



Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

www.tno.nl

T +31 34 635 62 11
F +31 34 635 39 77
info-DenV@tno.nl

TNO-rapport

TNO-DV 2007 A521

**Tweede serie ergonomietests
lichtgewicht bommenpakken**

Datum	december 2007
Auteur(s)	ing. J.A. Kistemaker
Rubricering rapport	Ongerubriceerd
Vastgesteld door	drs. H. Jager
Vastgesteld d.d.	29 oktober 2007
Titel	Ongerubriceerd
Managementuittreksel	Ongerubriceerd
Samenvatting	Ongerubriceerd
Rapporttekst	Ongerubriceerd
Bijlagen	Ongerubriceerd
Exemplaarnummer	7
Oplage	11
Aantal pagina's	26 (incl. bijlage, excl. RDP & distributielijst)
Aantal bijlagen	1

20080522180

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht van het ministerie van Defensie werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van de opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de 'Modelvoorwaarden voor Onderzoeks- en Ontwikkelingsopdrachten' (MVDT 1997) tussen de minister van Defensie en TNO indien deze op de opdracht van toepassing zijn verklaard dan wel de betreffende ter zake tussen partijen gesloten overeenkomst.

© 2007 TNO

AQ F08-08-05962

Tweede serie ergonomietests lichtgewicht bommenpakken

Ergonomie en warmtebelasting van lichte bommenpakken bij 30 °C.



Probleemstelling

Het KPU-bedrijf heeft in 2004 lichtgewicht bommenpakken aangeschaft die vooral door de mineurs gebruikt worden. Bij de aanbesteding konden geen eisen ten aanzien van ergonomie worden gesteld, omdat de ergonomie van lichtgewicht bommenpakken in de afgelopen jaren niet volgens een vast protocol is beproefd. Bij toekomstige aanschaf van nieuwe lichte bommenpakken zou het KPU-bedrijf graag eisen ten aanzien van ergonomie en warmtebelasting willen stellen. TNO is

gevraagd geschikte ergonomie- en warmtebelastingtests vast te stellen en referentiewaarden te bepalen door het uitvoeren van een drietal testseries. Dit rapport behandelt de tweede serie tests om ergonomie- en warmtebelastingtests vast te stellen.

Beschrijving van de werkzaamheden

Door acht proefpersonen zijn de lichte bommenpakken getest in een klimaatkamer van 30 °C. De bewegingsbeperking is met een aantal tests gemeten en de proefpersonen hebben gedurende een halfuur gesimuleerde werkzaamheden van de mineurs uitgevoerd. Daarbij zijn enkele fysiologische gegevens gemeten om onder andere de warmtebelasting te kunnen bepalen.

Resultaten en conclusies

Het uitvoeren van de werkzaamheden van de mineurs in het lichte bommenpak bij 30 °C is fysiek zwaarder dan werken in het basisgevechtstenu, maar de warmtebelasting is laag.

De aanbevelingen uit de eerste serie tests, die doorgevoerd zijn bij de tweede serie tests, geven een uitbreiding van de tests en een betere registratie van de gegevens.

De tests bestaan uit gesimuleerde werktaken (wandelen, prikken met een munitieprikstok, wegscheppen van kleine voorwerpen, markeren van een explosief met een

spuitbus) en uit bewegingsbeperkingtests (sit-and-reach, stand-and-reach, abductie van de armen, anteflexie van de armen, zicht tot aan de voeten).

Voor de derde serie tests zullen de uitgevoerde tests blijven gehandhaafd, maar zal bij een hogere temperatuur worden getest om een waarneembare stijging van de warmtebelasting te krijgen.

Toepasbaarheid

Met de resultaten van de tweede serie ergonomie- en warmtebelastingtests is de definitieve vorm van het testen van lichte bommenpakken vastgelegd. Dit zal worden toegepast in de derde serie tests waarbij referentiewaarden vastgelegd gaan worden.

**Tweede serie ergonomietests
lichtgewicht bommenpakken**
Contact en rapportinformatie

PROGRAMMA	PROJECT
Programmabegeleider N.v.t.	Projectbegeleider R.Gunters, KPU-bedrijf
Programmaleider N.v.t.	Projectleider J.A. Kistemaker, TNO Defensie en Veiligheid
Programmatitel N.v.t.	Projecttitel Ontwikkeling ergonomische testen lichtgewicht bommenpakken
Programmanummer N.v.t.	Projectnummer 013.14457.01.01
Programmaplanning Start N.v.t. Gereed N.v.t.	Projectplanning Start november 2004 Gereed september 2007
Frequentie van overleg Met de programma/projectbegeleider werd 4 maal gesproken over de invulling en de voortgang van het onderzoek.	Projectteam ing. J.A. Kistemaker, ing. T.K. Tan, M.G.M. Weghorst

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg

T +31 34 635 62 11
F +31 34 635 39 77

info-DenV@tno.nl

TNO-rapportnummer
TNO-DV 2007 A521

Opdrachtnummer
-

Datum
december 2007

Auteur(s)
ing. J.A. Kistemaker

Rubricering rapport
Ongerubriceerd

Inhoudsopgave

	Managementuittreksel.....	2
1	Inleiding.....	5
2	Materialen en meetmethoden	6
2.1	Werkzaamheden mineurs	6
2.2	Bewegingbeperkingtests	8
2.3	Algemene test	11
2.4	Metingen.....	11
2.5	Vragenlijst	12
2.6	Proefpersonen	12
2.7	Kleding	12
2.8	Protocol	12
2.9	Analyses	13
3	Resultaten.....	14
3.1	Gesimuleerde werktaken.....	14
3.2	Bewegingbeperkingtests	19
3.3	Algemene test	20
4	Discussie	21
5	Conclusies en aanbevelingen	23
6	Referenties.....	24
7	Ondertekening	25
	Bijlage(n)	
	A Bijlage 1	

1 Inleiding

Het KPU-bedrijf heeft in 2004 lichtgewicht bommenpakken (Med-Eng LDE) aangeschaft. De lichte bommenpakken worden gedragen door de mineurs van de genie (KL) en zullen ook door de medewerkers van de explosieve opruimingsdienst (EOD) van de KL en de KLu gebruikt gaan worden. De lichte bommenpakken zijn lichter in gewicht dan de zware bommenpakken (± 17 kg vs. ± 35 kg), maar bieden minder bescherming. Het zware bommenpak biedt bescherming tegen zwaardere typen explosieven en het beschermt het volledige lichaam. Het type werkzaamheden dat in een licht en een zwaar bommenpak kan worden verricht verschilt dan ook van elkaar. Het zware bommenpak wordt over het algemeen gedragen als een ongeïdentificeerd explosief is gevonden dat verplaatst of onklaar gemaakt moet worden. In de andere gevallen (bijvoorbeeld het opsporen van explosieven) wordt over het algemeen het lichte bommenpak gedragen.

De ergonomie van lichte bommenpakken is in de afgelopen jaren niet volgens een vast protocol beproefd, waardoor er bij de aanbesteding geen eisen ten aanzien van ergonomie konden worden opgegeven. Het KPU-bedrijf heeft TNO gevraagd om ergonometests en warmtebelastingtests vast te stellen en uit te voeren met de nieuw aangeschafte lichte bommenpakken, zodat referentiewaarden ten aanzien van ergonomie kunnen worden bepaald. Bij toekomstige aanschaf van nieuwe lichte bommenpakken zijn dan eisen aan ergonomie en warmtebelasting te stellen.

Binnen dit project zullen meerdere series tests worden uitgevoerd om tot definitieve ergonomie- en warmtebelastingtests te komen en om referentiewaarden te kunnen bepalen. Met het KPU-bedrijf is afgesproken dat de eerste twee serie tests bedoeld zijn om de definitieve tests vast te leggen en dat daarna een derde serie tests wordt uitgevoerd met de definitieve tests om de referentiewaarden te bepalen. Van de eerste serie ergonometests is een rapport verschenen (Kistemaker, 2006) waarin enkele ergonometests zijn vastgesteld. Daaruit zijn enkele aanbevelingen naar voren gekomen die in deze tweede serie tests zijn toegepast. Dit rapport behandelt de resultaten van de tweede serie tests. Bij de derde serie tests zullen de referentiewaarden met de definitieve ergonomie- en warmtebelastingtests worden vastgelegd.

2 Materialen en meetmethoden

Uit de eerste serie ergonometests kan geconcludeerd worden dat de meeste uitgevoerde ergonometests goed geschikt zijn om referentiewaarden van de ergonomie van de lichte bommenpakken te bepalen. Op enkele punten worden aanpassingen of verbeteringen voorgesteld die bij de tweede serie tests zijn doorgevoerd. Bij de tweede serie tests zijn onder andere de volgende aanpassingen gedaan: de stand-and-reach test is toegevoegd, de ontvanger van de hartslagfrequentie is tijdens het dragen van het lichte bommenpak op een andere plaats op het lichaam geplaatst om een goede registratie te ontvangen, de gesimuleerde werktaken worden door iedere proefpersoon in dezelfde volgorde uitgevoerd. Bij de eerste serie tests is de warmtebelasting niet bepaald. Bij de tweede serie tests zal de warmtebelasting bij 30 °C worden bepaald.

Bij de eerste serie tests zijn de uitgevoerde tests beschreven. Voor de volledigheid van dit rapport worden de uitgevoerde tests hieronder nogmaals beschreven.

2.1 Werkzaamheden mineurs

De belangrijkste werkzaamheden van de mineurs worden bij de ergonometests gesimuleerd door onder andere gebruik te maken van een lopende band en een Worksimulator.

Met de Worksimulator kunnen verschillende arm- en beenbewegingen worden gesimuleerd en repeterend worden uitgevoerd. De gesimuleerde werkzaamheden zijn:

- wandelen;
- prikken met een munitieprikstok;
- markeren van een explosief met een spuitbus en
- wegscheppen van de grond.

In de praktijk worden de lichte bommenpakken nooit langer dan 30 minuten gedragen en zal de fysieke inspanning laag zijn.

Het wandelen is gesimuleerd door proefpersonen driemaal vier minuten op de lopende band te laten lopen (3 km/uur).

De werkzaamheden met een munitieprikstok zijn gesimuleerd door proefpersonen te laten prikken met een stok die via een elastiek aan een vast punt bevestigd zat.

De proefpersoon lag op de buik en tikte vier minuten met de stok op vastgestelde plaatsen op de grond, waarbij de stok werd vastgehouden als een steekmes (figuur 1). Door het elastiek moest er lichte kracht worden geleverd om met de stok op de grond te tikken.



Figuur 1 Simulatie van het prikken met een munitieprikstok.

Het markeren van een explosief met een spuitbus is gesimuleerd door met de rechter hand een wiel, bevestigd op de Worksimulator, rond te draaien. De proefpersoon zat geknield op één knie en voerde de taak vier minuten uit. Aan het wiel zat een staaf bevestigd, die net zo werd vastgehouden als een spuitbus (figuur 2). De Worksimulator was zo ingesteld dat lichte kracht moest worden geleverd om het wiel rond te kunnen draaien.



Figuur 2 Simulatie van het markeren van een explosief met een spuitbus.

Het scheppen werd gesimuleerd door vier minuten met een schepje houten blokjes op te pakken en boven een bak om te keren (figuur 3). Het gewicht van de blokjes was zo dat lichte kracht moesten worden geleverd om de blokjes te tillen.



Figuur 3 Simulatie van het scheppen.

2.2 Bewegingbeperkingtests

De belemmeringen die de lichte bommenpakken kunnen geven bij bewegingen worden gemeten met de volgende bewegingbeperkingtests: sit-and-reach, stand-and-reach, abductie van de armen, anteflexie van de armen en beperking van zicht.

Bij de sit-and-reach test komt een eventuele belemmering bij het voorover buigen naar voren. De proefpersoon zit op de grond met de benen en armen gestrekt naar voren.

Daarbij wordt de afstand tussen de tenen en de vingers gemeten (figuur 4). Als het pak een beperking in de beweging geeft kan men de vingers minder ver reiken in vergelijking met een situatie zonder belemmerende kleding.



Figuur 4 De sit-and-reach test.

Ook bij de stand-and-reach test komt een eventuele belemmering bij het voorover buigen naar voren. De proefpersoon staat met één gestrekt been op een vlakke ondergrond en met het andere been gebogen op de rand van een tafel en houdt de armen zo ver mogelijk gestrekt naar voren op tafel. Daarbij wordt de afstand vanaf de rand van de tafel tot aan de vingers gemeten (figuur 5). Als het pak een beperking in de beweging geeft kan men de vingers minder ver reiken in vergelijking met een situatie zonder belemmerende kleding.

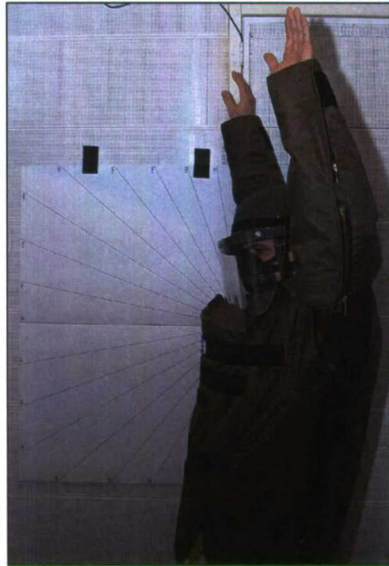


Figuur 5 De stand-and-reach test.

Een eventuele bewegingsbeperking van de armen wordt gemeten door de gestrekte armen vanuit de zij zo ver mogelijk boven het hoofd te brengen en daarbij de hoek te meten tot waar de armen kunnen worden gebogen. De meting wordt eenmaal gedaan door de armen zijwaarts naar boven te bewegen (abductie) en eenmaal door de armen voorwaarts naar boven te bewegen (anteflexie). Dit wordt weergegeven in figuur 6 en figuur 7.



Figuur 6 De abductie test.



Figuur 7 De anteflexie test.

Door de kleding kan een beperking van het gezichtsveld ontstaan naar onder andere de grond. Dit kan een beperking bij het lopen en het afspeuren van de weg betekenen. Om deze beperking te meten is een lat tussen de voeten op de grond gelegd en is de afstand gemeten vanaf de hak van de voeten tot waar de lat voor de proefpersoon weer zichtbaar werd (figuur 8). Hoe minder beperking van het zicht hoe dichterbij kan worden waargenomen.



Figuur 8 De zicht test.

2.3 Algemene test

De aan- en uittrektijden worden gemeten om een indicatie te krijgen over de tijd die daarvoor nodig is. De pakken worden gewoonlijk aangetrokken met hulp van een collega. Bij het meten van de aan- en uittrektijden zijn de proefpersonen geholpen door een proefleider, waarbij de pakken zo snel mogelijk werden aangetrokken of zo snel mogelijk werden uitgetrokken. Voordat de aan- en uittrektijd werd gemeten, werd het bommenpak eerst eenmaal aan- en uitgetrokken, zodat de proefpersoon wist in welke volgorde en op welke wijze het pak werd aan- of uitgetrokken.

2.4 Metingen

De bewegingbeperkingtests zijn uitgevoerd in een neutraal klimaat van ongeveer 22 °C. Daarna werden de gesimuleerde werktaken uitgevoerd in een warme klimaatkamer met een temperatuur van 30 °C en een luchtvochtigheid van 40%.

Tijdens de tests in de klimaatkamer zijn vier huidtemperaturen (nek, rechter schouderblad, rechter scheenbeen, linker hand) en de kerntemperatuur gemeten. De huidtemperaturen zijn iedere minuut gemeten met I-buttons (kleine draadloze temperatuursensoren) en de kerntemperatuur is iedere 15 seconden gemeten met een rectaalsensor (YSI).

De gemiddelde huidtemperatuur is berekend aan de hand van de volgende formule (ISO 9886, 2000):

$$T_{\text{huid}} = 0,28 * T_{\text{nek}} + 0,28 * T_{\text{schouderblad}} + 0,28 * T_{\text{scheenbeen}} + 0,16 * T_{\text{hand}}$$

T_{huid}	= huidtemperatuur
T_{nek}	= temperatuur in de nek
$T_{\text{schouderblad}}$	= temperatuur op het schouderblad
$T_{\text{scheenbeen}}$	= temperatuur op het scheenbeen
T_{hand}	= temperatuur op de hand

Verder is de hartslagfrequentie (HR) iedere 15 seconden gemeten met een Polar S810i hartslagmeter en is de zuurstofopname (VO_2) met een Oxycon Pro gemeten.

De warmteproductie is berekend met de volgende formule (Garby & Astrup, 1987):

$$M = (4940 * \text{RER} + 16040) * \text{VO}_2 / 60$$

M	= warmteproductie (Watt)
RER	= respiratoir quotiënt (kooldioxideafgifte gedeeld door de zuurstofopname)
VO_2	= zuurstofopname (liters per minuut)

De warmteopslag is berekend met de volgende formule:

$$S = (\delta T_b * \text{Massa}_{\text{pp}} * 3,49) / \delta t$$

S	= warmteopslag (Watt)
δT_b	= verschil in lichaamstemperatuur, waarbij $T_b = 0,8 * \text{kerntemperatuur} + 0,2 * \text{huidtemperatuur}$
Massa_{pp}	= gewicht proefpersoon (gram)
δt	= meetperiode (seconde)

2.5 Vragenlijst

Na afloop van het uitvoeren van de tests is de proefpersonen gevraagd om de mate van fysiek ervaren last door het dragen van het pak aan te geven volgens de LEO-schaal (zie bijlage A). Op de LEO-schaal staat een lichaam afgebeeld dat is opgedeeld in gebieden. Per gebied kan volgens een schaal worden aangegeven of en hoeveel last ze hebben.

2.6 Proefpersonen

Aan de tests hebben 8 mannelijke proefpersonen deelgenomen. De proefpersonen zijn studenten uit het TNO proefpersonenbestand en hebben geen ervaring met het dragen van bommenpakken. Hun gemiddelde leeftijd was 24 jaar en lag tussen de 18 en de 30 jaar. De proefpersonen pasten in maat L van het bommenpak.

2.7 Kleding

Het geteste lichte bommenpak is het type Lightweight Demining Ensemble (LDE) van Med-Eng. Onder het lichte bommenpak werd het basisgevechtstenu (GVT) gedragen. Voor een deel van de testonderdelen is het van belang om de resultaten van de lichte bommenpakken te kunnen vergelijken met resultaten van niet of nauwelijks belemmerende kleding. Daarom zijn de tests ook uitgevoerd met alleen het GVT.

Bij het dragen van het lichte bommenpak werd ook de helm met vizier gedragen.

De proefpersonen droegen bij beide kledingcombinaties geen gevechtstenu laarzen, maar hun eigen sportschoenen. Het gemiddelde gewicht van het bommenpak (maat L) met vizier en helm was 20 kg. Het GVT woog gemiddeld 1,5 kg.

Om volgorde effecten te voorkomen heeft de helft van de proefpersonen de tests eerst uitgevoerd met het bommenpak en daarna met het basisgevechtstenu. De andere helft heeft de tests eerst uitgevoerd met het basisgevechtstenu en daarna met het bommenpak.

2.8 Protocol

Het uitvoeren van de tests met één kledingcombinatie duurde ongeveer 45 minuten.

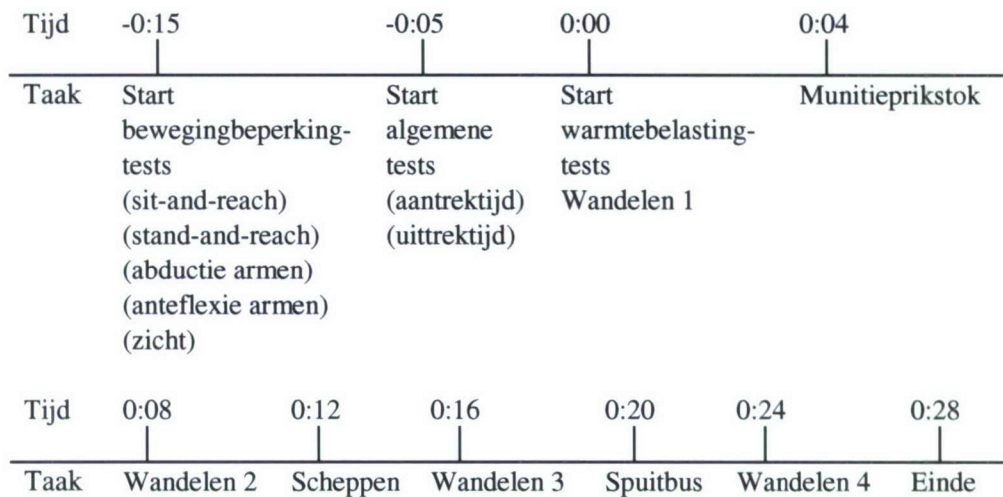
De proefpersonen begonnen met de bewegingsbeperkingstests in een ruimte van ongeveer 22 °C. Dit duurde ongeveer 15 minuten.

Daarna werden de gesimuleerde werktaken uitgevoerd in de klimaatkamer van 30 °C.

De taken werden in de volgende volgorde uitgevoerd: wandelen, prikken met een munitieprikstok, wandelen, scheppen met een schepje, wandelen, markeren van een explosief met een spuitbus, wandelen.

Iedere taak werd 4 minuten uitgevoerd, waardoor de totale tijd voor de gesimuleerde werktaken 28 minuten was. Aan het einde van de tests werd de proefpersonen gevraagd de vragenlijst in te vullen. In onderstaande tijdsbalk staat het gevolgde protocol schematisch weergegeven.

Tijdsbalk: Schematische tijdsweergave van het protocol.



2.9 Analyses

De data is geanalyseerd met het softwarepakket Statistica 7.1 en is getoetst met een ANOVA voor herhaalde metingen. Wanneer significanties werden gevonden werd met behulp van een Tukey HSD post hoc analyse gekeken welke condities van elkaar verschilden. Statistische significantie werd geaccepteerd bij $p < 0,05$. Er is getoetst op verschillen tussen en binnen de twee kledingcombinaties.

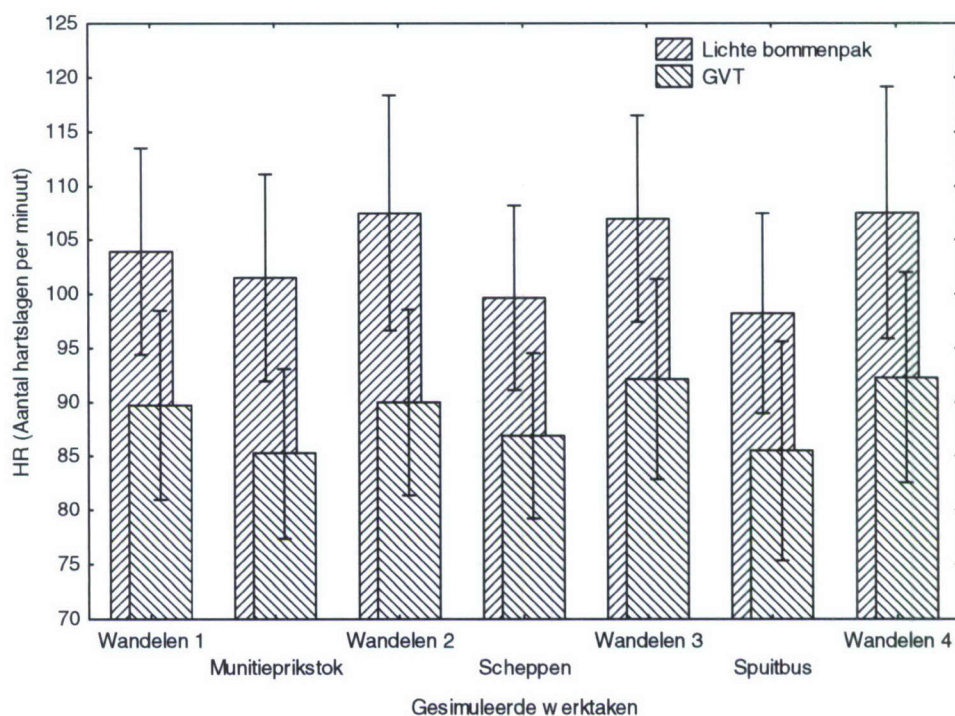
3 Resultaten

3.1 Gesimuleerde werktaken

3.1.1 Hartslagfrequentie

Voor iedere taak zijn de verschillen in hartslagfrequentie (HR) tussen de twee kledingcombinaties bepaald en de hartslagfrequentie is bij alle taken bij het dragen van het lichte bommenpak significant hoger dan bij het dragen van het GVT.

In figuur 9 staan de gemiddelde hartslagfrequenties weergegeven. De HR is tijdens het dragen van het lichte bommenpak gemiddeld 15 hartslagen per minuut hoger dan tijdens het dragen van het GVT. In de grafiek is het 95% betrouwbaarheidsinterval aangegeven. De HR zal met 95% zekerheid binnen dit gebied vallen. In tabel 1 staan de p-waarden van de significante verschillen voor de HR weergegeven samen met de verschillen in hartslagfrequenties.



Figuur 9 Gemiddelde hartslagfrequentie per minuut (HR) voor de verschillende gesimuleerde werktaken tijdens het dragen van het lichte bommenpak en het GVT. De hoogte van de balk geeft de gemiddelde HR aan voor een werktak. De verticale lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

Tabel 1 De p-waarden van de significante verschillen voor HR tussen het lichte bommenpak en het GVT en de verschillen in HR.

	p-waarde (lichte bommenpak versus GVT)	Verskil in HR	
		Aantal per minuut	Percentage t.o.v. lichte bommenpak
Eerste wandeltaak	0.0003	14	13%
Tweede wandeltaak	0.0003	17	16%
Derde wandeltaak	0.0002	15	14%
Vierde wandeltaak	0.0002	16	15%
Munitieprikstok	0.0003	17	17%
Scheppen	0.0003	13	13%
Spuitbus	0.001	13	13%

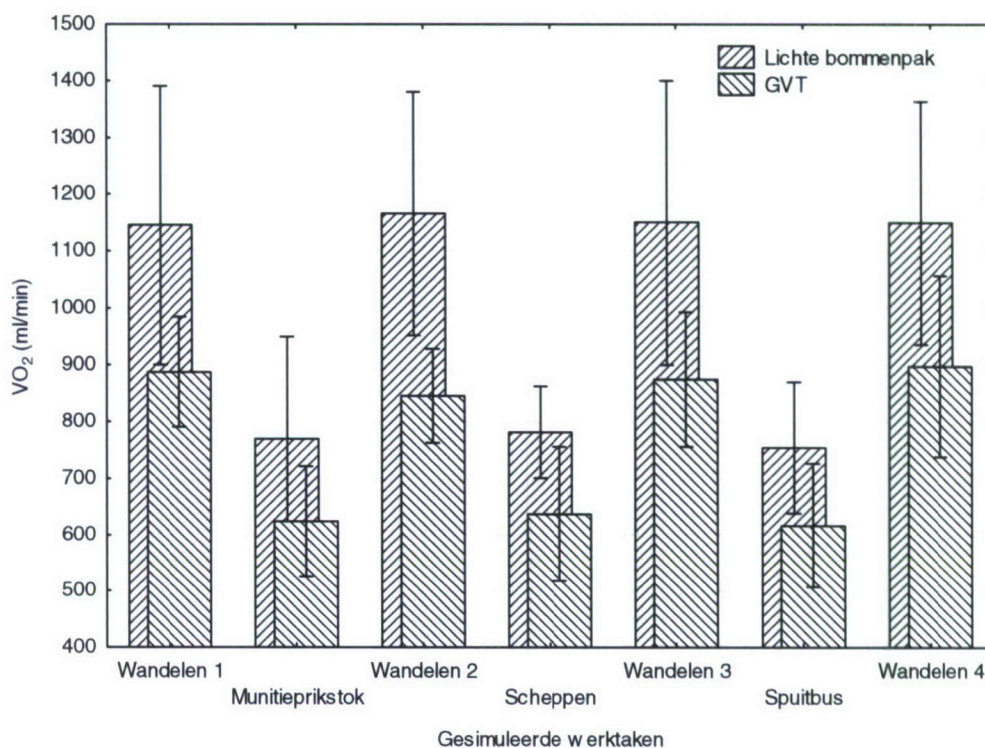
Bij het dragen van het lichte bommenpak zijn er tussen de wandeltaken geen significante verschillen gevonden en ook tussen de overige werktaken (munitieprikstok, scheppen en spuitbus) zijn geen significante verschillen gevonden. Ook bij het dragen van het GVT zijn geen significante verschillen tussen de wandeltaken gevonden en geen significante verschillen tussen de overige werktaken.

3.1.2 Zuurstofopname

In figuur 10 zijn de gemiddelde zuurstofopnames voor de verschillende gesimuleerde werktaken weergegeven voor het lichte bommenpak en voor het GVT. In de grafiek is het 95% betrouwbaarheidsinterval aangegeven. De zuurstofopname zal met 95% zekerheid binnen dit gebied vallen. In tabel 2 staan de p-waarden van de significante verschillen samen met de verschillen in zuurstofopname.

Het dragen van het lichte bommenpak geeft voor alle taken significant hogere zuurstofopnames dan het dragen van het GVT. De gemiddelde zuurstofopname ligt gemiddeld 280 ml/min hoger tijdens het wandelen in het lichte bommenpak.

Dit betekent een hogere warmteproductie van 92 W. Tijdens de overige werktaken ligt de zuurstofopname gemiddeld 140 ml/min hoger bij het lichte bommenpak, dat een hogere warmteproductie van 46 W geeft.



Figuur 10 Gemiddelde zuurstofopname (VO_2) per minuut voor de verschillende gesimuleerde werktaken voor het lichte bommenpak en het GVT. De hoogte van de balk geeft de gemiddelde zuurstofopname aan voor een werktak. De verticale lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

Tabel 2 De p-waarden van de significante verschillen voor zuurstofopname tussen het lichte bommenpak en het GVT en de verschillen in VO_2 .

	p-waarde (lichte bommenpak versus GVT)	Verschil in VO_2	
		Aantal per minuut	Percentage t.o.v. lichte bommenpak
Eerste wandeltaak	0.02	257	22%
Tweede wandeltaak	0.005	321	28%
Derde wandeltaak	0.02	276	24%
Vierde wandeltaak	0.03	252	22%
Munitiepriksok	0.03	146	19%
Scheppen	0.05	145	19%
Spuitbus	0.05	137	18%

Als de wandeltaken met elkaar worden vergeleken per kledingcombinatie dan zijn er geen significante verschillen tussen de wandeltaken. De warmteproductie tijdens het wandelen met het lichte bommenpak is 380 W en met het GVT 288 W. En als de overige werktaken (munitiepriksok, scheppen en spuitbus) met elkaar worden vergeleken per kledingcombinatie dan zijn er ook geen significante verschillen. De warmteproductie bij de overige werktaken met het lichte bommenpak is 247 W en met het GVT 201 W. Er zijn wel significante verschillen gevonden per kledingcombinatie tussen de wandeltaken en de overige werktaken, waarbij de zuurstofopname voor de wandeltaken hoger is. De zuurstofopname is gemiddeld 380 ml/min hoger bij het lichte bommenpak en

gemiddeld 250 ml/min hoger bij het GVT. In tabel 3 en 4 staan de p-waarden van de significante verschillen.

Tabel 3 De p-waarden van de significante verschillen voor zuurstofopname tijdens het dragen van het lichte bommenpak.

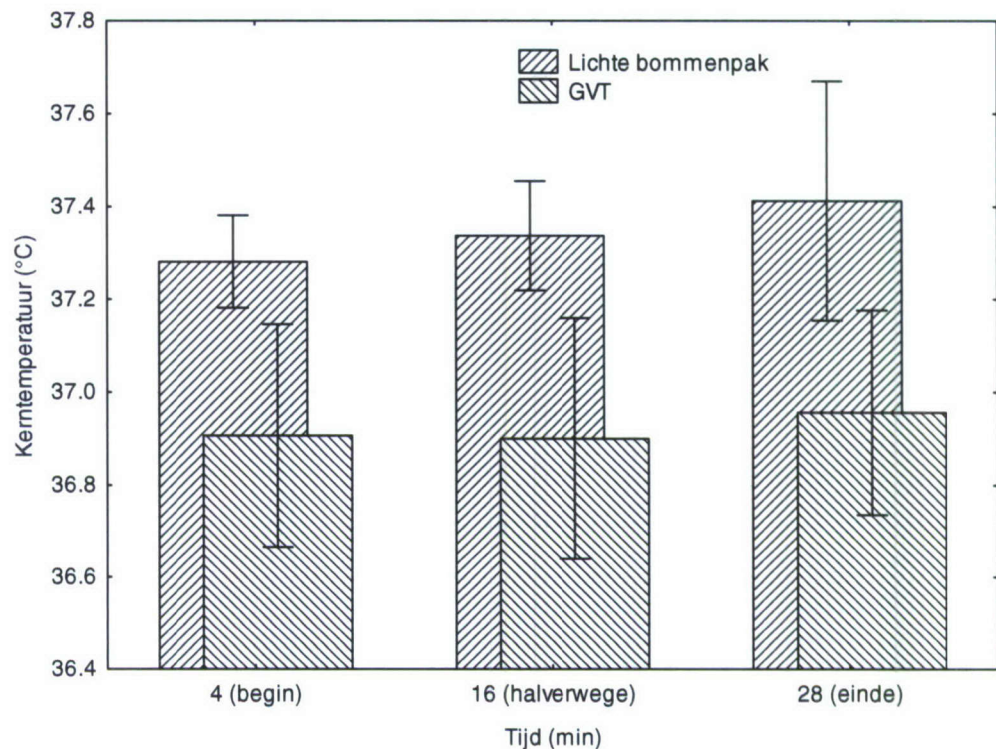
p-waarden	Munitieprikstok	Scheppen	Spuitbus
Eerste wandeltaak	0.001	0.002	0.0008
Tweede wandeltaak	0.0006	0.0009	0.0004
Derde wandeltaak	0.001	0.001	0.0007
Vierde wandeltaak	0.001	0.002	0.0007

Tabel 4 De p-waarden van de significante verschillen voor zuurstofopname tijdens het dragen van het GVT.

p-waarden	Munitieprikstok	Scheppen	Spuitbus
Eerste wandeltaak	0.0001	0.0001	0.0001
Tweede wandeltaak	0.0001	0.0001	0.0001
Derde wandeltaak	0.0001	0.0001	0.0001
Vierde wandeltaak	0.0001	0.0001	0.0001

3.1.3 Kerntemperatuur

De kerntemperatuur is bij het dragen van het lichte bommenpak op ieder tijdstip significant hoger dan bij het dragen van het GVT. Aan het begin van de tests is de kerntemperatuur bij het lichte bommenpak 0,37 °C hoger, halverwege de tests is de kerntemperatuur 0,44 °C hoger en aan het einde is de kerntemperatuur 0,45 °C hoger. Als de stijging van de kerntemperatuur tussen 4 minuten en 28 minuten wordt bekeken dan is er geen significante stijging voor de twee kledingcombinaties. De stijging in kerntemperatuur is voor het lichte bommenpak 0,13 °C en voor het GVT 0,05 °C. In figuur 11 zijn voor drie tijdstippen de kerntemperaturen weergegeven. In de grafiek is het 95% betrouwbaarheidsinterval aangegeven. De kerntemperatuur zal met 95% zekerheid binnen dit gebied vallen.



Figuur 11 Gemiddelde kerntemperatuur voor het bommenpak en het GVT voor drie tijdstippen. De hoogte van de balk geeft de gemiddelde kerntemperatuur aan. De verticale lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

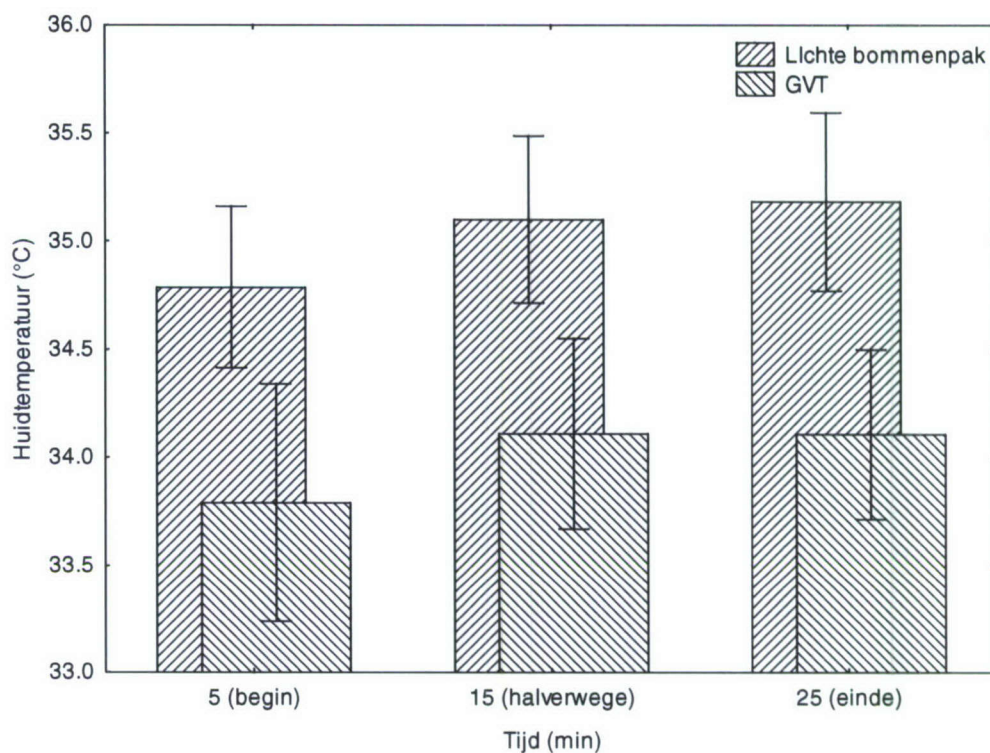
In tabel 5 staan de p-waarden van de significante verschillen voor de drie tijdstippen.

Tabel 5 De p-waarden van de significante verschillen voor kerntemperatuur tussen het lichte bommenpak en het GVT voor de drie tijdstippen.

	p-waarde (lichte bommenpak versus GVT)
4 min. (begin)	0.008
16 min. (halverwege)	0.001
28 min. (einde)	0.0003

3.1.4 Huidtemperatuur

De resultaten van de gemiddelde huidtemperatuur geven een zelfde beeld als die voor de kerntemperatuur. Het lichte bommenpak geeft op ieder tijdstip een significant hogere huidtemperatuur (1,0 °C hoger) dan het GVT. De stijging van de huidtemperatuur tussen 5 en 25 minuten is significant voor het lichte bommenpak ($p < 0,03$) en niet significant voor het GVT. De gemiddelde huidtemperatuur stijgt 0,39 °C bij het lichte bommenpak en 0,32 °C bij het GVT. De warmteopslag is bij het lichte bommenpak 33 W en bij het GVT 19 W. In figuur 12 staat de gemiddelde huidtemperatuur voor de twee kledingcombinaties weergegeven voor drie tijdstippen. In de grafiek is het 95% betrouwbaarheidsinterval aangegeven. De gemiddelde huidtemperatuur zal met 95% zekerheid binnen dit gebied vallen.



Figuur 12 Gemiddelde huidtemperatuur voor het bommenpak en het GVT voor drie tijdstippen. De hoogte van de balk geeft de gemiddelde huidtemperatuur aan. De verticale lijnen geven het 95% betrouwbaarheidsinterval weer.

De p-waarden van de significante verschillen voor de drie tijdstippen staan in tabel 6.

Tabel 6 De p-waarden van de significante verschillen voor de gemiddelde huidtemperatuur tussen het lichte bommenpak en het GVT voor de drie tijdstippen.

	p-waarde (lichte bommenpak versus GVT)
5 min. (begin)	0.002
15 min. (halverwege)	0.0002
25 min. (einde)	0.0002

3.2 Bewegingbeperkingstests

3.2.1 Sit-and-reach test

Tussen het lichte bommenpak en het GVT zijn significante verschillen gevonden bij de sit-and-reach test ($p < 0,0006$). De vingers kunnen niet voorbij de tenen worden bereikt en komen tijdens het dragen van het lichte bommenpak tot gemiddeld 19,3 cm voor de tenen. De afstand voor het lichte bommenpak lag tussen 9 cm en 28 cm voor de tenen. Met het GVT kunnen de vingers 10,8 cm verder worden bereikt en komen gemiddeld tot 8,5 cm voor de tenen. De afstand voor het GVT lag tussen 1 cm achter de tenen en 21 cm voor de tenen.

3.2.2 Stand-and-reach test

Ook de stand-and-reach test geeft een significant verschil tussen het lichte bommenpak en het GVT ($p < 0,0007$). De vingers kunnen gemiddeld 68,6 cm. vanaf de tafelrand worden bereikt met het lichte bommenpak en gemiddeld 86,6 cm. met het GVT. Met het

bommenpak kan dus 18,0 cm. minder ver worden bereikt. De reikafstanden liggen met het lichte bommenpak tussen 45 cm en 96 cm en met het GVT tussen 72 cm en 101 cm.

3.2.3 *Abductie en anteflexie test*

Voor de abductie en de anteflexie test zijn geen gemiddelden berekend, maar is het aantal proefpersonen geteld dat de armen niet tot boven het hoofd kon strekken.

Bij de abductie test met het lichte bommenpak konden zeven proefpersonen de armen niet boven het hoofd gestrekt krijgen. De armen konden 10 tot 50 graden minder ver worden gebogen.

Tijdens het dragen van het lichte bommenpak konden vier proefpersonen bij de anteflexie test de armen niet gestrekt boven het hoofd krijgen. De armen konden 10 tot 50 graden minder ver worden gebogen.

Het GVT geeft geen beperkingen bij het buigen van de armen. Zowel bij de abductie test als bij de anteflexie test konden de armen door alle proefpersonen tot boven het hoofd worden gebracht.

3.2.4 *Zicht test*

Er is een significant verschil gevonden tussen het lichte bommenpak en het GVT bij de zicht test ($p < 0,0009$). Met het lichte bommenpak kan vanaf de hak na 62,2 cm alles worden waargenomen. Met het GVT is dit vanaf 31,5 cm.

3.3 **Algemene test**

3.3.1 *Aan- en uittrektijd*

De aan- en uittrektijden zijn alleen gemeten voor het lichte bommenpak. Het duurde gemiddeld 193 seconden (3 minuten en 13 seconden) om het pak met hulp van de proefleider aan te trekken. De aantrektijden lagen tussen de 157 seconden en de 216 seconden. Het uittrekken duurde gemiddeld 86 seconden (1 minuut en 26 seconden). De snelste uittrektijd was 76 seconden en de langzaamste uittrektijd was 101 seconden.

3.3.2 *Vragenlijst*

Door alle proefpersonen wordt ongemak ervaren in de nek als het lichte bommenpak wordt gedragen. De score ligt dan rond 'tamelijk veel last'. Verder wordt er bij het dragen van het lichte bommenpak geen ongemak ervaren.

Niemand geeft aan ongemak te ervaren tijdens het dragen van het GVT.

4 Discussie

Bij de eerste serie tests (Kistemaker, 2006) zijn de hartslagfrequenties bij het dragen van het lichte bommenpak niet goed gemeten, waardoor er geen data van beschikbaar is. De hartslagdata van het GVT was wel goed geregistreerd. Bij de tweede serie tests zijn de hartslagfrequenties bij beide kledingcombinaties goed geregistreerd.

De hartslagfrequentie ligt tijdens het dragen van het lichte bommenpak ongeveer 15% hoger dan tijdens het dragen van het GVT.

Bij het wandelen is het verschil in hartslagfrequentie ongeveer 7% ten opzichte van de overige werktaken. Bij de eerste serie tests was het verschil tussen wandelen en de overige werktaken voor het GVT 10%.

Bij het GVT is de HR bij de tweede serie tests enkele hartslagen per minuut hoger dan bij de eerste serie tests. Een hogere hartslagfrequentie bij de tweede serie tests was ook te verwachten omdat de eerste serie tests in een koeler klimaat (22 °C) zijn uitgevoerd dan de tweede serie tests (30 °C).

Bij het dragen van het lichte bommenpak is het zuurstofverbruik 20 tot 25% hoger dan bij het dragen van het GVT. De hoogste zuurstofopname is tijdens de wandeltaken.

Bij het lichte bommenpak wordt 33% meer zuurstof opgenomen bij het wandelen dan bij de overige werktaken. Dit geeft een hogere warmteproductie van 92 W vergeleken met het GVT.

Bij de eerste serie tests lag de warmteproductie voor het lichte bommenpak bij het wandelen 80 W hoger.

Per kledingcombinatie zijn de verschillen in zuurstofopname tussen het wandelen en de overige werktaken gelijk aan de verschillen bij de eerste serie tests.

Bij de start van de klimaatkamertests is de kerntemperatuur van de proefpersonen iets hoger bij het dragen van het lichte bommenpak dan bij het dragen van het GVT.

Waarschijnlijk komt dit doordat de proefpersonen de kledingcombinatie al 15 minuten voor het begin van de tests in de klimaatkamer aan hadden. Tijdens die 15 minuten zijn de bewegingsbeperkingtests uitgevoerd waar een lichte inspanning voor nodig was.

De kerntemperatuur bij het lichte bommenpak blijft gedurende de hele test hoger dan die bij het GVT.

Gedurende de test stijgt de kerntemperatuur niet of nauwelijks. Het leveren van lichte inspanning, met het lichte bommenpak in een klimaatkamer van 30 °C over een periode van een half uur, is niet voldoende om een significante stijging van de kerntemperatuur te krijgen. In de praktijk worden de lichte bommenpakken nooit langer dan 30 minuten gedragen en zal de lichamelijke inspanning overeenkomen met hetgeen tijdens de tests is gesimuleerd. Mogelijk kan een hogere temperatuur van de klimaatkamer een significante stijging in kerntemperatuur veroorzaken. Tijdens de derde serie tests zouden de tests bij een hogere temperatuur moeten worden uitgevoerd.

Ook de huidtemperatuur is bij de start van de klimaatkamertests iets hoger bij het dragen van het lichte bommenpak dan bij het dragen van het GVT. Dit wordt waarschijnlijk ook door de eerder uitgevoerde bewegingsbeperkingtests veroorzaakt.

Net zoals de kerntemperatuur stijgt de huidtemperatuur gedurende de tests niet of nauwelijks. Een verhoging van de klimaatkamertemperatuur zou mogelijk tot een significante stijging kunnen leiden.

De warmteproductie tijdens het wandelen met het lichte bommenpak is 380 W en tijdens de overige werktaken 247 W. Aan het einde van de tests in de klimaatkamer is 32 W aan warmte in het lichaam opgeslagen. De overige warmte heeft het lichaam kunnen afgeven. De warmtebelasting is dus laag. Bij de volgende serie tests zou de klimaatkamertemperatuur omhoog moeten om een hogere warmtebelasting te krijgen. Door middel van modelberekeningen met THDYN zal een nieuw klimaat worden berekend.

Het lichte bommenpak beperkt de beweging bij het naar voren buigen. Bij de sit-and-reach test en bij de stand-and-reach test kunnen de armen veel minder ver naar voren worden gestrekt bij het lichte bommenpak dan bij het GVT.

Vergeleken met de eerste serie tests kunnen de proefpersonen bij de tweede serie tests in beide kledingcombinaties minder ver naar voren buigen.

Het lichte bommenpak veroorzaakt vooral bewegingsbeperkingen bij de abductie test (zijwaartse beweging). Bij de eerste serie tests konden iets meer proefpersonen hun armen tot boven het hoofd strekken dan bij de tweede serie tests.

Het zicht wordt duidelijk beperkt door het lichte bommenpak. Bij de eerste serie tests kon met het lichte bommenpak minder op de grond worden gezien dan bij de tweede serie tests. Voor het GVT is dit precies andersom. Bij de eerste serie tests kon met het GVT verder worden waargenomen dan bij de tweede serie tests. Het is niet duidelijk waardoor dit wordt veroorzaakt. In de derde serie tests zullen veel meer proefpersonen meedoen aan de tests om een nauwkeuriger gemiddelde te krijgen.

De aan- en uittrektijden zijn bedoeld als indicatie. Het aan- en uittrekken is door TNO proefleiders en naïeve proefpersonen gedaan. De mineurs zullen dit waarschijnlijk sneller kunnen. Bij de eerste serie tests werden de lichte bommenpakken iets sneller aan- en uitgetrokken dan bij de tweede serie tests.

Het lichte bommenpak veroorzaakt in de nek tamelijk veel ongemak. Het overgrote deel van het gewicht van het lichte bommenpak en van de helm met vizier bevindt zich aan de voorzijde. Dit zou de nekklachten kunnen verklaren.

5 Conclusies en aanbevelingen

Werken in het lichte bommenpak bij 30 °C is fysiek zwaarder dan werken in het GVT, maar de kern- en de huidtemperatuur stijgen voor beide kledingcombinaties niet waarneembaar. De warmtebelasting is laag.

Bij deze tweede serie tests zijn aanbevelingen uit de eerste serie tests doorgevoerd, waardoor een uitbreiding van de tests is ontstaan en voor sommige metingen een betere registratie van de gegevens.

Voor de derde serie tests zullen dezelfde tests als uit de tweede serie tests worden uitgevoerd, maar bij een hogere temperatuur om een waarneembare stijging in kern- en huidtemperatuur te krijgen.

Omdat de derde serie tests vooral is bedoeld om referentiewaarden vast te gaan leggen, zullen de tests door meer proefpersonen worden uitgevoerd om een nauwkeuriger gemiddelde te krijgen.

De derde serie tests zal als volgt worden uitgevoerd:

- Alle tests zullen met het lichte bommenpak en met het GVT worden uitgevoerd.
- De test begint met het uitvoeren van de bewegingbeperkingtests (sit-and-reach, stand-and-reach, abductie armen, anteflexie armen, zicht) en met het meten van de aan- en uittrektijd).
- Na het uitvoeren van de bewegingbeperkingtests zullen de gesimuleerde werktaken (wandelen, prikken met een munitieprikstok, scheppen met een schepje, markeren van en explosief met een spuitbus) gedurende een half uur in een klimaatkamer worden uitgevoerd. (Het klimaat zal nog worden bepaald met het programma THDYN.)
- Gedurende de tests in de klimaatkamer zal de uitgeademde lucht, de HR, de gemiddelde huidtemperatuur en de kerntemperatuur worden gemeten, zodat de warmtebelasting kan worden bepaald.

6 Referenties

Kistemaker, J.A., 2006.

Eerste serie ergonometests lichtgewicht bommenpakken.

TNO-DV3 2006 M069.

ISO 9886 (2000).

Evaluation of thermal strain by physiological measurements.

Garby, L. & A. Astrup (1987).

The relationship between the respiratory quotient and the energy equivalent of oxygen during simultaneous glucose and lipid oxidation and lipogenesis.

Acta Physiologica Scandinavica, 129: 443-444.

7 Ondertekening

Soesterberg, december 2007

TNO Defensie en Veiligheid

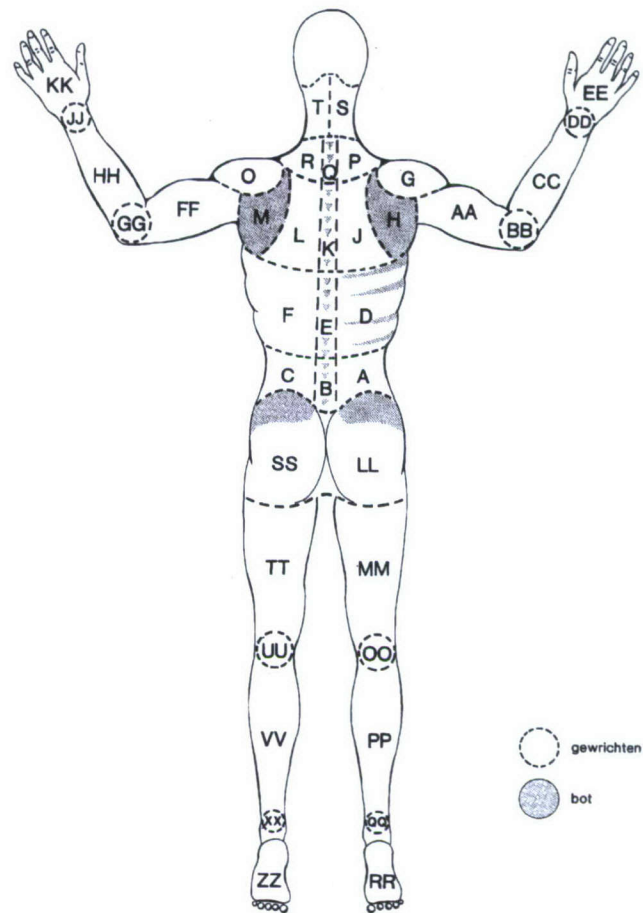
A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

prof. dr. H.A.M. Daanen
Afdelingshoofd

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'J' and 'K' with a small 'A' in between, followed by a horizontal stroke.

ing. J.A. Kistemaker
Auteur / Projectleider

A Bijlage 1



Schaal voor mate van last

- 0 = geen enkele last
- $\frac{1}{2}$ = uitermate weinig last (net waarneembaar)
- 1 = zeer weinig last
- 2 = enige last
- 3 = nogal wat last
- 4 = tamelijk veel last
- 5 = veel last
- 6 =
- 7 = zeer veel last
- 8 =
- 9 =
- 10 = uitermate veel last (maximaal)

REPORT DOCUMENTATION PAGE (MOD-NL)

1. DEFENCE REPORT NO (MOD-NL) TD2007-0233	2. RECIPIENT'S ACCESSION NO -	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO TNO-DV 2007 A521
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO 013.14457	5. CONTRACT NO -	6. REPORT DATE December 2007
7. NUMBER OF PAGES 26 (incl 1 appendices, excl RDP & distribution list)	8. NUMBER OF REFERENCES 3	9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final
10. TITLE AND SUBTITLE Tweede serie ergonometests lichtgewicht bommenpakken		
11. AUTHOR(S) ing. J.A. Kistemaker (Second series of ergonomic tests on lightweight bomb disposal suits)		
12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Defence, Security and Safety, P.O. Box 23, 3769 ZG Soesterberg, The Netherlands Kampweg 5, Soesterberg, The Netherlands		
13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) KPU-bedrijf, R.Gunters		
14. SUPPLEMENTARY NOTES The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified, Stg. Confidentieel is equivalent to Confidential and Stg. Geheim is equivalent to Secret.		
15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE)) A second series of tests were performed with light weight bomb disposal suits to get a number of tests that will give information about ergonomics and heat load. At the end of this second series of tests the final tests were determined. In the third series reference data of the light weight bomb disposal suits will be assessed.		
16. DESCRIPTORS ergonomics, bomb disposal suit, heat load		
17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) Ongerubriceerd	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) Ongerubriceerd	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) Ongerubriceerd
18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Unlimited Distribution		17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) Ongerubriceerd

Distributielijst

Onderstaande instanties/personen ontvangen een volledig exemplaar van het rapport.

- | | |
|-------|--|
| 1 | DMO/SC-DR&D
standaard inclusief digitale versie bijgeleverd op cd-rom |
| 2/3 | DMO/DR&D/Kennistransfer |
| 4 | Projectbegeleider Defensie
drs. H. Jager, KPU-bedrijf |
| 5/7 | Bibliotheek KMA |
| 8/9 | TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
(Archief |
| 10/11 | TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Business Unit Human Factors
prof. dr. H.A.M. Daanen
ing. J.A. Kistemaker |

Onderstaande instanties/personen ontvangen het managementuittreksel en de distributielijst van het rapport.

- 4 ex. DMO/SC-DR&D
- 1 ex. DMO/ressort Zeesystemen
- 1 ex. DMO/ressort Landsystemen
- 1 ex. DMO/ressort Luchtsystemen
- 2 ex. BS/DS/DOBBP/SCOB
- 1 ex. MIVD/AAR/BMT
- 1 ex. Staf CZSK
- 1 ex. Staf CLAS
- 1 ex. Staf CLSK
- 1 ex. Staf KMar
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Algemeen Directeur,
ir. P.A.O.G. Korting
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Operaties, ir. C. Eberwijn
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Kennis, prof. dr. P. Werkhoven
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, Directie
Directeur Markt, G.D. Klein Baltink
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Waarnemingssystemen (operaties), ir. B. Dunnebie
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Den Haag,
Manager Informatie en Operaties (operaties), ir. P. Schulein
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Manager Bescherming, Munitie en Wapens (operaties), ir. P.J.M. Elands
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Rijswijk,
Manager BC Bescherming (operaties), ir. R.J.A. Kersten
- 1 ex. TNO Defensie en Veiligheid, vestiging Soesterberg,
Manager Human Factors (operaties), drs. H.J. Vink