence of moisture on heat conductivity. I is a white cotton textile used for laboratory smocks. II and III are wollen worsteds. The results are given in table 5. Within the limits studied the degree of moisture has at most a slight influence upon the heat conductivity.

4. In the diffusion measurements the results are expressed in per cent of the diffusion through a layer of air of the same thickness and by the thickness of the equivalent layer of air (Table 6). The results are used only to calculate the diffusion of water vapour through clothing and go to show that this is normally ample to take care of the evaporation from the human skin. The percentage moisture inside the clothes is lower than outside, but the vapour pressure, determining the diffusion, somewhat higher. (Table 7).

5. The filtration of air through samples is determined by measuring the rate at which a loaded spirometer sinks when air filters out through a small, accurately determined, area of the textile in question. Results are expressed in ml per sq. cm per minute at the pressure of 1 mm of water which corresponds to a wind velocity of 4 m/sec.

My thanks are due to dr. Marius Nielsen for his kind help in these studies. Almost all my notes from the experiments on diffusion and filtration are lost.

*Bemærkninger af Professor F. C. Becker til nærværende  
Meddelelse Nr. 6*

En Offentliggørelse af Beretningen i dens foreliggende Form, der udpræget er af indledende Karakter, vil være forhastet, da den anvendte Metodik til Bestemmelse af Varmegennemgang gennem Textiler aabenbart er saa ufuldkommen, at den ikke tjener sit Formaal, at føre til en sammenlignende Oversigt over Varmegennemgang gennem forskelligartede Textiler.

*F. C. Becker.*