Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek

IZF

Instituut voor
Zintuigfysiologie TNO

DTIC FILE COPY

AD-A218 053

DTIC
ELECTE
FEB 16 1990
S E D

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for public release;
Distribution Unlimited

90 02 15 054

Nederlandse organisatie
voor toegepast
natuurwetenschappelijk
onderzoek

TNO-rapport

Instituut voor
Zintuigfysiologie TNO

Postbus 23
3769 ZG Soesterberg
Kampweg 5
3769 DE Soesterberg

Telefax 03463 - 5 39 77
Telefoon 03463 - 5 62 11

IZF 1989-21

M. Holewijn

DE MILITAIRE BEPAKKING, ADVIEZEN OVER HET GEWICHT EN DE VERDELING

18

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de "Algemene Voorwaarden voor Onderzoeksopdrachten TNO", dan wel de betreffende terzake tussen partijen gesloten overeenkomst.

TNO

DTIC
ELECTE
FEB 16 1990
S E D

		Rubricering	:
Oplage	: 45	**Rapport**	: **ongerubriceerd**
Aantal bladzijden	: 32	**Titel**	: **ongerubriceerd**
		Samenvatting	: **ongerubriceerd**

DISTRIBUTION STATEMENT A
Approved for public release;
Distribution Unlimited

INHOUD

		Blz.
SAMENVATTING		5
ABSTRACT		6
1	INLEIDING	7
2	FYSIOLOGISCHE BELASTING	7
2.1	Metabole belasting	9
2.2	Huid- en spierbelasting	13
2.2.1	Heupdraagwijze	13
2.2.2	Schouderdraagwijze	15
2.2.3	Dragen van een last in de hand	17
3	HET EFFECT VAN BEPAKKING OP DE FYSIEKE PRESTATIE	19
4	BEPAKKINGSADVIEZEN	20
5	CONCLUSIES	23
REFERENTIES		25
APPENDIX A		27
APPENDIX B		32

Accession For
NTIS GRA&I ☒
DTIC TAB ☐
Unannounced ☐
Justification
By
Distribution/
Availability Codes
Dist | Avail and/or Special
A-1

DTIC COPY INSPECTED 6

Rapport nr. : IZF 1989-21

Titel : De militaire bepakking, adviezen over het gewicht en de verdeling

Auteur : Drs. M. Holewijn

Instituut : Instituut voor Zintuigfysiologie TNO
Afd.: Thermofysiologie

Datum : juni 1989

HDO Opdrachtnummer : A85/KL/138

Nummer in MLTP : 736.1

SAMENVATTING

Het maximale gewicht dat langdurig gedragen kan worden door de Nederlandse mannelijke en vrouwelijke militair is berekend voor verschillende bepakkingssystemen op basis van de resultaten van eerdere studies naar de verschillende typen belasting (Holewijn, 1986; Holewijn & Lotens, 1987; Holewijn, 1988) en de lichamelijke kenmerken van de Nederlandse militair.

De capaciteit van het metabole systeem begrenst het totale gewicht tot 37 kg voor de mannelijke en tot 22 kg voor de vrouwelijke militair. Indien echter rekening wordt gehouden met het gewicht van de kleding, helm, schoenen en wapen dan bedraagt, bij een loopsnelheid van 5.2 km/h, het maximale lastgewicht 15 kg voor de mannelijke en 0 kg voor de vrouwelijke militair. Dient er meer gewicht meegenomen te worden dan zal de loopsnelheid verminderd moeten worden volgens een berekende relatie tussen loopsnelheid en bepakkingsgewicht. Een conditieverbetering van 10% zal naar verwachting resulteren in een verhoging van de toelaatbare last van 7 kg.

De maximaal toelaatbare huiddruk begrenst het gewicht bij heupdraagwijze tot 25 kg. Het afhangen van een ruglast aan de schouders limiteert het maximale gewicht tot 14 kg indien de schouderbanden onder de armen teruglopen naar de last op de rug en tot 7 kg indien de schouderbanden aan de voorzijde en achterzijde vast zitten aan een heupriem. Voor korte loopafstanden kan een gewicht van 12 kg door de mannelijke militair en 9 kg door de vrouwelijke militair extra in de hand worden meegenomen. Voor langere looptijden (>10 minuten) dient dit gewicht te worden verminderd tot respectievelijk 5 en 4 kg.

Het grootste gewicht, 28 kg voor de mannelijke militair en 10 kg voor de vrouwelijke militair, kan worden meegenomen door een combinatie van heupdraagwijze en schouderdraagwijze. De loopsnelheid mag echter dan niet boven de 4 km/h komen.

Tijdens gevechtssituaties wordt een fysiek prestatieverlies tot maximaal 10% acceptabel geacht. Dit reduceert echter het gewicht tot 9 kg voor mannelijke militairen en 6 kg voor vrouwelijke militairen. Grotere lastgewichten kunnen alleen worden vervoerd tijdens verplaatsingen waarbij de fysieke prestatie niet als eerste belang wordt gezien.

Rep.nr. IZF 1989-21,

TNO Institute for Perception,
Soesterberg, The Netherlands

The military pack, optimal load and distribution

M. Holewijn

ABSTRACT

The maximum load for carrying durations up to two hours was calculated on the basis of physical characteristics of the male and female soldier of the Royal Netherlands Army and the results of previous experimental studies quantifying the different strains due to load carrying (Holewijn 1986, Holewijn & Lotens 1987, Holewijn 1988).

The capacity of the metabolic system restricts the total load to 37 kg for the male soldier and 22 kg for the female soldier at a walking speed of 5.2 km/hour. However, compensation for the weight of the clothing, boots, helm and weapon leaves 15 kg for extra load for the male soldier and no extra load for the female soldier. More load can be carried by reducing the walking speed according to a calculated relationship.

The maximal tolerable pressure on the shoulders and on the waist, and the maximal force of the shoulder muscles will limit the maximum load. If the load is supported by a waist belt, the load is limited to a maximum of 25 kg. Suspending the weight on the shoulders limits the maximum load to 14 kg if both ends of the shoulders straps are attached to the load. Using a type of load carrying system with shoulder straps running from the front to the back of a waist belt, reduces the maximum backload to 7 kg. An additional load of 9 kg for the female and 12 kg for the male soldier can be carried in the hands for short walking distances. Longer walking duration (> 10 minutes) will reduce the maximum load carried in the hands and will decrease the load carried on the trunk by more than the hand load.

During fighting conditions a loss of physical performance loss of less then 10% is suggested as acceptable. It is calculated that the maximum load is limited to 9 kg for male soldiers and to 6 kg for female soldiers. Heavier loads are only acceptable for marching order.

1 INLEIDING

In opdracht van het Projectbureau PSU-80 (opdracht A85/KL/138) is het IZF-TNO betrokken bij de ontwikkeling van een nieuw gevechts-bepakkingssyteem voor de Koninklijke Landmacht. In eerdere rapporten is geïnventariseerd welke typen belastingen de draagtijd kunnen beperken (Holewijn, 1987), hoe hoog de belasting is van het huidige draagsysteem (Holewijn, 1988), wat de effecten zijn van bepakking op de fysieke prestatie van de militair (Holewijn & Lotens, 1987) en wat de consequenties zijn van een gelijk bepakkingssysteem voor vrouwelijke en mannelijke militairen (Holewijn, 1987). Er bleek echter behoefte te zijn om de consequenties van verschillende ontwerpen van een bepakkingssysteem voor het toelaatbare lastgewicht te kwantificeren. In dit rapport zullen dan ook op basis van deze studies de "maximale" lastgewichten, afhankelijk van de gekozen draagwijze, worden berekend. Tevens zullen een aantal voorwaarden worden gegeven waaraan het ontwerp van een nieuw draagsysteem moet voldoen om de fysiologische belasting te beperken.

2 FYSIOLOGISCHE BELASTING

Tijdens het dragen van bepakking treedt er een fysiologische belasting op van het lichaam, onder te verdelen in lokale en centrale effecten. De belangrijkste lokale effecten zijn huiddruk en benodigde spierkracht. Op centraal niveau spelen vooral de metabole en de cardiovasculaire effecten. Tabel I geeft voor deze effecten grenswaarden bij langdurige belasting.

Tabel I Maximale belastingsgraad voor verschillende fysiologische systemen bij langdurige belasting.

systeem	belastingsgraad
<u>centraal</u>	
metabole systeem	40% v/d maximale zuurstofopname (l/min)
cardiovasculaire systeem	110 hartslagen/min
<u>lokaal</u>	
spierstelsel	5% v/d maximale spierkracht
huid/lichaamsweefsel	1.1 kPa druk op de huid/weefsel

Hierbij wordt er van uitgegaan dat geen orthopedische afwijkingen aan de rug, knieën of de enkels het lastgewicht beperken. De metabole belasting is zodanig gekozen dat deze 2 uur volgehouden kan worden door redelijk getrainde personen (Evans e.a., 1980). Wel zal er om de 50 minuten 10 minuten gerust moeten worden. In vergelijking met een eerdere rapportage (Holewijn, 1986) is de limiet voor het spierstelsel omlaag gebracht vanwege recente publikaties waaruit blijkt dat de eerder in de literatuur gestelde grenzen te hoog waren gekozen (Björkstén & Jonsson, 1987; Sjøgaard e.a., 1986).

Tijdens het lopen met bepakking blijkt de belasting van het cardiovasculaire systeem recht evenredig toe te nemen met het metabole systeem (Gordon e.a., 1983). Indien de limiet van het metabole systeem wordt bereikt dan is die van het cardiovasculaire systeem ook bereikt (Åstrand & Rodahl, 1988). Tijdens dynamische arbeid is het daarom voldoende om alleen de belasting van het metabole systeem mee te nemen. Dit geldt niet voor statische arbeid waarbij de belasting van het metabole systeem minder snel toeneemt dan de belasting van het cardiovasculaire systeem.

Van de IGDKL zijn gegevens verkregen over het gemiddelde lichaamsgewicht en de maximale zuurstofopnamecapaciteit (VO_2max) van vrouwelijke en mannelijke aspirant beroepsofficieren (Tabel II). Deze zijn naar verwachting representatief voor de Koninklijke Landmacht. Gegevens over de maximale kracht van de schouder- en onderarmspieren voor vrouwen en mannen zijn verkregen uit de literatuur (Christensen, 1986; Westerling & Kilbom, 1981; Hagberg, 1981; Rosenberg, 1981).

Tabel II Individuele kenmerken (gemiddelde en SD) die zijn gekozen voor de mannelijke en vrouwelijke militair.

	vrouw		man	
	gemiddeld	SD	gemiddeld	SD
VO_2 max (ml/kg.min)	44	4,4	50,9	4,4
Gewicht (kg)	61,8	8	73,4	8,4
maximale kracht (N)				
- onderarmspieren	300	60	450	100
- schouderspier	580	140	825	100

Op basis van de gestelde belastingslimieten voor het metabole (zuurstofopname) systeem, spierapparaat en de huid zal worden berekend welke massa er aan last meegenomen kon worden. Aangezien de belasting van het metabole systeem niet verminderd kan worden door het ontwerp van het draagsysteem zal eerst aandacht worden besteed aan de consequenties van de gestelde limiet van de metabole belasting. Uitgaande van de beschikbare ruimte op de heupen en aan de schouders zal vervolgens worden bekeken of de resulterende massa's zodanig op het lichaam kunnen worden afgesteund dat de limieten voor de spier- en huidbelasting niet worden overschreden.

2.1 Metabole belasting

Op basis van combinatie van de gegevens uit Tabellen I en II en de predictieformule van Pandolf e.a. (1977) voor de metabole belasting kan worden berekend welke combinaties van gewicht en loopsnelheid langdurig (2 uur) kunnen worden volgehouden door de gemiddelde militair (Holewijn, 1987). Benadrukt moet worden dat in deze gewichten ook het gewicht van bijvoorbeeld de kleding, schoenen en helm is inbegrepen. Naarmate het gewicht toeneemt zal de loopsnelheid af moeten nemen om ervoor te zorgen dat de limiet van 40% VO_2 max niet wordt overschreden (Fig. 1).

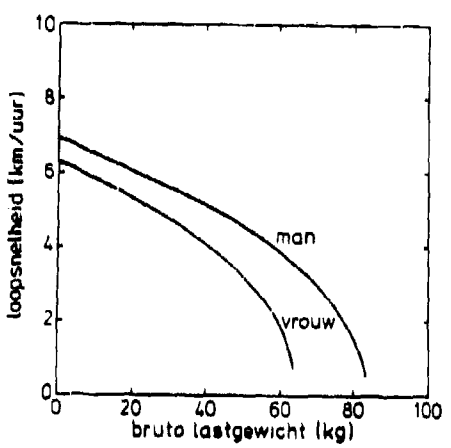


Fig. 1 De combinaties van lastgewicht (incl. kleding, helm en wapen) en loopsnelheid waarbij de gemiddelde mannelijke en vrouwelijke militair de metabole limiet bereiken.

Indien de lijnen van gelijke metabole belasting voor de mannelijke en vrouwelijke militair worden vergeleken dan valt op dat de vrouwelijke militair, bij dezelfde loopsnelheid, 15 kg minder dan de mannelijke militair kan dragen. Dit is het gevolg van de lagere maximale zuurstofopname per kg lichaamsgewicht in combinatie met een geringer lichaamsgewicht. Een vrouwelijke militair zal hierdoor gemiddeld een lagere maximale zuurstofopname (l/min) hebben dan een mannelijke militair. Indien door training het aerobe vermogen van de vrouwelijke militair met 10% zou worden verhoogd dan kan het toelaatbare lastgewicht gemiddeld met 7 kg toenemen (Holewijn, 1987).

Duidelijk is in Fig. 1 het effect van de loopsnelheid op het toelaatbare lastgewicht te zien. Ruwweg komt het er op neer dat voor loopsnelheden boven de 4 km/h het toelaatbare lastgewicht afneemt met 20 kg per 1 km/h toename van de loopsnelheid. Hieruit volgt dat er best veel aan lastgewicht meegenomen kan worden mits de loopsnelheid iets verminderd wordt.

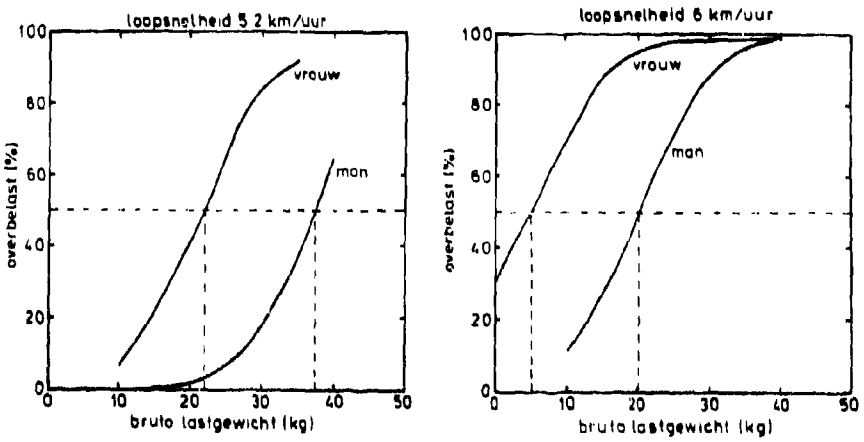


Fig. 2 Het percentage militairen dat, afhankelijk van de loopsnelheid en van het gewicht, metabool overbelast is.

De toelaatbare gewichten in Fig. 1 gelden voor de gemiddelde militair. Dat betekent dat 50% van de militairen onder de gestelde metabole grens zit maar ook dat 50% wordt overbelast. Vanuit militair standpunt betekent dit dat de helft van de militairen niet kan meekomen. Het is daarom reëler een lager percentage overbelaste mili-

tairen te accepteren. Onder de aanname dat het lichaamsgewicht en de maximale zuurstofopname normaal verdeeld is kan worden berekend hoeveel procent van de vrouwelijke en mannelijke militairen overbelast is bij twee loopsnelheden, nl. de onder- en bovengrens van marstempo, afhankelijk van de last (Fig. 2).

Indien wordt geaccepteerd dat 50% van de mannelijke en vrouwelijke militairen overbelast mag zijn dan komen de gewichten natuurlijk overeen met die van Fig. 1. Het gewicht zal echter omlaag moeten indien een lager percentage acceptabel gevonden wordt.

De gewichten die in Fig. 1 worden gegeven kunnen zoals gezegd niet als "netto" lastgewicht worden beschouwd. Het gewicht van de kleding, helm, wapen en schoenen zal ervan afgetrokken moeten worden om het "netto" lastgewicht te krijgen. In Tabel III is een schatting gemaakt van het gewicht van deze onderdelen.

Tabel III Het gewicht van een aantal uitrustingsonderdelen gecorrigeerd voor de positie op het lichaam volgens Soule en Goldman (1969).

	gewicht(kg)	factor	gecorr. gewicht
kleding	3.5	1	3.5
helm (compleet)	1.7	1	1.7
schoenen (NG)	2.2	6	13.2
UZI (incl. gevuld magazijn)	4	(1.8)	4 (7.2)
			22 kg

Het gewicht van de schoenen moet worden gecorrigeerd voor het feit dat lasten die niet centraal op de romp worden gedragen metabool relatief meer belastend zijn, resulterend in een hoger zuurstof verbruik. Een kg aan de voeten kost relatief evenveel energie als 6 kg last op de romp gedragen (Soule & Goldman, 1969). Lasten die in de hand worden gedragen leveren een 1,8 keer hogere metabole belasting op als een last op de romp (Soule & Goldman, 1969). Indien het wapen in de hand gedragen wordt dan zal er dus 7.2 kg van het lastgewicht afgaan in plaats van 4 kg bij het dragen van het wapen op de romp. In eerste instantie wordt er hierna vanuit gegaan dat het wapen door middel van een riem aan de romp wordt gehangen.

In Fig. 3 is aangegeven welke "netto" lastgewichten er maximaal meegenomen kunnen worden, afhankelijk van de loopsnelheid, indien wordt gesteld dat 20% van de militairen over de metabole limietwaarde heen mogen gaan. Vergeleken met de waarden uit Fig. 1. blijkt dat de toelaatbare gewichten met 29 kg zijn verminderd door de correctie voor het gewicht van de kleding, helm; wapen en schoenen en de beperking tot 20% overbelaste militairen.

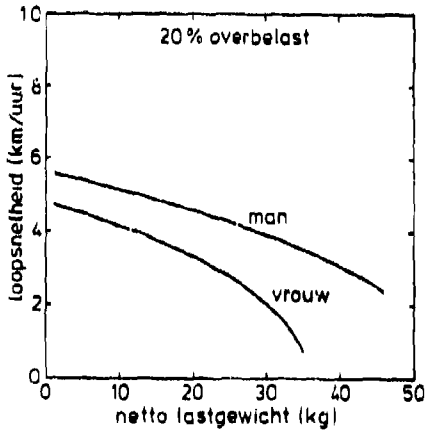


Fig. 3 Het maximale netto lastgewicht, afhankelijk van de loopsnelheid, waarbij 20% van de militairen metabool overbelast wordt.

De vrouwelijke militair blijkt volgens de metabole limiet niet met 6 km/h langdurig te kunnen lopen. Een verlaging van de loopsnelheid tot bijv. 4.7 km/h geeft de mogelijkheid tot het dragen van 5 kg aan lastgewicht.

Mannelijke militairen kunnen bij een loopsnelheid van 5.2 km/h (marstempo) nog 8 kg extra aan last meenemen. Wordt de loopsnelheid echter verhoogd tot 6 km/h dan zal zelfs zonder last de metabole limiet worden overschreden. Een verlaging van de loopsnelheid tot wandeltempo (4.7 km/h) verhoogt het toelaatbare lastgewicht tot 19 kg.

2.2 Huid -en spierbelasting

De hierboven vermelde lastgewichten zullen tevens de gestelde limieten aan de spier- en huidbelasting niet mogen overschrijden. Afhankelijk van twee verschillende ontwerpen, heupdraagwijze en schouderdraagwijze, zal het maximale lastgewicht worden berekend. In Tabel II is als limiet voor huidbelasting een druk van 11 kPa (1.1 N/cm^2) genomen. Het draagsysteem zal het lastgewicht over een zodanig groot contactoppervlakte moeten verdelen dat deze druk niet wordt overschreden. Uitgaande van de beschikbare ruimte op de schouders en op het bekken kan worden berekend wat het maximale netto lastgewicht kan zijn bij respectievelijk heupdraagwijze en schouderdraagwijze. Bij de eerste draagwijze wordt het lastgewicht hoofdzakelijk afgesteund op het bekken terwijl bij de tweede draagwijze het gewicht hoofzakelijk wordt afgehangen aan de schouders. Onder deze laatste draagwijze valt de klassieke ransel met alleen schouderbanden maar ook de draagvesten waarop zakken zijn bevestigd. Bij deze draagwijze treedt er naast de huidbelasting ook een belasting op van de schouderspieren.

2.2.1 *Heupdraagwijze*

Uitgaande van de beschikbare oppervlakte op de heupen kan de maximale last worden berekend. Hierbij zijn een aantal vereenvoudigingen gedaan. Ten behoeve van de berekening kan het achterste deel van het bekken worden vereenvoudigd tot een loodrecht vlak met daaronder een schuin aflopend bildeel (Fig. 4). Als hoek tussen deze beide vlakken is gemiddeld voor mannen 30 en voor vrouwen 40 graden genomen. Deze waarden zijn gebaseerd op eigen metingen aan vier mannelijke personen en twee vrouwelijke personen van normaal postuur.

Tijdens het lopen met een ruglast blijkt de rug onder een hoek van maximaal 15 graden te staan met de verticaal (Martin e.a., 1982). Het effect op de grootte van de verticale kracht ten gevolge van de massa van de ruglast is echter zo klein (4%) dat dit effect niet wordt meegenomen. De beschikbare oppervlakte van de heupband is berekend door een tailleomtrek van 100 cm aan te nemen (Brekelmans, Moonen & Osinga, 1986). De maximale hoogte van de heupriem is gesteld op 8 cm omdat bij een hogere band deze zal gaan insnoeren bij het vooroverbuigen. Op basis hiervan zijn de maximale lastgewichten voor heupdraagwijze berekend (Tabel IV).

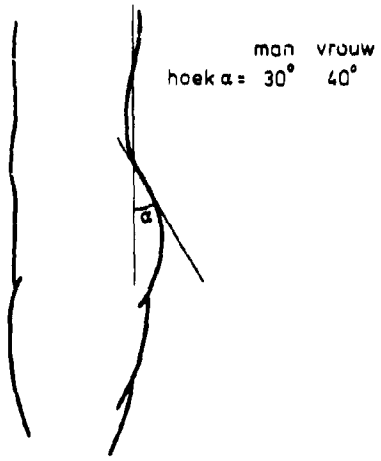


Fig. 4 Een vereenvoudigd zijaanzicht van het onderste deel van de rug en het bovenste deel van de billen, waarop de ruglast wordt afgesteund met een heupband.

Tabel IV Het berekende, maximale gewicht(kg) dat op de heupband kan worden afgesteund.

	heuplast (kg)
man	23
vrouw	28

Voor de berekening van dit gewicht wordt verwezen naar Appendix A.
De vrouwelijke militair kan een iets zwaardere last meenemen omdat een groter deel van de last wordt afgesteund op de billen dan bij de mannelijke militair, als gevolg van de grotere hoek tussen het bovenste deel van de bil en het onderste deel van de rug. Gezien de assumpties die zijn gemaakt bij de berekeningen moet aan dit verschil niet teveel waarde worden gehecht. Gemiddeld kan worden gezegd dat het lastgewicht bij heupdraagwijze beneden de 25 kg moet blijven.

2.2.2 *Schouderdraagwijze*

Indien de last aan de schouders wordt afgehangen dan zullen de schouderbanden zodanig groot moeten zijn dat de huiddruk op de schouders niet te hoog wordt. Naast de huiddruk zal echter evenoens bekeken moeten worden of de belasting van de schouderspieren beneden 5% van hun maximale kracht (Fmax) blijft. De belasting van de schouderspieren is echter niet beinvloedbaar door het oppervlak van de schouderbanden. Bij het afsteunen van de last op de schouders kan een onderscheid worden gemaakt in schouderbanden die teruglopen naar de rugzijde (design I) en schouderbanden die vastzitten aan de buikzijde aan de heupband (design II). Bij design I is de kracht die op de schouders werkt gelijk aan het gewicht van de last terwijl bij design II de kracht die op de schouders werkt overeenkomt met het dubbele lastgewicht (Holewijn, 1988) (Fig. 5).

Op basis van de gemeten huiddruk op de top van de schouder (Holewijn, 1988) is de maximale last bij schouderdraagwijze berekend uitgaande van 8 cm brede schouderbanden (Tabel V). Voor de berekening van deze gewichten wordt verwezen naar Appendix B.

Tabel V Het lastgewicht (kg), dat aan 2 schouders afgehangen, leidt tot het bereiken van de limiet voor huiddruk afhankelijk van de loop van de schouderbanden.

	design I	design II
gewicht (kg)	14	7

Met design I kan een gewicht van maximaal 14 kg worden meegenomen. Indien de schouderbanden niet teruglopen naar de last op de rugzijde wordt het toelaatbare lastgewicht gehalveerd.

Deze lastgewichten zullen leiden tot een belasting van de schouderspieren. Afhankelijk van het lastgewicht en het design van het draagsysteem zal deze belasting variëren. Uit eerder onderzoek bleek dat 16.5% van het lastgewicht per schouder werd gecompenseerd door activiteit van de schouderspieren (M.Trapezius pars descendens), naast een lastonafhankelijke component van 8.5 N tijdens lopen met een ruglast (Holewijn, 1988). Deze lastonafhankelijke component is vermoedelijk nodig om de schoudergordel te bewegen tijdens het lopen.

Op basis hiervan kan worden berekend hoe groot de belasting van de schouderspieren is bij beide lastgewichten uit Tabel V (Tabel VI).

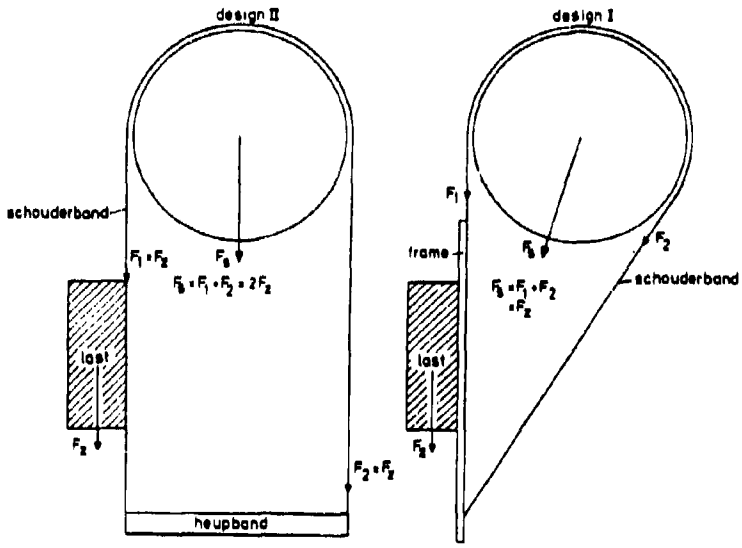


Fig. 5 Een schematische weergave van het verloop van de schouderbanden bij design I en II geprojecteerd op een dwarsaanzicht van de schouder. Tevens is de grootte van de kracht die op de schouders werkt aangegeven.

Tabel VI De absolute (N) en relatieve (% Fmax) belasting van de schouderspieren tijdens het dragen van 14 kg met design I of 7 kg met design II.

	absoluut (N)	relatief (%Fmax)
vrouw	20	4.3
man	20	2.7

Opmerking: de spierbelasting is berekend inclusief de krachtonafhankelijke component, uitgaande van de spierkracht van het 20ste percentiel militairen.

De relatieve spierbelasting ligt bij de lastgewichten die zijn berekend op basis van de huiddruk beneden de limiet van 5%. Indien lineair wordt geextrapoleerd naar de gestelde limiet aan de belastingsgraad van de schouderspieren dan kan zelfs een lastgewicht van 33 en 17 kg door respectievelijk de mannelijke en vrouwelijke militair van het 20ste percentiel worden meegenomen met design I. Hieruit volgt dus dat de huiddruk eerder de beperkende factor is dan de belasting van de schouderspieren.

2.2.3 *Dragen van een last in de hand*

In een aantal situaties komt het voor dat een uitrustingsstuk dat niet standaard meegenomen wordt (bijv. tent, NBC kleding) toch door de militair moet worden verplaatst. Deze uitrustingsstukken worden dan meestal in de hand vervoerd. De maximale last die met de armen kan worden vervoerd zal afhankelijk zijn van de afstand die wordt gelopen en de manier van vasthouden.

In Fig. 6 zijn de toelaatbare handlastgewichten weergegeven voor verschillende loopafstanden.

Voor korte loopafstanden (<15 m) ligt bij het dragen met gestrekte armen het maximale gewicht rond de 14 kg voor het 20ste percentiel van mannelijke industrie arbeiders (Snook e.a., 1970). Dit gaat met 30% omlaag indien met gebogen armen gedragen wordt. Voor loopafstanden van ongeveer 100 m blijkt de maximale last af te nemen tot 12 kg (Kramer & Maguire, 1977).

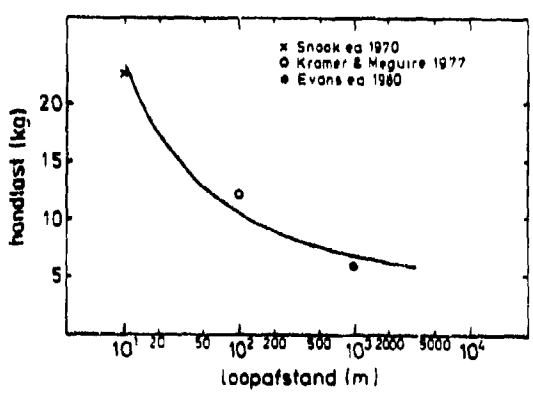


Fig. 6 Het maximale gewicht dat met één arm kan worden gedragen afhankelijk van de loopsafstand door mannelijke personen van het 20ste percentiel.

Vrouwelijke personen zitten hier met 9 kg nog 25% onder. Bedraagt de loopafstand ongeveer 1000 m dan vermindert de handlast tot 6 kg voor mannelijke personen (Evans e.a., 1980). Vrouwelijke militairen komen dan naar verwachting uit op een maximale handlast van 4.5 kg. Literatuurgegevens over handlasten voor loopafstanden groter dan 1000 m zijn niet bekend maar extrapolatie van de gefitte curve tot 10 km levert een maximale handlast op voor de 20ste percentiel mannelijke militair van 5 kg. Grotere afstand zullen zelden voorkomen. Vrouwelijke militairen komen met 25% minder gewicht uit op krap 4 kg. Door het dragen van deze gewichten in de hand zal de romplast verminderd moeten worden met meer dan het handlastgewicht om de metabole belastingsgrens niet te overschrijden, omdat één kg gewicht in de hand vergelijkbaar is met een metabole belasting van ongeveer 1.8 kg centraal op de romp gedragen (Soule & Goldman, 1969) (Tabel VII).

Tabel VII Afname van het toelaatbare lastgewicht op de romp door het dragen van een last in één hand.

	handlast (kg)	looptijd (min)	afname lastgewicht (kg)
vrouw	4	60	7.2
	9	10	--
man	5	60	9
	10	10	--

-- : geen afname van het lastgewicht nodig vanwege de korte draagtijd

Voor de looptijden van 10 minuten is geen correctie aangegeven van het lastgewicht omdat voor deze korte tijden de belasting van het metabole systeem wel even hoger kan zijn dan de gestelde norm.

Het langdurig dragen van een last in de hand vermindert echter wel de last die daarnaast nog meegenomen kan worden aanzienlijk. In eerste instantie moet dus getracht worden om een last mee te nemen op de romp in plaats van in de handen.

3 HET EFFECT VAN DE BEPAKKING OP DE PRESTATIE

Het dragen van bepakking op het lichaam zal de fysieke prestatie beperken. Vooral door het extra gewicht dat meegenomen moet worden maar ook door de volumetoename blijkt de prestatie achteruit te gaan met respectievelijk 1.1%/kg en .2%/l volume van de bepakking (Holewijn & Lotens, 1987). Schouder- of heupdraagwijze bleek in deze studie niet van invloed te zijn op het prestatieverlies maar wel op subjectief ervaren belasting. In Tabel VIII is berekend hoe groot de fysieke prestatieverliezen zullen zijn indien de berekende maximale gewichten worden meegenomen.

Tabel VIII Het voorspelde fysieke prestatieverlies(%) door het dragen van de maximale gewichten afhankelijk van de draagwijze.

	gewicht(kg)	voorspelde prestatieverlies (%)
heupdraagwijze	25	35
schouderdraagwijze		
design I	14	22
design II	7	14

Opmerking: voor de berekening van het prestatieverlies is uitgegaan van een gemiddelde dichtheid van 5000 kg/m^3 en is het gewicht verhoogd met 5,7 kg voor het gewicht van de helm en het wapen.

Net zoals bij de fysiologische belasting zou het gewenst zijn om aan te kunnen geven welk percentage fysiek prestatieverlies acceptabel is. Op basis hiervan zou dan het lastgewicht bijgesteld kunnen worden afhankelijk van te verrichten militaire activiteiten. Hierover zijn echter tot nu toe geen gegevens bekend. Op arbitraire gronden wordt daarom gesteld dat voor gevechtstaken een vermindering van het maximale fysieke prestatievermogen van 10% acceptabel is en voor andere taken (bijv. marsen) 30% fysiek prestatieverlies acceptabel is. Activiteiten zoals kruipen, naar de grond duiken, omhoog springen, handgranaat gooien e.d. zullen met deze percentages achteruit gaan. Voor

gevechtstaken zal deze afname veel kleiner moeten zijn dan voor bijvoorbeeld marcheren, waarbij deze activiteiten zelden van belang zijn. Op basis hiervan kan worden aangegeven welk gewicht wenselijk is gezien vanuit het oogpunt van prestatieverlies (Tabel IX).

Tabel IX Het bepakkingsgewicht behorende bij het geaccepteerde fysieke prestatieverlies

	geaccepteerd prestatieverlies(%)	bepakkingsgewicht(kg)
gevechtstaken	10	9
verplaatsingstaken	30	27

Voor direkte gevechtstaken zal het gewicht van de bepakking maximaal 9 kg mogen zijn. Verminderd met het gewicht van de helm en het wapen blijft er dus 3 kg over voor andere uitrustingsonderdelen (munitie, handgranaten).

Dit is waarschijnlijk een optimistische schatting omdat er in de berekening vanuit is gegaan dat het wapen centraal op de romp bevestigd is. Wordt het wapen in de hand of aan een losse schouderriem meegenomen dan zal het effect van bewegingshinder het prestatieverlies verhogen. Het fysieke prestatieverlies alleen door het wapen loopt dan op tot 8.5% (Lotens, 1986) in plaats van de 6.3% die op grond van het gewicht is berekend. Het resterende gewicht van andere uitrustingsonderdelen zakt hierdoor tot onder de 1 kg.

4 BEPAKKINGSADVIEZEN

Op basis van de toelaatbare lastgewichten berekend voor de verschillende draagwijzen kan worden aangegeven welk type belasting de beperkende factor is bij het lastdragen maar ook hoe groot het totale lastgewicht kan zijn indien verschillende draagwijzen worden gecombineerd. In Tabel X zijn de verschillende mogelijkheden nog eens samengevat. Aangegeven is hoe zwaar het gewicht maximaal mag zijn volgens de gestelde criteria. In de laatste twee rijen is aangegeven wat het toelaatbaar gewicht wordt op basis van het meest beperkende criterium.

Uit Tabel X blijkt dat in het algemeen bij de mannelijke militair door heupdraagwijze het gewicht wordt beperkt door de gestelde grens aan de huiddruk, voor taken waarbij het prestatieverlies rond de 30% mag bedragen. Is de fysieke prestatie echter cruciaal dan wordt hierdoor het gewicht beperkt tot 9 kg. Bij de vrouwelijke militair is het juist, bij de niet gevechtstaken, het metabole systeem dat het gewicht beperkt tot 10 kg terwijl de huiddruk limiet pas bij 25 kg wordt bereikt.

Indien meerdere draagwijzen worden gecombineerd dan levert dit niet altijd een groter gewicht op. Voor de mannelijke militair leidt een combinatie van heupdraagwijze met een maximale handlast tot een totaal gewicht van 21 kg. In de handen kan namelijk maximaal 9 kg worden meegenomen vanwege de gestelde limiet voor huiddruk. Na correctie voor metabole belasting (*1.8) blijft er nog 12 kg over omdat er maximaal 28 kg centraal op de romp worden meegenomen. Indien de vrouwelijke militair de toelaatbare handlast van 6 kg meeneemt dan kan er geen last op de heupen extra worden meegenomen.

De toelaatbare lastgewichten in de laatste twee rijen van Tabel X blijken bij gevechtstaken hoofdzakelijk te worden bepaald door de gestelde limiet aan het prestatieverlies. Voor andere taken is het beeld wat gedifferentieerder. De limiet voor huiddruk bepaalt bij de mannelijke militair de uiteindelijke toelaatbare last terwijl de gestelde limiet aan het arbeidsniveau juist bij de vrouwelijke het lastgewicht bepaalt. Verder valt op dat het grootste lastgewicht (27 kg) meegenomen kan worden door de mannelijke militairen indien heupdraagwijze wordt gecombineerd met schouderdraagwijze (design I). Voor de vrouwelijke militair zijn er meer gelijke draagmogelijkheden om het maximaal toelaatbare gewicht van 10 kg te dragen omdat hiervoor geldt dat de arbeidsbelasting het lastgewicht bepaald en deze wordt niet beinvloed door schouder- of heupdraagwijze.

Op basis van de resultaten uit het onderzoek van Holewijn en Lotens (1987) naar prestatieverliezen door het dragen van militaire bepakking zijn bepakkingsadviezen geformuleerd die inhouden dat zware voorwerpen in eerste instantie rond het bekken verdeeld moeten worden om de stabiliteit het minst aan te tasten. Een deel van het volume kan aan de borstzijde worden gedragen zonder dat er daardoor een extra prestatieverlies optreedt. Om het draagcomfort en de beweeglijkheid van de schouders te bevorderen moet worden getracht het grootste gedeelte van het gewicht af te steunen op de heupen. Indien door de grootte van de bepakking een deel hoog op de rug gedragen moet worden, dan zal dit gewicht via een flexibel frame moeten worden afgesteund op het bekken. Deze noodzaak om meer bepakking mee te moeten meenemen dan rond het bekken bevestigd kan worden zal

Tabel X De lastgewichten, die afhankelijk van de draagwijze, resulteren in het bereiken van de gestelde maxima aan arbeid, huiddruk, spierkracht en prestatieverlies.

	Draagwijze													
	heup		schouder ontwerp I		schouder ontwerp II		handen		heup + handen		heup + schouder I		heup + schouder I + handen	
	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v	m	v
arbeid (4 km/uur)	28	10	28	10	28	10	16	6	21	6	28	10	12+9	6
huiddruk	23	28	14	14	7	7	9*	8*	32	36	37	42	46	50
spierkracht	-	-	33	17	16	8	10	8	-	-	-	-	-	-
prestatieverlies**														
- gevechtstaken	9	6	9	6	9	6	?	?	9	6	9	6	9	6
- verplaatsingstaken	27	18	27	18	27	18	?	?	27	18	27	18	27	18
toelaatbaar lastgewicht														
- gevechtstaken	9	6	9	6	7	6	8	6	9	6	9	6	9	6
- verplaatsingstaken	22	10	14	10	7	7	8	6	21	6	27	10	21	6

* Berekend voor een contactoppervlak tussen hand en last van 80 cm^2 (M) en 70 cm^2 (V).

\- Geen beperkende factor.

** Berekend voor vrouwelijke militairen door 70% van het gewicht van de mannelijke militairen te nemen analoog aan de verhouding van de spierkracht.

? Onbekend.

m mannelijke militair

v vrouwelijke militair

voorkomen tijdens marsen. Snelle rompbewegingen zullen dan niet nodig zijn zodat het negatief effect van een bepakking hoog op de rug op deze bewegingen niet relevant is. Een voordeel van het dragen van het extra gewicht hoog op de rug is dat de projectie van het zwaartepunt makkelijker op de middenvoet te krijgen is door het buigen van de romp. Het looppatroon wordt hierdoor niet verstoord en de kuitspieren niet opgerekt (Holewijn, 1986).

Dit komt goed overeen met het resultaat van Tabel X waarin het grootste lastgewicht meegenomen kan worden indien heupdraagwijze wordt aangevuld met schouderdraagwijze indien meer gewicht moet worden meegenomen. Bij schouderdraagwijze moet dan wel gelden dat design I wordt gebruikt. Dit wordt bereikt door de schouderbanden onder de armen terug te laten lopen naar de ruglast of door aan de borsten de rugzijde evenveel last te bevestigen.

5 CONCLUSIES

Het toelaatbare lastgewicht dat naast de kleding, helm, schoenen en wapen meegenomen kan worden, bedraagt bij een loopsnelheid van 5.2 km/h 15 kg voor mannelijke en 0 kg voor vrouwelijke militairen. Indien meer lastgewicht moet worden meegenomen dan dient de loopsnelheid te worden verlaagd. Door het verhogen van de fitness van de militairen met 10% kan het toelaatbare lastgewicht met 7 kg toenemen.

Bij heupdraagwijze is het maximale lastgewicht gelimiteerd tot 25 kg door de gestelde grens van huiddruk. Schouderdraagwijze reduceert het maximale gewicht tot 14 kg voor design I en tot 7 kg voor design II.

Het lastgewicht dat langdurig per hand kan worden meegenomen bedraagt 5 en 4 kg voor respectievelijk mannelijke en vrouwelijke militairen. Voor looptijden korter dan 10 minuten kunnen deze gewichten worden verdubbeld. Het lastgewicht dat in combinatie met deze handlastgewichten op de romp nog kan worden meegenomen vermindert hierdoor echter aanzienlijk. Er moet in eerste instantie dan ook worden getracht alle last op de romp mee te nemen.

Het grootste lastgewicht kan meegenomen worden door de mannelijke militairen met een ontwerp waarbij een lastgewicht van maximaal 14 kg op de heupband wordt afgesteund en maximaal 14 kg wordt gehangen aan de schouders. De loopsnelheid zal echter dan moeten worden verlaagd tot 4 km/h ter vermijding van een overbelasting van het metabole

systeem. De vrouwelijke militair kan bij dezelfde loopsnelheid 10 kg meenemen aan last.

Om het fysieke prestatieverlies te beperken moet het bepakkingssysteem zodanig ontworpen zijn dat de lichte gevechtsbepakking rond het bekken aan een heupband bevestigd kan worden. Hierbij moet echter niet vergeten worden dat de armen tijdens het lopen zo weinig mogelijk belemmerd worden in de slingerbewegingen vlak langs de romp tijdens het lopen.

Marsbepakking zal hoog op de rug moeten worden gedragen om het draagcomfort te optimaliseren.

REFERENTIES

Åstrand, P.O., Rodahl, K. (1988). Textbook of work physiology (third edition). McGraw-Hill Book Company.

Brekelmans, F.E.M., Moonen, P.T.L., Osinga, D.S.C. (1986). Antropometrische steekproef Dutchmil 1985. Rapport IZF 1986-17, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Björkstén, M., Jonsson, B. (1987). Endurance limit of force in long term intermittent static contractions. Scand. J. Work Environ. & Health 3: 23-27.

Christensen, H. (1986). Muscle activity and fatigue in the shoulder muscles during repetitive work. An electromyographic study. Eur. J. Appl. Physiol. 54: 596-601.

Evans, W.J., Winsmann, F.R., Pandolf, K.B., Goldman, R.F. (1980). Self-paced hard work comparing men and women. Ergonomics 23: 613-621

Gordon, M.J., Goslin, B.R., Graham, T., Hoare, J. (1983). Comparison between load carriage and grade walking on a treadmill. Ergonomics 26: 289-298.

Hagberg, M. (1981). Workload and fatigue in repetitive arm elevations. Ergonomics

Holewijn, M. (1986). Het dragen van een last. Rapport IZF 1986-28, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Holewijn, M. (1987). Het dragen van een bepakking door mannelijke en vrouwelijke militairen. Memo IZF 1987-M4, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Holewijn, M., Lotens W.A. (1987). De invloed van draagwijze en verdeling van de bepakking op de fysieke prestatie. Rapport IZF 1987-20, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Holewijn, M. (1988). Physiological due to wearing a backpack. Rapport 1988-26, Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Kramer, J.J., Meguire, P.G. (1977). Consumer products portability as related to warranty rulemaking. In: Proc. Human Factors 21 th Ann. Meeting 1977.

Lotens, W.A. (1986). Loss of performance due to military clothing and equipment. Rapport IZF 1986-13. Instituut voor Zintuigfysiologie TNO, Soesterberg.

Martin, P.E., Nelson, R.C., Shin, J.S. (1982). The effects of gender, frame length and participation time on load carrying behavior. Natick Report: TR-82/041.

Morton, W.E., Hearle, J.W.S. (1975). Physical properties of textile fibres. Heinemann Ltd. & the Textile Institute 1970.

Pandolf, K.B., Givoni, B., Goldman, R.F. (1977). Predicting energy expenditure with loads while standing or walking very slowly. J. Appl. Physiol. 43: 571-581.

Rosenberg, D.J. (1981). Human factors in portable products. In:Proc. Human Factors Soc., 25 th Ann. Meeting, 1981:317-321.

Sjøgaard, G., Kiens, B., Jorgensen, K., Saltin, B. (1986). Intramusculair pressure, EMG and blood flow during low level prolonged static contractions in man. Acta Physiol. Scand. 128: 475-484.

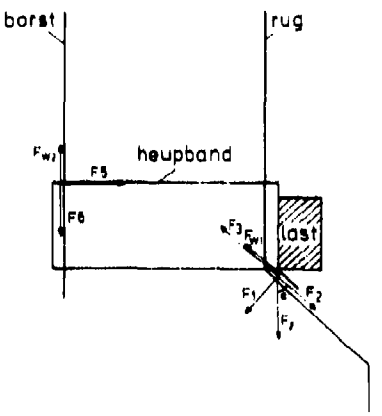
Snook, S.H., Irvine, C.H., Bass S.F. (1970). Maximum weight and work load acceptable to male industrial workers. Am. J. Hyg. Ass. J. 31: 579-586.

Soule, R.G., Goldman, R.F. (1969). Energy costs of load carried on the head, hands, or feets. J. Appl. Physiol. 27: 373-381.
Westerling, D., Kilbom, A. (1981). Physical strain in the handling of gas cilinders. Ergonomics 24: 623-632

APPENDIX A

Berekening toelaatbare lastgewicht bij heupdraagwijze

In Fig. A1. worden de krachten weergegeven die worden uitgeoefend op het bekken tijdens het dragen van een last die op de heupen wordt afgesteund.



F_Z=zwaartekracht

F1=sin(α)*Fz (1)

F2=cos(α)*Fz (2)

Fw1=u*F1 (3)

F3=F2-Fw1 (4)

F5=sin(α)*F3 (5)

F6=cos(α)*F3 (6)

Fw2=u*Fn (7)

u= wrijvingscoëfficiënt

Fig. A1. De krachten op het bekken tijdens het dragen van een last die wordt afgesteund op de rugzijde.

Formule (4) kan worden herschreven door het substutueren van formules 1, 2 en 3 tot

F3=Fz*(cos(α)-u*sin(α)) (N) (8)

Met (8) kunnen de formules (5) en (6) worden veranderd in termen van de zwaartekracht Fz

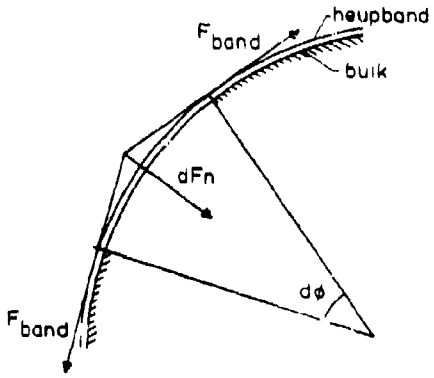
F5=sin(α)*(Fz*(cos(α)-u*sin(α))) (N) (9)

F6=cos(α)*(Fz*(cos(α)-u*sin(α))) (N) (10)

Door formules 9 en 10 te combineren met de gemeten hoeken tussen de rug en het bovenste deel van de bil kunnen de verschillende krachten worden berekend op de buikzijde. Als wrijvingscoëfficient is 0.3 genomen als gemiddelde voor verschillende kledingmaterialen (Morton & Hearle, 1975).

	man	vrouw	
hoek α	30	40	(graden)
F5	.36*Fz	.37*Fz	
F6	.62*Fz	.44*Fz	

De wrijvingskracht Fw2 onder de gehele heupband, wordt bepaald door de grootte van de normaalkracht waarmee de heupband op de taille wordt gedrukt. De normaalkracht (Fn) wordt bepaald door de spanning (Fband) in de heupband en de afbuiging van de heupband. Door vereenvoudiging van de taille tot een cirkel kan op eenvoudige wijze de normaalkracht worden berekend op elk punt onder de heupband (Fig. A2).



$$dFn = 2*\sin(d\emptyset/2)*Fband \quad (N) \quad (11)$$
$$\approx Fband*d\emptyset \quad (N) \quad (12)$$

Fig. A2. De normaalkracht (Fn) die op de kleding wordt uitgeoefend een punt onder de heupband.

Door de vorm van taille heeft de heupband echter niet over de hele omtrek van de taille contact met het lichaam. In werkelijkheid lijkt een dwarsdoorsnede van de romp ter hoogte van de taille aan voorzijde en beide zijkanten op een ellips en aan de achterzijde op een recht vlak naar binnen ingedeukt ter hoogte van de wervelkolom. Hierdoor

zal het contact van de heupband met de rugzijde minimaal zijn en dus weinig bijdrage aan de wrijvingskracht. Geschat wordt dat de hoek waarover de heupband aan de rugzijde niet draagt 0.5π bedraagt. De totale grootte van de normaalkracht Fn wordt verkregen door formule (12) te integeren over de contacthoek (1½π).

$$Fn = \int_0^{1.5\pi} dFn = \int_0^{1.5\pi} Fband * d\emptyset = 1.5\pi * Fband \qquad (N) \qquad (13)$$

Door de normaalkracht uit formule (13) te vermenigvuldigen met de wrijvingscoefficiënt u, wordt de totale wrijvingskracht verkregen die een gevolg is van de heuplast (14). Deze wrijvingskracht Fw2 is dus tegengesteld in richting aan de kracht F6, die de heupband naar beneden trekt. De wrijvingscoëfficient is weer .3.

$$Fw2 = .3 * Fn$$
$$= .3 * (1.5\pi * Fband) \qquad (N) \qquad (14)$$

met Fband= .5*F5

Door nu de kracht F5 te schrijven in termen van de zwaartekracht Fz (zie 9) kan de relatie tussen het lastgewicht en de door het gewicht veroorzaakte wrijvingskracht Fw2 worden berekend, voor de mannelijke en vrouwelijke militair.

	man	vrouw
Fw2	.25*Fz	.26*Fz

De wrijvingskracht Fw2 is niet voldoende groot om de kracht F6, $.62F_z$ voor mannen en $.44F_z$ voor vrouwen, die de heupband omlaag wil trekken te compenseren. Door verhoging van de spanning in de heupband, resulterend in een hogere wrijvingskracht tussen heupband en de kleding, zal deze extra benodigde wrijvingskracht (ΔFw2) moeten worden gegenereerd. De grootte van de extra benodigde wrijvingskracht is

	man	vrouw
$\Delta Fw2$	.37*Fz	.18*Fz

Met behulp van formule (14) kan worden berekend hoe strak de heupband extra moet worden aangetrokken om de benodigde $\Delta Fw2$ te bereiken (15).

$$Fheupband=(\Delta Fw2/(.3*1.5\pi)) \qquad (N) \qquad (15)$$

Dit levert dan voor de mannelijke en vrouwelijke militair de volgende extra benodigde heupbandspanning op afhankelijk van de kracht Fz

	man	vrouw		
Fband	.26*Fz	.13*Fz	(N)	(16)

Bij een toenemend laastgewicht zal dus de heupbandspanning moeten toenemen om voldoende wrijving te veroorzaken tussen de kleding en het draagsysteem om het afglijden van de heupband te voorkomen. Een toenemende spanning in de heupband zal echter leiden tot een hogere druk op de huid. Uitgaande van het beschikbare oppervlak aan de buikzijde kan nu worden berekend hoe groot het laastgewicht kan zijn zodat de huiddruk beneden de 11 kPa grens blijft. Indien de taillecomtrek wordt vereenvoudigd tot een cirkel dan bedraagt de booglengte van het buikdeel een kwart van de totale omtrek, die gemiddeld 1 m bedraagt (Brekelmans, Moonen & Osinga, 1986). Aan de buikzijde zal een hoogte van .08 m van de heupband ongeveer het maximum zijn wat bij vooroverbukken niet teveel hindert. Het totaal beschikbare oppervlak aan de buikzijde is dan .02 m^2. Hieruit volgt dat de normaalkracht geïntegreerd over het contactoppervlak aan de buikzijde niet meer dan 220 N mag bedragen. Op basis hiervan kan worden berekend hoe groot de spanning in de heupband, Fband mag zijn volgens (17)

$$\int_0^{.5\pi} dFheup = \int_0^{.5\pi} Fheup*d\emptyset \quad (N) \qquad (17)$$

$$.5\pi*Fn = 220 \quad (N)$$

$$\Rightarrow Fheup \approx 140 \quad (N)$$

De spanning in de heup de heupband wordt bepaald door het gezamelijke effect van het gewicht aan de rugzijde (F5) en extra benodigde spanning (16). Voor de mannelijke en vrouwelijke militair kan nu het maximale gewicht dat op de heupen kan worden bevestigd worden bepaald

	man	vrouw
	140=.26*Fz+.36*Fz	140= 0.13*Fz+.37*Fz
=>	Fz = 225 N	Fz = 280 N

In de berekening is er vanuit gegaan dat de heupband maximaal 0.08m hoog is. Aan de rugzijde zal de heupband echter hoger moeten worden om de kracht F1 die loodrecht op het bovenste deel van de bil staat over een voldoende groot oppervlak te verdelen zodanig dat de huiddruk beneden de 11 kPa blijft. Uitgaande van een breedte van de rug van .25 m kan worden berekend hoeveel de extra hoogte er nodig is aan de rugzijde om de kracht F1 te verdelen (Tabel A1).

Tabel A1. De extra hoogte aan de rugzijde om de kracht F1 te verdelen.

	lastgewicht (kg)	extra hoogte (m)
man	23	.041
vrouw	28	.065

De totale hoogte van de heupband wordt aan de rugzijde dus 12 cm voor de mannelijke en 15 cm voor de vrouwelijke militair.

APPENDIX B

Berekening maximale lastgewicht bij schouderdraagwijze

Uit eerder onderzoek is gebleken dat op de top van de schouder een druk op huid wordt uitgeoefend die maximaal 2.5% van het lastgewicht per schouder per cm^2 bedraagt (Holewijn, 1988). De schouderband was in dit onderzoek 5 cm breed. Deze breedte kan echter nog worden verhoogd tot 8 cm zodat hierdoor deze maximale huiddruk naar verwachting met een factor 8/5 zal verminderen. Uitgaande van de gestelde huiddruklimiet van 11kPa kan eenvoudig worden uitgerekend hoe groot de toelaatbare verticale kracht (Fmax) kan zijn (1).

$$5/8*.025Fmax = .016*Fmax/cm^2 = 1.1\ N/cm^2 \quad (N) \qquad (1)$$

$$\Rightarrow Fmax = 69 \quad (N)$$

Afhankelijk van het design worden zo de limieten van Tabel BI gevonden.

Tabel BI. Het lastgewicht (kg) dat aan 2 schouders afgehangen leidt tot het bereiken van de limiet voor huiddruk afhankelijk van het design.

	design I	design II
gewicht (kg)	14	7

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL)	2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER	3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER
TD 89-3364		IZF 1989-21
4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.	**5. CONTRACT NUMBER**	**6. REPORT DATE**
736.1	A85/KL/138	July 7, 1989
7. NUMBER OF PAGES	**8. NUMBER OF REFERENCES**	**9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED**
32	21	Final

10. TITLE AND SUBTITLE

De militaire bepakking, adviezen over het gewicht en de verdeling
(The military pack, optimal load and distribution)

11. AUTHOR(S)

M. Holewijn

12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Institute for Perception
Kampweg 5
3769 DE SOESTERBERG

13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)

TNO Division of National Defence Research
Koningin Marialaan 21
2595 GA DEN HAAG

14. SUPPLEMENTARY NOTES

15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE)

The maximum load for carrying durations up to two hours was calculated on the basis of physical characteristics of male and female soldiers of the Royal Netherlands Army and the results of previous experiments on strain due to load carrying. The capacity of the metabolic system restricts the total load to 37 kg for the male and 22 kg for the female soldier at walking speed. Subtracting the weight of the clothing, boots, helmet, and weapon leaves 15 kg for extra load for the male and none for the female soldier. More load can be carried by reducing the walking speed according to a calculated relationship.
Pressure on shoulders and waist, and force of the shoulder muscles limits the maximum load. Load supported by a waist belt limited to 25 kg; suspension to the shoulders to 14 kg if both ends of the shoulder straps are attached to the load.
During fighting conditions a loss of physical performance of less than 10% is suggested as acceptable. It is calculated that the maximum load is limited to 9 kg for male soldiers and to 6 kg for female soldiers. Heavier loads are only acceptable for marching order.

16. DESCRIPTORS	IDENTIFIERS
Workload Military Job performance Sex differences	Military pack

17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)	17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)	17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)
-	-	-

18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT	17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)
Unlimited availability	-

VERZENDLIJST

1. Hoofddirecteur van de Hoofdgroep Defensieonderzoek TNO

2. Directie Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling Defensie

3. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
   Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL

4,5. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KLu

6. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
   Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM

7. Wnd. Directeur Militair Geneeskundige Diensten
   Cdre vliegerarts H.H.M. van den Biggelaar

8. Inspecteur Geneeskundige Dienst KL
   Brig.Gen.-arts B.C. Mels

9. Inspecteur Geneeskundige Dienst KLu
   Cdre J.Th. Versteeg

10. Inspecteur Geneeskundige Dienst Zeemacht
    Cdr-arts A.J. Noordhoek

11 tm 15. LKol. H.J. Poelhekken, Projectbureau PSU-80

16,17,18. Hoofd van het Wetensch. en Techn. Doc.- en Inform. Centrum voor de Krijgsmacht

LEDEN WAARNEMINGS CONTACT COMMISSIE

19. Maj.Ir. W.C.M. Bouwmans
20. LTZAR1 F.D.J.R. Feunekes
21. Dr. N. Guns
22. Drs. C.W. Lamberts
23. Ir. P.H. van Overbeek
24. Drs. W. Pelt
25. Maj. dierenarts H.W. Poen
26. Drs. F.H.J.I. Rameckers
27. Prof.Ir. C. van Schooneveld
28. LKol.Drs. H.W. de Swart
29. Kol. vliegerarts B. Voorsluijs

Extra exemplaren van dit rapport kunnen worden aangevraagd door tussenkomst van de HWOs of de DWOO.