

UJB

BQX
K 391)

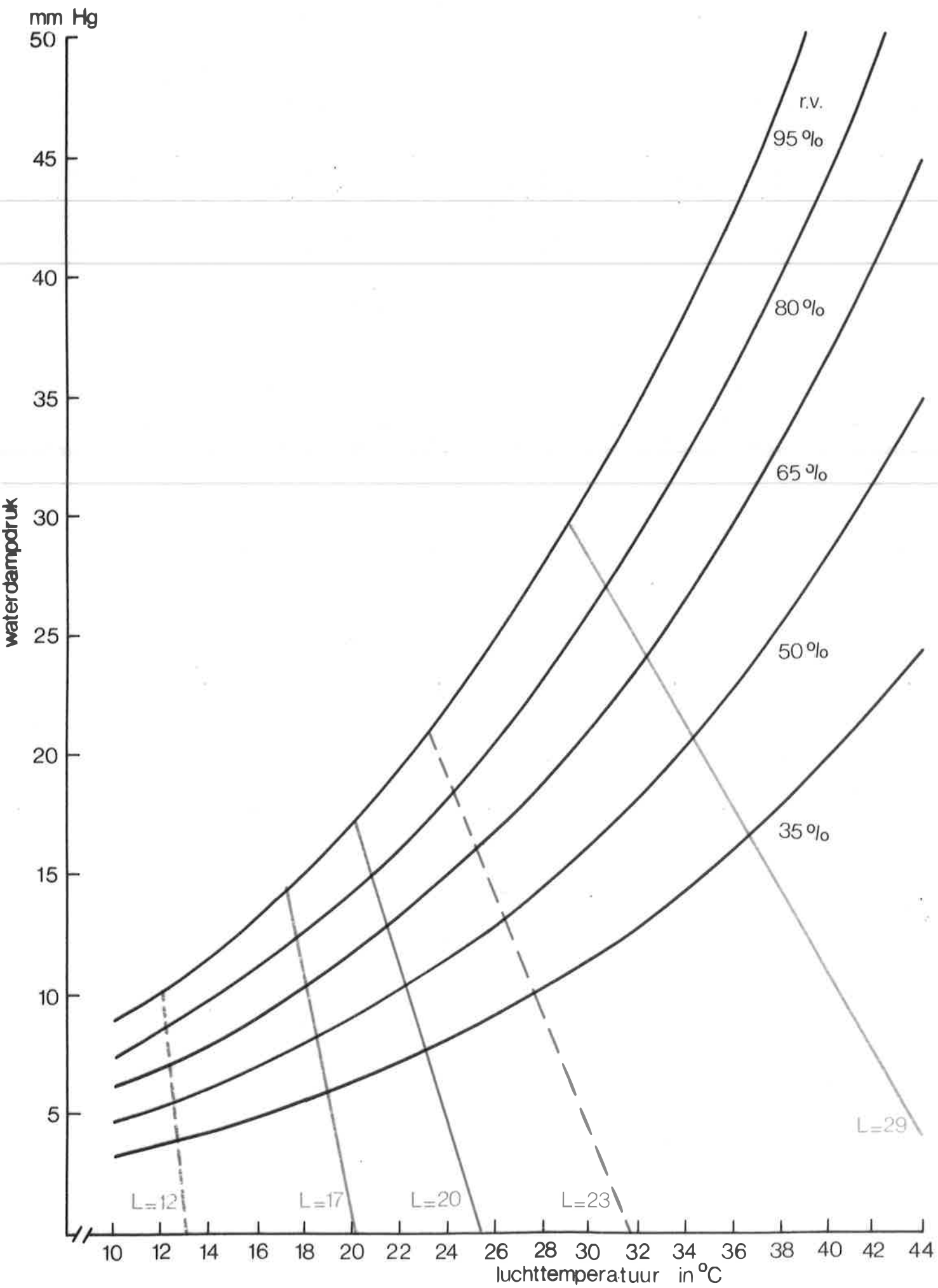
A. KEIJZER
B.D.R. KLUVER
M. WOERLEE

DE GRENZEN VOOR DE THERMISCHE BELASTING VAN DE MENS
AANGEGEVEN DOOR DE TEMPERATUURINDEX UIT DE NIEUWE
KLIMAATPARAGRAAF VAN HET VEILIGHEIDSBESLUIT VOOR
FABRIEKEN EN WERKPLAATSEN 1938, THERMOFYSIOLOGISCH
GEINTERPRETEERD

H. VAN DER SLUIJS
ENKELE WAARNEMINGEN D.M.V. HUIDPLETHYSMOGRAFIE
BIJ AANDACHTSCONCENTRATIE

NEDERLANDS INSTITUUT VOOR PRAEVENTIEVE GENEESKUNDE TNO
LEIDEN
NOVEMBER 1973

De twee artikelen, in dit geschrift gebundeld, zijn de bewerkte teksten van inleidingen, uitgesproken tijdens de studiedag van de Nederlandse Vereniging voor Arbeids- en Bedrijfsgeneeskunde, gehouden op 22 februari 1973 in het Nederlands Instituut voor Preventieve Geneeskunde. Het was oorspronkelijk de bedoeling, deze teksten te publiceren in "Mens en Onderneming" - tijdschrift uitgaande van het NIPG/TNO - maar omdat zij niet pasten in de redactionele doelstelling van dit blad is besloten, ze afzonderlijk te publiceren.

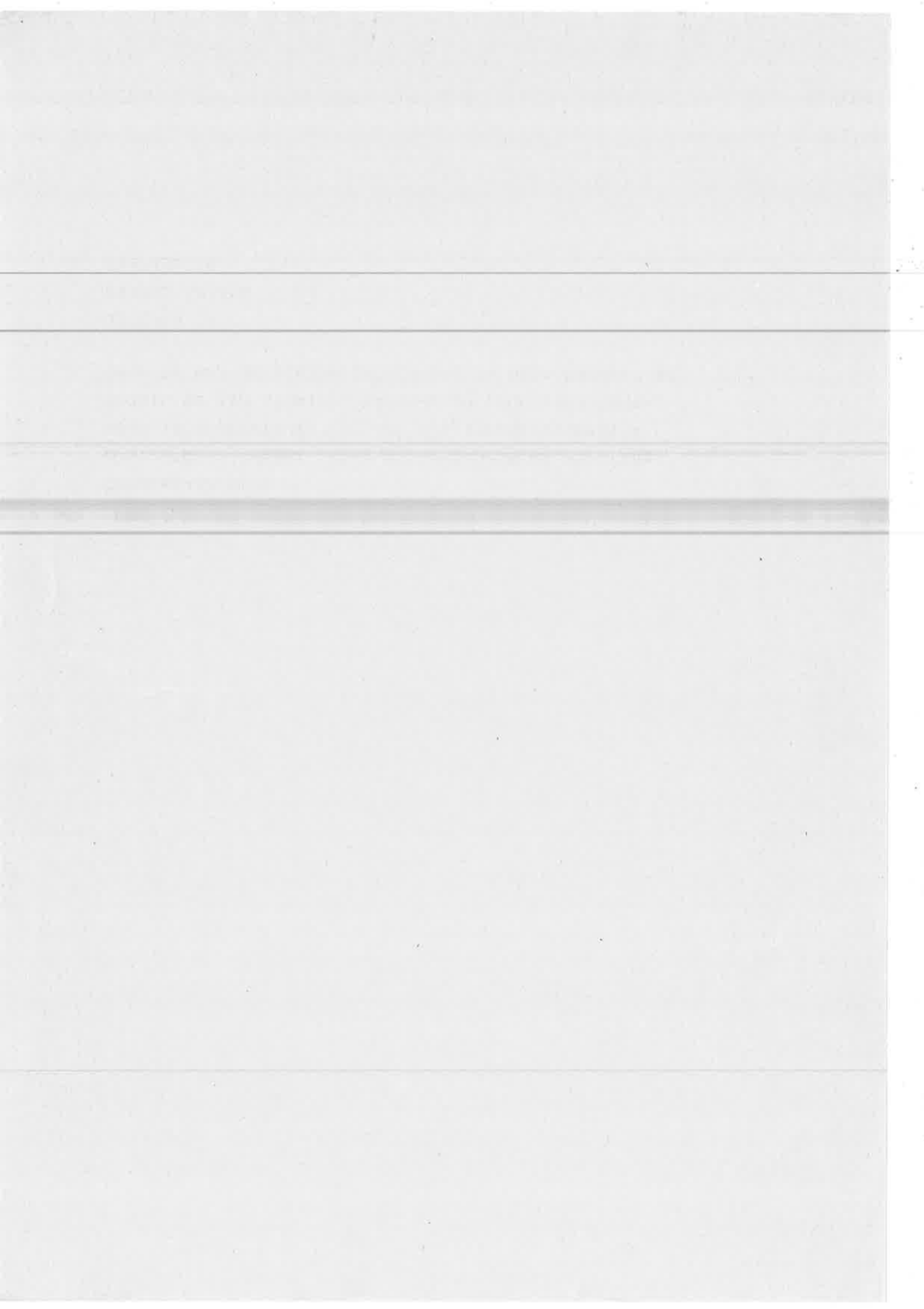


A. KEIJZER

B.D.R. KLUVER

M. WOERLEE

DE GRENZEN VOOR DE THERMISCHE BELASTING VAN DE MENS
AANGEGEVEN DOOR DE TEMPERATUURINDEX UIT DE NIEUWE
KLIMAATPARAGRAAF VAN HET VEILIGHEIDSBESLUIT VOOR
FABRIEKEN EN WERKPLAATSEN 1938, THERMOFYSIOLOGISCH
GEINTERPRETEERD



Inhoud

	blz.
1. Inleiding - - - - -	1
2. Bespreking van de thermofysiologische achtergronden van het thermoregulator model - - - - -	2
3. Lijst van gebruikte symbolen voor het rekenprogramma - - -	4
4. Fortran rekenprogramma van het mathematisch model van de thermoregulatie - - - - -	5
5. Toepassing van het rekenmodel voor het bepalen van de thermofysiologische toestanden - - - - -	11
6. Vergelijking van de L-indices met de thermofysiologische kriteria - - - - -	15
7. Mollier-diagrammen van L-indices en thermofysiologische grenzen - - - - -	17
8. Analyse van de diagrammen voor de L-indices en de thermo- fysiologische grenzen en hun vergelijking - - - - -	26
Samenvatting - - - - -	27
Summary - - - - -	27
Literatuur - - - - -	28

1. Inleiding

Voor fabrieken en werkplaatsen zijn sinds 1938 bepalingen van kracht die de mens moeten beschermen tegen te hoge klimaatbelasting. Omdat het wetenschappelijk inzicht over de invloed van het klimaat op de mens sindsdien is toegenomen, heeft een herziening van de oude klimaatparagraaf plaatsgevonden. Bij Koninklijk Besluit zijn ingaande 1 juli 1970 nieuwe bepalingen van kracht geworden. Eén van deze bepalingen betreft het aangeven van begrenzingen voor de klimaatbelasting m.b.v. een zgn. temperatuurindex, die door twee klimaatechnici is opgesteld (D. van Zuilen en G.H. Dop). Deze temperatuurindex L luidt:

$$L = \frac{42 t_1 - 8 t_{1n}}{34 + t_1 - t_{1n}}, \text{ waarin}$$

t_1 de droge en t_{1n} de natte luchttemperatuur is.

Voor situaties waarin de werknemer met de gebruikelijke kleding lichte tot matig zware arbeid verricht, worden waarden van L aangegeven waar-tussen het klimaat van de werkruimte thermisch behaaglijk ($L = 17$ tot $L = 20$) aanvoelt, resp. wenselijk ($L = 12$ tot $L = 23$) is en waarboven het klimaat aanleiding geeft tot een ontoelaatbare thermische belasting ($L = 29$).

Bij het opstellen van de formule voor de L-index is naar maximale eenvoud gestreefd, hetgeen de praktische hanteerbaarheid ten goede komt. Zij is bereikt door de stralingstemperatuur gelijk te stellen aan de luchttemperatuur, een constante windsnelheid ($0,25 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$) aan te nemen en het gebruik van normale werkkleding te veronderstellen, waarvan de warmteweerstand globaal $0,6 \text{ clo}$ bedraagt ($1 \text{ clo} \approx 0,155 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$; clo is de afkorting van clothing unit).

In het algemeen is voor het vaststellen van bovengenoemde L-grenzen een omvangrijke kennis van de interrelaties tussen klimaat, kleding, mens en zijn subjektieve interpretatie van de thermische belasting noodzakelijk. De laatste tien jaren is deze kennis sterk toegenomen na de uitvoering van een groot aantal klimaatkamerexperimenten in het onderzoekskader naar de thermofysiologische toestand van de mens bij ruimtevluchten. De onderzoekresultaten hebben het mogelijk gemaakt een mathematisch model van de thermoregulatie te ontwikkelen, waarbij men de thermofysiologische toestand van de geklede mens kwantitatief kan voorspellen bij bekend klimaat en bekende arbeidsbelasting (Gagge et al., 1971).

Konkreet betekent deze toestand opgave van de getallenwaarden van een reeks thermofysiologische grootheden. Twee variabelen, nl. huiddoorbloeding en percentage bevochtigd huidoppervlak door zweten, vertonen relaties met de subjektieve gevoelens van thermische behaaglijkheid en onbehaaglijkheid, zoals uit analyse van de resultaten van eerdergenoemde klimaatkamerexperimenten eveneens is gebleken. De overgang van discomfortabel koud naar comfortabel gaat thermofysiologisch gepaard met een huiddoorbloeding van $6,3 \text{ l.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ en de grens van comfortabel naar discomfortabel warm met een percentage bevochtigd huidoppervlak van 20% (Gagge et al., 1971). Voor de overgang van zeer discomfortabel warm naar ontoelaatbaar warm wordt een huiddoorbloeding van $30.1.\text{m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ als voorlopige waarde aangenomen, hetgeen voortgezette toetsing inhoudt (Fanger, 1970; Stolwijk, 1972).

Uit bovenstaande blijkt dat thermofysiologisch op meer verantwoorde wijze de begrenzingen zijn aan te geven van de werkklimaten welke bij de gebruikelijke kleding als thermisch behaaglijk worden ervaren. Door zowel de thermofysiologische als de klimaattechnische grenzen in een zgn. mollier diagram uit te zetten, zijn beide soorten criteria met elkaar te vergelijken, hetgeen de opzet van deze publikatie is.

2. Bespreking van de thermofysiologische achtergronden van het thermoregulatorisch model

Het mathematische model van de thermoregulatie onderscheidt het menselijk lichaam in een schil en een kern. De schil is identiek aan de inhoud van de huid met een dikte van enkele millimeters, de kern aan het overige deel van het lichaam. Hoewel de verbranding van voedingsstoffen met zuurstof in alle lichaamscellen plaatsvindt, dus ook in de schil, gaat men er bij het model vanuit dat deze stofwisseling uitsluitend in de kern geschiedt. Zij dient voor de vorming van energie die nodig is om de levensverrichtingen te kunnen vervullen en geeft daarbij warmte als nevenprodukt af. De stofwisselingsintensiteit wordt bepaald door de arbeidsbelasting en de warmteproductie door arbeidsbelasting en nuttig effect van de arbeidsvorm samen. De ontwikkelde warmte wordt vanuit de kern overgedragen aan de schil door convectie met het bloed en door weefselgeleiding, waarbij de eerstgenoemde transportweg het grootste deel voor haar rekening neemt. Dit impliceert dat bij een grote warmteproductie in de kern een sterk beroep gedaan wordt op de transportcapaciteit van het bloedcirculatiesysteem waarin het hart een

belangrijke rol vervult. Een klein deel van de kernwarmte verdwijnt - buiten de schil om - direkt naar de omgeving met de ademhaling. Terwijl de schil warmte opneemt vanuit de kern, staat zij deze op haar beurt weer af aan het milieu door straling en convectorie en door verdamping van vocht op de huid en in de ademhalingswegen. Met deze opmerking is de warmtetransport vanuit de kern naar de omgeving kwalitatief beschreven. Gaat men in op het kwantitatieve aspekt, dan zijn zowel voor de kern als de schil - rekening houdende met de arbeidsbelasting, nuttig effekt van de arbeid, kleding en klimaatfactoren van het milieu - momentaan en in de tijd warmtebalansvergelijkingen tussen warmteproduktie en warmte-afgifte op te stellen. De warmtecapaciteiten van beide compartimenten gecombineerd met het verloop van hun warmte-inhouden - uit de vergelijkingen te ontleenen - geven het temperatuurverloop van kern en schil. Deze temperaturen wijken in het algemeen af van de zgn. set-point temperaturen voor beide delen die behoren bij een toestand van fysiologische, thermische neutraliteit. Deze treedt op onder een bepaalde klimaatconditie, waarbij de ongeklede mens langdurig in volstrekke rust verkeert.

De man vertoont dan een evenwicht tussen warmteproduktie en warmteafgifte zonder aktieve fysiologische maatregelen te hoeven nemen om de afgifte aan de produktie aan te passen. In dat geval bedraagt de set-point temperatuur voor de schil $34,1^{\circ}$ en de kern $36,6^{\circ}\text{C}$. De temperatuurgradiënten tussen de aktuele temperatuurwaarden van kern en schil en hun set-point waarden regelen, met tussenkomst van het centrale zenuwstelsel, de mate van warmte-afgifte. Dit laatste wordt gerealiseerd door regeling van de wijidte van de huidbloedvaten en zweetvorming door zweetklieren. Het eerste mechanisme regelt de droge warmte-afgifte (d.i. door straling en convectorie samen) in samenhang met het omgevende klimaat, het tweede de natte warmte-afgifte door verdamping van zweetvocht in combinatie met het omringend milieu. Het resultaat is dat de warmte-afgifte aangepast wordt aan de warmteproduktie en een toestand van warmte-evenwicht ontstaat of wordt benaderd.

Bovenstaande warmtehuishouding, die gebaseerd is op warmteproduktie en warmte-afgifte en waarbij de afstemming van afgifte op produktie door de temperatuurgradiënten van kern en schil geschiedt, is stap voor stap kwantitatief beschreven in het rekenprogramma van het thermoregulatorisch model.

3. Lijst van gebruikte symbolen voor het rekenprogramma

Algebraic		Unit	Fortran	Algebraic		Unit	Fortran
S	Total body heat storage	W/sq m	STORE	T _{cr}	Temperature of body core	C	TCR
S _{sk}	Heat storage of skin shell	W/sq m	HFSK	T _{eff}	ASHRAE effective temperature	F	
S _{cr}	Heat storage of body core	W/sq m	HFCR	P _a	Saturated vapor pressure at T _a	mmHg	PTTBL(TA)
M	Metabolic heat production	W/sq m	RM	P _{sk}	Saturated vapor pressure at T _{sk}	mmHg	PTTBL(TSK)
E	Total evaporative heat loss	W/sq m	EV	P _{dew}	Saturated vapor pressure at T _{dew}	mmHg	PTTBL(TDEW)
E _{res}	Respired vapor loss	W/sq m	ERES	φ _a P _a	Ambient vapor pressure	mmHg	PPHG
E _{sk}	Total skin evaporative loss	W/sq m	ESK	h	Combined heat transfer coefficient	W/(sq m)(C)	CTC
E _{diff}	Skin vapor loss by diffusion	W/sq m	EDIF	h _r	Linear radiation exchange coefficient	W/(sq m)(C)	CHR
E _{rsw}	Skin evaporative loss by regulatory sweating	W/sq m	ERSW	h _c	Convective heat transfer coefficient	W/(sq m)(C)	CHC
E _{nmax}	Maximum evaporative loss from skin surface	W/sq m	EMAX	I _{cl}	Insulation of clothing	clo	CLO
H _{sk}	Total heat loss from skin surface	W/sq m	PWET	F _{cl}	Clothing thermal efficiency factor	N.D.	FCL
w	Total skin wettedness	N.D.	PRSW	F _{pcl}	Permeation efficiency factor for clothing	N.D.	FPCL
w _{rsw}	Wettedness due to regulatory sweat	N.D.	PDIF	m	Total body mass	kg	81.7
w _{diff}	Skin wettedness due to diffusion	N.D.	W	m _{sk}	Mass of skin shell	kg	3.4
W	Rate of work accomplished	W/sq m	WE	m _{cr}	Mass of body core	kg	78.3
μ	Mechanical efficiency (W/M)	N.D.	DRY	A	DuBois surface area	sq m	2.0
R+C	Total dry heat loss	W/sq m	TA	Ṡ _{bl}	Rate of skin blood flow	1/(hr)(sq m)	SKBF
T _a	Dry bulb or air temperature	C	TDEW	Ṡ _{bl-min}	Min. skin blood flow	1/(hr)(sq m)	6.3
T _{dew}	Dew point temperature	C	TWET	c _{bl}	Specific heat of blood	(W)(hr)/(kg)(C)	1.163
T _{wet}	Wet bulb temperature	C		k _{min}	Min. skin heat conductance	W/(sq m)(C)	KMIN
φ _a	Relative humidity as a fraction	N.D.	RH	c' _{sk}	Thermal capacity of skin shell	(W)(hr)/(C)	TCSK
T _{sk}	Temperature of skin shell	C	TSK	c' _{cr}	Thermal capacity of body core	(W)(hr)/(C)	TCCR
				t	Time	hr	TIME
				Δt	Increment of time	hr	DTIM
				Ṫ _{sk}	Rate of change of T _{sk} (ΔT _{sk} /Δt)	C/hr	
				Ṫ _{cr}	Rate of change of T _{cr} (ΔT _{cr} /Δt)	C/hr	
				ΔT _{sk}	Incremental change in T _{sk}	C	DTSK
				ΔT _{cr}	Incremental change in T _{cr}	C	DTCR
				Σ _{sk}	Skin signal	C	SKSIG
					When (+) warm signal		WARMS
					When (-) cold signal		COLDS
				Σ _{cr}	Core signal	C	CRSIG
					When (+) warm signal		WARMC
					When (-) cold signal		COLDC
				ΔT̄ _B /Δt	Change in mean body temperature (rate)	C/hr	STORC
				ṁ _{rsw}	Rate of sweat secretion	g/(hr)(sq m)	REGSW

Fortran symbols not listed above are defined within the program itself in terms of the above.



CENTRAAL REKENINSTITUUT

4. Fortran rekendprogramma van het mathematisch model van de thermo-regulatie

056810

056810

```

0001 DIMENSION FYRS(18,20,3),HERS(18,20,3),D(3),II(21)
0002 REAL KMIN
0003 LUNPR=6
0004 LUNCR=5
0005 READ(LUNCR,104)IDAO,ICAL
0006 104 FORMAT(2I1)
0007 M=0
0008 FC=3.1
0009 DO 99 IK=60,180,30
0010 RM=IK
0011 IF(RM-60.)58,58,57
0012 98 WE=0.0
0013 GO TO 96
0014 97 WE=0.2
0015 96 CONTINUE
0016 DO 99 JK=35,95,15
0017 RH=JK/100.0
0018 DO 99 KK=60,140,40
0019 CLC =KK/100.
0020 DO 99 LK=25,100,75
0021 V=LK/100.
0022 N=0
C IDAO=0 IN DEGREES FAR.
C IDAO=1 IN DEGREES CEL.
0023 IF(IDAO-1) 301,302,302
0024 301 DO 200 J=5,80,5 0020
0025 FA=125-J 0021
0026 TA=(FA-32.)/1.8 0022
0027 GO TO 303 0023
0028 302 DO 100 K=2,36,2 0024
0029 TA=46-K 0025
C STANCRD MAN IS 81.7KG 1.77M HT AND 2.0 SQ.M DUBOIS AREA 0026
C IN PROGRAM 1.163=CCNV. FACTOR KCAL/HR TO WATTS 0027
C 1.163=SPECIFIC HEAT OF BLOOD IN W*FR/(L*C) 0028
C 0.7=LATENT HEAT IN WATT*HR/G 0029
C 0.97=SPECIFIC HEAT OF BODY IN W*HR/(KG*C) 0030
C 2.2=LEWIS NUMBER 0031
C INITIAL CONDITICNS _ BODY IN PHYSIOL. THERMAL EQUILIBRIUM 0032
0030 303 TSK=34.1 0033
0031 II(N+1)=M
0032 M=0
0033 TIMEK=1.
0034 N=N+1
0035 TCR=36.6 0034
0036 CHR=5.23 0035
0037 CHC=HC*(V/0.1)**0.5
0038 CTC=CHC+CHR
0039 WK=WE*RM 0037
0040 FCL=1./(1.+0.155*CTC*CLO) 0038
0041 FPCL=1./(1.+0.143*(CTC-CHR)*CLO) 0039
0042 ERSW=0.0 0040
0043 EDIF=5.0 0041
0044 ERES=0.0023*RM*(44.-RH*PITBL(TA)) 0042
0045 EV=ERES+EDIF 0043
0046 ED RIP=0. 0044
0047 WRSW=0.0 0045
C KMIN = MIN. CONDUCTANCE IN W/(SQ.M*C) 0046
0048 KMIN=5.28 0047
    
```



CENTRAAL REKENINSTITUUT

	C SKBFN = NORMAL SKIN BLOOD FLOW L/(SQ.M*HR)	0048
0049	SKBFN=6.3	0049
0050	SKBF=SKBFN	0050
0051	TIME=0.0	0051
0052	PPHG=RH*PIIBL(TA)	0052
0053	600 CONTINUE	0053
	C HEAT BALANCE EQUATIONS FOR PASSIVE SYSTEM	0054
	C HEAT FLOW FROM CORE TO SKIN TO AIR IN W/SQ.M	0055
0054	HFSK=(TCR-TSK)*(KMIN+1.163*SKBF)-CTC*(TSK-TA)*FCL-(EV-ERES)	0056
0055	HFCR=RM-(TCR-TSK)*(KMIN+1.163*SKBF)-ERES-HK	0057
	C THERMAL CAPACITY OF SKIN SHELL FOR AV. MAN IN W.HR/C	0058
0056	TCSK=0.97*3.4	0059
	C THERMAL CAPACITY OF CORE FOR AV. MAN IN W.HR/C	0060
0057	TCCR=0.97*78.3	0061
	C CHANGE IN SKIN SHELL AND CORE IN DEG. C PER HOUR	0062
0058	DTSK=(HFSK*2.0)/TCSK	0063
0059	DTCR=(HFCR*2.0)/TCCR	0064
	C NOTE UNIT OF TIME IS ONE HOUR	0065
0060	DTIM=0.01666666667	0066
	C TO ADJUST INTEGRATION OVER SMALL STEPS IN DTSK AND DTCR	0067
0061	U=ABS(DTSK)	0068
0062	IF(U*DTIM-0.1) 873,873,874	0069
0063	874 DTIM=0.1/U	0070
0064	873 CONTINUE	0071
0065	U=ABS(DTCR)	0072
0066	IF(U*DTIM-0.1) 973,973,974	0073
0067	974 DTIM=0.1/U	0074
0068	973 CONTINUE	0075
0069	TIME=TIME+DTIM	0076
0070	TSK=TSK+DTSK*DTIM	0077
0071	TCR=TCR+DTCR*DTIM	0078
	C CONTROL SYSTEM	0079
	C DEFINING SIG. FOR CONTROLS FOR VASO CONSTRICT. DILATION	0080
	C FROM SKIN	0081
0072	SKSIG=(TSK-34.1)	0082
0073	IF(SKSIG)900,900,901	0083
0074	900 COLDS=-SKSIG	0084
0075	WARMS=0.0	0085
0076	GO TO 902	0086
0077	901 COLDS=0.0	0087
0078	WARMS=SKSIG	0088
	C FROM CORE	0089
0079	902 CRSIG=(TCR-36.6)	0090
0080	IF(CRSIG)800,800,801	0091
0081	800 COLDC=-CRSIG	0092
0082	WARMC=0.0	0093
0083	GO TO 802	0094
0084	801 WARMC=CRSIG	0095
0085	COLDC=0.0	0096
	C FACTORS 0.5(COLD) AND 75.(WARM) GOVERN STRIC AND DILAT SEE NEXT 2 CARDS	0097
0086	802 STRIC=0.5*COLDS	0098
0087	DILAT= 75.*WARMC	0099
	C NEW SKIN BLOOD FLOW	0100
0088	SKBF=(SKBFN+DILAT)/(1.+STRIC)	0101
	C CONTROL OF REG. SWEATING	0102
	C REGSW IN G/(SQ.M*HR)	0103
	C DURING REST	0104
0089	IF(RM-60.)401,401,402	0105



CENTRAAL REKENINSTITUUT

056811

056811

0090	401 REGSW=100.*WARMC*WARM5	0106
0091	GC TO 403	0107
0092	C DURING EXERCISE	0108
	402 REGSW=250.*WARMC+100.*WARMC*WARM5	0109
0093	C BULLIARD VAN BEAUMONT EFFECT, MODIFIED BY STOLWIJK	0110
	403 ERSW=0.7*REGSW*2.**((TSK-34.1)/3.)	0111
	C TO AVOID IMPOSSIBLE SOLUTIONS MAX. REGSW IS 16 G/MIN	0112
0094	IF(REGSW=500.)404,404,405	0113
0095	405 IF(IDAO=1) 406,407,407	
0096	406 N=N-1	
0097	GO TO 200	
0098	407 N=N-1	
0099	GO TO 100	
0100	404 CONTINUE	0118
	C WRSW IS REG. SWEAT IN (10000./HR) UNITS PER AV. MAN	0119
0101	WRSW= WRSW+ (ERSW*2.0/(0.7* 100.)) *DTIM	0120
0102	EMAX=2.2*CHC*(PTTBL(TSK)-RH*PTTBL(TA))*FPCL	0121
0103	PRSW=ERSW/EMAX	0122
0104	PWET=(0.06+.94*PRSW)	0123
	C NOTE TOTAL EVAPORATIVE LOSS FROM SKIN IS PWET*EMAX	0124
0105	EDIF=PWET*EMAX-ERSW	0125
0106	EV=ERES+ERSW+EDIF	0126
0107	IF(ERSW-EMAX)220,220,201	0127
0108	201 LD RIP=ERSW-EMAX	0128
0109	EV=ERES+EMAX	0129
0110	ERSW=EMAX	0130
0111	EDIF=0.0	0131
0112	PRSW=1.0	0132
0113	PWET=1.0	0133
0114	220 CCNTINUE	0134
	C TO CALCULATE QUASI-EQUILIBRIUM AFTER ONE HOUR EXPOSURE	0135
	C THE EXPOSURE TIME CAN BE CHANGED	0136
0115	IF(TIME-TIMEK)600,601,601	0137
0116	601 IF(TIMEK=3.) 603,602,603	
0117	602 TIMEK=TIMEK+1.	
0118	GO TO 600	
0119	603 CONTINUE	
0120	DRY=CTC*(TSK-TA)*FPCL	0139
	C STORE IN WATT PER SQ. METER STORE IN DEG.C PER HOUR	0140
0121	STORE=RM-EV-CRY-WK	0141
	C STORE IS ALSO EQUAL TO HFSK PLUS HFCR	0142
0122	STORC=STORE*2.0/(81.7*0.97)	0143
	C CALCULATION TWET FROM TA AND RH	0144
0123	TWET=TA	0145
0124	1204 E=RH-(PTTBL(TWET)-0.00066*760.*(TA-TWET)*	0146
	x(1.0+0.00115*TWET))/PTTBL(TA)	0147
0125	IF(E)1203,1202,1202	0148
0126	1203 TWET=TWET-0.10	0149
0127	GO TO 1204	0150
0128	1202 CONTINUE	0151
	C CALCULATE TDEW	0152
0129	TDEW=-10.	0153
0130	1702 X= PTTBL(TWET)-(TA-TWET)/2.	0154
0131	DDEW=(PTTBL(TDEW)-X)	0155
0132	IF(DDEW)1700,1701,1701	0156
0133	1700 TDEW=TDEW+0.10	0157
0134	GO TO 1702	0158
0135	1701 CCNTINUE	0159



CENTRAAL REKENINSTITUUT

```

0136 PDEW=RH*PTIBL(TA) 0160
C THE NISHI ENVIRONMENTAL EQUATIONS 0161
0137 XA=FCL*CTC 0162
0138 XB=2.2*1.4*CHC*EPCL 0163
0139 IQH=(TA*XA+IDEW*PWET*XB)/(XA+PWET*XB) 0164
C THE TEMPERATURE INDEX OF IG/INO
0140 IL=(42.*TA-8.*TWET)/(34.+TA-TWET)
C HEAT LOSSES ARE NEGATIVE 0165
0141 ERES=-ERES 0166
0142 DRY=-DRY 0167
0143 EDIF=-EDIF 0168
0144 ERSW=-ERSW 0169
0145 IF(IDA1-1) 336,337,337
C PRINT OUT FOR PHYSICAL DATA IN DEG. F OR DEG. C 0172
0146 336 IF(IDA0-1) 1336,1337,1337
0147 1336 FA=TA*1.8+32.
0148 FWET=TWET*1.8+32.
0149 FDEW=TDEW*1.8+32.
0150 FCR=TCR *1.8+32.
0151 STGRF=STGRFC*1.8
0152 FSK =YSK *1.8+32.
0153 FCH=TOH*1.8+32.
0154 M=M+1
0155 D(M)=TIMEK
0156 FYRS( 1,N,M)=FA
0157 FYRS( 2,N,M)=RH
0158 FYRS( 3,N,M)=FWET
0159 FYRS( 4,N,M)=FDEW
0160 FYRS( 5,N,M)=FSK
0161 FYRS( 6,N,M)=FCR
0162 FYRS( 7,N,M)=STGRF
0163 FYRS( 8,N,M)=HFSK
0164 FYRS( 9,N,M)=HFCR
0165 FYRS(10,N,M)=HARMS
0166 FYRS(11,N,M)=CCLDS
0167 FYRS(12,N,M)=SKBF
0168 FYRS(13,N,M)=HARMC
0169 FYRS(14,N,M)=CCLDC
0170 FYRS(15,N,M)=REGSW
0171 FYRS(16,N,M)=WRSW
0172 FYRS(17,N,M)=PPHG
0173 FYRS(18,N,M)=TL
0174 GOTO 304
0175 1337 CONTINUE
0176 M=M+1
0177 D(M)=TIMEK
0178 FYRS( 1,N,M)=TA
0179 FYRS( 2,N,M)=RH
0180 FYRS( 3,N,M)=TWET
0181 FYRS( 4,N,M)=TCLW
0182 FYRS( 5,N,M)=TSK
0183 FYRS( 6,N,M)=TCR
0184 FYRS( 7,N,M)=STGRF
0185 FYRS( 8,N,M)=HFSK
0186 FYRS( 9,N,M)=HFCR
0187 FYRS(10,N,M)=HARMS
0188 FYRS(11,N,M)=CCLDS
0189 FYRS(12,N,M)=SKBF

```



CENTRAAL REKENINSTITUUT

0190 FYRS(13,N,M)=WARMC
 0191 FYRS(14,N,M)=CCLOC
 0192 FYRS(15,N,M)=REGSW
 0193 FYRS(16,N,M)=WRWSW
 0194 FYRS(17,N,M)=PPHG
 0195 FYRS(18,N,M)=TL
 0196 GOTD 305

C PRINT OUT FOR HEAT EXCHANGE DATA IN DEG. F OR DEG. C

0177

0197 337 IF(IDA0-1) 304,305,305

0180

0198 304 FA=TA*1.8+32.

0181

0199 FWET=TWET*1.8+32.

0182

0200 FDEW=TDEW*1.8+32.

0183

0201 FSK =TSK *1.8+32.

0184

0202 FCR=TCR *1.8+32.

0185

0203 STORF=STORC*1.8

0186

0204 FCH=TOH*1.8+32.

0205 HERS(1,N,M)=FA

0206 HERS(2,N,M)=RH

0207 HERS(3,N,M)=FWET

0208 HERS(4,N,M)=FDEW

0209 HERS(5,N,M)=FSK

0210 HERS(6,N,M)=FCR

0211 HERS(7,N,M)=STORE

0212 HERS(8,N,M)=PRSW

0213 HERS(9,N,M)=ECRIP

0214 HERS(10,N,M)=ERES

0215 HERS(11,N,M)=EDIF

0216 HERS(12,N,M)=ERSW

0217 HERS(13,N,M)=DRY

0218 HERS(14,N,M)=PWET

0219 HERS(15,N,M)=EMAX

0220 HERS(16,N,M)=FCH

0221 HERS(17,N,M)=PPHG

0222 HERS(18,N,M)=TL

0223 ERES=-ERES

0224 DRY=-DRY

0225 EDIF=-EDIF

0226 ERSW=-ERSW

0227 TIMEK=TIMEK+1.

0228 IF(TIMEK-4.) 600,600,200

0229 305 HERS(1,N,M)=TA

0230 HERS(2,N,M)=RH

0231 HERS(3,N,M)=TWET

0232 HERS(4,N,M)=TDEW

0233 HERS(5,N,M)=TSK

0234 HERS(6,N,M)=TCR

0235 HERS(7,N,M)=STORE

0236 HERS(8,N,M)=PRSW

0237 HERS(9,N,M)=ECRIP

0238 HERS(10,N,M)=ERES

0239 HERS(11,N,M)=EDIF

0240 HERS(12,N,M)=ERSW

0241 HERS(13,N,M)=DRY

0242 HERS(14,N,M)=PWET

0243 HERS(15,N,M)=EMAX

0244 HERS(16,N,M)=TCH

0245 HERS(17,N,M)=PPHG

0246 HERS(18,N,M)=TL

056812

056812



CENTRAAL BUREAU VOOR DE STATISTIEK

```

0247      ERES--ERES
0248      DRY--DRY
0249      EDIF--EDIF
0250      ERSW--ERSW
0251      TIMEK=TIMEK+1.
0252      IF((TIMEK-4.) 600,600,100
0253      100 CONTINUE
0254      GO TO 500
0255      200 CONTINUE
0256      500 CONTINUE
C      IDA1=0 WRITE FYSIOLOGICAL PARAMETERS
C      IDA1=1 WRITE EXTERNAL PARAMETERS
0257      II(N+1)=M
0258      DO 99 J=1,3
0259      WRITE(LUNPR,5E76)
0260      9876 FORMAT(1H1)
0261      WRITE(LUNPR,99C)
0262      99C FORMAT(/' WE HC RM CLC DURA V RH'/)
0263      WRITE(LUNPR,991)WE,HC,RM,CLO,D(J),V,RH
0264      991 FORMAT(7F7.2)
0265      306 WRITE(LUNPR,1002)
0266      1002 FORMAT(/' TA RH TWET TDEW TSK TCR STCR HFSK 0012
XHFGR WARMS CCLDS SKBF WARMC CGLDC REGSW WRSW MMHG L
X'/)
0267      DO 106 L=1,N
0268      IF(II(L+1)-J) 106,102,102
0269      102 WRITE(LUNPR,1100)(FYRS(K,L,J),K=1,18)
0270      106 CONTINUE
0271      GO TO 307
0272      307 WRITE(LUNPR,1001)
0273      1001 FORMAT(/' TA RH TWET TDEW TSK TCR STCR PRSW 0016
X EDRIP ERES EDIF ERSW R+C PWET EMAX TOH MMHG L
X'/)
0274      DO 109 L=1,N
0275      IF(II(L+1)-J) 109,103,103
0276      103 WRITE(LUNPR,1100)(HERS(K,L,J),K=1,18)
0277      109 CONTINUE
0278      2 CONTINUE
0279      1100 FORMAT(18F7.2)
0280      99 CONTINUE
0281      CALL EXIT
0282      END
    
```

5. Toepassing van het rekenmodel voor het bepalen van de thermo-
fysiologische toestanden

Het rekenmodel moet de volgende variabelen ingevoerd krijgen:

- arbeidsbelasting (in rust is de arbeidsbelasting nihil)
- nuttig effect van de arbeidsvorm
- warmteweerstand van de gedragen kleding
- klimaatfactoren:
 - windsnelheid
 - droge luchttemperatuur
 - stralingstemperatuur
 - vochtigheidsgraad van de lucht
- warmte-overdrachtcoëfficiënt voor convectie en wel voor natuurlijke convectie bij de ontklede mens
- warmte-overdrachtcoëfficiënt voor straling voor de ontklede mens

De arbeidsbelasting kan variëren van nihil tot matig zwaar, de kleding van zwembroek tot poolkleding en de windsnelheid van natuurlijke convectieve luchtbeweging tot aan een stijve bries. De vochtigheidsgraad mag waarden hebben tussen nul en honderd procent relatief en de luchttemperatuur tussen enkele graden Celcius boven nul tot aan veertig graden Celcius, hetgeen ook nagenoeg geldt voor de stralingstemperatuur.

Om thermofysiologische interpretatie van de L-indices mogelijk te maken moesten de bovenstaande inputvariabelen de volgende waarden hebben:

- . klimaat:
 - . droge luchttemperatuur:
trajekt: 10°C t/m 44°C met stappen van 2°C
 - . relatieve vochtigheden:
35, 50, 65, 80 en 95%
 - . warmte-overdrachtcoëfficiënt voor convectie bij natuurlijke luchtbeweging langs het lichaam ($= 0,1 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$) = $3,10 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$. De waarde voor de coëfficiënt (h_c) bij windsnelheden groter dan $0,1 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ bedraagt:
$$h_c = 3,10 \cdot \sqrt{\frac{v}{0,1}}$$
, waarin v de windsnelheid is in $\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$
 - . warmte-overdrachtcoëfficiënt voor straling (h_r) voor het hele lichaamsoppervlak heeft de waarde $5,23 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot^{\circ}\text{C}^{-1}$
 - . windsnelheden:
 - . $0,25 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$
 - . $1,00 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$

- kleding:
 - warmteweerstand:
0,6 clo
- stofwisselingsintensiteit:
 - verwerkte intensiteitsniveau's:
 - rust : 60 W.m^{-2}
 - zeer lichte arbeid: 90 W.m^{-2}
 - lichte arbeid : 120 W.m^{-2}
 - matige arbeid : 150 W.m^{-2}

Toelichting:

Voor verbranding van het voedsel is zuurstof nodig, het zuurstofverbruik bij de ademhaling is een maat voor de stofwisselingsintensiteit. Tijdens de stofwisseling komen warmte en energie vrij, waarbij de energie dient voor het vervullen van de levensverrichtingen. Spierarbeid vraagt energie hetgeen tot gevolg heeft dat tegelijkertijd warmte geproduceerd wordt. De mate van warmteproductie wordt bepaald door de intensiteit en het nuttig effect van de arbeid. Het nuttig effect is de verhouding tussen de uitwendige arbeid en de stofwisselingsintensiteit (bij arbeid met een stofwisselingsintensiteit van 90 W.m^{-2} en een nuttig effect van 0,2 is de warmteproductie 72 W.m^{-2}).

- nuttig effect:
 - in rust : 0,0
 - bij arbeid: 0,2
- expositieduur:
 - 4 uur, d.i. een halve werkdag

Bovenstaande waarden van de inputvariabelen zijn aangepast aan de praktijk waardoor de volgende acht invoercombinaties de meeste arbeidssituaties, mede door interpolatieprocedures, kunnen dekken.

[]



Als voorbeeld volgt een print-out van de combinatie C1 met als modificatie een luchttemperatuur oplopend tot 38°C i.p.v. 44°C en een relatieve vochtigheid van 65%.

WE	HC	RM	CLO	DURA	V	RH														
0.20	3.10	120.00	0.60	4.00	0.25	0.65														
TA	RH	TWET	TCEW	TSK	TCR	STORC	HFSK	HFCR	WARMS	COLDS	SKBF	WARMC	COLDC	REGSW	WRSW	MMHG	L			
38.00	0.65	31.80	30.30	36.40	37.46	0.01	0.03	0.43	2.30	0.0	70.60	0.86	0.0	411.54	42.71	32.43	33.37			
36.00	0.65	30.10	28.30	34.92	36.97	0.00	0.00	0.03	0.82	0.0	34.00	0.37	0.0	122.64	11.25	29.02	31.86			
34.00	0.65	28.20	26.40	34.75	36.93	0.00	0.00	0.03	0.65	0.0	31.26	0.33	0.0	104.73	9.36	25.97	30.21			
32.00	0.65	26.50	24.80	34.61	36.91	0.00	0.00	0.03	0.51	0.0	29.30	0.31	0.0	92.40	8.00	23.29	28.66			
30.00	0.65	24.70	22.60	34.46	36.88	0.00	0.00	0.03	0.36	0.0	27.24	0.28	0.0	79.79	6.66	20.61	27.03			
28.00	0.65	22.90	20.90	34.28	36.85	0.00	0.00	0.03	0.18	0.0	25.17	0.25	0.0	67.35	5.38	18.53	25.39			
26.00	0.65	21.10	18.90	33.94	36.83	0.00	0.00	-0.00	0.0	0.16	21.73	0.23	0.0	57.37	4.24	16.44	23.73			
24.00	0.65	19.40	17.00	33.07	36.83	0.00	0.00	0.03	0.0	1.03	15.56	0.23	0.0	57.53	3.46	14.60	22.09			
22.00	0.65	17.60	15.30	32.21	36.82	0.00	0.00	0.03	0.0	1.89	11.78	0.22	0.0	55.26	2.73	12.99	20.40			
20.00	0.65	15.70	13.00	31.29	36.81	0.00	0.00	0.03	0.0	2.81	9.01	0.21	0.0	51.28	2.05	11.38	18.65			
18.00	0.65	14.10	11.40	30.28	36.78	0.00	0.00	0.03	0.0	3.82	6.90	0.18	0.0	46.02	1.47	10.15	16.97			
16.00	0.65	12.20	9.40	29.11	36.76	0.00	0.00	0.03	0.0	4.99	5.17	0.16	0.0	39.17	0.98	8.92	15.20			
14.00	0.65	10.50	7.40	27.80	36.72	-0.00	0.00	-0.00	0.0	6.30	3.75	0.12	0.0	30.89	0.60	7.84	13.44			
12.00	0.65	8.70	5.70	26.34	36.68	-0.00	-0.00	-0.00	0.0	7.76	2.59	0.08	0.0	21.14	0.33	6.91	11.65			
10.00	0.65	6.80	3.40	24.73	36.64	-0.00	0.00	-0.00	0.0	9.37	1.63	0.04	0.0	9.96	0.15	5.98	9.83			
TA	RH	TWET	TCEW	TSK	TCR	STOR	PRSW	EDRIP	ERES	ECIF	ERSW	R+C	PWET	EMAX	TCH	MMHG	L			
38.00	0.65	31.80	30.30	36.40	37.46	0.45	1.00	369.45	-3.19	0.0	-100.70	8.35	1.00	100.70	32.83	32.43	33.37			
36.00	0.65	30.10	28.30	34.92	36.97	0.04	1.00	6.31	-4.14	0.0	-97.46	5.63	1.00	97.46	30.83	29.02	31.86			
34.00	0.65	28.20	26.40	34.75	36.93	0.03	0.72	0.0	-4.98	-1.96	-85.13	-3.90	0.74	117.86	29.43	25.97	30.21			
32.00	0.65	26.50	24.80	34.61	36.91	0.03	0.54	0.0	-5.72	-3.80	-72.82	-13.63	0.56	136.11	28.15	23.29	28.66			
30.00	0.65	24.70	22.60	34.46	36.88	0.03	0.39	0.0	-6.46	-5.60	-60.66	-23.25	0.43	154.02	26.54	20.61	27.03			
28.00	0.65	22.90	20.90	34.28	36.85	0.03	0.29	0.0	-7.03	-7.07	-49.12	-32.75	0.34	167.03	25.11	18.53	25.39			
26.00	0.65	21.10	18.90	33.94	36.83	0.00	0.22	0.0	-7.61	-8.33	-38.66	-41.40	0.26	177.52	23.51	16.44	23.73			
24.00	0.65	19.40	17.00	33.07	36.83	0.04	0.18	0.0	-8.12	-8.77	-31.75	-47.32	0.23	178.00	21.78	14.60	22.09			
22.00	0.65	17.60	15.30	32.21	36.82	0.03	0.14	0.0	-8.56	-9.11	-25.02	-53.28	0.19	176.78	20.11	12.99	20.40			
20.00	0.65	15.70	13.00	31.29	36.81	0.04	0.11	0.0	-9.00	-9.34	-18.74	-58.88	0.16	174.46	18.27	11.38	18.65			
18.00	0.65	14.10	11.40	30.28	36.78	0.04	0.08	0.0	-9.34	-9.28	-13.31	-64.03	0.13	167.95	16.58	10.15	16.97			
16.00	0.65	12.20	9.40	29.11	36.76	0.04	0.05	0.0	-9.68	-9.21	-8.66	-68.41	0.11	162.19	14.79	8.92	15.20			
14.00	0.65	10.50	7.40	27.80	36.72	-0.00	0.03	0.0	-9.98	-8.96	-5.05	-72.01	0.09	154.45	12.97	7.84	13.44			
12.00	0.65	8.70	5.70	26.34	36.68	-0.00	0.02	0.0	-10.24	-8.48	-2.47	-74.82	0.08	143.72	11.15	6.91	11.65			
10.00	0.65	6.80	3.40	24.73	36.64	-0.00	0.01	0.0	-10.49	-7.87	-0.80	-76.84	0.07	131.89	9.22	5.98	9.83			

6. Vergelijking van de L-indices met de thermofysiologische criteria

Voor de grenzen van het behaaglijk klimaatgebied geven zowel de klimaattechnici als de thermofysiologen criteria, die in maat en getal uitgedrukt zijn. Beide soorten criteria zijn als rechte lijnen te projecteren in een grafiek, waarbij de waterdampdruk en de droge luchttemperatuur van de omgeving tegen elkaar zijn uitgezet en bovendien de krommen getekend zijn, die de punten verbinden met gelijke relatieve vochtigheden (Mollier-diagram). De lijnen van de L-index zijn in deze grafiek uit te zetten, omdat de droge luchttemperatuur samen met de relatieve vochtigheid, de waterdampdruk en de natte luchttemperatuur van het milieu bepalen. De ligging van elke L-index lijn in het diagram staat derhalve vast. Anders is het met de lijnen voor de thermofysiologische grenzen gesteld. Doordat de thermofysiologische toestand van vele variabelen afhankelijk is (denk aan arbeidsbelasting, kleding en klimaat o.a.), zijn voor elke situatie de waterdampdrukken en droge luchttemperaturen, die behoren bij huiddoorbloedingen van $6,3 \text{ l.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$, van $30 \text{ l.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$ en het percentage bevochtigd huidoppervlak van 20%, anders. De waterdampdruk en droge luchttemperatuur zijn voor elk van de thermofysiologische criteria te ontleen aan de print-outs van de rekenprogramma's, die de combinaties A₁ t/m D₂ ingevoerd hebben gekregen (zie print-out van situatie C₁ onder punt 5). Elke combinatie van waterdampdruk en droge luchttemperatuur geeft in het Mollier-diagram één punt van het betreffende klimaatfysiologische criterium. Het een en ander betekent dat i.t.t. de L-indices de thermofysiologische grenzen in het Mollier-diagram van geval tot geval een andere localisatie hebben. Praktisch gaat de vergelijking van beide soorten criteria als volgt in zijn werk: van negen identieke Mollier-diagrammen wordt er één op een transparant uitgevoerd en hierin worden de rechte lijnen voor de L-indices uitgezet in de volgende notatie:

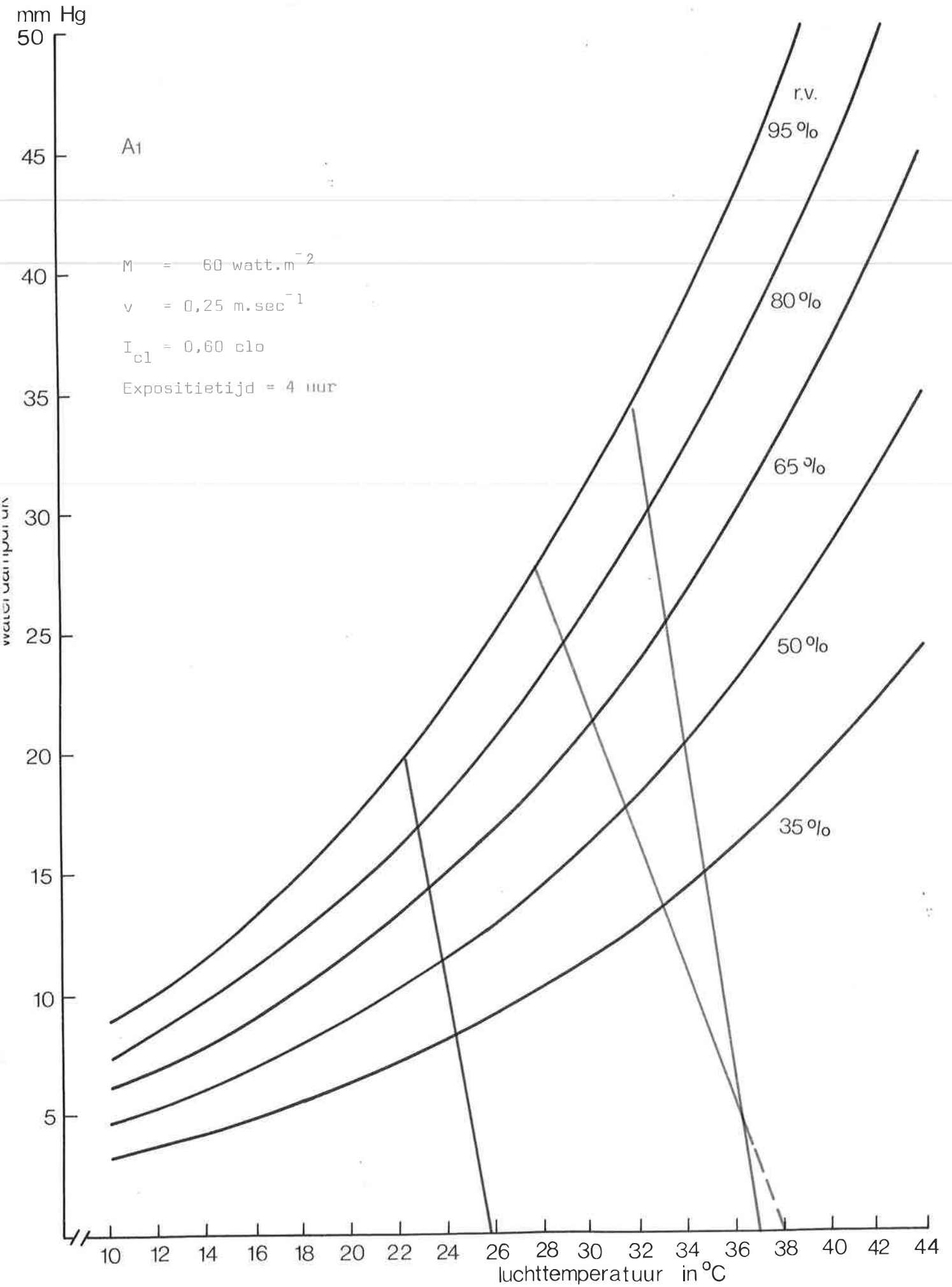
- . rode lijn : L = 29
- . gebroken groene lijn: L = 23
- . groene lijn : L = 20
- . blauwe lijn : L = 17
- . gebroken blauwe lijn: L = 12

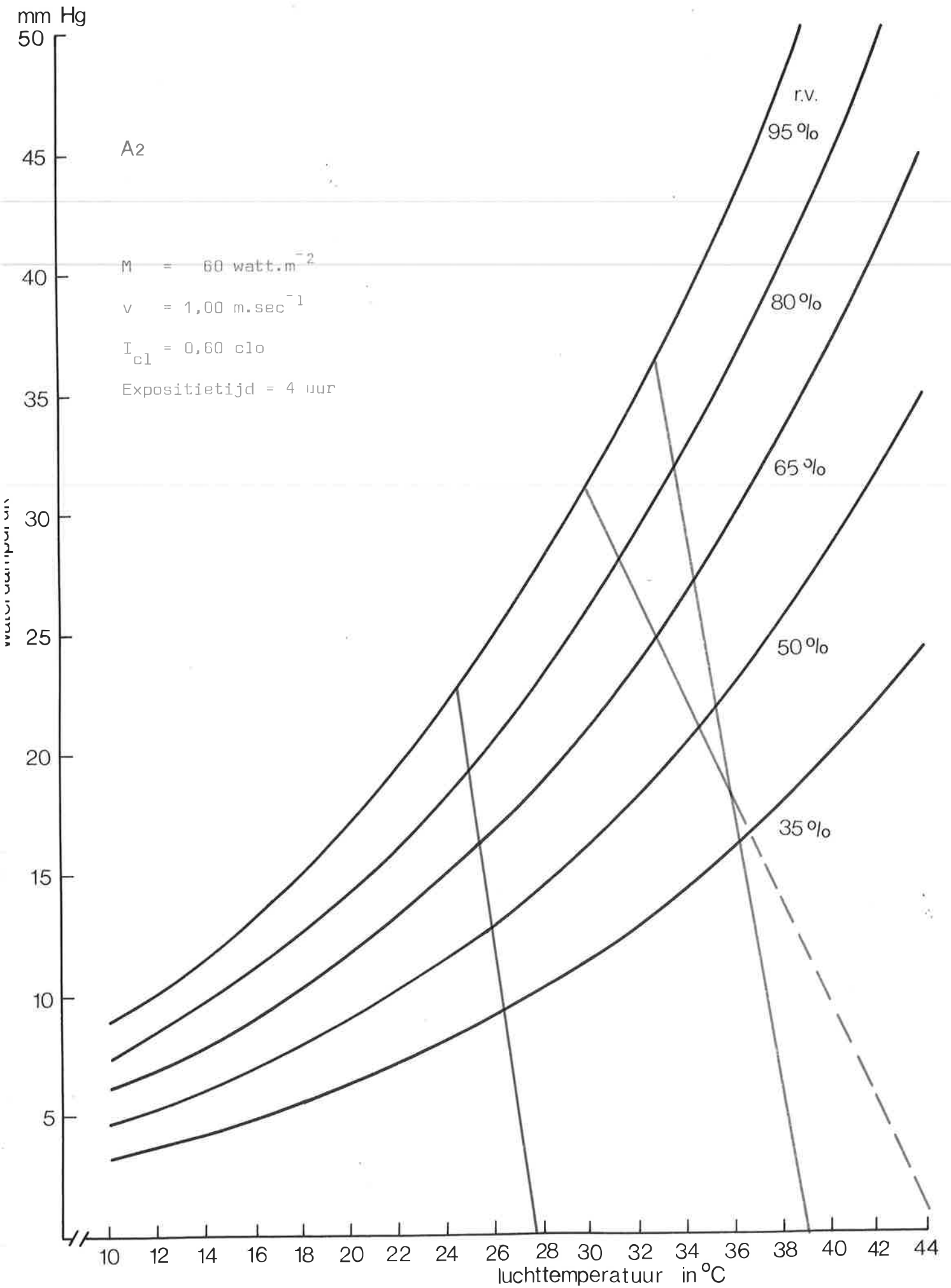
In de resterende acht Mollier-diagrammen worden de thermofysiologische grenzen als rechte lijnen geprojecteerd (grafieken A₁ t/m D₂), waarbij elke grafiek de print-out resultaten weergeeft van één van de bekende invoercombinaties A₁ t/m D₂ (zie punt 5). In deze diagrammen is de notatie van de grenzen de volgende:

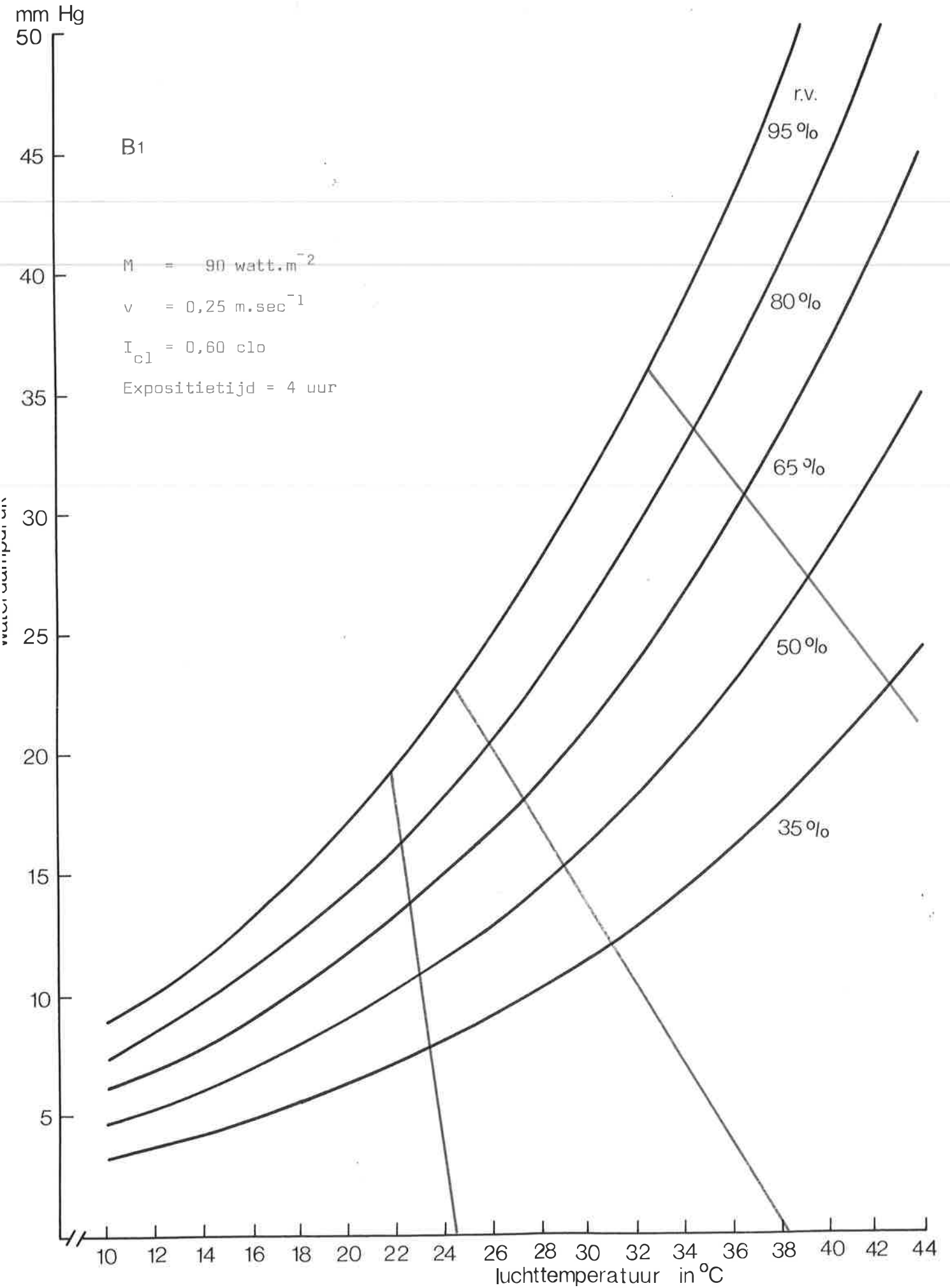
- . rode lijn : huiddoorbloeding $30 \text{ l.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$
- . groene lijn: bevochtigd huidoppervlak 20%
- . blauwe lijn: huiddoorbloeding $6,3 \text{ l.m}^{-2}.\text{uur}^{-1}$

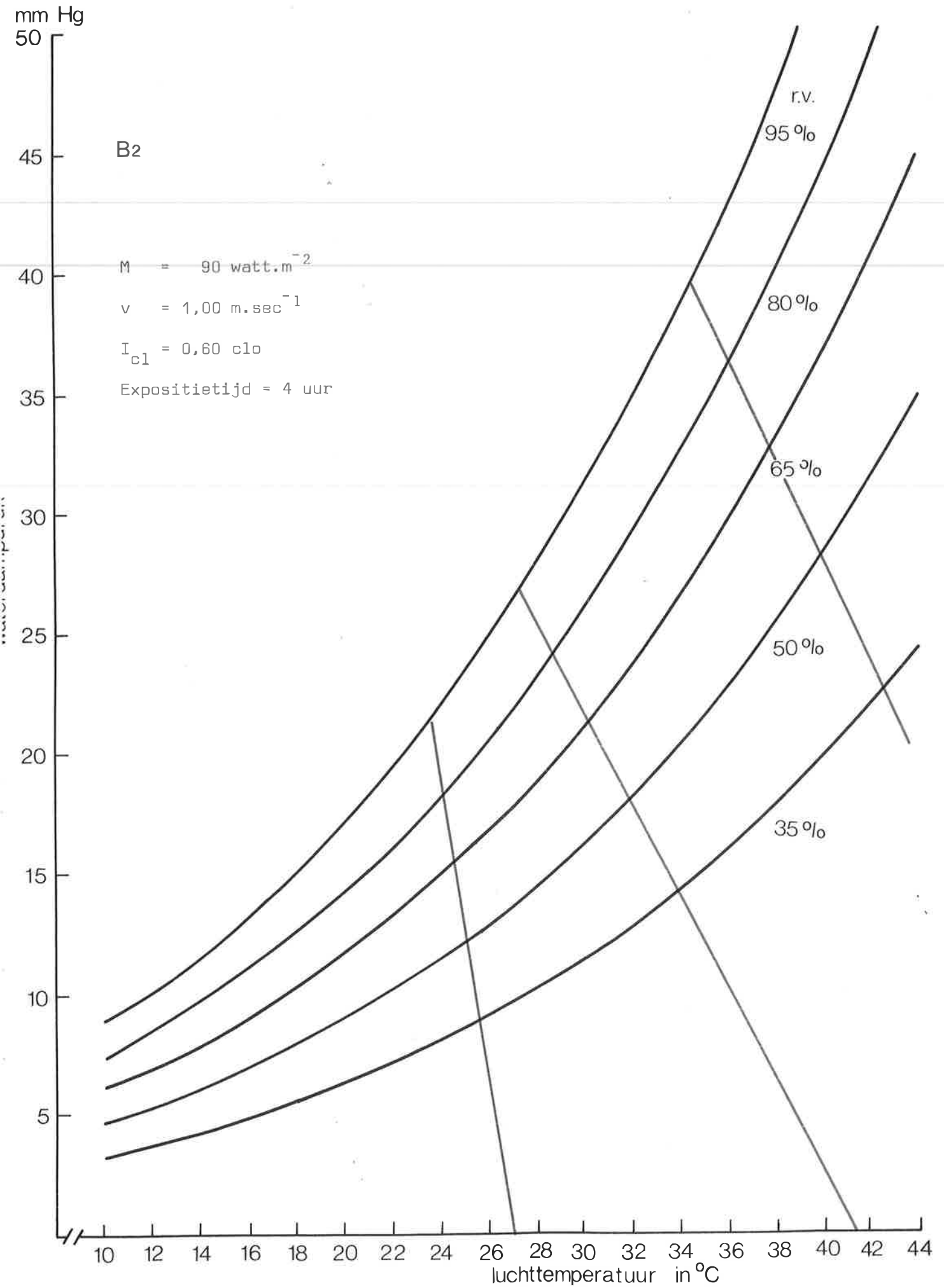
Door het transparant achtereenvolgens op de grafieken A₁ t/m D₂ te leggen, zijn L-indices en thermofysiologische grenzen voor elk geval met elkaar te vergelijken.

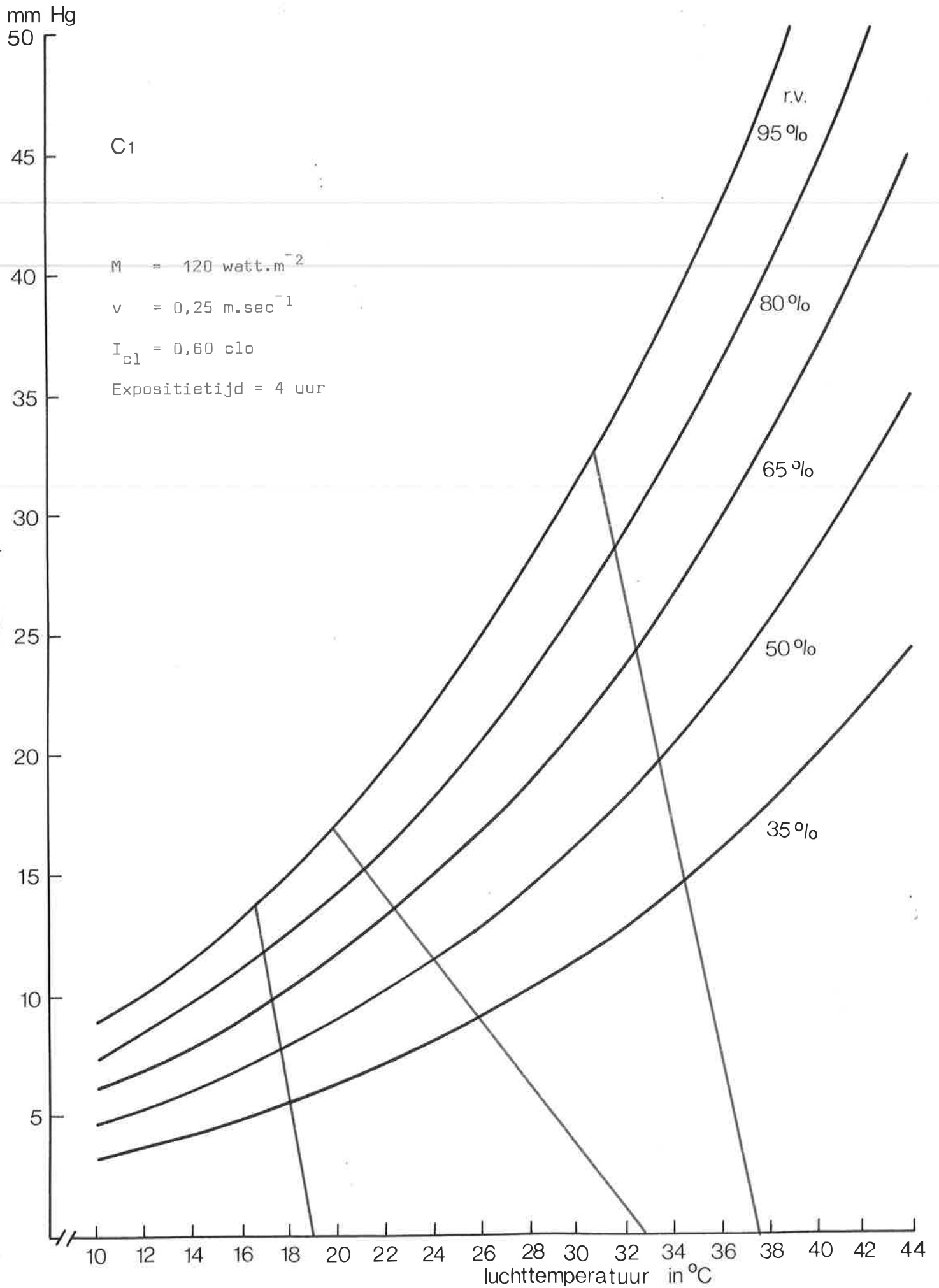
7. Mollier-diagrammen van L-indices en thermofysiologische grenzen

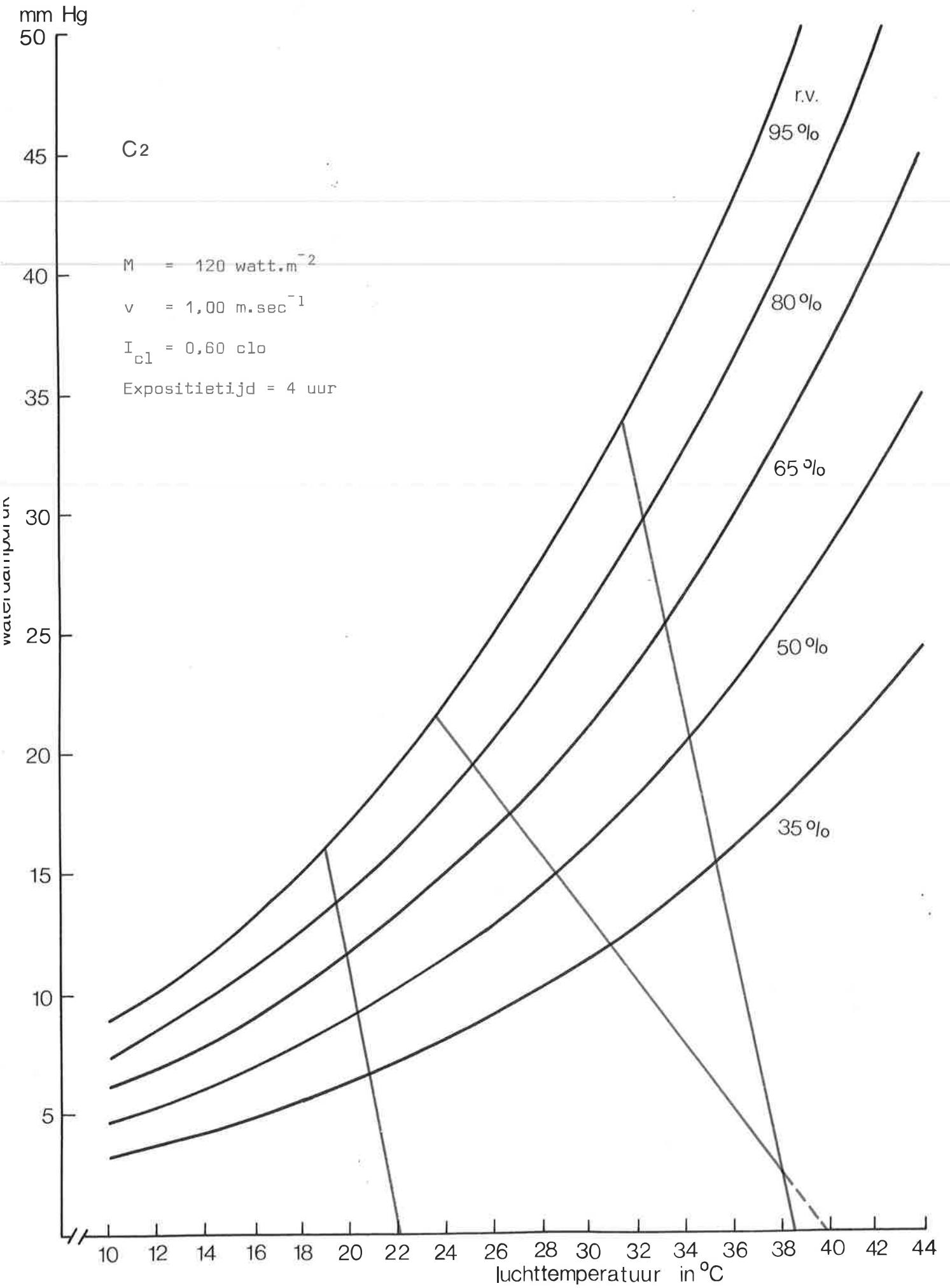


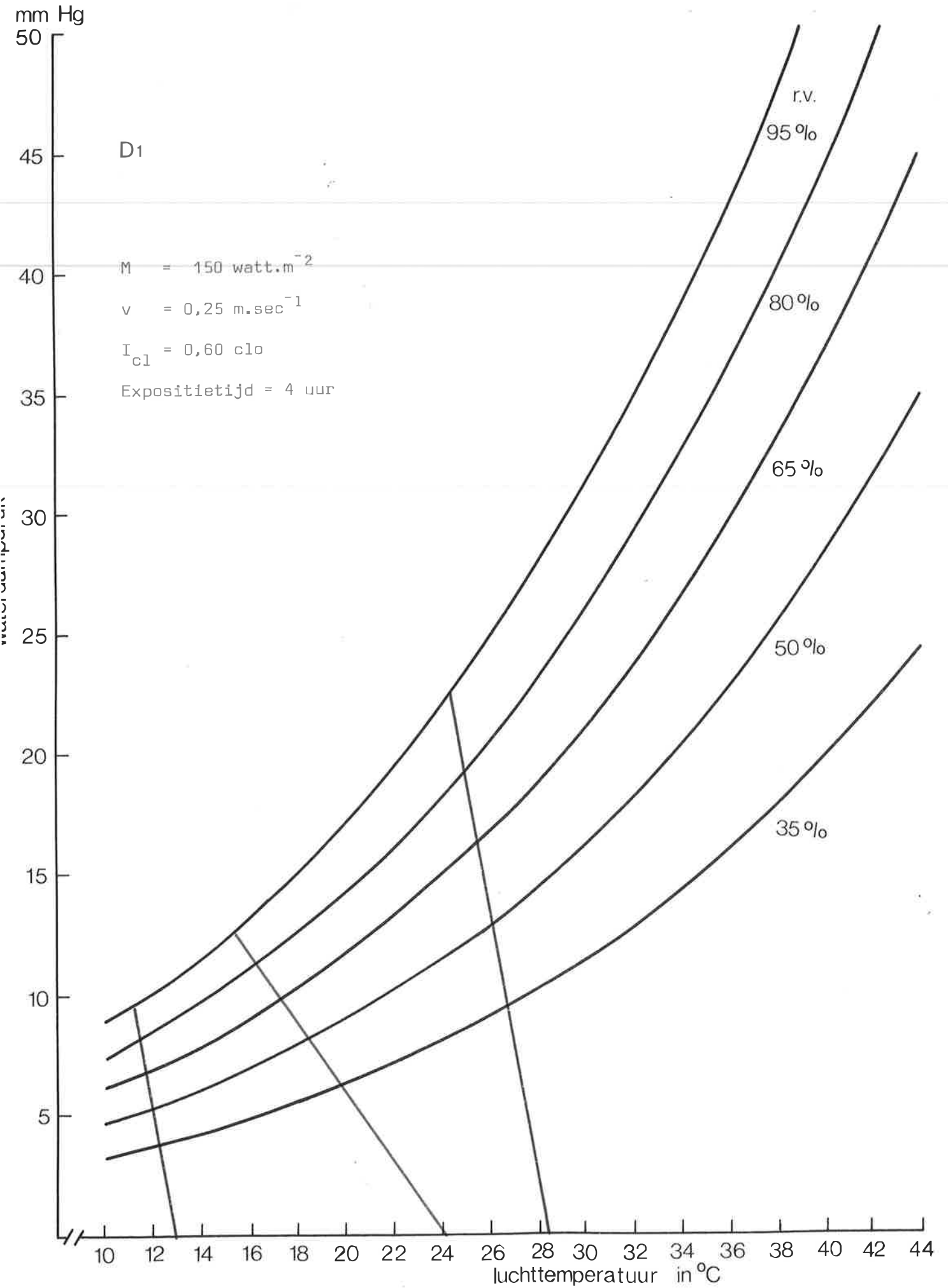


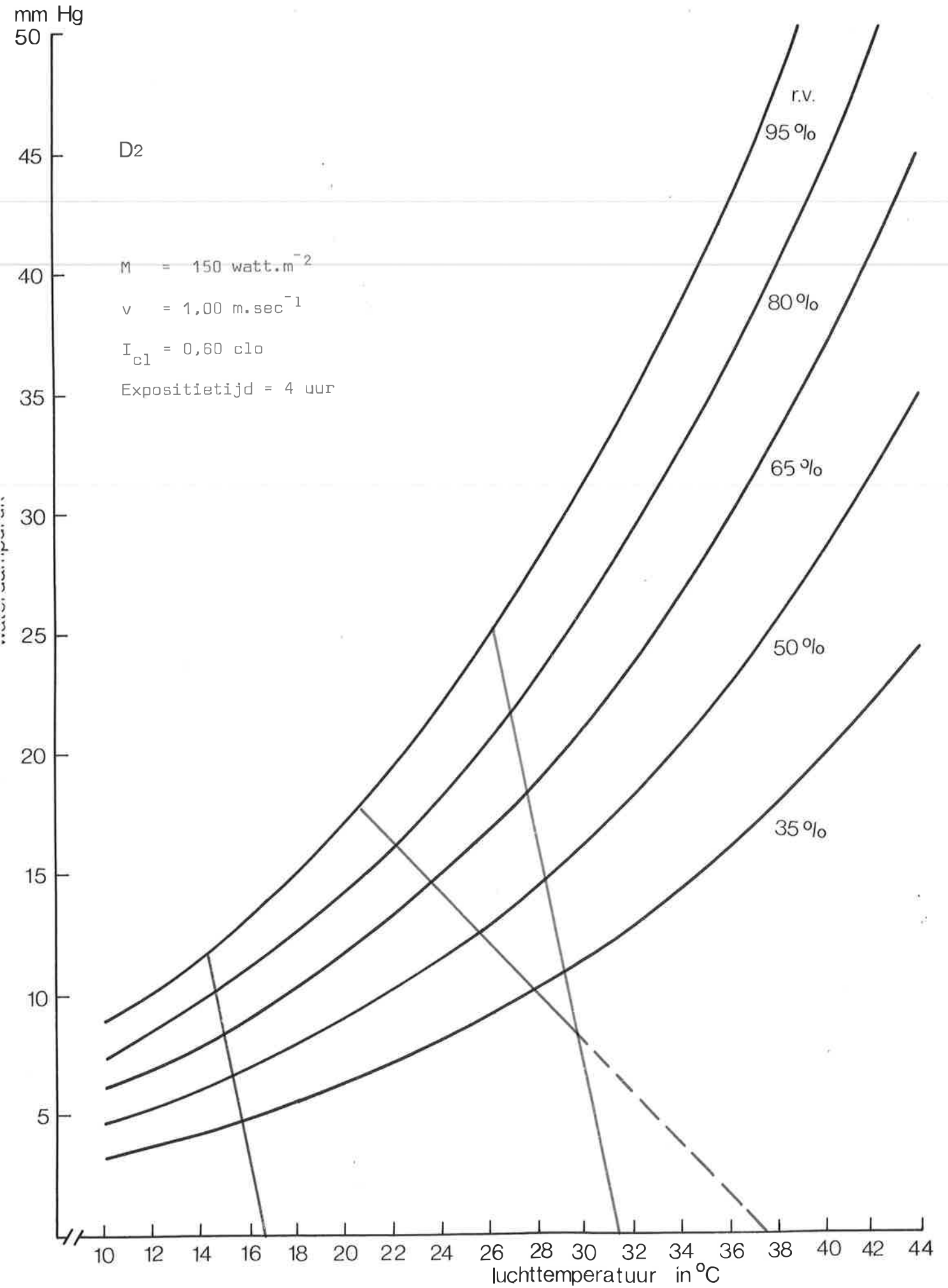












8. Analyse van de diagrammen voor de L-indices en de thermofysiologische grenzen en hun vergelijking

De analyse leert het volgende:

- . De L-indices zijn in het diagram op vaste plaatsen gelocaliseerd, omdat zij uitsluitend bepaald worden door de waarden van een tweetal klimaatfactoren.
- . De thermofysiologische grenzen hebben in de diagrammen geen vaste localisaties, omdat zij ontleend zijn aan de thermofysiologische toestand. Deze toestand is op zijn beurt het resultaat van interacties tussen arbeidsbelasting, nuttig effect van de arbeid, gedragen kleding en klimaathoedanigheden. Deze zijn van arbeidssituatie tot arbeidssituatie anders.
- . De localisatie van de thermofysiologische grenzen verschillen duidelijk in afhankelijkheid van de windsnelheid, hetgeen te zien is door de diagrammen A₁ t/m D₂ paarsgewijs (A₁, A₂; B₁, B₂; enz.) te beschouwen.
- . Een stofwisselingsintensiteit van 90 W.m^{-2} zet het thermoregulator systeem dusdanig aan, dat de grens van zeer oncomfortabel warm / ontoelaatbaar warm zich optimaal "afzet" van de grens comfortabel / oncomfortabel warm. In de praktijk betekent het dat de mens een zware thermische belasting het best kan weerstaan door zeer lichte werkzaamheden te verrichten bij de gedragen kleding.
- . De ligging van het behaaglijk klimaatgebied is voor elke combinatie van klimaat, kleding en arbeidsbelasting anders.
- . In het algemeen dekken de gebieden voor de thermische behaaglijkheid aangegeven door de L-indices en de thermofysiologische grenzen elkaar niet.

Samenvatting

Sedert 1 juli 1970 is in Nederland het herziene Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en Werkplaatsen van kracht. In dit besluit is de klimaatparagraaf aangepast aan nieuwe ontwikkelingen door de invoering van de zogenaamde "temperatuurindex" die gebaseerd is op de droge en natte luchttemperatuur van het binnenklimaat. De genoemde indexwaarden voor de binnenklimaten bij verschillende arbeidsbelastingen geven het thermisch gevoel aan van zich op de grens van behaaglijk en onbehaaglijk warm te bevinden.

In deze publikatie worden de thermofysiologische criteria voor het thermisch gevoel en bovengenoemde indexwaarden met elkaar vergeleken en besproken.

Summary

On July 1, 1970, new bylaws regulating the safety in Dutch plants and workshops came into force. In these bylaws, the paragraph on indoor climate-regulations was completely rewritten by the introduction of a so-called "temperature index" for the indoor climate, an index based on dry and wet bulb temperatures. The values - presented for various work loads - refer to those indoor climates which cause a sensation bordering between thermal comfort and discomfort.

In this publication, a thermophysiological interpretation of these temperature index limits is discussed.

Literatuur

FANGER, P.O. Thermal comfort; analysis and applications in environmental engineering. Copenhagen, Danish technical press, 1970

GAGGE, A.P., J.A.J. STOLWIJK and Y. NISHI. An effective temperature scale, based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Trans. 77. Part 1 (1971) 247-260

STOLWIJK, J.A.J. John B. Pierce Foundation, New Haven, U.S.A. Persoonlijke mededeling (1972)

ZUILEN, D. VAN, en G.H. DOP. De herziening van het "Veiligheidsbesluit voor fabrieken en werkplaatsen 1938", t.a.v. de voorschriften betreffende de bescherming tegen klimaatinvloeden. Ingenieur 83 (1971) G 49-63. Veiligheid 47 (1971) 25-9; 57-61; 99-103

H. VAN DER SLUIJS

ENKELE WAARNEMINGEN D.M.V. HUIDPLETHYSMOGRAFIE
BIJ AANDACHTSCONCENTRATIE



Inhoud

blz.

Inleiding - - - - -	1
Reflectie Plethysmografie - - - - -	2
Aandachtsconcentratie - - - - -	2
Waarnemingen tijdens gedachteconcentratie - - - - -	3
Waarnemingen tijdens tempo-verhoging - - - - -	4
Waarnemingen tijdens emotie - - - - -	5
Waarnemingen tijdens arbeid - - - - -	8
Samenvatting - - - - -	10
Summary - - - - -	10
Literatuur - - - - -	11

Inleiding

In 1961 verscheen de eerste publicatie vanuit het N.I.P.G. met als titel "Het Fysiek Arbeidsvermogen van de mens", gevolgd door een **serie onderzoeken** en publicaties op het gebied van de fysieke belasting en belastbaarheid. Wanneer wij de maatschappelijke ontwikkeling volgen dan speelt niet meer de fysieke arbeidsbelasting zo'n rol maar meer de niet-fysieke belasting, waardoor de behoefte aan beoordelingsmogelijkheden daarvan sterk toegenomen is.

Een van de eisen die men aan een meetinstrument moet stellen is dat het instrument gemakkelijk toepasbaar is en dat relevante informatie wordt verkregen.

Bij de fysieke belasting bleek de zuurstofopname een niet altijd gemakkelijke toepasbare maat te zijn die echter wel de beste informatie verschafte.

Ter beoordeling (meting) van de niet-fysieke belasting worden momenteel fysiologische metingen verricht op het gebied van:

- Hartfunctie : 1. hartfrequentie
- 2. sinusarithmie
- 3. elektrocardiogram
- Hersenvunctie : elektro-encefalogram (E.E.G.)
- Hormoonfunctie : catacholamine-bepaling
- Warmtefunctie : 1. lichaamstemperatuur
- 2. huidtemperatuur

Psychologische metingen worden verricht door middel van o.a. prestatie-testen, waarbij fouten en tijd beoordeeld worden.

Alle tot nu toe genoemde fysiologische meet-methoden waren min of meer gemakkelijk in de praktijk toepasbaar maar gaven over het algemeen niet de meest relevante informatie.

Psychologische meet-methoden konden alleen in test-situaties gebruikt worden.

Een heel oude meet-methode, die door technische moeilijkheden wat op de achtergrond is gebleven is de plethysmografie.

Een methode waarvan aanvankelijk werd aangenomen dat het een zuiver fysiologische meet-methode was.

Uit de fysiologie is bekend dat er een nauwe relatie is tussen de psyche van de mens en de bloed-doorstroming van de huid (koude handen, vochtige handen, verbleken, blozen).

Reflectie Plethysmografie

Het woord plethysmografie vindt zijn oorsprong in het Grieks in de twee woorden "plethos", wat volte en "grafo" wat schrijven betekent. Uit de naamgeving blijkt al dat het doel van deze meet-methode het registreren van een vulling is en wel de vulling van bloedvaten van een gedeelte van het menselijk lichaam als een functie van de tijd. Bij foto-elektrische plethysmografie zijn de lichtbron en de foto-opnemer in een huis gemonteerd. Het licht valt in het weefsel, wordt tengevolge van de variërende bloedvulling gemoduleerd gereflecteerd en vervolgens geregistreerd met behulp van de foto-opnemer.

Als gevolg van beperkte doordring-diepte van het licht zal het te onderzoeken weefsel altijd aan de oppervlakte van het menselijk lichaam gelegen zijn. Dit houdt in dat in het algemeen alleen periphere vaten van invloed zijn op de vorm van het plethysmogram.

Foto-elektrische plethysmografie is een kwalitatieve meet-emthode, die het voordeel heeft dat ze bijzonder eenvoudig uitgevoerd kan worden. Bovendien beperkt men zich bij de meting tot de bloedvaten in de peripherie, bloedvaten die qua gedrag bijzonder veel op elkaar lijken.

De reflectie-plethysmografie was tot nu toe moeilijk in de praktijk toepasbaar door onder meer de moeilijke bevestiging van het meetoog dat met een constante druk dient te geschieden. Nu is echter hiervoor een eenvoudige oplossing gevonden door gebruik te maken van een dubbelzijdig klevend elektroden-plakkertje zoals dat ook gebruikt wordt bij inspannings-E.C.G.'s.

Aandachtsconcentratie

Tijdens het bestuderen van de arbeid van een operator in de proces-industrie viel het op dat dezelfde soort taakonderdelen op verschillende manieren werden uitgevoerd.

Als voorbeeld kan gelden het observeren van de meters op het paneel. Soms gebeurde dit met een vluchtige blik en een andere keer werd de meter aandachtig bestudeerd. Een duidelijk verschil van wat men zou kunnen noemen "aandachtsconcentratie".

~~Uit het onderzoek bij de operators bleek het mogelijk een indeling van de werkzaamheden te maken waarbij gedurende een bepaalde periode een verschil in aandachtsconcentratie werd geconstateerd van 20 tot 70%.~~

In de psychologie zijn verschillende aandachtsconcentratie-tests bekend. Eén hiervan is de zogenaamde "Grünbaum"-test. Een eenvoudige getallentest waarbij grote getallen, die willekeurig verspreid staan, in een opklimmende reeks moeten worden opgezocht en de daarbij vermelde kleine getallen moeten worden opgelezen.

In het laboratorium werd een aantal proeven met verschillende proefpersonen gedaan om na te gaan of tijdens meting van aandachtsconcentratie als een arbeidsvorm van niet-fysieke belasting tegelijkertijd met behulp van de foto-elektrische plethysmograaf fysiologische veranderingen zouden kunnen worden geregistreerd.

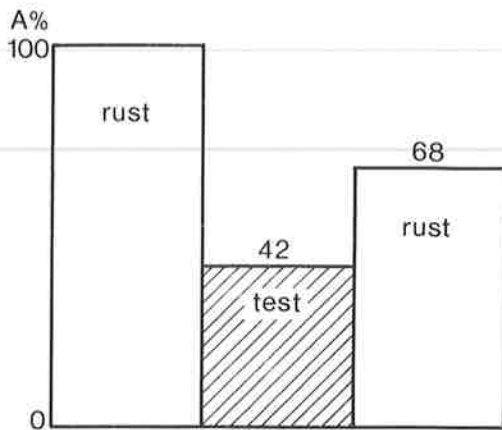
Waarnemingen tijdens aandachtsconcentratie

De proefpersonen kregen zittend op een rustbed eerst een periode van rust, waarbij gevraagd werd de ogen te sluiten en zich zoveel mogelijk te ontspannen.

Daarna werd de "Grünbaum"-test afgenomen, weer gevolgd door een periode van rust.

De resultaten van een bij zes verschillende personen gedane waarneming zijn gemiddeld als volgt:

Fig. I. Invloed van een concentratie-test op de amplitudehoogte van het plethysmogram

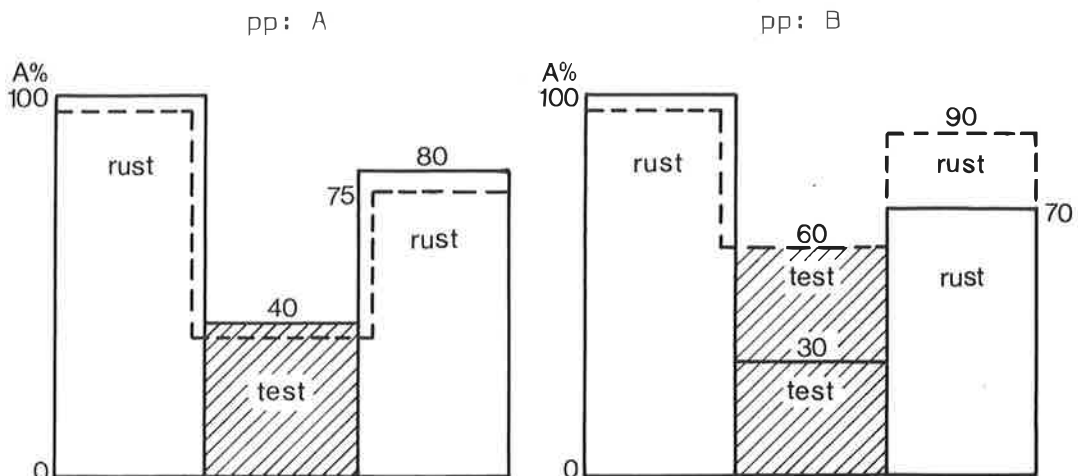


Waarneming tijdens tempo-verhoging

De hoogte van de amplitude in de eerste rustperiode werd arbitrair op 100% gesteld, alleen om de procentuele verkleining van de amplitude die tijdens de testsituatie werd gemeten, aan te geven. Deze verkleining van de amplitude wordt in dit geval veroorzaakt door "psychische activiteit". In de herstelfase lijkt een naresonantie duidelijk waarneembaar te zijn.

Bij twee proefpersonen werd de proef herhaald.

Fig. II. Herhaling van een concentratie-test bij hetzelfde proefpersoon en de invloed op de amplitudehoogte van het plethysmogram



Bij proefpersoon A was de tijd waarin de test werd voltooid dezelfde en bij proefpersoon B was de tijd (getrokken lijn) korter dan tijdens de andere proef. Het lijkt dus dat de tijd waarin een test wordt gedaan van invloed is op het amplitude-niveau.

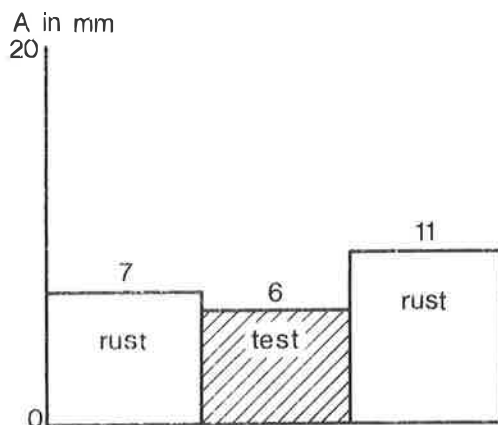
Waarnemingen tijdens emotie

Na deze waarneming was proefpersoon A gemotiveerd om de test in een zo kort mogelijke tijd te volbrengen.

De rustperiode voorafgaande aan de testsituatie staat in dit geval dus duidelijk in het licht van de anticipatie op de komende test.

Invloed hiervan is te zien in de volgende figuur.

Fig. III. Invloed van anticipatie op de amplitudehoogte van het plethysmogram



Daar in het voorgaande geval niet van een duidelijke rustwaarde gesproken kan worden, is in tegenstelling tot de voorgaande figuren hier het verschil in amplitudehoogte niet in procenten uitgedrukt meer in mm.

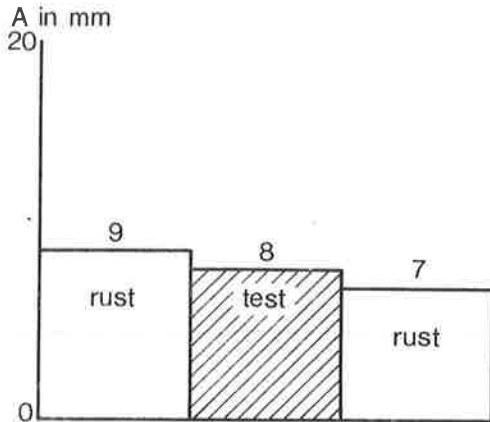
Tijdens de eerste waarnemingen was al opgevallen dat na de testsituatie bij de proefpersonen een zekere na-resonantie op het plethysmogram waarneembaar is, nu lijkt het dat ook anticipatie van een bekende taaksituatie veranderingen te zien geeft.

Ten einde deze hypothese te toetsen werd een waarneming gedaan bij een patient waarvan verondersteld mocht worden dat de onbekendheid met de onderzoeksituatie een zekere vorm van spanning met zich brengt

die zowel een anticipatie als een na-resonantie effect te zien zou geven.

Het plethysmogram gaf het volgende beeld te zien.

Fig. IV. Invloed van gespannen zijn op de amplitudehoogte van het plethysmogram

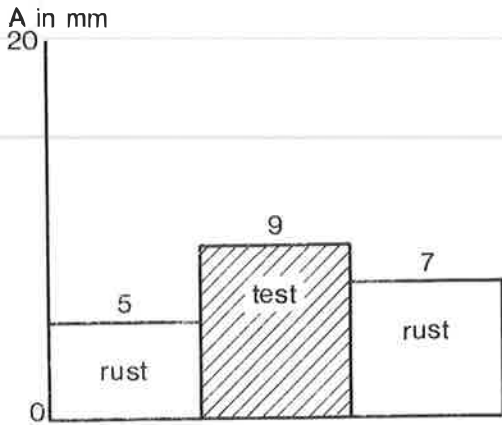


De mate van gespannen zijn lijkt dan duidelijke invloed te hebben op de hoogte van het plethysmogram.

De volgende waarneming werd gedaan bij een gezonde proefpersoon die van zichzelf aangaf in een geëmotioneerde toestand te verkeren welke veroorzaakt was door de werksituatie.

Het betrof hier een maatschappelijk werker die een bijzonder moeilijk geval op de Coronary Care Unit had behandeld. Het gemaakte plethysmogram gaf de volgende karakteristiek te zien.

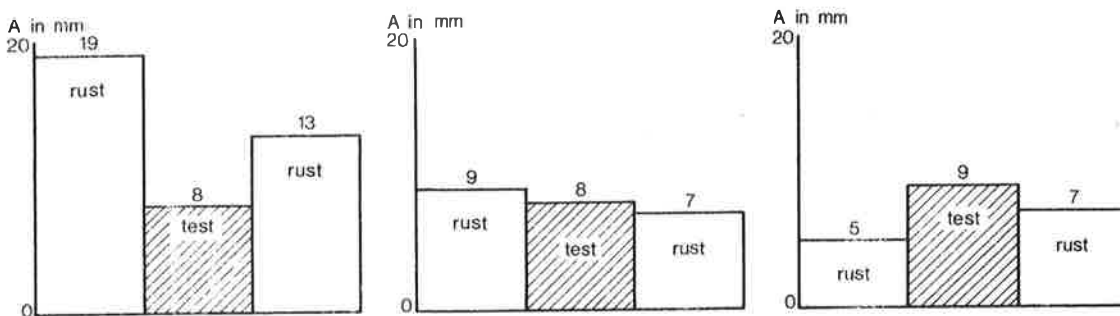
Fig. V. Invloed van in hoge mate gespannen zijn op de amplitudehoogte van het plethysmogram



In dit geval werd de testsituatie zelfs als ontspannend ervaren. Wanneer nu de waarnemingen van normalen, patient en van de proefpersoon welke in hoge mate gespannen was, naast elkaar gezet worden dan ontstaat het volgende beeld.

Fig. VI. Vergelijking van de amplitudehoogte van het plethysmogram onder invloed van cognitie en mate van gespannen zijn

Cognitie:	HOOG	HOOG	HOOG
Mate van gespannen zijn:	LAAG	HOOG	ZEER HOOG



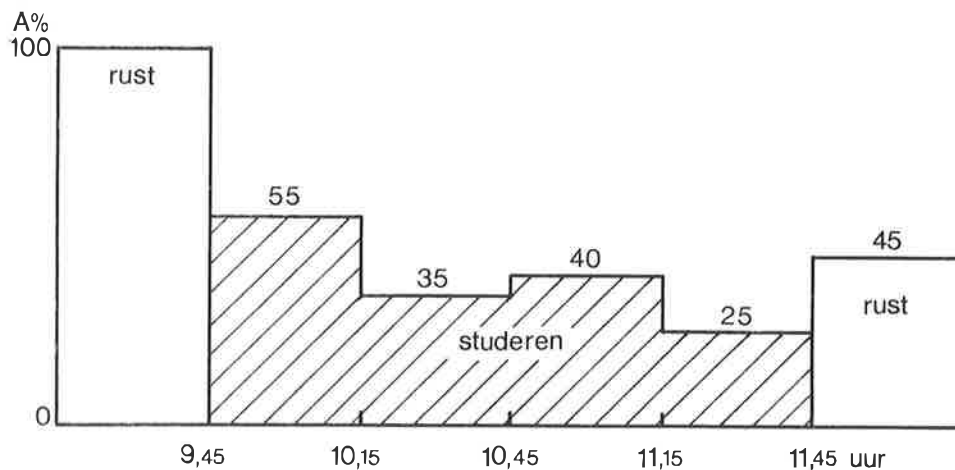
Als conclusie van deze waarnemingen kan gesteld worden dat het zinvol lijkt de hypothese van het elkaar beïnvloeden van "aandachtsconcentratie" (cognitie) en de mate van gespannen zijn (emotie) verder te onderzoeken en te toetsen.

Waarneming tijdens arbeid

Na deze laboratoriumproeven waarbij een aanwijzing werd verkregen dat onder invloed van aandachtsconcentratie de amplitude van het plethysmogram verandert en gebruik makend van de wetenschap dat bij menselijke stuur- en regeltaken zoals deze voorkomen bij operators in de chemische industrie, aandachtsconcentratie een differentiatie-mogelijkheid van arbeid schijnt te geven, werd gezocht naar de mogelijkheid in het laboratorium wat meer aansluiting met de praktische arbeidssituatie te vinden.

De eerste stap die op dit gebied werd gezet was de waarneming bij een proefpersoon die van 9.45 uur tot 11.45 heeft gestudeerd. Het plethysmogram zag er als volgt uit.

Fig. VII. Invloed van studeren op de amplitudehoogte van het plethysmogram

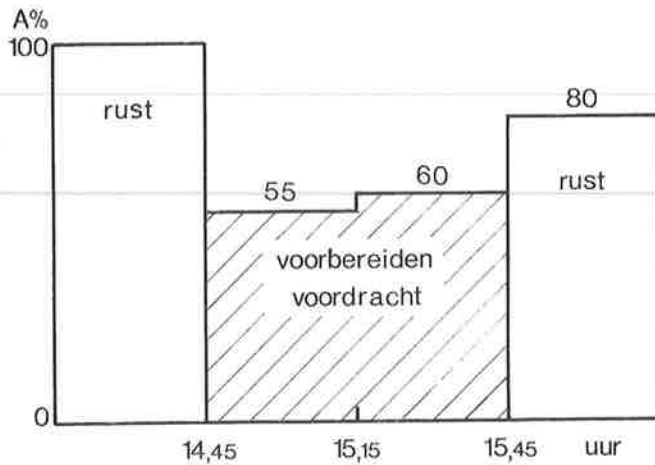


Subjectief werd door de proefpersoon de periode tussen 11.15 uur en 11.45 uur aangegeven als het moeilijkste gedeelte van de te bestuderen stof.

De vraag kan nu echter gesteld worden of dit inderdaad zo is of dat hier misschien sprake is van de invloed van een langere duurbelasting.

De volgende waarneming werd gedaan tijdens het voorbereiden van een voordracht.

Fig. VIII. Invloed van het voorbereiden van een voordracht op de amplitudehoogte van het plethysmogram



Subjectief werd hier de periode van 15.15 uur tot 15.45 uur aangegeven als zijnde het minst geconcentreerd.

De tot nu toe verrichte waarnemingen openen een aantal mogelijkheden welke door verder onderzoek moeten worden geëxploreerd. De gevolgde methode van patroon - of amplitude-herkenning - vraagt natuurlijk om een fysiologische onderbouw, evenals een voortzetting van de waarnemingen.

Toch lijkt het mogelijk op grond van de gedane waarnemingen een aantal hypothesen op te stellen welke voor onderzoek in aanmerking komen.

In het bijzonder wordt hier gedacht aan vragen als:

- Is het mogelijk de aandachtconcentratie te gebruiken als maat voor de cognitieve taakzwaarte?
- Welke invloed heeft de emotie op de aandachtconcentratie?
- Welke invloed gaat er uit van anticipatie en na-resonantie?
- Welke invloeden zijn er op de lange duur bij verschillende niveau's van aandachtconcentratie en emotie?
- Gaat er van tempo-dwang invloed uit op aandachtconcentratie en emotie?
- Welk niveau van aandachtconcentratie en emotie is toelaatbaar?

Samenvatting

Als onderdeel van een researchproject van de afdeling Arbeidsfysiologie van het Academisch Ziekenhuis te Leiden wordt in dit artikel de aandacht gevestigd op de mogelijkheden die de plethysmografie biedt als meet-methode van aandachtconcentratie en de mate van gespannen zijn bij niet-fysieke arbeid.

Hoewel de plethysmografie als meet-methode al heel lang bestaat, hebben recente technische ontwikkelingen de meet-mogelijkheden sterk vergroot.

De tot nu toe verrichte waarnemingen openen een aantal mogelijkheden welke door verder onderzoek moeten worden geëxploreerd.

Summary

In the present article, a discussion is given of the possibilities of plethysmography as a method of measuring the degree of concentration and tenseness during non-physical activity, a subject that was studied as part of a research project of the Department of Occupational Physiology of the University Hospital, Leyden. Although plethysmography has already been used as a measuring technique for a long time, recent technical developments seem to have opened up a whole new range of possibilities, possibilities which have to be judged on their merits by means of further research, however.

Literatuur

1. DIRKEN, J.H. Arbeid en Stress; 2nd ed. Groningen, Wolters-Noordhoff, 1969
2. DIRKEN, J.H., e.a. Taken van operators in de proces-industrie. Mens & Ondern. 24 (1970) 6
3. HORST, L. van der. Anthropologische Psychiatrie, dl. 1. Amsterdam, Van Hoikema & Warendorf, 1946
4. NIJBOER, J. Electrical Impedance Plethysmography. Springfield, Thomas, 1959
5. PATER, L. de, en J. van der Berg. A very sensitive photoplethysmography using scattered light and a photo sensitive resistance. Acta Physiol.Pharmacol.Neerl. 10 (1962) 378-90
6. PATER, J. de. An electrical analogue of the human circulation. Dissertatie R.U. Groningen, 1966
7. SLUIJS, H. van der. De bepaling van de arbeidsbelasting. Arbeidsk. T. 79 (1963) 326
8. SLUIJS, H. van der. Het menselijk activiteitspatroon tegen de achtergrond van de leeftijd. In: Functionele leeftijd van industrie-arbeiders; de ontwikkeling van een meetmethode. Groningen, Wolters-Noordhoff, 1968, p. 44-52
9. SLUIJS, H. van der. Evaluation of exercise tolerance and workload. Boerhaave Courses for post-graduate medical education, course on ischaemic Heart Disease, June 12-13, 1969
10. SLUIJS, H. van der, en J.M. Dirken. Taken van operators in de proces-industrie; taakbeschrijving. Mens & Ondern. 24 (1970) 6
11. SLUIJS, H. van der, en J.M. Dirken. Dagelijks energieverbruik van de Nederlandse Industrie Arbeider. Groningen, Wolters-Noordhoff, 1970
12. VRIES, B.A. de, H. van der Sluijs, J.M. Dirken en H. Kuipers. Taakbeschrijving en taakwaardering door operators in de proces-industrie. Leiden, NIPG/TNO, 1971
13. WEIJMANS, G.J.A. Foto-electrische Reflectie-plethysmografie; verslag van een afstudeer-onderzoek. Eindhoven, T.H., 1969

