

FISIOLOGIESE REAKSIES AS  
HITTESTRES VOORSPELLERS

deur

NICO CLAASSEN

(i)

FISIOLOGIESE REAKSIES AS HITTESTRES VOORSPELLERS

deur

NICOLAAS CLAASSEN (B.Sc.)

Skripsie voorgelê ter gedeeltelike voldoening  
aan die vereistes vir die graad Magister  
Scientiae (Bedryfsfisiologie) aan die  
Potchefstroomse Universiteit vir Chris-  
telike Hoër Onderwys.

Leier: Prof. P.J. Pretorius

Hulpleier: Dr. R. Kok

Potchefstroom

Mei 1989

(ii)

BEDANKINGS

- My dank aan WNNR vir die beskikbaarstelling van die data wat gebruik is vir die daarstel van die skripsie.
- Professor P.J. Pretorius van die departement Fisiologie van die Potchefstroomse Universiteit vir C.H.O. wat as my leier opgetree het. Baie dankie vir al u hulp en kommentaar tydens die voltooiing van die skripsie.
- Dr. R. Kok van die Menslike faktore program, Divisie vir Boutegnologie, WNNR wat as hulpleier opgetree het. Baie dankie vir al u insette tydens die eksperimentele uitvoering en verwerking van die data.
- Die personeel van die Menslike faktore program vir die bystand met die uitvoering van die eksperimentele bepalinge en verwerking van data.
- Mev. B. van Reenen vir die taalkundige versorging van die skripsie.
- Mev. G. Retief vir die netjiese en akkurate tikwerk.
- My vrou Martie. Baie dankie vir al jou bystand, geduld en kommentaar tydens die studie.
- Aan my ouers en vriende, baie dankie vir u ondersteuning en belangstelling tydens die studie.
- Aan my Skepper vir die krag wat aan my geskenk is om die studie aan te pak en te voltooi.

OPSOMMING

Hoë omgewingstemperature in die Suid-Afrikaanse industrie is 'n algemene probleem en beïnvloed die gesondheid en werkverrigting van fabriekswerkers. Die feit dat van die industrieë langs die kusgebied (veral die Natalkus) en op die Hoëveld geleë is, skep 'n bykomende probleem van hoë en lae vogtigheidsvlakke in kombinasie met hoë omgewingstemperature.

In gebiede waar die vogtigheidsvlakke nie so hoog is nie (relatiewe vogtigheidsvlakke = 30 tot 40 %) is die probleem nie so groot nie omdat verdampingsafkoeling, wat die effektiwiteitsafkoelingsmeganisme van die mens tydens blootstelling aan hitte is, nie deur die vogtigheidsvlak in die lug beperk word nie. Waar die vogtigheidsvlakke egter hoog is (relatiewe vogtigheidsvlakke = 70 tot 90 %) word die effektiwiteit van verdampingsafkoeling as afkoelingsmeganisme van die mens by hoë omgewingstemperature baie verlaag, omdat verdamping nie so maklik kan plaasvind nie.

Met inagneming dat verdampingsafkoeling afneem tydens verhoogde vogtigheidsvlakke en omgewingstemperature, het die vraag opgekom of die WBGT-indeks voorsiening maak vir die afname in effektiwiteit van verdampingsafkoeling in warm, vogtige omgewings (WBGT = "Wet Bulb Globe Temperature").

Die doel van die projek was dus die bepaling van die geldigheid van die WBGT-indeks in warm vogtige omgewings. Fisiologiese parameters soos byvoorbeeld rektale temperatuur, harttempo, sweettempo en gemiddelde veltemperatuur is as aanduiders van hittestres gebruik. Elk van dié fisiologiese parameters se reaksies tydens lae en hoë relatiewe vogtigheidsvlakke by omgewingstemperature van 24, 28, 30 en 32 °C WBGT is nagegaan. Aangesien fisiologiese parameters die hoofkriteria van evaluering was, was dit moontlik om na fisiologiese reaksies as hittestres voorspellers te kyk.

Ongeakklimatiseerde nie-blanke proefpersone is gebruik tydens die studie. Proefpersone is elke tweede dag aan hitte blootgestel om die effek van akklimatisasie te verminder. Geen blootstellings is op Maandae gedoen nie omdat sosiale aktiwiteite oor naweke resultate kan beïnvloed. 'n Staptoets is vir evaluering gebruik en proefpersone het teen 'n werkklading van 450 W in totaal gewerk. Proefpersone is by elke toestand vir vyf ure blootgestel en die blootstelling is voor die verstryking van vyf uur beëindig as 'n rektale temperatuur van 39 °C of harttempo van 180 slae/min. bereik is.

Uit die ondersoek blyk dit dat rektale temperatuur en harttempo goed met tyd korreleer. Daar is ook 'n goeie korrelasie tussen rektale temperatuur en harttempo verkry. Rektale temperatuur kan dus met redelike akkuraatheid uit harttempo voorspel word. Sweettempo vertoon ook 'n goeie korrelasie met verhoogde omgewingstemperatuur, indien die WBGT-indeks gebruik word.

Die gevolgtrekking is gemaak dat rektale temperatuur, harttempo en sweettempo as betroubare voorspellers van hittestres gebruik kan word.

SUMMARY

High environmental temperatures are a common problem in South African industry and influence the health and performance of factory workers. The siting of industry along the coast (especially the Natal coast) and the highveld results in the additional problem of environmental temperatures in combination with both high and low humidity levels.

In areas where the humidity levels are low (relative humidity of 30 - 40 %) the problem is not so great due to evaporative cooling; the most effective cooling mechanism available to man during exposure to heat.

At high humidity conditions (relative humidity of 70 - 90 %) and high temperature the effectiveness of evaporative cooling as a cooling medium is considerably lowered as evaporation can no longer easily take place.

Bearing in mind the occurrence of reduced evaporative cooling at revised humidity levels then one is faced with the question of the value of WBGT as an index of the effectiveness of sweat evaporation in hot/humid conditions.

The purpose of this study was therefore the evaluation of the WBGT index in hot/humid conditions. Physiological parameters such as rectal temperature, heart rate, sweat rate and mean skin temperature were used as indicators of heat stress. Each of these parameters was measured at low and high relative humidities at environmental temperatures of 24, 28, 30 and 32 °C. As the physiological parameters were the major criteria for evaluation it was also possible to emulate their role as heat stress predictors.

Unacclimatised black subjects were used during the study. Subjects were exposed every two days to rule out the effect of acclimatisation. Similarly, no exposures were carried out on Mondays since social activities over the weekend can influence the results. A step test was used in the evaluation and subjects worked at a total metabolic rate of 450 W. Subjects were exposed to each condition for five hours. The exposure was ended before five hours if a rectal temperature of 39 °C or a heart rate of 180 beats/min were reached.

From the study it was evident that rectal temperature and heart rate exhibit a good correlation with exposure time. Furthermore, there was a good correlation between rectal temperature and heart rate so that the former may be used to give a reasonably accurate prediction of heart rate. Sweat rate showed a good correlation with high environmental temperatures as expressed on the WBGT scale.

It can be concluded that rectal temperature, heart rate and sweat rate can be used as reliable predictors of heat stress.

INHOUDSOPGAWE

Bladsy

HOOFSTUK 1

1.	Inleiding	1
	(a) Probleemstelling	2
	(b) Beperkings van die ondersoek	3
	(c) Betekenis van die ondersoek	4

HOOFSTUK 2

2.	Literatuuroorsig	5
2.1	Beheermeganismes van temperatuur	5
2.2	Meganismes betrokke by hitteverlies	6
2.3	Fisiologiese reaksies as voorspellers van hittestres	8
2.3.1	Liggaamstemperatuur	8
	2.3.1.1 Rektale temperatuur	9
	2.3.1.2 Mondtemperatuur	12
	2.3.1.3 Gemiddelde veltemperatuur	13
2.3.2	Harttempo	14
2.3.3	Sweettempo	17
2.4	Hittestresindekse	19

HOOFSTUK 3

3.	Metode	22
3.1	Proefpersone en bepaling van werkklas	23
3.2	Eksperimentele metode	25
3.3	Statistiese analise	26

HOOFSTUK 4

4.	Resultate	27
4.1	Rektale temperatuur	27
4.2	Mondtemperatuur	28
4.3	Harttempo	29
4.4	Sweettempo	30
4.5	Gemiddelde veltemperatuur	30
4.6	Toleransietyd	31

HOOFSTUK 5

5.	Bespreking	32
5.1	Liggaamstemperatuur	32
5.1.1	Rektale temperatuur	32
5.1.2	Mondtemperatuur	35
5.1.3	Gemiddelde veltemperatuur	36
5.2	Harttempo	39
5.3	Sweetverlies	41
5.4	Redes vir beëindiging van blootstelling en toleransietye	42
6.	Gevolgtrekking	44
7.	Literatuurverwysings	73

LYS VAN TABELLE

<u>Tabel</u>	Bladsy
Fisiese karakteristieke van proefpersone	23
1. Gemiddelde waardes en korrelasie tydens vyf-uur blootstelling	45
2. Gemiddelde verskil tussen rektale en mond-temperatuur	46
3. Verskil tussen rektale temperatuur en gemiddelde veltemperatuur van t=0 tot t=285	46
4. Sweettempo gedurende 5-uur blootstelling	47
5. Gemiddelde toleransietyd ten opsigte van hoë rektale temperatuur of harttempo	47
6. Persentasie persone wat hoë rektale temperatuur (>39 °C) of harttempo (>180 slae/min.) by omgewingstemperature van 24 tot 32 °C WBGT (30 en 70 % relatiewe vogtigheid) bereik het	48
7. Minimum en maksimum toleransietye en rede vir beëindiging van blootstelling	48

LYS VAN GRAFIEKE

<u>Figuur</u>		Bladsy
1.	Verband tussen gemiddelde werklading en stap- hoogte van proefpersone tydens kalibrasie vir 450 W	49
2.	Rektale temperatuur teen tyd by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid	50
3.	Rektale temperatuur teen tyd by verskillende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid	51
4a.	Rektale temperatuur teen tyd by 'n omgewings- temperatuur van 24 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	52
4b.	Rektale temperatuur teen tyd by 'n omgewings- temperatuur van 28 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	53
4c.	Rektale temperatuur teen tyd by 'n omgewings- temperatuur van 30 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	54
4d.	Rektale temperatuur teen tyd by 'n omgewings- temperatuur van 32 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	55
5.	Mondtemperatuur teen tyd by verskilldende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid	56
6.	Mondtemperatuur teen tyd by verskilldende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid	57
7a.	Mondtemperatuur teen tyd by 'n omgewings- temperatuur van 24 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	58
7b.	Mondtemperatuur teen tyd by 'n omgewings- temperatuur van 28 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	59

7c.	Mondtemperatuur teen tyd by 'n omgewings-temperatuur van 30 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	60
7d.	Mondtemperatuur teen tyd by 'n omgewings-temperatuur van 32 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede	61
8.	Harttempo teen tyd by verskillende omgewings-temperature met 30 % relatiewe vogtigheid	62
9.	Harttempo teen tyd by verskillende omgewings-temperature met 70 % relatiewe vogtigheid	63
10a.	Harttempo teen tyd by 'n omgewingstemperatuur van 24 °C WBGT met twee relatiewe vogtighede	64
10b.	Harttempo teen tyd by 'n omgewingstemperatuur van 28 °C WBGT met twee relatiewe vogtighede	65
10c.	Harttempo teen tyd by 'n omgewingstemperatuur van 30 °C WBGT met twee relatiewe vogtighede	66
10d.	Harttempo teen tyd by 'n omgewingstemperatuur van 32 °C WBGT met twee relatiewe vogtighede	67
11.	Sweettempo by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid	68
12.	Gemiddelde veltemperatuur teen tyd by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid	69
13.	Gemiddelde veltemperatuur teen tyd by verskillende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid	70
14.	Gemiddelde toleransietye by verskillende omgewingstemperature en twee relatiewe vogtighede	71
15.	Persentasie persone wat in staat was om vyf-ure van blootstelling te voltooi	72

## HOOFSTUK 1

### INLEIDING

Die mens word in die werksituasie en in die alledaagse lewe aan uiterse hoë temperature blootgestel, wat verreikende gevolge vir die mens se gesondheid kan hê. Die mens kan egter oor 'n wye spektrum van temperature 'n konstante liggaamstemperatuur handhaaf, veral as daar nie harde arbeid verrig word nie.

In gevalle waar harde werk in warm omgewings verrig word, kan liggaamstemperatuur nie gehandhaaf word nie omdat hitte-storing in die liggaam plaasvind. Liggaamstemperatuur sal gevolglik styg tot die persoon die werk staak of uit die warm omgewing verwyder word. Daar sal egter nie net 'n styging in liggaamstemperatuur plaasvind nie. Die harttempo van die persoon sal ook toeneem om die verhoogde hitte produksie in die liggaam, met die omgewing uit te ruil. Daar word dus 'n groot las op die persoon se kardiovaskulêre sisteem geplaas.

In Suid-Afrika kom hitte probleme in die industrie normaalweg voor aangesien Suid-Afrika oor die algemeen 'n warm klimaat het, en ook omdat baie van die industrieë prosesse gebruik wat hitte produseer. In meeste gevalle, soos byvoorbeeld by hoogoonde en fabriek wat nie goed geventileer is nie, is stralingstemperatuur, en in besonder hoë omgewingstemperatuur 'n groot probleem. In dié gevalle is daar meestal sprake van droëhitte probleme, met ander woorde hoë temperature met lae relatiewe vogtigheid (30 %). Wentzel (1985) het in 'n studie wat hy uitgevoer het gevind dat die meeste Suid-Afrikaanse industrieë op die hoëveld in gebiede met 'n lae vogtigheid geleë is.

In die mynindustrie en suikerbedryf, waar 'n hoë relatiewe vogtigheid meestal voorkom, word warm, vogtige probleme ondervind. Wanneer in warm, vogtige omgewings gewerk word, word 'n baie groter las op die termoreguleringsstelsel van die mens geplaas aangesien verdampingsverkoeling nie suksesvol plaasvind nie.

Uiterste hittetoestande, nat of droog, hou egter nie net in die industrie 'n gevaar vir die mens in nie, maar ook in die alledaagse lewe. Vinnige temperatuurskommelinge, veral van 'n matige temperatuur na 'n baie warm temperatuur kan noodlottig wees. Die skommeling is egter nie vir die hele bevolking noodlottig nie, maar wel vir mense wat ouer as 50 jaar is. Kenney & Hodgson (1987) het gevind dat bejaarde persone se vermoë om hitte te verdra afneem soos aangedui deur 'n groter toename in rektale temperatuur plaasvind en tweedens omdat sweettempo, wat die belangrikste afkoelingsmeganisme is, ook afneem.

#### (a) Probleemstelling

Die doel van die ondersoek was om die betroubaarheid van die WBGT-indeks by lae en hoë relatiewe vogtigheid met mekaar te vergelyk. Die rede waarom die ondersoek geloods is, is omdat daar nie ooreenstemmende fisiologiese reaksies by lae en hoë relatiewe vogtigheid verkry is nie. Aangesien die WBGT-indeks streswaarde 'n verhouding is tussen droëbol-, natbol- en stralingstemperatuur, kan dieselfde streswaarde vir lae sowel as hoë relatiewe vogtigheid verkry word, en blyk 'n probleem te wees. So byvoorbeeld kan 'n droëboltemperatuur van 42,5 °C, natbol van 27,2 °C en stralingstemperatuur van 43,5 °C 'n waarde van 32 °C WBGT gee vir 'n relatiewe vogtigheid van 30 %. 'n Teenstelling hiermee kan 32 °C WBGT by 70 % relatiewe vogtigheid 'n droëboltemperatuur van 35,0 °C, natbol van 30,2 °C en stralingstemperatuur van 36,0 °C hê. Aangesien die hoofafkoelingsmeganisme van die mens verdampingsafkoeling in hittetoestande is, en die effektiwiteit van

die meganisme afneem in vogtige toestande, is dit belangrik om die betroubaarheid van die indeks by 'n hoër relatiewe vogtigheid te bepaal.

Om die WBGT-indeks as betroubaar te bewys is dit belangrik om die verband wat tussen dié indeks en verskillende fisiologiese parameters wat as hittestres voorspellers gebruik kan word te bepaal. In dié skripsie word die klem dus gelê op die verband tussen verskillende fisiologiese parameters en WBGT-indekswaardes by 'n relatiewe vogtigheid van 30 % en 70 %. Dit is belangrik om die verband tussen verskillende fisiologiese parameters en WBGT-indekslesings te bepaal. Aangesien die WBGT-indeks deur 'n paneel deskundiges op die gebied van hitte-fisiologie saamgestel is (Kok et al., 1989), is daar nog nie duidelike verbande tussen WBGT-indeks en fisiologiese parameters neergelê nie. Omdat die indeks reeds deur die "Machinery Occupational and Safety Act" (MOS Act) as riglyn vir voortdurende werk in hitte opgeneem is, is dit belangrik om die verbande tussen WBGT-indeks en fisiologiese parameters duidelik te dokumenteer.

(b) Beperkings van die ondersoek

'n Tekortkoming van die ondersoek was dat die proefpersone wat gebruik is nog nooit aan eksperimentele werk deelgeneem het nie, en ook ongeakklimatiseerd was. Daar was definitief 'n verbetering in die effektiewe uitvoering van die staptoets met verloop van die eksperiment. Alhoewel blootstelling elke tweede dag uitgevoer is, kon akklimatisasie nie verhoed word nie.

Die betroubaarheid van elke blootstelling is getoets deur herhaling van die blootstelling met dieselfde kondisies. Daar is 'n goeie herhaalbaarheid in die resultate verkry. Aangesien 'n ooreenstemming in fisiologiese response tydens dieselfde blootstellingskondisies plaasgevind het, het dit geblyk dat die mate van akklimatisasie wat plaasgevind het baie gering was.

Nog 'n tekortkoming was dat die proefpersone nie gemotiveerd was nie. Dit het veral na vore gekom tydens eksperimentering indien hoë rektale temperature ( $>38,5$  °C) en harttempo's ( $>160$  slae/min.) bereik is. Aangesien proefpersone aan 'n redelike mate van hittestres onderworpe was, het dit tot 'n afname in staptempo, en gevolglik tot 'n verlaging in werkklas gelei.

Nog 'n beperking van die ondersoek was dat die voedingstatus van die proefpersone nie tydens eksperimentering bekend was nie. Aangesien daar geen blootstellings Maandae plaasgevind het nie, kon die invloed van alkoholgebruik deels uitgeskakel word.

Dit is belangrik om daarop te let dat datagemiddeldes gebruik is in die bespreking. Die regressievergelykings wat uit die datagemiddeldes verkry is, kon nie direk op individue tydens hittestresblootstelling gebruik word nie omdat 'n groot variasie in fisiologiese response voorgekom het.

#### (c) Betekenis van die ondersoek

Uit die ondersoek het dit duidelik na vore gekom dat daar 'n definitiewe verband tussen fisiologiese reaksies en tydsduur van blootstelling bestaan. Die verband strek ook verder naamlik dat sekere fisiologiese reaksies gebruik kan word om ander fisiologiese reaksies met redelike akkuraatheid te voorspel.

Dat verhoogde relatiewe vogtigheid 'n hoë termoreguleringslas op die mens plaas kom duidelik na vore as na die reaksie van rektale temperatuur, harttempo en sweettempo gekyk word. Die bevindings van die ondersoek dui daarop dat daar nog 'n wye navorsingsveld bestaan aangaande die effek wat humiditeit op fisiologiese reaksies soos rektale temperatuur, harttempo en sweettempo het.

## HOOFSTUK 2

### LITERATUUROORSIG

Volgens Astrand (1977) is hitte vir die mens 'n groter probleem as koue omdat die mens makliker teen lae temperature as hoë temperature beskerm kan word. Guyton (1981) meen dat buiten die liggaamsprosesse wat liggaamstemperatuur beheer, gedrag ook 'n rol speel tydens hittetoestande, aangesien die mens gewoonlik sy klere uittrek wanneer hy aan ekstreme hittetoestande blootgestel word. Liggaamstemperatuur beheer prosesse en die uittrek van klere speel 'n belangrike rol in die handhawing van liggaamstemperatuur. Die rede hiervoor is dat liggaamstemperatuur tydens werk in warm omgewings slegs gehandhaaf kan word as daar 'n ewewig tussen interne hitteproduksie en hitteverlies bestaan (Sen Gupta et al., 1984).

#### 2.1 BEHEERMEGANISME VAN TEMPERATUUR

Die beheermeganisme vir liggaamstemperatuur is volgens Guyton (1981) in die agtergedeelte van die hipotalamus geleë. Die agtergedeelte ontvang impulse van beide die preoptiese area van die hipotalamus en die periferie. Die kombinasie van die impulse bepaal dan of hitteproduserende of hitteverliesmeganismes in die liggaam plaasvind.

Indien liggaamstemperatuur by die stelpunt is (gewoonlik ongeveer 37,0 °C) sal hitteproduserende en hitteverliesmeganismes afwisselend in werking tree om die liggaamstemperatuur so konstant as moontlik te handhaaf. Die mate van hitteverlies stem dus ooreen met die hoeveelheid hitte wat in die liggaam geproduseer word, en kan met die volgende vergelyking voorgestel word:

$$M + R + C - E = 0$$

waar M = metaboliese hitteproduksie

R = stralingshitte-uitruiling tussen die liggaam en omgewing

C = konveksie hitte-uitruiling tussen die liggaam en omgewing

E = verdampingshitteverlies as gevolg van sweet.

R en C kan positief of negatief wees, afhangend van die temperatuur van die omgewing. Indien die droëbol- en stralings-temperatuur hoër as die veltemperatuur is, sal die twee veranderlikes 'n positiewe waarde hê aangesien die liggaam hitte van die omgewing opneem. E vertoon altyd 'n negatiewe waarde omdat verdamping slegs hitteverlies tot gevolg kan hê. Die tempo van hitte-uitruiling deur verdampingsverkoeling kan egter afneem indien die vogtigheid in die omgewing styg, maar kan nie positief word nie. Dit is verder belangrik om daarop te let dat die vergelyking slegs van toepassing is op 'n konstante liggaamtemperatuur. Indien die liggaamstemperatuur varieer, moet 'n korreksiefaktor aangebring word en dan sien die vergelyking soos volg daar uit:

$$M + S + R + C - E = 0$$

waar S storing van interne liggaamshitte voorstel.

S is negatief as hitteverlies plaasvind en is positief as hitteverlies nie voldoende is nie en opbouing van hitte in die liggaam plaasvind.

## 2.2 MEGANISMES BETROKKE BY HITTEVERLIES

Hitteverlies in die menslike liggaam vind hoofsaaklik deur straling, konveksie, geleiding en verdamping op die oppervlak van die vel plaas. Die hitteproduksie wat die gevolg van metabolisme en ander chemiese prosesse in die spiere en

organe is, word met behulp van die bloed as hoof hittetransportsistees na die vel vervoer. Bloed dien dus as die belangrikste vervoermeganisme vir hitte, aangesien bloed 93 % uit water bestaan en water 'n hoë hittekapasiteit het.

Hitteverlies kan dus in twee fases ingedeel word. Daar vind 'n interne hitte-uitruiling eerstens van die kern na die vel en tweedens van die vel na die atmosfeer plaas. Wanneer hitteverlies van die weefsels na die veloppervlak oorgedra word, vind dit hoofsaaklik in twee fases plaas. Eerstens, vind hitte-uitruiling van die weefsels na die bloed plaas. Die oordraging van hitte na die bloed geskied deur geleiding. Dit is belangrik om daarop te let dat hitte-uitruiling van die weefsels na die bloed alleenlik kan plaasvind indien daar 'n negatiewe temperatuurgradiënt aanwesig is. Hitteverlies van die vel na die omgewing geskied deur middel van geleiding, konveksie, straling en verdamping van sweet. Hitteverlies wat deur geleiding plaasvind is weglaatbaar klein omdat hittegeleiding slegs wanneer die liggaam in kontak met 'n ander voorwerp is, plaasvind. Hitteverlies deur konveksie en straling het ook nie 'n baie effektiewe hitteverlies tot gevolg nie, omdat omgewingstemperatuur hoër as liggaamstemperatuur kan styg, wanneer geen hitteverlies deur middel van konveksie en straling moontlik is nie.

Indien die omgewingstemperatuur hoër as 35 °C is, geskied hitteverlies hoofsaaklik deur middel van verdamping van sweet (Best & Taylor, 1978). Verdamping van sweet is 'n baie effektiewe hitteverliesmeganisme, indien die dampdruk in die omgewing laer is as die dampdruk op die veloppervlakte (Schmidt & Thews, 1983). Volgens Best & Taylor (1978) kan 'n persoon normale liggaamstemperatuur handhaaf by 'n omgewingstemperatuur van 100 °C indien die lugvogtigheid laag is. By 50 °C in vogtige omgewings sal die liggaamstemperatuur reeds 'n vinnige toename toon.

## 2.3 FISIOLOGIESE REAKSIES AS VOORSPELLERS VAN HITTESTRES

Daar word 'n geruime tyd al navorsing oor die effek van hitte op die mens gedoen. Die response waarna meestal gekyk word is rektale temperatuur, harttempo en sweettempo. Aangesien rektale temperatuurmetings as gevolg van etiese oorwegings nie in die industrie bepaal kan word nie, is dit nodig om na ander veranderlikes (soos mondtemperatuur) te kyk. Eersgenoemde metings van hittestres is egter baie meer akkuraat maar aangesien dié metings nie algemeen in die industrie gebruik word nie, moet na mondtemperatuur gekyk word. 'n Mate van akkuraatheid gaan verlore as metings soos mondtemperatuur gebruik word, omdat mondtemperatuur meer deur die omgewingstemperatuur beïnvloed word as rektale temperatuur.

### 2.3.1 Liggaamstemperatuur

Vir die bepaling van kerntemperatuur is dit belangrik om 'n area in die liggaam te gebruik wat 'n aanvaarbare temperatuur lesing sal weergee, en wat goed sal ooreenstem met breinbloed temperatuur. Verskeie areas in die liggaam, byvoorbeeld die rektum, mond, esofagus en die timpaniese membraan word meestal gebruik vir die bepaling van kerntemperatuur. Daar is egter besware teen die gebruik van die metings as aanduiders van kerntemperatuur. Mairiaux et al. (1983) het in 'n studie aangetoon dat mondtemperatuur baie deur omgewingstemperatuur beïnvloed word. By lae omgewingstemperatuur is die mond geneig om af te koel as deur die mond asemgehaal word, wat lae waardes tot gevolg het. Die teenoorgestelde vind plaas by hoë omgewingstemperatuur wat verwarming van die mond tot gevolg het, sodat lesings selfs hoër as dié van die werklike kerntemperatuur verkry word. Mairiaux et al. (op. cit.) het verder beweer dat timpaniese membraanmetings ook nie baie betroubaar is nie aangesien die meting teen die timpaniese membraan geneem moet word en die plasing daarvan baie probleme kan skep. Dit is ongemaklik om die sensor teen die membraan te hou (Brinnel & Cabanac, 1989). Dit lei daartoe

dat die sensor van die membraan wegbeweeg en dat oorkanaaltemperatuur dan gelees word. Dié temperatuur sal volgens Mairiaux et al. (1983) laer as die kerntemperatuur wees.

#### 2.3.1.1 Rektale temperatuur

In bepalings wat deur Saltin et al. (1966), Nielsen & Nielsen (1962) en Mairiaux et al. (op. cit.) uitgevoer is, dui daarop dat rektale temperatuur as 'n bevredigende maatstaf van kerntemperatuur tydens werk in hittestrestoestande gebruik kan word. Die rede waarom rektale temperatuur 'n bevredigende maatstaf van kerntemperatuur is, is omdat die verandering wat in breinbloedtemperatuur en rektale temperatuur plaasvind in dieselfde orde is (Astrand & Rodahl, 1977), alhoewel rektale temperatuur 0,2 - 0,5 °C laer is as breinbloedtemperatuur. Indien verhoging in rektale temperatuur tydens eksperimentering as die bepalende kriteria gebruik word, word 'n rektale temperatuur van 39 °C deur Kaufman (1988) en Skoldström (1987) voorgestel. 'n Waarde van 39 °C vir rektale temperatuur blyk 'n veilige waarde te wees aangesien ernstige skade aan weefsels, en veral senuweeweefsel, by rektale temperatureers by 43 °C voorkom (Best & Taylor, 1980). Die waarde is egter nie te laag nie omdat die rektale temperatuur baie vinnig kan styg by hittestrestoestande, omdat die termoreguleringsstelsel nie meer die balans tussen hitteproduksie en hitteverlies kan handhaaf nie (Vander, 1980). Givoni & Goldman (1972) het gevind dat rektale temperatuur op die eerste dag van eksperimentering en Maandae met groot omsigtigheid gebruik moet word omdat rektale temperatuur deur emosionele toestande en naweekaktiwiteite (veral met gebruik van alkohol) beïnvloed word. Vir akkurate bepaling van kerntemperatuur is die diepte en plasing van die termokoppel in die rektum van kardinale belang. 'n Diepte van 8 cm word deur verskeie outeurs voorgestel om betroubare kerntemperatuurlesings te verkry (Armstrong et al.; 1987, Kaufman; 1988, Skoldström, 1987).

Die verband tussen rektale temperatuur tydens hittestres en tyd is nie altyd reglynig nie. Givoni & Goldman (1972) het verskillende tydpatrone gemeet vir rustende persone wat hittestres ondervind, naamlik rektale temperatuurstyging by werk in 'n spesifieke omgewingstemperatuur en hersteltemperatuur na staking van werk.

By rustende persone wat hittestres ondervind word 'n tydpatroon wat aanvanklik 'n stadige en daarna 'n vinnige toename tot 'n ewewigspunt het, opgemerk. Wanneer in hittetoestande gewerk word sal die toename in rektale temperatuur na 'n kort vertraging gouer plaasvind. 'n Derde tydpatroon, volgens Givoni & Goldman (1972), is die rektale hersteltemperatuur na staking van werk. Die stygingstempo van die rektale temperatuur sal stadiger wees as gedurende die werkperiode. Givoni & Goldman (op. cit.) se bevinding was dat die toename in rektale temperatuur toe te skryf is aan die afname in sweettempo tydens rus en dat die verdampingskapasiteit van die lug die duur van die styging sal bepaal.

Rektale temperatuur het egter nie net 'n unieke patroon ten opsigte van tyd nie, maar dit vertoon verskillende patrone teenoor verskillende vlakke van hittestres (Givoni & Goldman, op. cit.). Rektale ewewigstemperatuur word verhoog deur verhoogde hittestresvlakke. 'n Hoër ewewigsvlak in rektale temperatuur word verkry met verhoogde werkstempo omdat temperatuurregulering op 'n hoër vlak plaasvind by hoër werkstempo's (Sen Gupta, 1987; Fuller & Smith, 1981).

Indien rektale temperatuur as hittestresvoorspeller gebruik word tydens eksperimentering moet opeenvolgende blootstellings 'n minimum tydinterval van twee dae hê om die effek van akklimatisasie uit te skakel (Kaufman, 1988). In die industrie word die situasie nie teëgekome nie omdat elke dag in hitte gewerk word, en akklimatisasie sal gevolglik plaasvind ten opsigte van 'n sekere werkklading. Met akklimatisasie sal rektale temperatuur afneem as gevolg van 'n beter sirku-

latoriese effektiwiteit en 'n hoër sweettempo. 'n Afname van 0,5 °C kan in rektale temperatuur verwag word wanneer persone ten volle geakklimatiseerd is (Wyndham et al., 1954b). Die afname in die ewewigsvlak van rektale temperatuur is ook groter as die aanvanklike rektale temperatuur by geakklimatiseerde persone.

Alber-Wallerström (1985) het 'n betekenisvolle toename in rektale temperatuur gekry wanneer voggehalte verhoog word. Die styging in rektale temperatuur vind plaas as gevolg van 'n beperking op die verdampingsproses van die sweet (Sen Gupta, 1987; Givoni & Goldman, 1972). Die styging in rektale temperatuur vind volgens Givoni & Goldman (1972) nie dadelik plaas wanneer verdampingstempo die vlak van verdampingskapasiteit bereik nie, maar het eers 'n geleidelike toename; dit volg daarna 'n eksponensionele kurwe.

'n Verhoging in voggehalte het ook tot gevolg dat rektale temperatuur langer neem om 'n ewewigsvlak te bereik. By 'n laer voggehalte word ewewigsvlak binne 40 tot 60 minute bereik as teen 'n werklading van 325 W gewerk word, maar by baie hoë voggehalte en temperatuur (dampdruk meer as 32 mmHg) kan ewewig eers vanaf 60 minute tot 120 minute bereik word (Kamon & Belding, 1971).

Verskeie organisasies wat met gesondheid in die industrie gemoeid is beveel 'n rektale temperatuur van 38 °C aan wanneer daar voortdurend werk in hittetoestande verrig word. Die drempelperk kan wel baie laag voorkom as daarop gelet word dat die normale liggaamstemperatuur 37 °C is en dat beskadiging van parenchium van die sentrale senuweestelsel by kerntemperature van 41,1 tot 42,2 °C plaasvind (Guyton, 1981). Die perk is egter nie te laag nie, as daar in gedagte gehou word dat dit van toepassing moet wees op werkers wat hittetolerant is asook die wat nie hittetolerant is nie. 'n Drempelperk van 38 °C is verder belangrik omdat 'n werker met 'n rektale temperatuur van 38 °C teen 50 % van sy maksimale

aerobiese kapasiteit werk (Astrand & Rodahl, 1977). Laasgenoemde skrywers is egter van mening dat 'n persoon teen 40 % van sy maksimale aerobiese kapasiteit oor 'n 8-uur werksdag moet werk, wat duidelik daarop dui dat 'n rektale temperatuur van 38 °C wel 'n goeie standaard is.

#### 2.3.1.2 Mondtemperatuur

Volgens NIOSH (1986) is kerntemperatuur metings (soos byvoorbeeld by die rektum, esofagus of timpaniese membraan geneem) nie 'n ingewikkelde prosedure is nie, is die metings sosiaal onaanvaarbaar vir werkers. Michal (1981) beveel egter aan dat mondtemperatuur wel in die industrie gebruik word. NIOSH (1986) se standaard vir mondtemperatuur vir aaneenlopende werk in hittetoestande is 37,5 °C.

Aangesien mondtemperatuur ook 'n meting van kerntemperatuur is, ontstaan die vraag of die meting wel 'n goeie voorspeller van hittestres kan wees, aangesien mondtemperatuurlesings met 0,67 - 1,90 °C van rektale temperatuur kan verskil (Strydom et al., 1965). Die groot verskil tussen mond- en rektale temperatuur word toegeskryf aan hoë veneuse bloedvloei deur die bekkenarea wat die rektum verhit en sodoende die rektale temperatuur verhoog (Strydom et al., op. cit.).

By konstante omgewingstoestande en werkstempo sal die verskil wat tussen mond- en rektale temperatuur bestaan konstant bly wanneer 'n ewewigsvlak bereik is (Strydom et al., 1956; Strydom et al., op. cit.). Die belangrikheid dat 'n ewewigsvlak bereik moet word wanneer mond- en rektale temperatuur vergelyk word, kom na vore in 'n ondersoek van Mairiaux et al. (1983). Mairiaux et al. (op. cit.) het 'n klein verskil van 0,33 °C tussen rektale en mondtemperatuur verkry omdat daar 'n verhoging in omgewingstemperatuur plaasgevind het voor rektale of mondtemperatuur 'n platofase bereik het. Die verskil tussen rektale en mondtemperatuur kan so klein as 0,35 °C wees, en dit kan nog kleiner wees wanneer persone geakklimatiseer is (Strydom et al., op. cit.).

Die verskil tussen rektale en mondtemperatuur neem toe wanneer koors ontwikkel (Cranston et al., 1954; Strydom et al., 1965), en wanneer teen hoër werkladings gewerk word en asemhaling meer deur die mond plaasvind, plaas dit 'n beperking op die gebruik van mondtemperatuur lesings. Renbourn & Bon-sall (1958) het gevind dat rektale temperatuur minder deur omgewingstemperatuur beïnvloed word as wat die geval by mondtemperatuur is. Die invloed van omgewingstemperatuur op mondtemperatuur lesings is deur Mairiaux et al. (1983) bevestig, deurdat gevind is dat die stabiliseringstyd vir mondtemperatuur by 18 - 24 °C van 10 tot 20 minute is, en by 24 - 30 °C is dit sewe minute.

In 'n ondersoek van Strydom et al. (1956) is gevind dat daar geen onsekerheid oor die regstreekse verband tussen rektale en mondtemperatuur bestaan nie. 'n Korrelasie van  $r = 0,830$  is tussen rektaal- en mondtemperatuurlesings gekry. Nieteenstaande die goeie korrelasie wat tussen rektale en mondtemperatuur bestaan, is dit egter belangrik om daarop te let dat dit 'n risiko vir 3 % van die populasie sal inhou as daar van rektale na mondtemperatuurlesings oorgeskakel word (Strydom et al., op. cit.), aangesien die verskil nie konstant tussen rektale en mondtemperatuur is nie, en individuele verskille toon.

#### 2.3.1.3 Gemiddelde veltemperatuur

Wanneer 'n verhoging in omgewingstemperatuur plaasvind word van meer effektiewe hitteverliesmeganismes gebruik gemaak (Taylor, 1986). Dit vind plaas omdat die effektiwiteit van hitteverlies as gevolg van straling en konveksie afneem. Hitteverlies kan in sulke omstandighede selfs negatief word, wat tot gevolg sal hê dat hitte van die omgewing opgeneem gaan word (Taylor, 1986), en wat 'n styging in die veltemperatuur tot gevolg sal hê (Nag et al., 1986). In warm, vogtige omgewings vind daar ook nie voldoende afkoeling van die vel plaas nie, en 'n styging in rektale en veltemperatuur

vind verder plaas (Sen Gupta, 1987). Die verhoging in gemiddelde veltemperatuur wat plaasvind het volgens Guyton (1981, p. 283) die gevolg dat die stelpunt in die hipotalamus verlaag en sodoende word sweetsekresie gestimuleer by laer liggaamstemperatuur.

Givoni & Goldman (1972) het gevind dat veltemperatuur afhanklik is van die kleredrag en die tipe werk. Die dra van klere waarvan die isolasievermoë styg wanneer dit nat word (Vogt et al., 1983a) sal tot gevolg hê dat opbouing van hitte in die mikroklimaat kan plaasvind en sodoende 'n verhoging in veltemperatuur tot gevolg hê. Kleredrag kan ook die gevolg hê dat veltemperatuur konstant bly of afneem, aangesien liggaamsbewegings 'n ventilasie van tot 70 l/min meebring as gevolg van die pompaksie in die klere (Vogt, et al., 1983a).

### 2.3.2 Harttempo

Aangesien harttempo bepaal word deur die mate van deurlaatbaarheid van die SA-knoop vir ione, sal 'n geringe verhoging in bloedtemperatuur die gevolg hê dat die harttempo toeneem, omdat verhoogde bloedtemperatuur verhoogde ioondeurlaatbaarheid in die miokardium tot gevolg het en lei tot selfeksiterende prosesse (Guyton, 1981 p. 162).

Die toename in harttempo moet twee primêre sirkulatoriese funksies tydens hitteblootstelling vervul, naamlik vervoer van suurstof na die werkende spiere en tweedens die vervoer van hitte na die vel (Kamon et al., 1971; Kenney et al., 1984). Hitte word hoofsaaklik deur die water in die bloed opgeneem aangesien water volgens Best en Taylor (1980) die ideale eienskappe het daarvoor. Die eienskappe behels onder meer dat water 'n hoë spesifieke hittewaarde 'n goeie geleidingsvermoë en 'n hoë latente hitte ten opsigte van verdamping, het (0,58 kcal/ml. H<sub>2</sub>O).

'n Ondersoek van Skoldström (1987) toon 'n hoë korrelasie

( $r = 0,90$ ) tussen harttempo en die hoeveelheid hitte wat in die liggaam gestoor word, tydens blootstelling aan hitte. Dié goeie korrelasie wat Skoldström (1987) verkry het word toegeskryf aan die verhoogde behoefte aan toenemende oppervlak sirkulasie as gevolg van toenemende hitte wat in die liggaam gevorm word. Smolander et al. (1987) het in hulle ondersoek ook gevind dat oppervlakbloedsomloop liniêr toeneem met kerntemperatuur en dat harttempo verder toeneem met 'n daling in plasmavolume.

Die verspreiding van bloed na die oppervlak vir uitruiling van hitte het tot gevolg dat 'n afname in bloedvloei na die spysverteringskanaal, lewer en niere plaasvind (Armstrong et al., 1988). Sen Gupta (1987) het gevind dat 'n verspreiding van 2,0 l/min bloed na die vel 'n afname van 200 - 300 ml/min in suurstofopname in die werkende spiere tot gevolg het. Die afname in suurstofvoorsiening aan werkende spiere, sal tot gevolg hê dat anaerobiese prosesse vir energievoorsiening in werkende spiere gebruik word (Sen Gupta, 1987).

Volgens Givoni & Goldman (1973) word die tydpatroon van harttempo tydens metaboliese of hittestres deur die totale stresvlak bepaal. Sodoende sal harttempo by 'n hoër stresvlak langer neem om 'n ewewigsvlak te bereik. Harttempo kan dus as 'n vroeë aanduiding van uiteindelijke stres op die liggaam gebruik word (Fuller & Smith, 1981). 'n Harttempo styging 10 minute na die aanvang van die werk, tot aan die einde van werk, hou verband met die tempo van hittestoring in die liggaam (Vogt et al., 1983b).

Die tydpatroon van harttempo tydens rus kan waardevolle inligting oor die mate van spanning gee. Givoni & Goldman (1973) het gevind dat die afname in harttempo deur die totale verskil tussen die harttempo en die rustende waarde, en die verkoelingsvermoë van die omgewing, bepaal word. Die prosedure vir die bepaling van herstelharttempo volgens Fuller & Smith (1981) is soos volg: Die werker moet op 'n stoel regop

sit. Die mondtemperatuur moet bepaal word. Harttempo word dan van 30 s na aanvang van rus tot 1 min ( $P_1$ ), van 90 s tot 120 s ( $P_2$ ), en 150 s tot 180 s ( $P_3$ ) geneem. Indien  $P_3$  90 slae/min beloop, is werkstoestand bevredigend. As  $P_3$  ongeveer 90 slae/min, en  $P_1 - P_3$  minder as 10 slae/min is, is die druk op die individu te hoog.

Wanneer onfikse ongeakklimatiseerde werkers daagliks aan harde werk in warm, droë omgewings werk, sal dit verbeterde aanpassings in die bloedsomloop tot gevolg hê (Rowell et al., 1967). Die werkers sal dus akklimatiseer en 'n afname van 40 slae/min kan in hulle ewewigsharttempo voorkom (Givoni et al., 1973). Indien die herstelharttempo van Fuller & Smith (1981) vir geakklimatiseerde werkers gebruik word sal hulle baie meer stres kan verdra.

In 'n vroeëre ondersoek wat Vogt et al. (1983b) uitgevoer het is gevind dat die kritiese harttempovlak verskil met eksperimentele toestande en tussen individue. Dit wil dus voorkom of harttempo nie die enigste bepalende faktor vir beëindiging van blootstelling is nie, alhoewel harttempo 'n goeie verband met hittestres het. So het Iampietro & Goldman (1965) ook gevind dat die rede vir beëindiging van blootstelling verskil met veranderde omgewingstoestande. Iampietro het gevind dat die hoeveelheid persone wat by 'n werklading van 400 W as gevolg van 'n hoë harttempo (180 slae/min) onttrek is, toegeneem het by omgewingstemperatuur 34,7 °C WBGT en hoër. Volgens vorige outeurs was die rede vir beëindiging van blootstelling (hoë rektale temperatuur of harttempo) dieselfde by sekere temperatuur. Die tendens word volgens Givoni & Goldman (1973) verklaar na aanleiding van die feit dat harttempo en rektale temperatuur deur beide metaboliese tempo en omgewingshitte lading verhoog, wat daarop dui dat die twee veranderlikes interkorrelerend is. Alhoewel die twee veranderlikes interkorrelerend is, is daar wel 'n duidelike verskil as daar na tydpatrone gekyk word (Givoni & Goldman, 1973). Harttempo reageer gewoonlik baie gouer, het 'n steil

helling en bereik gou 'n plato. In teenstelling hiermee reageer rektale temperatuur stadiger en neem langer om 'n ewewigsstand te bereik. Die spesifieke tyd wat geneem word om rektale temperatuur en harttempo met mekaar te vergelyk sal dus die verhouding tussen harttempo en rektale temperatuur beïnvloed.

Nieteenstaande die feit dat die tydpatrone van rektale temperatuur en harttempo verskil, het verskeie outeurs goeie korrelasies tussen rektale temperatuur en harttempo gekry. Korrelasies van  $r = 0,71$  (Kamon et al., 1971) en  $r = 0,72$  (Kuhlemeier et al., 1978) is tussen rektale temperatuur en harttempo verkry. Die korrelasies wat tussen harttempo en rektale temperatuur bestaan is nie van die orde 1:1 nie, omdat die toename in harttempo groter word met 'n toename in rektale temperatuur. Kamon et al. (1971) het 'n toename van 35,4 slae/min vir 'n styging van 1 °C in rektale temperatuur vir 'n individuele regressie vergelyking verkry. Kamon et al. (1971) het verder gevind dat 'n rektale temperatuur van 38 °C met 'n harttempo van 125 slae/min sal korreleer oor 'n wye reeks werkladings en omgewingstemperature.

### 2.3.3 Sweettempo

Sweettempo is afhanklik van die kerntemperatuur. Indien die kerntemperatuur styg sal die toename in sweettempo liniêr toeneem solank die gemiddelde veltemperatuur konstant bly (Nielsen & Nielsen, 1965). Aangesien die temperature van veloppervlaktes verskil, sal dié areas ook verskillende kerntemperatuurdrempels toon waarby sweetproduksie 'n aanvang sal neem (Nielsen & Nielsen, op. cit.).

Aangesien verdampingsverkoeling 'n baie effektiewe meganisme vir afkoeling is, word dit baie effektief deur die mens tydens blootstelling aan hitte gebruik. By 'n normale veltemperatuur het 1 liter sweet 570 kcal energie nodig om te verdamp (Astrand & Rodahl, 1977).

Die effektiwiteit van verdampingsverkoeling by die mens is afhanklik van lugbeweging, die graad van versadiging van die lug (d.w.s. dampdruk), kleredrag, fiksheid en akklimatisering van die indiwidu (Iampietro & Goldman, 1965).

Indien 'n persoon in 'n hittetoestand werk is die effektiwiteit van sweetverdamping 100 % by die aanvang van werk (Alber-Wallerstrom & Holmér, 1985). Alhoewel verdampingsverkoeling maksimale hitteverlies tot gevolg het, kan 'n matige toename in kerntemperatuur nie verhoed word nie (Schwartz et al., 1977), omdat die verdampingkapasiteit in die lug 'n beperkende rol kan speel (Iampietro & Goldman, 1965). Indien die dampdruk in die omgewing en ook in die onmiddellike nabyheid van die vel waar verdamping van sweet moet plaasvind verhoog, sal sweet van die liggaam begin afdrup en die afkoelingseffektiwiteit van die geproduseerde sweet sal afneem (Kamon & Belding, 1971). Die sweet wat afdrup en nie verdamp nie het tot gevolg dat oormatige velbenatting voorkom, en sodoende word die sweetrefleks oor die hele liggaam onderdruk (Gonzalez & Cena, 1985).

'n Afname in die sweetrefleks kom ook tydens dehidrasie voor. Dehidrasie het tot gevolg dat daar 'n afname in sweettempo en 'n verhoging in die rektale temperatuur plaasvind. Die afname wat in sweettempo tydens dehidrasie voorkom, is die gevolg van die fisiologiese proses om die bloedvolume konstant te hou (Kaufman, 1988). 'n Konstante bloedvolume is van uiterste belang omdat bloedvolume 'n belangrike meganisme in die beheer van liggaamstemperatuur tydens blootstelling aan hittestrestoestande is. Indien die bloedvolume konstant bly of toeneem sal dit tot gevolg hê dat hittegeleiding van die kern na die veloppervlakte toeneem (Kok, 1982) en sodoende sal hitte-uitruiling na die omgewing bevorder word indien veloppervlaktemperatuur hoër as omgewingstemperatuur is.

Guyton (1981) het ook gevind dat sweettempo van die gemiddelde veltemperatuur afhanklik is. Indien daar 'n styging in

gemiddelde veltemperatuur plaasvind, sal dit tot gevolg hê dat die stelpunt in die hipotalamus verlaag en sweettempo sal gouer 'n aanvang neem om die liggaam af te koel.

Wanneer 'n persoon fiks en geakklimatiseer is, sal die stelpunt in die hipotalamus nog verder afneem (Guyton, 1981). Wanneer 'n persoon dus aan droëhitte geakklimatiseer is vind daar 'n verlaging in die rustende liggaamstemperatuur plaas; daar vind ook 'n toename plaas in die sweet effektiwiteit eerder as die hoeveelheid sweet wat geproduseer word (Sen Gupta et al., 1984). In 'n ondersoek wat Gonzalez et al. (1974) uitgevoer het, is gevind dat die aanvang van sweet van 10 minute na drie gedaal het nadat die persone geakklimatiseer is, wat daarop dui dat die sensitiwiteit van die sweetklier verhoog. Die voordeel wat 'n geakklimatiseerde persoon bo 'n nie-geakklimatiseerde persoon het, neem egter af wanneer totale verdamping van sweet wat geproduseer word, nie kan plaasvind nie (Givoni & Goldman, 1973). Die verskynsel sal voorkom in omstandighede waar daar vir lang periodes in hitte gewerk moet word en die vlak van maksimale hitteverlies bereik word. Aangesien die liggaam slegs teen 'n beperkte tempo hitte kan verloor, sal 'n storing van hitte in die liggaam plaasvind. Dit is dus van die uiterste belang dat die verdamping van sweet nie belemmer moet word nie.

#### 2.4 HITTESTRES INDEKSE

Dit is nie altyd moontlik om fisiologiese data gedurende 'n werksdag te meet nie, en 'n behoefte het ontstaan om deur die gebruik van 'n hittestresindeks, die mate van stres wat op 'n persoon tydens werk in hittetoestande geplaas word, te bepaal. Hittestresindekse maak hoofsaaklik van veranderlikes, soos droëbol-, natbol-, stralingstemperatuur, lugbeweging, kleredrag en kalorieverbruik, gebruik om die mate van stres te skat. Die belangrikste kriterium waaraan 'n hittestresindeks moet voldoen, is dat dit 'n akkurate skatting van stres in hittetoestande moet weergee waaraan die persoon

blootgestel word. Die meeste indekse beantwoord nie aan die vereiste nie, of korreleer goed slegs met een of twee fisiologiese parameters. So byvoorbeeld sal rasionele indekse soos die Belding en Hatch hittestresindevks, persentasie Vel-natheid indeks en operatiewe indeks goed korreleer met werkharttempo in hitte- en sweetverlies. Empiriese indekse soos die effektiwe temperatuur, WBGT en WGT, korreleer weer beter met gemiddelde veltemperatuur (Pulket et al., 1980).

Volgens NIOSH (1986) moet so 'n hittestresindevks aan die volgende vereistes voldoen.

1. Die akkuraatheid van die indeks moet vasgestel word.
2. Alle faktore wat hitteverlies beïnvloed moet in ag geneem word.
3. Metings en berekenings moet eenvoudig wees.
4. Metings moet werklike blootstelling van die werker verteenwoordig, sonder om die werker in sy werksituasie te beïnvloed.
5. Moet betroubare waardes oor 'n wye reeks omgewing- en metaboliese toestande kan gee.

Hittestresindevkse wat tans die meeste in gebruik is, is die Gekorrigeerde Effektiwe Temperatuur, WBGT en  $P_4SR$  (Predicted four hour sweat rate).

Die Gekorrigeerde Effektiwe Temperatuur (GET) is 'n indeks wat die gemak van 'n persoon in 'n omgewing beter weerspieël. Die indeks bestaan uit 'n gekombineerde waarde van stralings-temperatuur, natbol-temperatuur en windsnelheid. 'n Beswaar wat teen die indeks geopper word, is dat die effekte van hoë vogtigheid oorskat word en dié van lugbeweging onderskat word. Dit lei daartoe dat hittestres oorskat word in 'n droë omgewing met redelike lugbeweging.

Die "Wet Bulb Globe Temperature" (WBGT) is die indeks wat tans die meeste gebruik word. Die indeks gee 'n enkele waarde wat verkry word van 'n natuurlike natbollesing, droëbollesing en

swartbollesing. Die formule vir die berekening van die WBGT vir binnenshuisse en buitenshuisse toepassings is soos volg:

Vir binnenshuisse toepassing:

$$WBGT = 0,7 t_{nwb} + 0,3 t_g$$

en vir buitenshuisse toepassing:

$$WBGT = 0,7 t_{nwb} + 0,2 t_g + 0,1 t_a$$

waar  $t_{nwb}$  = natuurlike natboltemperatuur

$t_g$  = swartboltemperatuur

$t_a$  = droëboltemperatuur.

Die indeks kan oor 'n wye reeks temperature met groot sukses gebruik word, maar kan egter nie gebruik word indien ondeurdringbare klere gedra word nie aangesien verdampingsverkoeling beperk word (NIOSH, 1986). Dit wil dus voorkom of die indeks nie gebruik kan word by hoë relatiewe vogtighede nie, aangesien verdampingsverkoeling dan beperk word.

Die  $P_4SR$  is die enigste hittestresindeks wat voorsiening maak vir die hoeveelheid energie wat gebruik word om 'n taak te verrig (McArdle, 1947). Die indeks kombineer die effekte van droë- en natboltemperatuur, stralingstemperatuur, vogtigheid, lugbeweging, kleding en arbeidsintensiteit. Indien al die veranderlikes bekend is, kan die geskatte vieruur-sweettempo van 'n nomogram afgelees word. Dit is belangrik om daarop te let dat indien 'n persoon langer as vier ure werk, ekstrapolasie met groot versigtigheid gedoen moet word, aangesien die sweettempo met langdurige blootstelling aan hitte afneem. Die indeks gee verder 'n gemiddelde waarde vir 'n populasie en nie vir 'n individu nie. Die indeks voldoen verder ook nie aan die vereistes van NIOSH (1986) vir 'n hittestresindeks nie, omdat die berekening van die  $P_4SR$  baie ingewikkeld is en sal heelwat mannekrag vereis. Die instrumentasie wat gebruik word vir die bepaling is ook te duur om deur industrieë aangekoop te word.

### HOOFSTUK 3

#### METODE

Die bepaling is in die mobiele klimaatlaboratorium van die Divisie vir Boutegnologie van WNNR uitgevoer. Die mobiele klimaatlaboratorium bestaan uit twee karavane, elk agt meter lank, drie meter breed en drie meter hoog. Die klimaatkamer-eenheid waar die eksperimente uitgevoer word, is geskei van die lugversorgingseenheid en beheerkamer met die instrumentasie en dataversamelingstelsel.

Die twee eenhede is met geïsoleerde lugkanale verbind. Die lugtoevoer na en van die klimaatkamers geskied via die lugkanale. Die lug wat vanaf die lugversorgingseenheid na die klimaatkamer vloei word deur middel van 'n geperforeerde dak in die klimaatkamer versprei. Die druk in die klimaatkamer word positief gehou en alle lug wat deur die deur van die klimaatkamer lek hou die temperatuur van die lugprop en toilet dieselfde as dié van die klimaatkamer. Die lug wat na die lugversorgingseenheid teruggevoer word, word in die holwande van die mure van die klimaatkamer opgetrek, terug na die lugversorgingseenheid. Termiese radiasie word tot 'n minimum beperk aangesien die dak en mure van die klimaatkamer ongeveer by dieselfde temperatuur as lugtemperatuur is.

Die temperatuur in die klimaatkamer varieer met  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  om die gestelde punt. Die klimaatkamer kan 'n minimum temperatuur van  $6\text{ }^{\circ}\text{C}$  en maksimum van  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  bereik; temperature varieer met tot  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  by verskillende plekke in die laboratorium. Humiditeitsvlakke van 20 tot 70 % kan vir droëbol-temperature van  $15$  tot  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$  gemeet word. Die windsnelheid in die klimaatkamer is laer as  $0,5\text{ ms}^{-1}$  en stralingstemperatuur is binne  $3\text{ }^{\circ}\text{C}$  van die lugtemperatuur.

Die eksperimentele metode wat tydens blootstelling gebruik word is die staptoets. Alhoewel daar besware teen die gebruik van die staptoets as eksperimentele metode bestaan, kan die toets met sukses gebruik word vir veldondersoeke en ook wanneer groot hoeveelhede proefpersone gebruik word (Astrand, 1977). Die staptoets word op verstelbare metaal stapblokke uitgevoer. Die stapblokke kan tussen 20 cm en 40 cm hoogtes verstel word. Die trapoppervlak van die stapblokke is ook grof sodat die proefpersone nie tydens die eksperiment kan gly en hulleself beseer nie.

### 3.1 PROEFPERSONE EN DIE BEPALING VAN WERKLAS

Gesonde jong mans ( $n = 16$ ) is as proefpersone in hierdie studie gebruik. Almal is medies fiks verklaar na 'n kardiovaskulêre mediese ondersoek. Die fisiese eienskappe van die proefpersone is soos volg:

	Lengte (cm)	Gewig (kg)	Liggaamsoppervlak (m <sup>2</sup> )	Ouderdom
S <sub>1</sub>	172,7	62,765	1,74	23
S <sub>2</sub>	170,8	67,830	1,79	33
S <sub>3</sub>	169,7	63,210	1,73	33
S <sub>4</sub>	171,7	65,130	1,65	19
S <sub>5</sub>	180,2	68,415	1,87	19
S <sub>6</sub>	165,8	64,590	1,71	27
S <sub>7</sub>	174,9	65,900	1,80	19
S <sub>8</sub>	170,9	62,515	1,64	26
S <sub>9</sub>	178,0	60,255	1,75	28
S <sub>10</sub>	171,8	67,125	1,79	26
S <sub>11</sub>	171,2	69,845	1,82	36
S <sub>12</sub>	170,5	65,625	1,76	23
S <sub>13</sub>	163,9	66,695	1,72	24
S <sub>14</sub>	166,8	58,035	1,65	22
S <sub>15</sub>	167,8	56,445	1,63	25
S <sub>16</sub>	158,0	54,290	1,54	27
Gemiddeld	170,3(+5,3)	62,417(+5,571)	1,72(+0,08)	25,6(+5,1)

'n Khaki langbroek met 'n langmouhemp en drafskoene is gedra.

Vir die bepaling van 'n werkklas van 450 W het proefpersone teen hoogtes van 20, 25, 30 en 35 cm teen 'n tempo van 18 per minuut, op en af gestap. Werkklas bepaling op elke staphoogte het 9 minute geduur. Harttempo moet 'n plato bereik wat 'n aanduiding is dat harttempo by elke submaksimale werkklas aangepas het (Astrand, 1977). Tussen die 7e en die 9e minuut is 'n monster van die persoon se uitgeasemde lug met 'n gebalanseerde Tissot spirometer geneem. Die persentasie suurstof en koolstofdiksied in uitgeasemde lug is dan met behulp van 'n Ametek Suurstof ( $O_2$ ) en koolstofdiksied ( $CO_2$ )-analiseerder bepaal. Werkklas (Watts) is soos volg uit persentasie suurstof en koolstofdiksied in uitgeasemde lug, en ventilasietempo, wat gekorrigeer is vir standaardtemperatuur en druk (STPD), bereken:

$$\text{Totale } O_2\text{-opname (}\ell/\text{min)} = (V_E(1,265 \cdot \Delta F_{O_2} - 0,265 - F_{CO_2}))/100$$

waar  $V_E$  = ventilasietempo ( $\ell/\text{min}$ )

$\Delta F_{O_2}$  = verskil tussen %  $O_2$  in ingeasemde lug en uitgeasemde lug

$F_{CO_2}$  = %  $CO_2$  in uitgeasemde lug.

Vir 'n gemiddelde Respiratoriese koëffisiënt (RK) = 0,82 word 4,83 kilocalorie (kcal) energie verbruik vir elke liter  $O_2$  (Schmidt & Thews, 1983). Volgens Astrand (1977) sal een kcal/min 69,767 watts energie gee.

$$\begin{aligned} \text{Totale Werkklas (Watts)} &= \text{Totale } O_2\text{-opname (}\ell/\text{min)} \times \\ &\quad \cdot (4,83 \times 69,767) \\ &= \text{Totale } O_2\text{-opname (}\ell/\text{min)} \times 336,975 \end{aligned}$$

Na die bepaling van die werkklas by al vier verskillende staphoogtes is daar 'n grafiek van werkklas (watt) teenoor staphoogte getrek (Fig. 1). Aangesien daar 'n reglynige verband tussen staphoogte en werkklas (watts) bestaan, kan die verlangde werkklas (450 W) van die grafiek afgelees word. Figuur 1 dui die verband wat tussen gemiddelde werkklas (W) en staphoogte bestaan aan. Die proefpersoon se werkklas word dan weer teen die geskatte staphoogte bepaal en gekorrigeer tot 'n werkklas van binne 10 W van 450 W verkry word.

### 3.2 EKSPERIMENTELE METODE

Vier proefpersone is vir 'n tydsduur van 5 ure elke dag geëvalueer. Om akklimatisasie tot 'n minimum te beperk is proefpersone nie twee agtereenvolgende dae blootgestel nie. Geen blootstellings het op Maandae plaasgevind nie, as gevolg van sosiale faktore wat moontlik 'n rol kan speel (Kok, 1982). Die proefpersone se naakte liggaamsmassa is elke dag voor blootstelling met behulp van 'n skaal bepaal, waarna hulle vir die blootstellingsfase voorberei is.

Die voorbereiding van die proefpersone het die volgende behels:

Koperkonstantyn termokoppels is met behulp van Dermisel-hegpleister (Johnson & Johnson) op vier verskillende posisies op die liggaam aangebring. Termokoppels is op die linkerbors, die middelvinger, die dy en die voetbrug aangebring. Rektale temperatuur is op 'n diepte van 8 cm verby die anale sfinkter gemeet. Harttempo is met behulp van vier elektrodes op die bors bepaal. Wanneer die proefpersone volledig vir die blootstellingsfase voorberei en die klimaatkamer se temperatuur binne  $\pm 0,5$  °C WBGT van die daaglikse blootstellingstemperatuur was, is die proefpersone toegelaat tot die klimaatkamer.

Die omgewingsblootstellingstemperature wat by twee relatiewe vogtigheidsvlakke van 30 en 70 % vir blootstelling gebruik is, was 24, 28, 30 en 32 °C WBGT. Vir elke reeks omgewings-temperature van 24 ° tot 32 °C WBGT is daar 'n herhaling by 30 en 70 % relatiewe vogtigheid onderskeidelik uitgevoer om die herhaalbaarheid te toets en om te bepaal of daar nie akklimatisasie by die proefpersone plaasgevind het nie.

Wanneer die proefpersone die klimaatkamer ingegaan het, is hulle met die dataversamelingstelsel gekoppel. Die stelsel wat die fisiologiese parameters van al vier persone elke vyf minute bepaal, bestaan uit 'n Hewlett Packard "Scanner", Oli-

vetti M24-rekenaar met 'n matriksdrukker en 'n Heillige Ek41 "Cardiotest" elektrokardiograafmonitor.

Voor die proefpersone met die blootstellingsfase van vyf ure begin, word 'n rustende waarde van hulle fisiologiese parameters geneem, asook 'n mondtemperatuur wat vir drie minute onder die tong geneem word. Nadat al die bogenoemde parameters bepaal is, het die proefpersone met die blootstellings begin, met 'n werk-rus siklus van 45 minute werk en 15 minute rus.

Tydens die werkperiode is die proefpersone toegelaat om na 'n radio te luister en hulle kon ook met mekaar gesels. Daar kon egter nie tydens die werkperiode gerook word nie. Direk na die staking van werk, tydens die rusperiode, is mondtemperatuur bepaal. Hierna kon die proefpersone vrylik water wat teen kamertemperatuur gehou word inneem. Die hoeveelheid water ingeneem en geurineer is genoteer.

Kriteria waarvolgens 'n blootstellingsfase beëindig is, was 'n rektale temperatuur van 39 °C (Skoldström, 1987) en harttempo van 180 slae/min. (Kaufman, 1988). Wanneer dié kriteriavlakke bereik is, is die proefpersoon onmiddellik van die klimaatkamer verwyder, en toegelaat om sy klere uit te trek en af te koel.

Aan die einde van elke blootstellingssessie is die proefpersone se naakte liggaamsmassas weer bepaal. Die verskil in naakte liggaamsmassa voor en na die blootstelling, wat gekorrigeer is vir die hoeveelheid water ingeneem en geurineer, word dan gebruik om die sweettempo te bepaal (Sen Gupta et al., 1984).

### 3.3 STATISTIESE ANALISE

Statistiese analise is gedoen deur van die "Student t-test" gebruik te maak. Verskille is as betekenisvol beskou op 'n 95 % betekenisvolle vlak ( $p < 0,05$ ).

## HOOFSTUK 4

### RESULTATE

#### 4.1 REKTALE TEMPERATUUR

Figure 2 en 3 toon die verwantskap tussen rektale temperatuur en tyd (min.) by 24, 28, 30 en 32 °C WBGT. Figuur 2 toon die verwantskap by 'n relatiewe vogtigheid van 30 % en figuur 3 dié by 'n relatiewe vogtigheid van 70 %.

Die data verteenwoordig rektale temperatuur net voor 'n 15-minute rusperiode, en is die punte waar die hoogste rektale temperature in die meeste gevalle verkry is. Aangesien die proefpersone teen 'n konstante werkklading en omgewingstemperatuur gewerk het, het rektale temperatuur 'n plato bereik na ongeveer 105 minute. In gevalle waar rektale temperatuur drasties gedaal het tydens die platofase, is dit toe te skryf aan die onttrekking van die proefpersone as gevolg van rektale temperature van 39 °C of harttempo's van 180 slae/min. Die gemiddelde waardes van proefpersone wat nie laasgenoemde rektale temperatuur en harttempo's bereik het nie, sal dus laer neig.

Daar is nie 'n plato by 30 en 32 °C WBGT, 70 % relatiewe vogtigheid, bereik nie (Fig. 3). Die grafiek toon 'n geleidelike toename in rektale temperatuur wat 'n aanduiding is dat die liggaam nie termiese balans kan handhaaf nie en hittestoring het dus in die liggaam plaasgevind.

Daar is 'n betekenisvolle toename in rektale temperatuur ( $p < 0,001$ ) by beide vogtigheidsvlakke as rus ( $t_0$ ) en einde van tweede werksiklus ( $t_{105}$ ) by temperature van 24 tot 32 °C met mekaar vergelyk word.

Daar is 'n betekenisvolle toename in mondtemperatuur by alle omgewingstemperature tussen 24 en 32 °C WBGT verkry waar die relatiewe vogtigheidsvlak van 30 na 70 % verhoog is. By 24 °C WBGT is 'n betekenisvolle toename ( $p < 0,02$ ) verkry. By 28 °C WBGT is 'n meer betekenisvolle toename ( $p < 0,01$ ) met verhoging in relatiewe vogtigheid verkry. Drastiese betekenisvolle toename ( $p < 0,001$ ) het by 30 en 32 °C WBGT voorgekom met 'n verhoging in relatiewe vogtigheid.

#### 4.3 HARTTEMPO

Figure 8 en 9 toon die verwantskap tussen harttempo en tyd (min.) by 24, 28, 30 en 32 °C WBGT onderskeidelik by 30 en 70 % relatiewe vogtigheid aan.

Die data verteenwoordig die harttempo net voor elke rusperiode van 15-minute. By 30 en 70 % relatiewe vogtigheid word daar nie 'n plato bereik nie. Daar vind 'n geleidelike toename in harttempo plaas. By 28 °C WBGT, 30 % relatiewe vogtigheid, is daar nie 'n geleidelike toename in harttempo nie, en is as gevolg van persone met 'n hoë rektale temperatuur van 39 °C of 'n harttempo van 180 slae/min wat onttrek is.

'n Betekenisvolle toename op 'n 5 % peil is verkry tussen  $t_0$  en  $t_{105}$  vir beide vogtigheidsvlakke vir temperature 24, 28, 30 en 32 °C WBGT.

Figure 10a-d toon die verwantskap tussen harttempo en tyd by relatiewe vogtigheidsvlakke van 30 en 70 %, by 24, 28, 30 en 32 °C WBGT, aan. 'n Betekenisvolle toename ( $p < 0,001$ ) in harttempo is by 24, 28 en 30 °C WBGT verkry. By 32 °C WBGT was die toename in harttempo minder betekenisvol ( $p < 0,005$ ).

#### 4.4 SWEETTEMPO

Figuur 11 toon die verwantskap tussen sweettempo ( $l/h$ ) en temperature 24, 28, 30 en 32 °C WBGT. Die effek van verhoogde vogtigheid word ook by elke temperatuur aangedui.

'n Betekenisvolle toename ( $p < 0,001$ ) in sweettempo is verkry indien omgewingstemperature 28, 30 en 32 °C WBGT met 24 °C WBGT vergelyk word by 30 % relatiewe vogtigheid. Die betekenisvolle toename ( $p < 0,01$ ) by 70 % as 28 met 24 °C WBGT vergelyk word was kleiner. Indien 30 en 32 °C WBGT met 24 °C WBGT onderskeidelik vergelyk word is die toename meer betekenisvol ( $p < 0,001$ ).

By 'n verhoging in die relatiewe vogtigheid van 30 % na 70 % is geen betekenisvolle toename in sweettempo by 28 en 30 °C WBGT verkry nie. By 24 en 32 °C WBGT is betekenisvolle toenames van ( $p < 0,02$ ) en ( $p < 0,01$ ) onderskeidelik verkry.

#### 4.5 GEMIDDELDE VELTEMPERATUUR

Figure 12 en 13 toon die verwantskap tussen gemiddelde veltemperatuur en omgewingstemperatuur, by 30 en 70 % relatiewe vogtigheid onderskeidelik.

By 30 en 70 % relatiewe vogtigheid het daar 'n geleidelike toename in gemiddelde veltemperatuur plaasgevind met 'n toename in omgewingstemperatuur van 24 tot 32 °C WBGT. By 32 °C WBGT, 70 % relatiewe vogtigheid, het daar egter nie 'n toename in gemiddelde veltemperatuur plaasgevind nie. Die afname in gemiddelde veltemperatuur kan daaraan toegeskryf word dat die data slegs een persoon verteenwoordig en dat dié persoon heel moontlik 'n lae gemiddelde veltemperatuur gehad het.

Die pieke kom tydens rusperiodes voor, wanneer die persone stil sit en geen werk verrig nie, en kan moontlik toegeskryf

word aan verminderde verdamping as gevolg van 'n afname van pompaksie in die klere.

#### 4.6 TOLERANSIETYD

Figuur 14 toon die gemiddelde toleransietyd van die proefpersone by omgewingstemperature van 24, 28, 30 en 32 °C WBGT, 30 en 70 % relatiewe vogtigheid.

Daar is geen betekenisvolle afname in toleransietyd wanneer 28 en 30 °C WBGT onderskeidelik met 24 °C WBGT, by 30 % relatiewe vogtigheid vergelyk word. Daar is wel 'n betekenisvolle afname ( $p < 0,02$ ) as 24 en 32 °C WBGT, by 30 % relatiewe vogtigheid, met mekaar vergelyk word.

By 70 % relatiewe vogtigheid is daar geen betekenisvolle afname as 24 en 28 °C WBGT vergelyk word. Daar bestaan wel 'n betekenisvolle afname in toleransietyd ( $p < 0,001$ ) as 30 en 32 °C WBGT onderskeidelik met 24 °C WBGT vergelyk word.

By verhoogde voggehalte is daar geen betekenisvolle afname by 24 en 28 °C WBGT nie. Daar het wel 'n betekenisvolle afname ( $p < 0,001$ ) in toleransietyd plaasgevind by 30 °C WBGT, as 30 en 70 % relatiewe vogtigheid met mekaar vergelyk word. Die afname by 32 °C WBGT was nog meer betekenisvol ( $p < 0,001$ ) as 30 en 70 % relatiewe vogtigheid met mekaar vergelyk word.

Figuur 15 toon die persentasie persone wat 300 minute voltooi het by omgewingstemperature van 24, 28, 30 en 32 °C WBGT, en 30 en 70 % relatiewe vogtigheid, onderskeidelik. Daar is geen statistiese analise gedoen om betekenisvolle verskille aan te dui nie.

## HOOFSTUK 5

### BESPREKING

#### 5.1 LIGGAAMSTEMPERATUUR

Die Wêreldgesondheidsorganisasie se wetenskaplike groep betrokke met gesondheidsfaktore beveel aan dat die kerntemperatuur gedurende daaglikse werk nie hoër as 38 °C (rektaal) of 37,5 °C (mond) mag styg nie (NIOSH, 1986). Rektale temperatuur word egter as 'n beter indeks vir hittestres deur verskeie outeurs aanbeveel (Astrand & Rodahl, 1977; Guyton, 1981; Saltin & Hermansen, 1966; Mairiaux et al., 1983). Aangesien die bepaling van rektale temperatuur weens etiese redes nie altyd in die industrie moontlik is nie, is dit belangrik om die akkuraatheid waarmee mondtemperatuur kerntemperatuur weergee, te bepaal.

##### 5.1.1 Rektale temperatuur

Figure 2 en 3 toon 'n betekenisvolle toename ( $p < 0,05$ ) in rektale temperatuur tydens die eerste uur van die blootstellingssessies.

Givoni & Goldman (1972) het gevind dat rektale temperatuur met verhoogde metaboliese tempo toeneem. In dié ondersoek is die metaboliese tempo van die persone egter konstant gehou by alle temperature. Uit figure 2 en 3 kom dit duidelik na vore dat daar wel 'n verhoging in rektale temperatuur plaasgevind het toe die omgewingstemperatuur van 24 na 32 °C WBGT verhoog is. Dit wil egter voorkom of daar 'n kritiese punt bestaan, waar rektale temperatuur afhanklik van lugtemperatuur is. Volgens Lind (1963) is die kritiese punt die punt waar rektale temperatuur aaneenlopend styg en gevaarlike vlakke kan

bereik. By 30 °C WBGT, 70 % relatiewe vogtigheid, is so 'n kritiese temperatuur bereik aangesien rektale temperatuur 'n stygende tendens tussen 165 en 285 minute toon.

By 'n relatiewe vogtigheidsvlak van 30 % is die toename in rektale temperatuur nie so drasties nie, en 'n plato is na ongeveer 1 uur bereik, wat in ooreenstemming met Kamon & Belding (1971) en Duncan et al. (1979), se resultate is. By 'n dampdruk hoër as 32 mmHg en by hoë omgewingstemperature neem rektale temperatuur tydens werk langer as een uur om 'n plato te bereik (Kamon & Belding, 1971) en kan selfs geleidelik styg (Givoni & Goldman, 1972). In die huidige ondersoek het dit langer geneem om 'n plato te bereik by 'n dampdruk hoër as 24 mmHg, en omgewingstemperature van 30 en 32 °C WBGT.

By 24 en 28 °C WBGT het die rektale temperatuur 'n plato gehandhaaf, maar by 30 °C WBGT het daar na 165 minute weer 'n toename in rektale temperatuur plaasgevind. Die geleidelike toename in rektale temperatuur is die gevolg van 'n beperking op die verdamping van sweet, aangesien die verdampingstempo die verdampingskapasiteit bereik het (Givoni & Goldman, 1972). Die styging in rektale temperatuur sal voortduur, en die maksimum toelaatbare rektale temperatuur sal sodoende gouer bereik word (Sen Gupta et al., 1984).

Aangesien die rektale temperatuur 'n plato bereik het, of daar slegs 'n geringe toename in rektale temperatuur plaasgevind het, kon goeie tydpatrone gevind word, veral onder hoë temperature (Strydom et al., 1965). Tabel 1 dui die korrelasie koëffisiënte ( $r$ ), afsnyppunte op die y-as ( $a$ ) en helling ( $b$ ) van die regressie vergelykings aan wat verkry is. 'n Lae korrelasie is verkry ten opsigte van tyd omdat daar 'n afplating in rektale temperatuur was. Die lae korrelasies het net by lae omgewingstemperature voorgekom. By 32 °C WBGT 30 % relatiewe vogtigheid, en 30 °C WBGT 70 % relatiewe vogtigheid, waar 'n geleidelike styging in rektale temperatuur

plaasgevind het, is daar goeie korrelasies (onderskeidelik 0,7 en 0,76) tussen rektale temperatuur en tyd verkry. Die helling van die regressie vergelykings het met toenemende omgewingstemperatuur by 30 % en 70 % relatiewe vogtigheid gestyg. Die helling van omgewingstemperatuur 24, 28 en 30 °C WBGT by 30 % relatiewe vogtigheid het nie baie toegeneem met verhoogde omgewingstemperatuur nie, wat 'n aanduiding is dat die temperatuur nie noemenswaardige verhoogde stres veroorsaak het nie.

Die helling het egter van 0,0011 na 0,0023 toegeneem met die verhoging van omgewingstemperatuur van 30 na 32 °C WBGT, by 30 % relatiewe vogtigheid. By 70 % relatiewe vogtigheid is daar 'n konstante toename in die helling waargeneem, wat daarop dui dat 'n toename in omgewingstemperatuur in hoë vogtigheidsareas verhoogde stres op die mens plaas tussen 24 en 32 °C WBGT. Die toename in die helling met verhoogde omgewingstemperatuur dui daarop dat rektale temperatuur selfs met verhogings van 2 °C WBGT as 'n aanduider van stres gebruik kan word.

'n Toename in rektale temperatuur is verkry indien 30 % en 70 % relatiewe vogtigheidsvlakke vergelyk word by omgewingstemperatuur van 24, 28, 30 en 32 °C WBGT. By 30 en 32 °C WBGT is betekenisvolle toenames verkry ( $p < 0,05$  en  $p < 0,001$  onderskeidelik). 'n Toename van 0,2 °C en 0,7 °C is by 30 en 32 °C WBGT onderskeidelik verkry, met 'n verhoging in die relatiewe vogtigheidsvlak van 30 % na 70 %. Die toename in rektale temperatuur word toegeskryf aan die toename in dampdruk op die veloppervlak wat verdamping van sweet onderdruk, en wat waargeneem word as druppels wat van die proefpersone afloop. Aangesien die vel nie verder effektief deur verdampingsverkoeling afgekoel word nie, verklein die gradiënt tussen die kern van die liggaam en die vel, wat tot gevolg het dat hitte-opbouing in die liggaam plaasvind (Sen Gupta et al., 1984), wat in die toename van die rektale temperatuur waargeneem kan word.

### 5.1.2 Mondtemperatuur

Aangesien mondtemperatuur by proefpersone sosiaal 'n meer aanvaarbare bepaling van kerntemperatuur is as rektale temperatuur, is dit noodsaaklik om die geldigheid van die mondtemperatuurmeting teenoor die rektale temperatuur te toets.

Die verloop van mondtemperatuur by 24, 28, 30 en 32 °C WBGT, en relatiewe vogtighede van 30 % en 70 %, (fig. 5 en 6) is soortgelyk aan dié van rektale temperatuur (fig. 2 en 3). Die toename in mondtemperatuur na aanvang van blootstelling tot 'n plato bereik word is egter kleiner as in die geval van rektale temperatuur. Volgens Strydom et al. (1956) kan die kleiner toename in mondtemperatuur verklaar word na aanleiding van die feit dat meer bloed na areas verplaas word waar afkoeling moet plaasvind met 'n gepaardgaande verlaagde bloedvloei na die mondarea. Dieselfde verklaring kan deels aangevoer word as daar gekyk word na die verskil tussen 'n lae en hoë voggehalte by 'n spesifieke omgewingstemperatuur, aangesien méér stres op die termoreguleringsstelsel geplaas word by hoër relatiewe vogtighede. Die verskil tussen lae en hoë vogtigheid by mondtemperatuur is baie groter by mond- as by rektale temperatuur. Nog 'n faktor wat egter in gedagte gehou moet word is verhoogde omgewingstemperatuur, aangesien mondtemperatuur meer as rektale temperatuur deur omgewingstemperatuur beïnvloed word (Renbourn & Bonsall, 1958).

Verskeie outeurs wat die verband tussen rektale en mondtemperatuur nagegaan het, het gevind dat mondtemperatuur 0,6 °C laer as rektale temperatuur is (Strydom et al., 1956). In die huidige ondersoek is daar egter nie 'n konstante verskil tussen rektale en mondtemperatuur verkry nie. Tabel 2 toon die verskille wat tussen rektale en mondtemperatuur verkry is. Die verskil van 0,8 tot 1,0 °C tussen rektale en mondtemperatuur is in ooreenstemming met Strydom et al. (1965) se resultate tydens 'n hoë werkstempo.

Die afname in die verskil tussen rektale en mondtemperatuur kan moontlik aan omgewingstoestande toegeskryf word (Renbourn & Bonsal, 1958). Aangesien droëbol- en swartboltemperatuur laer by hoër vogtigheidsvlakke by 'n spesifieke WBGT is, bestaan die moontlikheid dat 'n toename in dampdruk of natboltemperatuur 'n groot invloed op die verskil tussen rektale en mondtemperatuur het. Die afname in verskil tussen rektale en mondtemperatuur kan ook as gevolg van akklimatisasie wees (Strydom et al., 1956).

'n Korrelasie tussen rektale en mondtemperatuur kan egter nie bereken word nie aangesien daar nie 'n voortdurende bepaling van mondtemperatuur gedoen is nie. Dit het tot gevolg dat daar nie 'n eweredige verspreiding van punte is nie, en sodoende sal 'n korrelasie tussen rektale en mondtemperatuur nie 'n ware beeld weergee nie.

Mondtemperatuurlesings sal dus nie as alternatief gebruik kan word vir bepaling van kerntemperatuur nie, aangesien die verskil tussen rektale en mondtemperatuurlesings nie konstant is nie. Strydom et al. (1956) het ook gevind dat dit vir 3 % van die bevolking 'n risiko sal wees om van rektale na mondtemperatuurlesings oor te gaan vir vasgestelde omgewingstoestande, omdat individuele variasies groot is.

### 5.1.3 Gemiddelde veltemperatuur

Gemiddelde veltemperatuur volg nie dieselfde tendens as dié van mond- en rektale temperatuur nie. Die tendens van gemiddelde veltemperatuur verskil ook by lae en hoë voggehalte soos in figure 12 en 13 gesien word. By lae vogtigheid, (30 % relatiewe vogtigheid) en by omgewingstemperature van 24 en 28 °C WBGT het 'n afname in gemiddelde veltemperatuur meer as vyf minute na aanvang van die sessie begin. By 70 % relatiewe vogtigheid en 24 en 28 °C WBGT was daar 'n toename tot en met 15 minute, waarna die veltemperatuur 'n afname getoon het vir die eerste uur. Vir omgewingstemperature van

30 en 32 °C WBGT by 30 % en 70 % relatiewe vogtigheid het daar 'n voortdurende toename in gemiddelde veltemperatuur plaasgevind vir die eerste uur.

By 24 en 28 °C WBGT by 30 % en 70 % relatiewe vogtigheid wil dit blyk of die verdamping van sweet genoeg hitteverlies tot gevolg het om hittebalans te handhaaf (Lind, 1963), omdat daar 'n afname in gemiddelde veltemperatuur plaasgevind het. By 30 en 32 °C WBGT by 30 % en 70 % relatiewe vogtigheid is 'n toename in gemiddelde veltemperatuur verkry.

'n Moontlike verklaring vir die toename in gemiddelde veltemperatuur kan die gevolg wees van sweet wat van die liggaam afdrup en sodoende die effektiwiteit van die afkoelingsmeganisme van die mens, naamlik sweetverdamping, verlaag (Alber-Wallerström & Holmér, 1985).

Volgens Vogt et al. (1983a) speel geforseerde lugbeweging 'n groot rol in die isolasievermoë van kleredrag, aangesien 'n geforseerde lugbeweging van tot 70 l/min. gedurende beweging kan plaasvind in die mikroklimaat onder die klere. Die tempo van hitteverlies word aansienlik verhoog met geforseerde lugbeweging omdat turbulente lugbeweging teen die vel plaasvind en konveksie maksimaal kan plaasvind. Die rol wat geforseerde lugbeweging speel kom duidelik in die resultate na vore as die gemiddelde veltemperatuur van die rusperiodes met dié van die werkperiodes vergelyk word. Die gemiddelde verskil tussen die waardes net voor rusperiodes en tydens rus is 0,65 en 0,55 °C by 30 en 70 % relatiewe vogtigheid onderskeidelik. Dit blyk dus of 'n verhoging in voggehalte nie 'n noemenswaardige invloed op die verskil in gemiddelde veltemperatuur tydens werk en rus het nie, as die klere wat gedra word dieselfde isolasievermoë het soos uitgedruk word in clo-waarde.

Die gemiddelde veltemperatuur het met toenemende omgewings-temperatuur van 24 tot 32 °C WBGT by 30 % en 70 % relatiewe

vogtigheid gestyg. Die toename in gemiddelde veltemperatuur is moontlik die gevolg van hitte-oordrag van die omgewing na die vel as gevolg van verhoogde omgewingstemperatuur (Nag et al., 1986). Die toename in gemiddelde veltemperatuur by 30 en 32 °C WBGT by beide vogtigheidsvlakke is baie kleiner as dit vergelyk word met 24 en 28 °C WBGT. Dit wil dus voorkom of gemiddelde veltemperatuur nie bo 'n omgewingstemperatuur van 30 °C WBGT verder toeneem nie indien die werktempo konstant gehou word.

Tabel 3 toon die verskil wat bestaan tussen rektale en gemiddelde veltemperatuur. By 30 % relatiewe vogtigheid vind die toename in rektale temperatuur geleidelik plaas en hitteverlies deur die vel kan stelselmatig toeneem, om sodoende 'n termiese balans te handhaaf, nieteenstaande die feit dat die verskil tussen die rektale en gemiddelde veltemperatuur afneem. Dit geld egter nie vir 'n omgewing wat 'n hoë temperatuur en voggehalte het nie. Die hitte wat in die liggaam geproduseer word by hoë temperatuur en vogtigheidstoestand is meer geneig om in die liggaam op te bou, omdat oormatige velbenatting die vogtigheidsvlak op die vel verhoog en effektiewe liggaamsafkoeling beperk (Gonzalez & Cena, 1985). Die rektale temperatuur styg dan baie vinniger as die veltemperatuur omdat oordraging van hitte van die kern na die veloppervlak net teen 'n sekere tempo kan plaasvind wat nie oorskry kan word nie (Guyton, 1981). Die gevolg is dan, soos uit die resultate blyk, 'n groter verskil tussen rektale en gemiddelde veltemperatuur wanneer die liggaam aan hoëhittestres blootgestel word.

Nag et al. (1986) het gevind dat daar 'n groot verspreiding in gemiddelde veltemperatuur by lae kerntemperature is, maar dat die gemiddelde veltemperatuur na 'n sekere temperatuur konvergeer by kerntemperature hoër as 38,2 °C. In die huidige ondersoek het daar egter geen konvergering tussen gemiddelde veltemperatuur en kerntemperatuur plaasgevind nie. Die rede waarom die resultate nie ooreenstem nie is moontlik

omdat die proefpersone in Nag et al. (1986) se ondersoek nie so hard gewerk het as dié in die huidige ondersoek nie.

## 5.2 HARTTEMPO

Volgens NIOSH (1986) kan herstel- en werkharttempo as 'n goeie aanduider van hittestres in sekere werkstoestande gebruik word. Die wêreldgesondheidsorganisasie se wetenskaplike groep wat gemoeid is met menslike faktore onder hittestreostoestande beveel 'n maksimum werkharttempo van 110 slae/min. aan. Kok (1970) het ook gevind dat indien harttempo laer as 110 slae/min. gehandhaaf word, 'n agt uur werkskof voltooi kan word sonder noemenswaardige uitputting. Aangesien herstelharttempo nie gedurende die ondersoek bepaal is nie, sal daar slegs aan werkharttempo in die bespreking aandag gegee word. Daar sal verder ook gekyk word na die verband tussen werkharttempo en rektale temperatuur aangesien beide deur 'n verhoging in metaboliese tempo en omgewingshittelading verhoog word (Givoni & Goldman, 1973a).

Die tendens wat harttempo tydens hitteblootstelling openbaar kan volgens Vogt et al. (1983) in twee dele opgedeel word, naamlik 'n vinnige styging in die eerste paar minute gevolg deur 'n baie stadiger toename. As na maksimale harttempo onder lae en hoë voggehalte toestande gekyk word, word die tendens duidelik waargeneem. Na 'n aanvanklike vinnige toename wat betekenisvol ( $p < 0,05$ ) is, het 'n geleidelike toename in harttempo plaasgevind. Die toename was egter nie betekenisvol gewees nie. Die aanhoudende styging in harttempo is 'n aanduiding van die tempo van hittestoring in die liggaam (Vogt et al., 1983).

Givoni & Goldman (1973a) het gevind dat harttempo langer neem om 'n ewewigsstand te bereik. Die plato wat sodoende bereik word, is ook hoër, wat 'n aanduiding van toenemende stres is. Waar die vogtigheidsvlak konstant gehou is en die omgewings-temperatuur vanaf 24 na 32 °C WBGT verhoog is, het die harttempo 'n toename in ewewigstemperatuur getoon.

Harttempo neem egter nie alleen toe met toenemende omgewings-temperature nie, maar dit neem ook vinniger toe onder vogtige, as onder droë toestande (Sen Gupta, 1987). As die omgewingstemperatuur konstant gehou word en relatiewe vogtigheid verhoog, is 'n verhoogde toename in harttempo verkry. Dit wil voorkom of die tempo van hittestoring in die liggaam ook toegeneem het met verhoogde voggehalte, aangesien die ewewigsvlak wat bereik is hoër was. Die verhoging in harttempo was by alle omgewingstemperature betekenisvol ( $p < 0,05$ ). By 28 °C WBGT was die verskil byna betekenisvol ( $p < 0,10$ ).

Dit wil dus voorkom of beide werkharttempo en rektale temperatuur beide goeie aanduiders van hitteopbouing in die liggaam is, en dat daar dus 'n verband tussen die twee fisiologiese metings moet bestaan. Kamon & Belding (1971) en Kuhlemeier & Miller (1978) het onderskeidelik korrelasies van 0,71 en 0,72 tussen harttempo en rektale temperatuur tydens werk verkry. Uit tabel 1 word korrelasies van 0,89 en 0,98 vir 30 en 70 % relatiewe vogtigheid onderskeidelik in die huidige ondersoek tussen werkharttempo en rektale temperatuur verkry, wat hoër is as Kamon & Kuhlemeier (op. cit.) se bevindings.

Rubin (1987) het ook gevind dat 'n verandering in kerntemperatuur goed met harttempo korreleer. In 'n ondersoek wat Kamon en Belding (1971) gedoen het is gevind dat oor 'n wye reeks werksladings en omgewingstemperature 'n rektale temperatuur van 38 °C 'n harttempo van 125 slae/min. sal gee. Indien die regressievergelykings wat in die huidige ondersoek verkry is gebruik word om 'n skatting van harttempo by 'n rektale temperatuur van 38 °C te maak, word gemiddelde harttempo's van 130 slae/min. en 145 slae/min. vir 30 % en 70 % relatiewe vogtigheid onderskeidelik by omgewingstemperature van 24 tot 32 °C WBGT verkry. Die laer geskatte waarde wat Kamon en Belding (1971) verkry het, is moontlik as gevolg van beter opgeleide proefpersone. Die toename in geskatte harttempo by 'n hoër relatiewe vogtigheid kan die gevolg wees van

die hoër voggehalte wat 'n groter termoreguleringslas op die mens plaas.

### 5.3 SWEETVERLIES

Aangesien sweetverlies bepaal is deur van die verandering in liggaamsmassa tydens blootstelling gebruik te maak, wat gekorrigeer is vir water ingeneem en geurineer, kan daar nie tydsverbande of korrelasies bereken word nie. Indien sweetverlies uitgedruk word in liter per uur of per 8-uur werksdag, kan betekenisvolle vergelykings gemaak word.

Volgens NIOSH (1986) kan sweetproduksie tydens hittestretoestand soveel as 6 tot 8 liter per werksdag wees, en die gewone dorsrefleks is nie voldoende om vir die hoeveelheid waterverlies te kompenseer nie. Indien die standaard van NIOSH vir 'n werksdag omgeskakel word na liter per uur, word 'n sweetverlies van 0,75 tot 1 liter per uur verkry.

Tabel 4 toon die sweetverlieswaardes in liter per uur aan wat in die huidige studie verkry is. Die laagste waarde wat verkry was, is  $0,470 \pm 0,071$  l/h vir 24 °C WBGT by 30 % relatiewe vogtigheid en die hoogste waarde was  $1,019 \pm 0,247$  l/h by 32 °C WBGT vir 70 % relatiewe vogtigheid. Die waardes stem dus goed ooreen met NIOSH (1986) se standaard.

Armstrong et al. (1987) het gevind dat sweettempo toeneem wanneer die sentrale behoefte aan sweet toeneem as gevolg van 'n verhoogde rektale temperatuur. Uit tabel 1 kom dit duidelik na vore dat rektale en gemiddelde veltemperatuur styg met verhoogde omgewingstemperatuur by 30 en 70 % relatiewe vogtigheid. Dit kan dus aanvaar word dat sweetverlies met toenemende omgewingstemperatuur toeneem. Daar was wel 'n betekenisvolle toename in sweetverlies ( $p < 0,05$ ) by alle eksperimentele omgewingstemperatuur. Daar bestaan ook 'n goeie korrelasie tussen omgewingstemperatuur in grade Celsius WBGT en sweetverlies. Vir 30 % en 70 % relatiewe vogtigheid is

korrelasies van 1,00 en 0,94 onderskeidelik verkry. Daar kan dus by beide vogtigheidsvlakke 'n goeie skatting van sweetverlies by 'n spesifieke omgewingstemperatuur gemaak word, wat as aanduiding van hittestres gebruik kan word. Die  $P_4SR$  is 'n voorbeeld van 'n indeks waar sweettempo reeds gebruik word as aanduider van hittestres oor 'n tydsinterval van vier ure.

Indien so 'n skatting van sweetverlies gemaak word is dit belangrik om te weet by watter voggehalte die persone gaan werk. Sen Gupta et al. (1984) het gevind dat 'n hoër sweetverlies by vogtige omgewings voorkom. Dié tendens is ook in die huidige ondersoek verkry as na die toename in die hellings van die regressievergelykings gekyk word by verhoogde voggehalte. Indien die tendens van sweetverlies nie in ag geneem word nie kan hipodrasie ontstaan, wat floute en dehidrasie tot gevolg kan hê. Dit ontstaan gewoonlik as 'n afname van 5 % in liggaamsgewig plaasvind (NIOSH, 1986). In die huidige studie is reeds by 'n afname van 1,5 % van liggaamsmassa hittestressimptome verkry by hoë rektale temperatuur (39 °C) en hoë harttempo's (180 slae/min.). Indien sweetverlies as gevolg van gewigsafname as hittestresindeks gebruik word, sal aanbeveel word dat metings van rektale, mondtemperatuur of harttempo ook gedoen word.

#### 5.4 REDES VIR BEËINDIGING VAN BLOOTSTELLING EN TOLERANSIETYD

Alhoewel die rede vir beëindiging van blootstelling en toleransietyd nie fisiologiese metings is nie, is daar wel gevind dat daar 'n verband bestaan tussen die rede vir beëindiging van blootstelling en 'n spesifieke temperatuur in WBGT bepaal (Iampietro & Goldman, 1965).

In die studie wat deur Iampietro & Goldman (1965) gedoen is, is gevind dat beëindiging van blootstelling by meeste proefpersone as gevolg van hoë harttempo (180 slae/min.) plaasgevind. Iampietro & Goldman (1965) voer aan dat die hittevloei

van die kern na die vel van die liggaam, gedurende uitermatige blootstelling, nie lank genoeg gehandhaaf word om 'n hoë rektaaltertemperatuur tot gevolg te hê nie. Tydens die huidige ondersoek is nie by dieselfde ekstreme temperature gewerk as wat die geval by Iampietro & Goldman (1965) se ondersoek was nie, maar 'n soortgelyke tendens is verkry by 70 % relatiewe vogtigheid (Tabel 7). Die eerste persoon se rede vir beëindiging van blootstelling by alle omgewingstemperature tussen 24 en 32 °C WBGT, was 'n hoë harttempo (180 slae/min.).

Alhoewel beëindiging van blootstelling van die eerste persoon oorwegend as gevolg van harttempo >180 slae/min. is, het die persentasie persone as gevolg van hoë rektale temperature toegeneem van 0 % tot 81 %. Die persentasie persone as gevolg van hoë harttempo's het egter ook toegeneem, maar die toename was kleiner (Tabel 6). Die toename in die persentasie persone as gevolg van rektale temperatuur hoër as 39 °C kan moontlik toegeskryf word aan die feit dat die persone se kardiovaskulêre sisteem die stres wat daarop geplaas was, kon verwerk, en dat 'n toename in rektale temperatuur gouer plaasgevind het.

By 30 % relatiewe vogtigheid was die rede vir beëindiging van blootstelling tussen 24 en 32 °C WBGT in alle gevalle rektale temperatuur. Dit beklemtoon weer eens die feit dat 'n hoër voggehalte 'n hoër mate van stres op die kardiovaskulêre sowel as die termoreguleringsstelsel plaas.

Sen Gupta (1987) het gevind dat daar 'n definitiewe afname in gemiddelde toleransietyd plaasvind met verhoogde voggehalte en vind nog meer plaas wanneer harder gewerk word. In die huidige ondersoek is daar ook 'n afname in toleransietyd met verhoogde voggehalte verkry. Die afname was betekenisvol ( $p < 0,05$ ) by 30 en 32 °C WBGT. Daar is ook gevind dat daar 'n afname in toleransietyd plaasvind wanneer die omgewingstemperatuur, gemeet in WBGT (°C), verhoog word. Die afname in

gemiddelde toleransietyd word toegeskryf aan die vinniger toename van harttempo en rektale temperatuur na 180 slae/min. en 39 °C wat sodoende die toleransietyd verkort het (Sen Gupta, 1987).

#### 5.5 GEVOLGTREKKING

Uit die ondersoek blyk dit dat die verband wat tussen fisiologiese reaksies en hittestres bestaan goed met tyd korreleer. Die korrelasies het in meeste gevalle verhoog met verhoogde omgewingsstres, wat 'n aanduiding is dat rektale temperatuur en harttempo as goeie voorspellers vir hittestres gebruik kan word.

Dit is verder belangrik om op die invloed van verhoogde relatiewe vogtigheid te let. Indien data wat by lae relatiewe vogtigheid verkry is gebruik word om 'n voorspelling te maak van fisiologiese reaksies by hoër relatiewe vogtigheid, sal dit daartoe aanleiding gee dat die mate van stres wat op die persoon geplaas word, onderskat sal word.

Die goeie korrelasie wat tussen rektale temperatuur en harttempo verkry is by spesifieke omgewingsstresvlakke, dui daarop dat die rektale temperatuur van 'n bevolking met redelike akkuraatheid bepaal kan word van werkende harttempo.

Daar is verder gevind dat werkende harttempo 'n goeie aanduiding van hittestres tydens werk is, aangesien 'n goeie korrelasie tussen rektale temperatuur en werkende harttempo verkry is.

Tabel 1: Gemiddelde waardes van fisiologiese parameters tydens rus(t0) en einde van elke werksiklus(t45 tot t285). Korrelasies(r) is hellings(b) en y-afsnypunte(a) is bepaal tussen fisiologiese parameters en tyd van t0 tot t295.

WBG (°C)	Parameter	Relatiewe vogtigheid (%)	t0	t45	t105	t165	t225	t285	r	b	a	
24	RT	30	37.3±0.3	37.9±0.4	38.0±0.4	37.8±0.4	37.9±0.3	37.9±0.4	0.56	0.0013	37.62	
		70	37.0±0.2	37.9±0.4	38.0±0.4	37.9±0.4	37.9±0.3	37.9±0.4	0.59	0.0021	37.49	
	OT	30	36.8±0.3	36.9±0.3	36.9±0.3	36.8±0.3	36.9±0.4	36.9±0.3	0.39	0.0002	36.84	
		70	36.7±0.2	37.3±0.5	37.3±0.5	37.2±0.5	37.2±0.4	37.1±0.3	0.34	0.0007	37.04	
	HT	30	82.0±13	126.0±15	125.0±18	123.0±17	125.0±22	129.0±18	0.66	0.1100	103.21	
		70	80.0±15	138.0±19	143.0±24	139.0±24	142.0±25	145.0±25	0.68	0.1600	109.17	
	MST	30	35.1±0.8	33.9±0.5	33.5±1.1	34.1±0.7	34.0±1.1	34.5±0.3	-0.16	-0.0008	34.30	
		70	33.1±0.6	33.0±1	33.0±0.7	32.4±0.6	32.6	32.6	-0.08	-0.0020	33.06	
	29	RT	30	37.5±0.2	38.1±0.3	38.0±0.3	38.0±0.4	37.9±0.3	38.0±0.3	0.44	0.0009	37.80
			70	37.0±0.3	38.0±0.1	38.1±0.3	38.2±0.4	38.0±0.5	38.0±0.4	0.59	0.0024	37.63
		OT	30	37.0±0.2	37.0±0.3	37.1±0.3	37.1±0.4	37.1±0.2	37.1±0.2	0.82	0.0004	37.01
			70	36.8±0.3	37.7±0.3	37.5±0.4	37.6±0.4	37.6±0.5	37.6±0.2	0.58	0.0020	37.22
HT		30	89.0±9	124.0±18	129.0±18	132.0±26	132.0±19	127.0±27	0.67	0.1000	108.42	
		70	78.0±7	147.0±17	142.0±21	149.0±14	152.0±15	154.0±14	0.71	0.1900	110.88	
MST		30	35.1±0.6	34.5±0.6	35.0±0.7	35.1±0.9	35.0±0.9	35.2±0.6	0.48	0.0010	34.85	
		70	34.3	34.1	33.8	34.2	33.6	32.9	-0.84	-0.0040	34.37	
30		RT	30	37.5±0.2	38.1±0.3	38.2±0.3	38.0±0.3	38.1±0.4	38.0±0.3	0.46	0.0011	37.84
			70	37.0±0.2	38.1±0.3	38.4±0.2	38.3±0.3	38.4	38.5	0.76	0.0040	37.57
		OT	30	37.0±0.3	37.2±0.2	37.2±0.3	37.3±0.3	37.4±0.3	37.4±0.3	0.94	0.0013	37.07
			70	36.8±0.2	38.0±0.3	37.9±0.3	37.9±0.2	38.1±0.3	38.0±0.4	0.66	0.0030	37.38
	HT	30	85.0±8	134.0±12	128.0±16	135.0±13	138.0±17	137.0±18	0.70	0.1300	108.29	
		70	79.0±11	147.0±10	151.0±9	156.0±10	158.0±23	161.0	0.74	0.2100	112.13	
	MST	30	35.0±0.8	35.4±0.5	35.6±0.4	35.7±0.5	35.7±0.8	35.7±0.4	0.84	0.0020	35.24	
		70	34.9±0.7	35.5±0.4	35.5±0.5	35.6	34.8		-0.08	-0.0003	35.23	
	32	RT	30	37.4±0.2	38.3±0.3	38.3±0.4	38.2±0.4	38.2±0.4	38.4±0.5	0.70	0.0023	37.80
			70	37.0±0.2	38.8±0.3	38.9				0.85	0.0172	37.37
		OT	30	37.1±0.3	37.5±0.2	37.4±0.3	37.5±0.3	37.5±0.4	37.6±0.5	0.77	0.0012	37.26
			70	36.8±0.3	38.3±0.4	38.3±0.3	38.3±0.4			0.73	0.0100	37.32
HT		30	83.0±9	127.0±18	134.0±18	140.0±16	142.0 ±18	146.0±15	0.81	0.1800	103.92	
		70	82.0±8	162±13.1	171				0.87	0.8100	97.84	
MST		30	35.5±0.5	35.8±0.4	36.4±0.3	36.1±0.5	36.4	36.7	0.90	0.0040	35.60	
		70	35.0	35.9	34.3	32.4			-0.85	-0.0200	32.83	

Tabel 2: Gemiddelde verschil tussen rektaal- en mondtemperatuur.

WBGT (°C)	Relatieve vochtigheid (%)	Gemiddelde verschil (°C)
24	30	1.0
	70	0.7
28	30	0.9
	70	0.5
30	30	0.8
	70	0.4
32	30	0.8
	70	0.3

Tabel 3: Verschil tussen rektale temperatuur en gemiddelde veltemperatuur van t=0 tot t=285.

WBGT (°C)	Relatieve vochtigheid (%)	Verskil tussen rektale temperatuur en gemiddelde veltemperatuur. (°C)					
		0	45	105	165	225	285
24	30	2.2	4.0	4.5	3.7	3.9	3.4
	70	3.9	4.9	5.0	5.5	5.3	5.3
28	30	2.4	3.6	3.0	2.9	2.9	2.8
	70	2.7	3.9	4.3	4.0	4.4	5.1
30	30	2.5	2.7	2.6	2.3	2.4	2.3
	70	2.1	2.6	2.9	2.7	3.6	
32	30	1.9	2.4	1.9	2.1	1.8	1.7
	70	2.0	2.8	4.4	5.9		

Tabel 4: Sweettempo gedurende 5-uur blootstelling.

WBGT (°C)	Relatiewe vogtigheid (%)	n	Sweettempo (l/h)
24	30	16	0.470±0.071
	70	15	0.545±0.083
28	30	15	0.628±0.076
	70	14	0.638±0.078
30	30	16	0.720±0.085
	70	16	0.805±0.158
32	30	13	0.794±0.100
	70	16	1.019±0.247

Tabel 5: Gemiddelde toleransietyd ten opsigte van hoë rektale temperatuur of harttempo.

WBGT (°C)	Relatiewe vogtigheid (%)	n	Gemiddelde toleransietyd (min.)
24	30	16	300
	70	16	283±52
28	30	16	292±30
	70	14	264±83
30	30	16	281±51
	70	15	185±89
32	30	16	279±31
	70	16	82 ±63

Tabel 6: Persentasie persone wat hoë rektale temperatuur ( $\geq 39$  °C) of harttempo ( $\geq 180$  slae/min.) by omgewingstemperature van 24 tot 32 °C WBGT (30 en 70 % relatiewe vogtigheid) bereik het.

WBGT (°C)	Relatiewe vogtigheid (%)	n	Fisiologiese parameter	
			RT	HT
24	30	16	0	0
	70	16	0	13
28	30	16	6	0
	70	14	7	21
30	30	16	19	0
	70	15	47	33
32	30	16	44	0
	70	16	31	19

Tabel 7: Minimum en maksimum toleransietye en rede vir beëindiging van blootstelling.

WBGT (°C)	Relatiewe vogtigheid (%)	Minimum (min.)	Parameter	Maksimum (min.)	Parameter
24	30			300	
	70	105	HT	300	
28	30	185	RT	300	
	70	40	HR	300	
30	30	105	RT	300	
	70	24	HR	300	
32	30	210	RT	300	
	70	30	HR	246	RT

Fig 2: Rektale temperatuur by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid.

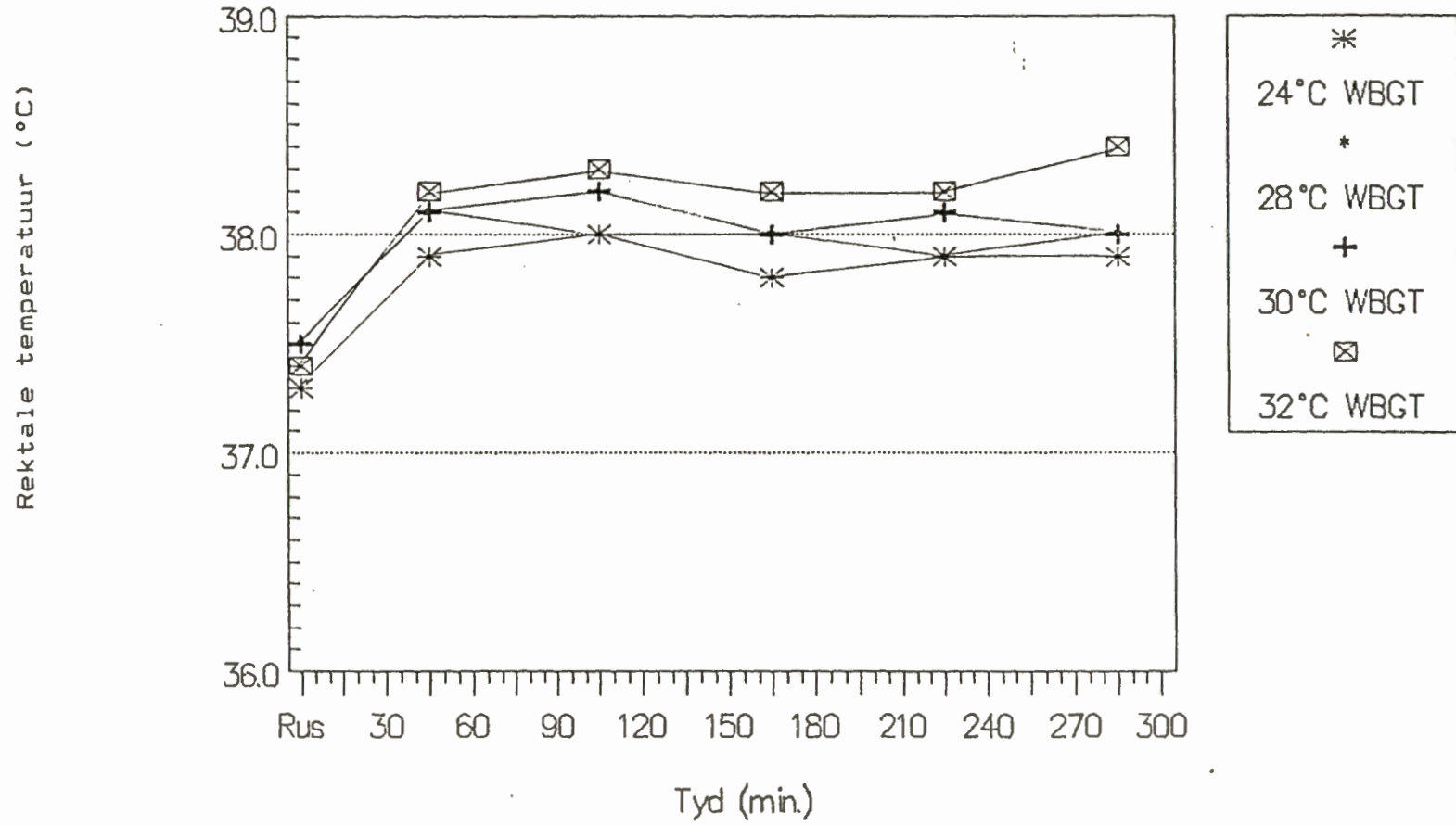


Fig 3: Rektale temperatuur by verskillende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid.

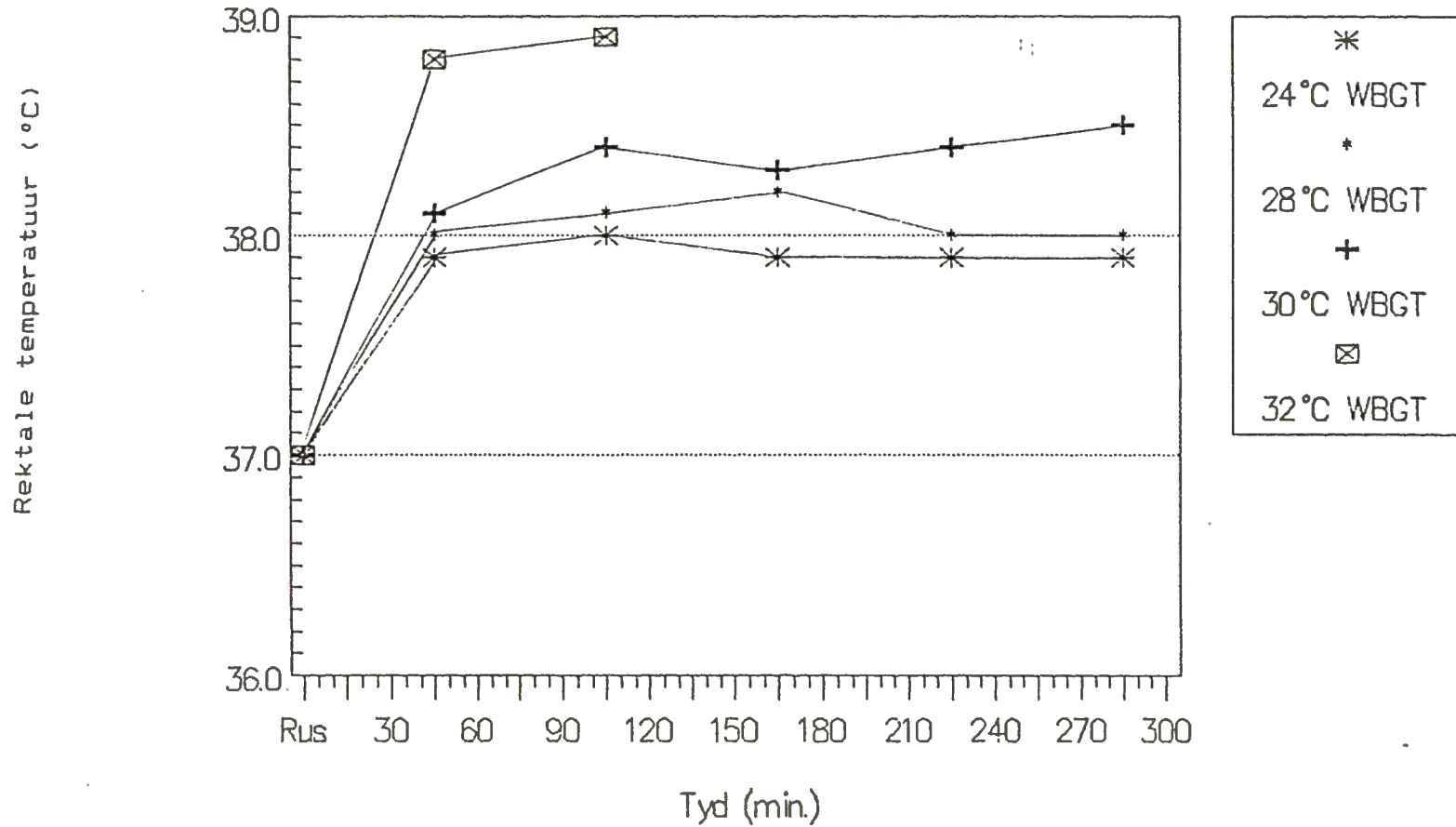


Fig 4(a): Rektale temperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 24 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

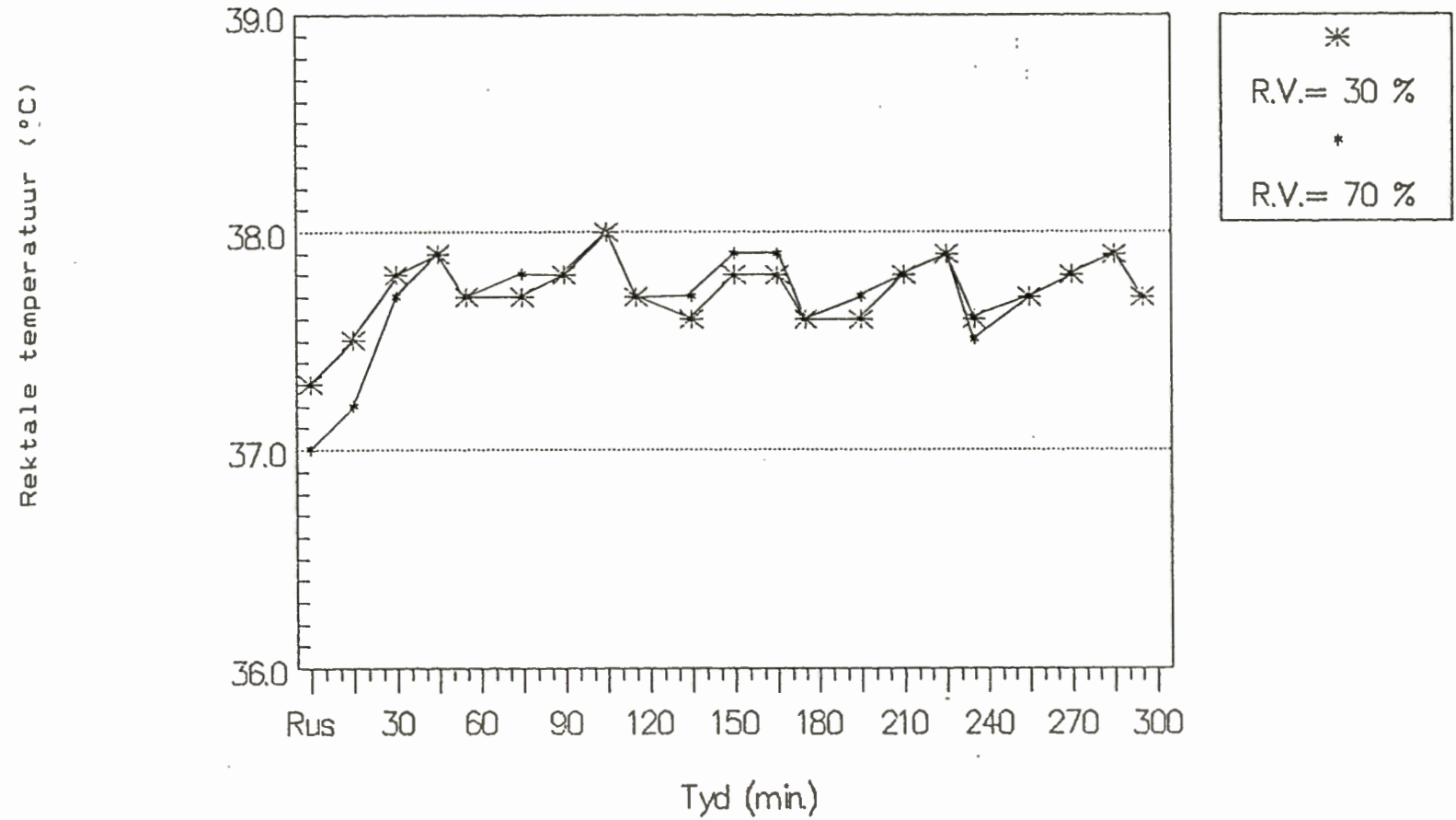


Fig 4(b): Rektale temperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 28 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

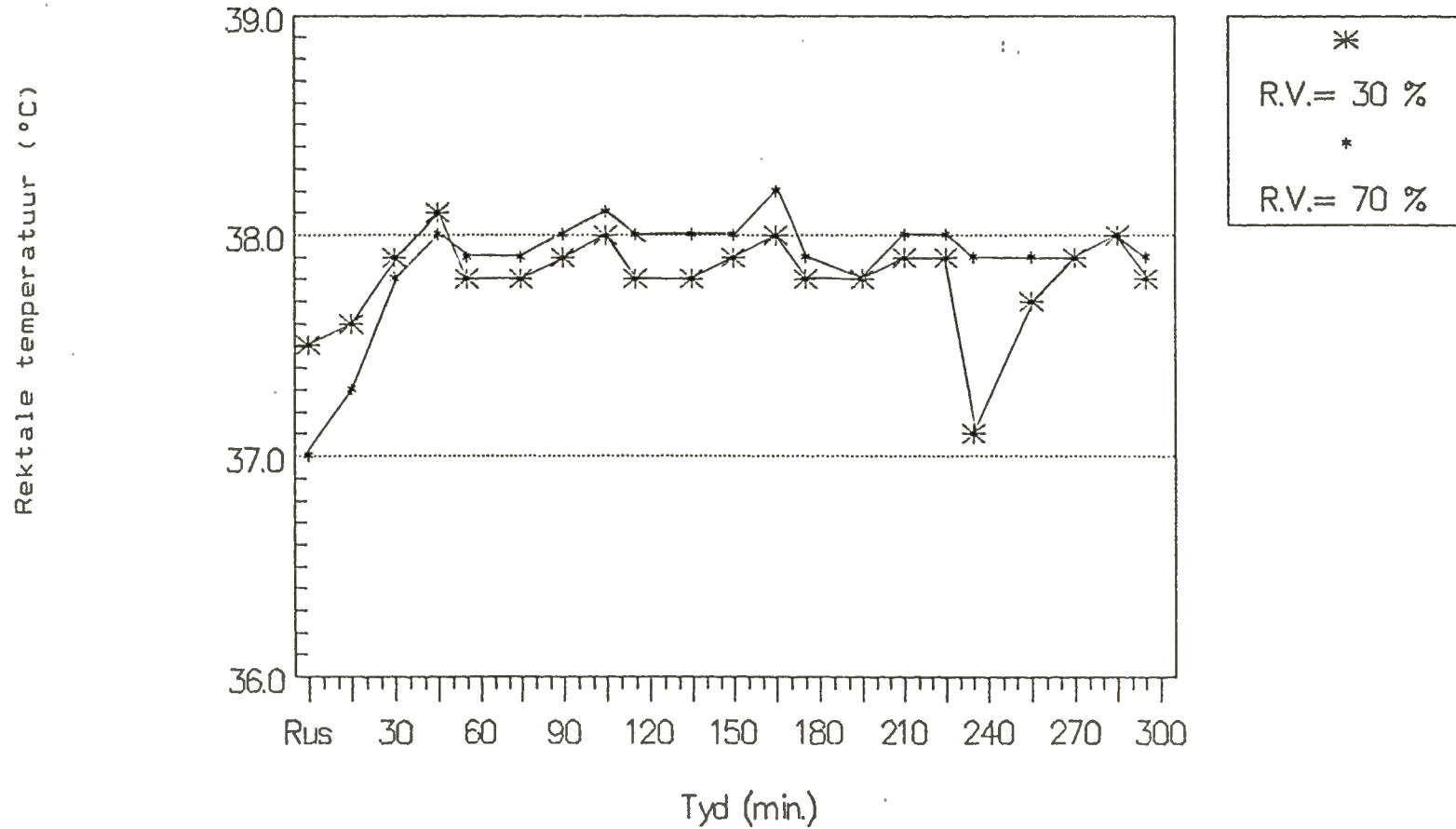


Fig 4(c): Rektale temperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 30 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

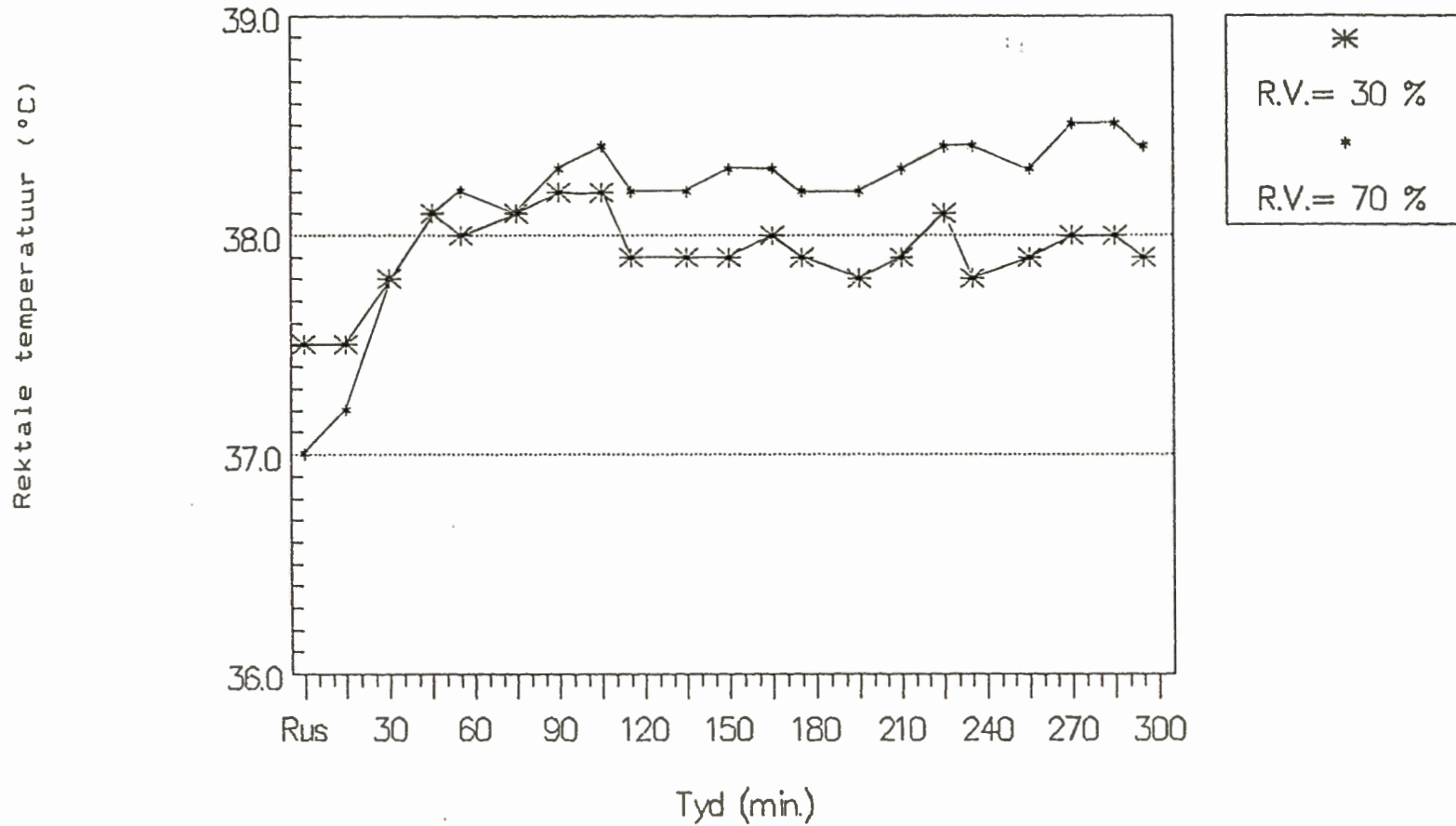


Fig 4(d): Rektale temperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 32 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

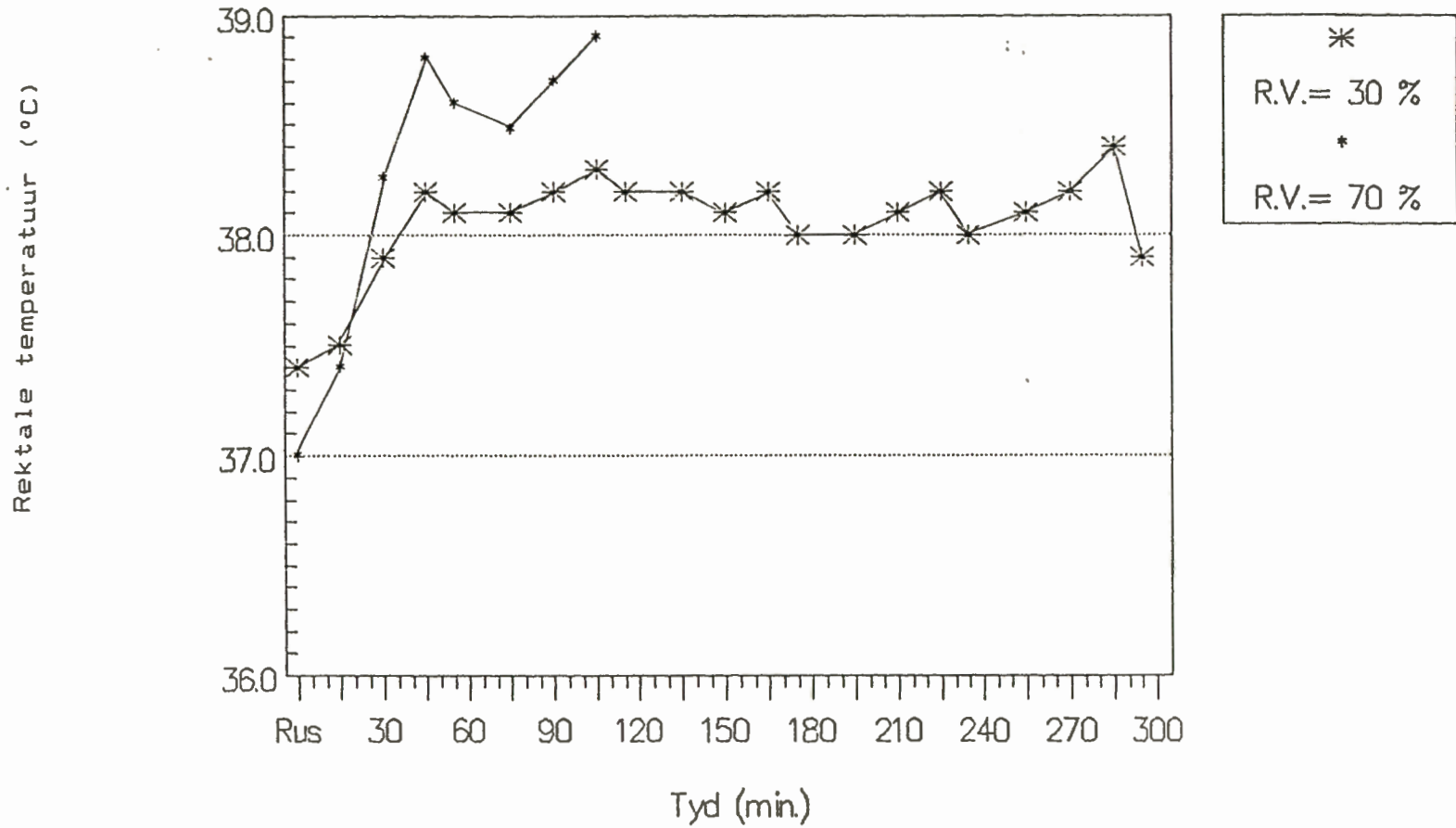


Fig 5: Mondtemperatuur by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid.

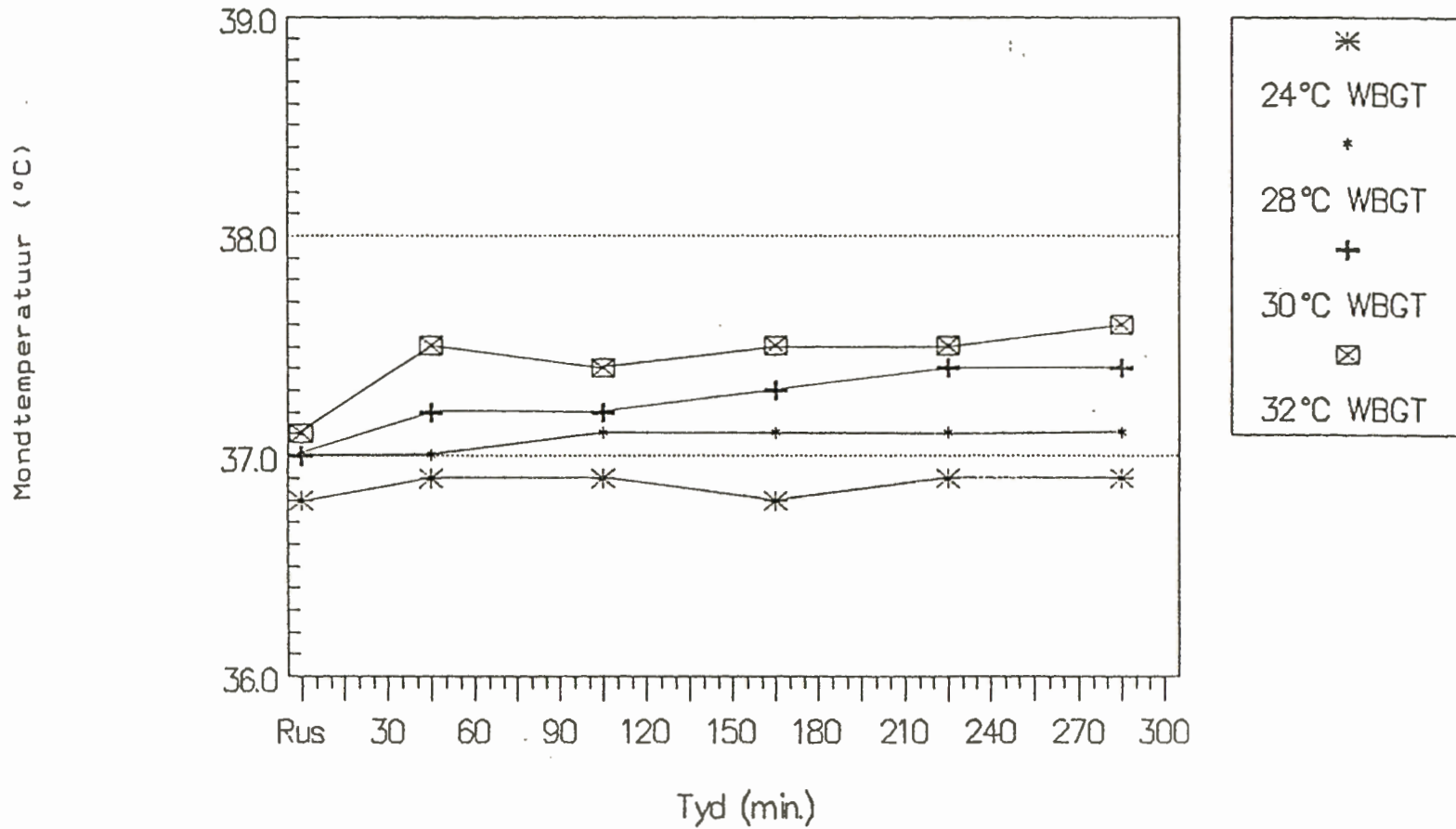


Fig 6: Mondtemperatuur by verskillende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid.

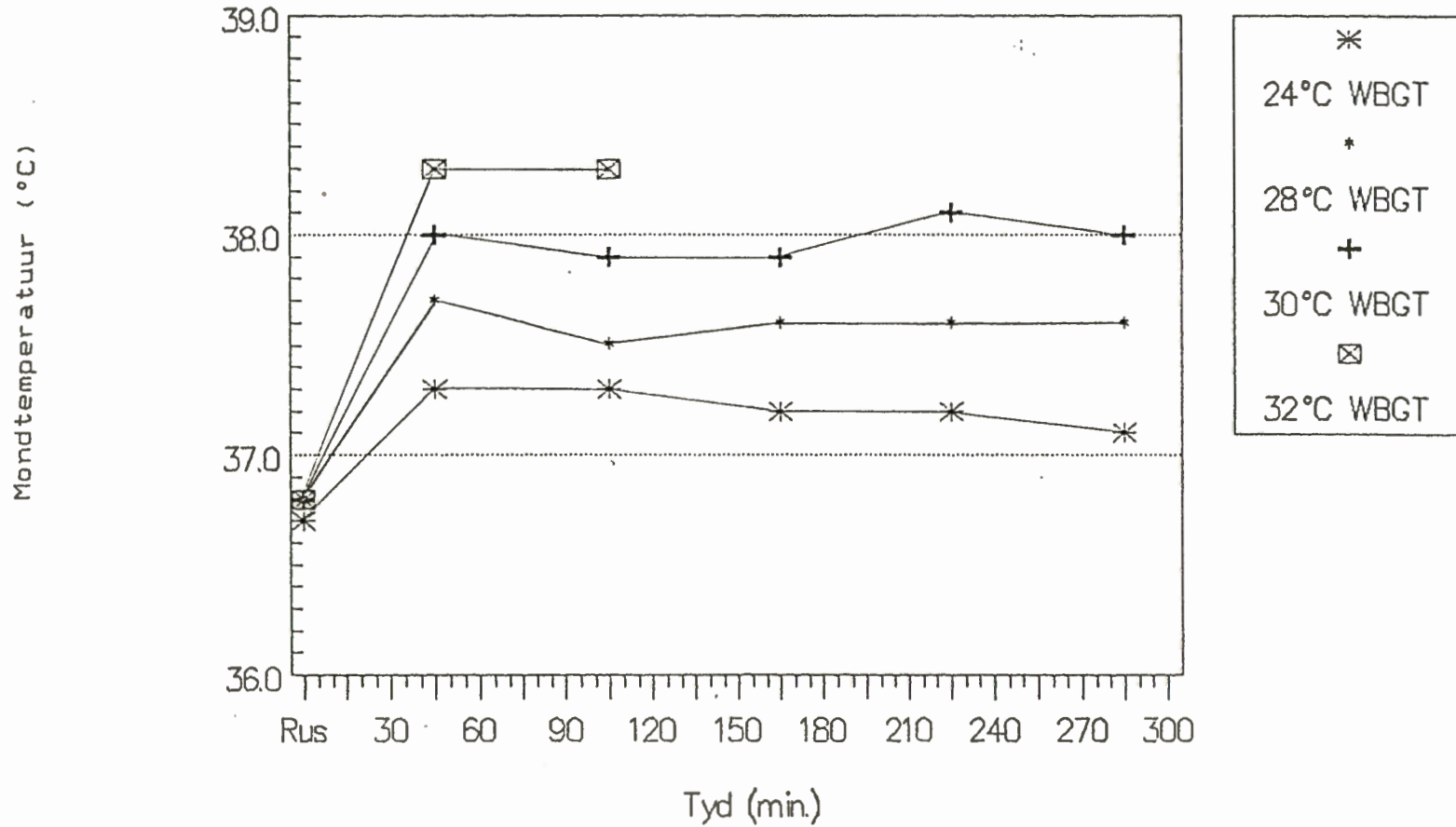


Fig 7(a): Mondtemperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 24 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

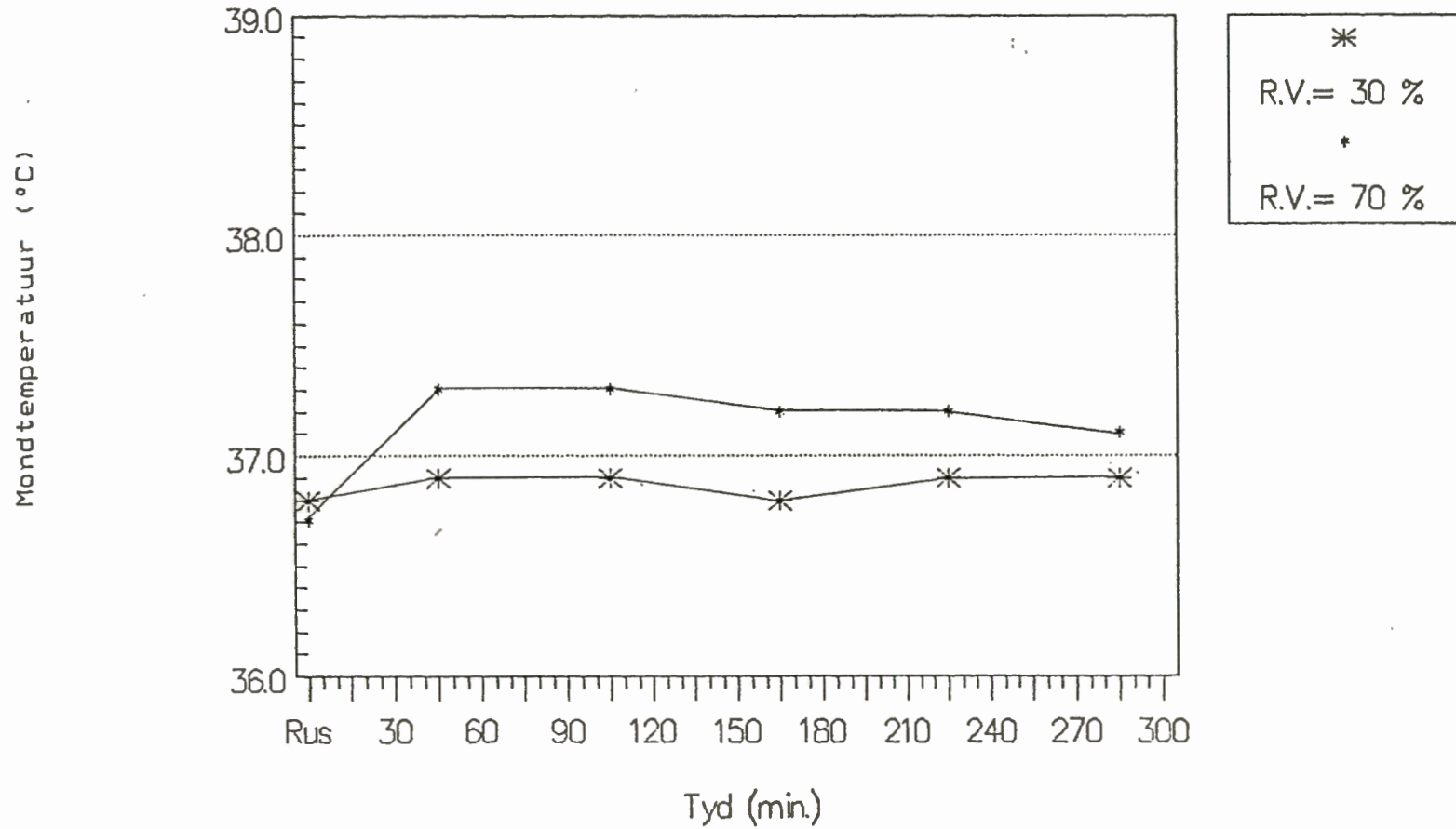


Fig 7(b): Mondtemperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 28 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

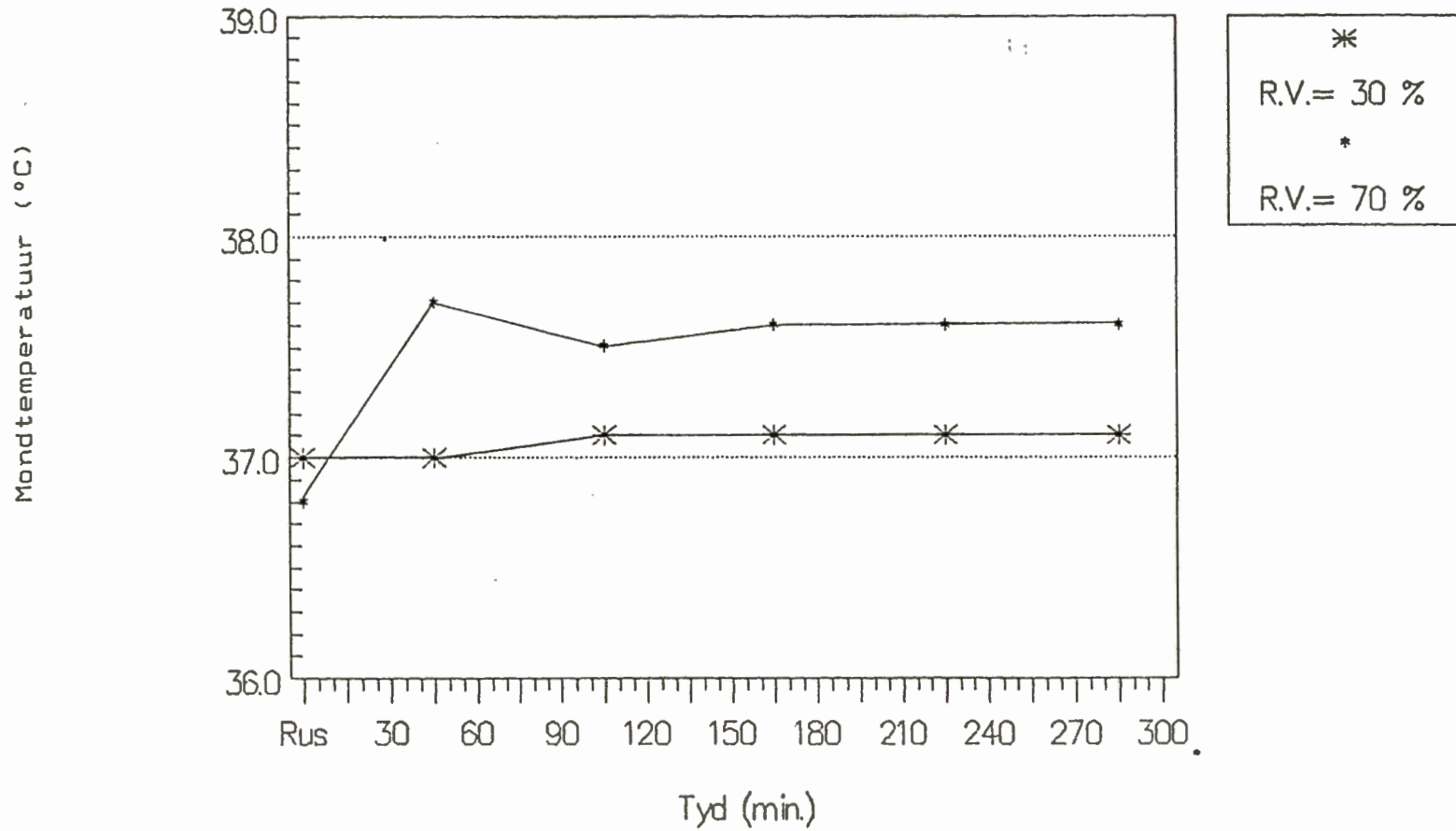


Fig 7(c): Mondtemperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 30 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

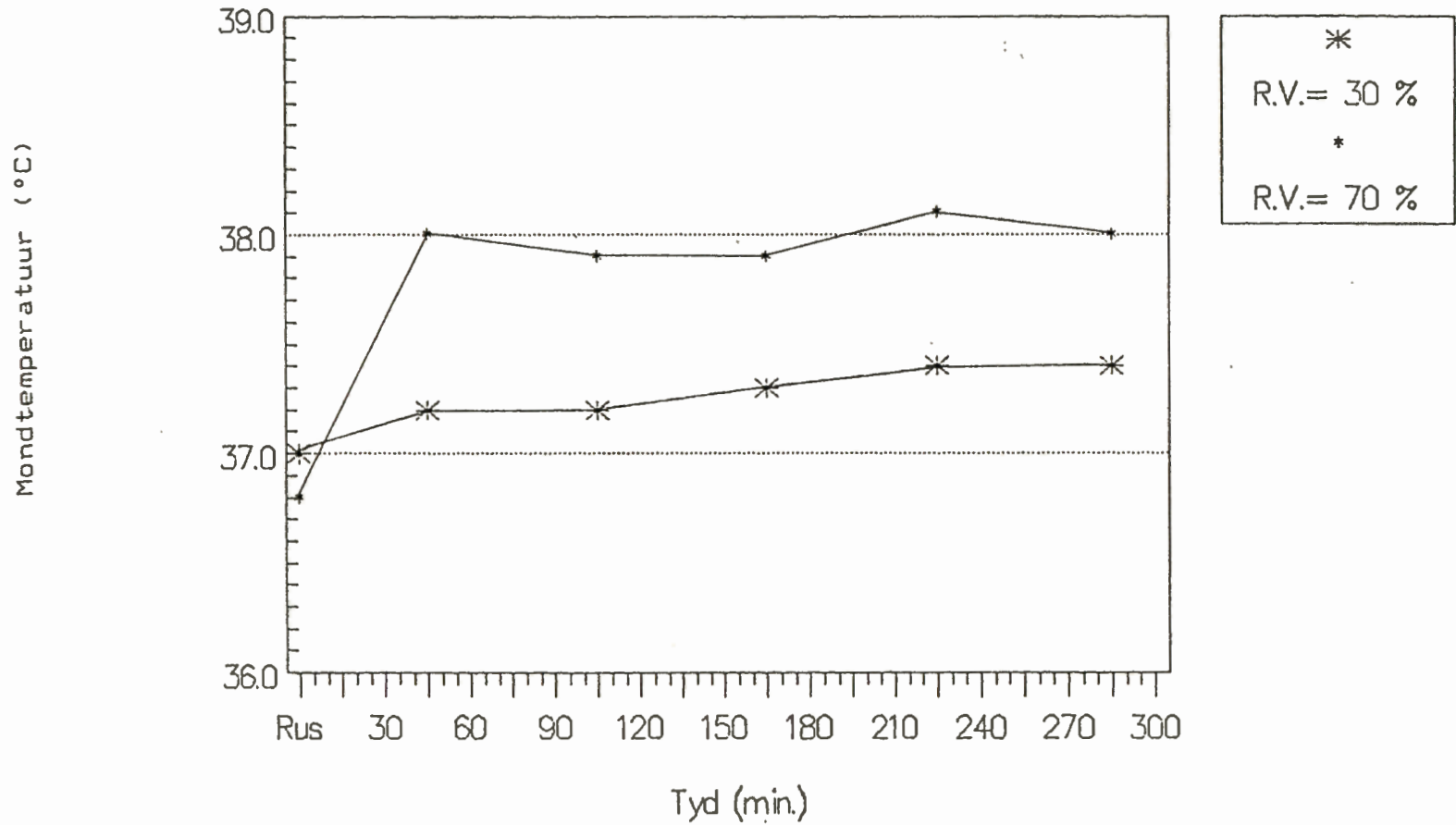


Fig 7(d): Mondtemperatuur by 'n omgewingstemperatuur van 32 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

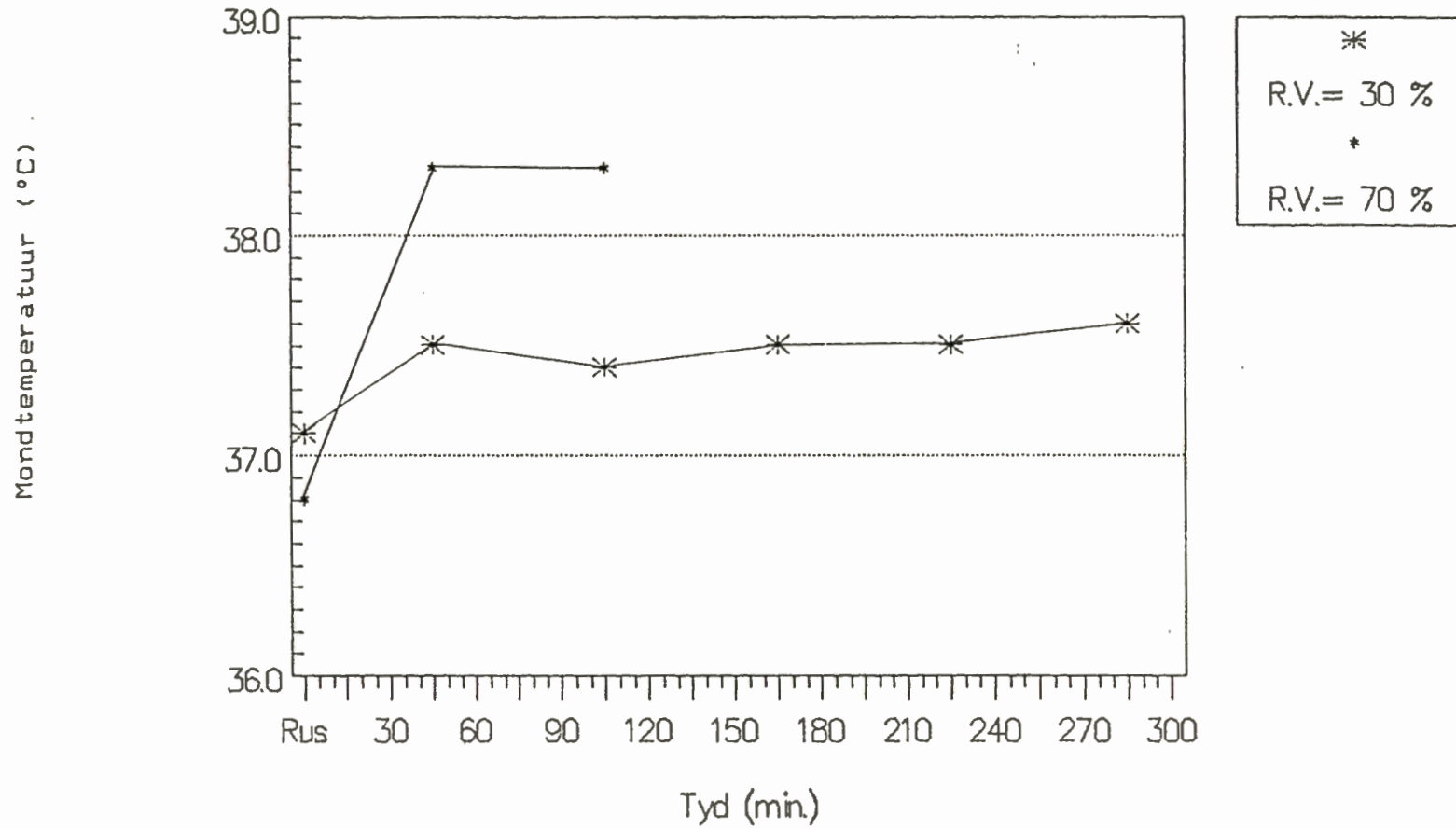


Fig 8: Harttempo by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid.

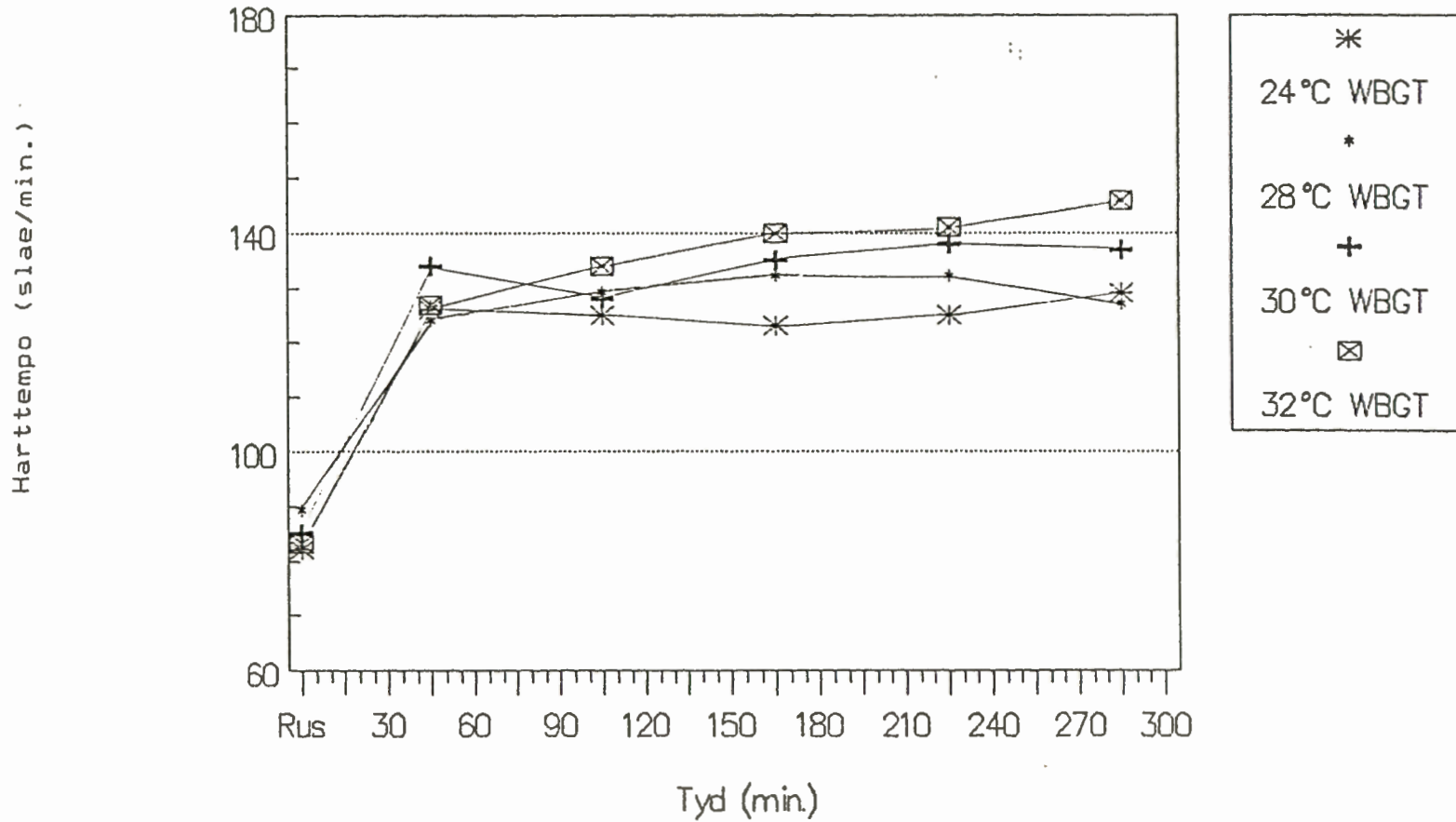


Fig 9: Harttempo by verskillende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid.

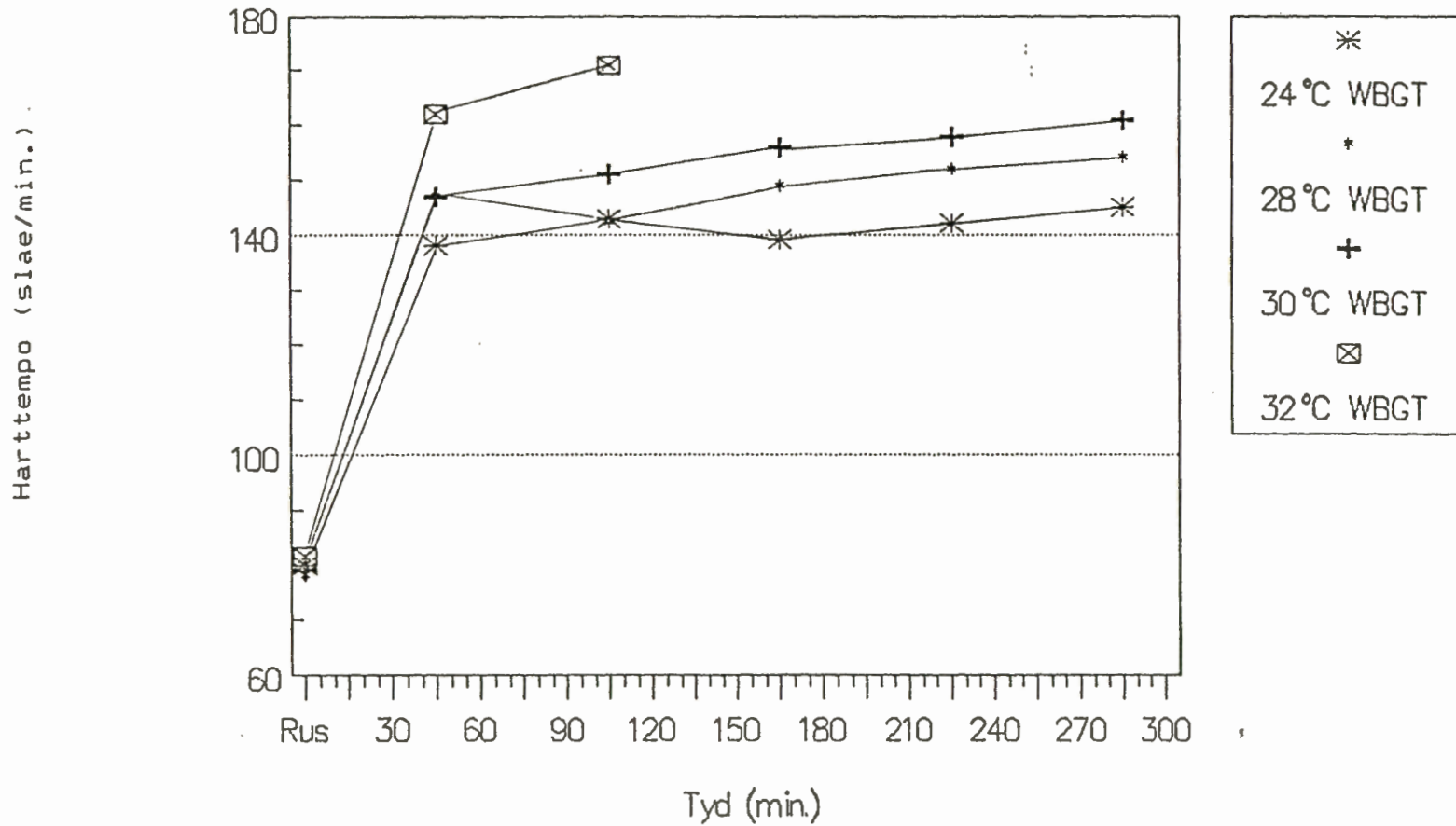


Fig.10(a): Harttempo by 'n omgewingstemperatuur van 24 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

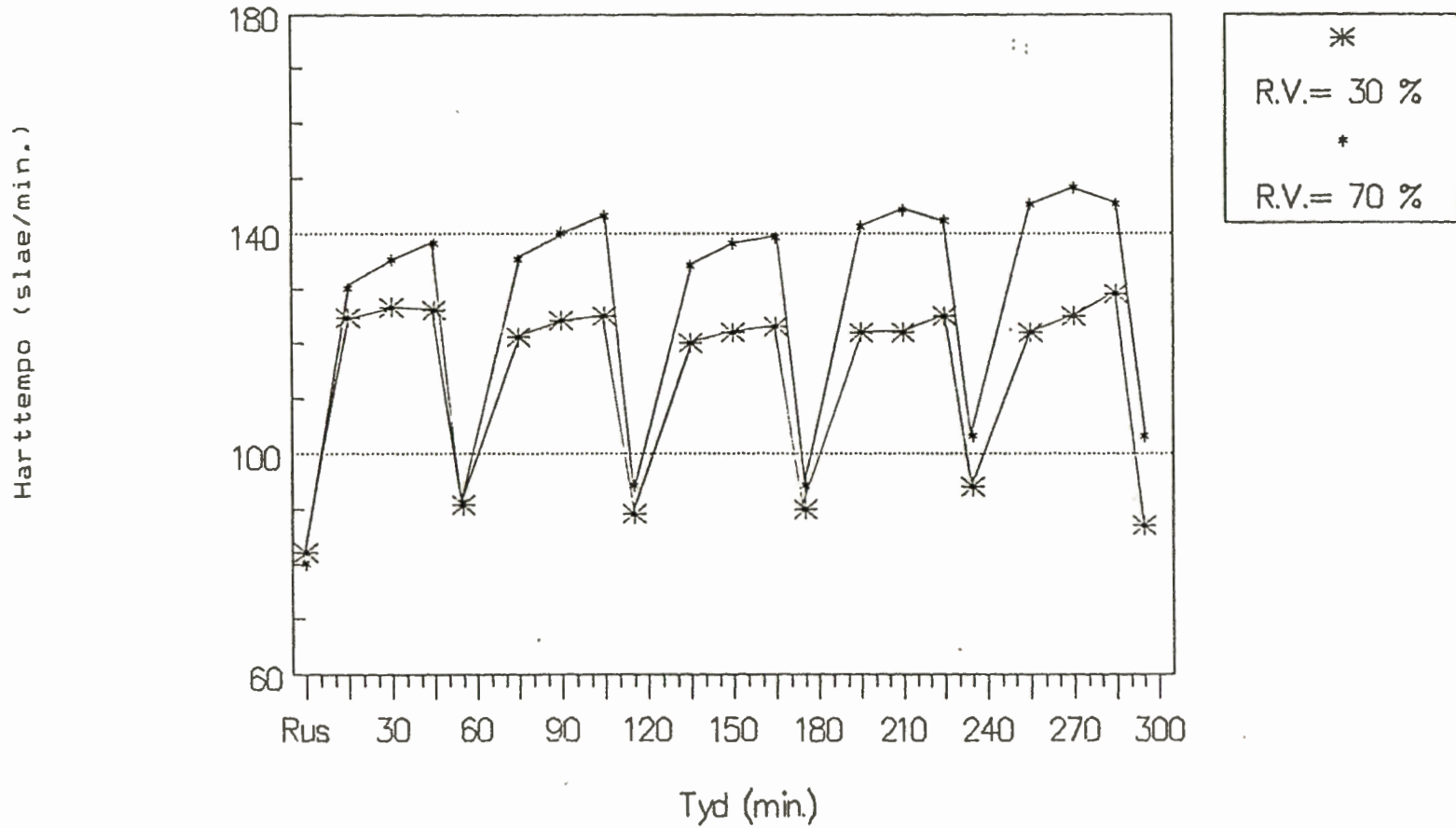


Fig 10(b): Harttempo by 'n omgewingstemperatuur van 28 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

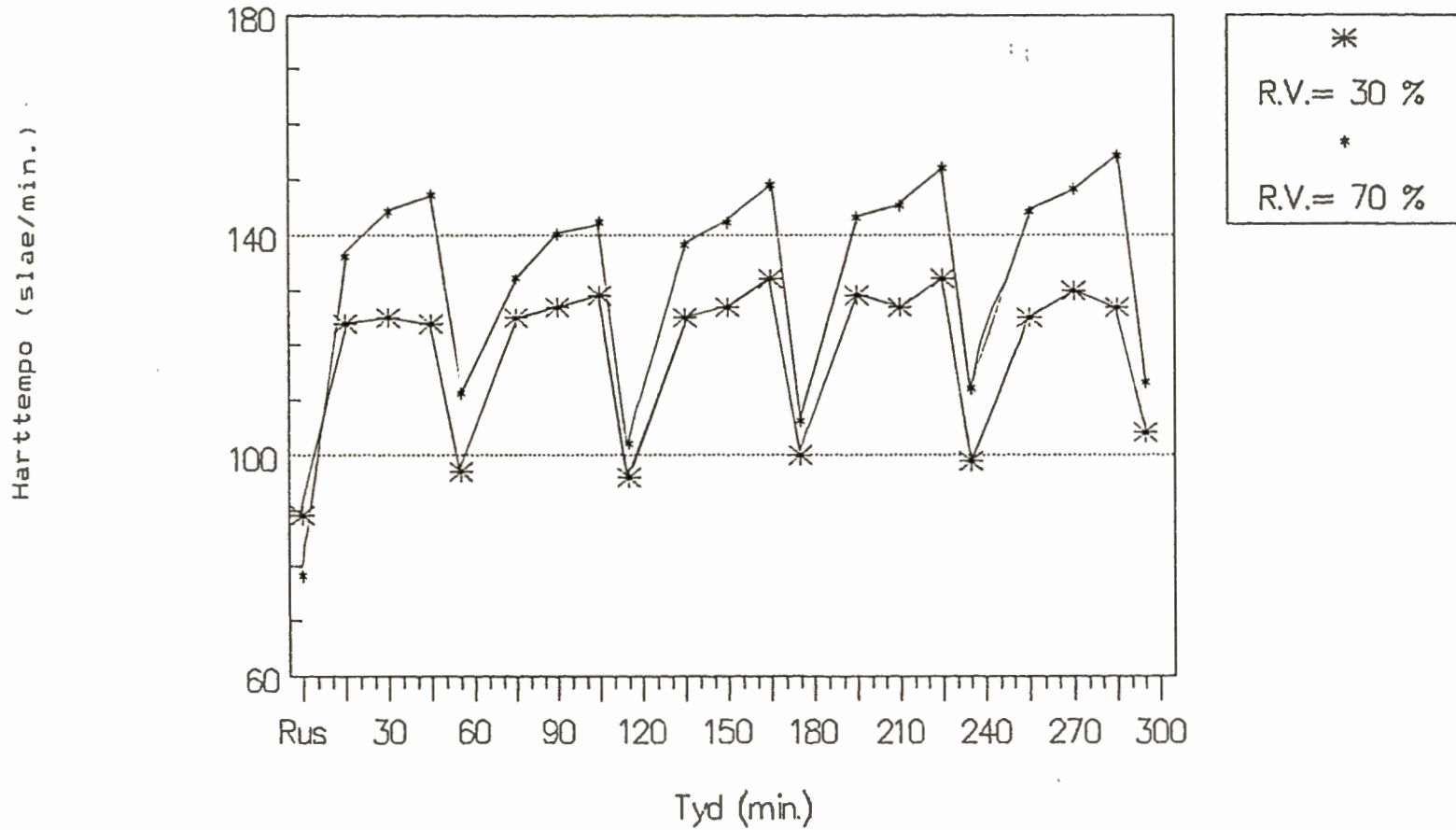


Fig 10(c): Harttempo by 'n omgewingstemperatuur van 30 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

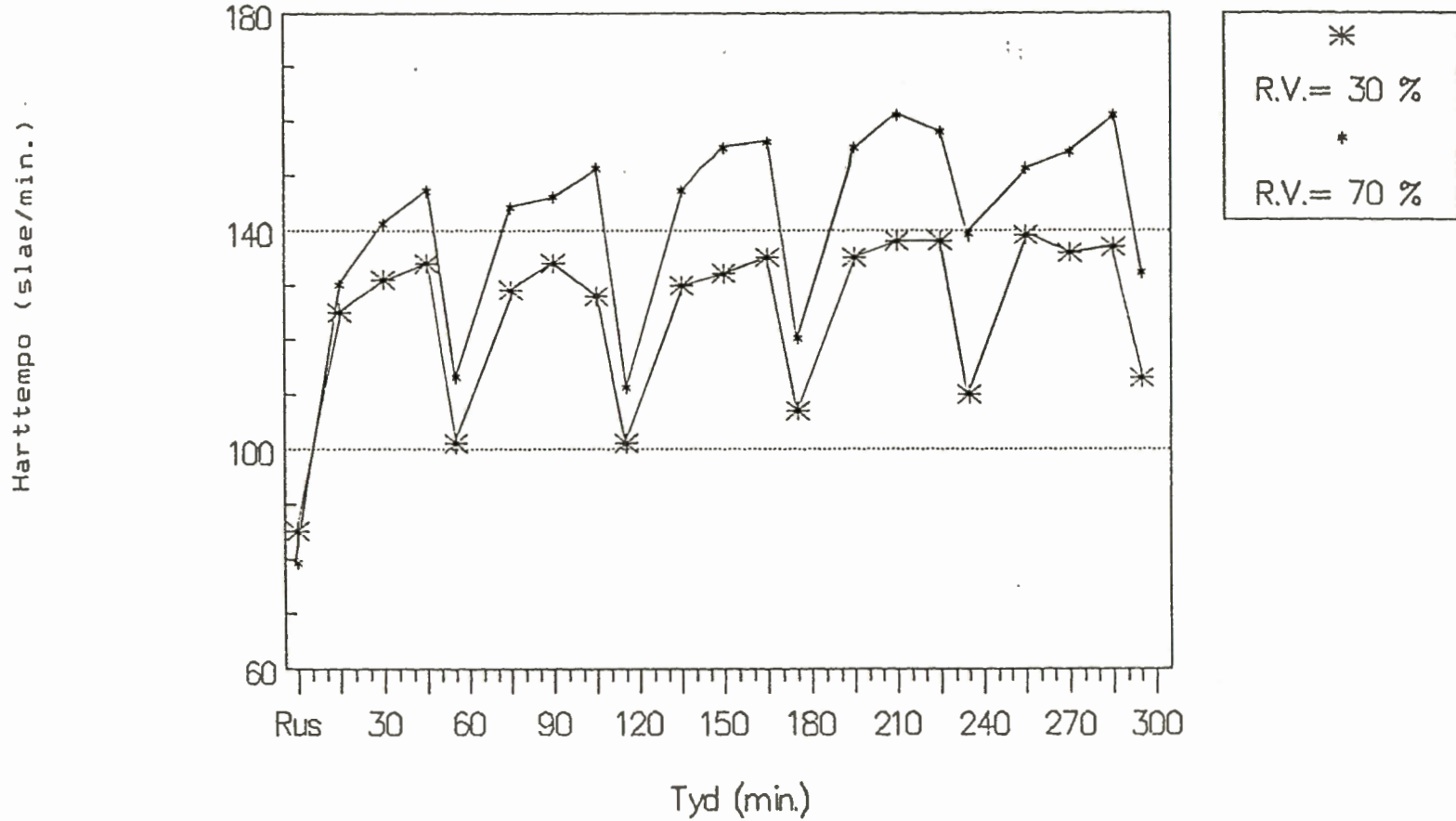


Fig 10(d): Harttempo by 'n omgewingstemperatuur van 32 °C WBGT en twee relatiewe vogtighede.

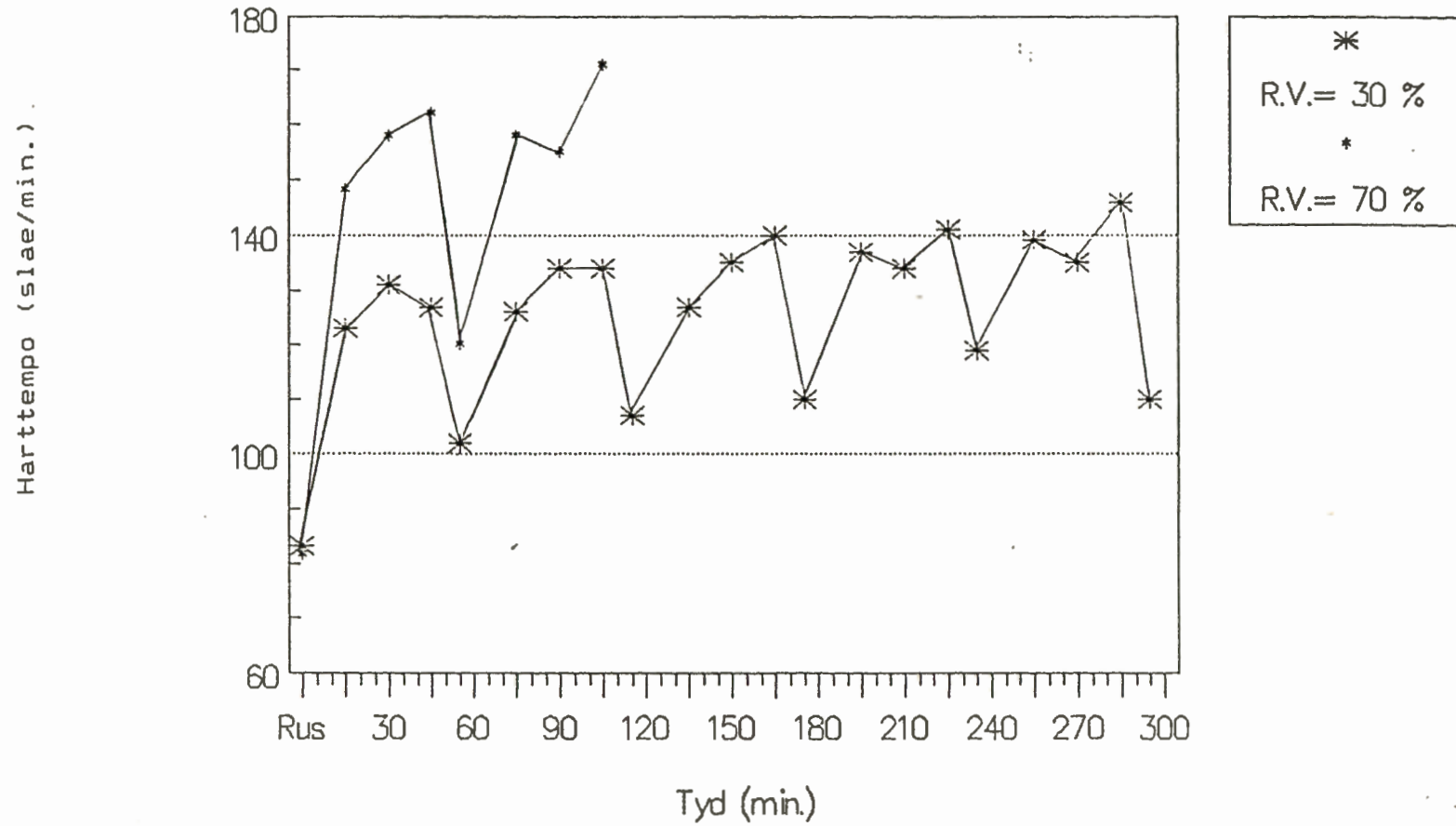


Fig 11: Sweettempo by verskillende omgewingstemperature en twee relatiewe vogtighede.

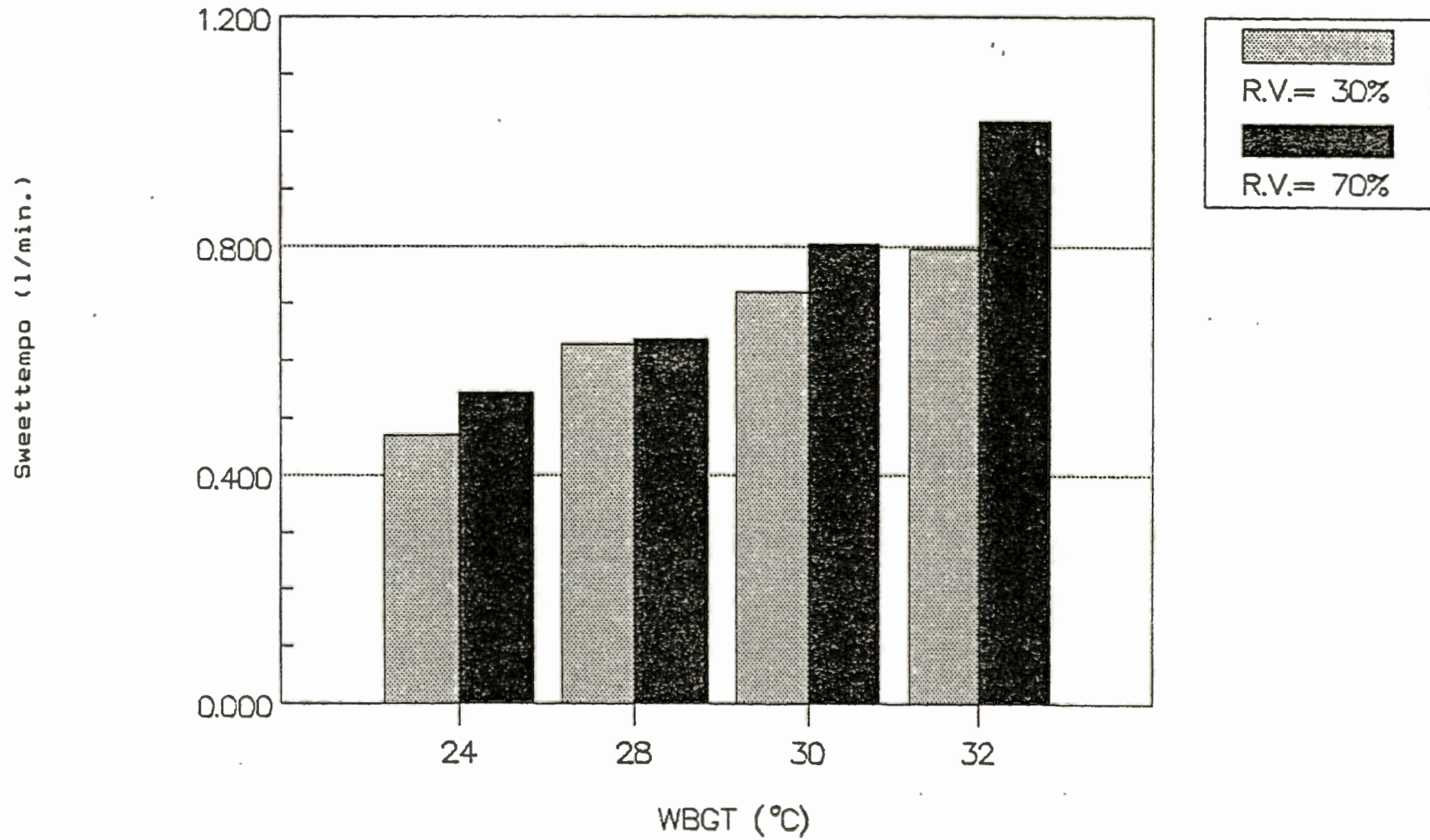


Fig 12: Gemiddelde veltemperatuur by verskillende omgewingstemperature met 30 % relatiewe vogtigheid.

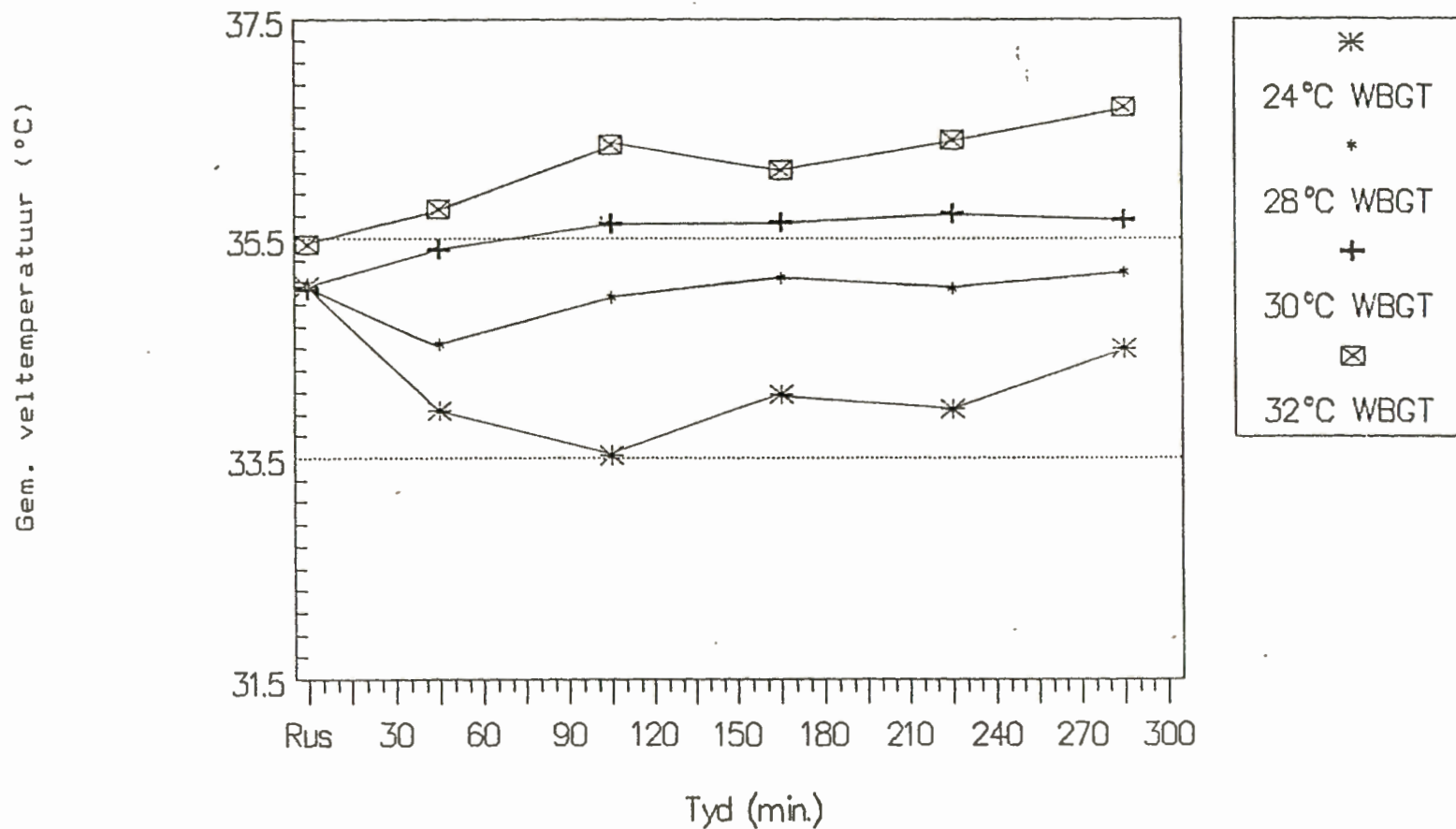


Fig 13: Gemiddelde veltemperatuur by verskillende omgewingstemperature met 70 % relatiewe vogtigheid.

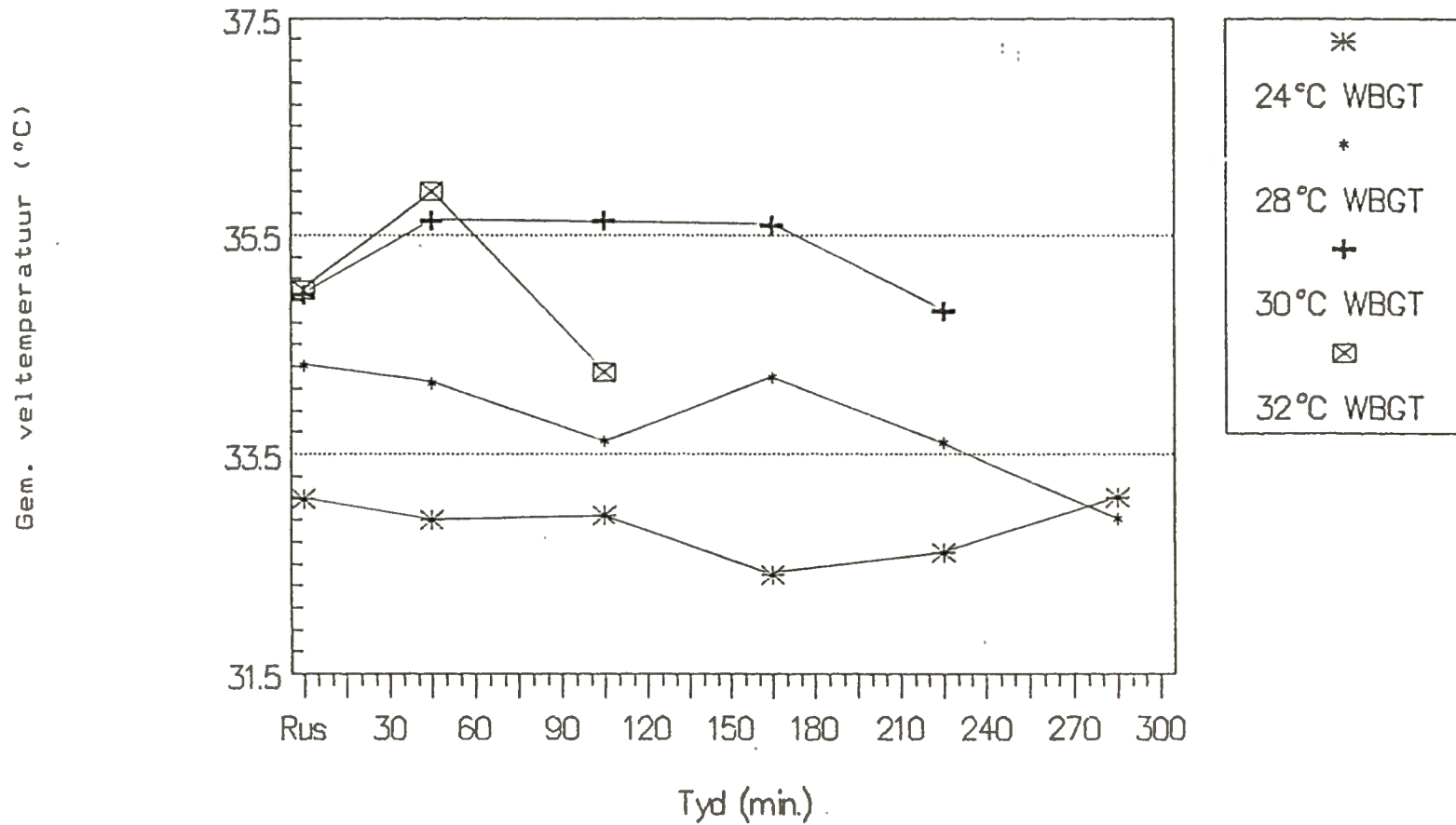


Fig 14: Gemiddelde toleransietye by verskillende omgewingstemperature en twee relatiewe vogtigheede.

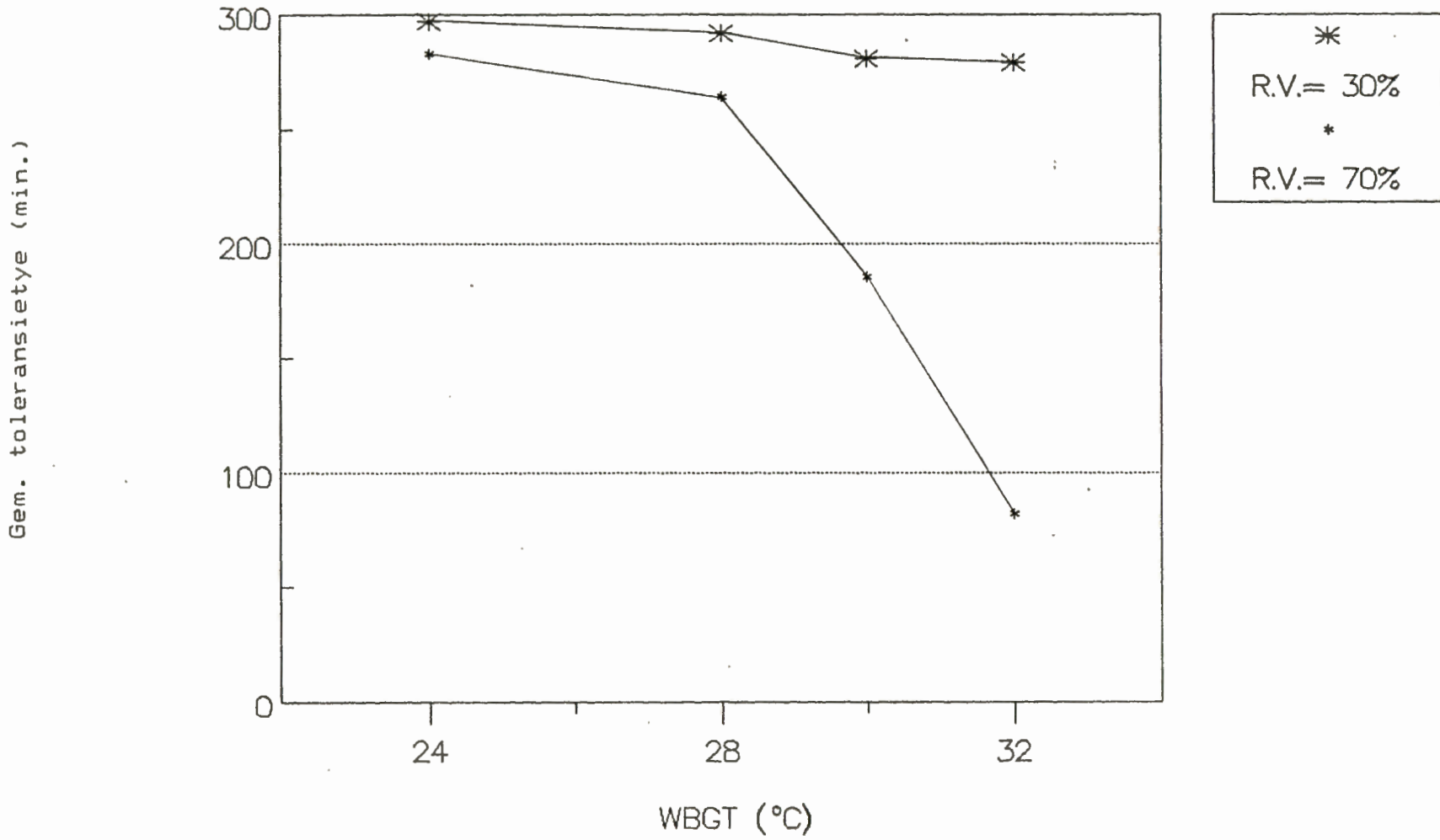
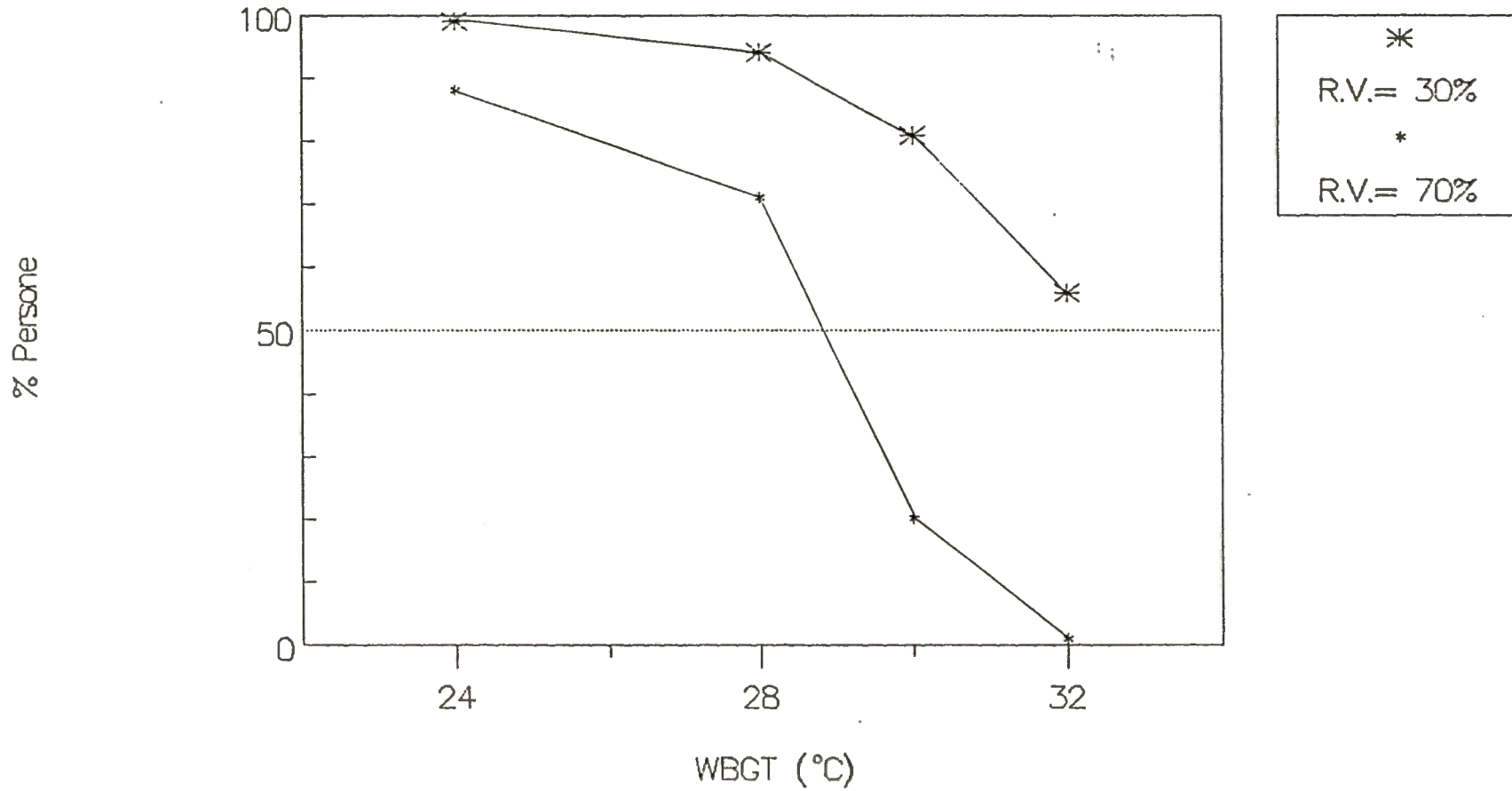


Fig 15: Persentasie persone wat instaat was om vyf-ure van blootstelling te voltooi.



LITERATUURVERWYSINGS

- Alber-Wallerström, B., Holmér, I. 1985. Efficiency of sweat evaporation in unacclimatized man working in a hot humid environment. European journal of applied physiology. 54:480-487.
- Armstrong, L.E., Hubbard, R.W., Kraemer, W.J., Deluca, J.P., Christensen, E.L. 1987. Signs and symptoms of heat exhaustion during strenuous exercise. Ann. sports med. 3(3):182-189. March.
- Armstrong, L.E., Hubbard, R.W., Sjlyk, P.C., Sils, I.V., Kraemer, W.J. 1988. Heat intolerance, heat exhaustion monitored: a case report. Aviation space environment medicine. 59(3):262-266. March.
- Anderson, R.K., Kenney, W.L. 1987. Effect of age on heat-activated sweat gland density and flow during exercise in dry heat. Journal of applied physiology. 63(3):1089-1094.
- Astrand, P., Rodahl, K. 1977. Textbook of work physiology. Physiological basis of exercise. 2nd ed. New York: McGraw-Hill. 681p.
- Brinnet, H., Cabanac, M. 1989. Tympanic temperature is a core temperature in humans. Journal of thermal biology. 14(1):47-53.
- Brobeck, J.R. 1980. Best & Taylor's physiological basis of medical practice. 10th ed. Baltimore. Williams & Wilkens.

- Cranston, W.I., Gerbrandy, J., Snell, E.S. 1954. Oral, rectal and oesophageal temperatures and some factors affecting them in man. J. physiol. London. 126:347-358.
- Duncan, H.W., Gardner, G.W., Barnard, R.J. 1981. Physiological responses of men working in fire fighting equipment in the heat. Ergonomics. 22(5):521-527.
- Edholm, O.G., Adam, J.M., Fox, R.H. 1962. The effects of work in cool and hot conditions on pulse rate and body temperature. Ergonomics. 5(4):545-556.
- Fuller, F.H., Smith, P.E. 1981. Evaluation of heat stress in a hot workshop by physiological measurements. American industrial hygiene association journal. 42(1):32-37. January.
- Givoni, B., Goldman, R.F. 1972. Predicting rectal temperature response to work, environment and clothing. Journal of applied physiology. 32(6):812-822. June.
- Givoni, B., Goldman, R.F. 1973a. Predicting heart rate response to work, environment and clothing. Journal of applied physiology. 34(2):201-204. February.
- Givoni, B., Goldman, R.F. 1973b. Predicting effects of heat acclimatization on heart rate and rectal temperature. Journal of applied physiology. 35(6):875-879. December.
- Gonzalez, R.R., Cena, K. 1985. Evaluation of water permeation through garments during exercise. Journal of applied physiology. 58(3):928-935.
- Gonzalez, R.R., Pandolf, K.B., Gagge, A.P. 1974. Heat acclimation and decline in sweating during humidity transients. Journal of applied physiology. 36(4):419-425.

- Guyton, A.C. 1981. Textbook of medical physiology. 6th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company. 1074p.
- Iampietro, P.F., Goldman, R.F. 1965. Tolerance of men working in hot environments. Journal of applied physiology. 20:73-76.
- Kamon, E. 1972. Relationships of physiological strain to change in heart rate during work in the heat. American industrial hygiene association journal. 701-708. November.
- Kamon, E., Belding, H.S. 1971. Heart rate and rectal temperature relationships during work in hot humid environments. Journal of applied physiology. 31(3):472-477.
- Katsura, T. 1981. Alterations of cardiac output, stroke volume, and heart rate during 3 hours of exercise in different ambient temperatures. J. anthropol. soc. nippon. 89(3):351-362.
- Kaufman, J.W., 1988. Heat stress evaluation of anti-exposure flight garments. Aviation space environmental medicine. 59(3):213-219. March.
- Kenney, W.L., Kamon, E. 1984. Comparative physiological responses of normotensive and essentially hypertensive men to exercise in the heat. European journal of applied physiology. 52:196-201.
- Kenney, W.L., Hodgson, J.L. 1987. Heat tolerance, thermoregulation and ageing. Sports medicine. 4(6):446-456.
- Kok, R. 1970. Physiological changes during prolonged work on a bicycle ergometer. Potchefstroom. 114 p. (Skripsie (M.Sc.) PU vir CHO).

- Kok, R. 1982. A study of heat tolerance amongst recruits of the South African gold mining industry. Potchefstroom. 133p (Proefskrif (D.Sc.)-PU vir CHO.)
- Kok, R., Claassen, N., Visser, A., Schiefer, R.E., Meese, B.G., 1989. Interne verslag: Die akkuraatheid van die WBGT-indeks. Divisie vir Boutegnologie. Pretoria.
- Kuhlemeier, K.V., Miller, J.M. 1978. Pulse rate-rectal temperature relationships during prolonged work. Journal of applied physiology. 44(3):450-454.
- Libert, J.P., Amoros, C., Di Nisi, J., Muzet, A., Fukuda, H., Ehrhart, J. 1988. Thermoregulatory adjustments during continuous heat exposure. European journal of applied physiology. 57(4):499-506.
- Lind, A.R. 1963. A physiological criterion for setting thermal environmental limits for everyday work. Journal of applied physiology. 18:51-56.
- Mairiaux, Ph., Sagot, J.C., Candas, V. 1983. Oral temperature as an index of core temperature during heat transients. European journal of applied physiology. 50:331-341.
- Michal, C.P.(Jr.) 1981. Effect of heat stress on physiological factors for industrial workers performing routine work and wearing impermeable vapour-barrier clothing. American industrial hygiene association journal. 42(2):97-103. February.
- Nadel, E.R., Sameuloff, S., Horowitz, M., Chang, A., Wenger, C.B., Schwartz, C.B. 1982. Thermoregulation in native residents of the Neger. Abstract Federation proceedings. Fed. amer. soc. experimental biol. 41(4): 977.

- Nag, P.K., Goswami, A., Pradhan, C.K., Ashtekar, S.P. 1986. Convergence of surface and deep body temperature in combined stress of metabolic and environment warmths. Indian journal of medical research. 418-423.
- Nielsen, B., Nielsen, M. 1962. Body temperature during work at different environmental temperatures. Acta physiologica scandinavica. 56:120-129.
- NIOSH - Sien National Institute for occupational safety and health.
- National Institute for occupational safety and health. 1986. Occupational exposure to hot environments. Revised criteria.
- Pulket, C., Henschel, A., Burg, W.R., Saltzman, B.E. 1980. A comparison of heat stress indices in a hot humid environment. American industrial hygiene association journal. 41(6):442-449.
- Renbourn, E.T., Bonsall, E.F. 1958. Observations on normal body temperatures in North India. British Medical Journal. 1:909-914.
- Rowell, L.B., Kroning, K.K., Kennedy, J.W., Evans, T.O. 1967. Central circulatory responses to work in dry heat before and after acclimatization. Journal of applied physiology. 22:509-518.
- Rubin, S.A. 1987. Core temperature regulation of heart rate during exercise in humans. Journal of applied physiology. 62(5):1997-2002.
- Saltin, B., Hermansen, L. 1966. Oesophageal, rectal and muscle temperature during exercise. Journal of applied physiology. 21(6):1757-1762.

- Schmidt, R.F., Thews, G. 1983. Human physiology. 20th ed. Berlin. Springer-Verlag. 725p.
- Schwartz, E., Bhattacharya, A., Sperinde, S.J., Brock, P.J., Sciaraffa, D., Von Beaumont, W. 1979. Sweating responses during heat acclimation and moderate conditioning. Journal of applied physiology. 46:675-680.
- Schwartz, E., Glick, Z., Magazanik, A. 1977. Responses to temperate, cold and hot environments and the effect of physical training. Aviation space environment medicine. 48:254-260.
- Sen Gupta, J. 1987. Physiological responses during prolonged work in hot dry and hot humid environments. Progress in biometreology. 4:87-96.
- Sen Gupta, J., Swamy, Y.V., Pichan, G., Dimri, G.P. 1984. Physiological responses during continuous work in hot dry and hot humid environments in Indians. Int. J. Biometeor. 28(2):137-146.
- Skoldström, B. 1987. Physiological responses of fire fighters to work-load and thermal stress. Ergonomics. 30(11): 1589-1598. November.
- Strydom, N.B., Morrison, J.F., Booyens, J., Peter, J. 1956. Comparison of oral and rectal temperature during work in heat. Journal of applied physiology. 8(4):406-408. January.
- Strydom, N.B., Wyndham, C.H., Williams, C.G., Morrison, J.F., Bredell, G.A.G., Joffe, A. 1965. Oral/rectal temperature differences during work and heat stress. Journal of applied physiology. 20(2):283-287. March.

- Taylor, N.A.S. 1986. Eccrine sweat glands. Adaptations to physical training and heat acclimation. Sport medicine. 3:387-397.
- Vander, A.J., Sherman, J.H., Luciano, D.S. 1980. Human physiology: The mechanisms of body function. 3rd ed. New York: Mcgraw-Hill. 724p.
- Vogt, J.J., Meyer, J.P., Candas, V., Libert, J.P., Sagot, J.C. 1983. Pumping effects on thermal insulation of clothing worn by human subjects. Ergonomics. 26(10): 963-974.
- Vogt, J.J., Libert, J.P., Candas, V., Daull, F., Mairiaux, Ph. 1983. Heart rate and spontaneous work-rest cycles during exposure to heat. Ergonomics. 26(12):1173-1185.
- Wentzel, J.D., Page-Shipp, R.J., Kruger, H., Meyer, P.H. 1985. Climatic design data: Typical summer and winter design days for 23 stations and daily mean temperatures and temperature amplitudes for 113 stations in South Africa. National Building Research Institute. Pretoria. Bou 73.
- Wyndham, C.H., Strydom, N.B., Morrison, J.F., Du Toit, F.D., Kraan, J.G. 1954a. Thermal responses of men with high initial temperatures to the stress of heat and work. Journal of applied physiology. 6(11):687-690. May.
- Wyndham, C.H., Strydom, N.B., Morrison, J.F., Du Toit F.D., Kraan, J.G. 1954b. Responses of unacclimatised men under stress of heat and work. Journal of applied physiology. 6:681-686.