

SER.4
S 43-1

2^e ex. t van houding, beweging en wind
op de kledingisolatie

Een onderzoek
Uitgevoerd in opdracht van Directoraat-Generaal van de Arbeid
door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



NIA0052817

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 43-1

gratis
17/1

Effect van houding, beweging en wind op de kledingisolatie

Een onderzoek
uitgevoerd in opdracht van Directoraat-Generaal van de Arbeid
door het Instituut voor Zintuigfysiologie TNO

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

stamb.nr. -
plaats Ser. 4, S 43-1 (2^e ex).
datum

30 JAN. 1989

auteurs:

G. Havenith
R. Heus

januari 1989

INHOUD		Blz.
SAMENVATTING		5
ABSTRACT		6
1	INLEIDING	7
2	METHODE	8
2.1	Kleding	8
2.2	Proefpersonen	8
2.3	Houding en beweging	9
2.4	Wind	9
2.5	Design	10
2.6	Isolatie	10
2.7	Ventilatie	15
2.8	Statistiek	17
3	RESULTATEN	17
3.1	Manikinmetingen	17
3.2	Warmtebalansgegevens	18
3.3	Ventilatie	21
3.4	Pasvorm	23
3.5	Statistiek	24
3.6	Reproduceerbaarheid	25
4	DISCUSSIE	26
4.1	Isolatie	26
4.2	Generalisaties van Isolatie	27
4.3	Ventilatie	32
5	CONCLUSIES	34
REFERENTIES		37
APPENDIX I		39
APPENDIX II		40

SAMENVATTING

Voor berekening van comfort of belasting ten gevolge van het klimaat wordt gebruik gemaakt van tabellen of formules voor de bepaling van de kledingisolatie, die gebaseerd zijn op metingen aan staande manikins bij afwezigheid van wind. Voor het gebruik in een realistische situatie is een vertaalslag nodig die rekening houdt met de houding of bewegingen van de betreffende persoon, dan wel met de aanwezigheid van wind. In opdracht van het Directoraat Generaal voor de Arbeid is in het onderhavige experiment met de methode van partiële calorimetrie het effect van zitten, twee loopsnelheden (.3 en .9 m/s) en drie windsnelheden (0, .7 en 4 m/s) op de kledingisolatie onderzocht in relatie tot de isolatie van dezelfde kleding tijdens staan zonder wind. Dit is uitgevoerd voor drie kledingsembles (A: broek, polo, trui; B: A + overall; C: A + regenoverall) met vier proefpersonen. Elke meting is een keer herhaald.

De effecten van houding en beweging zijn afhankelijk van de totale isolatie van de betreffende kleding: hoe dikker de kleding, hoe lager de relatieve isolatie bij zitten of lopen. Bij een totale isolatie (kleding + lucht) tijdens staan van 1 clo, bedraagt de relatieve isolatie tijdens zitten en lopen respectievelijk 105 en 75%. Bij 3 clo is dat nog 62 en 50%.

De loopsnelheid laat de isolatie afnemen met 35% per m/s bij I_{tot} van ca. 1.8 clo. Wind laat de warmte-overdrachtscoëfficiënt $1/I_{tot}$ lineair toenemen met de wortel uit de luchtsnelheid.

De aanhangende luchtlaag wordt het sterkst beïnvloed door wind; de isolatie van de kledinglagen het sterkst door beweging.

Uit metingen van de kledingventilatie door middel van tracergas diffusie is gebleken dat beweging een vergelijkbaar effect op warmte-als op vochttransport heeft. Wind heeft een groter effect op het vochttransport dan op het warmtetransport en heeft het grootste effect op het transport via kledingopeningen. Deze effecten worden sterker naarmate de permeabiliteit voor lucht, resp. waterdamp afneemt.

Bij een strakke pasvorm is het bewegingseffect lager dan bij een ruime pasvorm ten gevolge van de kleinere ingesloten luchtlaag. Een interactie tussen pasvorm en wind was vrijwel afwezig.

Onder een overall wordt de kleding tijdens zitten meer samengedrukt dan zonder overall, zodat de relatieve isolatie meer afneemt.

Effect of posture, body movement and wind on clothing insulation

ABSTRACT

For the prediction of comfort or strain due to climatic circumstances, the value of the clothing insulation is needed. This value is usually determined on manikins, or estimated using tables or regression equations and is valid for a standing subject in still air. For use in a realistic situation, a transformation of the value is needed, taking account of the effects of the posture or the movements of the person or of the presence of air movement. In a project, appointed by the Directorate General for Labour, an experiment was performed, using the method of partial calorimetry, in order to study the effects of sitting, two walking speeds (.3 and .9 m/s) and three wind speeds (0, .7 and 4 m/s) on the clothing insulation as determined in the standing position without the presence of wind. This experiment involved three clothing ensembles (A: pants, poloshirt, sweater; B: A + coverall; C: A + windproof coverall) on four subjects with a replication for each combination.

The effects of posture and movement appear to be dependent on the total insulation of the clothing used: the thicker the clothing, the lower the relative insulation during sitting and walking. At a total (clothing + air) insulation of 1 clo when standing, the relative insulation during sitting and walking amounts respectively 105 and 75%. At 3 clo total insulation this is reduced to resp. 62 and 50%. Walking speed reduces standing clothing insulation by 35% for each meter per second at I_{tot} of about 1.8 clo. Wind has an effect on the heat transfer coefficient $1/I_{tot}$ which can be described as a square root function.

Wind has the strongest effect on the air layer insulation on the outside of the clothing. Movement has the strongest influence on the insulation of the clothing with the included air layers.

Measurements of clothing ventilation, using tracer gas diffusion, showed that movement has a similar effect on heat and moisture transport. Wind has a stronger effect on moisture transport than on heat, and it has the largest effect on the transport through gaps in the clothing. This effect becomes more important with decreasing permeability for air or water vapour.

With tightly fitting clothing, the effect of body movements is lower than with a loose fit, due to the smaller air layers within the clothing for the tight fit. An interaction between wind and fit was hardly present.

Underneath a coverall, the clothing will be more compressed when the person is sitting, than without a coverall, resulting in a larger decrease of the relative insulation.

1 INLEIDING

Bij een onderzoek naar de mogelijkheden voor de beoordeling van de klimaatomstandigheden in werksituaties (Havenith, 1987; Cox, 1987) is gebleken dat de hiervoor gebruikte modellen (Fanger, Gagge) zeer gevoelig zijn voor de parameter kledingisolatie. De waarde die voor de kledingisolatie in het model wordt ingevuld, wordt meestal afgeleid uit tabellen met op een manikin gemeten kledingisolaties of berekend met op manikinmetingen gebaseerde regressieformules. Een belangrijke tekortkoming van deze methode is dat deze uitgaat van de kledingisolatie zoals gemeten op een niet bewegende manikin in een vrijwel windstille omgeving. De werkelijke kledingisolatie kan echter fors minder zijn ten gevolge van de effecten van wind, arbeid of houding. De veranderingen in de kledingisolatie kunnen leiden tot fouten in de voorspelde comforttemperatuur. Voor lichte arbeid (80 W/m^2) en lichte kleding (.7 clo) bedraagt deze fout al gauw zo'n 5 tot 6 graden. Voor dikkere kleding wordt de fout groter.

In de literatuur zijn diverse pogingen beschreven om de veranderingen van de kledingisolatie ten gevolge van wind e.d. te bepalen. McCullough e.a. (1985) keken naar pasvorm en design; bewegings- en/of windefecten werden beschreven door Gagge e.a. (1941), Belding e.a. (1947), Burton en Edholm (1955), Nishi e.a. (1975), Vogt e.a. (1983), Olesen e.a. (1982, 1983) en Nielsen e.a. (1985). De hieruit verkregen gegevens geven op een aantal punten al een redelijke indruk over de te verwachten effecten van de genoemde parameters op de isolatie van de kleding en de aanhangende luchtlaag. Om een aantal redenen (o.a. berekeningsfouten bij Vogt e.a., ongelijkmatige wind by Nielsen e.a., verschillende kleding en verschillende proefpersonen in verschillende deelstudies, aantal data op manikin gemeten en andere op mensen) leveren de data echter nog een zeer incompleet beeld. In de onderhavige studie, uitgevoerd voor het Directoraat Generaal van de Arbeid, is getracht een aantal van deze problemen te ondervangen en een zo compleet mogelijk beeld van de verschillende effecten te verkrijgen. Hiertoe is voor een drietal kledingconfiguraties onderzocht hoe de isolatie gemeten op de manikin afwijkt van die op een stilstaande proefpersoon en hoe deze isolatie op de proefpersoon verandert door te gaan zitten, zeer langzaam te lopen of gewoon te lopen en hoe de aanwezigheid van zwakke of sterkere wind in de genoemde situaties de isolatie beïnvloedt. Verder is gekeken naar de verschillen tussen "dikke" en "dunne" proefpersonen, teneinde het effect van de pasvorm te bepalen. Tenslotte is onderzocht of er een relatie bestaat tussen de gevonden effecten op de kledingisolatie en de waarde voor de ventilatie onder de kleding (Lotens en Havenith, 1988).

2 METHODE

2.1 Kleding

Bij het onderzoek werd gebruik gemaakt van drie kledingconfiguraties, samengesteld uit de volgende onderdelen:

A: werkbroeck (katoen, gewicht = 614 g, dikte = .87 mm bij 100 Pa), poloshirt (polyester/katoen 50/50, gewicht = 230 g, dikte = 1.46 mm), sweater (katoen/acryl/rayon 50/45/5, gewicht = 331 g, dikte = 2.36 mm);

B: A + overall (katoen, gewicht = 907 g, dikte = .81 mm);

C: A + regenoverall (gecoat nylon, gewicht = 813 g, dikte = .15 mm).

Configuratie A werd gekozen als zijnde veelvoorkomende werkkleding. Hetzelfde geldt voor combinatie B die een kledinglaag meer bevat. Combinatie C werd gekozen om het effect van een winddichte buitenlaag te kunnen bestuderen ten opzichte van de niet geheel winddichte overall B.

2.2 Proefpersonen

Bij de selectie van de vier proefpersonen is getracht twee "dikke" en twee "dunne" personen te selecteren. Door omstandigheden is dit niet geheel gelukt met als resultaat een "dikke" proefpersoon (nr. 2) met de daaruit resulterende strakke pasvorm, een persoon (nr. 3) met iets minder strakke pasvorm en twee "dunne" personen (nrs. 1 + 4) met ruime pasvorm (Tabel I).

Tabel I Fysieke kenmerken van de proefpersonen.

nummer	lengte	gewicht	lichaamsoppervlak
1	1.79	62	1.78
2	1.80	85	2.05
3	1.87	78	2.03
4	1.70	68	1.79

Voor de analyse zijn de proefpersonen in twee groepen gedeeld: Strakke pasvorm (pp 2 en 3) en ruime pasvorm (pp 1 en 4).

2.3 Houding + beweging

De gekozen houdingen resp. bewegingen zijn:

- 1 zitten op een kruk
- 2 stilstaan
- 3 zeer langzaam lopen (.3 m/s)
- 4 lopen (.9 m/s)

Deze houdingen/bewegingen zijn gekozen als "basishouding/beweging", in het dagelijkse werk. Het uitvoeren van metingen aan meer realistische beweging-houding combinaties was in verband met de grootte van het experiment niet mogelijk.

2.4 Wind

De proefpersoon nam tijdens het experiment plaats in een windtunnel van ca. 3.5 meter lengte met zijn rug naar de ventilator die de lucht door de tunnel zoog. De wind raakte de proefpersoon derhalve van voren. Gemeten is bij drie windsnelheden: geen wind ($< .1$ m/s), weinig wind ($\pm .7$ m/s) van een niveau als dat bijvoorbeeld door beweging geïnduceerd wordt, en sterkere wind (4.1 m/s). De verdeling van de windsnelheid in de windtunnel op de plaats van de proefpersoon bij de twee snelheden is weergegeven in Fig. 1.

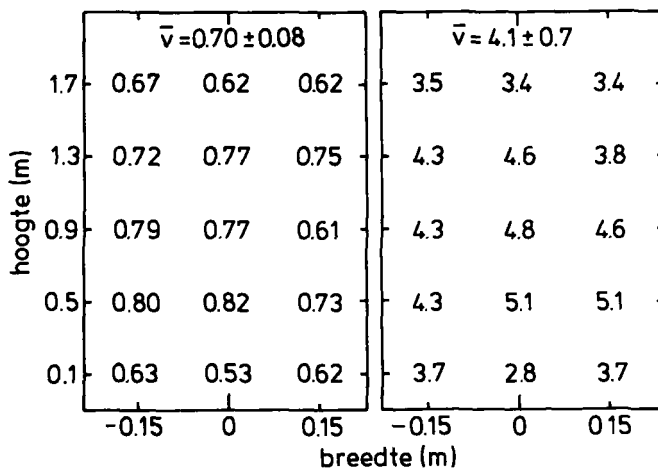


Fig. 1 Verdeling van de wind in de windtunnel gemeten in het vlak van de proefpersoon bij de gebruikte windsnelheden (windsnelheid in m/s).

De windsnelheden in de tunnel veranderden niet door de aan- of afwezigheid van de proefpersoon. Wel is het mogelijk dat de windsnelheid naast de proefpersoon iets hoger was doordat hij een deel van de tunneldoorsnede afdekt.

2.5 Design

Alle mogelijke combinaties van pak, houding en wind zijn uitgevoerd door alle proefpersonen, behalve zitten bij de hoogste windsnelheid. Dit levert 4 (proefpersonen) * 3 (pak) * 4 (houding) * 3 (wind) - 12 (4 proefpersonen * 3 pak, zitten in sterke wind) = 132 verschillende meetsituaties. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid en de reproduceerbaarheid van de metingen zijn alle metingen met dezelfde proefpersonen herhaald zodat het totale aantal meetsessies 2 * 132 = 264 bedroeg.

De volgorde van de verschillende meetcombinaties is per proefpersoon gebalanceerd, evenals tussen proefpersonen. De herhalingsessies zijn volgens een gespiegeld schema uitgevoerd.

2.6 Isolatie

Het doel van de metingen was de bepaling van de veranderingen in de isolatiewaarden. Deze verandering kan zowel het gevolg zijn van een gewijzigde isolatie van de kleding als van een veranderde isolatie van de aanhangende lucht. De definities resp. berekening van deze isolaties is als volgt:

De totale isolatie I_{tot} (kleding + lucht) wordt berekend uit de warmtestroom van de huid naar de omgeving en het temperatuurverschil:

$$I_{tot} = (T_{huid} - T_{omgeving}) / DRY \quad (m^2 \text{ K/W}) \quad (1)$$

met :

- T_{huid} - gemiddelde huidtemperatuur
- $T_{omgeving}$ - operationele omgevingstemperatuur, afhankelijk van lucht en stralingstemperatuur
- DRY - droge warmte-afgifte via straling en convectie (W/m^2)

De intrinsieke kledingisolatie I_{cl} kan berekend worden uit:

$$I_{cl} = I_{tot} - I_a / f_{cl} \quad (m^2 \text{ K/W}) \quad (2)$$

met I_a = luchtisolatie
 en f_{cl} = factor voor vergroot buitenoppervlak van de kleding ten opzichte van de huid:

$$f_{cl} = \text{kledingoppervlak} / \text{huidoppervlak} \quad (3)$$

De f_{cl} factor wordt in het algemeen bepaald via een fotografische methode (Seppanen e.a., 1972; Olesen e.a., 1982) waarbij de proefpersoon of de manikin de kleding draagt, maar vergelijkbare resultaten worden verkregen via de directe meting van het oppervlak van de kleding (Seppanen e.a., 1972). Deze laatste methode is hier toegepast. Daar de f_{cl} factor met houdingsveranderingen slechts verwaarloosbaar varieert (Nielsen, 1985) is voor alle houdingen een vaste f_{cl} waarde gebruikt.

De luchtisolatie kan worden bepaald aan een naakte proefpersoon, gebruik makende van formule 1 ($I_{tot} = I_a$).

Als de oppervlaktetemperatuur van de kleding bekend is kan I_{cl} ook direct berekend worden uit:

$$I_{cl} = (T_{\text{huid}} - T_{\text{kleding}}) / \text{DRY} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad (4)$$

en

$$I_a = (T_{\text{kleding}} - T_{\text{omgeving}}) * f_{cl} / \text{DRY} \quad (\text{m}^2 \text{ K/W}) \quad (5)$$

Al deze waarden kunnen ook worden uitgedrukt in de eenheid clo door de verkregen waarden te delen door .155.

Manikin

Van de drie kledingconfiguraties is de isolatie op de manikin (type "TORE") bepaald gebruik makende van formule 1. De waarde voor DRY volgt bij de manikinmetingen uit de waarde van het elektrische vermogen dat aan de manikin moet worden toegevoerd om de temperatuur constant te houden. Als huidtemperatuur geldt de meting van de gemiddelde oppervlaktetemperatuur van de pop. De omgevingstemperatuur is bepaald door middel van thermistors. De omgevingstemperatuur is zo gekozen dat het warmteverlies van de manikin tussen de 40 en 80 W/m² bedraagt, teneinde een goede nauwkeurigheid te waarborgen. Ook verder is gemeten conform ISO DP9920 (1988), wat betreft luchtsnelheid etc.

Proefpersoonmetingen

Een belangrijk verschil tussen manikin en proefpersoonmetingen is de zweetproduktie en verdamping die bij proefpersoonexperimenten meespeelt. Hoewel de aanwezigheid van zweetverdamping realistischer is levert de nauwkeurige bepaling ervan nogal eens problemen op en duurt het langer voor stabiele evenwichtswaarden bereikt worden. Een oplossing voor dit probleem is beschreven door Lotens e.a. (1988) en ook in dit experiment toegepast: de proefpersoon wordt over zijn ondergoed geheel gewikkeld in dampdichte PVC folie, waarbij alleen het gezicht vrij blijft. Deze folie wordt beschouwd als zijn "huid" waardoor alle warmtetransport vanaf de huid "droog" is. De term DRY in formules 1, 4 en 5 wordt dan berekend uit de warmtebalans waarin de term EVAP (verdampingswarmte-afgifte) sterk verlaagd is:

$$\text{DRY} = \text{METAB} - \text{RESP} - \text{EVAP} - \text{STO} \quad (\text{W/m}^2)$$

met:

$$\text{METAB} = \text{EE} * \text{VO}_2 / (\text{O}_{\text{du}} * 60) \quad (\text{W/m}^2)$$

waarin

EE = energie-equivalent van zuurstof in Joules/liter

VO₂ = zuurstofopname (l/min STPD)

O_{du} = lichaamsoppervlak (m²) volgens DuBois en DuBois (1915)

De zuurstofopname werd bepaald met een gesloten meetsysteem waaraan de proefpersoon voor zijn ademhaling direkt via een mondstuk is gekoppeld en waarin de zuurstofconcentratie constant werd gehouden door via een geijkte gasmeter de eventueel verbruikte zuurstof aan te vullen. De geproduceerde CO₂ wordt d.m.v. CO₂ absorbers verwijderd en de lucht wordt gekoeld en gedroogd via een koelblok. Het energie-equivalent van zuurstof is bepaald op basis van het respiratoir quotient zoals dat in eerdere experimenten in identieke situaties gevonden is.

Het warmteverlies door convectie via de ademhaling is bepaald met de formule van Fanger (1970):

$$\text{RESP} = .0014 * \text{METAB} * (34 - T_{\text{inademplucht}}) / \text{O}_{\text{du}} \quad (\text{W/m}^2)$$

waarbij de temperatuur van de ingeademde lucht in het gesloten systeem gemeten is. Het warmteverlies door verdamping van vocht uit de

longen is terug te vinden in de term EVAP, daar dit in het gewichtsverlies tot uiting komt.

$$\text{EVAP} = (dM / dt - dM_{\text{metab}} / dt) * 2430 / O_{\text{du}} \quad (\text{W/m}^2)$$

met:

- dM/dt - gewichtverlies per tijdseenheid
 dM_{metab}/dt - gewichtsverlies via respiratie ten gevolge van $\text{CO}_2\text{-O}_2$ gewichtsverschil
 2430 - verdampingswarmte (Joules/gram)

Het gewichtsverlies van de proefpersoon is bepaald door de proefpersoon voor en na elke meetsessie te wegen. Continue weging was gezien de te verwachten minimale gewichtsafname niet noodzakelijk. De nauwkeurigheid van de gebruikte balans bedraagt ca. 10 g. Daar de meeste gewichtsaftames binnen dit nauwkeurigheidsbereik vielen, is als gewichtsafname per meetsituatie het gemiddelde over alle metingen in die situatie genomen. Grote verschillen tussen personen in dezelfde situatie worden niet verwacht en ook niet gevonden door de werking van het plastic.

Voor de warmte-opslag in het lichaam geldt:

$$\text{STO} = \text{Massa} * (.9 * dT_{\text{rectaal}}/dt + .1 * dT_{\text{plastic}}/dt) * 3.48 / O_{\text{du}} \quad (\text{W/m}^2)$$

met

- Massa - gewicht proefpersoon,
 dT_{rectaal}/dt - verandering in kerntemperatuur per tijdseenheid,
 dT_{plastic}/dt - idem voor plasticoppervlak
 3.48 - warmtecapaciteit van lichaamsweefsel (J/g °C)

De weegfactoren voor rectaal en plastictemperatuur wijken af van de normaliter gebruikte factoren voor kern en huid (.8 resp. .2). Hiervoor is gekozen daar het plastic iets verder van de huid aflight en derhalve minder goed de oppervlaktetemperatuur van het lichaam weergeeft. De plastictemperatuur is in bijna alle gevallen aan het eind van de sessie stabiel zodat de afgeleide vrijwel nul is.

Temperaturen

Alle temperaturen werden gemeten met lineaire thermistors (YSI 700 serie). De kerntemperatuur van het lichaam werd rectaal gemeten, ca. 12 cm. vanaf de rectale sfincter.

De "huid"-temperatuur werd gemeten op 11 plaatsen: voet, onderbeen, bovenbeen, buik, bil, borst, rug, hand, arm, wang en haar. Hieruit werd de gemiddelde huidtemperatuur berekend door elke meetplek relatief aan zijn lichaamsoppervlak mee te wegen:

$$T_{\text{huid}} = .07 * T_{\text{voet}} + .13 * T_{\text{onderbeen}} + .19 * T_{\text{bovenbeen}} + .05 * T_{\text{buik}} + \\ .05 * T_{\text{bil}} + .125 * T_{\text{borst}} + .125 * T_{\text{rug}} + .05 * T_{\text{hand}} + .14 * T_{\text{arm}} + \\ .04 * T_{\text{wang}} + .03 * T_{\text{haar}}$$

De paktemperaturen werden gemeten op overeenkomstige plaatsen als de huidtemperaturen. Daar waar geen kleding aanwezig was (hand, hoofd) is bij de berekening van de gemiddelde paktemperatuur de temperatuur van de overeenkomstige huidsensor genomen. De sensoren bleven permanent op de pakken zodat bij pak B en C ook de temperaturen op het eronder gedragen pak A gemeten zijn. De weegfactoren voor de bepaling van de gemiddelde paktemperaturen zijn overeenkomstig die van de huid. De luchttemperatuur werd bepaald in de windtunnel. De stralingstemperatuur was gelijk aan de luchttemperatuur.

Omgevingstemperatuur en vochtigheid

De temperaturen waarop de klimaatkamer werd ingesteld zijn vooraf bepaald door de globaal geschatte isolaties in het model van Fanger in te vullen. Het was de bedoeling zweet te voorkomen in verband met het comfort van de in plastic gewikkelde proefpersonen. De verkregen waarden leken aan de hoge kant en zijn met zo'n 4 graden verlaagd. De zo geschatte "comforttemperatuur" bleek redelijk te voldoen. In totaal zijn 4 temperaturen gebruikt: 24, 17, 14 en 10 graden Celsius. Bij alle omgevingstemperaturen werd de relatieve vochtigheid op 50% gehouden.

Meetsessie

Elke meetsessie duurde 45 minuten, waarin alle waarden (temperaturen, O₂ opname) elke seconde werden gesampeld en de minuutgemiddelden werden opgeslagen en grafisch op een monitor werden weergegeven. Uit de registratie kon worden afgeleid of de proefpersoon thermisch evenwicht had bereikt. Gemeten werd aan twee proefpersonen per dag, elk vier sessies. Voor en na de sessie werd het gewicht van de proefpersoon inclusief kleding bepaald. Daar de kleding zelf niet van gewicht bleek te veranderen kon de gewichtsverandering geheel aan de afgifte van de persoon naar de omgeving worden toegeschreven.

2.7 Ventilatie

De hiervoor beschreven metingen zijn erop gericht de droge isolatiewaarden van de kleding te bepalen. Ze leveren derhalve geen informatie over de verandering van isolatie met betrekking tot waterdamp (zweet). Bij waterdamp gaat het om massatransport, hetgeen bepaald wordt door de convectie in en aan de kleding, met andere woorden de ventilatie. Ook dit kan via warmtebalansbepalingen worden bepaald, hetgeen echter nog veel tijdrovender is dan de droge warmtebalansbepaling zoals hiervoor beschreven. Lotens en Havenith (1988) beschrijven een methode om snel een indruk van de ventilatie van kleding te krijgen: bepaling van de ventilatie door middel van tracer gas.

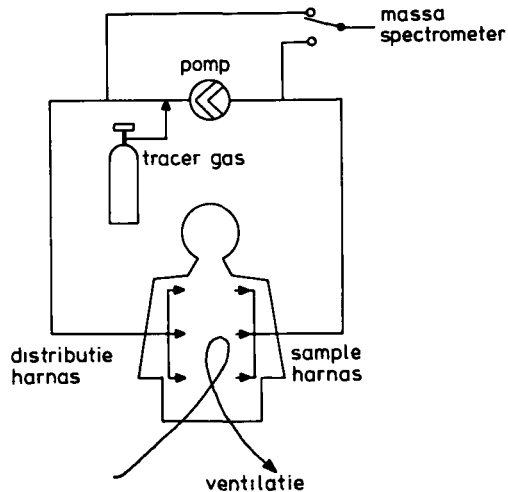


Fig. 2 Schematische voorstelling van het meetsysteem voor de bepaling van de kledingventilatie door middel van tracer gasverduunning.

De proefpersoon wordt onder de te testen kleding over zijn ondergoed voorzien van een harnas van 20 slangetjes waardoor een tracer gasluchtmengsel wordt ingeblazen (Fig. 2). Via 20 andere slangetjes worden op overeenkomstige plaatsen luchtmonsters genomen. Deze lucht wordt gerecirculeerd en er wordt tracer gas aan toegevoegd. De concentratie in de inblaas- en afzuiglucht wordt bij evenwicht gemeten met een massaspectrometer waarna op basis van de verduunning van het

tracergas de ventilatiewaarde (in l/min.) voor de kleding kan worden bepaald volgens:

$$\text{ventilatie} = (\text{circulerende flow} + \text{tracergas}) * \frac{(C_{\text{in}} - C_{\text{uit}})}{(C_{\text{uit}} - C_{\text{omgeving}})}$$

Als tracergas werd Argon gebruikt daar dit een van de weinige gassen is die veilig te gebruiken zijn en bovendien een molecuuldiameter dicht bij die van water heeft. Gezien de constructie van het slangensysteem wordt voor het boven en onderlichaam apart de ventilatiewaarde bepaald. Uit de ventilatiewaarde is de gastransportcoëfficiënt D te bepalen. Aangezien handen, voeten en hoofd niet bij de meting zijn betrokken en verder 61% van de circulatiewaarde wordt over 47% van het lichaam (onderlichaam), en 39% van de flow over 34% van het lichaam (bovenlichaam) luidt de berekening van de beide D waarden:

$$D_{\text{boven}} = .39 * \text{Vent}_{\text{boven}} * .001 / (.34 * O_{\text{du}} * 60) \quad (\text{m/s})$$

en

$$D_{\text{onder}} = .61 * \text{Vent}_{\text{onder}} * .001 / (.47 * O_{\text{du}} * 60) \quad (\text{m/s})$$

Voor het totale lichaam bedekt door kleding geldt dan:

$$D = (.47 * D_{\text{onder}} + .34 * D_{\text{boven}}) / .81 \quad (\text{m/s})$$

Deze diffusieconstante kan worden omgerekend naar een sprekender getal, namelijk de diffusieweerstand voor water in lucht, uitgedrukt in de weerstand voor waterdamp van een stilstaande luchtlaag in mm (d).

$$d = ID_a * 1000 / D \quad (\text{mm})$$

met $ID_a = 18 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ als diffusieconstante voor argon in lucht. Ervan uitgaande dat de diffusie door de schoenen verwaarloosbaar is moet voor de berekening van d voor het totale lichaamsoppervlak alleen nog rekening worden gehouden met de dampweerstand van de onbedekte handen en hoofd. Het oppervlak hiervan bedraagt zo'n 12% van het totale oppervlak. Deze dampweerstand van de blote delen is echter niet direct uit de tracergasmetingen af te leiden, maar kan afgeleid worden uit het convectieve deel van de gemeten luchtisolaties:

$$h_{\text{lucht}} = 1/I_a = h_{\text{straling}} + h_{\text{convectie}}$$

$$h_{\text{conv}} = 1/I_a - h_{\text{straling}}$$

$$d_{\text{bloot}} = K_{\text{lucht}}/h_{\text{conv}} = .026/h_{\text{conv}}$$

met h = convectieve warmtegeleidingscoëfficiënt (W/m^2K) en

K = specifieke warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht (W/mK).

Het lucht equivalent voor de totale kleding kan dan berekend worden als:

$$d = \frac{1}{.81/d_{\text{kleding}} + .12/d_{\text{bloot}}} \quad (\text{mm})$$

2.8 Statistiek

De data werden onderworpen aan een statistische analyse met het pakket SYSTAT. Na een variantie-analyse op de effecten pak, houding, wind en pasvorm werden de significante effecten verder onderzocht met een post-hoc test (CONTRAST), waarmee de verschillende niveaus van elke variabele onderling kunnen worden vergeleken.

3 RESULTATEN

3.1 Manikinmetingen

De resultaten van de manikinmetingen zijn weergegeven in Tabel II. De resultaten voor de totale isolatie zijn direct berekend op basis van formule 1. De waarden voor I_{cl} zijn hieruit afgeleid op basis van de luchtisolatie (.73 clo) en de f_{cl} factor.

Tabel II Totale isolatie (kleding + lucht) I_{tot} , intrinsieke kledingisolatie I_{cl} en kledingoppervlaktefactor f_{cl} voor pak A, B en C, gemeten op de manikin.

Pak	I_{tot} (m^2 k/W)	(clo)	I_{cl} (m^2 k/W)	(clo)	f_{cl}
A	.228	1.47	.134	0.87	1.26
B	.273	1.76	.184	1.19	1.27
C	.281	1.81	.198	1.28	1.37

3.2 Warmtebalansgegevens

I_{tot} , I_{cl} en I_a

De meetgegevens van het proefpersoonexperiment met betrekking tot de gemeten temperaturen en de warmtebalans zijn met hun standaarddeviatie weergegeven in de appendix (Tabel I Appendix II). Op basis van deze gegevens en formules 1 t/m 5 kunnen de isolatiewaarden van de diverse lagen bepaald worden. De resultaten zijn, samen met de manikinresultaten weergegeven in Tabel II van de appendix.

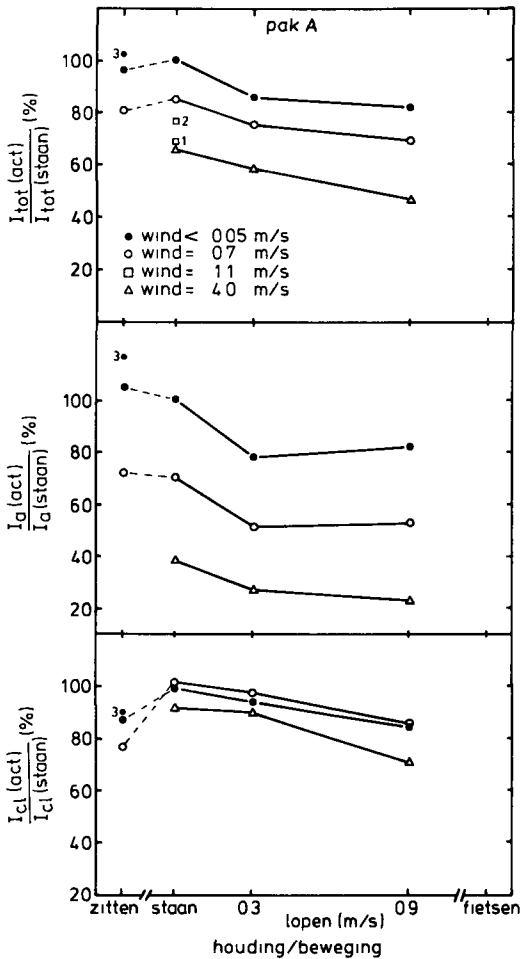


Fig. 3 Veranderingen voor pak A in I_{tot} , I_a en I_{cl} ten gevolge van houding, beweging en wind als percentage van de waarde bij stilstaan zonder wind. Literatuurdata: 1 Breckenridge en Goldman, 1977: Manikin, tropical fatigue; 2 + 3 Nielsen e.a., 1985.

Een totaaloverzicht van de effecten voor de drie pakken is beter verkrijgbaar op basis van Fig. 3, 4 en 5. In deze figuren is de isolatie bij een bepaalde situatie in procent van de isolatie bij staan zonder wind uitgedrukt. Deze waarde is weergegeven in relatie tot de houding en beweging, voor de drie windsnelheden.

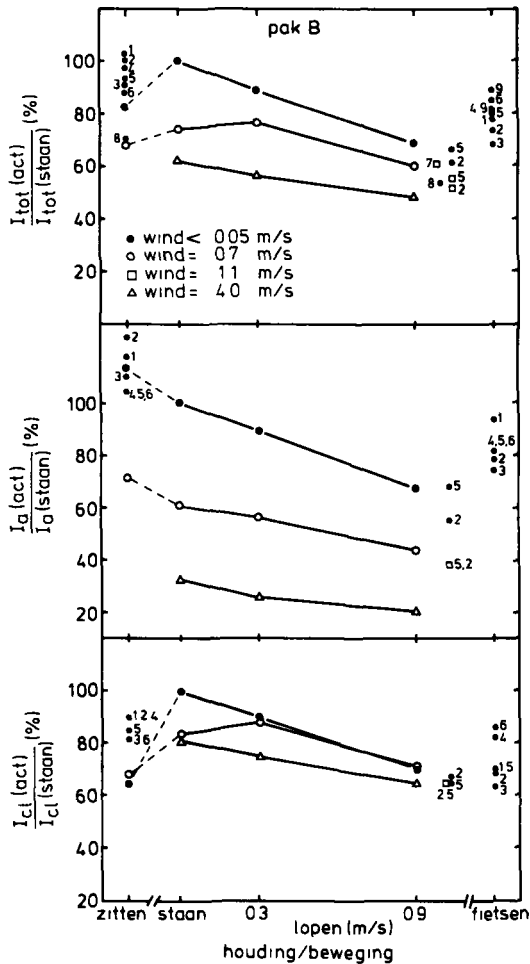


Fig. 4 Veranderingen voor pak B in I_{tot} , I_a en I_{cl} ten gevolge van houding, beweging en wind als percentage van de waarde bij stilstaan zonder wind. Literatuurdata: 1 Nielsen e.a., 1985: ensemble 2; 2 idem: ens. 3; 3 idem: ens. 4; 4 Olesen e.a., 1982: Manikin, ensemble 2; 5 idem: ens. 3; 6 idem: ens. 4; 7 Belding e.a., 1947: Arctic Uniform; 8 Lotens e.a., 1988: chemical protective suit; 9 Havenith en van Middendorp, 1985.

Naast de effecten van houding, beweging en wind op I_{tot} , I_a en I_{cl} zoals in dit experiment gevonden, zijn tevens data uit de literatuur weergegeven, voorzover van kleding in een vergelijkbare range van isolatie gebruik werd gemaakt. Deze literatuuraanpak beslaan niet de hele range van de hier gemeten waarden (vandaar deze studie), maar leveren toch een goede indicatie over de overeenkomsten. Deze literatuurwaarden zullen in de discussie verder worden besproken.

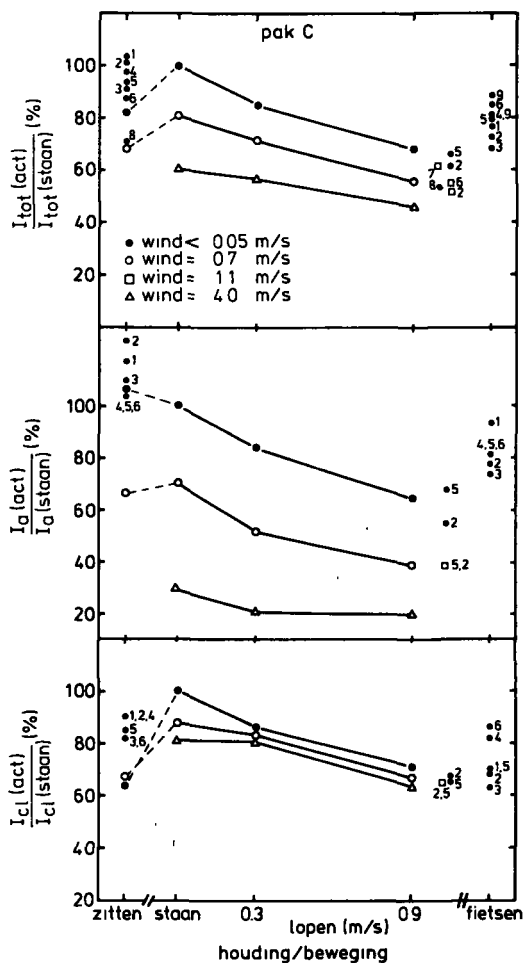


Fig. 5 Veranderingen voor pak C in I_{tot} , I_a en I_{cl} ten gevolge van houding, beweging en wind als percentage van de waarde bij stilstaan zonder wind. Literatuuraanpak: zie Fig. 4.

Alle figuren tonen duidelijk de aanwezige effecten op I_{tot} , I_{cl} en I_a van zitten, lopen en wind.

Zitten verlaagt I_{tot} ten opzichte van staan; licht (4%) voor pak A maar sterker (18%) voor de overall ensembles B en C. Hetzelfde geldt voor I_{cl} (13 resp. 35%). I_a daarentegen is voor zitten bij alle pakken hoger. Een verschil tussen de pakken wordt hier niet verwacht. Beweging (.9 m/s lopen) verlaagt de totale isolatie met 18 (A) tot 32% (B/C). Voor I_{cl} is dat 15 tot 30% en voor I_a 18 tot 35%. Wind (4 m/s) verlaagt I_{tot} met 34 tot 40%; I_{cl} met 6 tot 19% en I_a met 62 tot 70%. Combinatie van wind en beweging verlaagt I_{tot} met 53 tot 54%; I_{cl} met 28-35% en I_a met 78 tot 80%.

Vergelijken we de drie figuren van een pak dan is direct duidelijk dat de effecten op de intrinsieke kledingisolatie I_{cl} beduidend kleiner zijn dan die op de luchtisolatie I_a , resp. op hun som I_{tot} . Voor I_{cl} geldt voor alle pakken dat het bewegingseffect groter is dan het windeffect. Er is hierbij ook een duidelijke interactie zichtbaar tussen lopen en wind: bij de hogere bewegingssnelheden neemt het extra effect van wind af. Dit geldt ook voor de luchtisolatie en de totale isolatie, zij het in mindere mate. Voor I_a is het effect van wind groter dan dat van beweging. Zelfs de laagste windsnelheid heeft al een sterk effect. Bij de hoogste windsnelheid heeft beweging nog maar weinig effect op I_a .

I_{cl} onderkleding onder overalls

Daar bij alle kledingconfiguraties ook de oppervlaktetemperatuur van de onderkleding (pak A) is bepaald, is het mogelijk de invloed van het erover aantrekken van de overalls in configuraties B en C op de isolatie van de onderkleding te bepalen.

Uit de gegevens blijkt dat het aantrekken van de overall de isolatie van de onderkleding verlaagt met ca. 15% voor staan tot ca. 20% bij lopen en zelfs met 30% bij zitten. Zien we bij pak A een significante invloed van wind, onder de overalls is het effect van wind vrijwel verdwenen. De isolatie verschilt daarbij niet onder de overall van B of van C.

3.3 Ventilatie

De ventilatiewaarden voor de kleding verschillen duidelijk tussen de pakken. De ventilatie van de kleding is bij zitten het laagst en uiteraard bij lopen in de hardste wind het hoogst. Voor pak A levert dit ventilatiewaarden van 109 (zitten) tot respectievelijk 1022

(lopen met wind) liters per minuut. Voor pak B was dit 64 en 434 l/min. en voor pak C nog slechts 6, respectievelijk 108 l/min. De standaarddeviatie van de gemeten waarden over de verschillende proefpersonen bedraagt gemiddeld 26% van de meetwaarde. De pasvorm veroorzaakt deze grote verschillen.

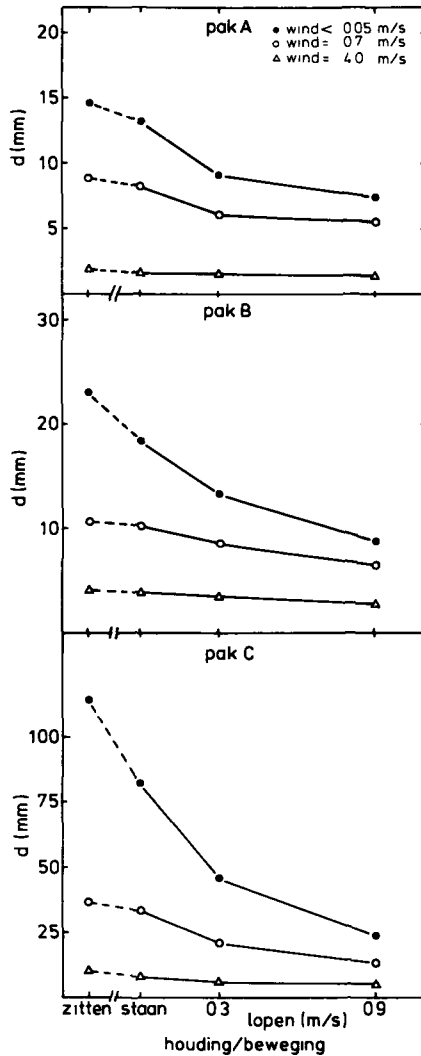


Fig. 6 Luchtequivalent in mm stilstaande lucht in relatie tot houding/beweging en wind voor pak A, B en C.

De resultaten van de ventilatiemetingen zijn in de vorm van effecten van houding, beweging en wind op de luchtequivalenten van de kleding (inclusief de blote delen) weergegeven in Fig. 6. Alle pakken vertonen een gelijkvormig effect. Zitten verhoogt en lopen en wind verlagen het totale luchtequivalent van de kleding. Het effect van wind is sterker dan dat van beweging en er vindt een sterke interactie plaats. Bij de hoogste windsnelheid (4 m/s) is er nauwelijks een bewegingseffect meer te zien. Bij de hoogste windsnelheid komt behalve voor het impermeabele pak C het luchtequivalent lager uit dan de werkelijke kledingdikte. Dit wijst, er van uitgaande dat de kleding goed winddicht is, op het belang van de ventilatie via de openingen.

In absolute zin is voor permeabele kleding het transport via openingen minder groot dan door de kleding.

De gevonden waarden weerspiegelen wel duidelijk de verschillen in permeabiliteit tussen de drie pakken.

3.4 Pasvorm

Geanalyseerd is of de effecten verschillen voor strak zittende kleding (dikke proefpersoon) en los zittende kleding (dunne proefpersoon). Er blijkt een sterk significant effect te zijn van de pasvorm op I_{tot} en I_{cl} . Geen effect is daarentegen zichtbaar op I_a . De totale isolaties van de drie pakken voor de dunne versus de dikke proefpersonen bedraagt .191 resp .188 m^2K/W voor pak A, .264 resp. .236 m^2K/W voor pak B en .285 resp. .246 m^2K/W voor pak C. Voor de intrinsieke isolatie van de kleding is dat: .105 resp. .84 m^2K/W voor pak A, .168 resp. .143 m^2K/W voor pak B en .177 resp. .140 m^2K/W voor pak C.

In het algemeen valt op dat voor de dikste proefpersoon de effecten van beweging zwakker lijken terwijl die van wind niet duidelijk verschillen. Bij langzaam lopen bijvoorbeeld, neemt de relatieve isolatie van pak C ten opzichte van staan af van de dunste naar de dikste proefpersoon tot resp. 76, 81, 84 en 98 procent. Voor de andere pakken en bewegingen ligt dit voor de 3 dunnere personen onderling minder duidelijk.

Dit pasvorm effect moet gerelateerd zijn aan de kleinere ingesloten luchtlaag bij de dikkere proefpersonen, waarop beweging minder effect heeft dan op de grotere luchtzakken in de kleding van een dunne proefpersoon. Het kleinere effect van wind ten opzichte van beweging suggereert dat wind minder direkt op de ingesloten luchtlagen werkt. Opvallend is dat het effect van zitten verschilt tussen pak A enerzijds en pak B en C anderzijds. Voor de dunne proefpersonen met een

ruime pasvorm, neemt de isolatie van pak A bij de overgang van staan naar zitten toe met 14%. Dit is te verklaren met een toename van de ingesloten luchtlaag. Voor de dikke personen met de strakke pasvorm neemt de isolatie af met 19%. Er kan blijkbaar geen extra lucht worden ingesloten. Integendeel, er wordt zelfs lucht uitgeknepen. Voor pak B/C neemt de isolatie voor de dunne proefpersonen bij zitten ten opzichte van staan af met 15%. De lucht onder A en tussen A en B/C wordt door de overalls weggeknepen. Voor de dikke personen neemt de isolatie voor zitten ten opzichte van staan maar met 8% af. Er zat al geen lucht onder A zodat deze ook minder sterk kan worden weggeknepen.

Het samendrukkende effect van de overalls bij zitten is blijkbaar het sterkst voor de ruime pasvorm, aangezien hier de meeste lucht weg te persen valt.

3.5 Statistiek

Hoofdeffecten over alle condities

I_{tot}

Betreffende de totale isolatie blijken alle hoofdeffecten (pak, wind, houding/beweging en dik/dun) hoogsignificante verschillen op te leveren ($P < .001$) uitgezonderd:

houding/beweging: zitten ten opzichte van langzaam lopen.

Er zijn dus geen onverwachte resultaten.

I_{cl}

Ook op de intrinsieke kledingisolatie vinden we hoogsignificante verschillen ($P < .001$) uitgezonderd:

houding/beweging: zitten ten opzichte van lopen

pak: B ten opzichte van C

Ook hier geen onverwachte resultaten, daar pak B en C ook op de manikin nauwelijks verschilden.

I_g

Voor de luchtisolatie zijn de meeste verschillen hoogsignificant ($P < .001$), enkele significant ($P < .05$) en een aantal niet significant. De laatsten zijn:

pak: A ten opzichte van B

pasvorm: strak ten opzichte van ruim

Opvallend is hier het verschil in luchtisolatie tussen pak A en C resp. pak B en C, hetgeen niet verwacht wordt. De luchtisolatie om

pak C blijkt het hoogst. Een verklaring hiervoor is niet direkt te geven. De afwezigheid van een pasvormeffect op de luchtisolatie ligt voor de hand.

I_{cl} onderkleding onder overalls

Voor de isolatie van het basispak (pak A), gedragen al dan niet onder de overalls zijn eveneens de meeste verschillen hoogsignificant, uitgezonderd:

houding/beweging: zitten ten opzichte van lopen
pak: B ten opzichte van C
wind: geen wind ten opzichte van .7 m/s

De hogere windsnelheid wijkt af van de lagere door de invloed op pak A. Onder de overalls heeft ook de hardere wind geen effect meer. Tussen overalls B en C wordt in verband met vergelijkbaar design geen effect verwacht.

Van de interacties tussen de hoofdeffecten zijn significant:

I_{tot}: wind * houding (P < .01)

 wind * pak (P < .01)

 pak * houding (P < .001)

 pak * pasvorm (P < .05);

I_{cl}: wind * houding (P < .05)

 wind * pak (P < .05)

 pak * houding (P < .001)

 pak * pasvorm (P < .05);

I_a: wind * houding (P < .05)

 wind * pak (P < .05)

 pak * houding (P < .01).

De significantie van alle vergelijkingen tussen de diverse configuraties is weergegeven in Appendix II, Tabel III.

3.6 Reproduceerbaarheid

Daar alle meetconfiguraties door elke proefpersoon twee maal werden uitgevoerd is het mogelijk de reproduceerbaarheid van de warmtebalansmeting te beoordelen. Holmér en Elnas (1981) definieerden de fout van de ook hier gebruikte isolatiebepaling door middel van partiële calorimetrie als de standaarddeviatie van de test-hertest verschillen. De gemiddelde waarde voor deze delta I_{tot} in dit experiment bedraagt .001 met een standaard deviatie van .017 m² K/W. Holmér vond een relatieve afwijking van 4.2%, in dit experiment was dat 6%. De verschillen zijn het hoogst voor staan en zitten, ofwel de lagere

metabolismen. Nemen we alleen de situaties met vergelijkbare metabolismen als bij Holmér, dan bedraagt de relatieve afwijking slechts 3.1%. De genoemde waarden tonen aan dat de reproduceerbaarheid goed is, zeker in aanmerking nemende dat de gemeten verschillen door werkelijk aanwezige verschillen in de houding of in de valing van de kleding veroorzaakt kunnen worden. Het grootste deel van de variatie van I_{tot} wordt veroorzaakt door I_a . De verschillen in I_{cl} met betrekking tot de herhaling vertonen een standaarddeviatie van slechts $.011 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.

4 DISCUSSIE

4.1 Isolatie

Manikin

Bij vergelijking van de manikinresultaten met de proefpersoonmetingen voor de absolute isolatie bij staan zonder wind blijkt in dit experiment de manikin hogere waarden te leveren. Dit komt niet overeen met een vergelijking van de gegevens van Nielsen e.a. (1985) en Olesen e.a. (1982), waaruit juist voor de proefpersoonmetingen hogere waarden voor de isolatie volgen. Zij vinden gemiddeld ca. .22 clo hogere waarden op proefpersonen (4 pakken) terwijl in dit experiment proefpersonen gemiddeld .15 clo lagere waarden voor I_{tot} leveren.

In het algemeen is de maat van de kleding een mogelijke oorzaak voor afwijkingen. Deze is afgestemd op de proefpersonen, maar deze zijn in beide experimenten groter dan de manikin. De kleding zal dus ruimer vallen op de manikin. Op basis hiervan zou men een hogere manikinwaarde verwachten. De dunne proefpersonen in dit experiment tonen inderdaad kleinere afwijkingen ten opzichte van het manikin dan de dikke: gemiddeld minder dan .08 clo, hetgeen deze verwachting ondersteunt. Een verklaring voor de verschillen met de resultaten van Nielsen en Olesen is hierin echter niet te vinden.

Literatuurbedata

Bij de vergelijking met de literatuurwaarden valt als eerste op dat de door ons gevonden waarden van I_{cl} zitten/ I_{cl} staan voor pak B en C lager zijn dan de waarden van Nielsen e.a. (1985) en de manikin waarden van Olesen e.a. (1982). Dit verschil is niet aanwezig in de luchtisolatie maar komt uiteraard wel terug in de totale isolatie. De verklaring hiervoor kan niet direkt gevonden worden in het gebruik

van een krukje in ons experiment ten opzichte van een netstoel bij Nielsen. Het feit dat bij pak B en C dit verschil wel aanwezig is, maar bij pak A vrijwel niet, duidt in de richting van de kleding zelf. Bij pak B en C wordt in tegenstelling tot bij pak A en de kledingconfiguraties bij Nielsen een overall over de basiskleding gedragen. Afhankelijk van de pasvorm zal bij zitten zo'n overall de onderliggende lagen sterker samendrukken door de spanning op het materiaal dan bij losse kledingstukken het geval zal zijn. Dit wordt bevestigd door de gegevens met betrekking tot het basispak (A) en het isolatieverlagende effect van de overalls daarop.

Vergelijken we de door ons gevonden waarden van pak A voor staan met wind met de waarden hiervoor gevonden door Nielsen e.a. (1985) en Breckenridge en Goldman (1977), dan blijkt een goede overeenkomst te bestaan. Hetzelfde geldt voor de literatuurwaarde voor lopen (1.04 m/s loopsnelheid) zonder en met (1.1 m/s) wind voor alle pakken.

Zoals eerder genoemd verschillen pak B en C niet in I_{c1} , hetgeen wel te verwachten is op basis van hun design, maar deels toch verwonderlijk is gezien de absolute winddichtheid van het materiaal van pak C. Het materiaal van pak B, de katoenen overall, blijkt echter ook goed winddicht, hetgeen de overeenkomst kan verklaren. Het doorblaaseffect van wind op het kledingmateriaal treedt blijkbaar pas op bij hogere windsnelheden. Deze pakken verschillen wel duidelijk van pak A.

4.2 Generalisaties van Isolatie

I_{totaal}

Ook als we naar de ligging van de literatuurwaarden onderling kijken zien we duidelijke verschillen tussen pakken. Lotens (1988) heeft literatuurwaarden verzameld en gekeken naar de effecten van beweging en wind op I_{tot} in relatie tot de isolatiewaarde van de kleding in rust. De door hem verzamelde data zijn met de nieuwe metingen samengebracht in Fig. 7, 8 en 9. Hoewel fietsen in dit experiment niet is onderzocht is dit voor de volledigheid toch toegevoegd. Literatuurdata m.b.t. typisch vrouwelijke kledingsembles zijn buiten beschouwing gelaten.

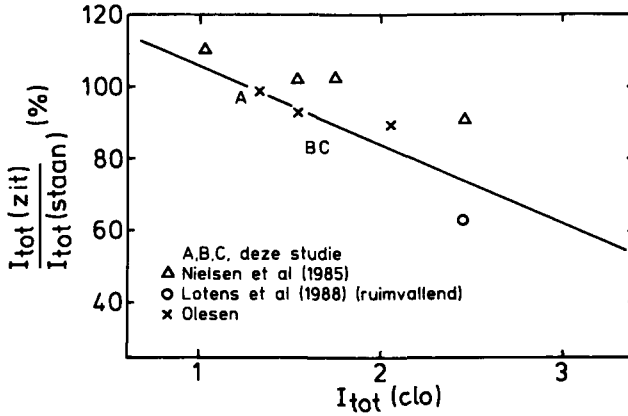


Fig. 7 Procentuele afname van de kledingisolatie door zitten in relatie tot de totale kledingisolatie bij staan.

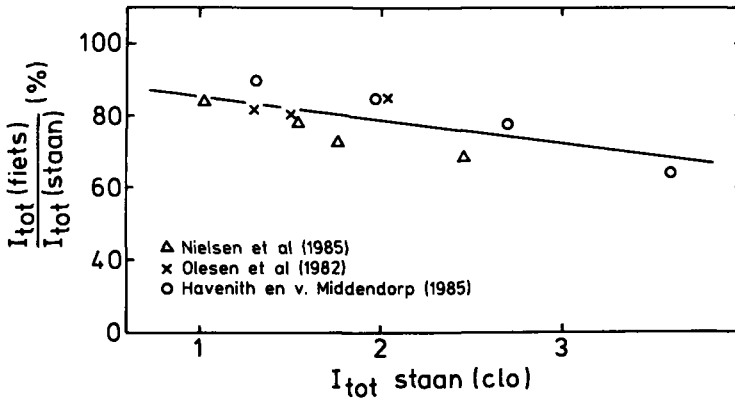


Fig. 8 Procentuele afname van de kledingisolatie door fietsen in stilstaande lucht in relatie tot de totale kledingisolatie bij staan.

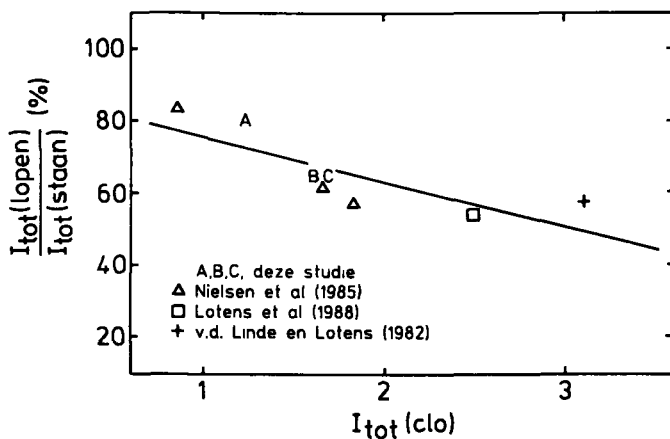


Fig. 9 Procentuele afname van de kledingisolatie door lopen in stilstaande lucht in relatie tot de totale kledingisolatie bij staan.

De drie figuren laten ondanks de spreiding een duidelijke relatie zien tussen de totale isolatie van de kleding gemeten bij staan zonder wind en de afname van de isolatie ten gevolge van de diverse bewegingen. Dit effect is te beschrijven met de volgende vergelijkingen:

$$\text{Zitten: } I_{tot} (\%) = 127.7 - 21.82 * I_{tot}(\text{staan}) \quad (r = -.79)$$

$$\text{Fietsen: } I_{tot} (\%) = 92.9 - 7.49 * I_{tot}(\text{staan}) \quad (r = -.75)$$

$$\text{Lopen: } I_{tot} (\%) = 87.7 - 12.46 * I_{tot}(\text{staan}) \quad (r = -.84)$$

Waarbij $I_{tot}(\text{staan})$ is uitgedrukt in clo.

Het effect is voor lopen sterker dan voor fietsen. Dit kan worden verklaard door het lagere actieve oppervlak tijdens fietsen ten opzichte van lopen. Bij zitten gaat het om een heel ander mechanisme; daar wordt niet bewogen.

Opvallend is dat de spreiding in de figuren veel lager is als men de waarden per experimentator apart beziet. Het effect op zich verandert echter nauwelijks. Een duidelijke reden voor deze verschillen is, behalve voor de gevallen waarin een manikin is gebruikt, niet te geven.

Mogelijke afwijkingen zijn de meting van de huidtemperatuur, het metabolisme of een afwijkende luchtsnelheid voor de rustsituatie.

Het effect van de loopsnelheid is op basis van de verzamelde data (I_{tot} 1.2-2.5 clo) weergegeven in Fig. 10. Zoals te verwachten neemt het effect toe met de loopsnelheid in meters per seconde volgens:

$$I_{tot} (\%) = 100 - 37.5 * \text{loopsnelheid} \quad (r = -.98)$$

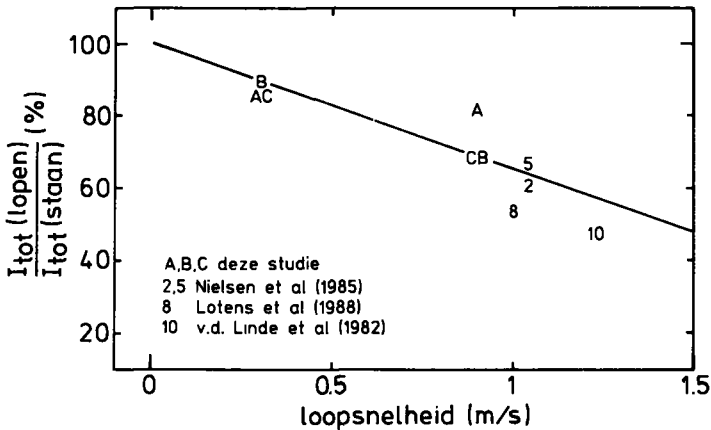


Fig. 10 Isolatie tijdens lopen in % van de rustwaarde in relatie tot de loopsnelheid.

Voor het effect van wind is zo'n relatie minder eenvoudig. Toch blijkt het mogelijk het effect van wind te generaliseren. In Fig. 13 zijn meetwaarden verzameld voor het effect van wind op de totale kledingisolatie in relatie tot de windsnelheid. Aangezien het effect van wind op de warmte-overdrachtscoëfficiënt in de literatuur veelal als wortelfunctie beschreven wordt (Fonseca en Breckenridge, 1965) is de wind in de figuur als wortelfunctie gepresenteerd en is op de verticale as in plaats van de weerstand I_{tot} de warmte-overdrachtscoëfficiënt $1/I_{tot}$ uitgezet. Verder is voor elk bewegingstype met wind diezelfde beweging zonder wind als referentie genomen. Hoewel ook in deze figuur de spreiding groot is lijkt toch een duidelijke relatie aanwezig:

$$\text{Wind: } I_{tot} (\%) = 10^4 / (94.9 + 29.65 * \sqrt{\text{wind}}) \quad (r = .89)$$

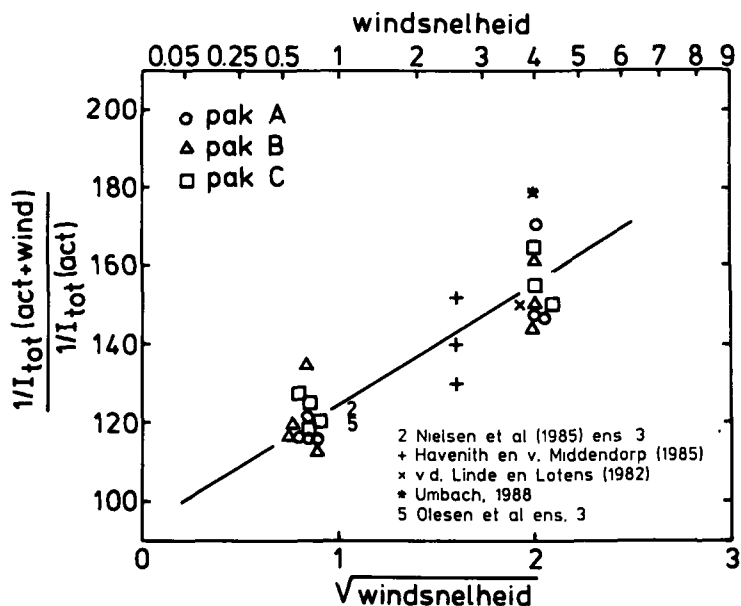


Fig. 11 De verandering van de warmte-overdrachtscoëfficiënt van de totale kleding ten gevolge van wind ten opzichte van dezelfde meetsituatie zonder wind als functie van de wortel uit de windsnelheid.

I_{cl} en I_a

In een aantal modellen moet voor de kledingisolatie niet I_{tot} maar I_{cl} ingevoerd worden. Het is dan niet direkt mogelijk met de hierboven besproken gegevens te werken. De reden om niet direkt al de voorgaande discussie op I_{cl} te richten is het gebrek aan data. Van veel van de gebruikte referenties is wel de waarde voor I_{tot} bekend, maar niet die van I_{cl} . De beschikbare data beslaan vaak maar een klein bereik aan isolatiewaarden of er is in sommige gevallen twijfel over de betrouwbaarheid van de opsplitsing van I_{tot} in I_{cl} en I_a . Toch zijn een aantal generalisaties mogelijk:

Voor zitten neemt I_{cl} af tot 87% van de I_{cl} waarde bij staan; voor overalls met daaronder de basiskleding is dit 64%. De luchtisolatie tijdens zitten neemt toe tot 109%.

Voor fietsen neemt I_{cl} af tot 65% van de staande waarde en I_a tot 84%.

Voor lopen zijn meer data beschikbaar en kunnen de volgende regressielijnen bepaald worden:

$$I_{cl}(\text{lopen}) (\%) = 90.4 - 20.2 * I_{cl}(\text{staan}) \quad (r = -.83)$$

en

$$I_a(\text{lopen}) (\%) = 74.2 - 6.7 * I_{cl}(\text{staan}) \quad (r = -.33)$$

De laatste regressielijn verloopt erg vlak en is niet significant. Het is goed mogelijk de gemiddelde waarde voor I_a te nemen van 66.7%. Voor de afhankelijkheid van de loopsnelheid (in m/s) zijn de volgende regressievergelijkingen op te stellen:

$$I_{cl}(\text{lopen}) (\%) = 100 - 35 * \text{loopsnelheid} \quad (r = -.96)$$

en

$$I_a(\text{lopen}) (\%) = 100 - 36 * \text{loopsnelheid} \quad (r = -.97)$$

Deze vergelijkingen zijn voor I_{tot} en I_{cl} te combineren met de formules voor de relatie tussen loopeffect en isolatiewaarde tot:

$$I_{tot}(\text{lopen}) (\%) = 100 - (12.3 + 12.46 * I_{tot}(\text{staan})) * \text{loopsnelheid}$$

$$I_{cl}(\text{lopen}) (\%) = 100 - (9.6 + 20.2 * I_{cl}(\text{staan})) * \text{loopsnelheid}$$

Voor het effect van wind (correctie uitgevoerd na correctie voor houding en beweging) kan op basis van deze studie en de gegevens van Nielsen het effect op I_{cl} en I_a beschreven worden als:

$$I_{cl} (\%) = 10^4 / (96 + 8.1 * \sqrt{\text{windsnelheid}}) \quad (r = .53)$$

en

$$I_a (\%) = 10^4 / (27.4 + 152 * \sqrt{\text{windsnelheid}}) \quad (r = .95)$$

Wind heeft op I_{cl} duidelijk maar minimale invloed.

4.3 Ventilatie

Pak A en B hebben gezien hun materialen vergelijkbare permeabiliteiten voor waterdamp. De verhouding van het lucht equivalent van de beide pakken komt dan ook goed overeen met de verhouding van de isolaties (isolatie A/B = .76, lucht equivalent A/B = .72) bij staan zonder wind. In deze situatie met vrijwel stilstaande luchtlagen in de kleding, kan het lucht equivalent d_{eq} opgesplitst worden in een kledingdeel en een luchtaandeel: kledingdeel = 2 maal (permeabiliteits-factor) de stofdikte; de rest is de luchtlaagdikte. De werkelijke stilstaande luchtlaagdikte (uitgaande van 100% perme-

abiliteit) d' wordt dan benaderd door de stofdikte plus de luchtlaagdikte. Maken we de benadering dat voor warmte de equivalente weerstand gelijk is aan het aldus geschatte luchtequivalent d' , dan kan uit het luchtequivalent en de gemeten isolatie de specifieke weerstand van het kledingpakket berekend worden met: $R_{\text{specifiek}} = I_{\text{tot}}/d'$. Voor pak A bedraagt deze 16.7 m K/W en voor pak B 15.6 m K/W. Deze waarden zijn iets hoger dan de door Lotens (1988) berekende waarde van 12 m K/W voor kleding inclusief luchtlagen en duidelijk lager dan de vaak als vuistregel gehanteerde waarde van 24 m K/W. Dat deze vuistregel voor kleding inclusief luchtlagen zelden juist is wordt verder ondersteund door de manikinresultaten. Hierbij is de isolatie per lichaamsdeel bekend, en op basis van omtrekmetingen van het lichaamsdeel met en zonder kleding is de kledingdikte en vervolgens de specifieke weerstand te bepalen. Voor een strakzittende plek als de romp bedroeg de specifieke weerstand 23.3 m K/W, voor een gemiddeld strak zittend deel als de heup 11.2 m K/W en voor de losvallende pijpen 4.0 m K/W. Alleen daar waar de kleding nauwelijks luchtlagen insluit wordt de waarde van 24 m K/W benaderd.

Voor pak C geldt uiteraard niet de overeenkomst van equivalente luchtweerstand en isolatie daar we hierbij met een vrijwel impermeabel pak te maken hebben. De gevonden weerstanden weerspiegelen deze impermeabiliteit. Voor het pak alleen, dus zonder de blote delen bedraagt de equivalente luchtweerstand zelfs zo'n 260 mm tegenover 17 mm bij pak A en 25 mm bij pak B.

Ten gevolge van beweging verandert het luchtequivalent van pak A, B en C met resp. een factor 1.8, 2.1 en 3.4. Door wind is dat 8.2, 5.4 en 10.4 en door beweging + wind 8.7, 7.1 en 15.4. Duidelijk hebben wind en beweging de grootste relatieve invloed op het impermeabele pak en is het effect van wind veel groter dan dat van beweging. Gaan we in het algemeen ervan uit dat damptransport plaatsvindt door diffusie door het kledingmateriaal en via de openingen dan zal bij een vergelijkbaar design (B en C) de dampweerstand bij het impermeabele pak alleen bepaald worden door diffusie via de openingen. Op basis van het resultaat dat de relatieve veranderingen in ventilatie door beweging en wind voor het impermeabele pak het grootst zijn moeten we concluderen dat het damptransport via de openingen blijkbaar veel sterker toeneemt dan het damptransport via het materiaal en dat dit effect voor wind sterker is dan voor beweging.

Voor de kledingisolatie I_{tot} bedraagt het effect van beweging voor de drie pakken een factor van resp. 1.2, 1.4 en 1.5; wind levert factoren 1.5, 1.6 en 1.6 en de combinatie wind + beweging 2.2, 2.1 en

2.2. De verschillen tussen isolatie en dampweerstand zijn voor wind en beweging + wind duidelijk groter dan voor beweging alleen. Met andere woorden wind heeft een grotere invloed op het damptransport dan op het warmtetransport.

Stellen we ons de mogelijke paden voor damp of vochtstroom voor als twee parallele wegen, namelijk direkt door het pak of via de kledingopeningen, dan volgt uit het bovenstaande dat beweging op beide paden een vergelijkbaar effect heeft, terwijl wind een groter effect op het transport door de openingen heeft. Op basis van deze voorstelling is in te zien dat bij kleding met een lage permeabiliteit, waar het meeste damptransport via de openingen moet gebeuren terwijl het warmtetransport nog steeds via beide paden mogelijk is, wind een groter effect zal hebben op het damptransport dan op het warmtetransport.

Vergelijking van de gevonden ventilatiewaarden met literatuurgegevens toont goede overeenkomsten met metingen door Lotens en Havenith (1988) aan regenkleding en Lotens e.a. (1988) aan ruimvallende dikke kleding, zij het dat bij de laatste de effecten ten gevolge van wind kleiner zijn. Deze kleding had echter geen openingen.

Verder kan uit de gegevens van Vogt e.a. (1983), na correctie voor de fouten door de onjuiste warmtecapaciteit van lucht, berekend worden dat zij luchtequivalenten vinden van ca. 6.7 mm bij fietsen in kleding met een totale warmteweerstand van ca. $.24 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ (ventilatie ca. 280 l/min.). Dit resulteert in een bewegingseffect van fietsen van een factor 2.5, hetgeen in de range van de hier gevonden waarden ligt.

5 CONCLUSIES

Op basis van de in dit experiment gevonden resultaten en literatuurgegevens valt hetvolgende te concluderen:

De effecten van houding en beweging op de totale kledingisolatie zijn afhankelijk van de totale isolatie van het betreffende kledingpakket. Hoe hoger de stilstaande isolatie, hoe groter de afname van de isolatie tijdens beweging. Bij zitten neemt de isolatie bij zeer dunne kleding zelfs toe ten opzichte van de rustwaarde ten gevolge van de relatief grote invloed van de luchtisolatie. Bij 1 clo "staande isolatie" bedraagt de totale isolatie bij zitten ca. 105% van de isolatie bij staan; bij 3 clo is dat nog maar 62%.

Tijdens fietsen blijft de isolatie beter behouden (85% bij 1 clo, 63% bij 3 clo) dan bij lopen, waarschijnlijk veroorzaakt doordat een groot deel van het lichaam (romp) nauwelijks meebeweegt.

Tijdens lopen neemt de isolatie af van 75% bij 1 clo tot 50% bij 3 clo.

Voor zitten loopt de relatie niet parallel. Bij 1 clo is er een toename van de isolatie, bij 3 clo is de afname groter dan bij fietsen, maar nog steeds kleiner dan bij lopen.

De bovengenoemde effecten zijn te beschrijven met de volgende regressievergelijkingen:

$$\text{Zitten: } I_{\text{tot}} (\%) = 127.7 - 21.82 * I_{\text{tot(staan)}}$$

$$\text{Fietsen: } I_{\text{tot}} (\%) = 92.9 - 7.49 * I_{\text{tot(staan)}}$$

$$\text{Lopen: } I_{\text{tot}} (\%) = 87.7 - 12.46 * I_{\text{tot(staan)}}$$

Waarbij $I_{\text{tot(staan)}}$ is uitgedrukt in clo.

Voor I_{cl} en I_{a} zijn minder data beschikbaar. Analyse levert:

$$\text{Zitten: } I_{\text{cl}} = 87\% * I_{\text{cl(staan)}} \text{ behalve voor overalensembles;}$$

$$\text{dan } I_{\text{cl}} = 64\% * I_{\text{cl(staan)}}.$$

$$I_{\text{a}} = 109\% * I_{\text{a(staan)}}$$

$$\text{fietsen: } I_{\text{cl}} = 65\% * I_{\text{cl(staan)}}$$

$$I_{\text{a}} = 84\% * I_{\text{a(staan)}}$$

$$\text{lopen: } I_{\text{cl}} (\%) = 90.4 - 20.2 * I_{\text{cl(staan)}}$$

$$I_{\text{a}} = 67\% * I_{\text{a(staan)}}$$

De loopsnelheid heeft een duidelijk effect op de isolatie: de totale isolatie neemt af met 35% per m/s loopsnelheid bij I_{tot} waarden rond 1.8 clo. Voor I_{cl} en I_{a} is dit resp. 30 en 34%. Combinatie met de formules voor loopeffect vs. isolatie levert:

$$I_{\text{tot}} (\%) = 100 - (12.3 + 12.46 * I_{\text{tot(staan)}}) * \text{loopsnelheid}$$

$$I_{\text{cl(lopen)}} (\%) = 100 - (9.6 + 20.2 * I_{\text{cl(staan)}}) * \text{loopsnelheid}$$

$$I_{\text{a(lopen)}} (\%) = 100 - 34. * \text{loopsnelheid}$$

Het effect van wind is niet duidelijk afhankelijk van de rust-isolatie. Het windeffect op de warmte-overdrachtscoëfficiënt ($1/I_{\text{tot}}$) is lineair afhankelijk van de wortel uit de windsnelheid. Bij de gebruikte windsnelheid (4 m/s) en de geteste overalls treedt geen doorblaaseffect van de kledingmaterialen op. De regressievergelijking voor de correctie voor wind (windsnelheid relatief ten opzichte van persoon; loopsnelheid erin betrekken) na de correctie voor houding en beweging luidt:

$$\text{Wind: } I_{\text{tot}} (\%) = 10^4 / (94.9 + 29.65 * \sqrt{\text{wind}})$$

$$I_{\text{cl}} (\%) = 10^4 / (95.9 + 8.1 * \sqrt{\text{wind}})$$

$$I_{\text{a}} (\%) = 10^4 / (27.4 + 152 * \sqrt{\text{wind}})$$

De aanhangende luchtlaag wordt het sterkst beïnvloed door wind; de intrinsieke kledingisolatie het sterkst door beweging.

Beweging heeft een gelijksoortig effect op de warmte- als op de vochtweerstand van permeabele kleding. Wind daarentegen heeft een grotere invloed op het vochttransport dan op het warmtetransport en werkt sterker op het transport via de openingen van de kleding dan op het transport door de kleding. Dit effect wordt derhalve sterker naarmate de permeabiliteit van de kleding afneemt.

Bij een strakke pasvorm is het effect van beweging minder dan bij een ruime pasvorm, door de kleinere ingesloten luchtlaag in het eerste geval. Het effect van wind wordt door de pasvorm slechts minimaal beïnvloed. Wind beïnvloedt de ingesloten luchtlaag minder dan beweging.

Overalls verlagen bij zitten de isolatie ten opzichte van tweedelige kleding door het effect van de spanning van de stof op de onderliggende kleding.

REFERENTIES

- Belding, H.S., Russel, H.D., Darling, R.C. en Folk, G.E. (1947). Analysis of factors concerned in maintaining energy balance for dressed men in extreme cold: Effects of activity on the protective value and comfort of an arctic uniform. *American Journal of Physiology*, 149, 223-239.
- Breckenridge, J.R. en Goldman, R.F. (1977). Effect of clothing on bodily resistance against meteorological stimuli, in: *Progress in human biometeorology*, Ed. J.F.Tromp, (Amsterdam: Sweits en Zeitlinger), pag. 194-208.
- Burton, A.C. en Edholm, O.G. (1955). *Man in a Cold Environment*. London, Edward Arnold Publ.
- Cox, C.W.J. (1987). Een inventarisatiemethode voor klimaatomstandigheden in bedrijven: opstelling van de methode en evaluatie van de beproeving. Rapport MT-TNO R87/197a.
- DuBois, D. en DuBois, E.F. (1915). The measurement of the surface area of man, *Archives of internal medicine* 15, 868-881.
- Fanger, P.O. (1970). *Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Mc. Graw-Hill, New York.
- Fonseca, G.F. en Breckenridge, J.R. (1965). Wind penetration through fabric systems. Part I. *Textile Research Journal*, 35, 95-103.
- Gagge, A.P., Burton, A.C. en Bazett, H.C. (1941). A practical system of units for the description of heat exchange in man with his thermal environment. *Science*, 94, 428-430.
- Havenith, G. (1987). Bepaling van kledingsisolatie en metabolisme op de werkplek. Rapport Instituut voor Zintuigfysiologie, IZF 1987 C-16.
- Havenith, G. en Middendorp, H. van (1985). Thermische eigenschappen van het gevechtsskledingsysteem uit de PSU-80, rapport Instituut voor Zintuigfysiologie IZF 1985 C-21.
- Holmér, I. and Elnäs, S. (1981). Physiological evaluation of the resistance to evaporative heat transfer by clothing. *Ergonomics*, Vol. 24, No. 1, 63-74.
- ISO DP9920 (1988). Estimation of the thermal characteristics of a clothing ensemble.
- Linde, F.J.G. van de en Lotens, W.A. (1982). Een vergelijking van twee typen koudweerkleding: Thermische eigenschappen en toepasbaarheid, rapport Instituut voor Zintuigfysiologie IZF 1982-20
- Lotens, W.A. (1988). The actual insulation of multilayer clothing, (Accepted by *Scand. J. Work Envir. Health*).
- Lotens, W.A. en Havenith, G. (1988). Ventilation of rainwear determined by a trace gas method. In: *Environmental Ergonomics*, Mekjavics, Bannister, Morrison Eds. Taylor and Francis, London.

- Lotens, W.A., Havenith, G. en Wammes, L.J.A. (1988). Prediction of thermal discomfort of CW-assemblies based on fabric measurements; rapport Instituut voor Zintuigfysiologie, IZF 1988 C-13.
- McCullough, E.A., Jones, B.W. en Huck, P.E.J. (1985). A Comprehensive database for estimating clothing insulation. ASHRAE Trans. 91, 2A, 29-47.
- Nielsen, R., Olesen, B.W. en Fanger, P.O. (1985). Effect of physical activity and air velocity on the thermal insulation of clothing. Ergonomics 28, 1617-1632.
- Nishi, Y., Gonzales, R.R., en Gagge, A.P. (1975). Direct measurements of clothing heat transfer properties during sensible and insensible heat exchange with thermal environment. ASHRAE Trans. 81, 183-199.
- Olesen, B.W., Sliwinska, E., Madsen, T.L. en Fanger, P.O. (1982). Effect of body posture and activity on the thermal insulation of clothing: measurements by a movable thermal manikin. ASHRAE Trans. 88, 791-805.
- Seppanen, O., McNall, P.E., Munson, D.M. en Sprague, C.H. (1972). Thermal insulating values for typical indoor clothing ensembles. ASHRAE Trans. 78, 120-130.
- Umbach, K.H. (1988). Physiological tests and evaluation models for the optimization of the performance of protective clothing, In: Environmental Ergonomics, p. 139-161, Mekjavics, Bannister, Morrison Eds. Taylor and Francis, London.
- Vogt, J.J., Meyer, J.P., Candas, V., Libert, J.P. en Sagot, J.C. (1983). Pumping effects on thermal insulation of clothing worn by human subjects. Ergonomics, 26, 963-974.

APPENDIX I

Toepassingsvoorbeeld

Voor de toepassing van de in dit rapport gepresenteerde resultaten zijn hieronder een tweetal voorbeelden uitgewerkt. Voor toepassing in bijv. het model van Fanger moet de I_{cl} waarde berekend worden, daar dit model zelf rekening houdt met veranderingen in I_a .

Vraag: iemand zit achter een machine in kleding X. De windsnelheid bedraagt 1.5 m/s. Wat is zijn werkelijk kledingisolatie?

Oplossing: Bepaal de rustisolatie van de kleding op een van de volgende manieren (in volgorde van nauwkeurigheid): 1. op een manikin, 2. met formules op basis van kledinggewicht en bedekt lichaamsoppervlak of 3. op basis van tabellen met voorbeelden van kledingisolaties. (Havenith, 1987)

Stel resultaat: $I_{tot} = \underline{1.8 \text{ clo}}$

Bereken nu het effect van zitten:

$$I_{tot}(\%) = 127.7 - 21.8 * I_{tot}(\text{staan}) = 127.7 - 21.8 * 1.8 = 88.5\%$$

$$\text{Dus } I_{tot}(\text{zit}) = .885 * 1.8 \text{ clo} = \underline{1.59 \text{ clo}}.$$

Verreken vervolgens het effect van de 1.5 m/s wind:

$$I_{tot}(\%) = 10^4 / (94.9 + 29.65 * \sqrt{\text{windsnelheid}}) = 76 \%$$

Dus de werkelijke isolatie ten gevolge van zitten en wind bedraagt:

$$I_{tot} = .76 * 1.59 = \underline{1.21 \text{ clo}}$$

Vraag: iemand loopt zeer langzaam (1.1 km/uur) bij .4 m/s wind van voren. Wat is zijn werkelijke intrinsieke kledingisolatie?

Antwoord: Bepaal de intrinsieke isolatie in rust (Havenith, 1987).

Stel resultaat .7 clo.

Verreken het effect van loopsnelheid:

$$I_{cl}(\text{lopen}) = 100 - (9.6 + 20.2 * I_{cl}(\text{staan})) * \text{loopsnelheid} = 100 - (9.6 + 20.2 * .7) * .3 = 93\%$$

$$\text{dus } I_{cl}(\text{lopen}) = .93 * .7 = \underline{.65 \text{ clo}}.$$

Verreken het effect van wind:

windsnelheid effectief = 1.1 km/uur t.g.v. lopen + .4 t.g.v. wind = .7 m/s.

$$I_{cl}(\%) = 10^4 / (95.9 + 8.1 * \sqrt{\text{windsnelheid}}) = 97\%$$

Dus de werkelijke intrinsieke isolatie bedraagt:

$$I_{cl} = .99 * .65 = \underline{.64 \text{ clo}}$$

Noot: De windsnelheid dient altijd ten opzichte van de persoon berekend te worden, dus loopsnelheid en windrichting verwerken!

APPENDIX II

Tabel I Gemiddelde temperatuur en warmtebalansgegevens per meetconfiguratie. (z)it, (s)taan, (l)angzaam lopen, (h)arder lopen; wind 0 = < .05 m/s, 1 = .7 m/s; 2 = 4.1 m/s.

Pak	Houd	Wi	T _{omg} (°C)	T _{plast} (°C)	T _{pakA} (°C)	T _{pakBC} (°C)	METAB (W/m ²)	DRY (W/m ²)
A	z	0	22.8	32.1	27.9		56.6	52.1
		1	23.0	30.9	26.6		52.9	51.8
	s	0	22.9	31.6	27.3		56.6	45.9
		1	22.7	31.0	26.0		59.0	52.0
	2	2	22.9	29.2	24.7		62.8	51.0
		0	17.0	29.1	22.5		88.2	75.2
	1	1	17.0	28.0	20.8		88.3	78.5
		2	16.3	25.4	18.4		100.3	83.4
	h	0	10.5	27.4	18.8		126.7	107.9
		1	10.5	25.9	16.4		131.3	117.5
	2	16.1	25.4	18.2		144.4	106.2	
	B	z	0	23.0	32.5	29.7	27.9	52.1
1			23.0	31.7	28.4	26.4	52.7	51.2
s		0	17.0	30.3	26.0	22.1	61.3	53.7
		1	22.9	31.7	28.0	25.6	57.4	47.8
2		2	22.9	30.5	26.6	24.4	59.6	49.3
		0	14.0	30.0	24.8	20.1	92.3	72.3
1		1	14.0	29.3	23.1	18.3	92.2	80.6
		2	17.0	27.9	22.5	18.9	99.1	78.4
h		0	10.5	29.8	22.9	17.7	128.5	109.2
		1	10.5	27.2	20.1	15.0	135.3	112.8
2		10.5	25.7	17.6	13.0	150.5	130.2	
C		z	0	23.1	32.8	30.1	28.2	52.4
	1		23.1	31.8	28.9	26.6	52.4	49.5
	s	0	17.0	30.5	26.4	22.5	56.8	51.4
		1	23.0	32.2	29.0	26.3	59.0	43.5
	2	2	23.1	31.1	27.1	24.6	57.9	49.8
		0	14.4	29.9	25.0	20.6	89.6	69.4
	1	1	14.4	28.9	23.4	18.7	95.8	78.5
		2	17.0	28.6	22.9	18.8	95.2	78.9
	h	0	10.5	29.7	22.8	17.9	129.2	105.3
		1	10.5	26.8	19.8	15.2	133.1	111.6
	2	10.5	25.9	18.0	13.2	151.9	127.3	

Tabel II Gemiddelde absolute en relatieve isolatiewaarden per meetconfiguratie met de bijbehorende standaarddeviatie over alle proefpersonen. (m)anikin, (z)it, (s)taan, (l)angzaam lopen, (h)arder lopen; wind 0 = < .05 m/s, 1 = .7 m/s; 2 = 4.1 m/s.

Fak	Ho	Wi	I_{tot}		I_{cl}		I_a		1	2	3	
			(m^2 K/W)	(clo)	(m^2 K/W)	(clo)	(m^2 K/W)	(clo)				(%)
A	m		.228	1.47	.134	0.87	.113	0.73				
		z	0	.181±.031	1.17±0.20	.082±.015	0.53±0.10	.125±.024	0.81±0.16	96	87	105
		1	.153±.011	0.99±0.07	.084±.014	0.54±0.09	.086±.006	0.56±0.04	81	77	72	
	s	0	.189±.017	1.22±0.11	.094±.014	0.61±0.09	.119±.028	0.77±0.18	100	100	100	
		1	.161±.020	1.04±0.13	.095±.016	0.62±0.10	.083±.024	0.53±0.15	85	102	70	
		2	.124±.011	0.80±0.08	.088±.011	0.57±0.07	.045±.007	0.30±0.05	66	94	38	
	l	0	.163±.015	1.05±0.10	.089±.016	0.58±0.10	.093±.009	0.60±0.06	86	94	78	
		1	.141±.012	0.91±0.08	.092±.014	0.60±0.09	.061±.008	0.40±0.05	75	98	51	
		2	.110±.010	0.71±0.06	.085±.012	0.55±0.08	.032±.005	0.21±0.03	58	90	27	
	h	0	.156±.011	1.01±0.07	.079±.005	0.51±0.03	.097±.011	0.63±0.08	82	85	82	
		1	.131±.008	0.85±0.05	.080±.008	0.52±0.05	.063±.009	0.41±0.06	69	86	53	
		2	.088±.005	0.57±0.03	.068±.005	0.44±0.03	.026±.006	0.17±0.04	47	72	22	
	B	m		.273	1.76	.184	1.19	.113	0.73			
			z	0	.205±.008	1.33±0.05	.100±.010	0.65±0.07	.134±.012	0.86±0.08	83	65
		1	.170±.011	1.10±0.07	.104±.011	0.67±0.08	.084±.010	0.54±0.07	68	68	71	
s		0	.250±.025	1.61±0.16	.156±.027	1.00±0.18	.120±.017	0.77±0.11	100	100	100	
		1	.184±.015	1.19±0.10	.128±.009	0.83±0.06	.071±.018	0.46±0.12	74	83	60	
		2	.155±.018	1.00±0.12	.125±.021	0.81±0.13	.037±.004	0.24±0.03	62	81	32	
l		0	.223±.027	1.44±0.18	.139±.025	0.90±0.16	.107±.018	0.69±0.12	89	90	89	
		1	.190±.014	1.23±0.09	.137±.014	0.89±0.09	.067±.010	0.43±0.07	76	89	56	
		2	.139±.007	0.90±0.04	.115±.009	0.75±0.06	.030±.007	0.20±0.05	56	75	25	
h		0	.177±.014	1.15±0.09	.112±.016	0.72±0.10	.083±.010	0.53±0.07	69	70	67	
		1	.148±.009	0.96±0.06	.108±.009	0.70±0.06	.051±.012	0.33±0.08	60	71	43	
		2	.118±.008	0.76±0.05	.098±.007	0.63±0.05	.025±.006	0.16±0.04	48	65	20	
C		m		.281	1.81	.198	1.28	.113	0.73			
			z	0	.215±.016	1.39±0.11	.101±.013	0.65±0.09	.156±.026	1.01±0.17	82	64
		1	.178±.011	1.15±0.07	.106±.014	0.68±0.09	.099±.010	0.64±0.07	68	67	67	
	s	0	.266±.030	1.72±0.20	.158±.024	1.02±0.16	.147±.025	0.95±0.16	100	100	100	
		1	.215±.032	1.39±0.21	.140±.029	0.90±0.19	.103±.018	0.66±0.12	81	88	70	
		2	.164±.023	1.06±0.15	.132±.021	0.85±0.14	.043±.009	0.28±0.06	60	82	30	
	l	0	.224±.008	1.44±0.05	.134±.013	0.87±0.09	.122±.020	0.79±0.13	85	86	84	
		1	.186±.017	1.20±0.11	.131±.014	0.85±0.10	.075±.012	0.49±0.08	71	83	52	
		2	.149±.018	0.96±0.11	.126±.016	0.81±0.10	.031±.010	0.20±0.06	57	81	21	
	h	0	.183±.018	1.18±0.11	.112±.013	0.73±0.08	.096±.020	0.62±0.13	68	71	65	
		1	.149±.013	0.96±0.09	.107±.010	0.69±0.07	.058±.009	0.37±0.06	56	67	39	
		2	.122±.012	0.78±0.08	.100±.009	0.65±0.06	.029±.006	0.18±0.04	46	64	20	

1, 2, 3 resp. I_{tot} % I_{cl} % I_a %

Tabel III Statistische verschillen tussen meetconfiguraties voor I_{tot} , I_{cl} en I_a . Doorgetrokken lijnen verbinden meetsituaties waarvan resultaat niet significant verschilt. Stippellijnen verbinden significante verschillen met $.01 < P < .05$. Afwezigheid van lijn duidt op $P < .01$.

Pak A, windeffecten op I_{tot} : alle effecten $P < .005$

Pak A, houdingeffecten op I_{tot} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	
S	[x	[x	x
L	[x	[x	x
H	[x	[x	x

Pak B, windeffecten op I_{tot} : alle effecten $P < .005$

Pak B, houdingeffecten op I_{tot} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	
S	[x	[x	x
L	[x	[x	x
H	x	x	x

Pak C, windeffecten op I_{tot} : alle effecten $P < .005$

Pak C, houdingeffecten op I_{tot} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak A, windeffecten op I_{cl} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak A, houdingeffecten op I_{cl} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak B, windéffecten op I_{cl} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak B, houdingeffecten op I_{cl} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak C, windeffecten op I_{cl} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak C, houdingeffecten op I_{cl} :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	
S	[x	[x	[x
L	[x	[x	[x
H	[x	[x	x

Pak A, windeffecten op I_a : alle effecten $P < .01$

Pak A, houdingeffecten op I_a :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	
S	[x	[x	x
L	[x	[x	[x
H	[x	[x	[x

Pak B, windeffecten op I_a : alle effecten $P < .01$

Pak B, houdingeffecten op I_a :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	x
S	[x	[x	x
L	[x	[x	x
H	x	[x	x

Pak C, windeffecten op I_a : alle effecten $P < .001$

Pak C, houdingeffecten op I_a :

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	
S	[x	[x	x
L	[x	[x	[x
H	[x	[x	[x

Pak A, windeffecten op $I_{\text{onderkleding}}$: zie pak A I_{c1} .

Pak B, windeffecten op $I_{\text{onderkleding}}$:

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak B, houdingeffecten op $I_{\text{onderkleding}}$:

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	[x	[x	
S	[x	[x	[x
L	[x	[x	[x
H	[x	[x	x

Pak C, windeffecten op I_{onderkleding}:

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x

Pak C, houdingeffecten op I_{onderkleding}:

Wind:	0	1	2
Houding:			
Z	x	x	
S	x	x	x
L	x	x	x
H	x	x	x



Uitgave van het Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Balen van Andelplein 2, 2273 KH Voorburg