

Ser. 4

S 43

Bepaling van kledingisolatie en metabolisme op de werkplek

Rapport opgesteld in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid
door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



NIA0097926

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 43

331:613.48:612.521.1
spec. a H.

Bepaling van kledingisolatie en metabolisme op de werkplek

Rapport opgesteld in opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid
door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

Opsteller: G. Havenith

Nederlands Instituut voor
Arbeidsomstandigheden NIA
bibliotheek-documentatie-informatie
De Boelelaan 32, Amsterdam-Buitenveldert

stamb.nr. 00-502
plaats Ser. 4, S 43
datum 05 JULI 1988

juni 1988

INHOUD

	blz.
SAMENVATTING	5
ABSTRACT	6
1 INLEIDING	7
2 METHODEN	8
2.1 Metabolisme	8
2.1.1 Meting van de zuurstofopname	8
2.1.2 Berekening via de hartfrequentie	9
2.1.3 Schattingen op basis van tabellen	10
2.2 Kledingisolatie	12
2.2.1 Meten	12
2.2.2 Schattingen van de kledingparameters	12
2.2.2.1 Tabellen	13
2.2.2.2 Schatting op grond van kleding eigenschappen	13
2.2.2.3 Omrekenen van manikin naar praktijk	15
3 TOEPASSING	15
3.1 Meting bij een zuivelbedrijf	16
3.2 Meting bij een staalsmelterij	20
3.3 Meting bij IZF	22
4 DISCUSSIE	26
5 CONCLUSIES	27
REFERENTIES	28
APPENDIX I: IZF-memo 1886-M17	30
APPENDIX II: IZF-memo 1986-M21	50
APPENDIX III: Voorbeeld van kledingisolatiebepaling	96

Bepaling van kledingisolatie en metabolisme op de werkplek

G. Havenith

SAMENVATTING

In het kader van het project "Inventarisatie klimaatomstandigheden", uitgevoerd in opdracht van het Directoraat Generaal van de Arbeid, werden diverse methoden ter bepaling van de kledingisolatie en het metabolisme van arbeiders op de bedrijfsvloer geïnventariseerd en uitgetoetst.

Voor het metabolisme zijn dat: directe meting van de O_2 opname; berekening via de hartfrequentie met een hartfrequentie-metabolisme-calibratiecurve en schattingen op basis van ISO-tabellen.

Voor de kledingisolatie zijn dat berekeningen uit de warmtebalans via proefpersoon of manikin meting; berekening op basis van Fysische eigenschappen (dikte e.d.) of schatting op basis van ISO of ASHRAE-tabellen.

Voor grootschalige toepassing is echte meting te bewerkelijk, maar de eenvoudige schattingen met ISO-tabellen zijn te onbetrouwbaar.

Op basis van de gepresenteerde gegevens wordt, als compromis van eenvoud en nauwkeurigheid, voor de metabolismebepaling de hartfrequentiemethode aanbevolen en voor de kledingisoliatiebepaling de berekening op basis van gewicht, bedekt oppervlak en evt. dikte.

Determination of clothing insulation and metabolic rate at the
workspot

G. Havenith

ABSTRACT

In the framework of the research project "Inventory of climatic circumstances in industry", appointed by the Directorate General for Labour, several methods for the determination of clothing insulation and metabolism of industry workers were reviewed and tested.

These methods are:

for metabolism: direct measurement of oxygen consumption; calculation from heart rate, using a heart rate - metabolic rate calibration curve, and estimations based on ISO-tables.

For clothing insulation: calculations using the heat balance equation in subject or manikin experiments, calculations based on physical properties of the clothing (thickness, weight etc.) and estimations based on ISO or ASHRAE tables.

For large scale applications, direct measurements are too laborious, whereas the simpler tables are too unreliable.

Based on the presented data, a compromise between accuracy and simplicity for both determinations is suggested: for metabolic rate determination the heart rate - calibration curve method and for clothing insulation the calculation based on weight, covered body surface and, possibly, thickness.

1 INLEIDING

In het kader van een opdracht van het Directoraat Generaal van de arbeid is door MT-TNO, in samenwerking met IZF-TNO een inventarisatie-methode voor klimaatomstandigheden in bedrijven opgesteld. Hierin heeft MT-TNO voornamelijk de klimaatbepaling voor zijn rekening genomen, terwijl de taak van het IZF-TNO bestond uit de bepaling van de fysiologische belasting en de inventarisatie en evaluatie van daarbij te gebruiken methoden.

Met de in deze inventarisatie verkregen gegevens moet het mogelijk zijn om d.m.v. modelstudies (o.a. Fanger, 1970) uitspraken te doen over het comfort van de werknemers in het bedrijf, eventueel geëxtrapoleerd naar andere seizoenen. Verder kunnen, eveneens d.m.v. modelstudies, uitspraken gedaan worden over eventuele verbeteringen in de klimaathuishouding ten behoeve van comfortverbetering of energiebesparing.

Voor de bepaling van de belasting en de belastheid van een persoon is kennis van een aantal parameters noodzakelijk. Voor de externe belasting zijn dat: het klimaat (temperatuur, vochtigheid, wind, straling), de zwaarte van de arbeid en de kledingparameters (warmte en vochtweerstand). Voor de interne belastheid zijn dit: het metabolisme, de hartfrequentie, de lichaamstemperatuur en eventueel ademhalingsparameters.

Voor de bepaling van al deze parameters zijn voldoende methoden beschikbaar. Het probleem is dat de meeste van deze methoden zijn opgesteld voor gebruik in het laboratorium en niet voor meting op de bedrijfsvloer. Voor dit laatste zijn eenvoudige afgeleide methoden nodig, die geen te groot verlies aan precisie geven.

Dit rapport concentreert zich daarbij op methoden ter bepaling van het metabolisme en de kledingparameters, daar deze naast de klimaatparameters (MT) de belangrijkste inputgegevens zijn voor de latere modelstudies.

Eerst zullen de te gebruiken methoden kort worden toegelicht (voor uitgebreidere gegevens wordt de lezer verwezen naar de Appendices) waarna enkele praktijkexperimenten met de betreffende methoden zullen worden besproken, gevolgd door aanbevelingen op basis van de verworven kennis.

2 METHODEN

Het overzicht van de meetmethoden wordt gegeven beginnende bij de meest directe bepaling (de laboratorium-methode) met de hoogste nauwkeurigheid, gevolgd door de andere bepalingsmethoden in volgorde van afnemende accuratesse. Een uitgebreidere versie van het overzicht wordt gegeven in Appendix A (metabolisme) en B (kledingisolatie).

2.1 Metabolisme

2.1.1 Meting van de zuurstofopname

Het metabolisme kan worden berekend op basis van de zuurstofopname en kooldioxide afgifte. In formule is dit:

$$M = (.23RQ + .77) * 21.17 * 10^3 * \dot{V}O_2 / O_{du} * 60 \quad (W/m^2)$$

met M = metabolisme (W/m^2)

RQ = respiratoir quotiënt ($\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$)

$\dot{V}O_2$ = zuurstofopname (l/min)

$\dot{V}CO_2$ = kooldioxide-afgifte (l/min)

O_{du} = lichaamsoppervlakte (Dubois en Dubois 1915) (m^2)

Deze meting van $\dot{V}O_2$ en $\dot{V}CO_2$ vergt echter nogal wat apparatuur, die de meetsituatie kan beïnvloeden doordat de proefpersoon in zijn beweging gehinderd wordt (slangen, mondstuk e.d.) en extra wordt belast (weerstand ademkleppen, ongewone situatie). Deze bezwaren zijn deels verminderd door de komst van draagbare O_2 meetssystemen (Oxylog; P.K. Morgan Ltd, Chatham, Kent). In dit geval wordt de $\dot{V}O_2$ gemeten en het respiratoir quotiënt geschat. De onnauwkeurigheid van de Oxylog kan voor één minuutsample oplopen tot 14%, maar neemt bij middeling over meerdere metingen af tot 5%. Het gaat bij deze laatste waarde om een systematische fout, waarbij de Oxylog te laag aanwijst ten opzichte van metingen met Douglas bags of met de massaspectrometer in combinatie met een droge gasmeter (Louhevaara e.a., 1985; Harrison e.a., 1982).

Bezwaren tegen de Oxylog methode zijn de prijs van de meetapparatuur, de beïnvloeding van de meting door de apparatuur (gewicht, bewegingsvrijheid) en de arbeidsintensiviteit van de meting.

2.1.2 Berekening via de hartfrequentie

Voor ieder persoon bestaat een nagenoeg lineair verband tussen hartfrequentie en zuurstofopname. (Åstrand, 1970). Is deze relatie eenmaal bepaald (calibratiecurve via arbeid op ergometer fiets) dan is het mogelijk uit de meting van de hartfrequentie de zuurstofopname en daarmee het *metabolisme*, te berekenen. Daar hartfrequentiemeters en loggers tegenwoordig sterk in prijs verlaagd en verkleind zijn (polshorloge formaat), geeft deze methode de proefpersoon alle vrijheid op de werkplek. Het nadeel van deze methode is de noodzaak van de bepaling van de calibratiecurve (hartslag en $\dot{V}O_2$ meting). Deze kan eventueel vereenvoudigd worden door, bij gebrek aan $\dot{V}O_2$ meetapparaat, de O_2 opname bij bepaalde ergometerbelastingen te schatten op basis van in de literatuur beschreven relaties (Åstrand, 1970).

Bij de meting op de werkplek moet wel rekening gehouden worden met de invloed van een eventuele warmtebelasting op de hartfrequentie. Een stijging in de lichaamstemperatuur resulteert in een additionele verhoging van de hartfrequentie. Gebaseerd op gegevens van Vogt e.a. (1973) en van de Linde e.a. (1982) bedraagt deze stijging:

$$\Delta HF = 21 \cdot \Delta T_{\text{rectaal}} + 3.5 \Delta T_{\text{huid}}$$

waarin $\Delta T_{\text{rectaal}}$ en ΔT_{huid} de stijging van de temperatuur boven 37 resp. 33°C is.

Beide auteurs geven verder een formule waarin het temperatureffect en het arbeidseffect op de hartslag verwerkt is. Uit de onderlinge verschillen komt nog eens naar voren dat de fitness een noodzakelijke parameter is en dat dus individuele calibratie nodig is, zoals hierboven ook al voorgesteld.

Een algemeen probleem dat op de hartslagmethode van toepassing is, is dat bij statische arbeid de relatie O_2 opname vs. hartfrequentie niet eenduidig is. (Sanchez e.a., 1979). Deze methode mag derhalve alleen worden gebruikt bij overwegend dynamische arbeid. Ook voor zeer lichte arbeid is de nauwkeurigheid niet goed. Over de grootte van de absolute fout van deze methode is weinig bekend.

2.1.3 Schattingen op basis van tabellen

In gevallen waar de hiervoor genoemde methoden niet toepasbaar zijn, kan gebruik gemaakt worden van tabellen, waarin een verbale omschrijving van de arbeid wordt gekoppeld aan een bepaald metabolisme.

Het bekendste voorbeeld van dit soort tabellen is die van de ISO (TC159/SC5-N57F). Daarnaast zijn ook nog uitgebreidere tabellen beschikbaar (Spitzer e.a., 1982).

In het algemeen zijn in de tabelmethoden vier types te onderscheiden waarbij de gedetailleerdheid van de tabel en de nauwkeurigheid van de schatting volgens de auteurs samengaan. De vier types zijn (voor de eigenlijke tabellen zie Appendix A):

- Indeling in klassen: laag, matig, hoog of zeer hoog metabolisme, op basis van een verbale omschrijving van het activiteitsniveau.
- Schatting op basis van beroepsgroep: de tabel geeft een range van metabole waarden voor verschillende beroepen.
- Analyse van arbeid op basis van houding, type beweging en bewegingssnelheid; de tabel geeft voor elk onderdeel een waarde die tot een totaalmetabolisme gesommeerd kan worden.
- Schatting op basis van metabolismes voor verschillende activiteiten; de tabel bevat een opsomming van een groot aantal gespecificeerde activiteiten met daarbij een gemeten metabolisme.

In het algemeen gaat aan de tabelbepaling een uitgebreide arbeidsanalyse vooraf. De proefpersoon wordt door een observator gevolgd, die de activiteiten zo nauwkeurig mogelijk omschrijft in combinatie met de betreffende duur van elke deelactiviteit. Het arbeidsanalyseformulier wordt later uitgewerkt, de tabelwaarden voor het metabolisme opgezocht en het gemiddelde metabolisme berekend (Tabel I).

Tabel I Voorbeeld van de berekening van het gemiddelde metabole vermogen op basis van een arbeidsanalyse.

Activiteit	Duur (s)	Metabolisme (W)	Totaal energieverbruik (kJ)
Lopen met lege kruiwagen (4 km/h)	80	420	33,6
Lopen met volle kruiwagen (4 km/h)	100	500	50
Bladeren harken	900	270	243
Bladeren in kruiwagen scheppen	300	430	129
Rust, staan	300	135	40,5
Σ	1680		496,1
Gemiddeld metaboolvermogen		295	

In een aantal gevallen is een correctie van de berekende waarde gewenst:

- Bij extreem hoge ($> 30^\circ$) of lage ($< -30^\circ$) omgevingstemperaturen is het energieverbruik hoger dan in de tabellen aangegeven (Wenzel en Piekarski, 1980). Bijv. bij 40° kamertemperatuur is het metabolisme + 14% hoger.
- Bij extreem korte arbeidsperioden (minuten) en relatief lange rustperioden is het werkelijke energieverbruik hoger dan in de tabellen aangegeven (Simonson effect, Müller en Hettinger, 1957) als gevolg van het herhaalde opstarten van het fysiologische systeem.

De te verwachten onnauwkeurigheid in het gebruik van de tabelmethoden kan volgens de stellers van de ISO-norm oplopen tot 30%.

2.2 Kledingparameters

2.2.1 Meten

Het meten van de kledingparameters warmte- en vochtweerstand voor een kledingstuk is arbeidsintensief en behoeft uitgebreide instrumentatie.

Bij een proefpersoonexperiment kan men, uitgaande van de warmtebalans, het droge (convectie, conductie + straling) en het natte (evaporatie) warmteverlies bepalen. Indien men daarnaast de gradiënten voor temperatuur en vochtconcentratie tussen huid en omgeving bepaalt kan uit deze gegevens de warmte- en vochtweerstand berekend worden (zie Appendix B)

Ook met een zogenaamde "thermal manikin" kan men de warmteweerstand bepalen. Men stelt een vaste huidtemperatuur in en meet de hoeveelheid warmte die nodig is om de huid op temperatuur te houden. In combinatie met de temperatuugradiënt tussen huid en omgeving kan weer de isolatie berekend worden.

De vochtweerstand is met een manikin moeilijker te bepalen. De waarden hiervoor worden meestal afgeleid van vochtdoorlaatbaarheidsmetingen aan monsters van het betreffende materiaal.

Voor metingen op grote schaal zijn deze methoden echter veel te tijdrovend en ontbreken vaak de meetmiddelen. Men zou, zij het met verlies aan precisie, de kledingisolatie willen schatten.

2.2.2 Schattingen van de kledingparameters

Voor de schatting van kledingisolatie bestaan meerdere methoden. Men kan gebruik maken van gegevens van eerdere metingen in de vorm van tabellen, men kan een schatting maken op basis van regressieformules of, de isolatie bepalen via een computermodel. Belangrijk is dat bij de in het vervolg van deze paragraaf genoemde methoden altijd de metingen met een manikin als referentie hebben gediend.

2.2.2.1 Tabellen

Het is mogelijk om van kledingcombinaties in tabellen (Appendix B) bijpassende combinaties met daarbij horende isolaties op te zoeken. Ook kan men van losse kledingstukken vergelijkbare tabelgegevens opzoeken en de isolatie van losse stukken sommeren. Het zo optellen van deels seriële (kleding over elkaar heen), deels parallelle (verschillende lichaamsdelen) weerstanden is fysisch een vreemde zaak, maar voor de tabellen zijn toch diverse sommatieformules opgesteld van het type

$$\text{Isolatie combinatie} = a \pm \text{Isolatie losse delen} + b$$

Hierbij kan de isolatie dan nog verschillend gedefinieerd zijn (intrinsieke of effectieve isolatie) hetgeen in de Appendix verder besproken wordt.

Uitgaande van de juiste isolatiewaarde van de losse kledingstukken, wordt met dit type sommatieformules tot 93% van de variantie in de isolatiemeting van het complete kledingpakket verklaard.

Het probleem van deze methode ligt echter niet zozeer in het combineren van de kledingstukken, als wel in de inschatting van de isolatiewaarde van de afzonderlijke kledingstukken. De artikelen moeten in een tabel opgezocht worden en daarbij wordt de isolatiewaarde genomen van het best gelijkende artikel uit de tabel.

In een onderzoek van McCullough e.a. (1985) waarin ervaren proefpersonen de isolatie schatten op basis van ASHRAE-standaard 55-1981, bleek de variabiliteit tussen de schattingen ontoelaatbaar groot (standaarddeviatie gemiddeld over kledingconfiguraties 23%). De betrouwbaarheid van deze "tabel"-methode moet derhalve niet te hoog worden aangeslagen.

2.2.2.2 Schatting op grond van kleding eigenschappen

Naast het gebruik van tabellen is ook getracht om de isolatiewaarde van de kleding te koppelen aan kleding eigenschappen als gewicht, oppervlak en dikte.

Regressievergelijkingen waarin de isolatie gekoppeld wordt aan één van deze factoren leveren een verklaarde variantie lager dan 80%. Neemt men meer factoren, dan loopt de verklaarde variantie op tot boven de 90% met standaarddeviaties rond .1 clo (.155 m² K/W) voor kledingensembles.

De best verklarende factoren zijn:

- materiaaldikte;
- gewicht;
- bedekt lichaamsoppervlak.

Bij de laatste factor kan nog onderscheid worden gemaakt tussen oppervlak bedekt met één laag of met twee of meer lagen.

De best verklarende vergelijkingen zijn dan: voor losse kledingstukken (McCullough e.a., 1985)

$$I_{cle} = .00534 \text{ BSAC} + .00135 (\text{materiaaldikte} * \text{BSAC}) - .0549 \quad (\text{clo})$$

met I_{cle} = effectieve isolatie kledingstuk (totale isolatie - isolatie aanhangende lucht)

en BSAC = bedekt lichaamsoppervlak

te sommeren voor het kledingpakket (inclusief luchtlaag) met:

$$I_{\text{totaal}} = .838 \Sigma I_{cle} + .71 \quad (\text{clo})$$

of voor de berekening van het kledingpakket direct:

$$I_{\text{totaal}} = .233 \text{ gewicht} - .00754 \text{ BSAC } \emptyset - .00495 \text{ BSAC } 1 + 1.474 \quad (\text{clo})$$

met BSAC \emptyset = onbedekt oppervlak

en BSAC 1 = oppervlak bedekt met 1 of meer lagen

Voor de intrinsieke isolatie (totale isolatie - $\frac{\text{luchtisolatie}}{\text{oppervlakte factor}}$; zie Appendix B) luiden de laatste twee vergelijkingen

$$\hat{I}_{cl} = \Sigma I_{cle}$$

$$\text{en } \hat{I}_{cl} = .255 \text{ gewicht} - .00874 \text{ BSAC } \emptyset - .00510 \text{ BSAC } 1 + .919 \quad (\text{clo})$$

De meest uitgebreide versie van schatting resp. berekening van kleding-eigenschappen is de bepaling van de kledingisolatie door middel van een computermodel dat per lichaamssegment apart de isolatie berekent op basis van luchtlagen, aantal kledinglagen en

bedekt oppervlak. Hoewel zo'n methode naar verwachting goede resultaten zal geven is hij voor een algemene toepassing toch te complex.

Een toets van de praktijktoepassing van deze berekeningswijzen, zoals die gedaan is voor de tabelmethode, is nog niet in de literatuur beschreven.

De problematiek van de tabelmethode, de persoonlijke inschatting, is bij de gepresenteerde berekeningsmethode veel minder aanwezig, doordat een betere definitie van de parameters gegeven is.

2.2.2.3 Omrekenen van manikin naar praktijk

Manikinmetingen zoals gerepresenteerd in de tabellen en de berekeningsformules gelden voor stilstaande personen in afwezigheid van wind. Wil men de waarden toepassen in andere situaties dan is een correctie nodig.

Daarbij is te denken aan:

- Houding: het effect van samengedrukte kleding, veranderd bloot oppervlak, isolatie van het meubilair, effectief oppervlak.
- Beweging: de invloed van pompeffecten in de kleding, de verhoogde convectie door langsstromende lucht etc.
- Wind: verhoogde convectie en "doorwaaien" van kleding.

Het netto eindresultaat van deze invloeden is in het algemeen een verlaging van de isolatie die, afhankelijk van het type en de sterkte van de invloed tussen de 10 en de 50 procent kan bedragen (voor gedifferentieerde waarden zie Appendix B).

3 TOEPASSING

Om inzicht te krijgen in de toepasbaarheid van de hiervoor genoemde methoden, zijn een aantal metingen verricht:

1. Bij een zuivelindustrie metingen aan werkers in de koeling (klaarmaken bestellingen, vrachtwagens laden) en in de productie-

hal (afstellen en bewaken vulmachines). De uitgevoerde metingen zijn: metabolismebepaling met hartslagmethode en met tabelmethode en meting van huid en rectaaltemperatuur.

2. Bij een staalsmelterij meting aan smelter (bedienen smeltovens) en ovenbouwer (uitkappen overwand, nieuwe wand metselen). Gemeten zijn: metabolisme (hartslag en tabelmethode evenals meting met Oxylog) en huid en rectaaltemperatuur.
3. Bij IZF-TNO: meting van metabolisme (hartslag en tabelmethode en Oxylogmeting) bij diverse werkzaamheden (bladeren vegen, kruien, autoband verwisselen, stenen stapelen en transporteren, zagen en timmeren).

In verband met de samenhang van de verschillende metingen binnen elke sessie, worden de metingen per sessie besproken en niet per type meting.

3.1 Meting bij een zuivelbedrijf

De metingen bij een zuivelbedrijf te Rijswijk werden uitgevoerd op 18 en 19 september 1986. Gemeten is aan drie proefpersonen, waarvan één twee maal bemeten is. De gegevens van de proefpersonen zijn gepresenteerd in Tabel II.

Tabel II Proefpersoongegevens

Proefpersoonnummer	I	II	III
Lengte (m)	1.74	1.58	1.76
Gewicht (kg)	58.9	54.5	68.6
Leeftijd (jaar)	21	30	23
Lichaamsoppervlak (m ²)	1.70	1.56	1.84
Vetgehalte (%)	11.0	19.0	24.5
Aantal uren sport per week	8	-	-
Medicijngebruik	-	-	-
Roken	-	-	matig

Proefpersonen I en II werkten in de koelcel, waar zij bestellingen klaarmaakten en bij de expeditie assisteerden. Het klaarmaken van de bestellingen bestond uit het sorteren en transporteren van losse pakken zuivel (0,5 - 1,0 kg), lege en volle kratten (6 - 13 kg) en van rolcontainers (wioldiameter ca. 10 cm, lading tot 160 kg, betonnen vloer). De expeditiewerkzaamheden bestonden uit het beladen van vrachtwagens met volle rolcontainers, 1 à 3 stuks ineens. Proefpersoon III werkte in de produktiehal en voerde daar controle en afstelwerkzaamheden uit aan afvulmachines.

Op basis van metingen van MT-TNO is het voor de proefpersonen geldende klimaat bepaald (Tabel III). De stralingstemperatuur week op de werkplekken slechts weinig af van de luchttemperatuur en is derhalve in de tabel in deze waarde verwerkt.

Tabel III Klimaatgegevens per proefpersoonssessie

Proefpersoonnummer	I	II _A	II _B	III
Temperatuur (°C)	5.5	6.6	3.7	18.5
Relatieve vochtigheid (%)	90	75	93	57
Wind (m/s)	.23	.35	.25	.22

Het metabolisme is bepaald via arbeidsanalyse (ISO) en via meting van de gecalibreerde hartslag (sporttester, hartslaglogger Polar Electro, Kempele, Finland)). Voor dit laatste verrichten de proefpersonen een oplopende belastingproef op een fietsergometer (stapgrootte 20 Watt; 4 minuten per stap), waarbij de zuurstofopname werd geschat volgens Åstrand (1970) en de hartfrequentie gemeten werd¹.

Uit meting van de gewichtsverandering van de proefpersoon en zijn kleding kon het zweetverlies worden bepaald en uit meting van de rectaal- en huidtemperatuur (Grant-Instruments, squirrel-datalogger, Cambridge, G.B.) de warmte-opslag in het lichaam.

¹Deze proef werd uitgevoerd door de bedrijfsgezondheidsdienst voor 's-Gravenhage e.o. te Rijswijk.

De kledingisolatie is bepaald met de tabelmethode en met de formule op basis van het gewicht en bedekt oppervlak. Deze gegevens zijn gerepresenteerd in Tabel IV.

Tabel IV Meetresultaten

Proefpersoonnummer	I	II _A	II _B	III
Gewichtsverlies geklede persoon	254	139	248	409
T.g.v. zweet over sessie (g)				
Sessieduur (min.)	95	118	135	132
Zweetverdamping (g/h)	160	71	110	186
Verdampingswarmte afgifte (W/m ²)	64	31	48	67
Metabolisme (W/m ²)				
(hartfrequentiemeting)	230	244	252	142
Metabolisme (W/m ²)				
(arbeidsanalyse)	160	-	-	130
Warmte opslag (W/m ²)	-29	-12	-12	-10
Kledinggewicht (excl. schoenen) (g)	1671	1371	1497	1721
Onbedekt lichaamsoppervlak (%)	13.7	13.7	8.7	13.7
Lichaamsoppervlak bedekt met 1 laag (%)	31.3	2.1	7.1	2.1
Lichaamsoppervlak bedekt met meer dan 1 laag (%)	55.0	84.2	84.2	84.2
Kledingisolatie I _{cl} op basis gewicht en bedekt oppervlak	1.07	1.14	1.18	1.23
Kledingisolatie op basis tabel (McCullough/Olesen) (clo)	1.03	.91	.96	.84
\bar{I}_t (incl. luchtlaag) bewegende persoon (clo) over diverse methoden	1.2	1.1	1.14	1.29

Gebruik makende van deze gegevens was het mogelijk de warmtebalansvergelijking:

$$\text{Dry} = \text{Metabolisme} - \text{zweetverdamping} - \text{ademhalingswarmte} - \text{warmteopslag}$$

op te lossen en zo de meting of schatting van het metabolisme met de schatting van de kledingisolatie op consistentie te controleren. Hiertoe is de ademhalingswarmte-afgifte bepaald op basis van metabolisme en luchttemperatuur resp. vochtigheid (Fanger, 1970):

$$\text{Ademhalingswarmte} = \text{Metabolisme} * (.0023 (44 - P_{H_2O}) + .0014 (34 - T_a)) \quad (W)$$

met P_{H_2O} = partiële waterdampspanning (mm Hg)

en T_a = omgevingstemperatuur ($^{\circ}C$)

In combinatie met de temperatuurgradiënt (ΔT) tussen huid en omgeving is hieruit de kledingisolatie (I_t) te berekenen:

$$I_t = \frac{\Delta T}{\text{DRY}} \quad (m^2 \text{ } ^{\circ}C/W) \quad \text{of} \quad I_t = \frac{\Delta T}{.155 \text{ Dry}} \quad (\text{clo})$$

De hieruit verkregen gegevens zijn gerepresenteerd in Tabel V.

Tabel V Gegevens m.b.t. de berekening van de kledingisolatie uit de warmtebalans

Proefpersoonnummer	I	II _A	II _B	III
Voor metabolisme via hartfrequentie:				
Metabolisme (W/m^2)	230	244	252	142
Ademhalingswarmte (W/m^2)	29	31	32	13
Dry (radiatie + convectie) (W/m^2)	167	194	184	72
Kledingisolatie (I_t) (clo)	1.1	.84	.97	1.2
Voor metabolisme via tabel:				
Metabolisme (W/m^2)	160	-	-	130
Ademhalingswarmte (W/m^2)	20	-	-	12
Dry (radiatie + convectie) (W/m^2)	105	-	-	61
Kledingisolatie (I_t) (clo)	1.75	-	-	1.42

De overeenkomst tussen deze berekening en de bepaling van de kledingisolatie volgens de tabellen en formules is het grootst indien men uitgaat van de metabolisiebepaling met behulp van de hartslagcalibratiemethode. De metabolisiebepaling op basis van arbeidsanalyse en d.m.v. tabellen (ISO) resulteert in een te hoge kledingisolatie, hetgeen te wijten is aan een te lage waarde voor het metabolisme.

3.2 Meting bij een staalsmelterij

De metingen bij de staalsmelterij zijn uitgevoerd op 8 en 11 januari 1987. Gemeten is aan een smelter en een ovenbouwer.

De meetgegevens van de smelter zijn helaas onbetrouwbaar door de invloed van de elektrische ontladingen van het smeltproces (vlamboog) op de meetapparatuur.

De meting aan de ovenbouwer vond plaats terwijl de ovens buiten gebruik waren zodat dit probleem hierbij niet optrad.

Bij deze laatste meting is voornamelijk aandacht besteed aan bepaling van het metabolisme. Hierbij zijn drie methodes vergeleken:

- arbeidsanalyse in combinatie met de tabellen (ISO)
- hartslagmeting in combinatie met hartslag - O_2 relatie
- directe meting d.m.v. Oxylog (Morgan)

De Oxylog is hierbij bedoeld als referentiemeting met een onnauwkeurigheid van minder dan 5% (systematische onderschatting) (Louhevaara e.a., 1985)

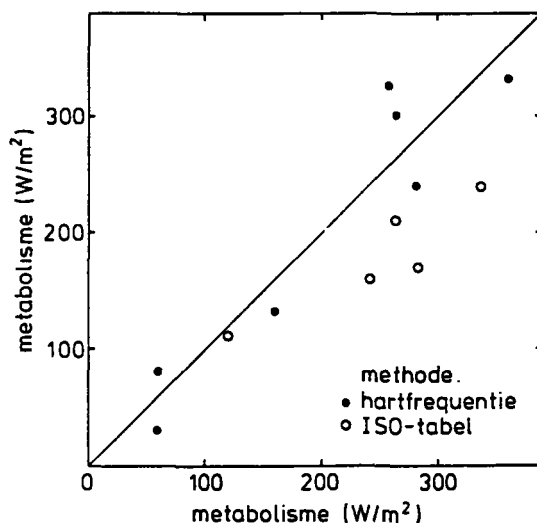


Fig. 1 Metabolisme-bepaling via arbeidsanalyse (ISO) en via hartfrequentie (Y-as), in relatie tot metabolisme-meting d.m.v. Oxylog (X-as) (lijn = identiteitslijn).

Gemeten is in drie sessies:

1. afbreken oude overwand (uitkappen en container laden);
2. opbouwen nieuwe overwand (stenen (+ 15 kg) stapelen en zand scheppen);
3. Schoonscheppen van ovenbodem.

Voor deze sessies is in een aantal deelperioden met een redelijk stabiel arbeidsniveau het metabolisme bepaald met de drie methoden. Het resultaat is weergegeven in Fig. 1 met op de X-as de referentiemeting (Oxylog) en op de Y-as de twee afgeleide methoden.

Fig. 1 toont dat de absolute afwijking voor de ISO-tabelmethode het grootst is, waarbij de afwijking lijkt toe te nemen met het metabolisme: er is een duidelijke onderschatting van zwaar werk.

Voor de hartfrequentiemethode is de absolute nauwkeurigheid over de gemeten range nauwelijks afhankelijk van het metabolisme. Teneinde een indruk te krijgen van het verloop van de metingen volgens de drie methoden in de tijd is dit voor een sessie in Fig. 2 gerepresenteerd.

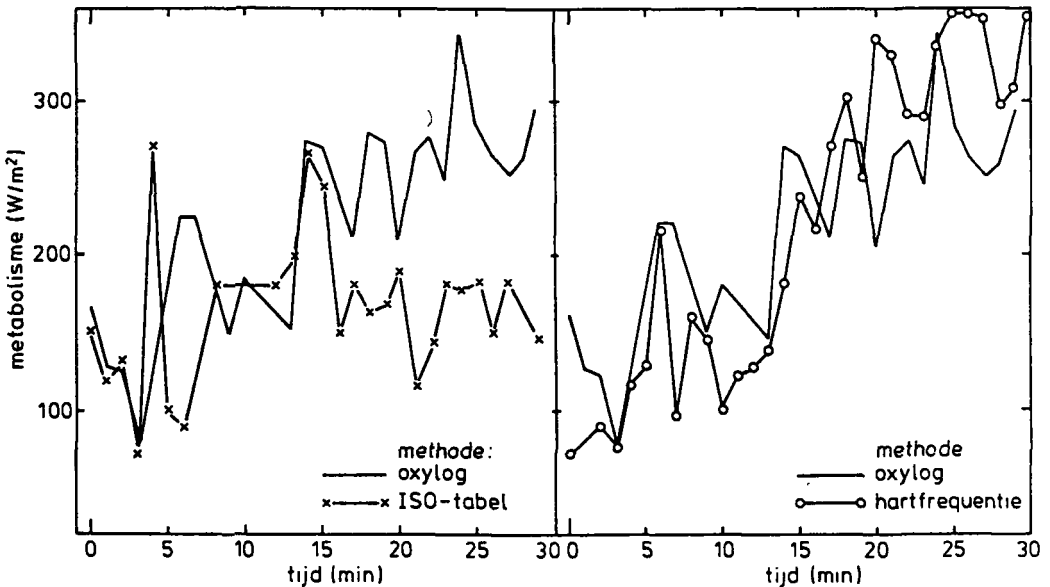


Fig. 2 Metabolisme bepaald door meting met Oxylog en ISO-tabel versus tijd (2a) respectievelijk door Oxylog en hartfrequentiemethode versus tijd (2b).

Uit Fig. 2 blijkt nog eens dat het met de Oxylog gemeten metabolisme het best gevolgd wordt door het via de hartfrequentie bepaalde metabolisme. De via de ISO-tabel bepaalde waarde wijkt vooral in de hogere metabolismen naar beneden af.

3.3 Metingen bij IZF

Gezien de technische problemen bij de bedrijfsmetingen was het aantal metingen vrij beperkt. Vooral aan verdere evaluatie van de arbeidsanalyse met de ISO-tabellen was behoefte.

Voor dit doel zijn bij het IZF drie experimentele sessies uitgevoerd waarbij het metabolisme werd bepaald met de Oxylog; de hartslagmethode en via de ISO-tabel. De arbeidsanalyse werd uitgevoerd door drie observatoren op dezelfde drie sessies (negen scores) met één proefpersoon (lengte 1.72 m; gewicht 64 kg; leeftijd 30 jaar).

De observatoren waren medewerkers van de afdeling thermofysiologie en derhalve redelijk ervaren in de problematiek van de metabolismebepaling, echter niet specifiek in het werken met de tabellen. Als instructie voor de observatoren diende IZF-memo 1986-M17 respectievelijk de ISO-tabel. Zij werden verzocht de analyse uit te werken volgens de grove klasse-indeling (Appendix A, Tabel I) en volgens die van de andere methodes, waarmee het werk, naar oordeel van de observator, het best kon worden beschreven.

Dit laatste bleek in de praktijk de analyse op houding en beweging te zijn daar overeenkomstige werkzaamheden in de andere tabellen moeilijk te bepalen bleken.

Fig. 3 toont het resultaat van de arbeidsanalyse voor de drie sessies en de drie observatoren. De sessies bestonden uit de volgende werkzaamheden:

- Sessie I: bladeren aanharken, in kruiwagen scheppen, transporteren en op composthoop storten;
- Sessie II: verwisselen van een autoband;
- Sessie III: stenen stapelen, laden, met kruiwagen vervoeren, lossen, zagen, timmeren.

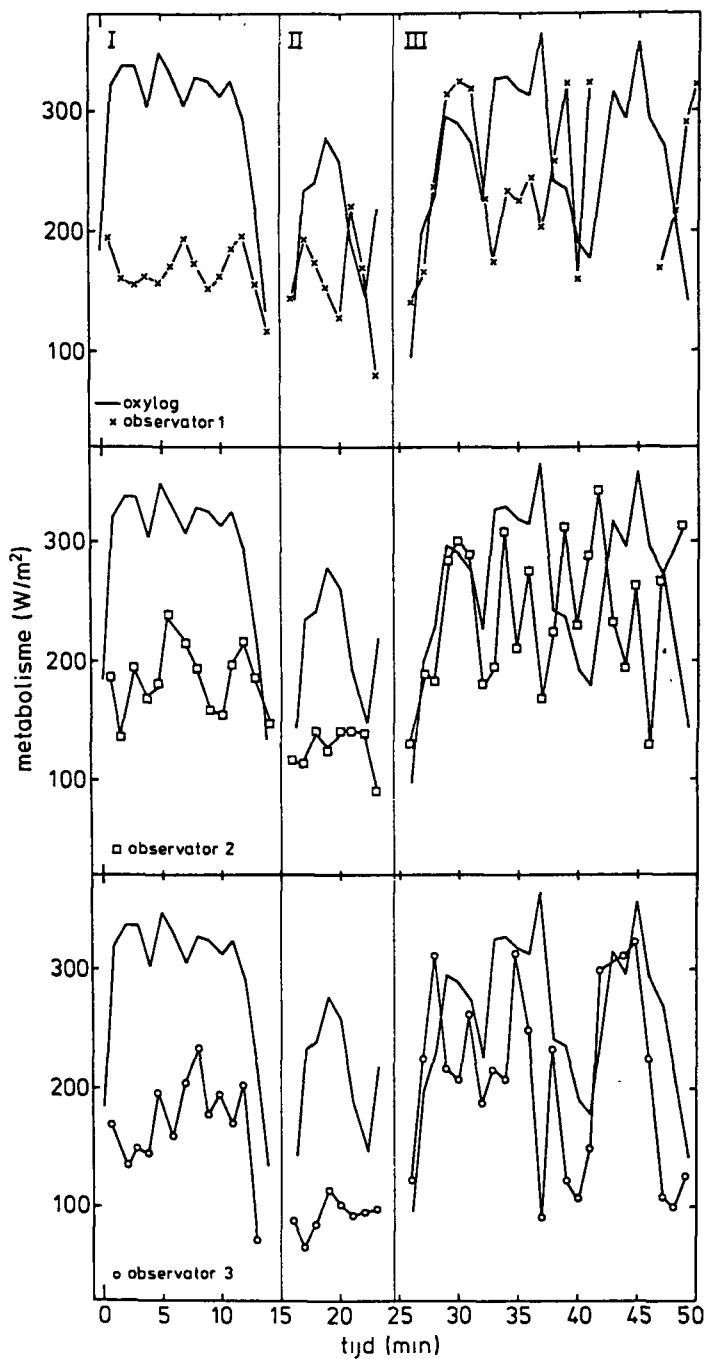


Fig. 3 Metabolisme volgens Oxylog (doorgetrokken lijn) en ISO-tabel voor drie sessies (I, II en III) met drie observatoren (x, □ en o).

Opvallend in Fig. 3 is:

- de grote afwijking van schatting en meting;
- het grote verschil tussen observatoren;
- de inconsistentie van de afwijking over de sessies, hetgeen duidt op sterk subjectieve inschatting van de arbeidszwaarte.

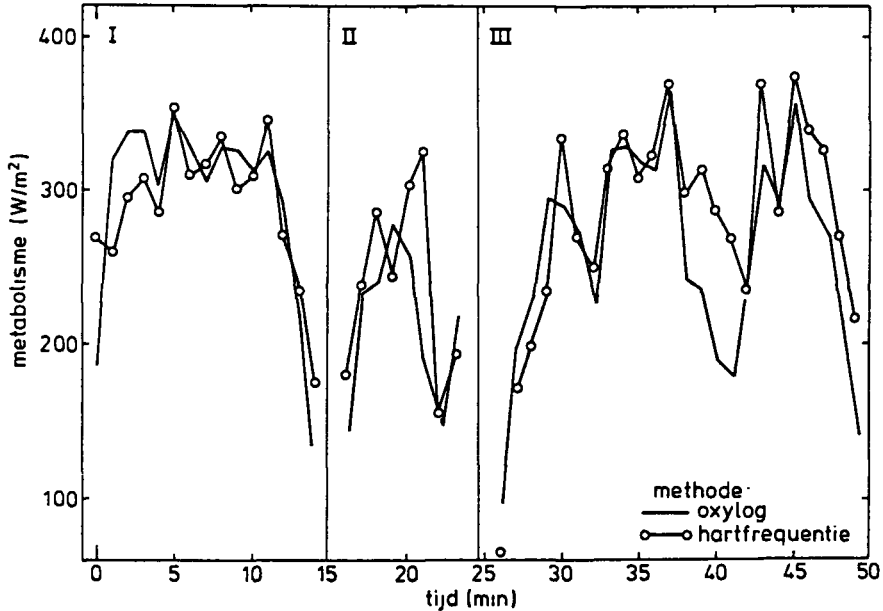


Fig. 4 Metabolisme volgens Oxylog en hartfrequentie methode.

Fig. 4 toont voor dezelfde sessies de resultaten van de Oxylog (als bij 3) en de berekening van het metabolisme via de hartfrequentie met calibratie-curve. Deze calibratie-curve is voor deze proefpersoon bepaald op:

$$\text{Metabolisme} = 4.40 \text{ Hartfrequentie} - 339. \text{ (w/m}^2\text{)}$$

De gemiddelde metabolismen over de sessies bepaald met de verschillende methoden zijn weergegeven in Tabel VI.

Tabel VI Gemiddeld metabolisme (W/m^2) over de sessie volgens Oxylog, ISO-tabelmethoden (K = klasse-indeling; H = analyse houding en beweging) en hartfrequentiemethode. De ISO-methode geeft het gemiddelde van de 3 observatoren en de standaarddeviatie daartussen.

Sessie	Meting	ISO-methode		Hart-
	Oxylog	K	H	frequentie methode
I	282	163 \pm 3	172 \pm 10	264
II	221	167 \pm 3	126 \pm 35	241
III	254	173 \pm 14	223 \pm 21	262

De arbeidsanalyse resulteert in een onderschatting tot 42%, terwijl de hartslagmethode minder dan 10% afwijkt. Een probleem bij de ISO-methode is, dat hoewel de score consistent lager is dan de Oxylog meting, de grootte van de afwijking varieert met het soort werk en de observator. Het "opkrikken" van de tabelwaarden is dus geen remedie. Verder toonden de arbeidsanalyses de problemen die ontstaan bij de inschatting van werkzaamheden. In de tabel was, ondanks de uitgebreidheid, slechts zelden overeenkomend werk te vinden.

Bij de analyses van houding, beweging en snelheid bleek vaak de keuze moeilijk: bijv. wanneer noem je iets romparbeid. De tabel is ook niet duidelijk of bij romparbeid de armarbeid is inbegrepen of niet. Hierdoor zijn grote fouten mogelijk. Het grootste probleem lijkt echter dat de indruk die de proefpersoon maakt ten aanzien van de zwaarte een rol speelt in de beoordeling (zie sessies I en II).

De resultaten suggereren dat de uitgebreide analyse ten opzichte van de grove klasse-indeling slechts een schijnnaauwkeurigheid levert: in sessie I zijn K en H even slecht, in sessie II is K iets beter en in sessie III is H iets beter. Vooral bij H is bovendien de spreiding tussen de observatoren groot.

4 DISCUSSIE

Op basis van de in dit rapport beschreven metingen en literatuurgegevens is duidelijk dat zowel voor metabolisme- als voor kledingisolatiebepaling een vereenvoudiging van de meetmethode samengaat met een progressieve stijging van de onnauwkeurigheid.

De simpelste methoden, gebruik makend van de ISO-tabellen, leveren zowel voor kleding als voor metabolisme een ontoelaatbaar hoge foutmarge op (McCullough e.a., 1985 en dit rapport). Deze methoden zijn alleen bruikbaar voor zeer ervaren en getrainde observatoren die regelmatig terugkoppeling ontvangen over de kwaliteit van hun schattingen.

Deze voorwaarden maken de observator tot een ingewikkeld en duur meetinstrument, waardoor het voordeel van de methode (de eenvoud) verdwenen is.

Voor de kledingisolatiebepaling zijn andere methoden beschikbaar, waarvan een redelijk resultaat te verwachten is zonder al te grote complexiteit. Met name met de berekening op basis van fysische parameters (bedekt oppervlak, gewicht etc.) is dit het geval. Enkele simpele metingen zijn nodig, maar de interpretatie is eenduidig en zal geen grote observator-variantie opleveren.

De betrouwbaarheid van de resultaten van deze methode behoeft nog enig onderzoek maar is zonder twijfel beter dan van de tabelmethode. Directe metingen aan manikins of proefpersonen zijn voor groot-schalige toepassing te complex en kostbaar. Zonder directe meting aan proefpersonen in het werkelijke klimaat blijft het probleem bestaan van de inschatting van het effect van de wind, houding en beweging op de isolatie. Hiervoor is verder onderzoek gewenst.

Soortgelijke problemen gelden voor het metabolisme: echte metingen zijn te kostbaar, de tabellen onbetrouwbaar. Daartussen ligt de hartslagmethode. Door het op de markt verschijnen van kleine goedkope hartfrequentieloggers (sporttester) is deze methode in vergelijking met vroeger al veel acceptabeler geworden. De nodige tijdsinvestering, inclusief het opnemen van de calibratiecurve, is vergelijkbaar met die van de arbeidsanalyse.

De nauwkeurigheid van de methode was bij de onderhavige experimenten duidelijk beter dan van de tabelmethode en de fout kan, over een experiment gemiddeld, beter dan 10% zijn.

De belangrijkste contra-indicaties tegen deze methode zijn de aanwezigheid van overwegend statische en of lage arbeid en ten aanzien van de gebruikte apparatuur de aanwezigheid van sterke electro-magnetische velden.

5 CONCLUSIES

De ISO-voorstellen voor schatting van kledingisolatie en metabolisme met behulp van tabellen zijn in de praktijk slechts zeer moeilijk toepasbaar en bieden een slechte betrouwbaarheid voor gebruik op grote schaal (afwijking tot boven 35%).

Het compromis van simpelste methode en redelijke betrouwbaarheid wordt gevormd:

- voor bepaling van de kledingisolatie (I_{cl}) door de methode van isolatieberekening met behulp van fysische parameters (bedekt oppervlak, gewicht, dikte), waarna bewegings-, houdings- en wind-effecten voorzover mogelijk worden verdisconteerd.
- Voor bepaling van het metabolisme door meting van de hartfrequentie en vergelijking hiervan met een op te stellen hartfrequentie-metabolisme calibratiecurve (in deze studie, afwijking van werkelijke waarde lager dan 10%). In geval van overwegend niet-statische arbeid en bij niet te lage arbeid, is deze methode echter onvoldoende nauwkeurig.

Door ook huidtemperatuur, rectaaltemperatuur en gewichtsverlies van de proefpersoon op te nemen, kan in moeilijke gevallen (waterdamp impermeabele kleding, wind etc.) de kledingisolatie ook bepaald worden.

REFERENTIES (zie verder ook referenties in Appendices)

- ASHRAE, 1981A, ANSI:ASHRAE standard 55-1981. Thermal environment conditions for human occupancy; Atlanta: American Society of heating refriger. and air conditioning engineers Inc.
- Åstrand, P.O., Rodahl, K. (1970). Textbook of work physiology, McGraw-Hill, New York.
- Dubois, D. and Dubois, E.F. (1915). The measurement of the surface area of man. Arch. Internal. Med. 15, 868-881.
- Fanger, P.O. (1970). Thermal comfort. McGraw-Hill, New York.
- Harrison, M.H., Brown, G.A., Belyavin, A.J. (1982). The 'Oxylog': an evaluation. Ergonomics, 1982 vol. 25 (9), 809-820.
- ISO-rapport TC 159/SCN57F. Ontwerp, Determination du métabolisme.
- Linde, F.J.G. van de, Middendorp, H. van, Lotens, W.A. (1982). Arbeid in impermeabele kleding, een gecombineerde laboratorium-veldstudie. Rapport IZF 1982-12
- Louhevaara, V., Ilmarinen, J., Oja, P. (1985). Comparison of three field methods for measuring oxygen consumption. Ergonomics, vol. 28 (2) 463-470.
- McCullough, E.A., Jones, B.W., Huck, P.E.J. (1985). A comprehensive Data Base for estimating clothing insulation. ASHRAE transact. 91, 2A, 29-47.
- McCullough, E.A. (1984). A comprehensive data base for estimating clothing insulation; IER technical report 84-01, Kansas State University, Manhattan, Kansas 66506.
- Müller, E.A. und Hettinger, T. (1957). Der Energiemehrbedarf bei Arbeitsbeginn. Int. Zeitschr. Angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiologie 16 S 480.
- Sanchez, J., Monod, H., Chabaud, F. (1979). Effects of dynamic, static and combined work load on heart rate and oxygen consumption. Ergonomics 1979, vol. 22, no. 8, 935-943.
- Spitzer, H., Hettinger, T., Kaminsky, G. (1982). Tafeln für den energieumsatz bei körperlicher Arbeit; 6e druk, Beuth Verlag GMBH, Berlin/Köln.
- Vogt, J.J., Meyer-Schwartz, M.Th., Metz, B., Foehr, R. (1973). Motor, Thermal and Sensory factors in Heart rate variation. A methodology for indirect estimation of Intermittent muscular work and environmental heat loads. Ergonomics, 16, (1), 45-60.
- Wenzel, H.G., Piekarsky, C.L. (1980). Klima und Arbeit. Bayer. Staatsmin. Arbeit und Sozialordnung 1980.

APPENDIX A: Bepaling van het metabolisme in bedrijfssituaties

1 INLEIDING

In het kader van een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid zal door MT-TNO in samenwerking met IZF-TNO een inventarisatie-methode voor klimaatomstandigheden in bedrijven worden opgesteld en beproefd. Hierin zal MT-TNO voornamelijk de klimaatbepaling voor zijn rekening nemen, terwijl de taak van het IZF-TNO bestaat uit de bepaling van de fysiologische belasting en de ontwikkeling en inventarisatie van daarbij te gebruiken methodes.

Voor de bepaling van de belasting en de belastheid van een persoon is kennis van een aantal parameters noodzakelijk.

Voor de externe belasting zijn dat: klimaat, zwaarte van de arbeid en kleding, en voor de interne belastheid: het metabolisme, de hartfrequentie, de lichaamstemperatuur en eventueel ademhalingsparameters.

Deze appendix is gewijd aan de bepaling van het metabolisme.

2 DIRECTE BEPALING

Het metabolisme kan worden bepaald door meting van de zuurstofopname en de kooldioxide afgifte. De relatie tussen CO_2 afgifte en O_2 opname (het respiratoir quotiënt: RQ) geeft aan welk type voedingsstof op dat moment wordt verbrand (vet: $\text{RQ} = .9$; eiwit: $\text{RQ} = .8$; koolhydraten: $\text{RQ} = 1$). Meestal, bij niet al te zware arbeid, wordt een mengsel van voedingsstoffen verbrand en bedraagt het RQ .8 tot .85.

Op grond van het type voedingsstof wordt het energie-equivalent (EE) van zuurstof bepaald, met andere woorden hoeveel energie vrijkomt bij de verbranding van voedingsstoffen met 1 liter O_2 .

$$\text{EE} = (.23 \text{ RQ} + .77) * 21.17 \quad (\text{kJ/l } \text{O}_2) \quad (1)$$

EE = energie-equivalent van zuurstof

RQ = respiratoir quotient

het metabolisme volgt dan uit:

$$M = EE * \dot{V}O_2 / (O_{du} * 60.) \quad (W/m^2) \quad (2)$$

met M = metabolisme

$\dot{V}O_2$ = O_2 opname (l/min)

O_{du} = lichaamsoppervlak (m^2).

De meting van de O_2 opname en CO_2 afgifte vergt echter nogal wat apparatuur, die de meting zelf kan beïnvloeden doordat de proefpersoon in zijn beweging gehinderd wordt (slangen, mondstuk, etc.) en extra wordt belast (weerstand ademkleppen, ongewone situatie).

Deze bezwaren zijn verminderd door de komst van O_2 meetsystemen die de persoon meedraagt. In dit geval wordt, daar alleen O_2 wordt gemeten, het RQ geschat.

Omdat deze bezwaren voor meting op de bedrijfsvloer nog te groot zijn, is gezocht naar andere bepalingmethoden.

Indien het niet mogelijk is het metabolisme direct door meting van de zuurstofopname te bepalen, zal men moeten overgaan tot indirecte bepalingen of schattingen.

Inherent aan het niet uitvoeren van een directe meting is het verlies aan precisie. Waar bij directe bepaling van de O_2 opname de onnauwkeurigheid minder is dan 5%, neemt deze met andere methodes sterk toe tot ca. 30%.

3 INDIRECTE BEPALING

3.1 Dynamische arbeid

Bij een indirecte bepaling van het metabolisme wordt gebruik gemaakt van de relatie tussen hartfrequentie en zuurstofopname. Kennen we deze relatie, dan kunnen we door het meten van de hartfrequentie een schatting doen van de zuurstofopname.

Deze methode is alleen bruikbaar voor niet al te lichte, overwegend dynamische arbeid, daar alleen voor die situatie de relatie hartfrequentie - zuurstofopname goed is bepaald.

3.1.1 Calibratiecurve

In de praktijk betekent deze methode dat voor de proefpersoon eerst een calibratiecurve hartfrequentie - O_2 opname moet worden gemaakt. Het beste gebeurt dit door in het laboratorium de proefpersoon op een ergometerfiets te belasten, waarbij hartfrequentie en O_2 opname worden gemeten. Dit levert een relatie als in Fig. 1.

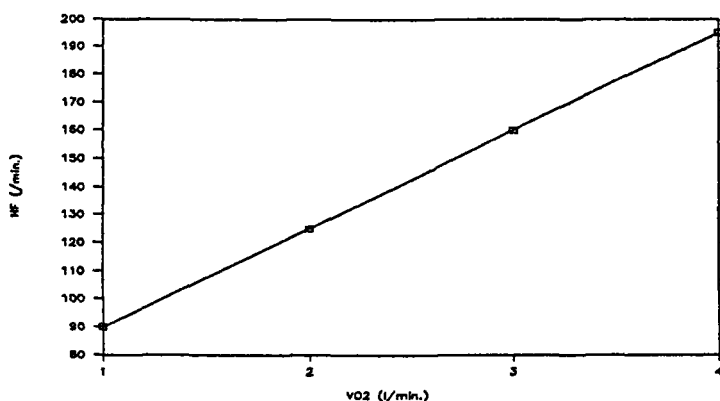


Fig. 1 Calibratiecurve van een proefpersoon voor de hartfrequentie - O_2 opname relatie.

Bij gebrek aan meting van O_2 opname kan de calibratiecurve worden benaderd door gebruik te maken van in de literatuur beschreven relaties tussen externe arbeid op de ergometerfiets en de daarbij behorende O_2 opname respectievelijk metabolisme (Åstrand, 1970). In dit geval wordt een externe arbeid opgelegd en alleen de hartfrequentie gemeten.

De op de werkplek gemeten hartfrequentie kan via de calibratiecurve worden omgerekend in een zuurstofopname en zo in het metabolisme.

3.1.2 Temperatuurcorrectie

Een probleem bij bovengenoemde methode is, dat de hartfrequentie ook verandert ten gevolge van een veranderde lichaamstemperatuur, zonder dat daarbij noodzakelijkerwijs ook het metabolisme verandert.

Deze invloed is onderzocht door Vogt e.a. (1973) en Van de Linde e.a. (1982). Vogt geeft op grond van een onderzoek aan vier fietsende proefpersonen in sportkleding in twee klimaten een correctie van:

$$\Delta HF = 18 \Delta T_{\text{rect}} + 3 \Delta T_{\text{huid}} \quad (3)$$

met ΔHF = verandering in hartfrequentie ten gevolge van warmte

ΔT_{rect} = verandering in rectaaltemperatuur

ΔT_{huid} = verandering in gemiddelde huidtemperatuur

Van de Linde e.a. geven op grond van metingen aan tien proefpersonen op de lopende band, in impermeabele NBC-kleding en bij twee klimaten een correctie van:

$$\Delta HF = 23.5 \Delta T_{\text{rect}} + 3.9 \Delta T_{\text{huid}} \quad (4)$$

De iets grotere invloed van temperatuurveranderingen op de hartfrequentie bij het experiment van Van de Linde e.a. kan heel goed het gevolg zijn van verschillen tussen proefpersonen (bijvoorbeeld fitness) maar kan volgens de auteur ook worden geweten aan het effect van verschillende kledingisolatie. Indien dit het geval is, dan is het toch niet waarschijnlijk dat het een directe invloed is, omdat het hart niets van die kleding afweet. Het is derhalve waarschijnlijker dat een aan de kleding gekoppelde, niet in de regressie voorkomende parameter (bijvoorbeeld zweetverdamping, warmtestroom door de huid), hiervan de oorzaak is.

Voor bedrijfskleding, waarvan de eigenschappen ergens tussen sportkleding en NBC kleding liggen, is een correctiewaarde tussen de beide hiervoor genoemde aannemelijk. Daar bovendien het verschil vrij gering is (vijf slagen/min. per °C rectaal en één slag/min. per °C huid) lijkt de volgende formule bruikbaar:

$$\Delta HF = 21. \Delta T_{\text{rect}} + 3.5 \Delta T_{\text{huid}} \quad (5)$$

3.1.3 Berekening zonder calibratiecurve

Indien het niet mogelijk is een calibratiecurve te bepalen, dan kan men ook het metabolisme berekenen op basis van regressieformules van Van de Linde e.a. (1982) en Vogt e.a. (1973). Vogt stelt:

$$M = 12.5 \text{ HF} - 225 \text{ Trect} + 37.5 \text{ Thuid} + 8758 \text{ (Watt)} \quad (6)$$

en Van de Linde e.a.:

$$M = 8.1 \text{ HF} - 190 \text{ Trect} + 31.3 \text{ Thuid} + 7570 \text{ (Watt)} \quad (7)$$

Het verschil in resultaat tussen deze twee methodes is aanzienlijk: bijvoorbeeld bij een HF van 140 slagen per minuut, een rectaaltemperatuur van 38 °C en een huidtemperatuur van 35 °C levert de vergelijking van Vogt een metabolisme van 646 Watt en die van Van de Linde e.a. 389 Watt.

Het verschil ontstaat grotendeels door de verschillende coëfficiënten van HF. Deze hangen direct samen met de fitness. De waarde van Vogt e.a. is vrij hoog en suggereert een goede fitness van hun proefpersonen. Gezien het grote verschil in waarden lijkt deze berekening zonder calibratie van de fitness als methode onbetrouwbaar.

3.2 Statische arbeid

Bij statische arbeid zijn hartslagmethoden niet zonder meer te gebruiken, daar de relatie O₂ opname - hartfrequentie in dit geval niet eenduidig is. De toename in hartfrequentie per liter zuurstofopname tijdens statische arbeid is groter dan tijdens dynamische spierarbeid.

Verder is de maximale hartfrequentie lager: bij statische arbeid stopt de persoon al bij hartfrequenties tussen 124 en 140 ten gevolge van perifere invloeden (spiervermoeidheid e.d.). Door de hoge druk in de samengetrokken spieren (enkele honderden mm kwik) stopt de spierdoorbloeding (bloeddruk lager dan 200 mm Hg) deels of geheel. De zuurstoftoevoer vermindert en er treedt snel vermoeidheid op.

Ook de combinatie van statische en dynamische arbeid levert problemen. De fysiologische belasting van de combinatie blijkt te verschillen van de som van de losse componenten (Sanchez, 1979). De interactie kan positief, nul en ook negatief zijn, afhankelijk van type en grootte van de belasting.

Gezien deze problemen en de relatief kleine hoeveelheid gepubliceerde data met betrekking tot hartfrequentie en O_2 opname tijdens statische arbeid, zal, indien bij de arbeid waarvan het metabolisme moet worden bepaald een belangrijke statische component optreedt, het metabolisme het best kunnen worden bepaald op grond van directe meting.

4 SCHATTINGEN

Een alternatief voor bovengenoemde methode is het gebruik van tabellen op grond waarvan men het metabolisme schat, al dan niet na arbeidsanalyse. Dit is op de volgende manieren mogelijk (in volgorde van toenemende nauwkeurigheid)(ISO).

4.1 Schatting op basis van soort activiteit

Deze schatting op basis van Tabel I levert grove informatie en heeft een grote foutmarge.

Tabel I Rangschikking op basis van metabolisme

Klasse	Waarde voor berekening		Voorbeelden
	Gemiddeld metabolisme W/m ²	W	
0 Rust	65	117	Rust
1 laag me- tabolisme	100	180	Rustig zitten: lichte handenarbeid (schrijven, typen, tekenen, naaien, administratie); hand en arm arbeid (klein tafel-gereedschap: inspecteren assembleren of sorteren van lichte materialen); arm en beenarbeid (fietsen in normale omstandigheden, bedienen van voetschakelaars of pedalen); staan (frezen, draadspoelen, boren kleine onderdelen), machines met laag vermogen hanteren, losjes lopen (tot 3.5 km/h).
2 matig me- tabolisme	165	297	aanhoudende hand en arm arbeid (spijkers inslaan) arm en been arbeid (karretjes op ongeplaveide grond, tractoren en constructie-gereedschap); arm en romp arbeid (pneumatische hamer, pleisteren, bij tussenpozen hanteren van middelzwaar gereedschap, wieden, schoffelen, fruit of groente oogsten, duwen of trekken van lichte karren of kruiwagens, lopen met een snelheid van 3.5 tot 5.5 km/h, smeden.
3 hoog me- tabolisme	230	414	intensieve arm en romp arbeid; dragen van zwaar materiaal, spitten, werken met voorhamer, zagen, schaven of met beitel bewerken van hardhout, maaien, graven, lopen (5.5 tot 7 km/h), duwen of trekken van zwaar beladen handkarren of kruiwagens, leggen van betonblokken.

4	290	522	Zeer intensieve arbeid met hoge tot maximale snelheid; werken met een bijl, intensief spitten of graven, beklimmen van een trap, ladder of helling, snel lopen met kleine stappen, rennen, lopen sneller dan 7 km/h.
---	-----	-----	--

=====

4.2 Schatting op basis van beroep

Ook deze methode (Tabel II) levert slechts ruwe informatie met een grote kans op fouten.

Tabel II Metabolisme van werkers in bepaalde beroepsgroepen.

Beroep	Metabolisme (W/m ²)
<u>Vakwerk</u>	
metselaar	110 - 160
timmerman	110 - 175
glazenier	90 - 125
schilder	100 - 130
bakker	110 - 140
slager	105 - 140
horlogemaker	55 - 70
<u>Mijnbouw</u>	
transport-machinist	70 - 85
houwer	140 - 240
cokes-overwerker	115 - 175
<u>Ijzer- en staalindustrie</u>	
smelter (hoogovens)	170 - 220
smelter (electro-ovens)	125 - 145
handvormer	140 - 240
machinevormer	105 - 165
blokgieter	140 - 240
<u>Metaalindustrie</u>	
smid	90 - 200
lasser	75 - 125
bankwerker	75 - 125
instrumentmaker	70 - 110

Beroep	Metabolisme (W/m ²)
<u>Grafische industrie</u>	
zetter	70 - 95
boekbinder	75 - 100
<u>Landbouw</u>	
tuinier	115 - 190
tractorbestuurder	85 - 110
oogstarbeider	150 - 230
<u>Verkeer</u>	
autobestuurder	70 - 90
buschauffeur	75 - 125
tramchauffeur	80 - 115
electrische trolleybuschauffeur	80 - 125
kraanmachinist	65 - 145
<u>Varia</u>	
laboratorium assistent	85 - 100
leraar	85 - 100
winkelmeisje	100 - 120
secretaris	70 - 85
=====	

4.3 Schatting voor groepsgemiddelde op basis van houding bewegingen en type arbeid

Bij deze methode gaat men uit van het basale metabolisme en telt daarbij het energieverbruik op ten gevolge van houding (Tabel III) type arbeid (Tabel IV) en snelheid (Tabel V).

Het basaalmetabolisme (BM) kan worden berekend volgens:

$$BM = .04833 (66.473 + 13.7516 G_p + 500.33 H_p - 6.755L)/O_{du}$$

voor mannen, en:

$$BM = .04833 (655.0955 + 9.5634 G_p + 184.96 H_p - 4.6756L)/O_{du}$$

voor vrouwen.

BM = basaal metabolisme (W/m²)

G_p = lichaamsgewicht (kg)

H_p = lichaamslengte (m)

L = leeftijd (jaren)

O_{du} = lichaamsoppervlak volgens Dubois (m²)

$$O_{du} = G_p^{0.425} (H_p * 100)^{0.725} * 71.84 * 10^{-4}$$

De onnauwkeurigheid van het resultaat van deze methode bedraagt ca. 30%.

Tabel III Metabolisme in relatie tot houding en beweging (exclusief basaal metabolisme).

lichaamspositie lichaamsbeweging	Metabolisme (W/m ²)
zitten	10
knielen	20
hurken	20
staan	23
gebogen staan	30
lopen (2-4,5 km/h)	65-135

Tabel IV Metabolisme voor verschillende types arbeid (exclusief basaal metabolisme).

Type arbeid	Metabolisme (W/m ²)
hand arbeid: licht	10 - 22
matig	22 - 34
zwaar	34 - 46
arbeid met één arm:	
licht	25 - 45
matig	45 - 65
zwaar	65 - 85
arbeid met twee armen:	
licht	55 - 75
matig	75 - 95
zwaar	95 - 115
romp arbeid: licht	95 - 155
matig	155 - 230
zwaar	230 - 330

Als alternatief voor de waarden uit Tabel V is de vergelijking van Pandolf (1977) te gebruiken:

$$M_{\text{(totaal)}} = 1.5 G_p + 2 * (G_p + G_u) \left(\frac{G_u}{G_p}\right)^2 + n (G_p + G_u) (1.5V + .35V*H)$$

met G_p = gewicht proefpersoon (kg)

G_u = gewicht uitrusting + last (kg)

n = terreinfactor (1 voor gladde weg) (dimensieloos)

V = loopsnelheid (m/s)

H = helling

Een toepassingsvoorbeeld wordt gegeven in Tabel VI waarbij de waarden uit de verschillende tabellen worden gesommeerd met die voor het basaal metabolisme.

Tabel V Metabolisme in relatie tot arbeidssnelheid en zwaarte (exclusief basaal metabolisme).

Type arbeid	Metabolisme gerelateerd aan werktempo ($\frac{W/m^2}{m/s}$)
lopen (3-5 km/h)	120
omhoog lopen 3-5 km/h	
helling 5 ⁰	210
helling 10 ⁰	345
omlaag lopen 3-5 km/h	
helling 5 ⁰	67
helling 10 ⁰	56
trap oplopen	1900
trap aflopen	470
lopen met last op de rug (3-5 km/h)	
10 kg last	130
30 kg last	195
50 kg last	230
schuine ladder omhoog klimmen	
zonder last	1680
met 10 kg	1890
met 50 kg	3360
verticale ladder omhoog klimmen	
zonder last	2040
met 10 kg	2330
met 50 kg	4770

Tabel VI Voorbeelden voor de schatting van het metabolisme van enkele typen arbeid.

activiteit	Metabolisme (W/m ²)			
	basaal	lichaams houding beweging	type arbeid	som
bladeren harken (langzaam lopen licht werk met 2 armen)	44	65	55	165
planken schaven met de hand (gebogen staan, lichte romparbeid)	44	30	125	200
auto duwen (lopen, zware romparbeid)	44	120	300	465

Deze methode vergt veel ervaring van de experimentator, om tot een reproduceerbare en realistische waarde voor het metabolisme te komen.

4.4 Schatting op basis van metabolismes voor verschillende activiteiten

Voor deze methode moet het arbeidsverloop in deelactiviteiten worden onderscheiden en moet de tijdsduur van elke deelactiviteit worden geregistreerd. Door dan het bij die deelactiviteit horende metabolisme (Tabel VII) over de tijd te integreren kan het gemiddelde metabolisme worden bepaald (zie Tabel VIII). De onnauwkeurigheid van deze methode ligt lager dan 30%.

Tabel VII Metabolisme voor diverse activiteiten

activiteit	Metabolisme (W/m ²)
1	<u>basis activiteiten</u>
1.1	lopen op vlakke weg
	2 km/h 110
	3 km/h 135
	4 km/h 165
	5 km/h 200
1.2	omhoog lopen
	3 km/h, helling 5 ⁰ 195
	10 ⁰ 275
	15 ⁰ 390
1.3	omlaag lopen
	5 km/h, helling 5 ⁰ 130
	10 ⁰ 115
	15 ⁰ 120
1.4	trap oplopen
	80 treden per minuut 440
1.5	trap aflopen
	80 treden per minuut 155
1.6	last dragen, horizontaal
	4 km/h, last 10 kg 185
	30 kg 250
	50 kg 360
2	<u>beroepen</u>
2.1	bouwwak
2.1.1	metselen
	massieve steen (3.8 kg) 150
	holle steen (4.2 kg) 135
	holle blokken (15.3 kg) 135
	holle blokken (23.4 kg) 125
2.1.2	prefabriceren van betonnen modules
	vormen en verwijderen van bekisting 180
	bewapening toevoegen 125
	beton gieten 175
2.1.3	bouw van woonhuizen
	cement mengen 150
	beton voor fundering gieten 275
	beton verdichten door vibreren 220
	bekisting maken 180
	kruiwagen met stenen en mortel beladen 275

activiteit	Metabolisme (W/m ²)

2.2 ijzer- en staal-industrie	
2.2.1 hoogovens	
prepareren van gietblok voor gieten	365
gieten	420
2.2.2 vormen (handwerk)	
vormen van middelgrote stukken	285
bewerken met pneumatische hamer	170
vormen van kleine stukken	140
2.2.3 machinaal vormen	
vorm afgieten	120
gieten, eenpersoons gietblok	220
gieten, tweepersoons gietblok	205
gieten met gietblok aan kraan hangend	185
2.2.4 afwerk eenheid	
werken met pneumatische hamer	175
schuren, knippen	175
2.3 bosbouw	
2.3.1 transporteren en werken met een bijl	
lopen en transporteren (7 kg) in het bos (4 km/h)	285
dragen van een motorzaag (18 kg) met de handen (4 km/h)	385
werken met een bijl (2 kg, 33 slagen/min.)	500
wortels verwijderen met een bijl	375
takken verwijderen (sparrehout)	415
2.3.2 zagen	
stam doorzagen, tweepersoons zaag	
60 dubbele halen/min.,	
20 cm ² per dubbele haal	415
40 dubbele halen/min.,	
20 cm ² per dubbele haal	240
boom omzagen met	
eenpersoons motorzaag	235
tweepersoons motorzaag	205
boom in stukken zagen met	
eenpersoons motorzaag	205
tweepersoons motorzaag	190
van bast ontdoen	
in zomer	225
in winter	390

activiteit	Metabolisme (W/m ²)
2.4 landbouw	
spitten (24 steken/min.)	380
ploegen met een span paarden	230
ploegen met een tractor	170
bemesten van akker	
met hand uitstrooien	280
met gierspreider (paardenspan)	250
met tractor uitstrooien	95
onkruid wieden (gewicht schoffel 1.25 kg)	170
2.5 sporten	
2.5.1 rennen 9 km/h	430
12 km/h	485
15 km/h	550
2.5.2 skiën op vlakke, goede sneeuw	
7 km/h	345
9 km/h	405
12 km/h	510
2.5.3 schaatsen	
12 km/h	225
15 km/h	285
18 km/h	360
2.6 huishoudelijk werk	
schoonmaken	100 - 200
koken	90 - 110
afwassen, staand	90
handwas en strijken	110 - 120
scheren, wassen en aankleden	100

Tabel VIII Voorbeelden voor de bepaling van het gemiddeld metabolisme.

Type activiteit	duur (s)	metabolisme (W/m ²)	totaal energie- verbruik tijdens activiteit (J/m ²)
lopen in de fabriek (4 km/h)	35	165	3775
transporteren van een zak (30 kg)	30	250	12500
staan	25	67	1675
vormen van middelgroot giestuk	135	285	38475
mal bewerken met pneumatische hamer	55	170	9350
Totaal	300	---	67775
Gemiddeld metabolisme	---	226	---

Om het gebruik van deze methode te stroomlijnen is een analyse van de diverse deelactiviteiten vooraf noodzakelijk. Het is dan mogelijk deze deelactiviteiten te categoriseren en nummeren, waarna op een scoreformulier het arbeidsverloop wordt geregistreerd (Fig. 2). Op een dergelijk scoreformulier kan men tevens andere bijzonderheden registreren, zoals verandering van klimaatomgeving en kleding.

tijd (min)	tijd (sec)					LOCATIE	Kleding
	10	20	30	40	50		
1	--- STAAAN-----		--- LOPEN 5 KM/H-----			HAL	BASIS
	--- TRAP OPLOPEN-----			--- ZITTEN-----		BUITEN	+ JAS
5	--- LOPEN 5 KM/H MET LAST 20 KG-----					HAL 1e VERD.	
	--- STAAAN MET LAST-----		--- STAAAN ZONDER LAST-----				
10	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
15	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
20	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
25	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						
	----- ----- ----- ----- -----						

Fig. 2 Voorbeeld voor scoreformulier arbeidsanalyse

5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

In de meeste gevallen zal de te kiezen methode voor de bepaling van het metabolisme bepaald worden door de proefpersoon (bereidheid tot het dragen van sensoren) en de bedrijfssituatie (invloed meting op het arbeidsproces; beschikbare ruimte en tijd).

Een directe meting blijkt dan vaak niet mogelijk en men moet overgaan tot indirecte methoden of schattingen en het daarmee samengaande verlies aan precisie accepteren.

Bij gebrek aan een directe meting gaat de voorkeur op grond van het voorgaande overzicht uit naar de indirecte bepaling met gebruik van een individuele hartfrequentie calibratiecurve. Dit houdt in dat van elke proefpersoon de relatie O_2 opname (metabolisme) versus hartfrequentie bepaald wordt in het laboratorium, en dat de op de werkplek gemeten hartfrequentie d.m.v. deze relatie omgerekend wordt naar de waarde van het metabolisme.

Kan deze methode niet gebruikt worden, hetgeen het geval is bij zeer lichte of statische arbeid, dan zal men moeten overgaan tot de minder nauwkeurige methode van arbeidsanalyse: schatting van het metabolisme op grond van tabellen.

REFERENTIES

- Åstrand, P.O. en Rodahl, K. (1970). Textbook of work physiology. New York, McGraw-Hill.
- Burger, G.C.E. (1969). Heart rate and the concept of circulatory load. *Ergonomics*, 1969, vol.12, no.6, 857-864.
- ISO/rapport TC159/SC5N57F. Ontwerp, Determination of metabolism.
- Linde, F.J.G. van de, Middendorp, H. van, en Lotens, W.A. (1982). Arbeid in impermeabele kleding, een gecombineerde laboratorium/-veldstudie. Rapport IZF 1982-12.
- Pandolf, K.B., Givoni, B. and Goldman, R.F. (1977). Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly, *J.appl.physiol. REEP* 43(4), 577-581.
- Sanchez, J., Monod, H. en Chabaud, F. (1979). Effects of dynamic, static and combined work load on heart rate and oxygen consumption. *Ergonomics* 1979, vol.22, no.8, 935-943.
- Vogt, J.J., Meyer-Schwartz, M.Th., Metz, B., Foehr, R. (1973). Motor, Thermal and Sensory factors in Heart rate variation. A methodology for indirect estimation of Intermittent muscular work and environmental heat loads. *Ergonomics*, 16, (1), 45-60.

APPENDIX B: Bepaling van de kledingisolatie in bedrijfssituaties

1 INLEIDING

In het kader van een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid zal door MT-TNO in samenwerking met IZF-TNO een inventarisatiemethode voor klimaatsomstandigheden in bedrijven worden opgesteld en beproefd. Hierin zal MT-TNO voornamelijk de klimaatsbepaling voor zijn rekening nemen terwijl de taak van het IZF-TNO bestaat uit de bepaling van de fysiologische belasting en de ontwikkeling en inventarisatie van daarbij te gebruiken methodes.

Voor de bepaling van de belasting en de belastheid van een persoon is kennis van een aantal parameters noodzakelijk. Voor externe belasting zijn dat klimaat, zwaarte van de arbeid, eigenschappen van de kleding; en voor de interne belastheid: metabolisme, hartfrequentie, lichaamstemperatuur en eventueel ademhalingsparameters. Dit memo is gewijd aan methodes ter bepaling van de kledingisolatie door middel van meting (proefpersoonexperiment en thermische manikin) en schatting (tabellen, geometrie en computermodellen).

2 METEN

Het meten van de isolatiewaarde van een kledingsysteem is altijd arbeidsintensief en behoeft uitgebreide instrumentatie. Er zijn hiervoor twee mogelijkheden: het gebruik van proefpersonen en van een manikin.

2.1 Het uitvoeren van een proefpersoonexperiment

Door partiële calorimetrie is het mogelijk de warmtebalansvergelijking:

$$M = W_{ext} + Dry + Resp + Evap + Sto \quad (1)$$

met M = metabolisme (W)
 Wext = externe arbeid (W)
 Dry = droge warmte-afgifte (W)
 Resp = warmte-afgifte via ademhaling (W)
 Evap = verdampingswarmte-afgifte (W)
 Sto = warmte-opslag (W)

op te lossen en de waarde van Dry te bepalen. Is daarnaast de temperatuurgradiënt over de kleding bekend, dan is het mogelijk de totale isolatie van het kledingsysteem te bepalen:

$$It = \frac{Tsk - Ta}{Dry} \quad (m^2 \text{ } ^\circ C/W) \quad (2)$$

met It = totale isolatie (kleding + lucht)
 Tsk = gemiddelde huidtemperatuur
 Ta = omgevingstemperatuur

of

$$Icl = \frac{Tsk - Tcl}{Dry} \quad (m^2 \text{ } ^\circ C/W) \quad (3)$$

met Icl = intrinsieke kledingisolatie
 Tcl = gemiddelde oppervlaktetemperatuur kleding

2.2 Manikin metingen

Bij een zogenaamde "thermal manikin" is het mogelijk de temperatuur van het oppervlak in te stellen en te regelen. De energie die nodig is om deze temperatuur (bij voorkeur een temperatuur vergelijkbaar met een realistische huidtemperatuur) op peil te houden is een maat voor de warmte-afgifte van het oppervlak en daarvan kan dan weer de isolatie van eventueel gedragen kleding worden afgeleid:

$$It = \frac{Tsk - Ta}{Q} \quad (m^2 \text{ } ^\circ C/W) \quad (4)$$

met T_{sk} = gemiddelde oppervlakte ("huid") temperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
 Q = vermogen nodig om oppervlak op temperatuur te houden
 (W/m^2)

en

$$I_{cl} = I_t - \frac{I_a}{f_{cl}} \quad (\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}) \quad (5)$$

met I_a = isolatie luchtlaag rond kleding
 (te meten met naakt manikin bij zelfde temperatuurgradiënt als kleding ten opzichte van omgeving)
 f_{cl} = oppervlaktefactor = opp. geklede manikin/opp. naakt manikin

$$\text{of } I_{cle} = I_t - I_a \quad (\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}/\text{W}) \quad (6)$$

met I_{cle} = effectieve kledingisolatie.

De laatste representeert de toename in isolatie ten opzichte van de naakte manikin. Voordeel van het op deze laatste wijze uitdrukken van kledingisolatie is het vervallen van de noodzaak om f_{cl} te bepalen.

Wil men van een bepaald kledingstelsel de isolatie weten dan zal men die met een van deze methodes moeten bepalen. Vaak ontbreekt het echter aan tijd en middelen om deze metingen uit te voeren en zou men, zij het met verlies van precisie, de kledingisolatie willen schatten.

3 SCHATTINGEN

Voor de schatting van kledingisolatie bestaan enkele methodes. Men kan gebruik maken van gegevens van eerdere metingen in de vorm van tabellen; men kan een schatting van de dikte maken en hieruit de isolatie berekenen of, via een computermodel op een soortgelijke, zij het uitgebreidere wijze, de isolatie bepalen.

3.1 Tabellen

Een mogelijkheid voor de schatting van de kledingisolatie is gebruik te maken van bestaande tabellen.

Met het opstellen van dit soort tabellen werd een begin gemaakt door Seppanen e.a. in 1972 die diverse kledingcombinaties op een mankin hebben gemeten. Het probleem bij het gebruik van deze tabellen is het beperkte aantal kledingcombinaties dat door hen gemeten is, waardoor alleen van soortgelijke kledingcombinaties een schatting te maken is. Sprague en Munson (1974) probeerden dit probleem op te lossen door een aantal kledingstukken los te bemeten op hun isolatiewaarde en hiervoor een sommatieformule te bepalen van de vorm:

$$\hat{I}_{\text{combinatie}} = a \sum \text{losse delen} + b \quad (7)$$

Zij gebruikten hiervoor de intrinsieke isolatie per kledingstuk. Bij deze sommatie trad het probleem op dat bij het samenvoegen van kledingstukken de oppervlakte factor f_{cl} verandert; bijvoorbeeld de buitenste laag kan de binnenste samendrukken of een hemd verdwijnt deels in de broek. Hiervoor is moeilijk een standaard oplossing te geven. Sprague en Munson's metingen leverden de volgende regressieformules:

$$\hat{I}_{cl} = .727 \sum I_{cl} + .113 \quad \text{voor mannen} \quad (8)$$

$$\hat{I}_{cl} = .770 \sum I_{cl} + .050 \quad \text{voor vrouwen} \quad (9)$$

$$f_{cl} = \sum_{i=1}^n f_{cl_i} - (n-1) \quad (10)$$

met \hat{I}_{cl} = intrinsieke isolatie van de kledingcombinatie
 I_{cl} = intrinsieke isolatie van het losse kledingstuk
 f_{cl} = geschatte oppervlaktefactor voor kledingcombinatie
 f_{cl_i} = geschatte oppervlaktefactor voor kledingstuk
 n = aantal blootgestelde kledingstukken

In de praktijk is vooral de f_{cl} vergelijking moeilijk toepasbaar. Op basis van dit werk is ASHRAE standaard 55-1981 opgesteld die inhoudt (ASHRAE, 1981a):

$$\hat{f}_{cl} = .82 \Sigma I_{cl} \quad (11)$$

Olesen en Nielsen (1983) ontwikkelden de vergelijking:

$$\hat{f}_{cl} = .73 \Sigma I_{cl} + .17 \quad (12)$$

Indien men door dezelfde data een regressielijn bepaalt die door de oorsprong wordt getrokken, komt het resultaat sterk overeen met de ASHRAE waarde.

Goldman (1981) stelt:

$$\hat{f}_{cl} = .69 \Sigma I_{cl} \quad (13)$$

en McCullough e.a. (1985):

$$\hat{f}_{cl} = .676 \Sigma I_{cl} + .117 \quad (14)$$

waarmee 93% van de variantie in isolatie van de totale kledingpakketten werd verklaard.

Gezien de moeilijkheid van de f_{cl} -bepaling hebben diverse auteurs getracht een relatie tussen f_{cl} en I_{cl} te bepalen (alle I_{cl} waarden in cl_0 ; $1_{cl_0} = .155 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$)

$$f_{cl} = 1 + .15 I_{cl} \text{ (Fanger, 1970)} \quad (15)$$

$$f_{cl} = 1 + .25 I_{cl} \text{ (Gagge, in Seppanen e.a., 1972)} \quad (16)$$

$$f_{cl} = 1 + .26 I_{cl} \text{ voor losse kledingstukken}$$

en $f_{cl} = 1 + .29 I_{cl}$ voor combinaties
(McCullough and Jones 1983 op basis van data
van Sprague en Munson, 1974) (17)

$$f_{cl} = 1 + .43 I_{cl} \text{ (losse delen) en}$$

$$f_{cl} = 1 + .34 I_{cl} \text{ (combinaties) (McCullough and Jones 1983, eigen data)} \quad (18)$$

$$f_{cl} = 1 + .26 I_{cl} \text{ (combinaties, Olesen en Nielsen 1983)} \quad (19)$$

Hierbij wordt een grote diversiteit waargenomen, hetgeen aangeeft dat de correlatie tussen f_{cl} en I_{cl} zwak is. Moet zo'n schatting toch worden gemaakt, dan lijkt:

$$f_{cl} = 1.0 + .31 I_{cl} \quad (20)$$

voor combinaties het meest geschikt (McCullough e.a., 1985).

Om de problemen van de f_{cl} bepaling van alle losse kledingstukken te ontlopen, hebben Olesen en Nielsen (1983) en Olesen (1985) getracht soortgelijke sommatieformules voor de isolatie op te stellen op basis van de effectieve isolatie van de losse kledingstukken:

$$I_{cle} = I_t - I_a \quad (21)$$

De oppervlaktefactor f_{cl} komt hierin niet voor. De gevonden vergelijking zijn:

$$\hat{I}_{cl} = .85 \Sigma I_{cle} + .25 \quad (\text{Olesen en Nielsen 1983}) \quad (22)$$

of als de lijn door de oorsprong wordt gedwongen:

$$\hat{I}_{cl} = \Sigma I_{cle} \quad (\text{Olesen, 1985}) \quad (23)$$

Hoewel met deze methode de f_{cl} schatting van de losse kledingstukken vervalt, blijft voor een schatting van de totale isolatie:

$$I_t = I_{cl} + \frac{I_a}{f_{cl}} \quad (24)$$

de bepaling van de oppervlaktefactor van het totale kledingpakket (f_{cl}) toch noodzakelijk.

Aan dit probleem, dat mogelijk voorkomen had kunnen worden door ook de gesommeerde isolatie als effectieve isolatie uit te drukken is door de auteurs geen aandacht besteed. Wel geven zij nog een relatie tussen I_{cl} en I_{cle} die varieert tussen:

$\Sigma I_{cle} = .87 \Sigma I_{cl}$ en $\Sigma I_{cle} = .82 \Sigma I_{cl}$ waarbij het verschil tussen de relaties afkomstig is van een verschil in gebruikte f_{cl} waarde in de I_{cl} berekening ($\Delta f_{cl} = .2/clo$ respectievelijk $.26/clo$).

Een voorbeeld van een kledingtabel is bijgevoegd in Appendix II van dit memo (uit McCullough, 1984). Ter verduidelijking is tevens een aantal modeltekeningen toegevoegd (Appendix I). Deze tabel is in vergelijking met andere vrij uitgebreid daar hij ook bedekt oppervlak en gewicht opgeeft. Dit vergemakkelijkt de selectie.

Een vergelijking van verschillende experimentatoren is mogelijk met Appendix III, waarin van diverse auteurs meetresultaten zijn opgenomen.

In de genoemde publicaties gaat het er altijd om hoe uit metingen aan losse kledingstukken de totale isolatie berekend kan worden. Bij gebruik van de tabellen in de praktijk daarentegen wordt de isolatie van de losse kledingstukken niet gemeten, maar geschat door vergelijking van het betreffende kledingstuk met kledingstukken in de tabel. Hoe goed gaat dat nu eigenlijk?

McCullough e.a. (1985) beschrijven een korte studie naar dit probleem waarin 45 redelijk ervaren kleding- en textielstudenten na instructie isolaties schatten op grond van ASHRAE standaard 55-1981. Hoewel het ging om kleding die overeenkwam met in de standaard gebruikte, bleek de variabiliteit tussen de schattingen ontoelaatbaar groot (standaarddeviatie gemiddeld 23%).

De betrouwbaarheid van deze "Tabel" methode moet derhalve worden betwijfeld.

3.2 Schattingen op grond van kledingparameters

Naast het gebruik van tabellen waarmee kledingstukken of combinaties kunnen worden vergeleken, is ook getracht om de isolatiewaarde van kleding te koppelen aan parameters als gewicht, oppervlak en dikte.

3.2.1 Gewicht

Diverse auteurs vinden slechts een matige correlatie van de isolatiewaarde met het gewicht van de kleding. (Bij ensembles: gewicht zonder schoenen.) Zij noemen waarden van 0.35 clo/kg (ASHRAE standard 55-1981), .59 clo/kg (kledingstuk) en .57 clo/kg (kledingcombinatie, beide Olesen en Nielsen, 1983) tot .74 clo/kg (McCullough e.a., 1985). De standaarddeviatie hiervoor is echter zeer groot; in het laatste voorbeeld .22 clo.

3.2.2 Kledingoppervlak

Ook voor het lichaamsoppervlak dat door kleding wordt bedekt geeft men correlaties, bijvoorbeeld voor losse kledingstukken:

$$I_{cl} = .00973 \text{ BSAC} - .0832 \quad (\text{clo}) \quad (25)$$

met BSAC = bedekt lichaamsoppervlak in %.

De verklaarde variantie met deze vergelijking bedraagt 80% met een standaarddeviatie van .1 clo. Voor kledingcombinaties daalt de verklaarde variantie tot 50%. Dit wordt veroorzaakt doordat het bedekte oppervlak voor vele combinaties vrijwel gelijk is waarbij de restvariantie wordt veroorzaakt door verschillen in een aantal en soort isolatielagen. Deze vergelijking is niet geldig voor kleine bedekte oppervlakken. Hij geeft dan zelfs negatieve waarden.

3.2.3 Combinaties van parameters

Voor losse kledingstukken blijkt de isolatie goed te voorspellen uit de combinatie van oppervlak en materiaaldikte (McCullough e.a., 1985):

$$I_{cl} = .0079 \text{ BSAC} + .00131 (\text{Mat.dikte} * \text{BSAC}) - .0745 \quad (26)$$

(clo) materiaaldikte in mm gemeten volgens ASTM D 1777
resp. ASTM 1982¹

$$\text{of } I_{cle} = .00534 \text{ BSAC} + .00135 (\text{Mat.dikte} * \text{BSAC}) - .0549 \text{ (clo)} \quad (27)$$

Het percentage verklaarde variantie is (R^2) = 93% resp. 91%;
standaarddeviatie (SD) = .06 clo

Voor kledingcombinaties moet onderscheid worden gemaakt tussen lichaamsoppervlak bedekt met één laag (BSAC1) en geen laag (BSACØ)

¹ASTM 1982 houdt in dat de dikte bepaald wordt met een stempel van 76 mm (3 inch) diameter onder een druk van 69 Pa. (.01 PSI).

Onderscheid tussen twee of meer lagen blijkt niet relevant. Samen met het kledinggewicht (zonder schoenen) en zonder de materiaaldikte levert dit (McCullough, 1985):

$$\begin{aligned} \hat{I}_{cl} &= .255 \text{ gewicht} - .00874 \text{ BSAC}_0 - .00510 \text{ BSAC}_1 + .919 \text{ (clo)} \\ R^2 &= .84 ; \text{ SD} = .12 \end{aligned} \quad (28)$$

Helaas zonder enige andere informatie noemt McCullough ook de relatie:

$$\begin{aligned} \hat{I}_{cl} &= .386 \text{ gewicht} + .00571 \text{ BSAC} \\ \text{met } R^2 &= .98 \text{ en } \text{SD} = .13 \end{aligned} \quad (29)$$

Voor de bepaling van het bedekte lichaamsoppervlak (BSAC) gebruikt McCullough een van maatverdeling voorziene manikin. (Fig. 1).

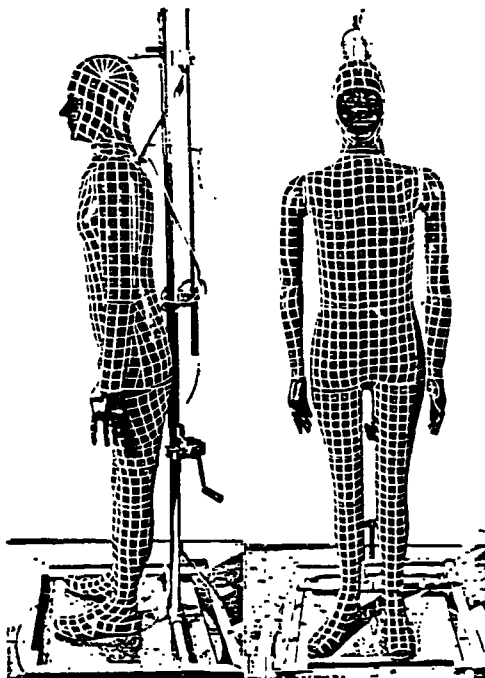


Fig. 1 Manikin voorzien van oppervlakte-indeling.

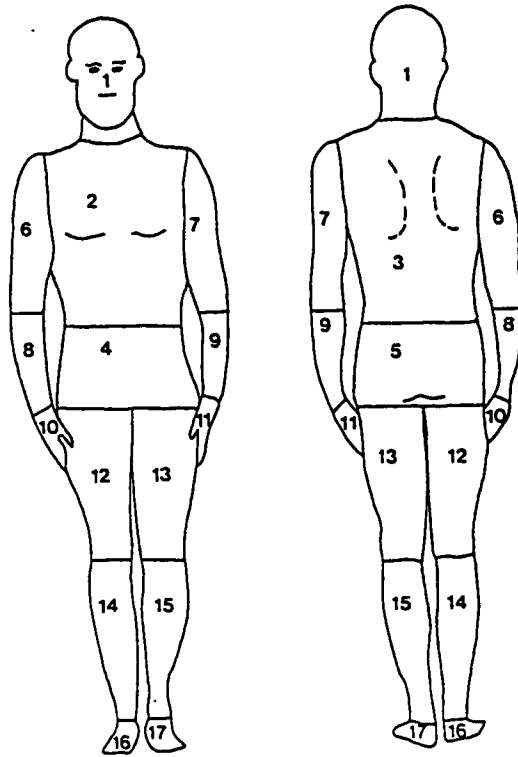


Fig. 2 Segmentatie van het lichaam voor gebruik bij bedekt oppervlakte bepaling.

Voor een schatting van BSAC op de bedrijfsvloer kan gebruik worden gemaakt van de segment-indeling van Fig. 2 met daarbij de gegevens zoals gepresenteerd in het te gebruiken werkblad: Fig. 3.

lichaamssegment	% totale oppervlak per segment	% van segment bedekt door kleding	% totale lichaamsoppervlak bedekt
1 hoofd en nek	8.7		
2 borst	10.2		
3 rug	9.2		
4 buik	6.1		
5 zitvlak	6.6		
6 rechter bovenarm	5.0		
7 linker bovenarm	5.0		
8 rechter onderarm	3.1		
9 linker onderarm	3.1		
10 rechter hand	2.5		
11 linker hand	2.5		
12 rechter dij	9.2		
13 linker dij	9.2		
14 rechter kuit	6.1		
15 linker kuit	6.1		
16 rechter voet	3.7		
17 linker voet	3.7		
totale lichaam	100	--	

Fig. 3 Werkblad, te gebruiken bij de bepaling van het door kleding bedekt oppervlak. (McCullough 1984)

Volgens McCullough e.a.(1985) is het bepalen van de isolatie van de kledingcombinatie ook mogelijk op basis van de volgens vergelijking 25 of 26 geschatte isolatie van de losse kledingstukken. Zij leveren hiervoor de volgende sommatieformule:

$$\begin{aligned} \hat{I}_{cl} &= .676 \Sigma I_{cl} + .117 && (clo) \\ R^2 &= .94 \quad SD = .07 && (30) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{of } \hat{I}_{cle} &= .756 \Sigma I_{cle} + .0791 && (clo) \\ R^2 &= .94 \quad SD = .07 && (31) \end{aligned}$$

Deze methode levert volgens de auteurs goede resultaten.

3.3 Schatting met behulp van een computermodel

McCullough e.a. (1985) beschrijven een computermodel, waarmee met goed resultaat de isolatie van een kledingcombinatie wordt bepaald. De belangrijkste parameters in dit model zijn: huidoppervlakte per segment, dikte van luchtlagen en kledingstukken per segment en aantal kledingstukken per segment. Deze methode is echter zeer complex en tijdrovend (+ 20 segmenten), hetgeen hem voor veldexperimenten minder geschikt maakt.

Andere modellen zoals CLOMAN (Lotens, p.c.) zijn van een simpelere opzet (specifieke geleiding kleding, geleiding aanhangende lucht en totale dikte kleding). Zij vergen echter een schatting van de geleidingscoëfficiënt van de kleding met de zich daarin bevindende luchtlagen, hetgeen ze moeilijker in het gebruik maakt. Opsplitsing in het aantal kledinglagen met aanhangende lucht lijkt derhalve noodzakelijk.

4 FACTOREN DIE DE ISOLATIE VERANDEREN

Zowel de genoemde metingen aan de manikin als bij de schattingsmethoden hebben te maken met stil, rechtopstaande personen. Verandering in deze toestand (bewegen, zitten) is van invloed op de kledingisolatie (pompeffect, samendrukken en/of afdekken van kledinglaag). Ook luchtbeweging kan een grote invloed hebben.

4.1 Houding

De totale isolatie van de kleding inclusief lucht is maximaal bij rechtopstaande personen (Olesen, 1983). Door te gaan zitten of hurken etc. wordt de kleding op rug-, zitvlak en dijen gecompriëerd. Door optrekken van de broekspijpen komen de enkels "bloot". Dit verlaagt de Icl. Daartegenover staat dat de luchtisolatie Ia toeneemt; mogelijk door het ontstaan van allerlei holtes (knie, heup) waar interactie plaatsvindt tussen de convectieve warmtewisseling van de diverse grenslagen. Tevens neemt het lichaamsoppervlak dat bij de stralingsuitwisseling met de omgeving is betrokken, af. Het effect is een reductie van Icl van 6 tot 18% en een toename van Ia van ca. 10

tot maximaal 25% bij de overgang van staan naar zitten (Nielsen, 1985). Het totale effect is derhalve afhankelijk van de verhouding tussen kleding en luchtisolatie. Voor naakte mensen neemt de totale isolatie toe met ca. 10%; voor dikke kleding (1.8 clo) neemt hij af met + 10%.

4.2 Beweging

Gaat de persoon bewegen, dan zal in de kleding aanwezige lucht gaan circuleren respectievelijk ventileren, hetgeen leidt tot een toename van de convectieve warmte-afgifte en dus lagere Icl waarden. De isolatie van aanhangende lucht zal door lichaamsbeweging afnemen door een toename van de convectie. Nielsen (1985) vindt, voor fietsende (ergometerfiets) personen een afname in Icl van 30-36% (toenemend met de kledingisolatie) en van Ia van ca. 20%. Voor It is dit een afname van 23% (naakt) tot 33% (dikke kleding). Voor lopen (lopende band) vindt Nielsen een afname van Icl van 33% voor mannenkleding en tot 51% voor vrouwenkleding. Zij wijdt dit aan pasvorm en design. Gemeten op een bewegende manikin vinden Olesen en Madsen (1983) vergelijkbare gegevens voor Icl (35%) en Ia (32%), hetgeen voor It ook circa 34% oplevert. In een proefpersoonstudie (Havenith en Van Middendorp, 1985) nam It bij de overgang van staan naar fietsen af met 33%.

4.3 Luchtbeweging

Toename van de luchtbeweging ten opzichte van de persoon resulteert in een vermindering van de stilstaande luchtlaag rond de persoon (Ia kleiner) en zal, afhankelijk van de luchtdoorlatendheid van de kleding een verlagende invloed hebben op Icl. Voor de Ia reductie bij 1.1 m/s luchtbeweging vonden Olesen en Madsen (1983) een vermindering met 56%; Burton en Edholm (1955) 60% en Nielsen (1985) 37% bij staande personen; bij lopende personen 31% ten opzichte van lopen zonder wind. Vergelijken met staan in stille lucht is de vermindering van Ia voor lopen bij 1.1 m/s luchtbeweging 55% (Nielsen, 1985). Vergelijk van deze laatste twee waarden toont dat er een interactie tussen beweging en wind optreedt. Beiden hebben een gelijksoortig effect, dat niet additief is. Dit geldt tevens voor Icl. Terwijl voor de stilstaande mens Icl met ca. 18% daalt, vindt Nielsen (1985) voor

lopen op de band in stilstaande lucht gelijke waarden van Icl als voor vrij lopen in omgevingslucht. Het effect van lichaamsbeweging is blijkbaar sterker, dan dat van de tot 1.1 m/s toegenomen windsnelheid.

Voor Itot levert dit een reductie van 26% (Havenith en Van Middendorp, 1985) bij staan in wind (2 m/s) en van 39% (Belding e.a., 1947) tot 48% bij lopen in wind ten opzichte van Itot bij staan in stille lucht.

5 DISCUSSIE EN CONCLUSIES

Het is duidelijk dat alle schattingsmethoden voor kledingisolatie een verlies aan nauwkeurigheid ten opzichte van echte metingen inhouden. Verder is het fysisch gezien een vreemde zaak dat bij de "tabel" methodes isolaties van kledingstukken worden opgeteld die elk maar een klein deel van het lichaam bedekken.

De isolatie van zo'n kledingstuk wordt als het ware over het hele lichaam uitgesmeerd. Logischer zou het zijn om per lichaamsdeel de isolaties van de kledinglagen te sommeren, deze som om te zetten in een geleiding, en dan de geleiding per lichaamsdeel over het hele lichaam te integreren.

Het onderzoek heeft zich tot nog toe voornamelijk geconcentreerd op het opstellen van tabellen en van sommatieformules om uit de isolatie van losse kledingstukken die van de kledingcombinatie te bepalen. Over het gebruik van de tabellen om de isolatie van losse kledingstukken te schatten (hetgeen voor dit project de bedoeling is) en de betrouwbaarheid daarvan, is nog weinig bekend. Een klein onderzoek in die richting (McCullough e.a., 1985) levert een pessimistisch beeld. Een duidelijke keus voor een van de tabellen en/of vergelijkingen (appendix) is dan ook moeilijk.

Voor wat betreft de tabellen lijkt die van Olesen (1983, 1985) het meest bruikbaar in verband met het wegwerken van de fcl factor. Deze moeilijk te bepalen factor is voornamelijk van belang bij losse, dunne kleding. Bij dikke kleding is hij kwantitatief van geringe invloed .

Betrouwbaarder lijkt een schatting van de isolatie van losse kledingstukken op grond van bedekt oppervlak en dikte, met vervolgens een sommatie van de isolaties, of een directe schatting van de isolatie van de kledingcombinatie op grond van gewicht en bedekt oppervlak (formules 26 t/m 31).

De beste methode, schatting via het computermodel, vraagt veel input, die hem in de veldsituatie vaak te omslachtig te hanteren maakt.

De invloed van houding, beweging en wind op de isolatie is beduidend. I_{cl} is maximaal bij een staande persoon, verlaagd met 6-18% bij zitten en met 30-50% bij fietsen en lopen. Onder invloed van zwakke wind neemt I_{cl} ca. 18% af tijdens staan, maar blijft gelijk tijdens lopen (interactie beweging-wind). I_a neemt, vergeleken met staan, tijdens zitten toe met 10-25%, tijdens fietsen af met 7-25% en tijdens lopen af met 35-45%. Wind doet I_a met 50% verminderen tijdens staan en met \pm 30% tijdens lopen (\approx 50% ten opzichte van staan). De verandering in de totale isolatie I_t is afhankelijk van de verhouding tussen I_{cl} en I_a .

Op grond van de bevindingen in dit memo wordt voorgesteld om de kledingisolatie te bepalen d.m.v. schatting van isolatie van losse kledingstukken, gevolgd door sommatie (formules 26, 27, 30 en 31) en/of door directe schatting van de totale isolatie (formules 28 en 29).

Vervolgens zal op basis van de activiteit van de drager (lopen, fietsen) de gevonden isolatiewaarde moeten worden gecorrigeerd.

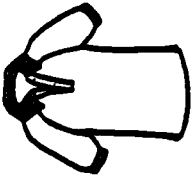
Het grote nadeel van al deze methodes is, dat een parameter als inter-individuele variatie (lengte, pasvorm), die kwantitatief van grote invloed kan zijn (Nielsen, 1985) niet in het onderzoek wordt betrokken.

REFERENTIES

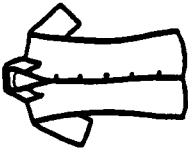
- ASHRAE, 1981A, ANSI:ASHRAE standard 55-1981. Thermal environment conditions for human occupancy; Atlanta: American Society of heating refrig. and air condit. engineers Inc.
- Fanger, P.O. (1970). Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering; New York, McGraw-Hill bookcompany.
- Goldman, R.F. (1981). CW protective clothing; the nature of its performance degradation and some potential solutions. Proceedings of the 13th Commonwealth defence Conference on Operational clothing and equipment. Malaysia.
- Havenith, G. en Middendorp, H. van. IZF rapport 1985-C21. Thermische eigenschappen van het gevechtskledingsysteem uit de PSU-80.
- McCullough, E.A., Arpin, E.J., Jones, B., Konz, S.A. and Rohles, F.H. (1982) Heat transfer Characteristics of Clothing worn in hot industrial environments. ASHRAE transact. 88 1077-1094.
- McCullough, E.A. and Jones, B.W. (1983). Measuring and estimating the clothing area factor, technical report 83-02. Manhattan K.S. Institute for Environmental Research, Kansas State University.
- McCullough, E.A., Jones, B.W., Huck, P.E.J. (1985) A comprehensive Data Base for estimating clothing insulation. ASHRAE transact. 91, 2A, 29-47.
- McCullough, E.A. (1984). A comprehensive data base for estimating clothing insulation; IER technical report 84-01, Kansas State University, Manhattan, Kansas 66506.
- Nielsen, R., Olesen, B.W. and Fanger, P.O. (1985). Effect of Physical activity and air velocity on the thermal insulation of clothing. Ergonomics vol 28 no. 12, 1617-1632.
- Olesen, B.W., Sliwiska, E., Madsen, T.L. and Fanger, P.O. (1982) Effect of body posture and activity on the thermal insulation of clothing: Measurements by a movable thermal manikin. ASHRAE Transact. vol 88, 791-805.
- Olesen, B.W. en Madsen, T.L. (1983). Measurements of the thermal insulation of clothings by a movable manikin; Int. Congress of Medical and Biophysical Aspects of Protective Clothing; Lyon, july 1983.
- Olesen, B.W. and Nielsen, R. (1983). Thermal insulation of clothing measured on a movable thermal manikin and on human subjects. Lyngby, Denmark, Technical University of Denmark.

- Olesen, B.W. A new simpler method for estimating the thermal insulation of a clothing ensemble. ASHRAE Transact. 91 (1985) 2B, 478-492.
- Seppanen, O., McNall, P.E., Munson, D.M. and Sprague, C.H. Thermal insulating values for typical indoor clothing ensembles. ASHRAE Transact. 78, 1972, 120-130.
- Sprague, C.H. and Munson, D.M. A composite ensemble method for estimating thermal insulation values of clothing. ASHRAE Transact. 80, 1974, 1, 120-129.

APPENDIX I: Kermerken van losse kledingstukken



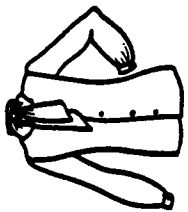
104



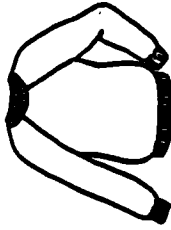
103



102



101



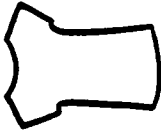
109



108



107

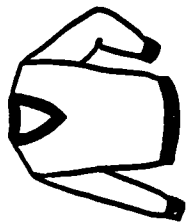


106

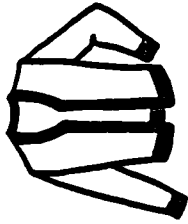


105

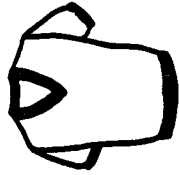
Figure 1. Shirt designs.



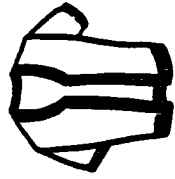
201



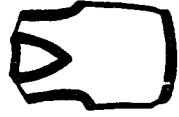
202



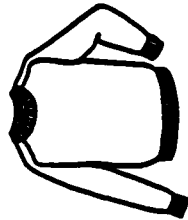
203



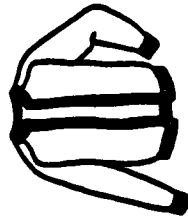
204



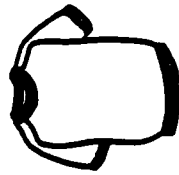
205



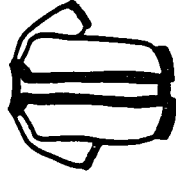
206



207



208

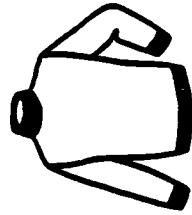


209



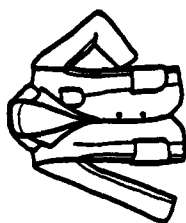
210

68

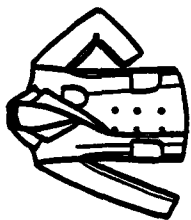


211

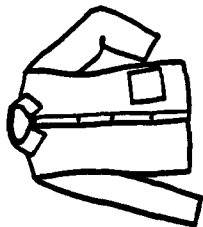
Figure 2. Sweater designs.



301



302



303



304

Figure 3. Jacket and vest designs.



401



402



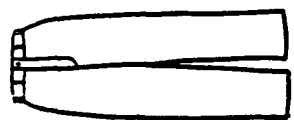
403



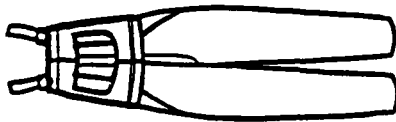
404



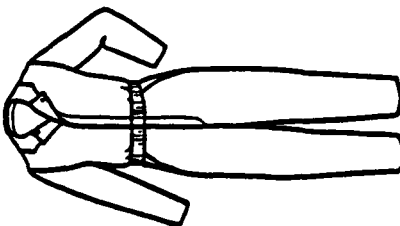
405



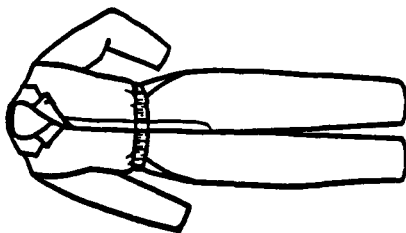
406



407

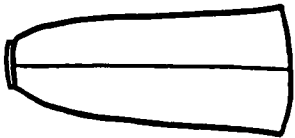


408

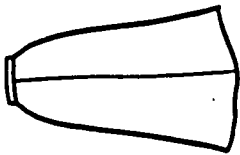


409

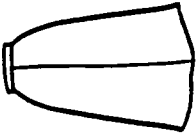
Figure 4. Trousers, coveralls, and overall designs.



501



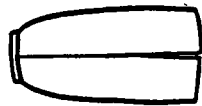
502



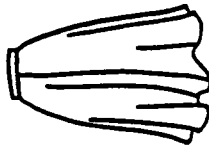
504



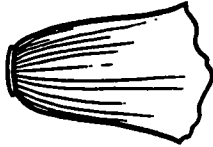
503



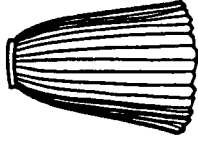
505



506



507



508

Figure 5. Skirt designs.

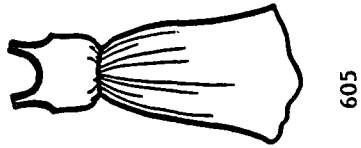
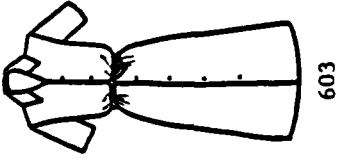
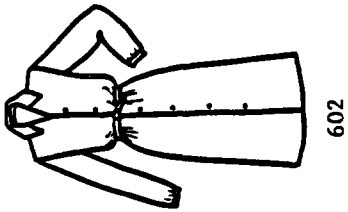
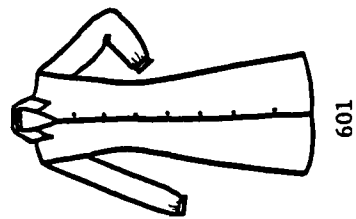
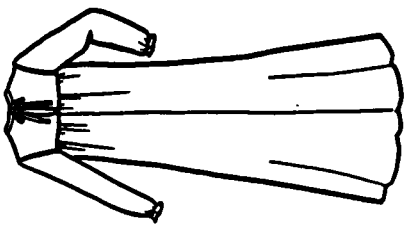
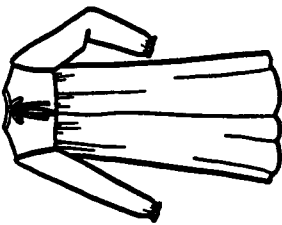


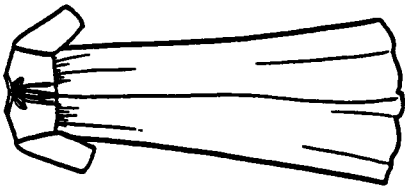
Figure 6. Dress designs.



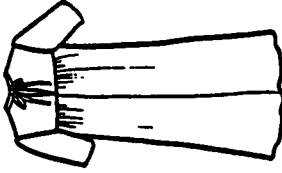
701



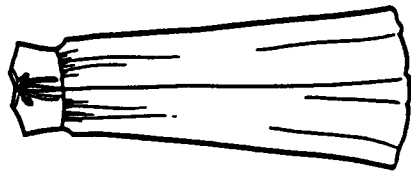
702



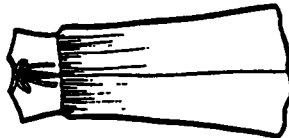
703



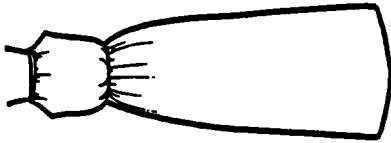
704



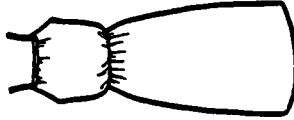
705



706



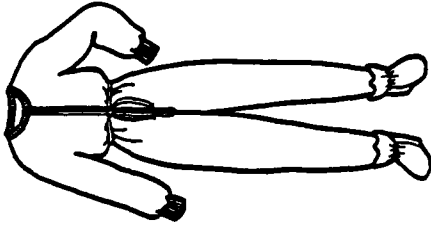
707



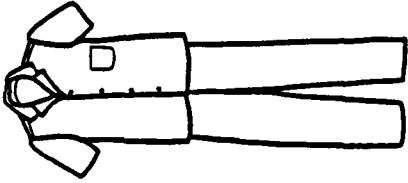
708

73

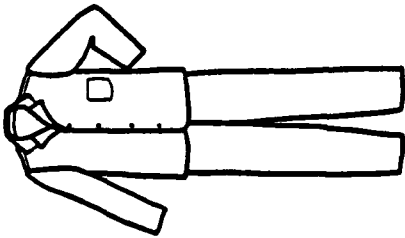
Figure 7. Sleepwear designs.



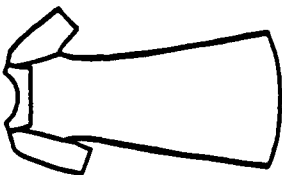
713



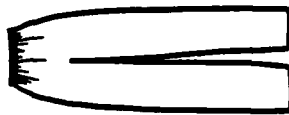
711



710

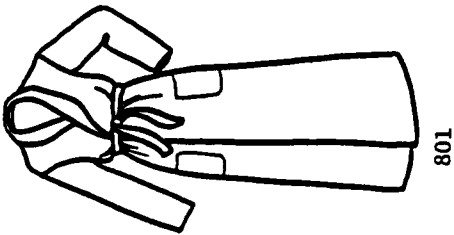


709

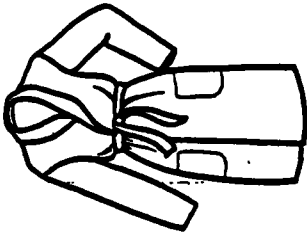


712

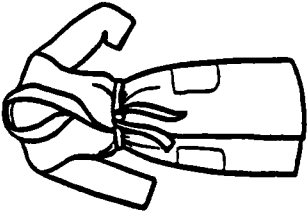
Figure 7. Sleepwear designs.



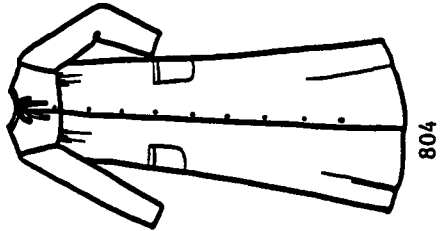
801



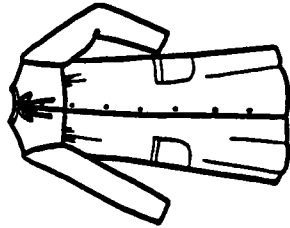
802



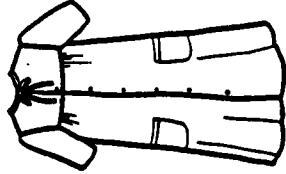
803



804



805



806

Figure 8. Robe designs.

APPENDIX II: Isolatie waarden van kledingcombinaties

Characteristics of Garments

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (Z)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
<u>Shirts</u>							
10101	Long-sleeve, bow at neck Broadcloth	0.206	52	1.13	0.96	0.25	0.33
10201	Long-sleeve, shirt collar Broadcloth	0.196	51	1.12	0.96	0.25	0.33
10202	Long-sleeve, shirt collar Flannel	0.309	51	1.12	1.05	0.34	0.42
10301	Short-sleeve, shirt collar Broadcloth	0.156	43	1.10	0.90	0.19	0.25
10403	Short-sleeve, sport shirt Double knit	0.228	40	1.02	0.88	0.17	0.18
10501	3/4 length sleeve, boat neck* Broadcloth	0.142	46	1.11	0.98	0.27	0.34
10601	Cap sleeve, boat neck* Broadcloth	0.113	36	1.09	0.92	0.21	0.27
10701	Sleeveless, scoop neck Broadcloth	0.117	30	1.08	0.84	0.13	0.18
10804	Tube top Double knit	0.067	12	1.01	0.77	0.06	0.07
10905	Long-sleeve, sweatshirt Fleece-backed knit	0.284	45	1.06	1.05	0.34	0.38
*These shirts are cut wider than the others.							
<u>Sweaters</u>							
20106	Long-sleeve, V-neck Jersey	0.215	44	1.04	0.96	0.25	0.28

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
20206	Long-sleeve, V-neck cardigan Jersey	0.215	39	1.04	0.94	0.23	0.26
20306	Short-sleeve, V-neck Jersey	0.188	35	1.04	0.91	0.20	0.23
20406	Short-sleeve, V-neck cardigan Jersey	0.188	30	1.04	0.88	0.17	0.20
20506	Sleeveless, V-neck Jersey	0.130	28	1.03	0.84	0.13	0.15
20607	Long-sleeve, round neck Jersey	0.424	45	1.06	1.07	0.36	0.40
20707	Long-sleeve, round neck cardigan Jersey	0.424	39	1.06	1.02	0.31	0.35
20807	Short-sleeve, round neck Jersey	0.355	36	1.05	0.99	0.28	0.31
20907	Short-sleeve, round neck cardigan Jersey	0.355	30	1.05	0.93	0.22	0.25
21007	Sleeveless, round neck Jersey	0.301	29	1.04	0.93	0.22	0.25
21108	Long-sleeve, turtleneck (thin) Double knit	0.231	47	1.05	0.97	0.26	0.29
21107	Long-sleeve, turtleneck (thick) Jersey	0.459	47	1.06	1.08	0.37	0.41
<u>Suit Jackets and Vests</u>							
30109	Single-breasted suit jacket Denim	0.518	50	1.12	1.07	0.36	0.44

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f_{cl}	I_T (clo)	I_{cle} (clo)	I_{cl} (clo)
30110	Single-breasted suit jacket Tweed	0.652	50	1.12	1.15	0.44	0.52
30209	Double-breasted suit jacket Denim	0.562	50	1.13	1.13	0.42	0.50
30210	Double-breasted suit jacket Tweed	0.702	50	1.13	1.19	0.48	0.56
30311	Work jacket Duck	0.885	55	1.21	1.10	0.39	0.51
30409	Vest Denim	0.150	21	1.05	0.81	0.10	0.13
30410	Vest Tweed	0.185	21	1.05	0.88	0.17	0.20
<u>Trousers and Coveralls</u>							
40109	Straight, long, fitted Denim	0.298	45	1.09	0.86	0.15	0.21
40110	Straight, long, fitted Tweed	0.404	45	1.09	0.95	0.24	0.30
40209	Straight, long, loose Denim	0.354	45	1.20	0.91	0.20	0.32
40210	Straight, long, loose Tweed	0.459	45	1.20	0.99	0.28	0.40
40309	Walking shorts Denim	0.195	25	1.06	0.79	0.08	0.12
40310	Walking shorts Tweed	0.251	25	1.06	0.88	0.17	0.21

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment			Body Surface Area Covered (sq ft)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
		Weight (kg)	Weight (kg)	Weight (kg)					
40409	Short shorts Denim	0.164	0.164	0.164	18	1.05	0.77	0.06	0.09
40505	Sweat pants Fleece-backed knit	0.345	0.345	0.345	44	1.10	0.99	0.28	0.34
40611	Work pants Duck	0.832	0.832	0.832	46	1.21	0.95	0.24	0.36
40712	Overalls Denim	0.854	0.854	0.854	55	1.18	1.01	0.30	0.41
40813	Coveralls Gabardine	0.995	0.995	0.995	81	1.21	1.20	0.49	0.61
40914	Insulated coveralls Multicomponent	1.313	1.313	1.313	81	1.23	1.67	0.96	1.09
<u>Skirts</u>									
50109	A-line, ankle length Denim	0.284	0.284	0.284	45	1.34	0.94	0.23	0.41
50110	A-line, ankle length Tweed	0.378	0.378	0.378	45	1.34	0.99	0.28	0.46
50209	A-line, 6" below knee Denim	0.288	0.288	0.288	40	1.25	0.89	0.18	0.32
50210	A-line, 6" below knee Tweed	0.384	0.384	0.384	40	1.25	0.96	0.25	0.39
50309	A-line, 6" above knee Denim	0.179	0.179	0.179	28	1.12	0.81	0.10	0.18
50310	A-line, 6" above knee Tweed	0.238	0.238	0.238	28	1.12	0.90	0.19	0.27

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{chl} (clo)
50409	A-line, knee length Denim	0.229	35	1.18	0.85	0.14	0.25
50410	A-line, knee length Tweed	0.305	35	1.18	0.94	0.23	0.34
50509	Straight, knee length, with slit Denim	0.194	34	1.15	0.85	0.14	0.23
50510	Straight, knee length, with slit Tweed	0.259	34	1.15	0.93	0.22	0.31
50609	Bias flair, knee length Denim	0.286	35	1.22	0.84	0.13	0.26
50610	Bias flair, knee length Tweed	0.380	35	1.22	0.93	0.22	0.35
50709	Full gathered, knee length Denim	0.271	35	1.19	0.85	0.14	0.25
50710	Full gathered, knee length Tweed	0.359	35	1.19	0.93	0.22	0.33
50809	Knife pleated, knee length Denim	0.410	35	1.19	0.87	0.16	0.27
50810	Knife pleated, knee length Tweed	0.539	35	1.19	0.97	0.26	0.37
<u>Dresses</u>							
60101	Long-sleeve, shirt collar, A-line Broadcloth	0.254	69	1.21	1.03	0.32	0.44
60110	Long-sleeve, shirt collar, A-line Tweed	0.280	69	1.21	1.18	0.47	0.59

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment		Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
		Weight (kg)	Weight (kg)					
60201	Long-sleeve, shirt collar, A-line, belt Broadcloth	0.283	0.283	69	1.18	1.06	0.35	0.46
60210	Long-sleeve, shirt collar, A-line, belt Tweed	0.327	0.327	69	1.18	1.19	0.48	0.59
60301	Short-sleeve, shirt collar, A-line, belt Broadcloth	0.237	0.237	61	1.15	1.00	0.29	0.38
60401	Sleeveless, scoop neck, A-line Broadcloth	0.153	0.153	48	1.19	0.94	0.23	0.34
60410	Sleeveless, scoop neck, A-line Tweed	0.414	0.414	48	1.19	0.98	0.27	0.38
60501	Sleeveless, scoop neck, gathered waistline Broadcloth	0.177	0.177	48	1.19	0.97	0.26	0.37
<u>Sleepwear</u>								
70115	Long-sleeve, long gown Tricot	0.260	0.260	81	1.49	1.00	0.29	0.52
70116	Long-sleeve, long gown Flannel	0.435	0.435	81	1.49	1.17	0.46	0.69
70215	Long-sleeve, short gown Tricot	0.180	0.180	66	1.25	0.95	0.24	0.38
70216	Long-sleeve, short gown Flannel	0.305	0.305	66	1.25	1.10	0.39	0.53
70315	Short-sleeve, long gown Tricot	0.239	0.239	74	1.44	0.96	0.25	0.47
70415	Short-sleeve, short gown Tricot	0.157	0.157	59	1.20	0.92	0.21	0.33

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
70515	Sleeveless, long gown Tricot	0.217	65	1.42	0.91	0.20	0.41
70615	Sleeveless, short gown Tricot	0.138	50	1.18	0.89	0.18	0.29
70715	Thin strap, long gown Tricot	0.157	58	1.33	0.89	0.18	0.36
70815	Thin strap, short gown Tricot	0.094	42	1.12	0.86	0.15	0.23
70917	Hospital gown Print cloth	0.270	57	1.23	1.02	0.31	0.44
71001	Long-sleeve, long pajamas Broadcloth	0.327	80	1.30	1.19	0.48	0.64
71016	Long-sleeve, long pajamas Flannel	0.447	80	1.30	1.28	0.57	0.73
71101	Short-sleeve, long pajamas Broadcloth	0.297	71	1.26	1.13	0.42	0.57
71201	Long pajama trousers Broadcloth	0.149	45	1.20	0.88	0.17	0.29
71318	Body sleeper with feet Knit fleece	0.599	86	1.38	1.43	0.72	0.92
<u>Robes</u>							
80101	Long-sleeve, wrap, long Broadcloth	0.363	80.5	1.39	1.15	0.44	0.64
80119	Long-sleeve, wrap, long Velour	0.690	80.5	1.40	1.24	0.53	0.73

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
80120	Long-sleeve, wrap, long Terrycloth	1.196	80.5	1.43	1.39	0.68	0.89
80121	Long-sleeve, wrap, long Quilted	0.783	80.5	1.43	1.48	0.77	0.98
80122	Long-sleeve, wrap, long Pile knit	1.535	80.5	1.47	1.73	1.02	1.25
80201	Long-sleeve, wrap, short Broadcloth	0.298	68	1.24	1.12	0.41	0.55
80219	Long-sleeve, wrap, short Velour	0.556	68	1.25	1.17	0.46	0.60
80319	3/4 length sleeve, wrap, short Velour	0.514	63	1.20	1.14	0.43	0.55
80401	Long-sleeve, button front, long Broadcloth	0.268	82	1.47	1.14	0.43	0.66
80419	Long-sleeve, button front, long Velour	0.586	82	1.48	1.20	0.49	0.72
80501	Long-sleeve, button front, short Broadcloth	0.260	69	1.32	1.11	0.40	0.57
80519	Long-sleeve, button front, short Velour	0.472	69	1.33	1.16	0.45	0.63
80601	Short-sleeve, button front, short Broadcloth	0.231	61	1.28	1.05	0.34	0.50
<u>Underwear/Footwear</u>							
90101	Undershorts Broadcloth	0.066	18	1.05	0.81	0.10	0.13

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
90224	Briefs Knit	0.065	12	1.01	0.75	0.04	0.05
90325	Panties Tricot	0.027	12	1.01	0.74	0.03	0.04
90400	Bra Knit/foam	0.044	5	1.01	0.72	0.01	0.02
90526	Half slip Tricot	0.065	32	1.11	0.85	0.14	0.21
90626	Full slip Tricot	0.082	40	1.12	0.87	0.16	0.24
91827	T-shirt Knit	0.105	32	1.03	0.79	0.08	0.10
90723	Thermal long underwear top Knit	0.200	49	1.06	0.91	0.20	0.24
90823	Thermal long underwear bottoms Knit	0.210	44	1.06	0.86	0.15	0.19
90900	Pantyhose Knit	0.039	51**	1.00	0.73	0.02	0.02
91000	Ankle length athletic socks Knit	0.049	7	1.01	0.73	0.02	0.03
91131	Calf length athletic socks Knit	0.082	14	1.01	0.74	0.03	0.04
91232	Calf length dress socks Knit	0.053	13	1.01	0.74	0.03	0.04

Garment Code	Design Description and Fabric Type	Garment Weight (kg)	Body Surface Area Covered (%)	f _{cl}	I _T (clo)	I _{cle} (clo)	I _{cl} (clo)
91330	Knee socks (thin) Knit	0.032	20	1.01	0.74	0.03	0.04
91329	Knee socks (thick) Knit	0.068	20	1.01	0.77	0.06	0.07
91400	Thongs/sandals Vinyl	0.346	5	1.01	0.73	0.02	0.03
91500	Hard-soled street shoes Vinyl	1.006	7	1.03	0.73	0.02	0.04
91600	Slippers Quilted fleece	0.186	9	1.04	0.74	0.03	0.06
91700	Soft-soled athletic shoes Canvas	0.812	7	1.03	0.73	0.02	0.04

**In the analysis, 12% was used because only the panty provided insulation.

APPENDIX III: Manikin meetwaarden van diverse bronnen (McCullough en Jones, 1984).

A = Sprague en Munson, 1974

B = McCullough e.a., 1982

C = McCullough e.a., 1983

D = Olesen e.a., 1982

E = Olesen en Nielsen, 1983

F = Zhu e.a., 1985

TABLE 1
Shirts*

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
A9	short-sleeve (woven)	0.58	136.3	200		0.19	1.06
A10	long-sleeve (woven)	0.23	94.6	168		0.29	1.08
A14	short-sleeve (knit)	0.71	189.9	202		0.22	1.06
A15	short-sleeve (knit)	2.88	231.3	192		0.25	1.04
A16	long-sleeve (knit)	0.84	206.9	196		0.14	1.04
A11	long-sleeve (woven)	0.28	63.4	85		0.20	1.03
A16	short-sleeve (woven)			87		0.17	1.03
B105	long-sleeve (woven)	0.53	230.6		0.33	0.44	1.18
B106	long-sleeve (woven)	0.33	152.6		0.31	0.41	1.17
B107	short-sleeve (woven)	0.28	152.6		0.25	0.34	1.15
B109	long-sleeve (woven)	0.31	152.6		0.31	0.41	1.17
B110	long-sleeve (woven)	0.53	203.5		0.34	0.44	1.17
B111	short-sleeve (woven)	0.33	152.6		0.24	0.33	1.15
BKSD	long-sleeve (woven)	0.38	135.6		0.28	0.37	1.15
C4	long-sleeve (woven)	0.33	110.9	196	0.28	0.36	1.12
C4	short-sleeve (woven)	0.33	110.9	156	0.21	0.27	1.10
C4	sleeveless, scoop neck (woven)	0.33	110.9	117	0.16	0.21	1.08
C4	long-sleeve, bow/tie (woven)	0.33	110.9	206	0.29	0.37	1.13
D				350	0.35	0.35	1.10
E70	long-sleeve			370	0.29	0.35	1.10
E71	long-sleeve			360	0.21	0.29	1.13
E72	long-sleeve			190	0.15	0.20	1.07
E73	long-sleeve			220	0.18	0.26	1.13
E74	long-sleeve			227	0.22	0.27	1.08
E75	long-sleeve			188	0.16	0.20	1.07
E76	short-sleeve			146	0.09	0.13	1.06
E77	long-sleeve			258	0.24	0.30	1.10
E78	long-sleeve			245	0.26	0.31	1.08
E79	short-sleeve			183	0.14	0.18	1.06
E80	long-sleeve			113	0.12	0.17	1.07
E81	long-sleeve			232	0.18	0.23	1.08
E82	short-sleeve			156	0.16	0.20	1.06
E83	long-sleeve			330	0.20	0.28	1.13
E84	long-sleeve			260	0.27	0.35	1.13
F	long-sleeve (woven)	0.38	101.9	197	0.27	0.34	1.12
F	long-sleeve sweatshirt (knit)	4.22	463.3	475	0.32	0.38	1.09
F	long-sleeve over-shirt (woven)	0.56	183.8	376	0.24	0.32	1.13

TABLE 2

Jackets, Sweaters, and Vests*

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
A21	suit jacket (woven, lined)	1.60(j)	308.2(j)	849		0.49	1.19
		0.25(l)	130.9(l)				
B101	shirt jacket (woven)	0.76	375.0		0.34	0.49	1.27
B104	shirt jacket (woven)	0.89	447.6		0.39	0.54	1.27
C1	single-breasted suit jacket (woven, lined)	0.74	205.8	518	0.40	0.48	1.12
C5	single-breasted suit jacket (woven, lined)	1.47	304.5	699	0.45	0.53	1.12
C1	double-breasted suit jacket (woven, lined)	0.74	205.8	562	0.45	0.53	1.13
D	jacket			652	0.31	0.31	1.08
E151	short jacket			652	0.26	0.31	1.08
E152	short jacket			610	0.21	0.27	1.09
E157	single-breasted suit jacket			880	0.32	0.38	1.09
E158	single-breasted suit jacket			815	0.33	0.39	1.09
E159	single-breasted suit jacket			830	0.32	0.38	1.09
E160	single-breasted suit jacket			850	0.32	0.38	1.09
E161	single-breasted suit jacket			880	0.30	0.35	1.09
E164	single-breasted suit jacket			870	0.29	0.35	1.09
E168	short jacket			652	0.26	0.31	1.08
E169	single-breasted suit jacket			730	0.30	0.35	1.09
F	filled jacket (woven shell)	10.38	600.6	845	0.84	0.95	1.19
F	over-jacket (woven)	0.68	235.1	501	0.29	0.40	1.19
A191	long-sleeve sweater	3.23	278	300		0.37	1.10
E131	long-sleeve, round neck sweater			302	0.22	0.26	1.06
E132	long-sleeve, V-neck sweater			290	0.19	0.24	1.07
E133	long-sleeve, V-neck sweater			1560	0.33	0.39	1.08
E134	long-sleeve, V-neck sweater			421	0.18	0.23	1.08
E135	long-sleeve, V-neck sweater			560	0.28	0.32	1.07
E136	long-sleeve, V-neck sweater			401	0.28	0.33	1.08
E137	long-sleeve, V-neck sweater			441	0.23	0.27	1.07
E138	long-sleeve, turtleneck sweater			815	0.54	0.60	1.09
E139	long-sleeve, turtleneck sweater			314	0.26	0.31	1.08
E140	long-sleeve, V-neck sweater			460	0.29	0.34	1.07

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl}	f _{cl}
C1	vest (woven, lined)	0.74	205.8	150	0.12	0.15	1.05
C5	vest (woven, lined)	1.47	304.5	207	0.13	0.16	1.05
E270	vest			208	0.11	0.14	1.05
E271	vest			175	0.06	0.09	1.05
E272	vest			185	0.07	0.10	1.05
E273	vest			173	0.11	0.15	1.05
E274	vest			238	0.10	0.13	1.05

TABLE 3
Trousers, Overalls, and Coveralls*

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
A12	trousers (woven)	0.53	184.5	332		0.26	1.12
A13	trousers (woven)	1.14	285.9	514		0.32	1.13
A12	trousers (knit)	0.38	124.1	161		0.26	1.13
A13	trousers (woven)	2.39	456.4	621		0.44	1.13
B201	loose trousers (woven)	0.86	468.0		0.21	0.32	1.18
B204	loose trousers (woven)	0.94	451.0		0.24	0.37	1.22
B203	trousers (woven)	0.53	230.6		0.19	0.27	1.13
B205	trousers (woven)	0.74	322.1		0.21	0.30	1.14
B206	trousers (woven)	0.69	295.0		0.19	0.28	1.15
B207	trousers (woven)	0.48	254.3		0.16	0.24	1.13
BKSU	trousers (woven)	0.61	274.5		0.19	0.28	1.14
C1	trousers (woven)	0.74	205.8	298	0.18	0.24	1.09
C3	trousers (woven)	1.17	498.1	658	0.17	0.23	1.09
C5	trousers (woven)	1.47	304.5	433	0.22	0.28	1.09
C1	loose trousers (woven)	0.74	205.8	354	0.23	0.35	1.20
C3	loose trousers (woven)	1.17	498.1	774	0.22	0.34	1.20
C1	walking shorts (woven)	0.74	205.8	195	0.11	0.15	1.06
C1	short shorts (woven)	0.74	205.8	164	0.09	0.12	1.05
D	shorts			80		0.08	1.04
D	trousers			617		0.36	1.16
E90	trousers			376	0.22	0.30	1.13
E91	trousers			640	0.26	0.36	1.16
E92	trousers			605	0.20	0.30	1.17
E93	overalls			755	0.24	0.34	1.17
E94	overalls			910	0.22	0.33	1.17
E95	trousers			495	0.17	0.26	1.14
E96	trousers			542	0.19	0.28	1.14
E97	trousers			590	0.17	0.26	1.14
E98	trousers			333	0.16	0.22	1.11
E99	trousers			372	0.13	0.22	1.14
E100	trousers			565	0.17	0.27	1.16
E101	trousers			320	0.23	0.32	1.16
E102	trousers			581	0.21	0.30	1.15
E103	trousers			470	0.24	0.33	1.15
E104	shorts			80	0.05	0.07	1.04
E105	trousers			630	0.22	0.31	1.14
E106	trousers			720	0.24	0.34	1.16

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
F	sweatpants (knit)	4.55	463.3	474	0.29	0.34	1.08
F	trousers (woven)	0.55	183.8	325	0.21	0.28	1.12
F	filled trousers (woven shell)	9.12	590.6	781	0.61	0.71	1.17
F	over-trousers (woven)	0.70	235.1	417	0.21	0.30	1.16
B310	long-sleeve coverall (woven)	0.69	305.2		0.50	0.67	1.32
B313	long-sleeve coverall (woven)	0.53	230.6		0.50	0.66	1.30
B314	long-sleeve coverall (woven)	0.81	356.1		0.52	0.69	1.32
B317	long-sleeve coverall (woven)	0.53	220.4		0.53	0.69	1.28
B318	long-sleeve coverall (woven)	0.79	305.2		0.49	0.67	1.33
C2	long-sleeve coverall (woven)	0.97	321.8	891	0.46	0.61	1.26
E110	long-sleeve coverall			1260	0.54	0.68	1.24
E111	long-sleeve coverall			1215	0.46	0.59	1.24
E112	long-sleeve coverall			1260	0.52	0.65	1.24
E113	long-sleeve coverall			1140	0.49	0.63	1.25
E114	long-sleeve coverall			1725	0.65	0.79	1.24
E115	long-sleeve coverall, hood			615	0.80	0.90	1.18
E116	long-sleeve coverall			1550	0.89	1.03	1.24
E117	long-sleeve coverall			1500	1.03	1.18	1.26
E118	long-sleeve coverall, hood			1302	1.32	1.41	1.15
E119	long-sleeve coverall, hood			1215	1.13	1.22	1.15
E120	long-sleeve coverall			890	0.51	0.64	1.22
E121	long-sleeve coverall			1340	0.60	0.72	1.22

TABLE 4

Skirts and Dresses*

Source**	Description of Garment	Fabric		Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
		Thickness (mm)	Weight (g/m ²)				
A7	dress (knit, woven lining)	0.38(d) 0.53(1)	124.1(d) 75.6(1)	151 1183		0.17	1.05
A8	dress (woven)	2.01	603.6		0.41	0.63	1.19
C1	long-sleeve dress (woven)	0.74	205.8	470	0.34	0.53	1.21
C4	long-sleeve dress (woven)	0.33	110.9	254	0.22	0.46	1.21
E50	short-sleeve dress			234		0.29	1.10
E51	long-sleeve dress, ankle length			322	0.33	0.43	1.17
A10	skirt (woven, lined)	3.02(s) 0.20(1)	524.2(s) 94.3(1)	424		0.22	1.05
C2	straight skirt (woven)	0.97	321.8	291	0.17	0.26	1.15
C2	A-line skirt (woven)	0.97	321.8	340	0.17	0.28	1.18
C5	A-line skirt (woven)	1.47	304.5	330	0.19	0.30	1.18
C2	bias flair skirt (woven)	0.97	321.8	430	0.16	0.29	1.22
C2	full, gathered skirt (woven)	0.97	321.8	407	0.18	0.29	1.19
C2	knife pleated skirt (woven)	0.97	321.8	616	0.18	0.29	1.19
C2	A-line, thigh length (woven)	0.97	321.8	265	0.13	0.21	1.12
C2	A-line, calf length (woven)	0.97	321.8	430	0.20	0.34	1.25
E60	flaired skirt			280	0.16	0.28	1.21
E61	flaired skirt			250	0.15	0.26	1.19

TABLE 5

Underwear

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
A	bra and panties					0.05	1.01
A	briefs					0.05	1.02
A	pantyhose					0.01	1.00
A	girdle					0.04	1.01
A	half slip					0.13	1.02
D	briefs			77		0.02	1.01
E1	bikini briefs			44	-0.01	0	1.01
E2	briefs			53	0	0.01	1.01
E3	briefs			47	-0.01	0	1.01
E4	pettipants			144	0.04	0.06	1.03
E5	long underwear			155	0.11	0.13	1.03
E6	briefs			67	0.02	0.03	1.01
E7	briefs			70	0.02	0.03	1.02
E8	pettipants			111	0.05	0.07	1.03
E9	pettipants			137	0.06	0.09	1.03
E10	long underwear			198	0.12	0.14	1.03
E20	briefs			66	0.01	0.02	1.01
E21	briefs			80	0.02	0.03	1.01
E22	long underwear			162	0.08	0.09	1.02
E23	briefs			80	0.02	0.03	1.01
E24	briefs			96	0.01	0.02	1.01
E25	long underwear, calf length			186	0.10	0.11	1.02
E26	long underwear			193	0.08	0.10	1.03
E27	briefs			101	0.04	0.06	1.02
E28	long underwear			221	0.10	0.12	1.03
E43	long underwear			165	0.13	0.16	1.04
E44	bra and panties			87	0.02	0.03	1.01
E46	long underwear			270	0.22	0.26	1.05
E48	long underwear			155	0.07	0.08	1.01
E258	pantyhose			19	0.03	0.04	1.01
F	long underwear (knit)	1.07	220.5	249	0.13	0.17	1.07

Source**	Description of Garment	Fabric Thickness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)	I _{cle} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
A	sleeveless undershirt				0.06		1.01
A	short-sleeve T-shirt				0.09		1.05
A	full slip				0.19		1.03
D	T-shirt			182	0.20		1.07
E11	sleeveless undershirt			84	0.02		1.01
E12	short-sleeve T-shirt			114	0.05		1.02
E13	sleeveless undershirt			86	0.03		1.01
E14	short-sleeve T-shirt			145	0.10		1.03
E15	long-sleeve undershirt			137	0.09		1.03
E16	sleeveless undershirt			97	0.03		1.01
E17	short-sleeve T-shirt			128	0.04		1.02
E18	long-sleeve undershirt			165	0.08		1.03
E29	sleeveless undershirt			106	0.05		1.01
E30	short-sleeve T-shirt			139	0.12		1.01
E31	short-sleeve T-shirt			180	0.10		1.02
E32	short-sleeve T-shirt			203	0.18		1.03
E33	long-sleeve undershirt			200	0.12		1.03
E34	long-sleeve undershirt			217	0.11		1.03
E35	long-sleeve undershirt			212	0.12		1.03
E36	short-sleeve T-shirt			196	0.09		1.02
E37	long-sleeve undershirt			236	0.16		1.03
E38	short-sleeve T-shirt			160	0.06		1.02
E40	long-sleeve undershirt			182	0.15		1.02
E41	short-sleeve T-shirt			114	0.10		1.01
E42	long-sleeve undershirt			182	0.16		1.01
E45	long-sleeve undershirt			360	0.25		1.05
E47	long-sleeve undershirt			195	0.11		1.02

TABLE 6

Footwear*

Source**	Description of Garment	Fabric			I _{cl} *** (clo)	I _{cl} (clo)	f _{cl}
		Thick- ness (mm)	Fabric Weight (g/m ²)	Garment Weight (g)			
A	pantyhose				0.01	1.00	
A	socks				0.03	1.01	
A	socks				0.04	1.01	
D	socks			61	0.03	1.01	
D	socks			112	0.06	1.01	
E252	socks, calf length			113	0.11	1.02	
E253	socks, ankle length			77	0.05	1.01	
E254	socks, ankle length			61	0.02	1.01	
E256	socks, ankle length			112	0.05	1.01	
E258	pantyhose			19	0.03	1.01	
A	shoes				0.04	1.01	
D	shoes (leather, rubber sole)			946	0.03	1.02	
D	shoes (leather, wooden sole)			1122	0.05	1.03	
E255	shoes				0.02	1.02	
E257	shoes				0.03	1.03	

APPENDIX III: Voorbeeld van kledingisolatiebepaling

Bepaling van de intrinsieke kledingisolatiewaarde voor een kledingensemble bestaande uit:

1 st lange broek	500 gram
1 st colbert jasje	700 gram
1 st overhemd met das	200 gram
1 st T-shirt	150 gram
1 st onderbroek	88 gram
1 paar sokken	700 gram
1 paar schoenen	700 gram

Voor de bepaling van de isolatie van dit ensemble wordt gebruik gemaakt van vergelijking 28 (blz. 58). Hiervoor zijn nodig:

- het gewicht van de kleding exclusief schoenen (in Kg),
- het lichaamsoppervlak dat bedekt is met maar een laag kleding (BSAC1 in ‰),
- het lichaamsoppervlak dat onbedekt is (geen laag kleding) (BSAC0 in ‰).

Het kledinggewicht wordt berekend uit bovenstaande lijst:

$$\text{gewicht} = 500 + 700 + 200 + 150 + 80 + 70 = 1700 \text{ gram}$$

Daar het kledinggewicht absoluut wordt uitgedrukt (i.t.t het bedekt oppervlak) dient bij grote afwijkingen van de kledingmaat ten opzichte van die van de standaardman het gewicht van de kleding te worden gecorrigeerd:

$$\text{kledinggewicht}' = \text{kledinggewicht} * 1.8 / \text{lichaamsoppervlak}$$

waarbij:

$$\text{lichaamsoppervlak} = G \cdot 425 * L \cdot 725 * 71.84 * 10^{-4}$$

met G = gewicht van de persoon en L = lengte van de persoon.

De bedekte oppervlakken worden berekend op basis van Fig. 1, waarin de kledingstukken zijn ingetekend op de segmentindeling van het lichaam, gebruik makend van het werkblad in Fig. 2.

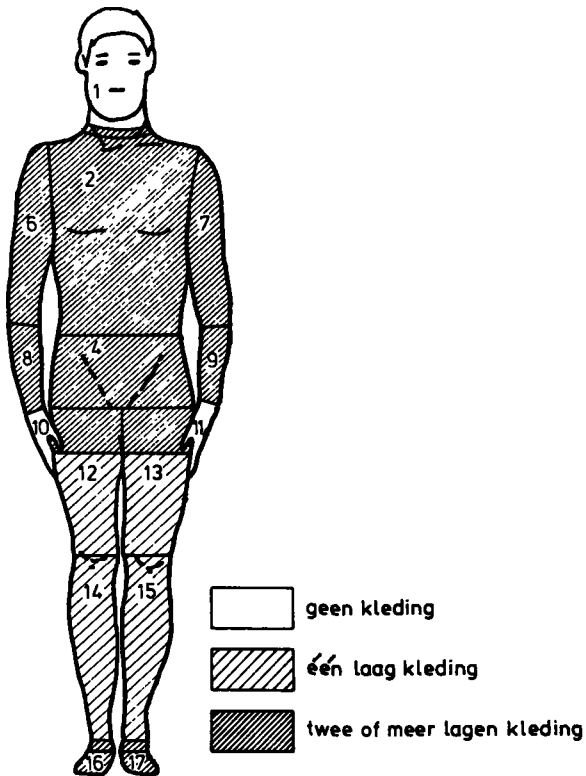


Fig. 1 segmentindeling van het lichaam met daarop aangegeven het oppervlak dat bedekt is met 0, 1 en 2 of meer lagen kleding.

Dit resulteert voor deze situatie in :

BSAC1 = 24.0% en

BSAC0 = 12.6%.

Substitutie in formule 28 levert:

$$I_{C1} = .255 * 1.7 - .00874 * 12.6 - .0051 * 24.0 + .919 =$$

$$.434 - .110 - .122 + .919 = 1.12 \text{ Clo}$$

De intrinsieke kledingisolatie voor dit kledingensemble bedraagt dus 1.1 Clo

lichaamssegment	% totale oppervlak per segment	% van segment bedekt door kleding		% totale lichaamsoppervlak bedekt	
		0 lagen	1 laag	0 lagen	1 laag
1 hoofd en nek	8.7	90		7.6	
2 borst	10.2				
3 rug	9.2				
4 buik	6.1				
5 zitvlak	6.6				
6 rechter bovenarm	5.0				
7 linker bovenarm	5.0				
8 rechter onderarm	3.1				
9 linker onderarm	3.1				
10 rechter hand	2.5	100		2.5	
11 linker hand	2.5	100		2.5	
12 rechter dij	9.2		70		6.5
13 linker dij	9.2		70		6.5
14 rechter kuit	6.1		90		5.5
15 linker kuit	6.1		90		5.5
16 rechter voet	3.7				
17 linker voet	3.7				
totale lichaam	100	--		12.6	24.0

Fig. 2 Werkblad voor de bepaling van het door een of geen kledinglaag bedekt oppervlak.