

Ser. 4
S44-5

SZW

Ministerie van Sociale Zaken
en Werkgelegenheid

2e ex

Meetmethoden voor het vastleggen van klimaat- omstandigheden in bedrijven: toepassing van "personal monitoring"

S 44-5

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



NIA0041246

Meetmethoden voor het vastleggen van klimaat-omstandigheden in bedrijven: toepassing van "personal monitoring"

ir. C.W.J. Cox

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

ISN-nr. 4751
plaats Ser. 4, S 44-5
datum

24 JAN. 1991

Onderzoek uitgevoerd in opdracht van het
Directoraat-Generaal van de Arbeid door de
Hoofdgroep Maatschappelijke Technologie TNO,
Afdeling Binnenmilieu

oktober 1990

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Cox, C.W.J.

Meetmethoden voor het vastleggen van klimaatomstandigheden in bedrijven: toepassing van "personal monitoring" / C.W.J. Cox ; met medew. van: J.M. Koppers, Y. te Poel. - Voorburg: Directoraat-Generaal van de Arbeid van het Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid. - Ill. - ([Studie] / Directoraat-Generaal van de Arbeid, Arbeidsinspectie, ISSN 0921-9218 ; S44-5)

Met lit. opg.

ISBN 90-5307-108-3

SISO 329.1 UDC 331.4

Trefw.: klimaatomstandigheden ; bedrijven.

INHOUD

	pag.
SAMENVATTING	
1. INLEIDING	7
2. BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOCHE WERKPLEK	10
3. MEETMETHODE	12
3.1 Beschrijving van de meetset voor personal monitoring	12
3.2 Metingen in de papierfabriek	13
4. RESULTATEN VAN DE METINGEN	16
4.1 Metingen op 17 oktober 1989	16
4.2 Metingen op 9 november 1989	17
5. VERGELIJKING VAN DE RESULTATEN OP BASIS VAN VERSCHILLENDE METHODIEKEN	18
5.1 Resultaten op basis van de meetset voor de personal monitoring	18
5.2 Resultaten op basis van de draagbare meetset	22
5.3 Resultaten op basis van de metingen op de vaste meetpunten	26
5.4 Resultaten van de momentane metingen	26
5.5 Vergelijking van de benodigde tijd voor de verschillende methodieken	31
6. BEOORDELING VAN DE KLIMAATBELASTING	32
6.1 Bepaling van het metabolisme	32
6.2 WBGT en L-index	33
6.2.1 Vergelijking van de waarden op basis van de verschillende methodieken	33
6.2.2 Toetsing aan grenswaarden van de waarden bepaald met de meetset voor personal monitoring	38
6.3 Vereiste zweetproductie	38
6.3.1 Vergelijking van de waarden op basis van de verschillende methodieken	39
6.3.2 Toetsing van de waarden bepaald met de meetset voor personal monitoring	43

INHOUD (vervolg)

	pag.
7. CONCLUSIES	45
8. LITERATUUR	48
BIJLAGE A PRINCIPE VAN DE WARMTESTRALINGSMETER	50
BIJLAGE B MEETRESULTATEN VAN 17 OKTOBER 1989	51
BIJLAGE C MEETRESULTATEN VAN 9 NOVEMBER 1989	62
BIJLAGE D REGISTRATIE VAN ACTIVITEITEN EN VERBLIJF- PLAATSEN VAN DE PROEFPERSOON OP 9 NOVEMBER 1989	81
BIJLAGE E BEREKENING VAN HET METABOLISME	84
BIJLAGE F INVOERGEGEVENS VOOR DE BEREKENING VAN DE VEREISTE ZWEETPRODUKTIE	85

SAMENVATTING

In het kader van het vastleggen van klimaatomstandigheden waaraan werknemers in industriële bedrijven worden blootgesteld vormen de situaties waarin een werknemer op wisselende werkplekken met verschillende en/of wisselende klimaatomstandigheden werkzaam is en knelpunt.

Een oplossing kan mogelijk worden gevonden in een meetset die door de werknemer zelf wordt gedragen, een zogenaamde meetset voor personal monitoring van klimaat.

In opdracht van Directoraat-Generaal van de Arbeid is een door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO ontwikkelde meetset voor personal monitoring van klimaatomstandigheden beproefd in een papierfabriek. Het doel van het onderzoek was na te gaan of de meetset in de praktijk toegepast kan worden zonder dat de werknemer hinder van ondervindt. Daarnaast werd er een vergelijking gemaakt van de resultaten, verkregen met verschillende methodieken voor het vastleggen van het klimaat, en de op basis hiervan berekende waarden van de verschillende klimaatbelastingsindices.

De meetset voor personal monitoring bestaat uit opnemers voor de luchttemperatuur, de vlakstralingstemperatuur, de relatieve vochtigheid, de rectaaltemperatuur en een huidtemperatuur en een data-logger voor de opslag van de meetgegevens. De meetset wordt door een werknemer aan een riem om zijn middel gedragen.

De klimaatomstandigheden waaraan een proefpersoon in de papierfabriek werd blootgesteld zijn bepaald op basis van metingen met de meetset voor personal monitoring, metingen met een draagbare meetset waarmee achter de proefpersoon werd aangelopen en metingen op vaste meetpunten in combinatie met een verblijfsregistratie (zone-methodiek).

Een vergelijking van de mogelijkheden van de verschillende methodieken wordt gegeven in onderstaand overzicht.

	Meten op vaste meetpunten + registratie verblijfplaatsen	Draagbare meetset	Meetset voor personal monitoring
<i>Te meten grootheden:</i>			
luchttemperatuur	x	x	x
stralingstemperatuur	x	x	x
luchtsnelheid	x	-	-
relatieve vochtigheid	x	x	x
rectaaltemperatuur	-	-	x
huidtemperatuur	-	-	x
<i>Uitvoerbaarheid:</i>			
- bij sterke variaties en groot aantal verblijfplaatsen	slecht	goed	goed
- bij geringe variaties en beperkt aantal verblijfplaatsen	goed	goed	goed
- benodigde tijdsduur voor 1 uur meetgegevens (dit onderzoek)	±135 minuten	75-90 minuten	15-30 minuten

Uit de metingen in de papierfabriek is gebleken dat de meetset voor personal monitoring in de praktijk, ook onder moeilijke omstandigheden, goed bruikbaar is. De meetset geeft geen overlast voor de werknemer. De wisselende luchttemperatuur, stralingstemperatuur en luchtvochtigheid waaraan de proefpersonen werden blootgesteld konden met behulp van de meetset gedetailleerd worden geregistreerd.

De resultaten van de metingen met behulp van de meetset voor personal monitoring en die met behulp van een draagbare meetset, waarmee achter de werknemer wordt aangelopen komen goed overeen. De resultaten op basis van de zone-methodiek kwamen, ondanks een beperkt aantal meetpunten, toch redelijk overeen met de resultaten op basis van de andere twee methodieken.

De waarden van de WBGT (Wet Bulb Globe Temperature), de L-index en de vereiste zweetproductie, berekend op basis van de gegevens bepaald met de meetset voor personal monitoring en de draagbare meetset komen goed met elkaar overeen. De waarden op basis van de zone-methodiek wijken enigszins af van de waarden op basis van de andere twee methodieken.

De beoordeling van de belasting op basis van de WBGT en de L-index, gebaseerd op de gegevens verkregen met de meetset voor personal monitoring, corresponderen met de beoordeling op basis van de gemeten rectaaltemperatuur. De beoordeling op basis van de vereiste zweetproductie leidde tot een onderschatting van de belasting. De berekende toelaatbare blootstellingstijd in verband met het te hoog oplopen van de rectaaltemperatuur is te lang gezien de gemeten rectaaltemperatuur.

De berekening van de vereiste zweetproductie is in principe echter niet bedoeld voor voorspellingen ten aanzien van individuele personen.

Toepassing van personal monitoring levert aanzienlijke besparing van de tijd nodig voor de bepaling van het "persoonlijk klimaat" in situaties met wisselende verblijfplaatsen met verschillende en/of wisselende klimaatomstandigheden.

Op basis van het onderzoek wordt het gebruik van de meetset voor personal monitoring aanbevolen in situaties waarin werknemers op een groot aantal werkplekken werkzaam is met verschillende en/of wisselende verblijfplaatsen verblijven.

1. INLEIDING

Het vastleggen van de klimaatgrootheden (luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtsnelheid en relatieve vochtigheid) voor het bepalen van de thermische belasting van een werknemer is relatief eenvoudig wanneer deze zich constant op dezelfde werkplek bevindt of wanneer de klimaatgrootheden ruimtelijk constant zijn in de tijd.

Het vastleggen van het klimaat waaraan een werknemer met wisselende werkplekken in een ruimte met ruimtelijke variaties en variaties in de tijd van de klimaatgrootheden is blootgesteld vormt een probleem.

Volgens Malchaire [1] is in een dergelijke situatie een continue registratie van de klimaatgrootheden (en de persoonsparameters) of vastlegging gedurende opeenvolgende tijdsintervallen noodzakelijk.

Voor het vastleggen van de klimaatgrootheden in geval van ruimtelijke variaties en variaties in de tijd worden door Malchaire [1] twee methodieken beschreven:

1. zone-methodiek;
2. "ambulatory measurement".

Bij de eerste methodiek wordt de ruimte waarin arbeid wordt verricht verdeeld in zones waarin de klimaatgrootheden ruimtelijk constant kunnen worden beschouwd. In elke zone worden vervolgens de klimaatgrootheden, afhankelijk van hun verloop in de tijd, continu of periodiek vastgelegd. Op basis van registratie van het verblijf van de werknemer in de verschillende zones kan het klimaat waarin hij is blootgesteld ("persoonlijk klimaat") worden bepaald. Bij het toepassen van deze methodiek is een voorstudie van de situatie noodzakelijk.

Er wordt aangenomen dat op de grens van twee zones de klimaatgrootheden verschillen. Om de discontinuïteit niet te groot te maken kan in de praktijk vaak een groot aantal zones nodig zijn. Dit leidt tot een grote meetinspanning c.q. arbeidsintensieve metingen. Wanneer het klimaat in de verschillende zones periodiek wordt vastgelegd dient het klimaat op tussenliggende tijdstippen te worden bepaald door interpolatie, uitgaande van een lineair verloop in de tijd. De zone-methodiek is volgens [1] niet toepasbaar in situaties met snel veranderende klimaatgrootheden (bijvoorbeeld eenzijdige, fluctuerende warmtestraling in de staalindustrie).

De tweede methodiek ("ambulatory measurement") bestaat uit het volgen van de werknemer tijdens het werk en meting van alle klimaatgrootheden op de plaatsen waar hij werkt

op elk moment. In situaties met snel wisselende klimaatgrootheden is toepassing van deze methode (volgens [1]) eenvoudiger dan toepassing van de zone-methodiek. Daarnaast kan er een nauwkeurigere schatting van de blootstelling worden gemaakt, mits geschikte instrumenten worden gebruikt.

Voor toepassing van "ambulatory measurement" zijn instrumenten met een korte responsietijd noodzakelijk. Bij de metingen dienen de gemiddelde waarden van de klimaatgrootheden gedurende korte tijdsintervallen (bijvoorbeeld één minuut) systematisch aan het einde van elke interval te worden vastgelegd. In [1] wordt opgemerkt dat dit in de praktijk vaak niet haalbaar zal zijn. Als voorbeeld wordt genoemd twee metingen per minuut van elke klimaatgrootheid, elke meting gemiddeld over vier seconden. Een tijdconstante van 10 seconden van de apparatuur wordt wenselijk/noodzakelijk geacht. Dit komt overeen met een responsietijd (90%) van circa 23 seconden. Het volgen van de werknemer bij deze methodiek kan het normale verloop van de werkzaamheden verstoren.

Malchaire stelt dat er nog geen geschikte instrumenten beschikbaar zijn voor de meting van de warmtestraling en de lichtsnelheid bij "ambulatory measurement". Voor de meting van de warmtestraling is thans apparatuur beschikbaar [2].

De ontwikkeling van meetapparatuur in de verschillende landen is vooral gericht op apparatuur voor metingen op vaste meetpunten.

De zone-methodiek wordt geschikt geacht voor situaties waarin de klimaatomstandigheden ruimtelijk en in de tijd geringe variaties vertonen. Bij situaties met grote verschillen in klimaatomstandigheden dient de voorkeur gegeven te worden aan de "ambulatory measurement" [1].

Als een optimale vorm van "ambulatory measurement" kan worden gezien het vastleggen van het klimaat met een meetset, die de klimaatgrootheden continu registreert en die door de werknemer zelf wordt gedragen. Deze "personal monitoring" van het klimaat kan een aanzienlijke beperking van de meetinspanning opleveren, terwijl de nauwkeurigheid van de vastlegging toeneemt.

Een dergelijke meetset (opnemers en apparatuur voor opslag van de meetwaarden) dient een voldoende laag gewicht te hebben en een zodanige vorm dat de werknemer niet of slechts in geringe mate in zijn activiteiten wordt gestoord. Hierbij speelt de plaats op het lichaam waar de set wordt gedragen een rol.

Evenals bij "ambulatory measurement" dienen de verschillende opnemers voor de klimaatgrootheden een korte responsietijd te hebben. De meetwaarden dienen te worden opgeslagen met behulp van een data-logger, die onderdeel uitmaakt van de meetset. Voldoende kleine data-loggers zijn tegenwoordig commercieel verkrijgbaar.

Door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO is een prototype voor een meetset voor personal monitoring van de klimaatgrootheden op basis van commercieel verkrijgbare opnemers en apparatuur ontwikkeld en beproefd in het laboratorium [2]. In dit rapport zal de beproeving van deze meetset in de praktijk worden beschreven.

Het doel van het onderzoek is na te gaan of de meetset in de praktijk toegepast kan worden zonder dat de werknemer er hinder van ondervindt. Daarnaast wordt er een vergelijking gemaakt van de resultaten, verkregen met verschillende methodieken voor het vastleggen van het klimaat, en de op basis hiervan berekende waarden van de verschillende klimaatbelastingindices.

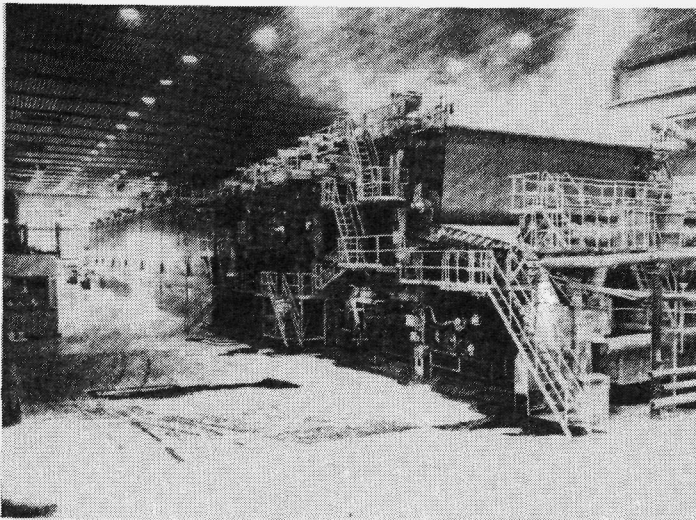
2. BESCHRIJVING VAN DE ONDERZOCHE WERKPLEK

De metingen zijn uitgevoerd in een papierfabriek. De proefpersonen waren zogenaamde drogers, die controle-werkzaamheden uitvoeren aan de papiermachine, de papiermachine schoonhouden van papierresten, bij storingen ervoor dienen te zorgen dat de papiermachine zo snel mogelijk weer kan gaan draaien en toezien op het snijden van de papierrollen.

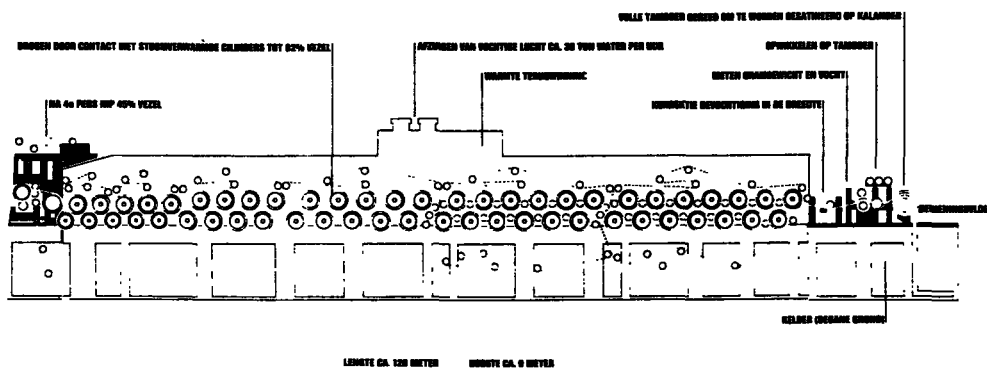
De papiermachine staat in een hal en bestaat uit twee verdiepingen. In Figuur 1 wordt een beeld gegeven van de papiermachine in de hal. Een doorsnede over een deel van de papiermachine wordt gegeven in Figuur 2.

De drogers moeten sommige werkzaamheden onder de kap uitvoeren. Dit kan zowel op de bedieningsvloer (eerste verdieping) als op de begane grond zijn. De kap is noodzakelijk in verband met de conditionering van temperatuur en vochtigheid ten behoeve van het papier. Onder de kap heersen een hoge temperatuur en vochtigheid.

Het verwijderen van papierresten, deels met behulp van perslucht en haken, is te beschouwen als matig zwaar tot zwaar werk. De controle-werkzaamheden, die deels onder de kap en deels in de hal op de eerste verdieping plaatsvinden, zijn te beschouwen als licht werk. Het werk wordt afgewisseld met rustperiodes in de controle-kamer op de eerste verdieping.



Figuur 1 Hal met papiermachine.



Figuur 2 Doorsnede over een deel van de papiermachine.

3. MEETMETHODE

3.1 Beschrijving van de meetset voor personal monitoring

Uitgangspunt voor de meetset voor personal monitoring van klimaatgrootheden is een data-logger van het type Squirrel van de firma Grant (Grant Squirrel 1201). Deze data-logger, met afmetingen 180 mm x 160 mm x 60 mm en een gewicht van 990 g, is in een leren houder geplaatst. Deze houder wordt met behulp van een clip aan een riem bevestigd.

Aan de buitenzijde van de houder is een aluminium kokertje aangebracht (lengte 145 mm, doorsnede 35 mm). In het kokertje is een mini-ventilator geplaatst (Micronel V301L 006 DA GK) die wordt gevoed met een 5,6 V zinklucht batterij (Duracell Activair Battery DA164). De batterij is aan de zijkant van het kokertje bevestigd. Met behulp van de mini-ventilator wordt lucht door het kokertje gezogen met een snelheid van circa 2 m/s.

De luchttemperatuur wordt gemeten met behulp van een in de koker aangebrachte thermistor (YSI 44202, 2000 Ohm bij 25°C).

De relative vochtigheid wordt gemeten met een Vaisala-probe (Vaisala VH-L). De opnemer in deze probe wordt gevormd door een dunne capacitieve kunststoffilm. Deze probe is dwars op de lengte-as van de koker geplaatst. Het gedeelte van de opnemer steekt door een opening in de koker.

In het gedeelte van de koker waar de opnemers zich bevinden is een aluminium stralingscherm aangebracht evenwijdig aan de wand van de koker. Ter bescherming van de opnemers tegen vervuiling is aan de zuigzijde van de koker een metalen gaas aangebracht.

Voor de meting van de "plane radiant temperature" is gekozen voor een gemodificeerde versie van de zogenaamde Hund-UDRM warmte-stralingsmeter. Het meetprincipe wordt beschreven in Bijlage A. Met de UDRM wordt slechts in één richting gemeten. De opnemer is losgekoppeld van het apparaat. Hierdoor kan de opnemer op een geschikte plaats op het lichaam worden aangebracht, bijvoorbeeld de borst. De modificatie is door de firma Dräger uitgevoerd. De uitleeseenheid van de stralingsmeter (afmetingen 150x90x40 mm, 220 g) kan bijvoorbeeld in een zak van de kleding van een persoon worden geplaatst.

De responsietijd voor het bereiken van 63% van de eindwaarde is voor de genoemde sensoren korter dan 10 seconden. De responsietijd voor het bereiken van 90% van de eind-

waarde is korter dan 20 seconden [2]. ISO 7726 [3] stelt dat voor de drie beschouwde grootheden een zo kort mogelijke responsietijd (90%) moet worden nagestreefd.

Naast de meting van de klimaatgrootheden kunnen met de meetset ook de, met behulp van thermistors gemeten, kerntemperatuur en de huidtemperatuur worden geregistreerd.

De meting van de luchtsnelheid met behulp van de meetset is nog niet mogelijk.

3.2 Metingen in de papierfabriek

Er zijn twee meetsessies uitgevoerd, op 17 oktober 1989 en op 9 november 1989.

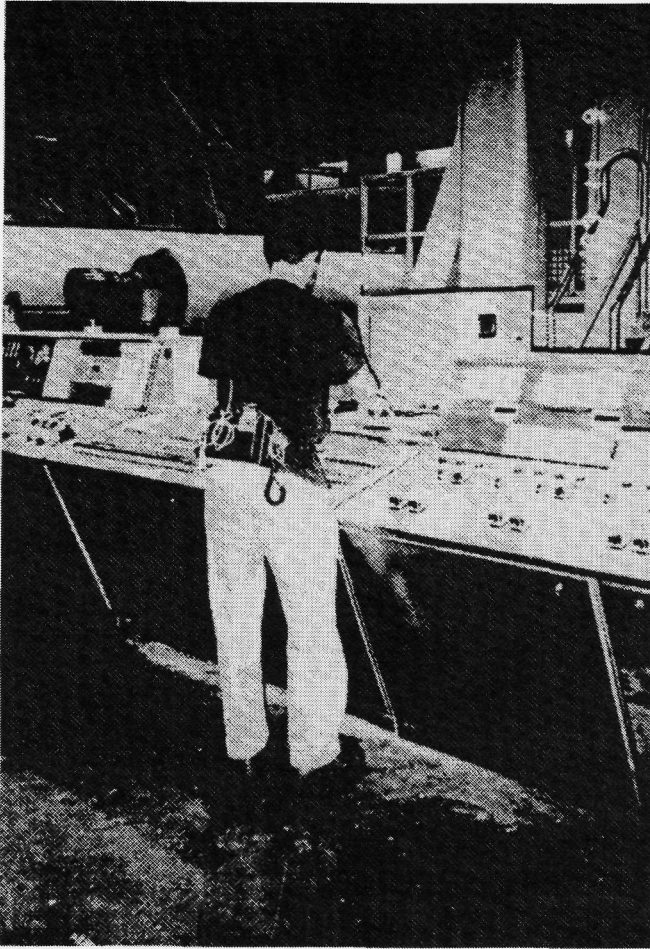
Bij elke meetsessie werd bij een proefpersoon de meetset voor personal monitoring aan een riem op de rug aangebracht (zie Figuur 3). De opnemer voor de plane radiant temperature werd op de borst bevestigd.

Naast de meting van luchttemperatuur, de relatieve vochtigheid en de plane radiant temperature is een meting met behulp van een mini-globe (diameter 38 mm) uitgevoerd. De mini-globe werd met een kunststof houder op circa 5 cm van de meetset bevestigd.

De kerntemperatuur van de proefpersoon werd, overeenkomstig [4] gemeten met behulp van een thermistor (YSI 700), 8 cm in de anus geplaatst. De huidtemperatuur van de binnenzijde van de dij werd gemeten met een thermistor. Volgens Rodahl [5] is de huidtemperatuur op deze plaats representatief voor de gemiddelde huidtemperatuur.

Ten behoeve van de bepaling van het metabolisme werd de hartslagfrequentie van de proefpersoon gemeten met behulp van een zogenaamde sporttester (Polar Electro). Een relatie tussen hartslagfrequentie en metabolisme werd bepaald door het laten verrichten van een oplopende belastingproef op een fietsergometer. Hierbij werd de zuurstofopname geschat volgens Astrand [6] en de hartslagfrequentie gemeten. Deze metingen werden uitgevoerd door de Bedrijfsgezondheidsdienst voor Arnhem e.o. (zie Bijlage E).

Het gewichtsverlies van de proefpersoon gedurende een werkdag werd bepaald uit weging (AND FV-150K, oplossend vermogen 50 g) voor en na het werk en registratie van het gewicht van voedsel en drank.



Figuur 3 Proefpersoon met meetset voor personal monitoring.

Op drie plaatsen werden metingen verricht met vast opgestelde meetapparatuur:

- op de begane grond onder de kap van de papiermachine: luchttemperatuur, relatieve vochtigheid en globetemperatuur;
- op de eerste verdieping buiten de kap: luchttemperatuur, relatieve vochtigheid en globetemperatuur;
- in de controle-kamer: luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, lichtsnelheid en relatieve vochtigheid.

Bij de eerste sessie (17 oktober 1989) werden op plaatsen waar de proefpersoon zich bevond met handapparatuur klimaatgrootheden gemeten: luchttemperatuur en relatieve voch-

tigheid (Vaisala VH-L), gemiddelde stralingstemperatuur (Hund MDRM), de plane radiant temperature (Hund UDRM) en de luchtsnelheid (TSI). Hiertoe werd met de proefpersoon meegelopen.

Ten behoeve van de momentane meting van de klimaatgrootheden tijdens de tweede sessie (9 november 1989) werd gebruik gemaakt van een tableau waarop waren bevestigd een data-logger (Grant, Squirrel 1201) en opnemers voor de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid (Vaisala VH-L), de gemiddelde stralingstemperatuur (Hund MDRM) en de luchtsnelheid (Weather W241-MA). De uitgangsspanningen van de verschillende opnemers werden continu geregistreerd (middelingstijd 1 minuut). Naar deze metingen, die te karakteriseren zijn als "ambulatory measurement" (zie inleiding), zal in het vervolg van dit rapport worden verwezen als de metingen met de draagbare meetset. Aanvullende metingen werden verricht met handapparatuur.

Tijdens de twee sessies werden de door de proefpersoon verrichte activiteiten en de plaatsen waar hij verbleef continu geregistreerd.

4. RESULTATEN VAN DE METINGEN

4.1 Metingen op 17 oktober 1989

Het gewicht van de proefpersoon bij aanvang van de metingen bedroeg 72,8 kg. Tijdens de werkzaamheden droeg hij een onderbroek, een werkbreek (katoen), een t-shirt (korte mouw, kraagje) thermojack (lange mouw) en lage werkschoenen. Het gewicht van de kleding exclusief schoenen bedroeg 1,0 kg. De kleding-isolatie, berekend met behulp van de methode van bedekt oppervlak [7], bedroeg 0,6 clo.

De meetresultaten van de metingen met de meetset voor personal monitoring worden gegeven in de figuren B.1 t/m B.8 van Bijlage B.

De globetemperatuur vertoont enkele uitschieters. Het is niet duidelijk waardoor dit veroorzaakt is.

Na 20.30 uur is de huidtemperatuuropmeter losgeraakt. De met deze opnemer gemeten waarden zijn vanaf dit tijd nagenoeg gelijk aan de luchttemperatuur.

In de figuren B.9 en B.10 zijn de resultaten van de stationaire metingen weergegeven. Figuur B.9 heeft betrekking op de meting op de begane grond onder de kap. Figuur B.10 heeft betrekking op de meting in de hal op de eerste verdieping. In Figuur B.9 zijn duidelijk de onderbrekingen in het produktieproces ten gevolge van papierbreuk te herkennen. Dit geldt met name voor de verloop van de relatieve vochtigheid.

In In Figuur B.11 is het verloop van de hartslagfrequentie als functie van de tijd weergegeven. De starttijd (tijdstip 0) correspondeert met 14.09 uur. De horizontale lijnen in de figuur hebben betrekking op de hartslag bij $V_{O_2,max}$, de hartslag bij de anaërobe drempel en de hartslag bij de aërobe drempel. De hartslag bij $V_{O_2,max}$ is berekend als 220 - leeftijd. De hartslag bij de anaërobe drempel is berekend als 0,85 maal de hartslag bij $V_{O_2,max}$ en de hartslag bij de aërobe drempel als 0,7 maal de hartslag bij $V_{O_2,max}$. De percentages bij de lijnen hebben betrekking op het percentage van de tijd dat deze waarden worden overschreden.

Het gewichtsverlies tussen 14.00 uur en 22.00 uur bedroeg 900 ± 50 g. Het gewicht van de kleding was ten gevolge van absorptie van zweet toegenomen met 150 ± 50 g. De proefpersoon nam 1670 g voedsel en drank tot zich. Het netto vochtverlies lag derhalve tussen 2620 en 2820 g. Het maximaal toelaatbare vochtverlies gedurende acht uur bedraagt voor een

geacclimatiseerd persoon 3900 g en voor een niet geacclimatiseerd persoon 2600 g [8]. Er is dus sprake van een hoge belasting door klimaat en werk.

4.2 Metingen op 9 november 1989

Bij aanvang van de metingen woog de proefpersoon 91,3 kg. Tijdens de werkzaamheden droeg hij een onderbroek, een werkbreek (katoen), een t-shirt (korte mouw), en lage werkschoenen. Het gewicht van de kleding exclusief schoenen bedroeg 0,75 kg. De kleding-isolatie, berekend met behulp van de methode van bedekt oppervlak [7], bedroeg 0,5 clo.

De meetresultaten van de metingen met de meetset voor personal monitoring worden gegeven in de figuren C.1 t/m C.8 van Bijlage C.

Het verloop van de globetemperatuur vertoont een aantal uitschieters. Dit is mogelijk het gevolg van een los contact ten gevolge van het stoten van de globe tegen voorwerpen.

In Figuur C.8 t/m C.16 zijn de momentane waarden van de luchttemperatuur, relatieve vochtigheid, de gemiddelde stralingstemperatuur en de (relatieve) lichtsnelheid weergegeven, gemeten met de draagbare meetset. Het betreft hier 1-minuutgemiddelden.

De in de draagbare meetset toegepaste anemometer is enigszins richtinggevoelig. Hierdoor wordt de relatieve lichtsnelheid ten opzichte van de proefpersoon onderschat. In het verloop van de lichtsnelheid is het lopen van de proefpersoon niet duidelijk te herkennen.

Overigens leidt deze onderschatting van de lichtsnelheid niet tot grote onnauwkeurigheden in bepaling van de WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) [9], de L-index, en de vereiste zweetproductie [8] omdat de lichtsnelheid ofwel niet in de berekening wordt meegenomen (WBGT, L-index) ofwel bij de berekening een correctie voor de lichtsnelheid wordt gemaakt op basis van het metabolisme (vereiste zweetproductie) (zie Hoofdstuk 5).

In de Figuren C.17 en C.18 zijn de resultaten van de stationaire metingen weergegeven. Figuur C.17 heeft betrekking op de meting op de begane grond onder de kap. Figuur C.18 heeft betrekking op de meting in de hal op de eerste verdieping. Het aantal onderbrekingen ten gevolge van papierbreuk was laag waardoor temperaturen en vochtigheid slechts weinig variëren.

Het gewichtsverlies tussen 14.00 uur en 22.00 uur bedroeg 1700 ± 50 g. Er was geen gewichtstoename van de kleding ten gevolge van absorptie. De proefpersoon nam 1280 g voedsel en drank tot zich. Het netto vochtverlies lag tussen 2930 en 3030 g. Er was dus sprake van een hoge belasting door klimaat en werk.

5. VERGELIJKING VAN DE RESULTATEN OP BASIS VAN DE VERSCHILLENDE METHODIEKEN

Voor een nadere analyse van de meetgegevens zijn de metingen van 9 november 1989 gekozen. Deze periode is representatief voor de werkzaamheden en de verblijfplaatsen van een droger.

5.1 Resultaten op basis van de meetset voor personal monitoring

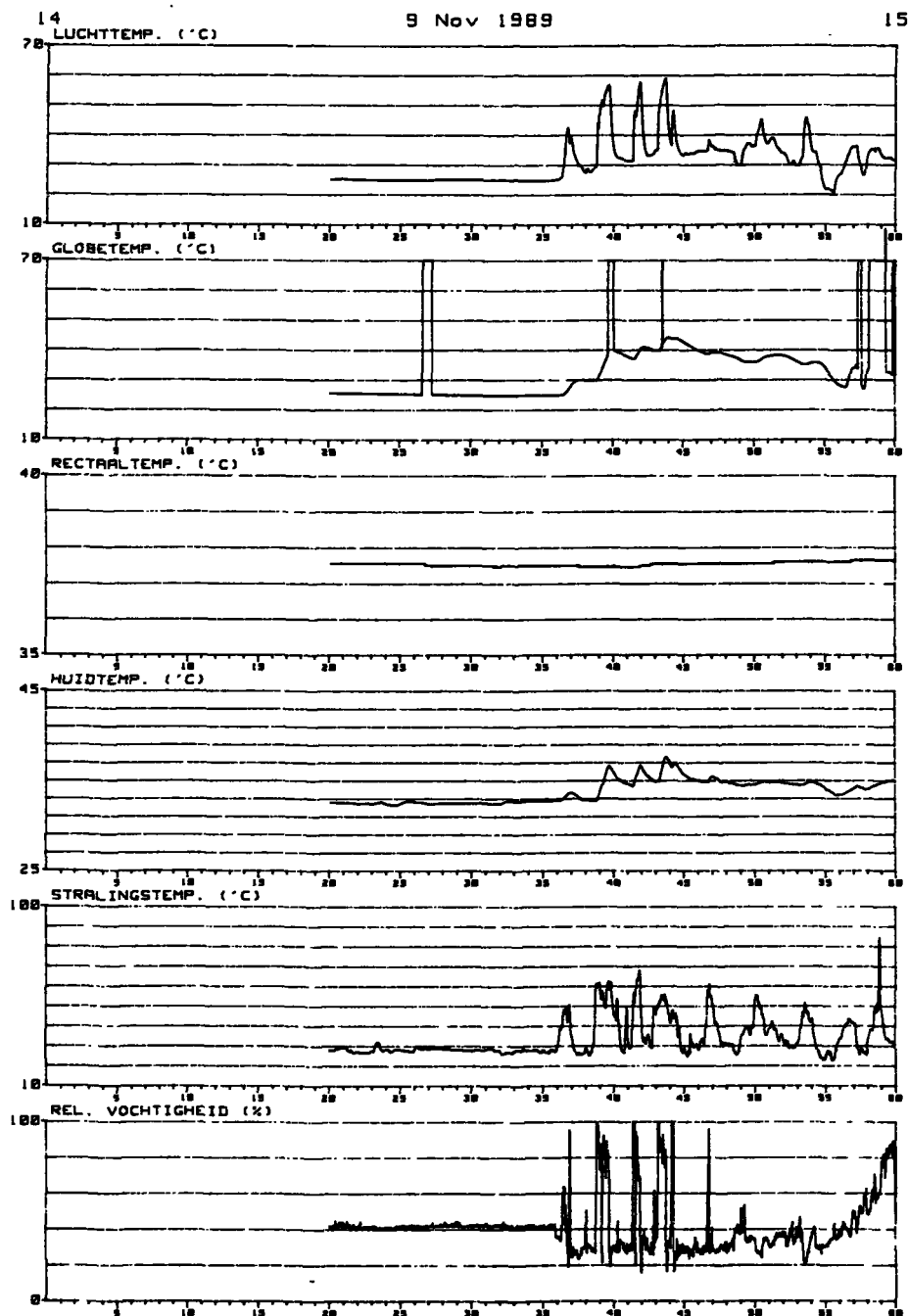
De met behulp van de meetset voor personal monitoring gemeten waarden van de luchttemperatuur, de globe-temperatuur, de vlakstralingstemperatuur, de relatieve vochtigheid, de rectaaltemperatuur en de huidtemperatuur van 14.20 tot 17.00 uur worden gegeven in Figuur 4 t/m 6. De resultaten van de registratie van de verblijfplaatsen en de activiteiten van de proefpersoon worden gegeven in Bijlage D.

Door de snelle responsietijden van de opnemers van de meetset voor personal monitoring (de mini-globe uitgezonderd) zijn in de registratie duidelijk de verschillende klimaatomstandigheden op de verschillende plaatsen waar de proefpersoon zich bevond terug te zien. Voorbeelden zijn het afwisselend wel en niet onder de kap verblijven tussen 14.38 uur en 14.47 uur, het kortstondig verblijf in de buitenlucht op het dak van 15.02 uur tot 15.04 uur. Bij de werkzaamheden onder de kap van 15.16 uur tot 15.32 uur zijn in het verloop van de luchttemperatuur duidelijk de perioden te onderscheiden waarin de proefpersoon zich op de bordessen bevond. Op deze bordessen is de luchttemperatuur hoger. Tevens is uit de metingen en de registratie van de verblijfplaatsen af te leiden dat de luchttemperatuur onder de kap aan het eind van de papierbaan lager is dan aan het begin van de papierbaan. Dit wordt bevestigd door momentane metingen van de luchttemperatuur.

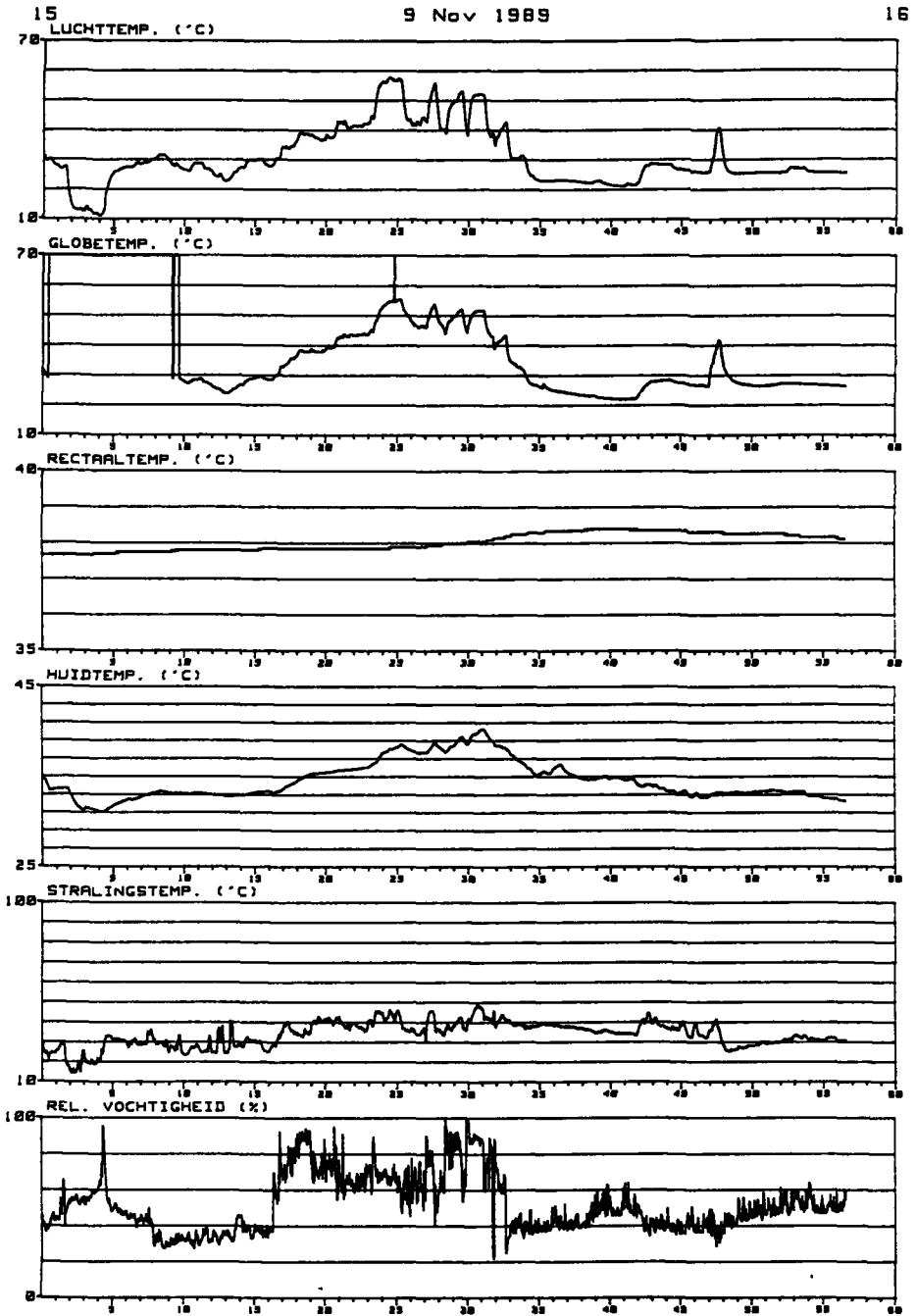
De mini-globe is duidelijk trager dan de opnemers voor de luchttemperatuur, de vlakstralingstemperatuur en de relatieve vochtigheid, maar lijkt toch een goed beeld te geven van het gecombineerde effect van lucht- en stralingstemperatuur.

Uit de waarden van de rectaaltemperatuur valt af te leiden dat de fysiologische belasting ten gevolge van het klimaat en het metabolisme groot is. Na het beëindigen van de werkzaamheden onder de kap op de begane grond (15.32 uur) overschrijdt de rectaaltemperatuur de grenswaarde van 38°C. De maximale waarde bedroeg 38,5°C. De rectaaltemperatuur was bij aanvang van de meting relatief hoog (37,5°C).

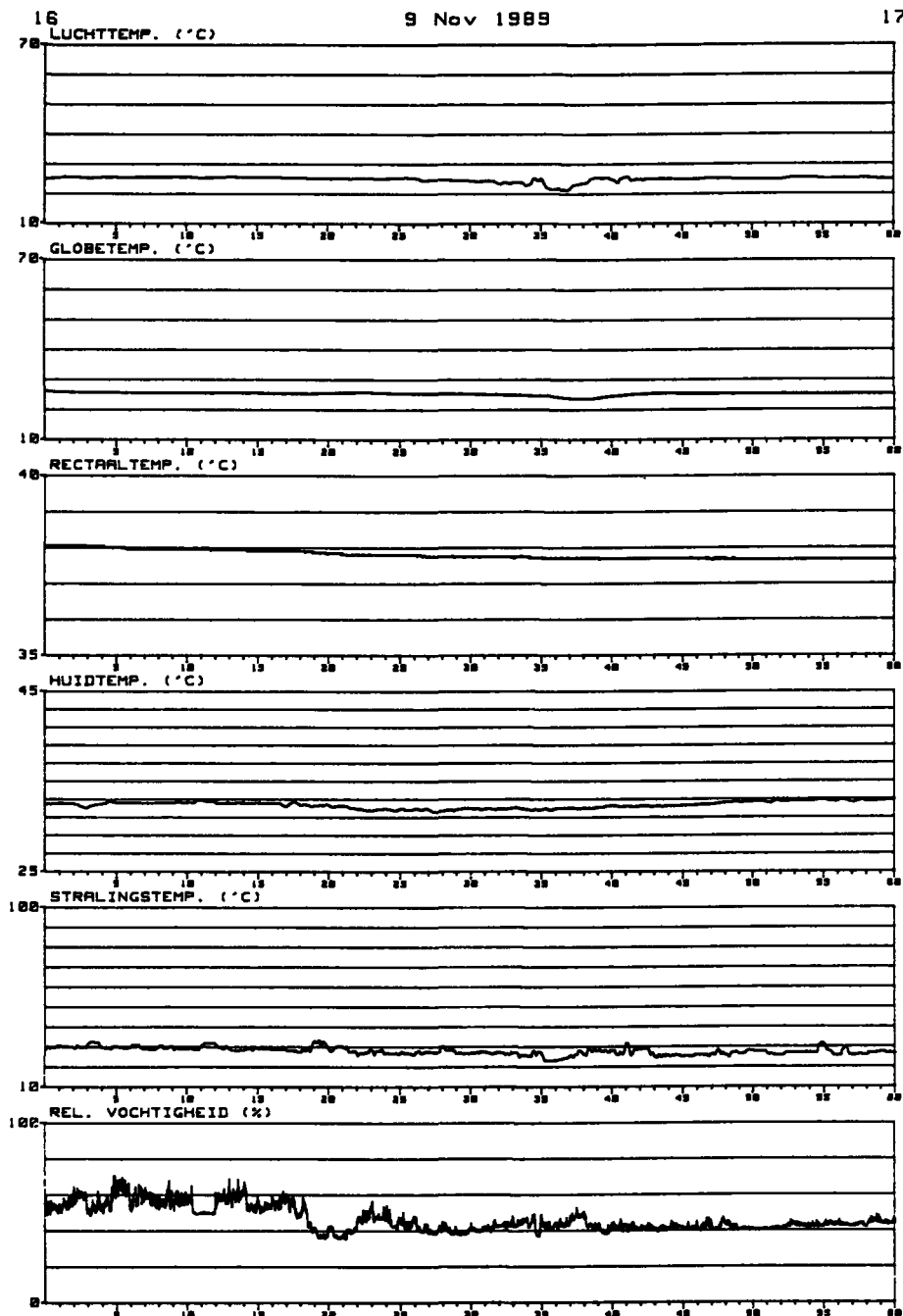
De hoge belasting door het klimaat onder de kap blijkt uit de waarden van de huidtemperatuur.



Figuur 4 Met de meetset voor personal monitoring gemeten luchttemperatuur, globetemperatuur, rectaaltemperatuur, huidtemperatuur, vlakstralingstemperatuur en relatieve vochtigheid van 14.00 tot 15.00 uur op 9 november 1989.



Figuur 5 Met de meetset voor personal monitoring gemeten luchttemperatuur, globetemperatuur, rectaaltemperatuur, huidtemperatuur, vlakstralingstemperatuur en relatieve vochtigheid van 15.00 tot 16.00 uur op 9 november 1989.

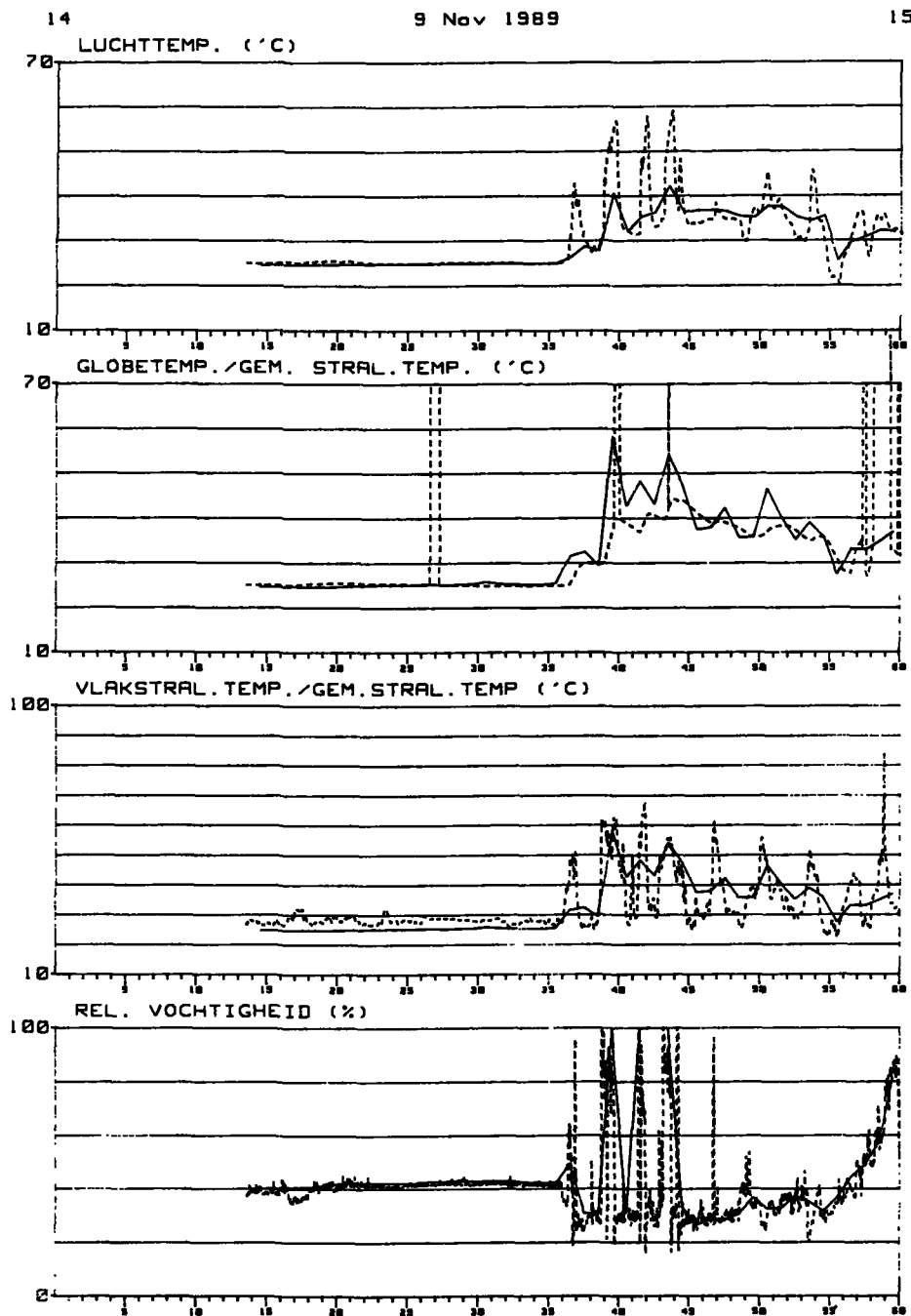


Figuur 6 Met de meetset voor personal monitoring gemeten luchttemperatuur, globetemperatuur, rectaaltemperatuur, huidtemperatuur, vlakstralingstemperatuur en relatieve vochtigheid van 16.00 tot 17.00 uur op 9 november 1989.

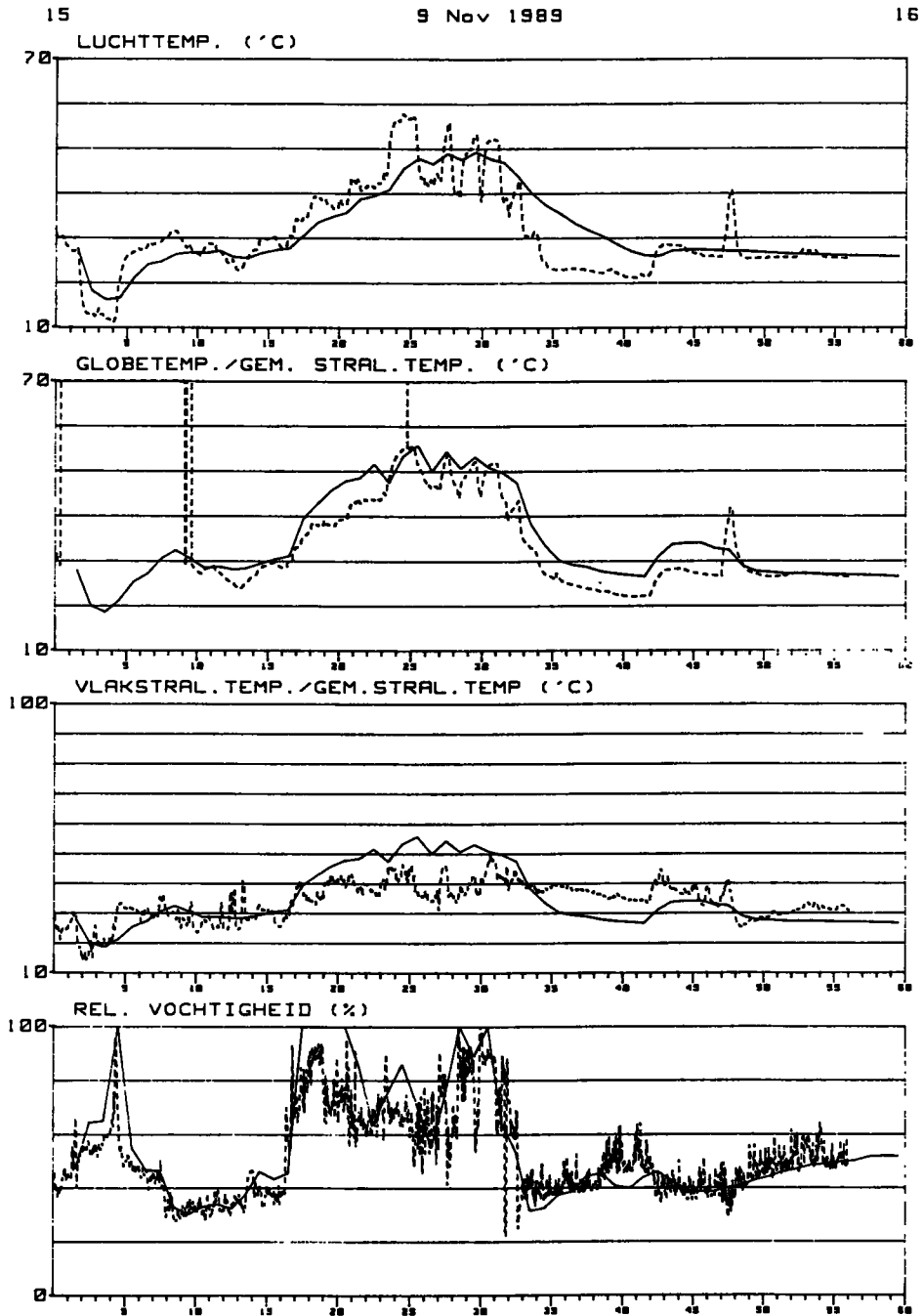
5.2 Resultaten op basis van de draagbare meetset

De met behulp van de draagbare meetset gemeten waarden (minuutgemiddelden) van de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur en de relatieve vochtigheid van 14.20 tot 17.00 uur worden gegeven in Figuur 7 t/m 9. In deze figuren zijn ook de overeenkomstige grootheden gemeten met de meetset voor personal monitoring weergegeven. Doordat bij de metingen met de draagbare meetset minuutgemiddelde waarden zijn opgeslagen (mede in verband met de traagheid van de niet geventileerde opnemers voor luchttemperatuur en relatieve vochtigheid) worden de variaties van de grootheden gedempt weergegeven. Desalniettemin komen de resultaten verkregen met de twee methodieken goed overeen.

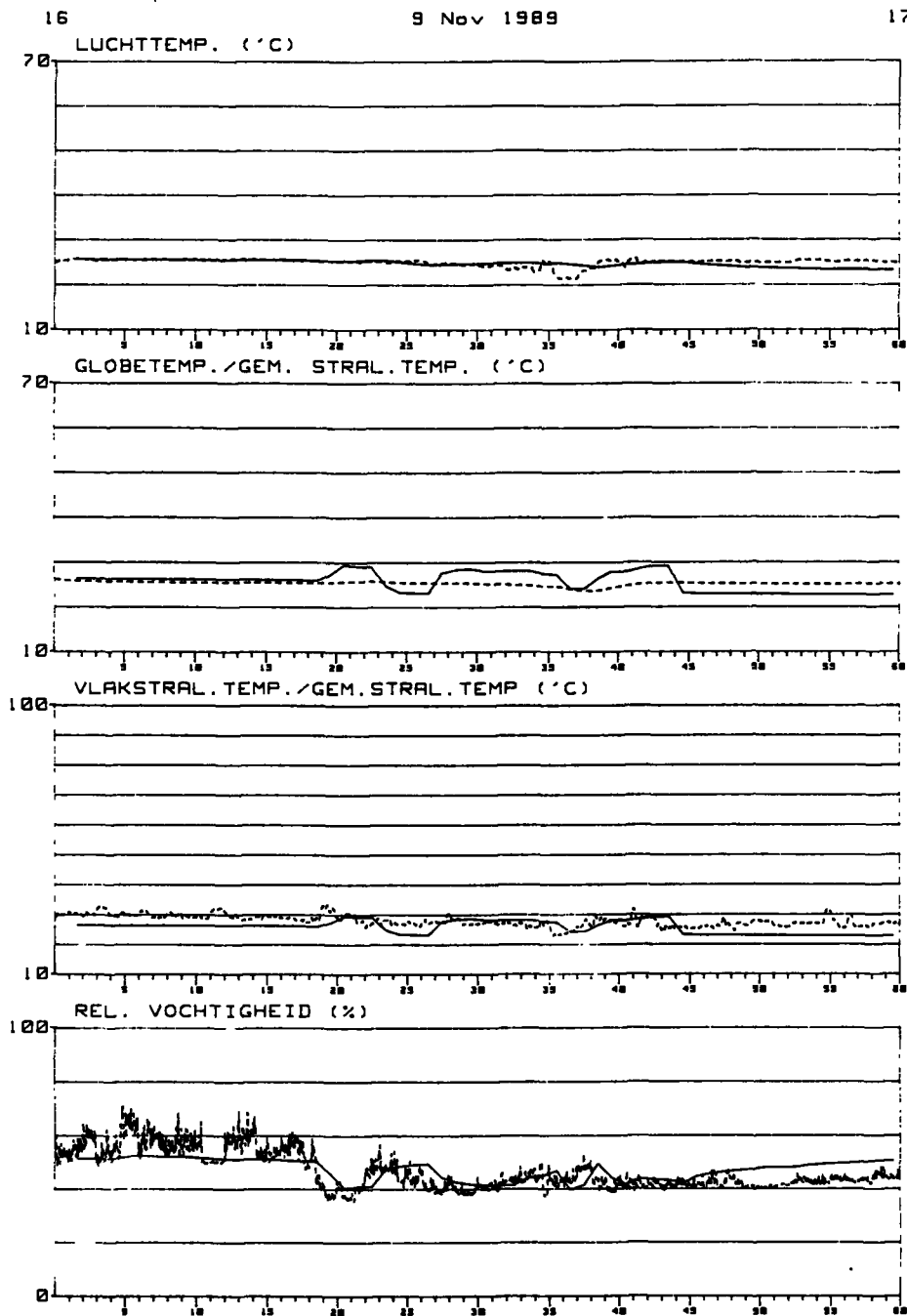
Uit de metingen met de draagbare meetset blijkt dat de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur niet veel van elkaar afwijken. Hierdoor is ook het verschil tussen de (mini-)globetemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur niet groot. Opmerkelijk is dat de verschillen tussen de gemiddelde stralingstemperatuur en de vlakstralingstemperatuur over het algemeen niet groot zijn, ondanks het feit dat de laatste maar in één richting gemeten is. De wisselende oriëntatie van de proefpersoon geeft blijkbaar een goede middeling. Tussen 15.15 uur en 15.40 uur zijn de verschillen tussen de gemiddelde stralingstemperatuur en de vlakstralingstemperatuur vrij groot. Het verschil tussen 15.15 en 15.30 uur kan worden verklaard doordat de opnemer voor de vlakstralingstemperatuur enigszins werd afgeschermd ten gevolge van de werkzaamheden van de proefpersoon. De hogere vlakstralingstemperatuur in de periode van 15.30 tot 15.40 uur kan mogelijk worden verklaard door de opwarming van de opnemer.



Figuur 7 Met de draagbare meetset gemeten waarden (ononderbroken lijn) voor de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur en de relatieve vochtigheid en met de meetset voor personal monitoring gemeten waarden (onderbroken lijn) voor de luchttemperatuur, globetemperatuur, vlakstralingstemperatuur en relatieve vochtigheid van 14.00 tot 15.00 uur op 9 november 1989.



Figuur 8 Met de draagbare meetset gemeten waarden (ononderbroken lijn) voor de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur en de relatieve vochtigheid en met de meetset voor personal monitoring gemeten waarden (onderbroken lijn) voor de luchttemperatuur, globetemperatuur, vlakstralingstemperatuur en relatieve vochtigheid van 15.00 tot 16.00 uur op 9 november 1989.



Figuur 9 Met de draagbare meetset gemeten waarden (ononderbroken lijn) voor de luchttemperatuur, de gemiddelde stralingstemperatuur en de relatieve vochtigheid en met de meetset voor personal monitoring gemeten waarden (onderbroken lijn) voor de luchttemperatuur, globetemperatuur, vlakstralingstemperatuur en relatieve vochtigheid van 16.00 tot 17.00 uur op 9 november 1989.

5.3 Resultaten op basis van de metingen op de vaste meetpunten

Bij de metingen op 9 november zijn drie vaste meetpunten ingericht: één in de hal op de eerste verdieping buiten de kap, één onder de kap op de begane grond en één in de controle-kamer. Gezien het grote aantal verschillende werkplekken en de daar optredende klimaatomstandigheden is dit slechts een zeer beperkt aantal meetpunten. Voor een strikte toepassing van de zone-methodiek, zoals beschreven in de Inleiding, zou een groter aantal meetpunten nodig zijn geweest.

In de Figuren 10 en 11 worden de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid waaraan de proefpersoon werd blootgesteld gegeven zoals die zijn afgeleid uit metingen op de vaste meetpunten en de registratie van het verblijf van de proefpersoon. Voor verblijfplaatsen waar geen metingen van aanwezig waren zijn de waarden genomen van plaatsen waarvan de klimaatomstandigheden naar verwachting het best met de werkelijke plaats overeen kwamen. Er is gewerkt met tijdsintervallen van minimaal één minuut. In de figuren zijn tevens de waarden gemeten met de meetset voor personal monitoring aangegeven.

Vanzelfsprekend zijn de verschillen tussen de resultaten verkregen op de twee manieren vrij groot. Toch lijken de gemiddelde waarden op basis van de twee manieren tussen 15.00 en 16.00 uur redelijk goed overeen te komen. In Hoofdstuk 6 zal worden ingegaan op het effect van de verschillen op de beoordeling van de klimaatbelasting.

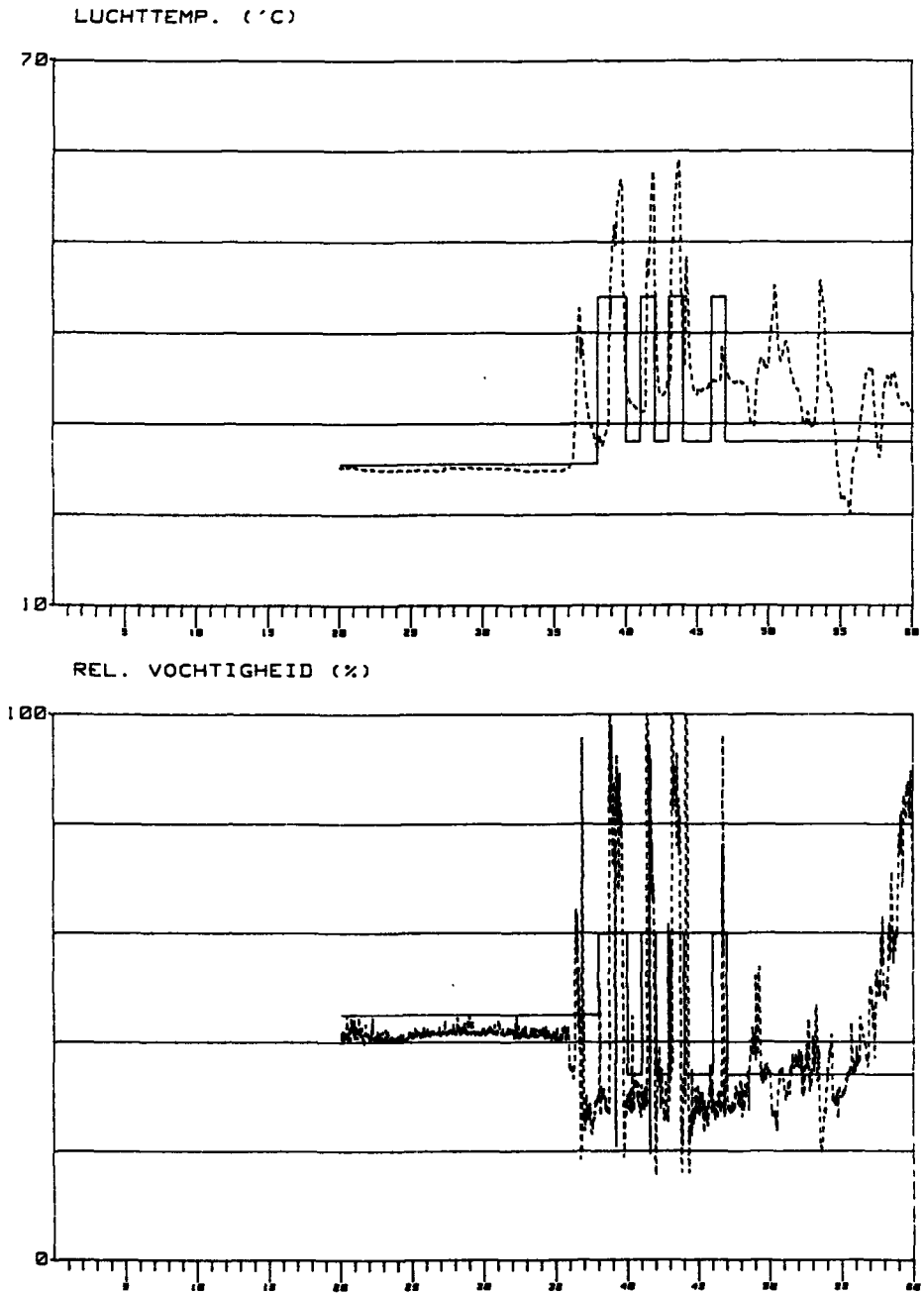
5.4 Resultaten van de momentane metingen

Door de Bedrijfsgezondheidsdienst Arnhem e.o. zijn momentane metingen van de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid uitgevoerd. In de Figuren 12 en 13 worden de resultaten van deze metingen weergegeven, samen met de waarden gemeten met de meetset voor personal monitoring. De resultaten sluiten goed bij elkaar aan.

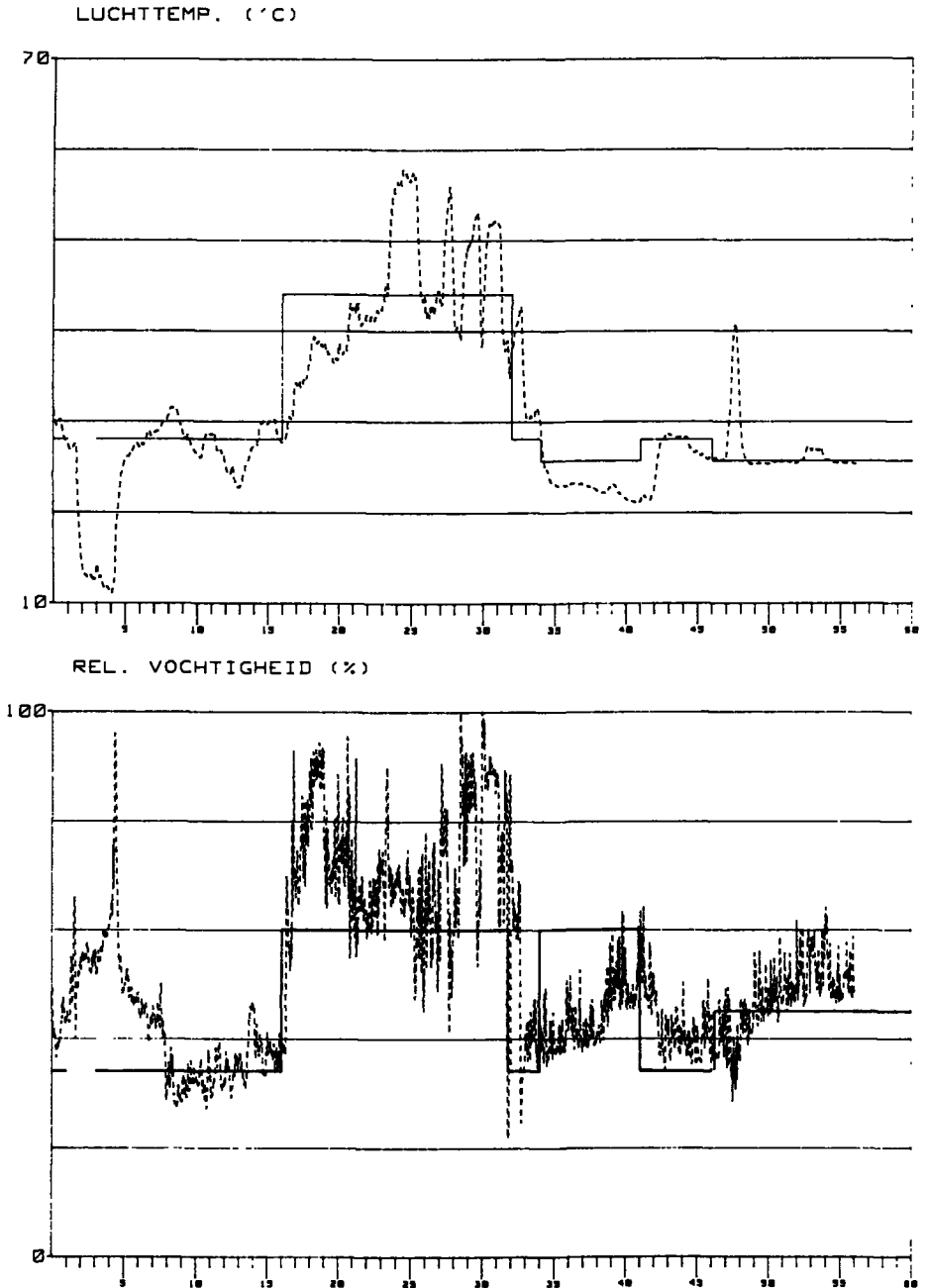
14

9 Nov 1989

15



Figuur 10 Luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid waaraan de proefpersoon is blootgesteld, afgeleid uit de metingen op de vaste meetpunten en de verblijfsregistratie (ononderbroken lijn), en de waarden gemeten met de meetset voor personal monitoring (onderbroken lijn) van 14.00 tot 15.00 uur op 9 november 1989.

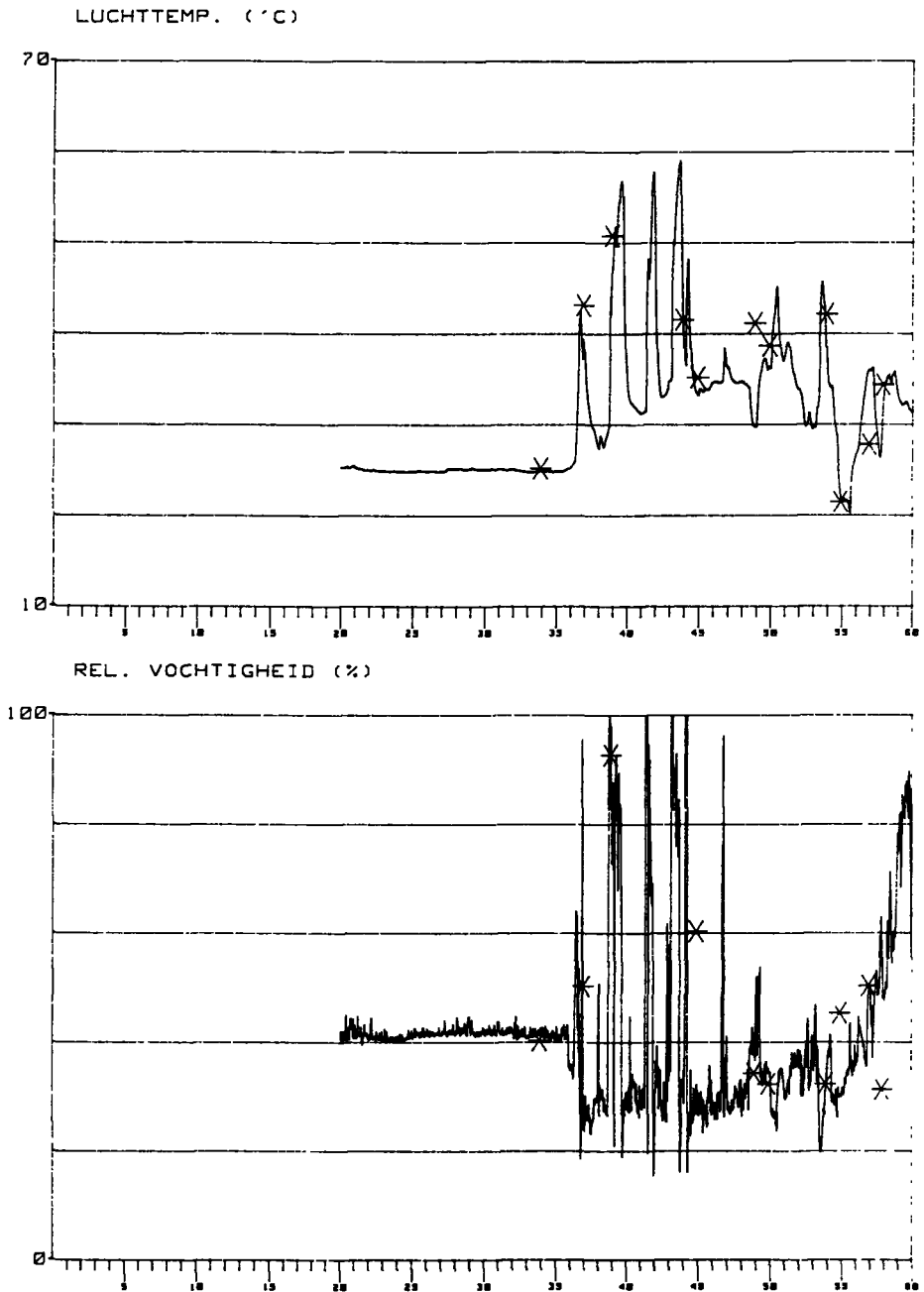


Figuur 11 Luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid waaraan de proefpersoon is blootgesteld, afgeleid uit de metingen op de vaste meetpunten en de verblijfsregistratie (ononderbroken lijn), en de waarden gemeten met de meetset voor personal monitoring (onderbroken lijn) van 15.00 tot 16.00 uur op 9 november 1989.

14

9 Nov 1989

15

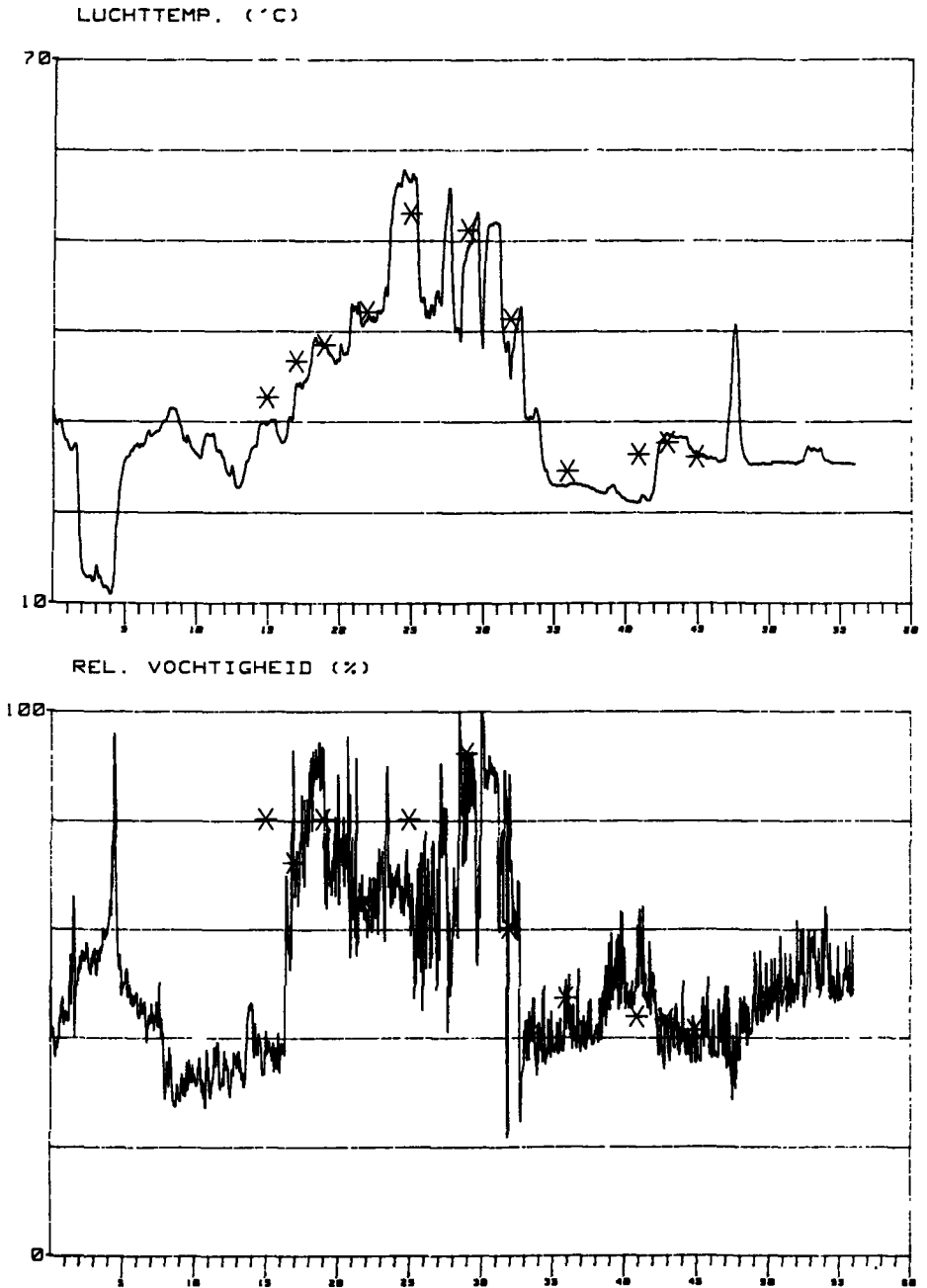


Figuur 12 Luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid op basis van momentane metingen (*) en op basis van de metingen met meetset voor personal monitoring (ononderbroken lijn) van 14.00 tot 15.00 uur op 9 november 1989.

15

9 Nov 1989

16



Figuur 13 Luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid op basis van momentane metingen (*) en op basis van de metingen met meetset voor personal monitoring (ononderbroken lijn) van 15.00 tot 16.00 uur op 9 november 1989.

5.5 Vergelijking van de benodigde tijd voor de verschillende methodieken

Voor het vastleggen van de klimaatomstandigheden waaraan een werknemer wordt blootgesteld met behulp van de meetset voor personal monitoring was, behalve voor het installeren van de set, geen menskracht nodig. Het uitwerken van de metingen tot een grafische weergave van de metingen vroeg circa een kwartier tot een half uur per uur meetgegevens. De totaal benodigde tijd voor het bepalen van het "persoonlijk" klimaat bedroeg dus 15 tot 30 minuten voor elk uur meetgegevens. Het feit dat de luchtsnelheid niet met behulp van de meetset voor personal monitoring is gemeten is buiten beschouwing gelaten.

Bij het vastleggen van de klimaatomstandigheden met behulp van de draagbare meetset moest iemand met de meetset achter de werknemer aanlopen. Hierdoor vroeg een meting voor de vastlegging van de klimaatomstandigheden gedurende één uur ook de inzet van één persoon. Voor de grafische weergave was evenals bij de meetset voor personal monitoring circa een kwartier tot een half uur nodig. De totaal benodigde tijd voor deze methodiek ("ambulatory measurement") komt daarmee op 75 tot 90 minuten voor elk uur meetgegevens.

Voor het opzetten van de apparatuur op de vaste meetpunten was circa een kwartier nodig. Voor het registreren van de verblijfplaatsen van een werknemer moest iemand met de werknemer meelopen. Het bepalen van het "persoonlijk klimaat" uit de metingen en de registratie vroeg circa één uur per uur meetgegevens. De totaal benodigde tijd komt voor de "zone-methodiek" daarmee op circa 135 minuten voor elk uur meetgegevens.

Er kan worden geconcludeerd dat het toepassen van de meetset voor personal monitoring een duidelijke besparing geeft op de tijd die nodig is voor het vastleggen van de klimaatomstandigheden waaraan een werknemer wordt blootgesteld wanneer deze werkzaam is op verschillende plekken met verschillende klimaatomstandigheden.

6. BEOORDELING VAN DE KLIMAATBELASTING

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de beoordeling van de klimaatbelasting op basis van de gegevens verkregen met de verschillende methoden. De belasting zal worden beoordeeld op basis van de WBGT [9], de L-index [10] en de "Required Sweat Rate" (vereiste zweetproductie, [8]).

6.1 Bepaling van het metabolisme

Uit de fietsergometerproef, uitgevoerd door de bedrijfsgezondheidsdienst Arnhem e.o., is de relatie afgeleid tussen hartslagfrequentie en metabolisme (zie Bijlage E):

$$M = 4,57 * hf - 246,4 \quad (\text{W/m}^2)$$

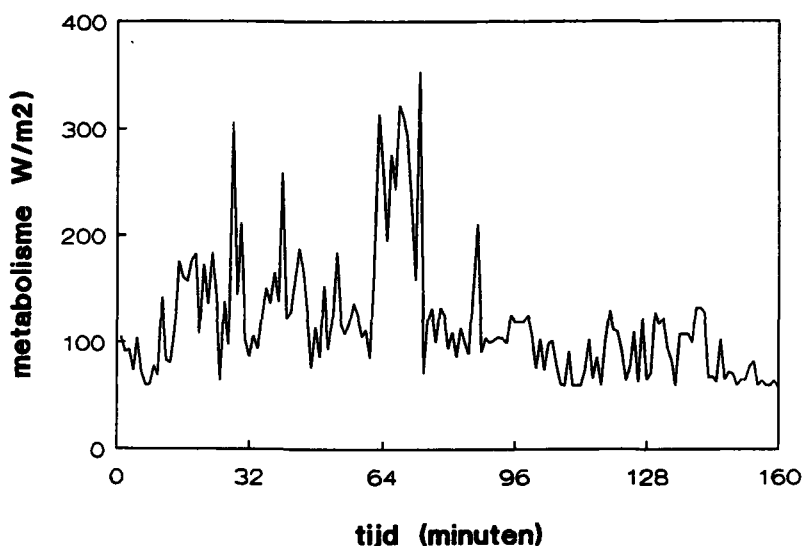
waarin: M = metabolisme in (W/m^2)
 hf = hartslagfrequentie in slagen/ minuut

De hartslagfrequentie wordt ook beïnvloed door de lichaamstemperatuur. Een correctie kan worden gemaakt op basis van de gemeten waarden van de rectaaltemperatuur en de huidtemperatuur met behulp van de formule [5]:

$$\Delta hf = 21 * \Delta \Theta_{\text{rect}} + 3,5 * \Delta \Theta_{\text{huid}}$$

waarin: Δhf = correctie van hartslagfrequentie (slagen/minuut)
 $\Delta \Theta_{\text{rect}}$ = toename van de rectaaltemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)
 $\Delta \Theta_{\text{huid}}$ = toename van de huidtemperatuur ($^{\circ}\text{C}$)

De minuutgemiddelde waarden van het metabolisme worden gegeven in Figuur 14. De correcties op basis van de kerntemperatuur en de huidtemperatuur leiden tot bijstellingen van het metabolisme tot maximaal 175 W/m^2 .



Figuur 14 Minuutgemiddelde waarden van het metabolisme, tijdstip komt overeen met 14.20 uur.

6.2 WBGT en L-index

6.2.1 Vergelijking van de waarden op basis van de verschillende methodieken

Uit de waarden van de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid zijn de WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) en L-index bepaald. Dit is gedaan voor de waarden op basis van de meetset voor personal monitoring, de waarden op basis van de metingen met de draagbare meetset en de waarden op basis van de vaste meetpunten.

De WBGT wordt berekend als [9]:

$$\text{WBGT} = 0,7 \cdot \Theta_{\text{nm}} + 0,3 \cdot \Theta_{\text{g}}$$

waarin: Θ_{nm} = de natuurlijke natte-boltemperatuur (°C)

Θ_{g} = de globetemperatuur (°C)

De globetemperatuur dient te worden gemeten met een globe met een diameter van 150 mm. De natte-boltemperatuur dient te worden gemeten met een op natuurlijke wijze geventileerde temperatuuropmeter, die niet voor straling is afgeschermd. Aangezien met de meetset voor personal monitoring en de draagbare meetset geen globetemperatuur en geen natuurlijke natte-boltemperatuur zijn gemeten zijn hiervoor schattingen gedaan.

De globetemperatuur is berekend als het gemiddelde van de luchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur. Bij hoge luchtsnelheden wordt de globetemperatuur overschat. Aangezien lucht- en stralingstemperatuur over het algemeen weinig van elkaar afwijken zal de onnauwkeurigheid beperkt blijven.

Uit de luchttemperatuur en de relatieve vochtigheid kan de psychrometrische natte-boltemperatuur worden bepaald. De opnemer voor de natte-boltemperatuur, die op natuurlijke wijze wordt geventileerd en niet wordt afgeschermd voor straling, is, in tegenstelling tot de psychrometrische natte-boltemperatuur, ook afhankelijk van de stralingstemperatuur en de luchtsnelheid. De grootste afwijkingen tussen psychrometrische en natuurlijke natte-boltemperatuur treden op bij lage luchtsnelheden en grote verschillen tussen lucht- en stralingstemperatuur. Uit de metingen is afgeleid dat de globetemperatuur maximaal circa 4°C afwijkt van de luchttemperatuur. De luchtsnelheid is over het algemeen laag. Op basis van de gegevens van Romero [11] is vervolgens afgeleid dat de natuurlijke natte boltemperatuur maximaal 2,4°C hoger zal zijn geweest dan de psychrometrische natte-boltemperatuur.

Bij de bepaling van de WBGT en de L-index op basis van de metingen op de vaste meetpunten is alleen de waarde bepaald uitgaande van de situatie luchttemperatuur = globetemperatuur, omdat de waarden de lucht- en globetemperatuur op de vaste meetpunten nauwelijks van elkaar afwijken (zie de Figuren C.17 en C.18, Bijlage C).

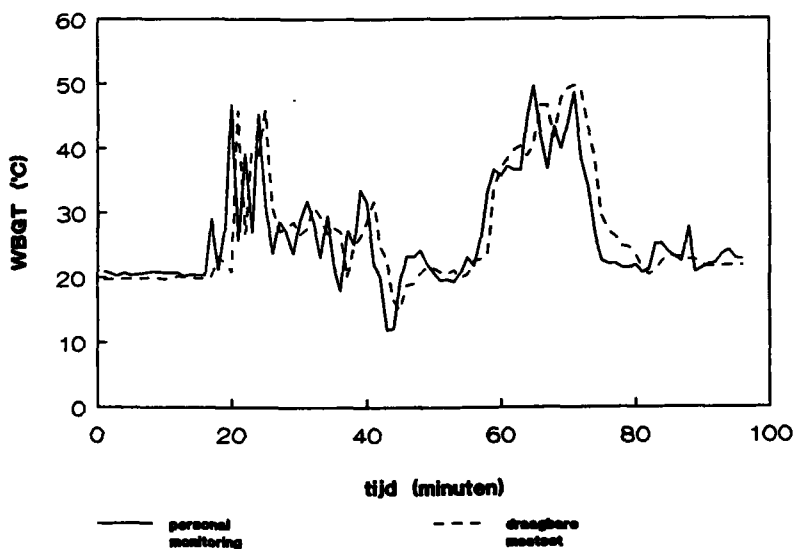
In het kader van de Arbo-wet dient het klimaat op de arbeidsplaats te voldoen aan de eisen uit het Veiligheidsbesluit Fabrieken of Werkplaatsen [10]. Als toetsingscriterium wordt de zogenaamde L-index gehanteerd, die wordt bepaald als:

$$L = (42 \cdot \Theta_a - 8 \cdot \Theta_n) / (34 + \Theta_a - \Theta_n)$$

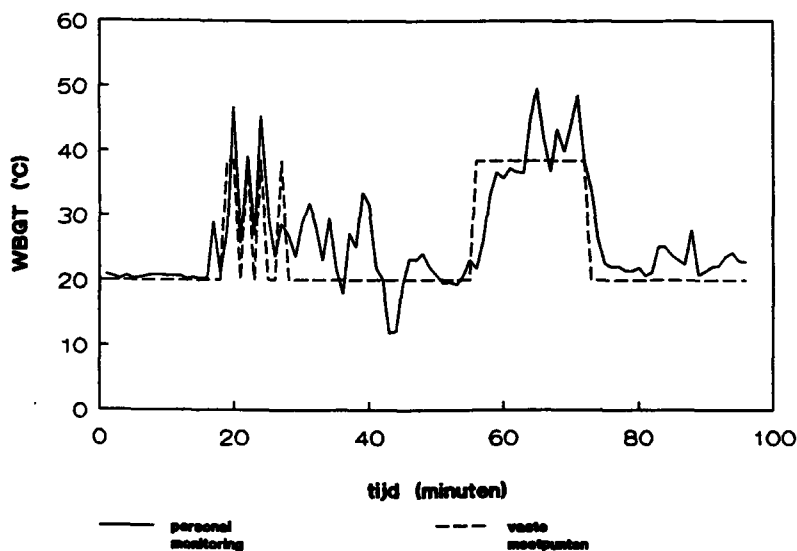
waarin: Θ_a = de luchttemperatuur (°C)

Θ_n = de psychrometrische natte-boltemperatuur (°C)

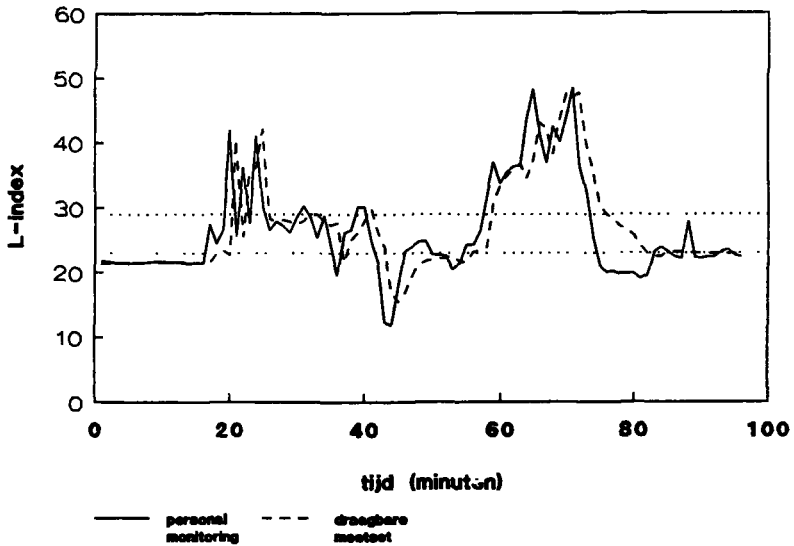
Op basis van de meetgegevens zijn minuutgemiddelde waarden van WBGT en de L-index bepaald. Voor de periode van 14.20 tot 16.00 uur worden de resultaten weergegeven in de Figuren 15 en 16 en de Figuren 17 en 18.



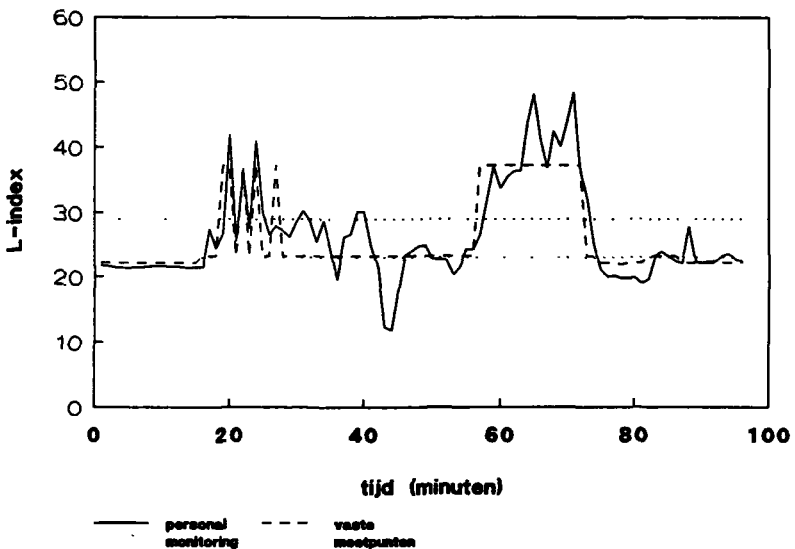
Figuur 15 Verloop van de WBGT (minuutgemiddelde waarden) op basis van de metingen met de meetset voor personal monitoring (ononderbroken lijn) en de metingen met de draagbare meetset (onderbroken lijn) van 14.20 uur (tijd = 0 minuten) tot 16.00 uur (tijd = 100 minuten).



Figuur 16 Verloop van de WBGT (minuutgemiddelde waarden) op basis van de metingen met de meetset voor personal monitoring (ononderbroken lijn) en de metingen op de vaste meetpunten (onderbroken lijn) van 14.20 uur (tijd = 0 minuten) tot 16.00 uur (tijd = 100 minuten).



Figuur 17 Verloop van de L-index (minuutgemiddelde waarden) op basis van de metingen met de meetset voor personal monitoring (ononderbroken lijn) en de metingen met de draagbare meetset (onderbroken lijn) van 14.20 uur (tijd = 0 minuten) tot 16.00 uur (tijd = 100 minuten).



Figuur 18 Verloop van de L-index (minuutgemiddelde waarden) op basis van de metingen met de meetset voor personal monitoring (ononderbroken lijn) en de metingen op de vaste meetpunten (onderbroken lijn) van 14.20 uur (tijd = 0 minuten) tot 16.00 uur (tijd = 100 minuten).

In de Figuren 17 en 18 zijn de grenswaarden $L=23$ en $L=29$ aangegeven.

De waarden op basis van de meetset voor personal monitoring en de draagbare meetset wijken niet veel van elkaar af. Door de grotere traagheid van de opnemers van de draagbare meetset is er een verschuiving in de tijd ten opzichte van de waarden op basis van de meetset voor personal monitoring. De waarden op basis van de vaste meetpunten zijn gedurende sommige intervallen duidelijk lager dan de waarden op basis van de andere twee methoden. De grenswaarde 29 van de L-index wordt gedurende een groot percentage van de tijd overschreden.

Bij de beoordeling van de L-index wordt evenwel niet aangegeven of dient te worden beoordeeld op basis van een momentane waarde of een gemiddelde waarde over een bepaalde periode. De beoordeling op basis van de WBGT dient te worden gebaseerd op een periode van één uur die representatief is voor de belasting [9]. In een beoordeling op basis van de momentane waarde van de WBGT is niet voorzien in NEN-ISO 7243.

Voor zowel WBGT als L-index is de gemiddelde waarde bepaald voor de periode van 14.35 uur tot 15.34 uur. De resultaten worden gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Gemiddelde waarden voor de WBGT en de L-index voor de periode van 14.35 tot 15.34 uur.

	Personal monitoring	Draagbare meetset	Vaste meetpunten
WBGT (°C)	29,3	30,3	26,6
L-index	29,3	29,4	28,2

De gemiddelde waarden op basis van de meetset voor personal monitoring en die op basis van de draagbare meetset laten een verschil zien van 1°C. De hogere waarden op basis van de draagbare meetset kunnen worden verklaard uit de grotere traagheid van de opnemers van deze meetset en de hogere waarde van de stralingstemperatuur die werd gemeten. De gemiddelde waarde van L-index op basis van de twee methoden komt goed overeen.

De waarden voor de WBGT en de L-index op basis van de metingen op de vaste meetpunten zijn, zoals verwacht kon worden op basis van de Figuren 16 en 18 duidelijk lager dan op basis van de andere twee methodieken. Dit is toe te schrijven aan het beperkte aantal meetpunten.

6.2.2 Toetsing op basis van de waarden bepaald met de meetset voor personal monitoring

Het gemiddelde metabolisme in de periode van 14.35 tot 15.34 uur bedraagt 163 W/m^2 . Hiermee corresponderen limietwaarden van de WBGT van respectievelijk 28°C (geacclimatiseerd) en 26°C (ongeacclimatiseerd) [9]. Deze waarden worden overschreden en er zouden dus maatregelen moeten worden genomen om de belasting ten gevolge van het klimaat en de activiteiten te beperken. Dit komt overeen met de beoordeling op basis van de meting van de rectaaltemperatuur, die na 15.32 uur de grenswaarde van 38°C overschreed.

De *L*-index buiten was lager dan 18. De *L*-index binnen mag maximaal 5 hoger zijn dan de *L*-index buiten. De toelaatbare waarde van 23 wordt gedurende een groot percentage van de tijd overschreden. De waarde 23 mag echter worden overschreden wanneer het productieproces eisen stelt aan het binnenklimaat. Dit is bij het hier beschouwde productieproces het geval. De maximaal toelaatbare waarde van de *L*-index is 29. Wanneer deze waarde wordt overschreden dient de arbeidsduur te worden beperkt.

De *L*-index overschrijdt gedurende enige tijd de waarde 29. De gemiddelde waarde voor de periode van 14.35 uur tot 15.34 uur is ook hoger dan 29. Dit betekent dat maatregelen ter beperking van de blootstelling vereist zijn.

6.3 Vereiste zweetproductie

In het kader van het vierde EGKS-programma "Ergonomie voor de Kolen- en Staalindustrie" is een validatie-onderzoek van hittebelastingsindices uitgevoerd [12]. Aan dit onderzoek werd deelgenomen door onderzoeksteams uit West-Duitsland, Engeland, België, Frankrijk en Denemarken. De volgens ISO 7933 [8] berekende vereiste zweetproductie blijkt een betere benadering van de gemeten zweetproductie dan de volgens andere hittebelastingsindices berekende zweetproductie (ITS, P4SR) [12, 13]. ISO 7933 zal in de loop van 1990 ook als Nederlandse norm worden uitgebracht.

De beperking van de blootstelling op basis van de vereiste zweetproductie is aan de veilige kant wanneer de criteria voor het waarschuwniveau worden aangehouden. Daarnaast bleken WBGT en vereiste zweetproductie nagenoeg identieke resultaten te geven ten aanzien van de beperking van de blootstelling.

voorgesteld om voor de voorspelling van de zweetproductie bij kortdurende blootstelling aan wisselende klimaatomstandigheden rekening te houden met het vertraagd op gang komen van de zweetproductie. Er wordt een exponentiële weging van de zweetproductie met een tijdconstante van 10 minuten en van de huidtemperatuur met een tijdconstante van 3 minuten voorgesteld. Deze voorstellen zijn nog niet opgenomen in de ISO norm 7933.

6.3.1 Vergelijking van de waarden op basis van de verschillende methodieken

Op basis van de resultaten verkregen met de verschillende methodieken is een berekening van de vereiste zweetproductie volgens ISO 7933 [8] gemaakt. De invoergegevens van de snelheid zijn bij alle drie de methodieken ontleend aan de metingen met de draagbare meetset. Bij waarden op basis van de meetset voor personal monitoring is voor de gemiddelde stralingstemperatuur de waarde van de vlakstralingstemperatuur aangehouden. De invoergegevens worden gegeven in Bijlage F.

Bij de beoordeling worden 18 deelperioden onderscheiden (zie Tabel 2). Deze deelperioden zijn bepaald op basis van de verschillende activiteiten en de verschillende klimaatomstandigheden op de verschillende verblijfplaatsen. De minimale duur van een periode is één minuut. Voor elke periode zijn de gemiddelde waarden bepaald uit de minuutgemiddelde waarden van de verschillende grootheden.

De resultaten van de berekeningen worden vermeld in de tabellen 3 t/m 5. De gegeven resultaten hebben betrekking op het waarschuwningsniveau voor een geacclimatiseerd persoon.

De resultaten op basis van de metingen met de meetset voor personal monitoring en die op basis van de metingen met de draagbare meetset komen goed overeen, met name de gemiddelde waarden. Voor enkele afzonderlijke perioden zijn er duidelijke verschillen ten gevolge van de verschillende invoerwaarden.

De gemiddelde waarden op basis van de metingen op de vaste meetpunten komen redelijk overeen met die op basis van de andere twee methodieken. De toelaatbare blootsteldingsduur voor de periode van 14.35 tot 15.34 uur wijkt echter duidelijk af van de toelaatbare blootstellingstijden op basis van de andere twee methodieken. Door het beperkte aantal meetpunten zijn de verschillen voor sommige perioden relatief groot.

Tabel 2 *Deelperioden ten behoeve van de bepaling van de klimaatindices.*

Periode	Tijd	Verblijfplaats
1	14.20 - 14.35	controle-kamer
2	14.35 - 14.38	hal, eerste verdieping
3	14.38 - 14.40	onder kap, eerste verdieping
4	14.40 - 14.41	hal, eerste verdieping
5	14.41 - 14.42	onder kap, eerste verdieping
6	14.42 - 14.43	hal, eerste verdieping
7	14.43 - 14.44	onder kap, eerste verdieping
8	14.44 - 14.46	hal, eerste verdieping
9	14.46 - 14.47	onder kap, eerste verdieping
10	14.47 - 15.02	tweede/derde verdieping
11	15.02 - 15.04	buiten, op dak
12	15.04 - 15.16	hal, begane grond
13	15.15 - 15.32	onder kap, begane grond
14	15.32 - 15.34	hal, begane grond
15	15.34 - 15.41	stofregelkamer, eerste verdieping
16	15.41 - 15.46	hal, eerste verdieping
17	15.46 - 16.06	controle-kamer
18	16.06 - 17.00	controle-kamer/hal, eerste verdieping

Tabel 3 Resultaten van de berekeningen met het model van vereiste zweetproductie - meetset voor personal monitoring.

Periode	Fractie nat huidoppervlak (-)	Verdamping (W/m ²)	Zweetproductie		Toelaatbare blootstellingsduur (minuten)
			(W/m ²)	(g/h)	
1	0,2	39	41	105	480
2	0,55	126	129	386	480
3	1	120	241	626	43*
4	0,64	158	199	518	451
5	1	82	165	428	28*
6	0,73	174	238	618	378**
7	1	0	300	780	13*
8	0,55	109	128	333	480
9	0,54	107	125	327	480
10	0,63	136	170	442	480
11	0,08	22	22	58	480
12	0,33	76	80	210	480
13	1	2	5	12	12*
14	0,80	204	300	780	300**
15	0,30	69	72	188	480
16	0,37	81	87	227	480
17	0,33	64	68	177	480
18	0,16	31	31	82	480
gemiddelde					
1 t/m 18 (14.20-17.00)	0,46	83	93	241	480
2 t/m 16 (14.35-15.46)	0,86	143	227	591	395**
2 t/m 14 (14.35-15.34)	0,99	153	300	780	300**

* vanwege te hoog oplopen van de lichaamstemperatuur

** vanwege een te hoog vochtverlies

Tabel 4 Resultaten van de berekeningen met het model van vereiste zweetproductie - draagbare meetset.

Periode	Fractie nat huidoppervlak (-)	Verdamping (W/m ²)	Zweetproductie		Toelaatbare blootstellingsduur (minuten)
			(W/m ²)	(g/h)	
1	0,16	32	33	85	480
2	0,48	110	124	322	480
3	1	144	289	750	259*
4	0,67	168	216	561	417**
5	1	27	54	139	21*
6	1	10	19	50	15*
7	1	0	300	780	14*
8	0,57	118	141	367	480
9	0,50	104	119	310	480
10	0,65	135	171	444	480
11	0,19	46	47	123	480
12	0,28	63	65	170	480
13	1	0	300	780	11*
14	0,97	160	300	780	35*
15	0,41	84	92	240	480
16	0,31	66	70	182	480
17	0,28	54	56	147	480
18	0,12	24	24	62	480
gemiddelde					
1 1/m 18 (14.20-17.00)	0,46	81	91	238	480
2 1/m 16 (14.35-15.46)	0,93	144	255	663	353**
2 1/m 14 (14.20-15.34)	1	143	286	745	210*

* vanwege te hoog oplopen van de lichaamstemperatuur

** vanwege een te hoog vochtverlies

Tabel 5 Resultaten van de berekeningen met het model van vereiste zweetproductie - vaste meetpunten.

Periode	Fractie nat huidoppervlak (-)	Verdamping (W/m ²)	Zweetproductie		Toelaatbare blootstellingsduur (minuten)
			(W/m ²)	(g/h)	
1	0,19	36	37	96	480
2	0,46	110	123	321	480
3	1	53	105	274	21*
4	0,49	117	133	346	480
5	1	51	102	265	22*
6	0,52	127	147	381	480
7	1	52	104	270	21*
8	0,26	55	57	149	480
9	1	46	92	240	31*
10	0,41	99	108	281	480
11	0,47	117	131	341	480
12	0,31	73	77	200	480
13	1	55	110	286	14*
14	0,61	152	187	485	386**
15	0,26	55	57	148	480
16	0,28	61	63	165	480
17	0,24	49	50	130	480
18	0,15	28	28	74	480
gemiddelde					
1 t/m 18 (14.20-17.00)	0,41	77	85	220	480
2 t/m 16 (14.35-15.46)	0,72	131	176	458	480
2 t/m 14 (14.20-15.34)	0,83	146	222	576	406**

* vanwege te hoog oplopen van de lichaamstemperatuur

** vanwege een te hoog vochtverlies

6.3.2 Toetsing op basis van de waarden bepaald met de meetset voor personal monitoring

De gemiddelde belasting in het tijdvak 14.20 tot 17.00 uur is matig zoals blijkt uit de fractie nat huidoppervlak (0,46). Dit komt overeen met de beoordeling op basis van de WBGT (zie ook 6.2.2).

De gemiddelde belasting in de perioden waarin wordt gewerkt (14.35-15.46) is hoog. De fractie nat huidoppervlak bedraagt 0,86. Volgens de berekening met het model is de maximaal toelaatbare blootstellingsduur, in verband met een te groot vochtverlies, 395

minuten. Volgens de berekening is er geen gevaar voor het te hoog oplopen van de rectaaltemperatuur. Dit is niet in overeenstemming met de gemeten rectaaltemperatuur.

De voorspelde zweetproductie tijdens de periode van werk waarvoor ook de WBGT is bepaald (14.35-15.34) is gelijk aan de maximaal mogelijke zweetproductie. Op basis van de berekening is geen beperking van de blootstelling noodzakelijk in verband met het te hoog oplopen van de rectaaltemperatuur. Dit is niet in overeenstemming met de gemeten rectaaltemperatuur. Deze discrepantie is mogelijk het gevolg van de hoge rectaaltemperatuur (37,5°C) bij aanvang van de meting. Een andere mogelijke oorzaak vormt de in rekening gebrachte luchtsnelheid. In het model voor de vereiste zweetproductie wordt een zogenaamde relatieve luchtsnelheid bepaald met behulp van de formule:

$$V_{a,rel} = V_a + 0,0052 \cdot (M - 58) \quad (\text{m/s})$$

waarin: $V_{a,rel}$ = relatieve luchtsnelheid (m/s)

V_a = luchtsnelheid ten opzichte van de grond (m/s)

M = metabolisme (W/m^2)

De toename van de luchtsnelheid ten gevolge van de activiteiten wordt begrensd op maximaal 0,7 m/s.

In de hier beschouwde situatie leidt deze berekening in een aantal perioden tot hoge luchtsnelheden waardoor de warmte-afgifte wellicht wordt overschat. Om het effect van de berekening van de relatieve luchtsnelheid op de resultaten na te gaan is een berekening uitgevoerd waarbij de relatieve luchtsnelheid gelijk is gesteld aan het maximum van de luchtsnelheid ten opzichte van de grond en de luchtsnelheid ten gevolge van de activiteit. Voor de periode van 14.35 tot 15.34 uur wordt nu een toelaatbare blootstellingsduur in verband met het te hoog oplopen van de rectaaltemperatuur berekend van 178 minuten. Deze waarde strookt nog steeds niet met de gemeten rectaaltemperatuur.

Bij de vergelijking van de resultaten op basis van de berekening van de vereiste zweetproductie en de gemeten waarden dient evenwel bedacht te worden dat de berekening in principe niet is bedoeld voor voorspellingen ten aanzien van individuele personen.

7. CONCLUSIES

Uit de metingen in de papierfabriek is gebleken dat de meetset voor personal monitoring in de praktijk, ook onder moeilijke omstandigheden goed bruikbaar is. De meetset geeft geen overlast voor de werknemer. De wisselende luchttemperatuur, stralingstemperatuur en luchtvochtigheid waaraan de proefpersonen werden blootgesteld konden met behulp van de meetset gedetailleerd worden geregistreerd.

De resultaten van de metingen met behulp van de meetset voor personal monitoring en die met behulp van een draagbare meetset, waarmee achter de werknemer wordt aangelopen komen goed overeen. De draagbare meetset bestond uit een data-logger en opnemers voor luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtsnelheid en relatieve vochtigheid, die zijn aangebracht op een tableau. De meetset voor personal monitoring kan ook worden gebruikt als draagbare meetset. De opnemer voor de vlakstralingstemperatuur dient dan te worden vervangen door een opnemer voor de gemiddelde stralingstemperatuur.

In tegenstelling tot wat werd verwacht bleek de vlakstralingstemperatuur, gemeten met de meetset voor personal monitoring, goed overeen te komen met de gemiddelde stralingstemperatuur, gemeten met de draagbare meetset.

Zowel voor de meetset voor personal monitoring en de draagbare meetset geldt dat er behoefte is aan een draagbare, batterijgevoede, richtingsongevoelige anemometer met een korte responsietijd. De ontwikkelingen op het gebied van de meetapparatuur zijn vooral gericht op het meten op vaste plaatsen.

Toepassing van de zone-methodiek, het meten van de klimaatomstandigheden op vaste plaatsen in combinatie met een registratie van de verblijfplaatsen van een werknemer, bleek in de papierfabriek praktisch moeilijk uitvoerbaar. Dit werd veroorzaakt door het groot aantal verblijfplaatsen met verschillende klimaatomstandigheden. Uit het onderzoek is echter gebleken dat op basis van een beperkt aantal meetpunten toch een redelijke benadering van het "persoonlijk klimaat" kan worden afgeleid.

De tijden nodig voor het bepalen van de klimaatomstandigheden waaraan de proefpersonen werden blootgesteld als functie van de tijd ("persoonlijk klimaat") bedroeg bij toepassing van de meetset voor personal monitoring 15 tot 30 minuten per uur meetgegevens.

Bij gebruik van de draagbare meetset was dit 75 tot 90 minuten en bij toepassing van de zone-methodiek 180 tot 240 minuten. Bij de laatste methodiek vraagt de uitwerking van de verblijfsregistratie veel tijd.

Toepassing van personal monitoring levert dus een aanzienlijke besparing van de tijd nodig voor de bepaling van het "persoonlijk klimaat" in situaties met wisselende verblijfplaatsen met verschillende en/of wisselende klimaatomstandigheden.

Uit de metingen in de papierfabriek bleek dat bij een hoge belasting, ten gevolge van het klimaat en het activiteitsniveau, bij de bepaling van het metabolisme op basis van de hartslagfrequentie een correctie van de hartslagfrequentie voor de lichaamstemperatuur noodzakelijk is. Bij gebruik van de meetset voor personal monitoring kunnen rectaaltemperatuur en huidtemperatuur worden gemeten. Op basis van deze waarden kan vervolgens de correctie worden bepaald.

Wanneer rectaal- en huidtemperaturen worden gemeten kan echter ook een directe beoordeling van de fysiologische belasting worden gemaakt. De metingen van de klimaatgrootheden met de meetset voor personal monitoring kunnen dan worden gebruikt om na te gaan welke externe belasting tot de optredende fysiologische belasting heeft geleid.

De waarden van de WBGT en de L-index op basis van de gegevens bepaald met de meetset voor personal monitoring en de draagbare meetset komen redelijk tot goed met elkaar overeen. De waarden op basis van de zone-methodiek wijken duidelijk af van die op basis van de andere twee technieken.

De beoordeling van de belasting op basis van de WBGT en de L-index, gebaseerd op de gegevens verkregen met de meetset voor personal monitoring, corresponderen met de beoordeling op basis van de gemeten rectaaltemperatuur.

De resultaten van de berekening van de vereiste zweetproductie volgens ISO 7933 komen voor de gegevens op basis van de meetset voor personal monitoring en die op basis van de draagbare meetset goed overeen. De resultaten op basis van de zone-methodiek komen redelijk overeen met die op basis van de andere twee methodieken.

De beoordeling op basis van de vereiste zweetproductie leidde tot een onderschatting van de belasting. De berekende toelaatbare blootstellingstijd in verband met het te hoog oplopen van de rectaaltemperatuur is te lang gezien de gemeten rectaaltemperatuur.

De berekening van de vereiste zweetproductie is in principe echter niet bedoeld voor voorspellingen ten aanzien van individuele personen.

Op basis van het onderzoek wordt het gebruik van de meetset voor personal monitoring aanbevolen in situaties waarin werknemers op een groot aantal plekken met verschillende en/of wisselende verblijfplaatsen verblijven. Wanneer toepassing van personal monitoring niet mogelijk is biedt het gebruik van de meetset als draagbare meetset een goed alternatief. De opnemer voor de meting van de vlakstralingstemperatuur dient dan te worden vervangen door een opnemer voor de gemiddelde stralingstemperatuur.

De zone-methodiek wordt aanbevolen voor situaties waarbij een werknemer op niet meer dan drie werkplekken met verschillende klimaatomstandigheden werkzaam is.

8. LITERATUUR

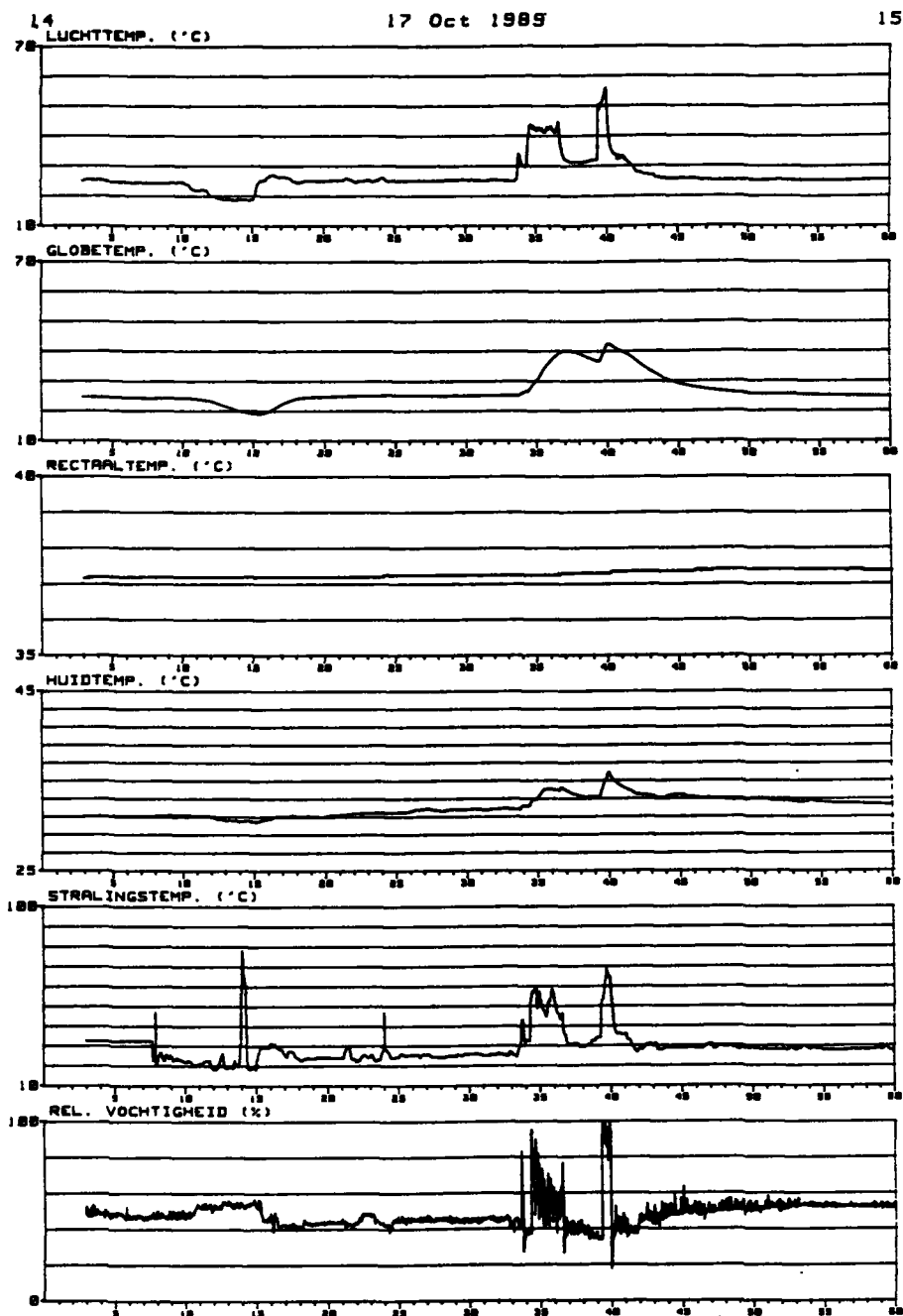
- [1] Malchaire, J.
Methodology of investigation of hot working conditions in the field.
In: Proceedings of Seminar on Heat Stress Indices,
eds. B. Metz, Th. Hettinger, L.A. Morris, J. Malchaire, J.G. Fox
Commission of the European Communities, Health and Safety Directorate, 25-26
October 1988, Luxemburg.
- [2] S 44-4
Bijstelling en aanvulling van een inventarisatiemethode voor klimaatomstandighe-
den in industriële bedrijven.
Directoraat-Generaal van de Arbeid, 1990.
- [3] ISO 7726
Thermal environments. Specifications relating to appliances and methods for
measuring physical characteristics of the environment.
International Organization for Standardization, 1982, Geneva.
- [4] ISO/DIS 9886, versie 1988
Evaluation of strain by physiological measurements.
International Organization for Standardization, 1988, Geneva.
- [5] Rodahl, K.
Persoonlijke communicatie.
Oslo, 1989.
- [6] Astrand, P.O., K. Rodahl
Textbook of work physiology.
McGraw-Hill, New York, 1970.
- [7] Havenith, G.
Bepaling van kledingisolatie en metabolisme op de werkplek.
Rapport C-16, IZF-TNO, 1987.

- [8] ISO 7933
Hot environments. Analytical determination and interpretation of thermal stress using calculation of required sweat rate.
International Organization for Standardization, 1989, Geneva.
- [9] NEN-ISO 7243
Hete klimaatomstandigheden. Bepaling van de externe warmtebelasting van werkende personen op basis van de WBGT-index (Wet Bulb Globe Temperature).
Nederlands Normalisatie-instituut, Delft, 1989.
- [10] Romero, B.H.A.
Effect of air speed and radiation on the difference between natural and psychrometric wet bulb temperatures.
Thesis University of Pittsburg, 1971.
- [11] Veiligheidsbesluit voor Fabrieken of Werkplaatsen, 1938
- [12] Peters, H.
Testing climate indices in the field.
In: Proceedings of Seminar on Heat Stress Indices,
eds. B. Metz, Th. Hettinger, L.A. Morris, J. Malchaire, J.G. Fox
Commission of the European Communities, Health and Safety Directorate, 25-26
October 1988, Luxemburg.
- [13] Mairiaux, Ph., J. Malchaire
Comparison and validation of heat stress indices in experimental studies.
In: Proceedings of Seminar on Heat Stress Indices,
eds. B. Metz, Th. Hettinger, L.A. Morris, J. Malchaire, J.G. Fox
Commission of the European Communities, Health and Safety Directorate, 25-26
October 1988, Luxemburg.

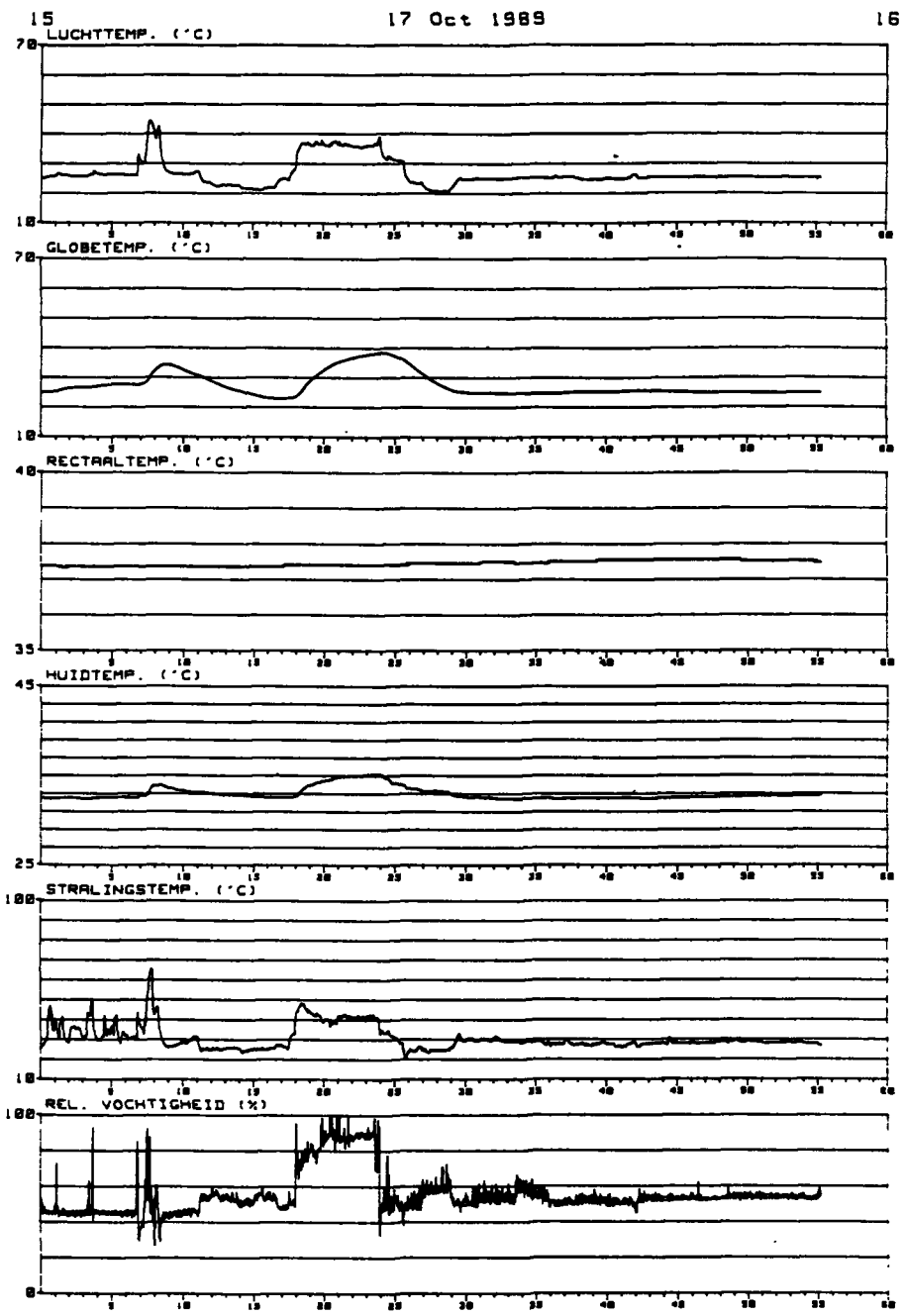
BIJLAGE A PRINCIPE VAN DE WARMTESTRALINGSMETER

De opnemer bestaat uit een matzwarte en een goudkleurige, bolvormige stralingsontvanger. Ten gevolge van de verschillende absorptie-eigenschappen van de ontvangers zullen zij bij een stralingsbelasting verschillende temperaturen aannemen. Het temperatuurverschil tussen de ontvangers is een maat voor de warmtestraling uit de omgeving. Om de invloed van convectie zoveel mogelijk te beperken zijn over de ontvangers "vensters" van polyethyleen (50 μm dik) geplaatst. Deze "vensters" kunnen bij vervuiling of beschadiging worden vervangen. Als referentietemperatuur dient de temperatuur van de binnenzijde van de opnemer. De opnemer is door middel van een kabel verbonden met een uitleeseenheid (150x80x40 mm), 220 g). Naast de gemiddelde stralingstemperatuur kan de effectieve bestralingssterkte ten opzichte van een referentietemperatuur van 32°C worden uitgelezen. De uitleeseenheid is voorzien van een analoge uitgang.

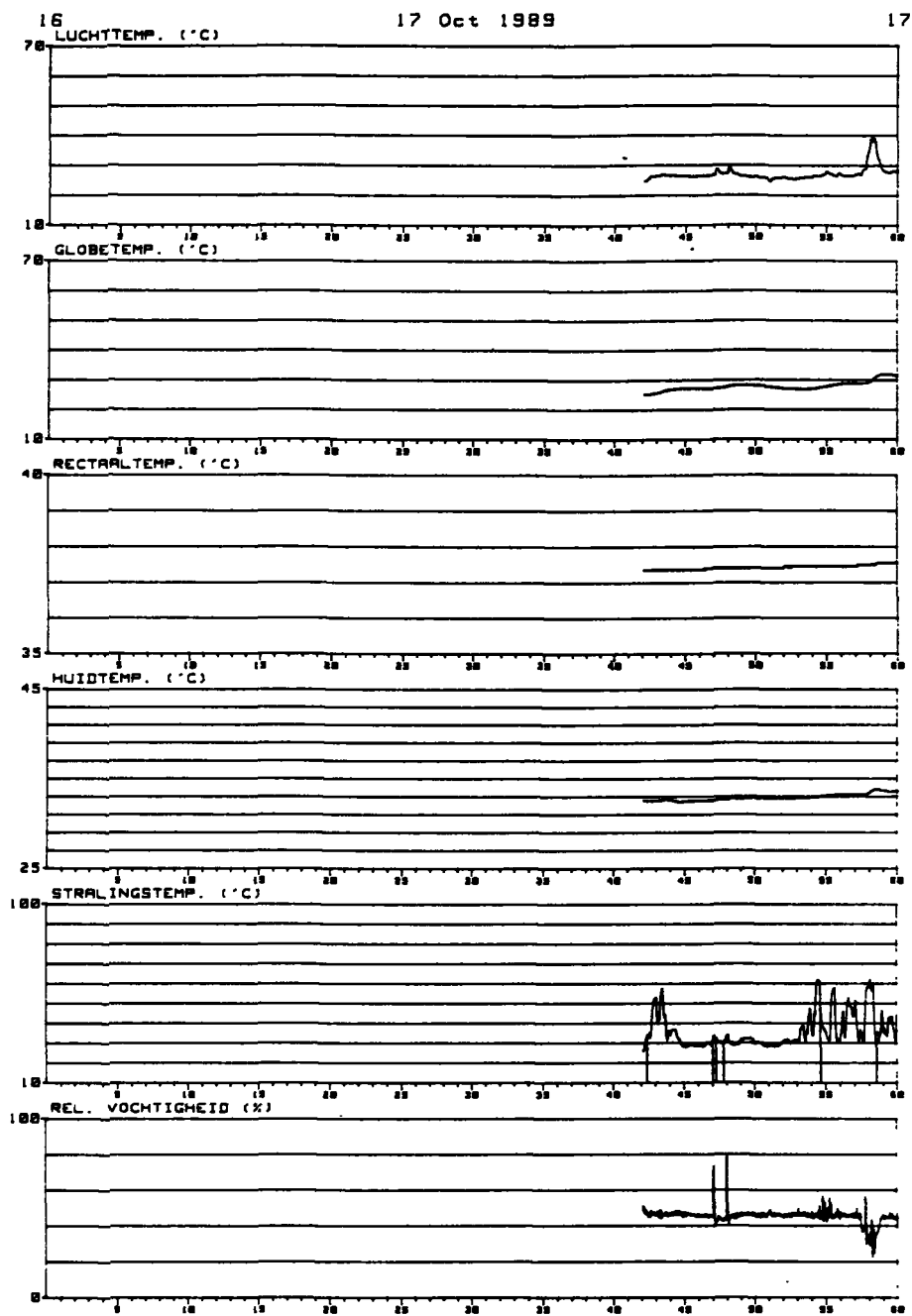
BIJLAGE B MEETRESULTATEN VAN 17 OKTOBER 1989



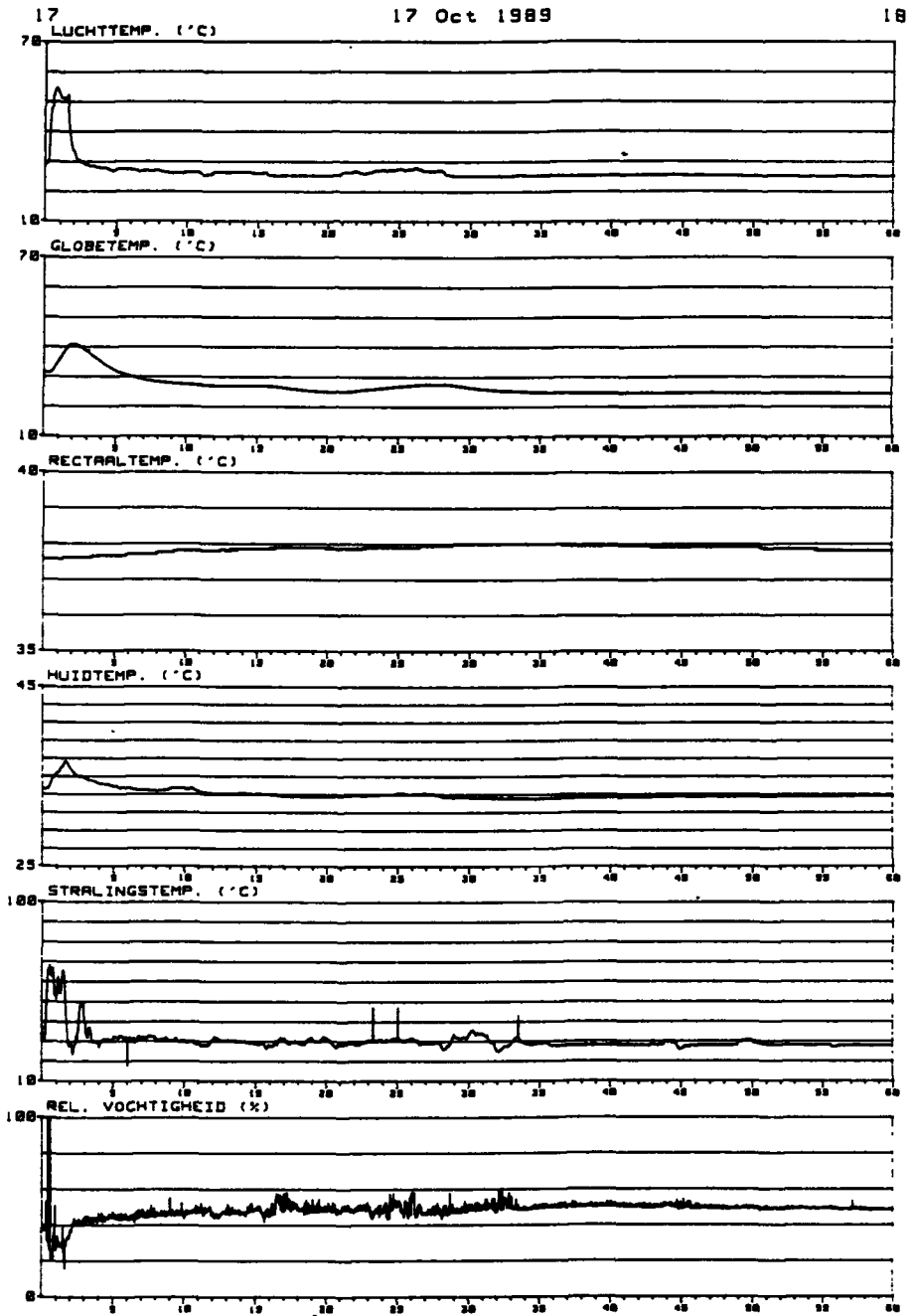
Figuur B.1



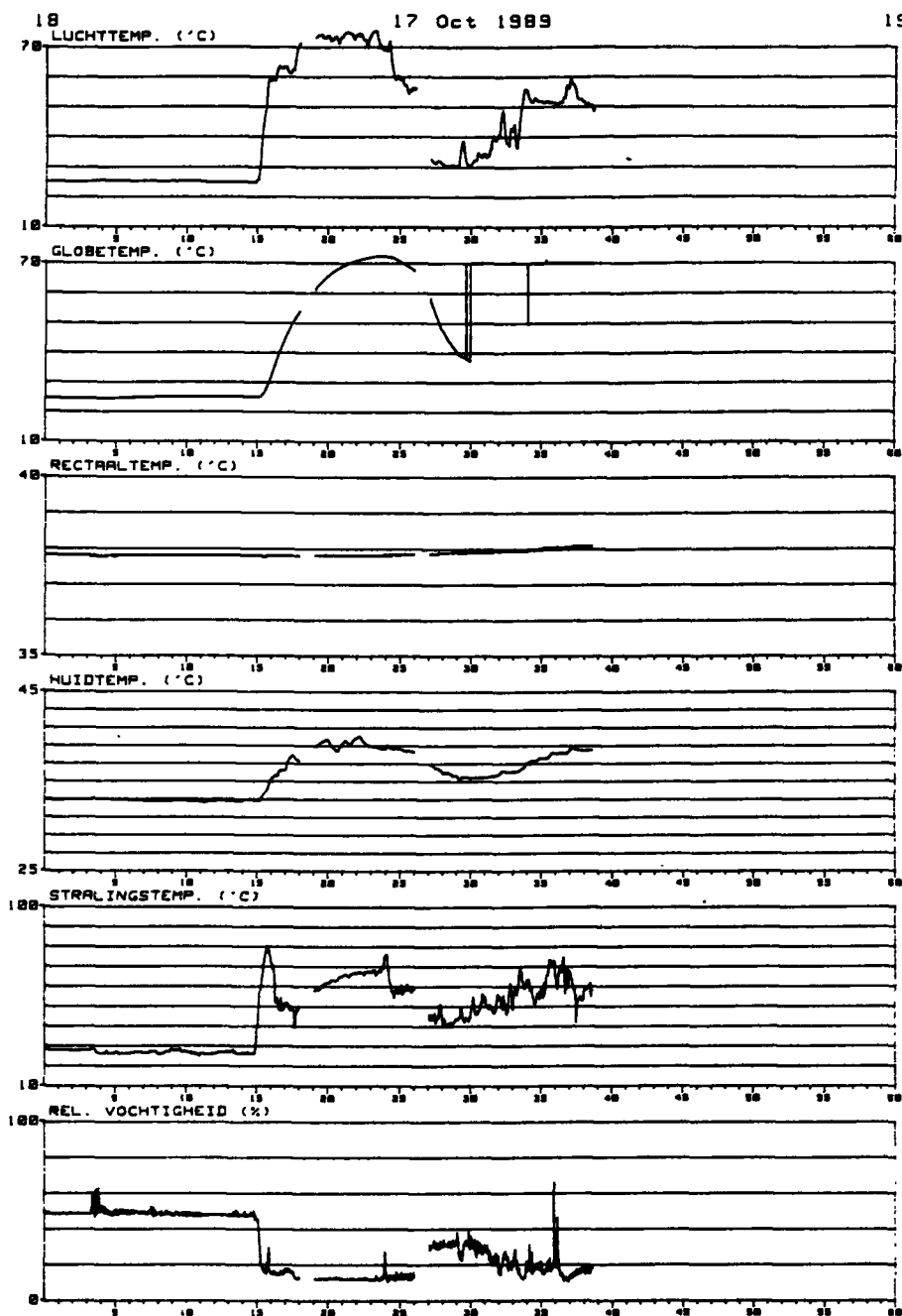
Figuur B.2



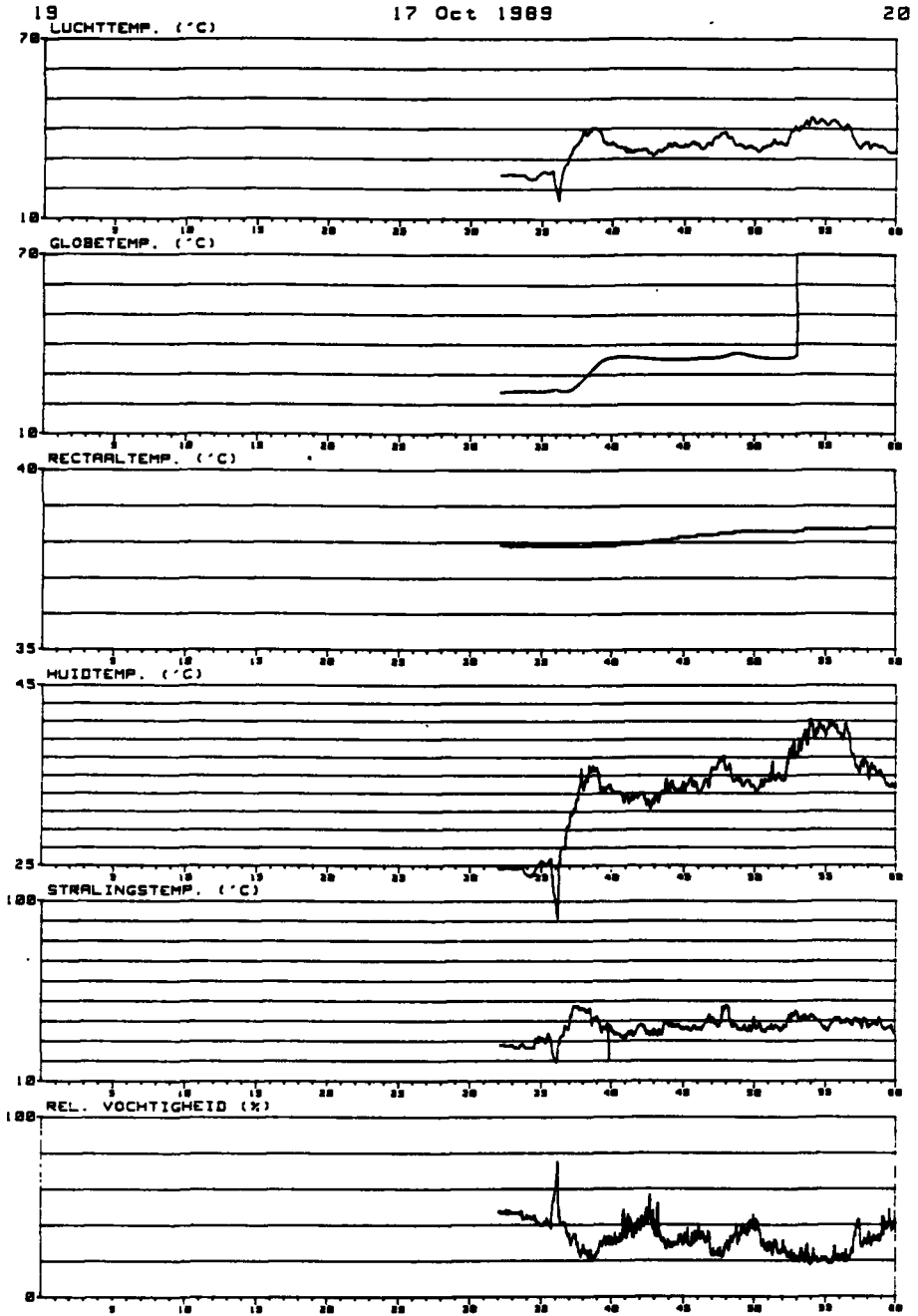
Figuur B.3



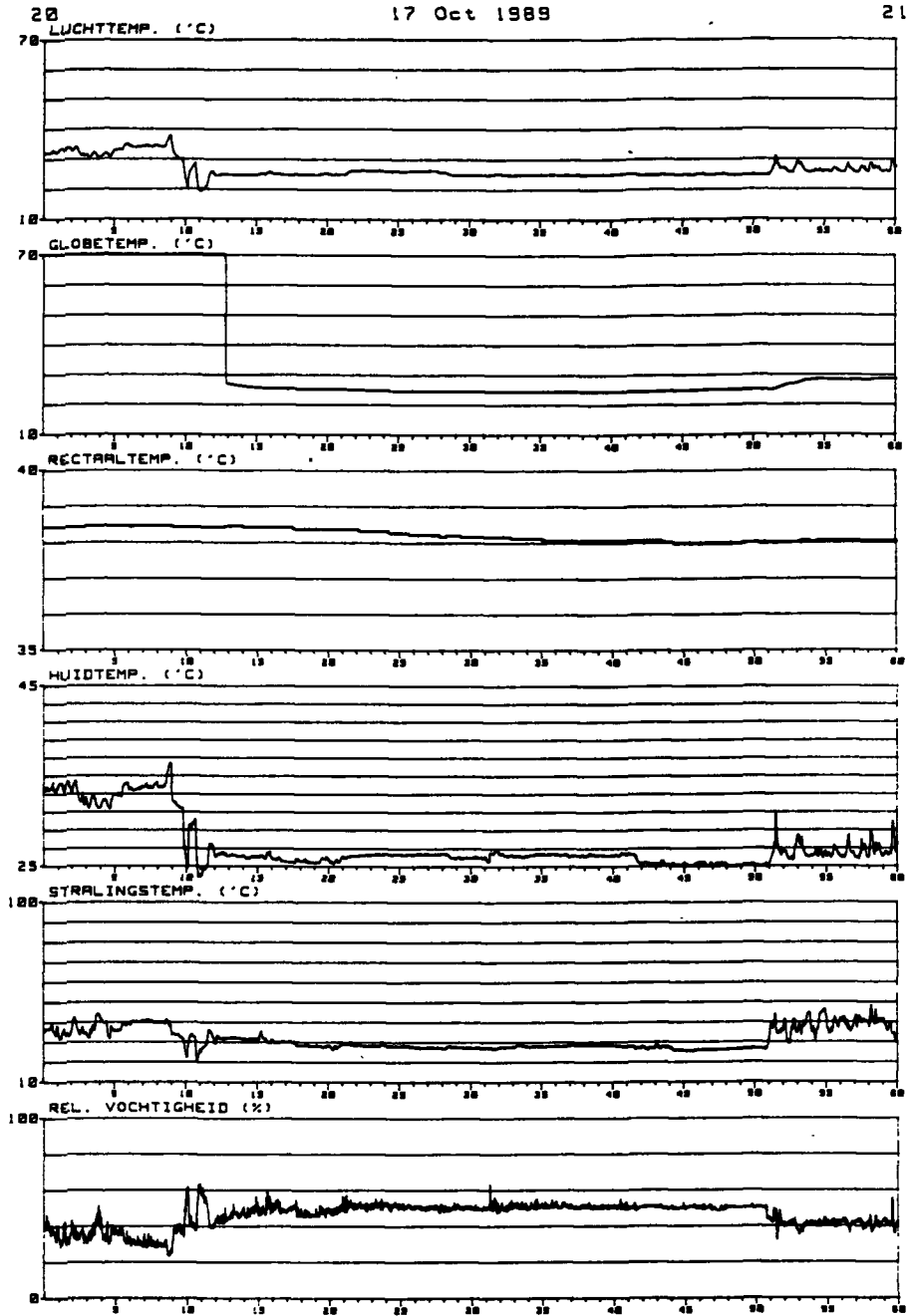
Figuur B.4



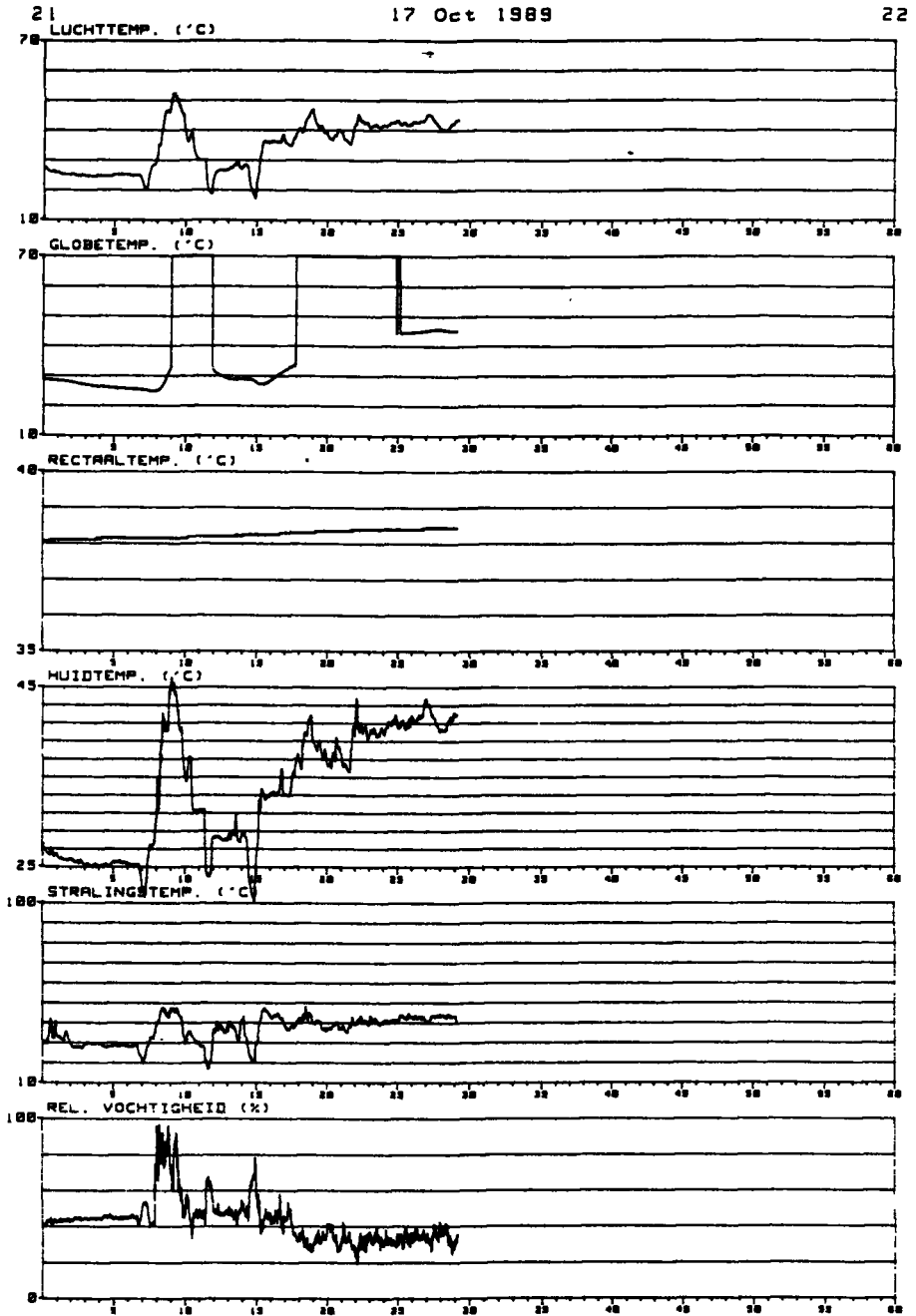
Figuur B.5



Figuur B.6

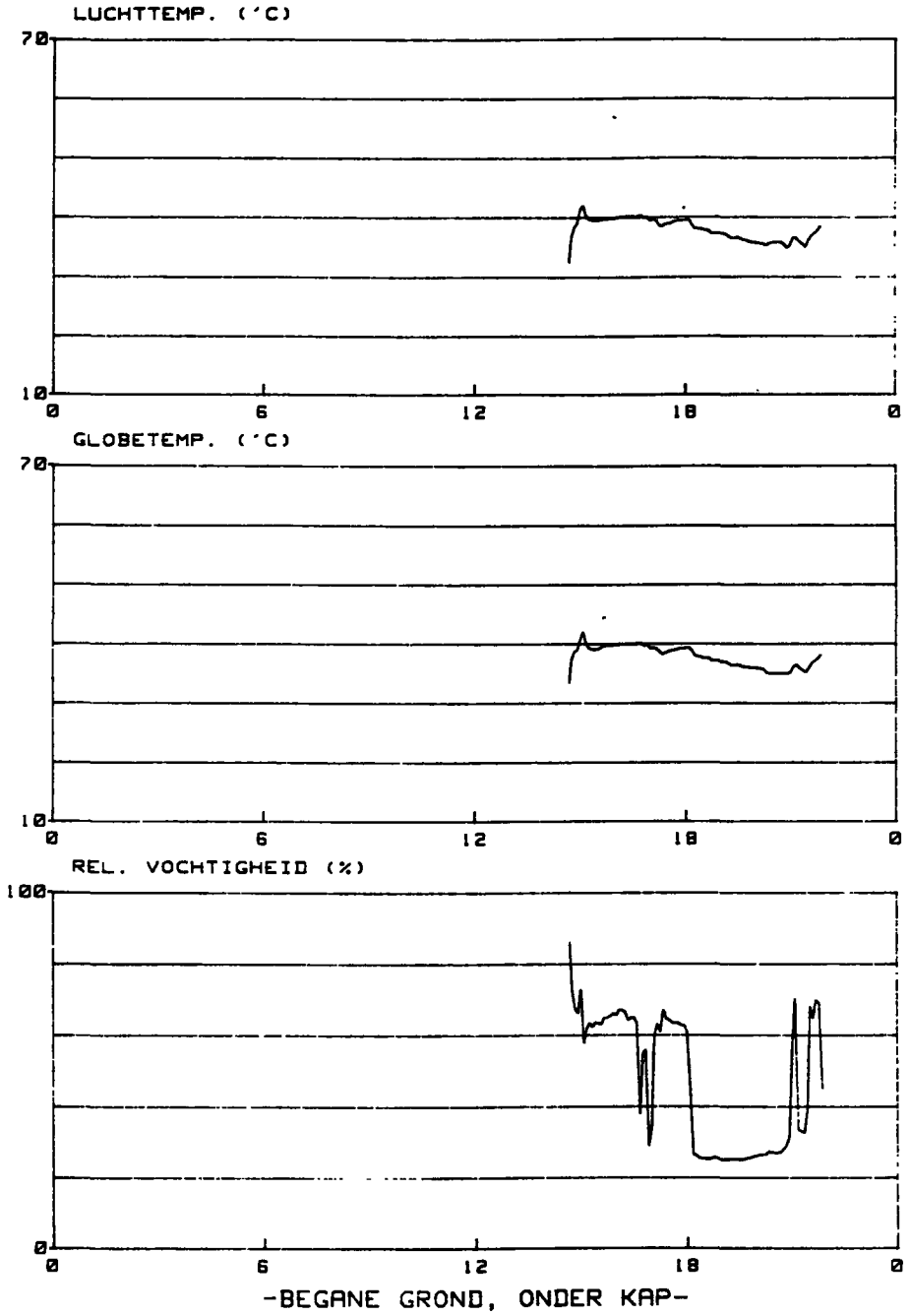


Figuur B.7



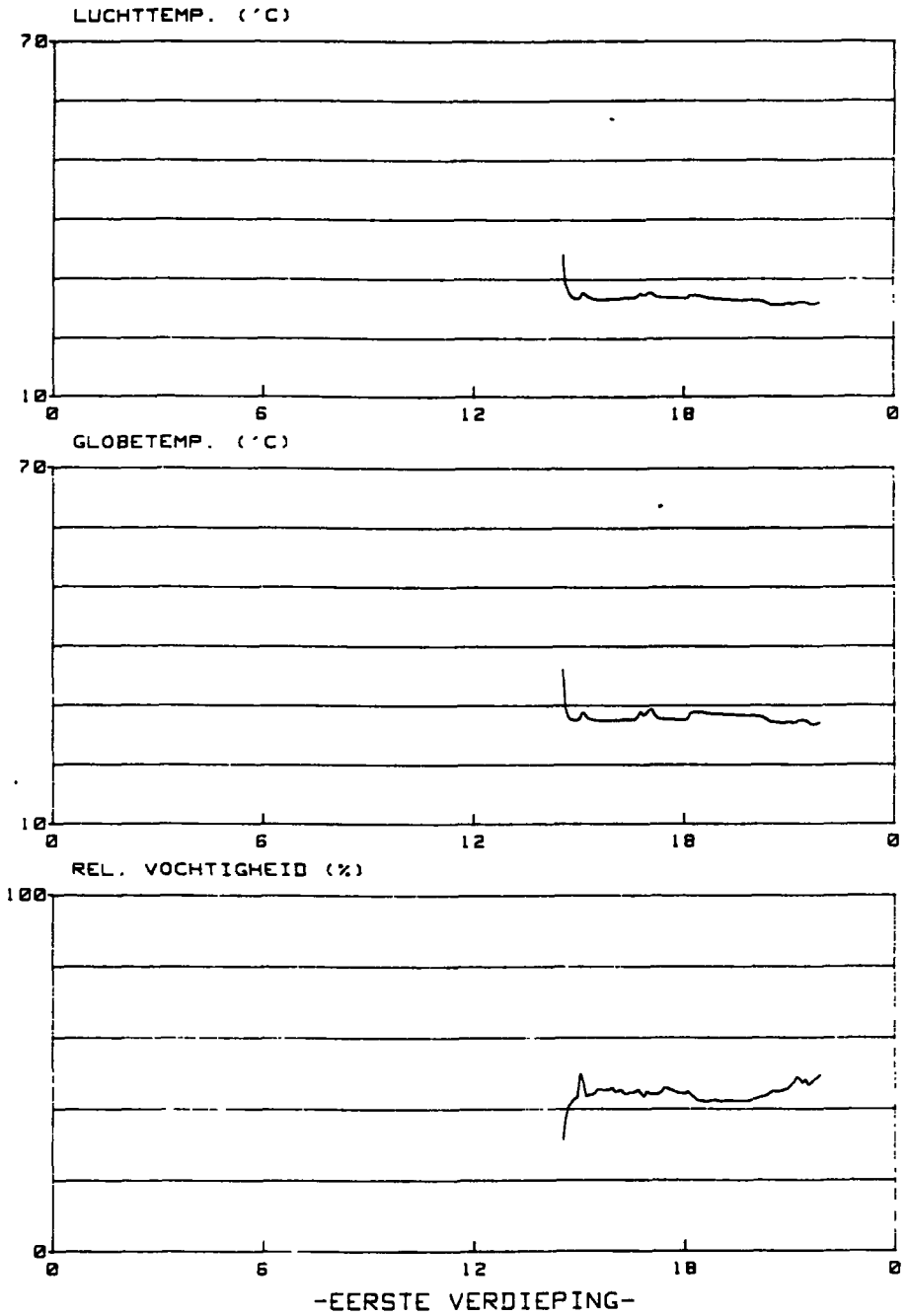
Figuur B.8

17 Oct 1989

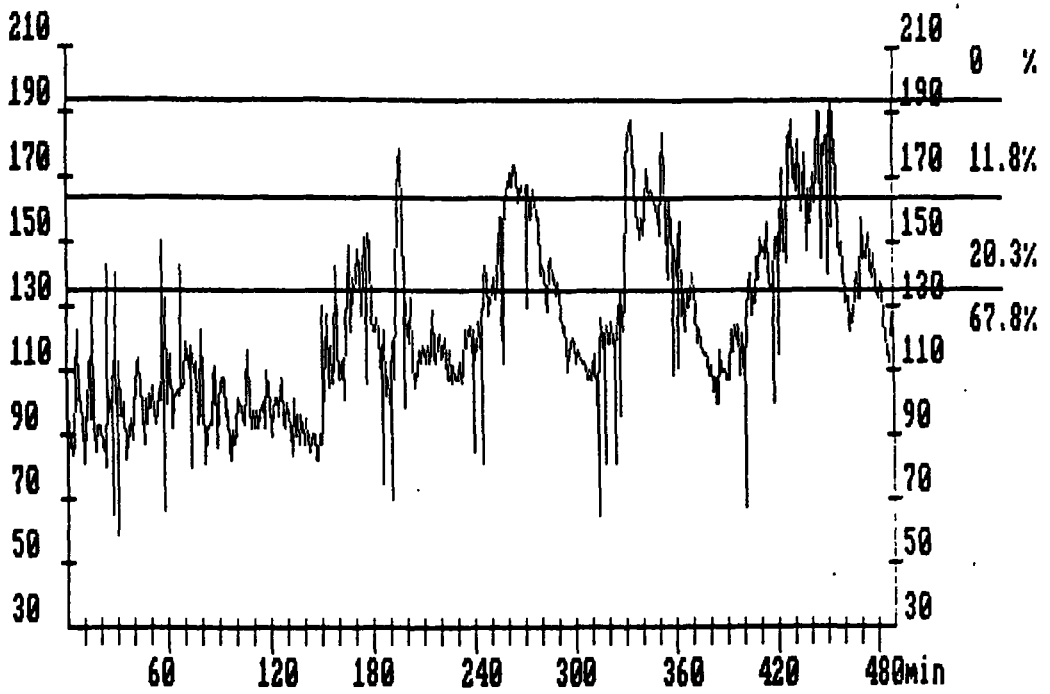


Figur B.9

17 Oct 1989

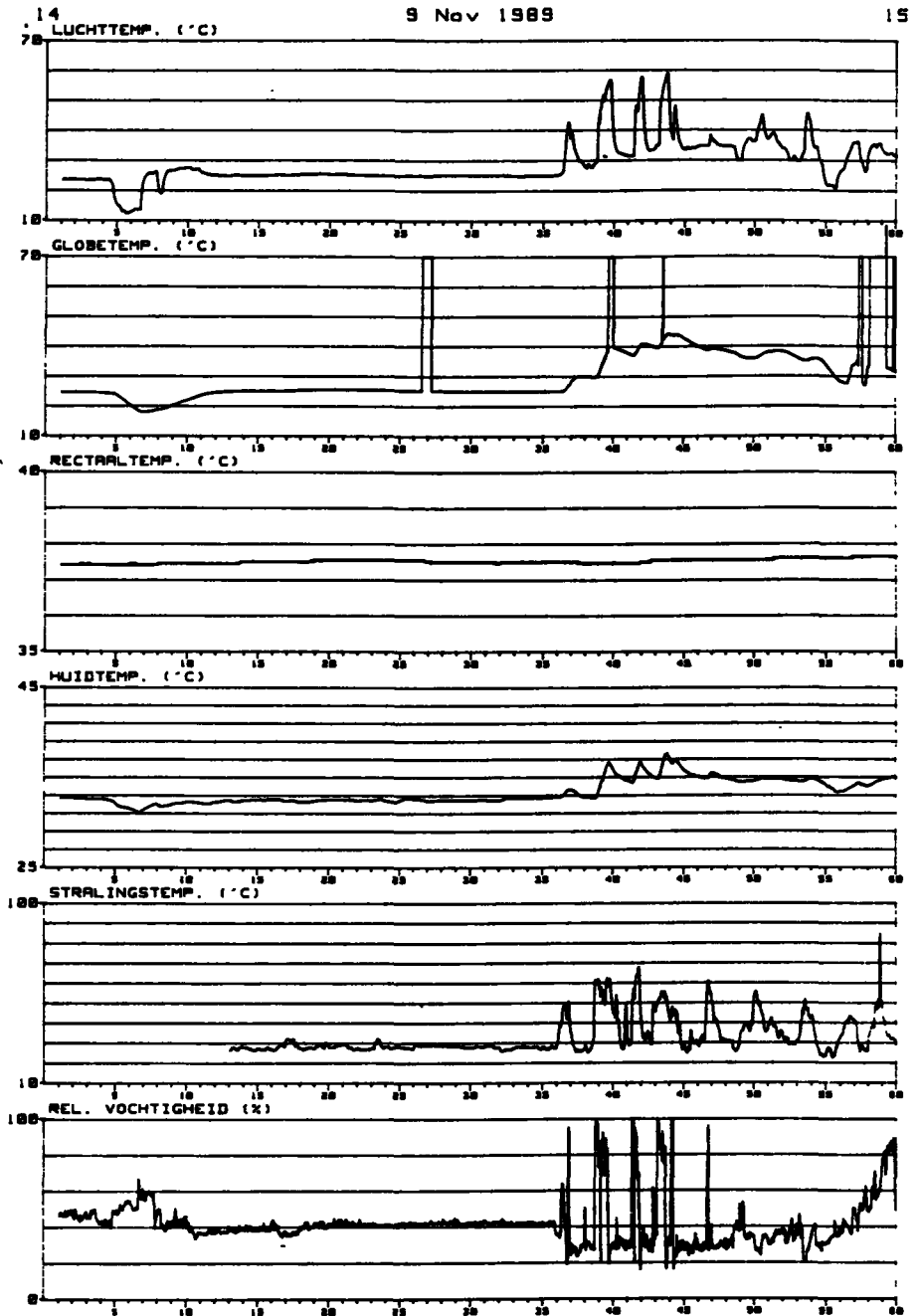


Figuur B.10

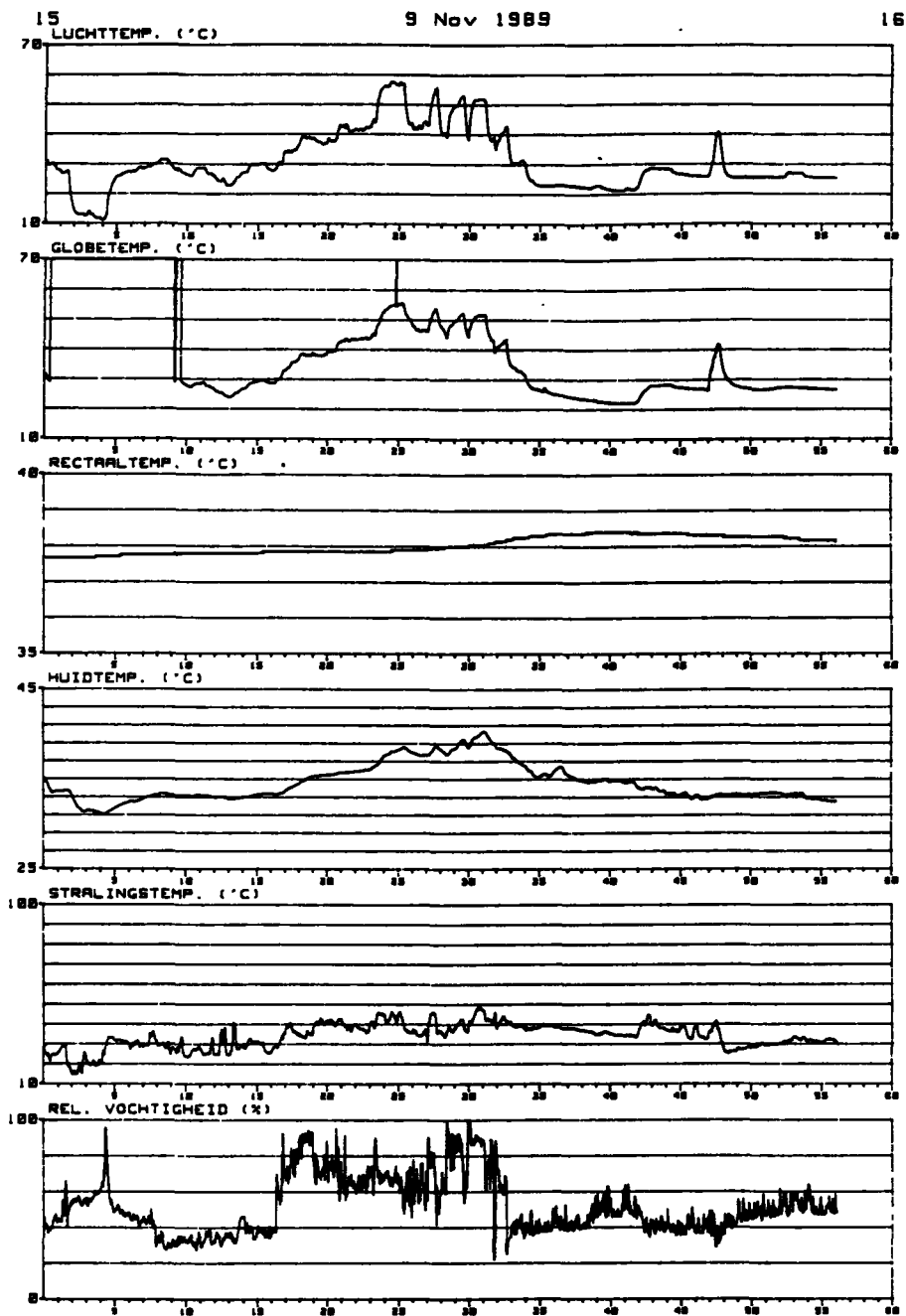


Figuur B.11 Verloop van de hartslagfrequentie van de proefpersoon op 17 oktober 1989.

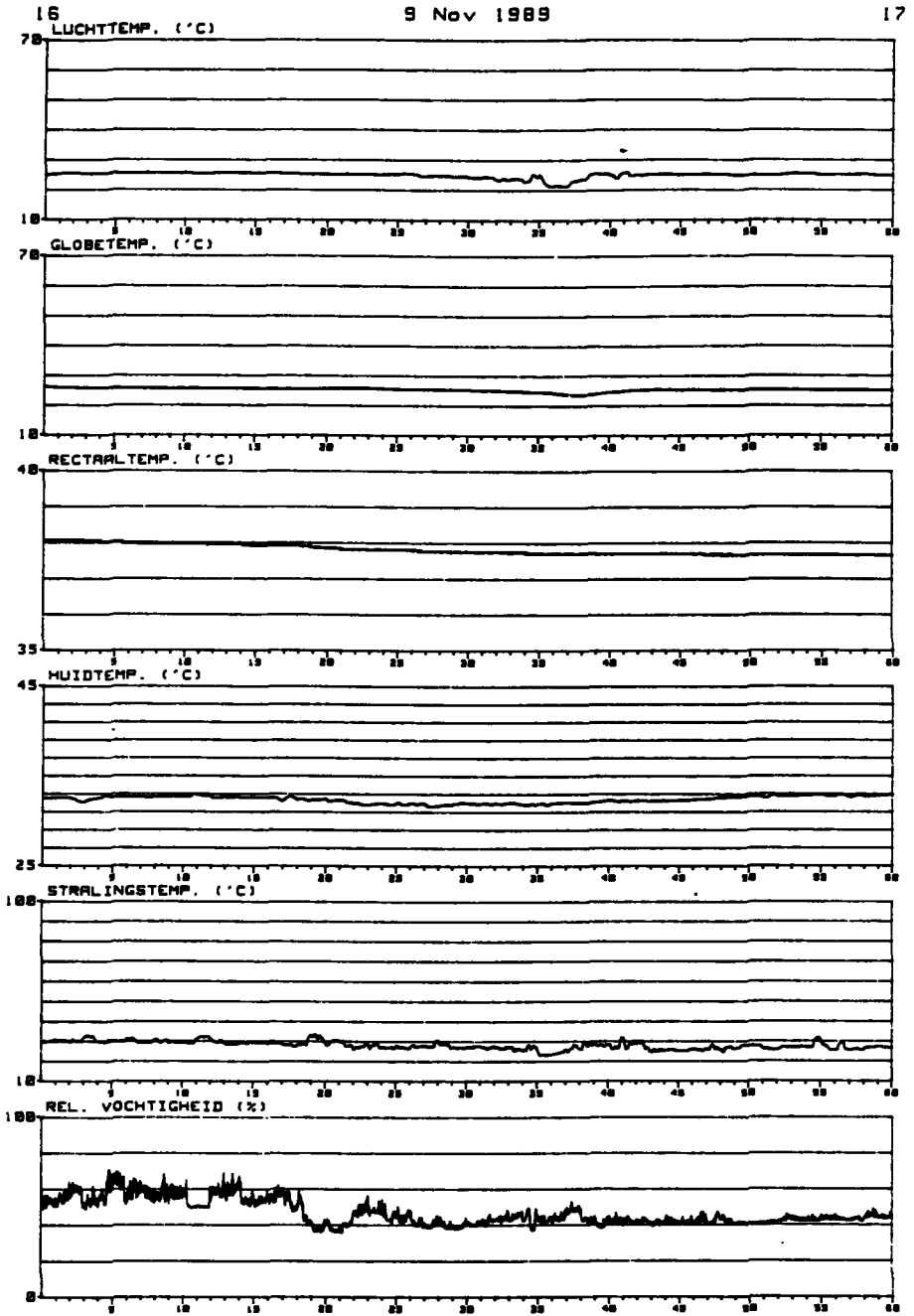
BIJLAGE C MEETRESULTATEN VAN 9 NOVEMBER 1989



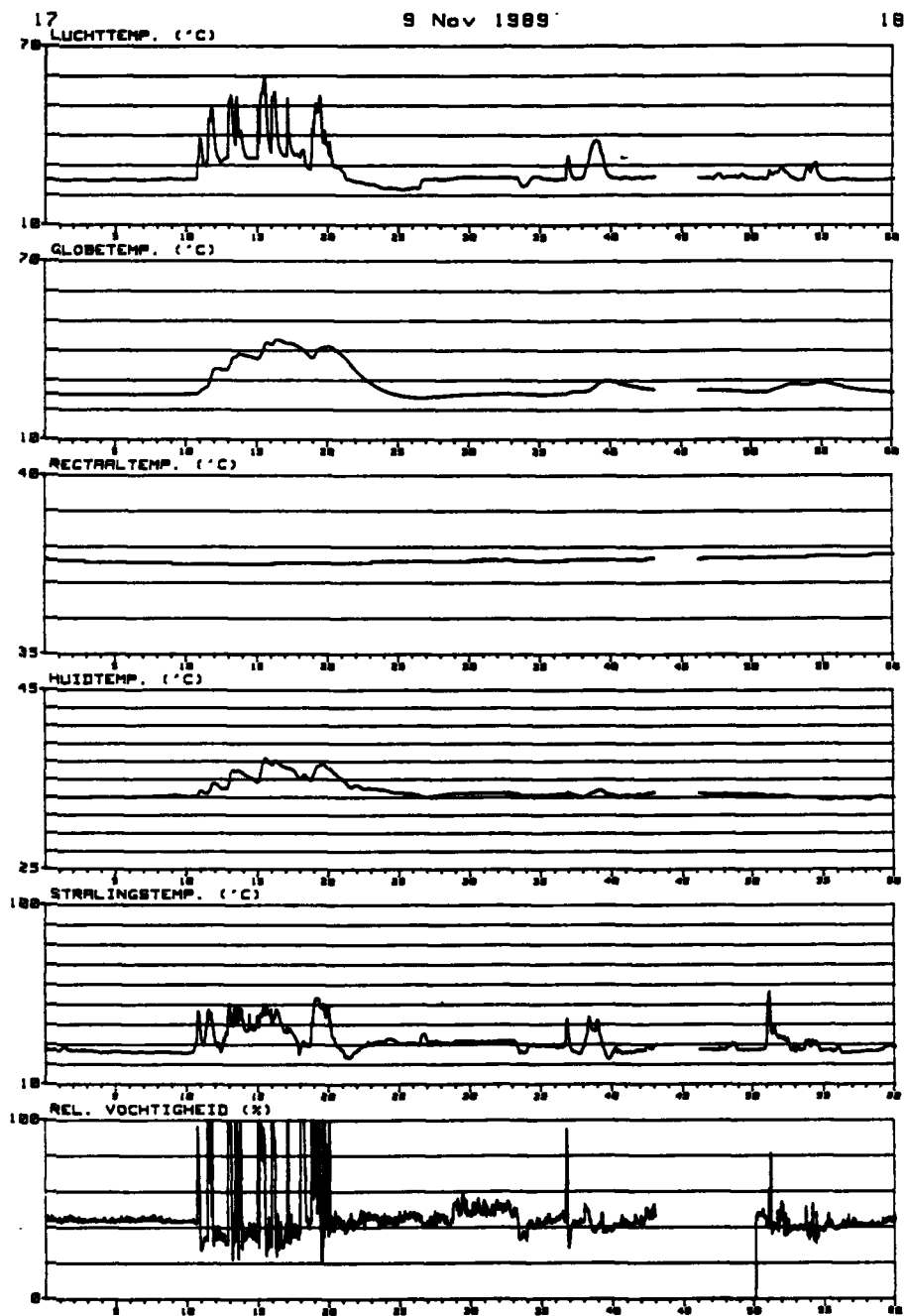
Figur C.1



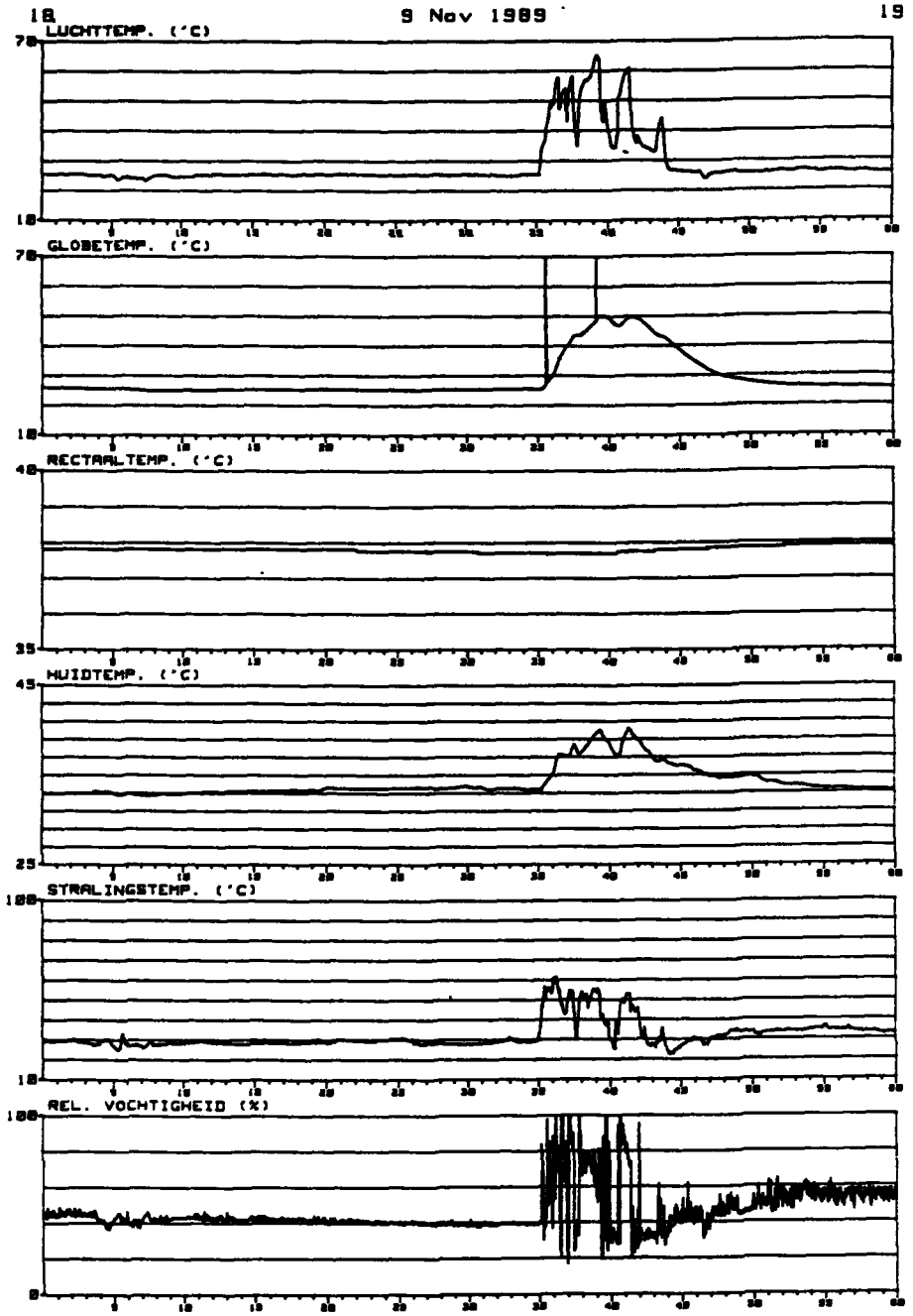
Figuur C.2



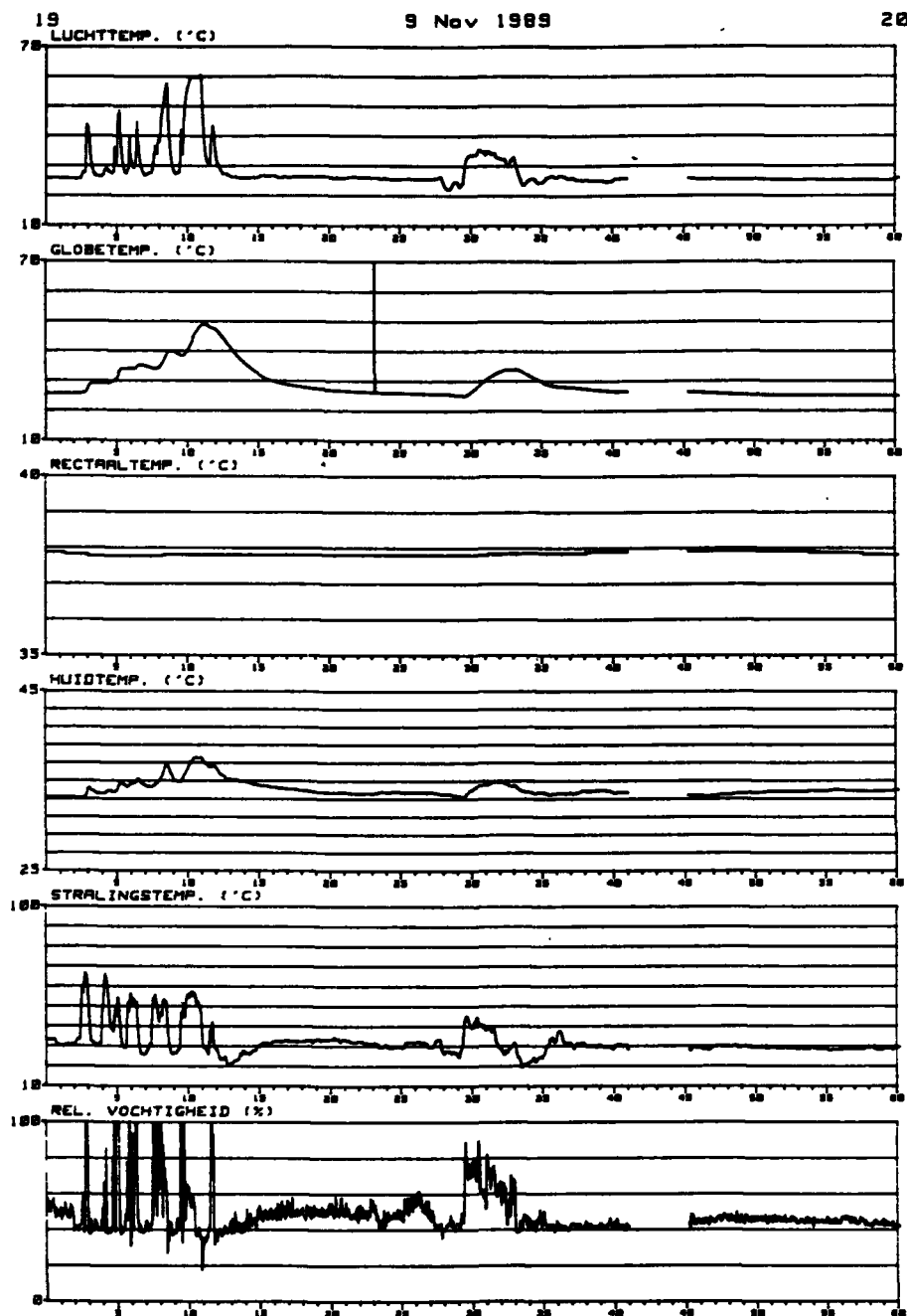
Figuur C.3



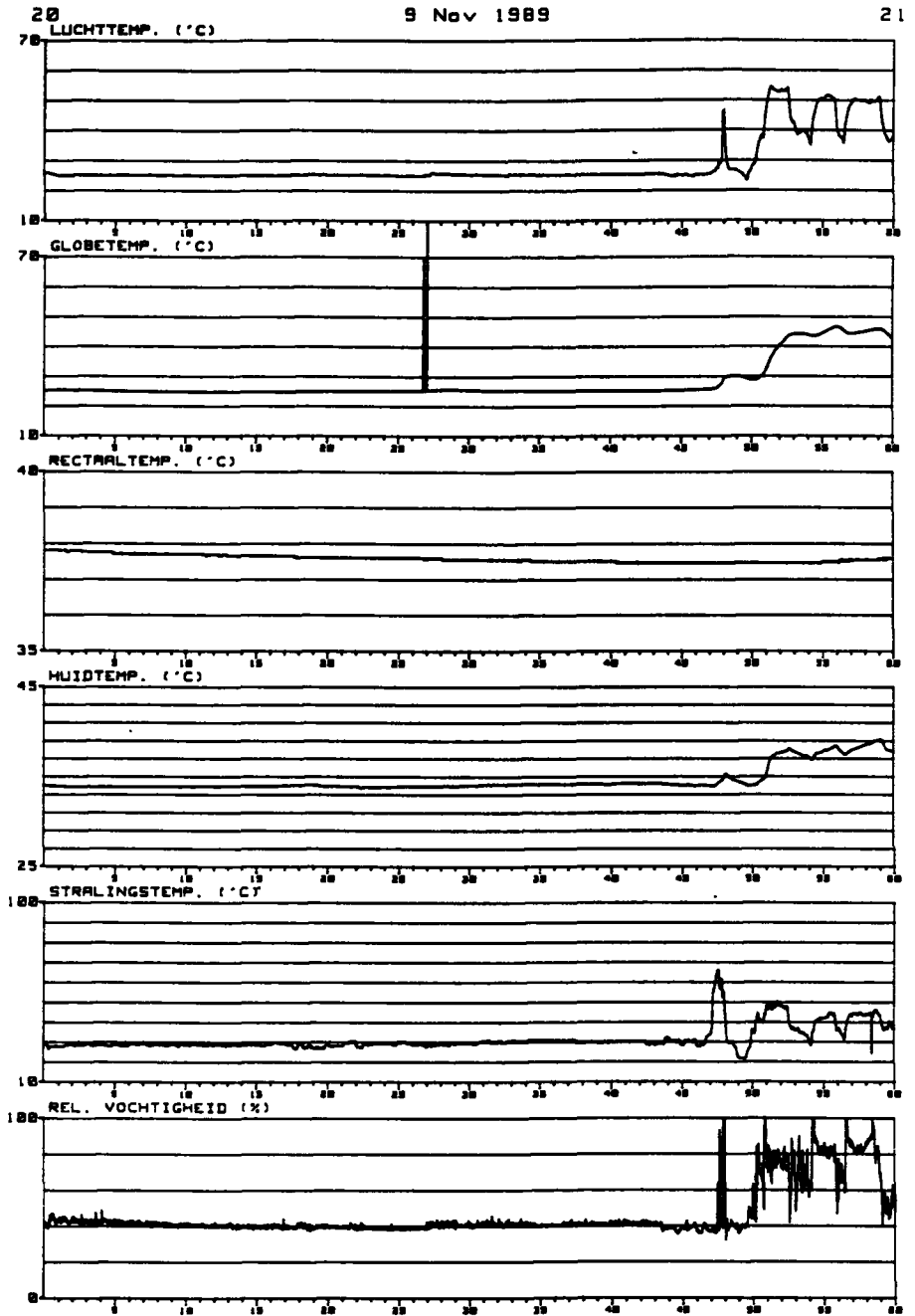
Figuur C.4



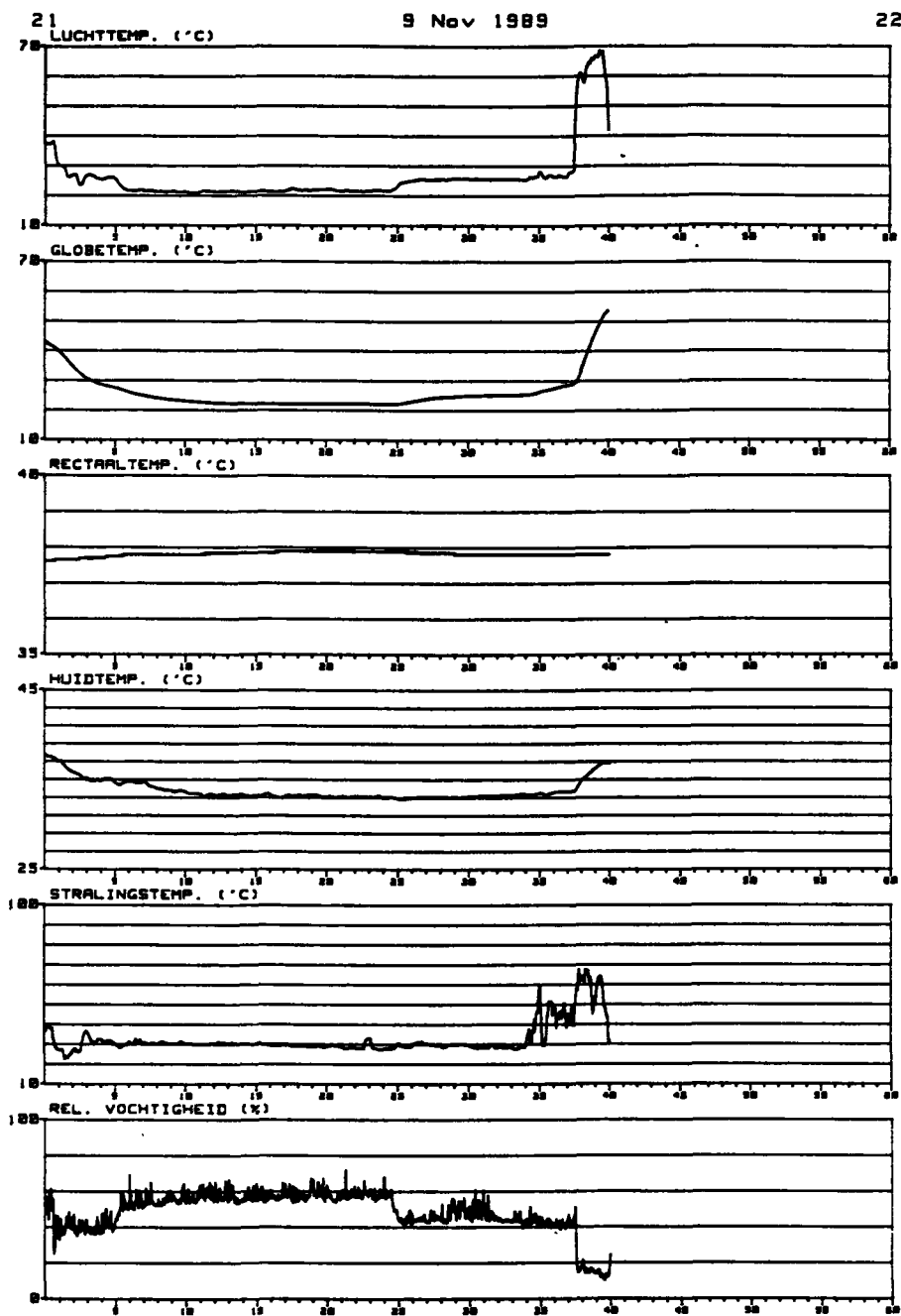
Figuur C.5



Figuur C.6



Figuur C.7

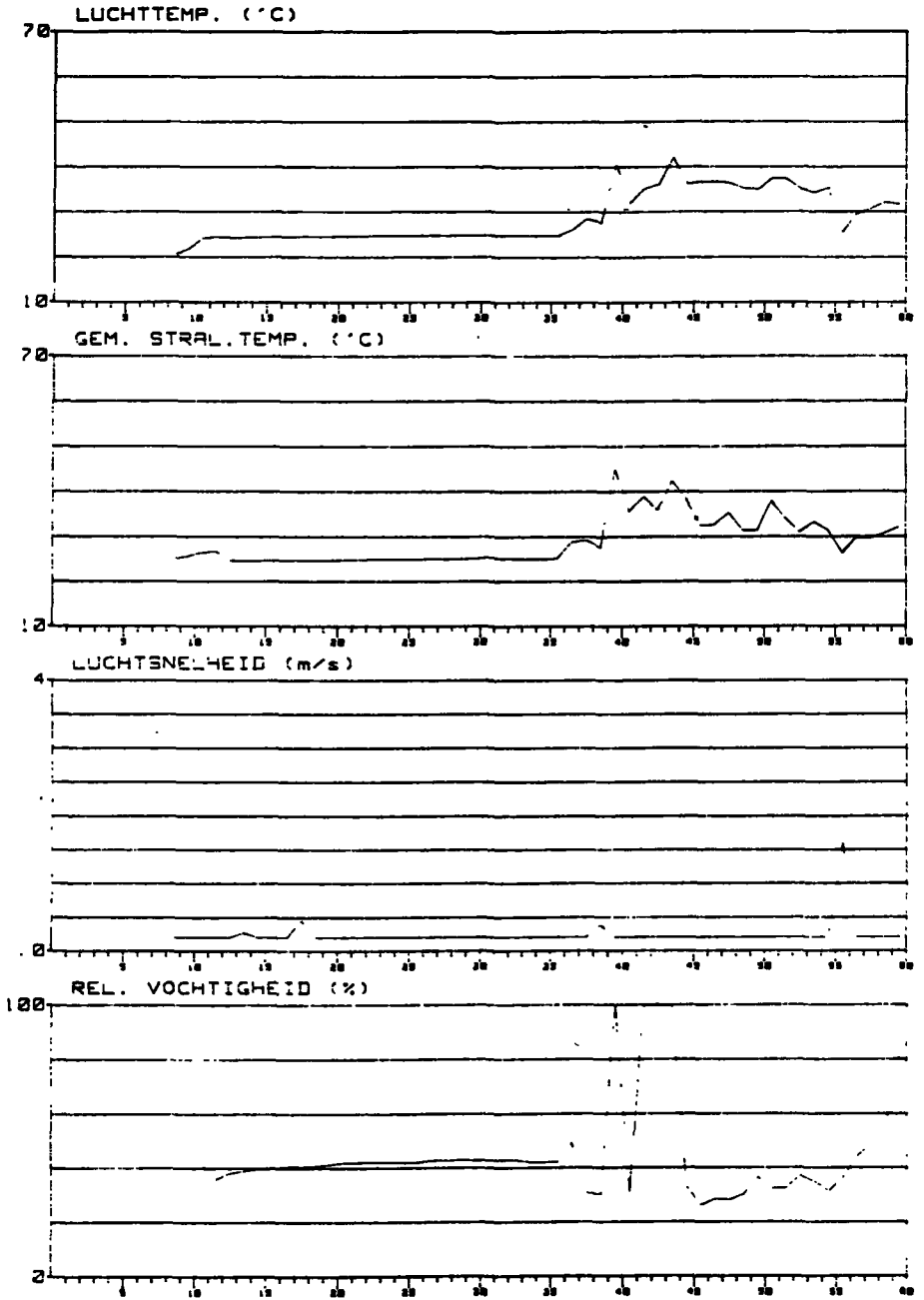


Figuur C.8

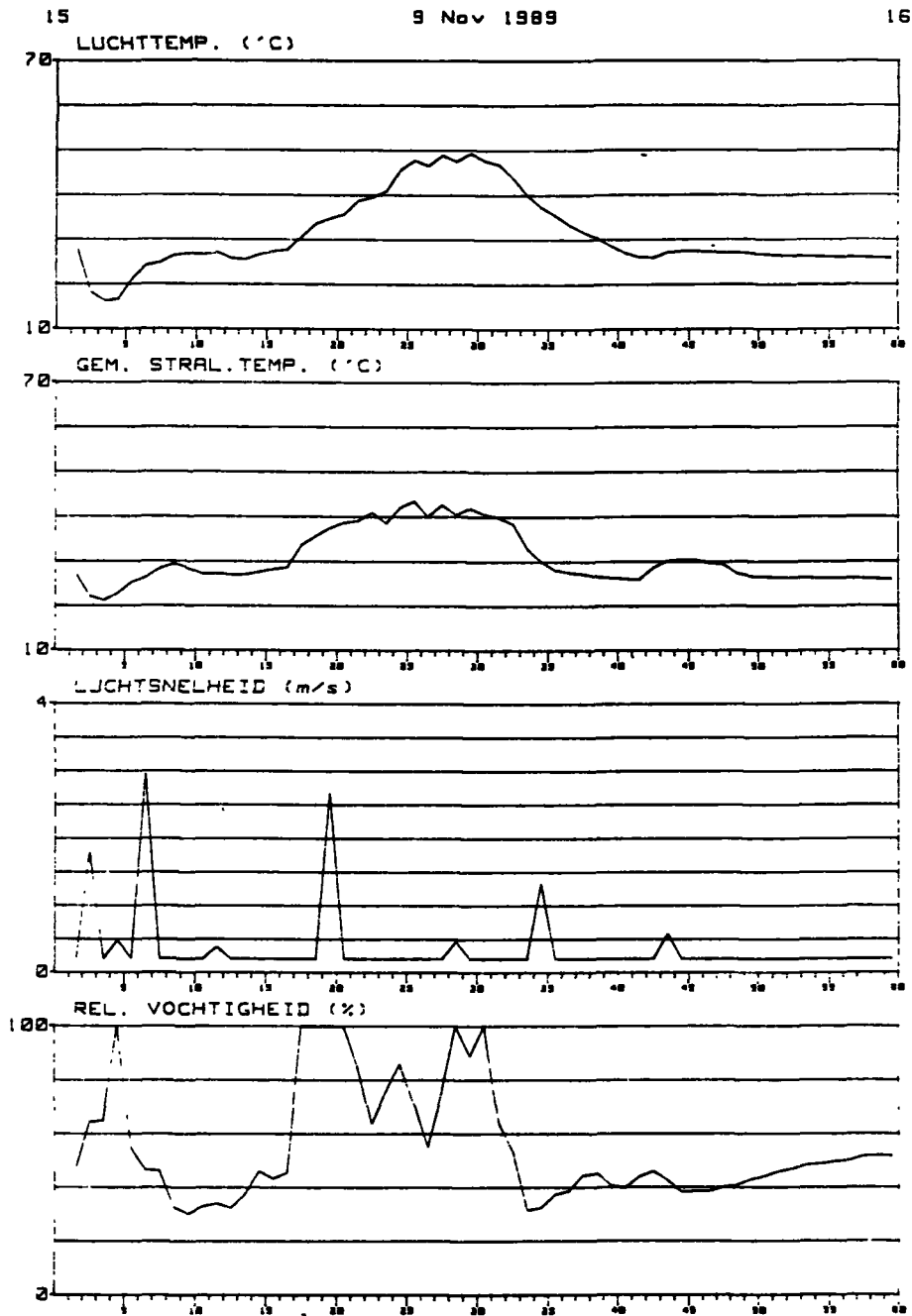
14

9 Nov 1989

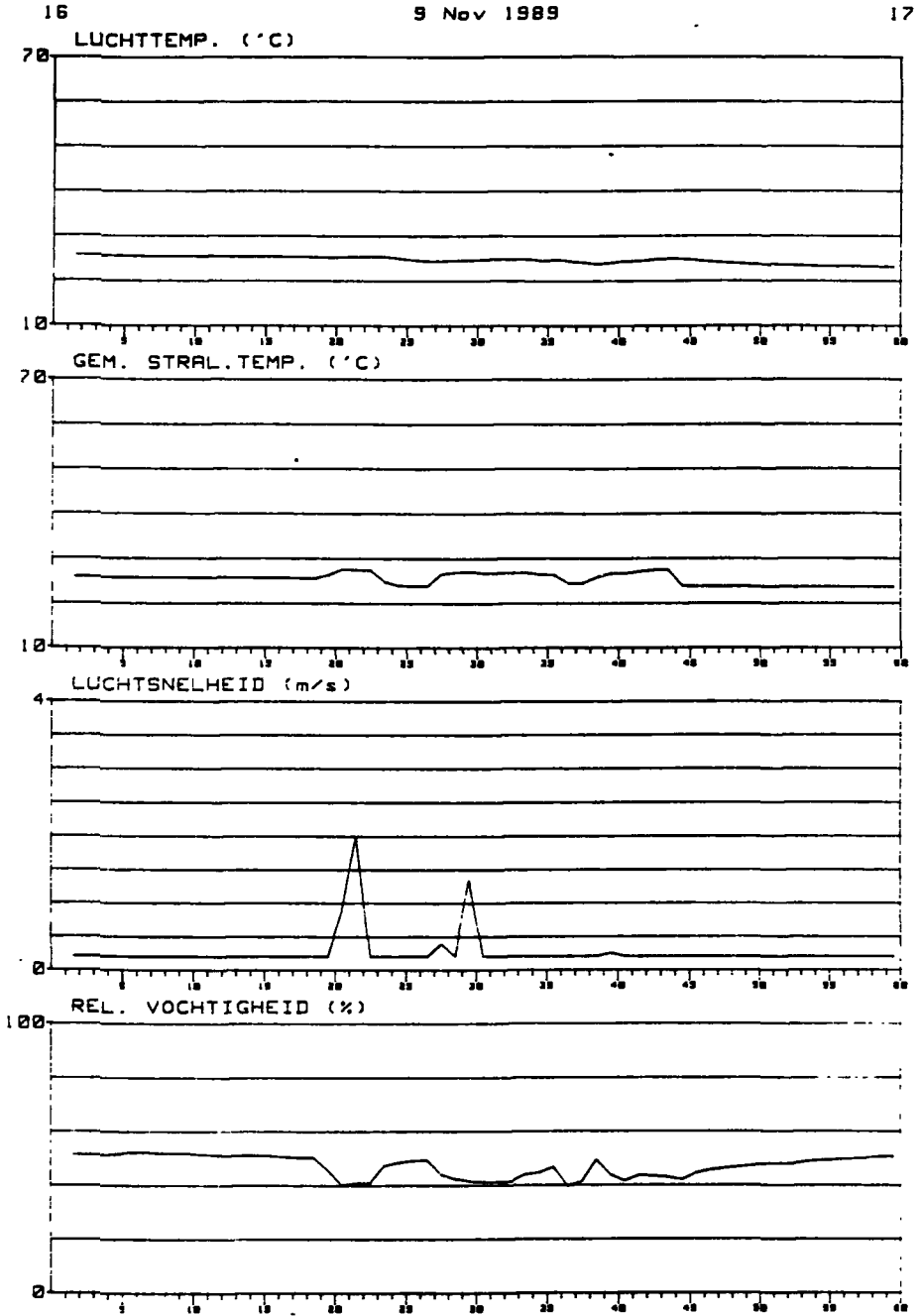
15



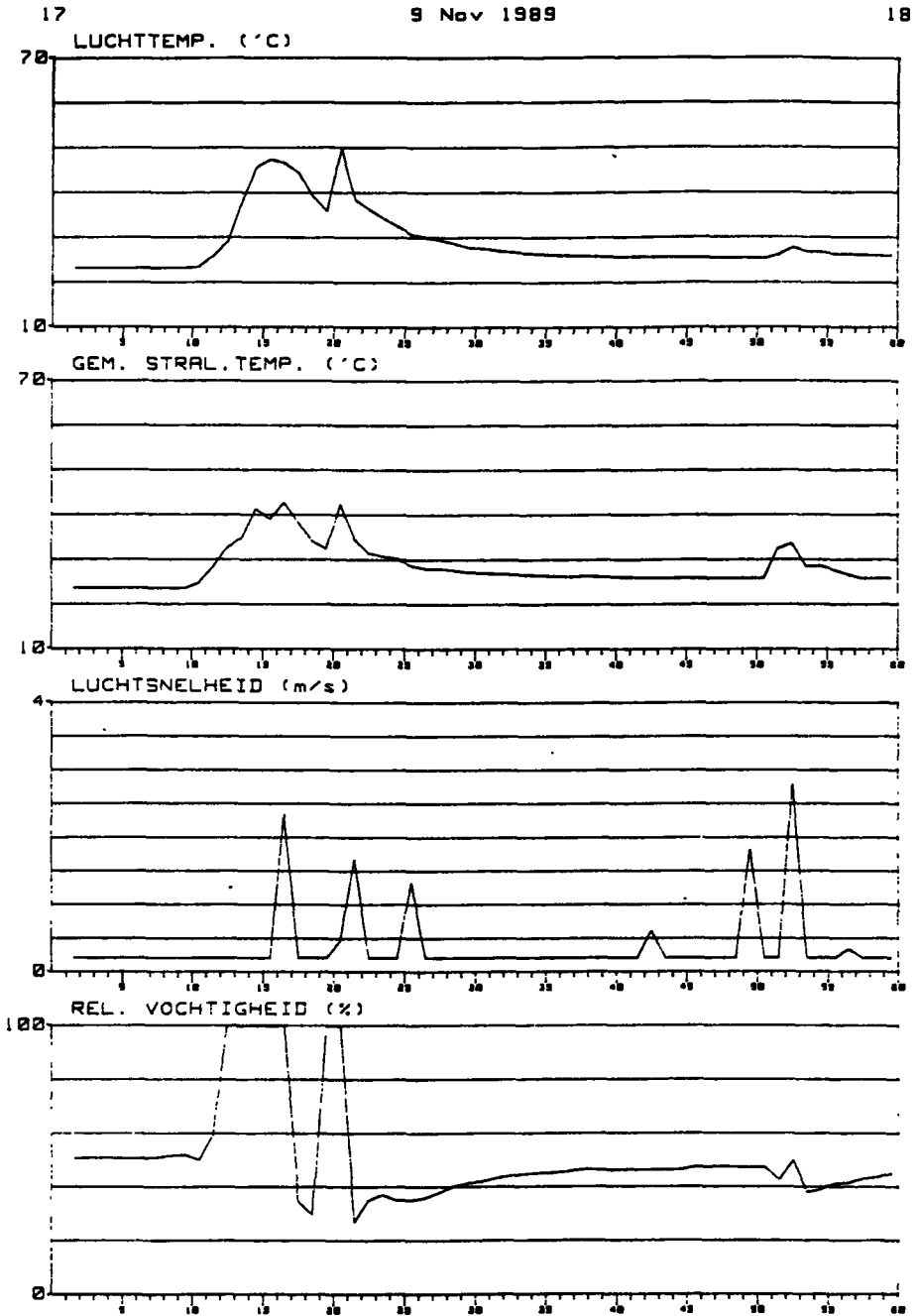
Figuur C.9



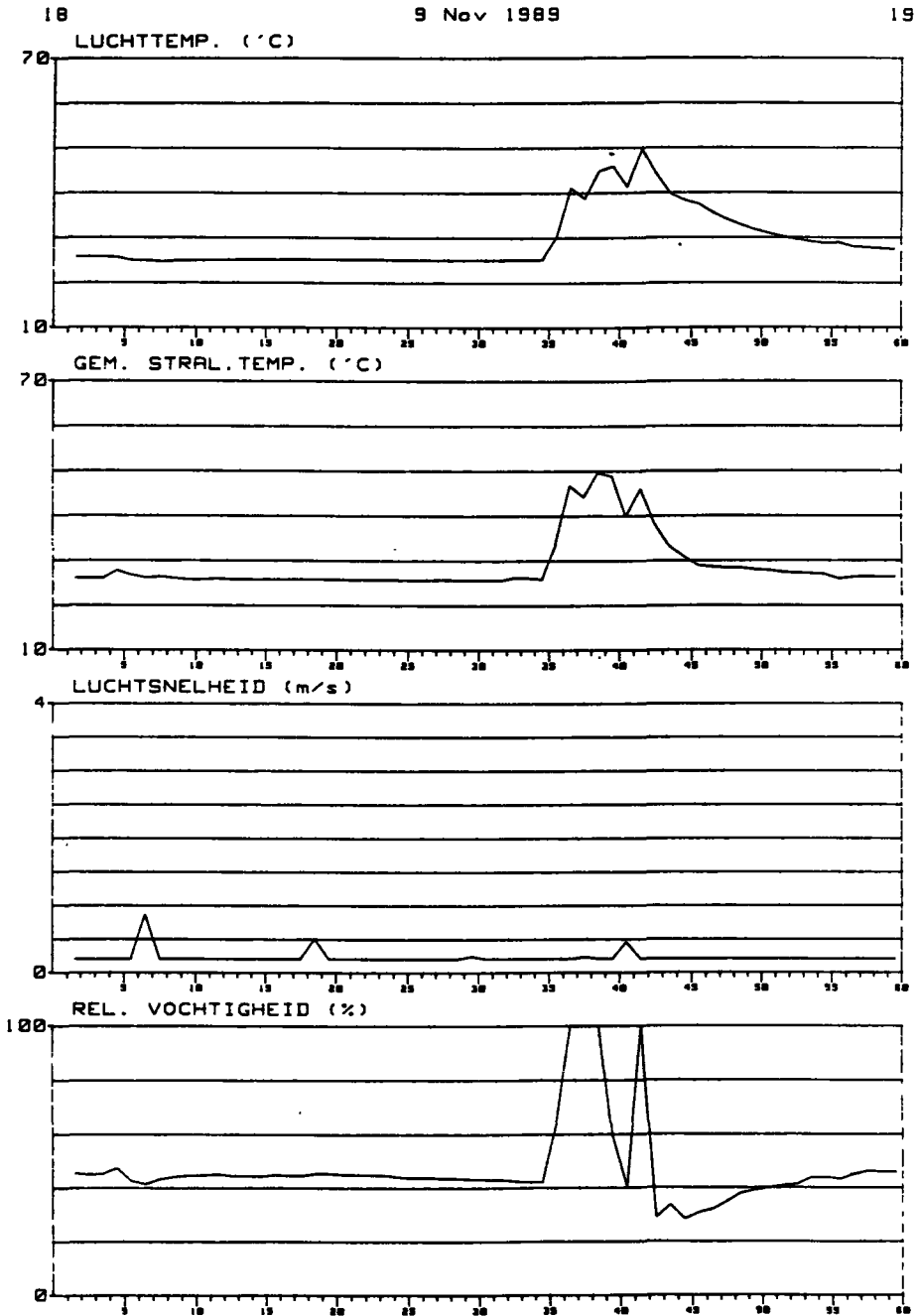
Figuur C.10



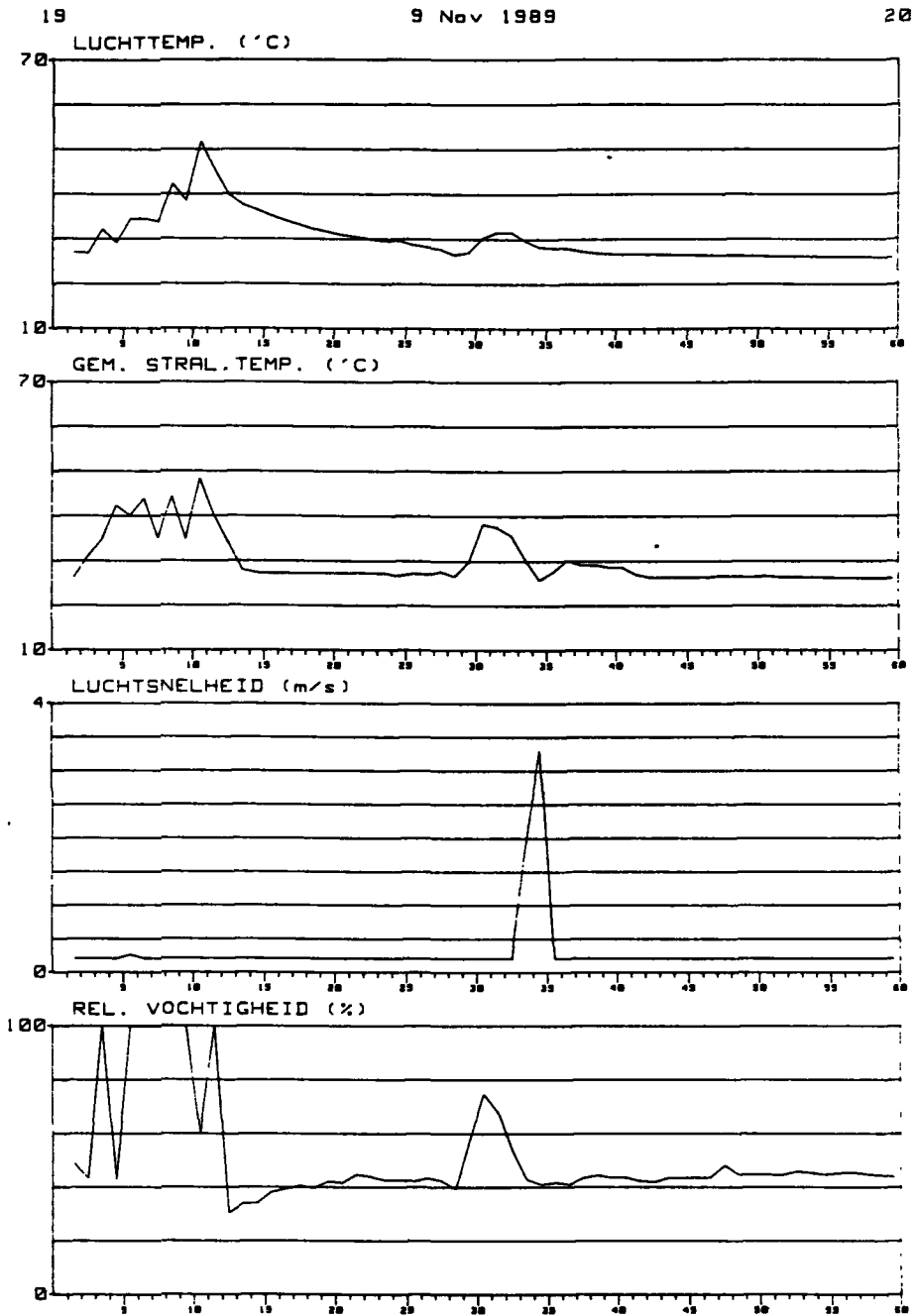
Figuur C.11



Figuur C.12



Figuur C.13

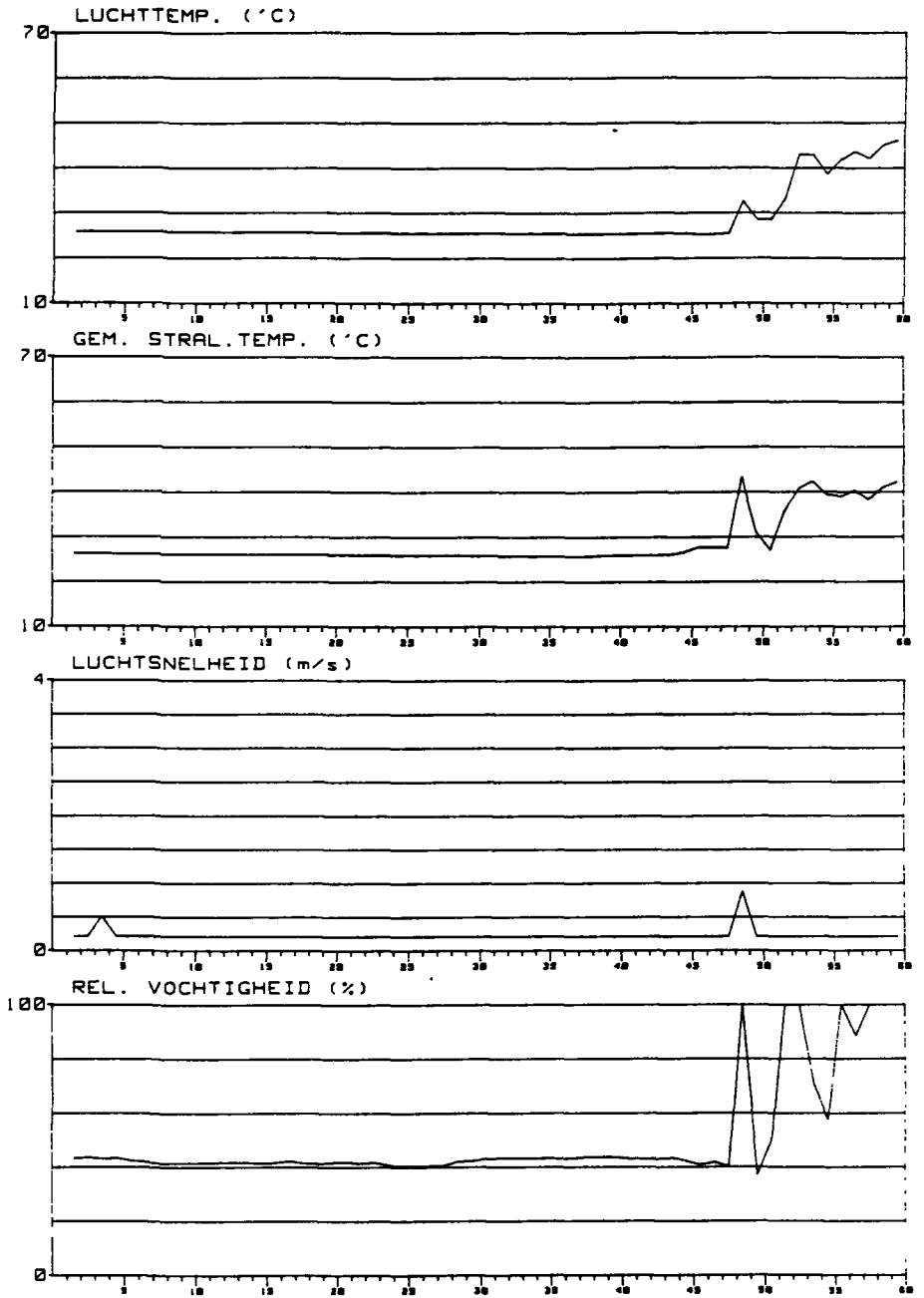


Figuur C.14

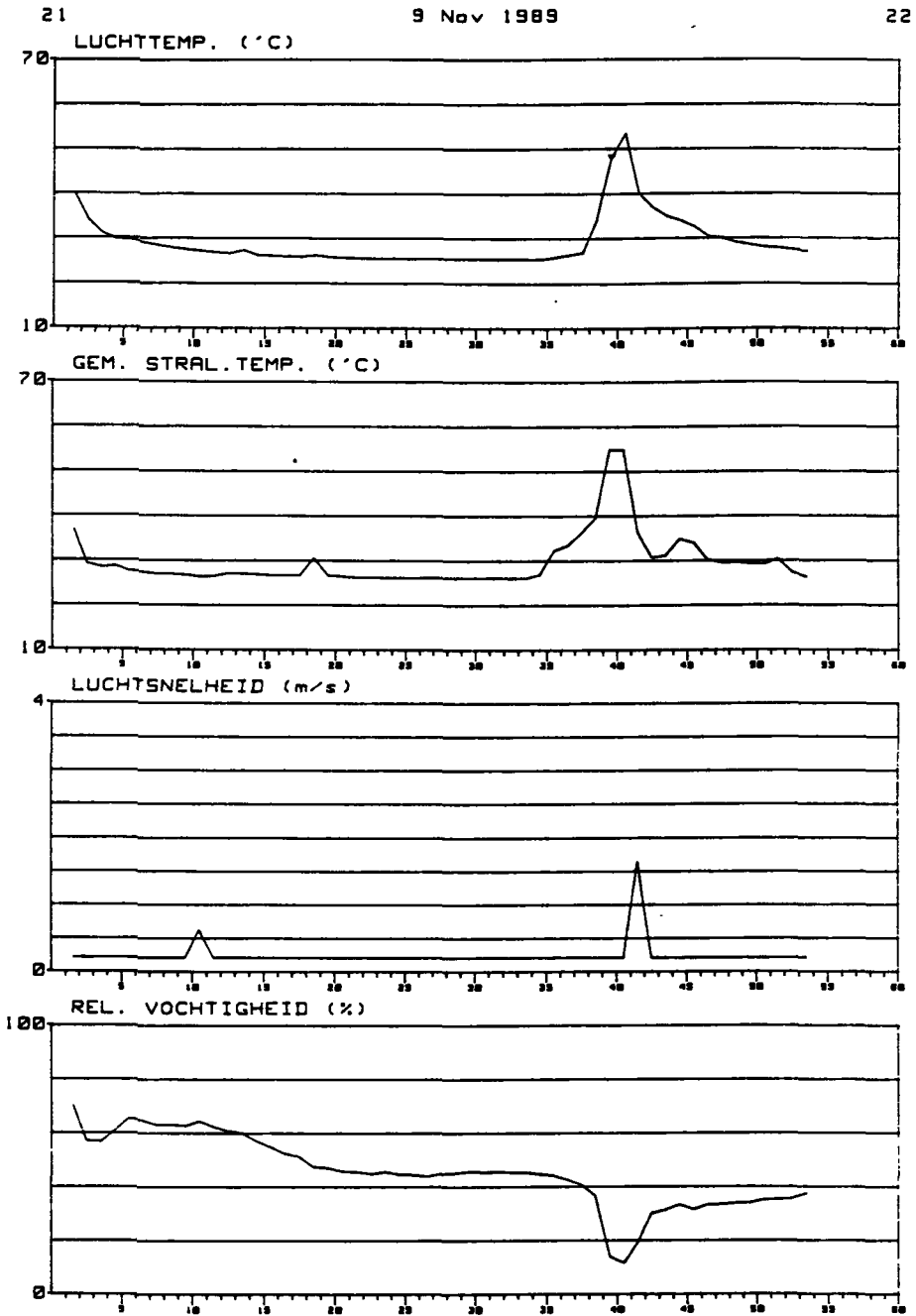
20

9 Nov 1989

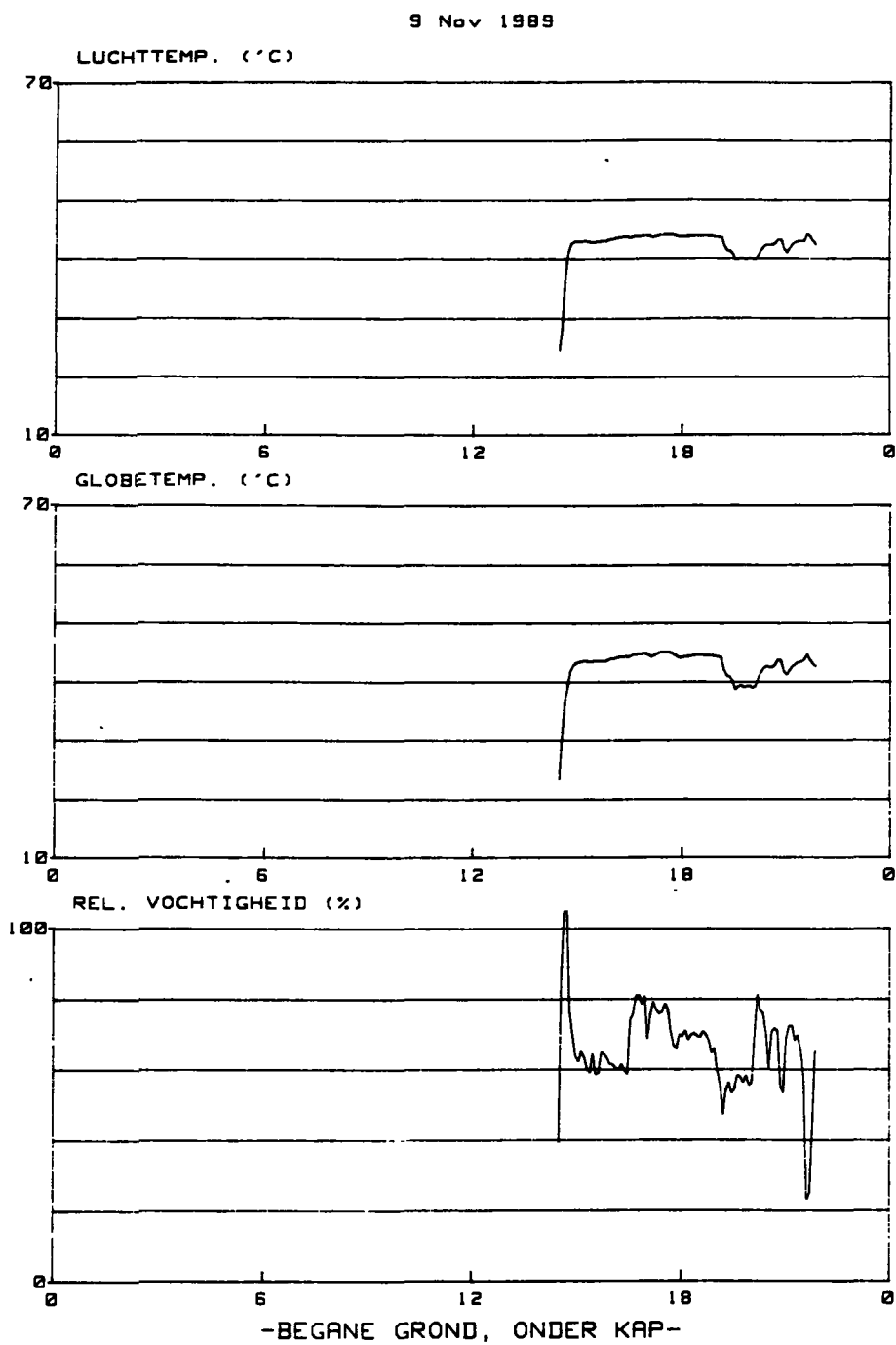
21



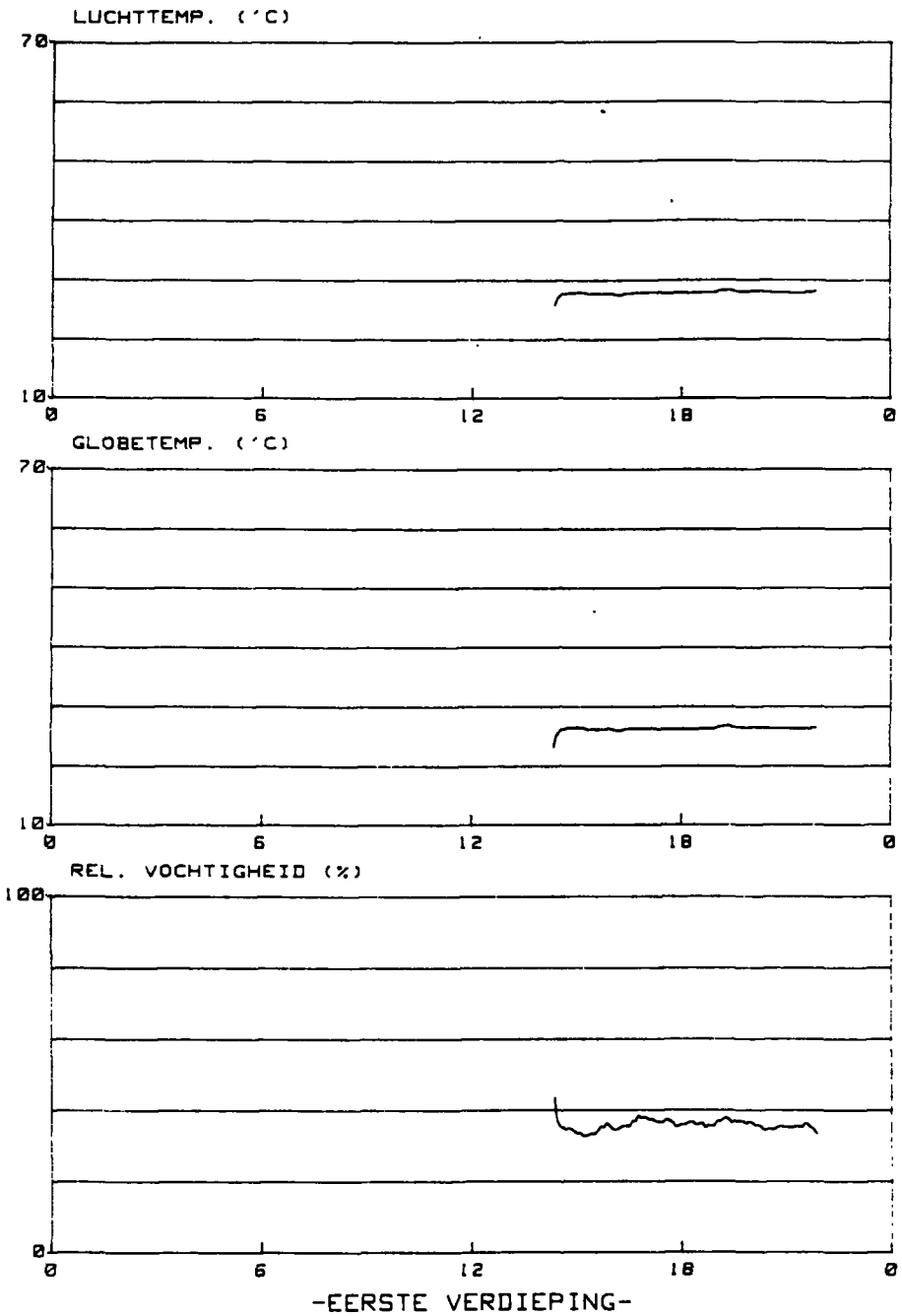
Figuur C.15



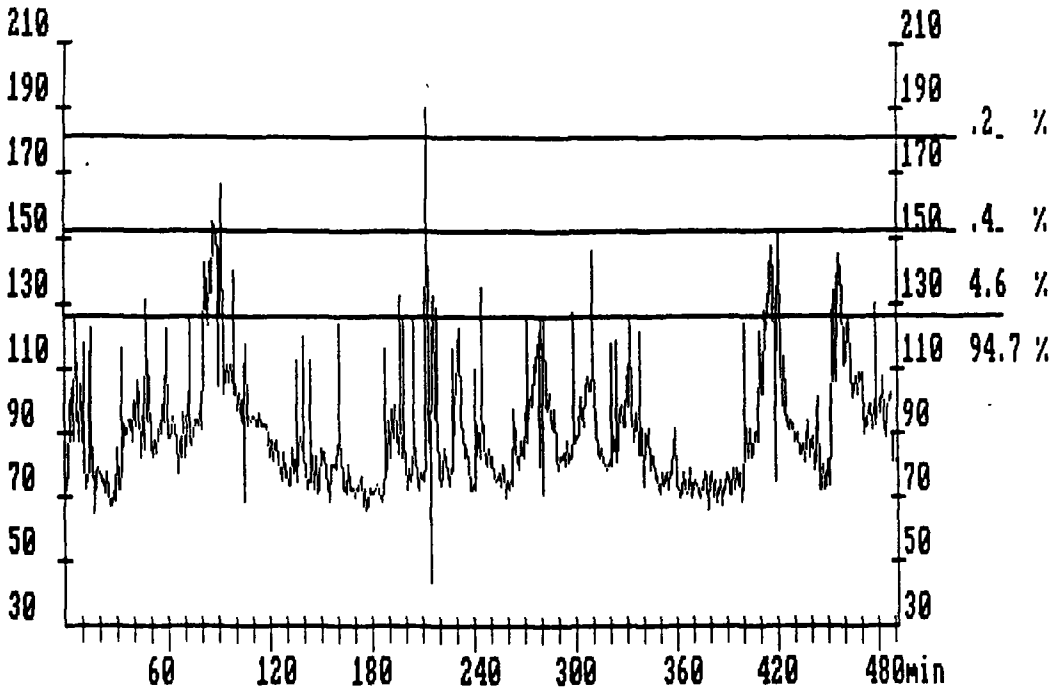
Figuur C.16

*Figuur C.17*

9 Nov 1989



Figuur C.18



Figuur C.19 Verloop van de hartslagfrequentie van de proefpersoon op 9 november 1989.

**BIJLAGE D REGISTRATIE VAN ACTIVITEITEN EN VERBLIJFPLAATSEN
VAN DE PROEFPERSOON OP 9 NOVEMBER 1989**

Tijd	Activiteit	Plaats
14.00	staan	ruimte BGD
14.05	lopen	buiten
14.07	staan	hal b.g. bij lift
14.09	lopen	hal e.v.
14.11	staan	controle-kamer
14.15	lopen	hal e.v.
14.17	staan	controle-kamer
14.26	zitten	controle-kamer
14.32	staan	controle-kamer
14.35.00	lopen	hal e.v.
14.35.20	staan, werk met armen	hal e.v., onder papierbaan
14.35.40	lopen	hal e.v., achterzijde, einde papierbaan
14.36.20	staan	hal e.v., papierbaan, einde papierbaan
14.37.40	lopen	hal e.v., achterzijde, midden papiermachine
14.38.00	staan, werk met armen	hal e.v., onder kap
14.39.00	lopen	hal e.v., onder kap
14.39.20	staan	hal e.v., onder kap
14.40.00	lopen	hal e.v., achterzijde
14.40.20	staan	hal e.v., in deur kap
14.40.30	lopen	hal e.v., achterzijde
14.41.00	lopen	hal e.v., onder kap
14.42.00	lopen	hal e.v., achterzijde
14.43.00	lopen	hal e.v., onder kap
14.43.20	staan	hal e.v., onder kap
14.43.40	staan	hal e.v., in deur kap
14.44.00	staan	hal e.v., achterzijde, begin papierbaan
14.44.30	lopen	hal e.v., achterzijde, begin papierbaan
14.45.20	staan	hal e.v., onder papierbaan, begin papierbaan
14.46.00	lopen	hal e.v., onder kap, begin papierbaan
14.46.30	staan	hal e.v., onder kap, begin papierbaan
14.47.00	staan	hal e.v., in deur kap, begin papierbaan
14.47.30	staan	hal e.v., achterzijde, begin papierbaan
14.48.00	lopen	hal e.v., achterzijde
14.48.30	trap oplopen	trappenhuis achterzijde
14.49.00	lopen	hal t.v.
14.49.30	staan, werk met armen	ventilatorkast t.v.
14.50.00	staan	hal t.v.
14.50.30	trap oplopen	hal t.v.
14.50.40	staan, gebukt	bordes t.v.
14.51.00	trap oplopen	hal t.v.
14.51.20	lopen	hal t.v.
14.52.00	staan, werk met armen	hal t.v.
14.53.00	lopen	hal t.v.
14.53.20	staan, gebukt	ventilatorkast t.v.
14.54.00	lopen	hal t.v.

Tijd	Activiteit	Plaats
14.54.30	staan, werk met armen	calanderruimte
14.54.50	staan, werk met armen	droogpartij
14.55.00	lopen	hal t.v.
14.58.00	staan	hal t.v. bij ventilatorkast
14.59.00	lopen	hal t.v.
14.59.30	staan, werk met armen	hal t.v.
14.59.40	lopen	ventilatorkast t.v.
15.00.00	lopen	hal t.v.
15.00.30	trap oplopen	trappenhuis achterzijde
15.00.50	lopen	hal d.v.
15.02.00	lopen	buiten, op dak
15.02.30	lopen	binnen
15.02.40	lopen	buiten, op dak
15.03.00	staan	buiten, op dak
15.04.00	lopen	hal d.v.
15.04.20	trap oplopen	trappenhuis, achterzijde
15.05.30	lopen	hal b.g., achterzijde
15.06.30	staan, werk met armen	hal b.g., achterzijde
15.07.00	lopen	hal b.g., achterzijde, begin papierbaan
15.08.00	staan	hal b.g., achterzijde, begin papierbaan
15.09.30	lopen	hal b.g.
15.10.00	trap oplopen	hal b.g.
15.10.10	lopen	hal b.g., bordes bij machine
15.11.00	trap oplopen	hal b.g.
15.11.10	lopen	hal b.g., achterzijde
15.11.50	staan, armen	hal b.g., achterzijde
15.12.20	lopen	hal b.g., achterzijde
15.12.40	staan, gebukt	hal b.g., achterzijde
15.13.00	lopen	hal b.g.
15.14.00	trap oplopen	hal b.g.
15.14.10	staan, werk met armen	hal b.g., bordes
15.14.50	trap af	hal b.g.
15.15.00	staan	hal b.g.
15.16.00	lopen	hal b.g., einde papierbaan
15.16.20	staan	hal b.g., onder kap, einde papierbaan
15.16.40	lopen	hal b.g., onder kap, einde papierbaan
15.18.00	staan	hal b.g., onder kap, midden papierbaan
15.19.00	staan	hal b.g., onder kap, onder papier, midden papierbaan
15.19.20	staan	hal b.g., onder kap, midden papierbaan
15.21.00	lopen	hal b.g., onder kap, onder papier
15.21.20	staan	hal b.g., onder kap, onder papier, begin papierbaan
15.22.30	lopen	hal b.g., onder kap, onder papier, begin papierbaan
15.23.00	staan, romparbeid	hal b.g., onder kap, begin papierbaan, rand papierbaan
15.23.40	trap oplopen	hal b.g., onder kap, begin papierbaan, rand papierbaan
15.23.50	staan, romparbeid	hal b.g., onder kap, begin papierbaan, rand papierbaan

Tijd	Activiteit	Plaats
15.25.00	trap aflopen	hal b.g., onder kap, begin papierbaan, rand papierbaan
15.25.10	lopen, romparbeid	hal b.g., onder kap, onder papierbaan, midden papierbaan
15.27.00	trap op	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.27.10	staan, romparbeid	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.27.50	trap af	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.28.00	lopen, werk met armen	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.28.40	trap oplopen	hal b.g., onder kap, einde papierbaan, rand papierbaan
15.29.00	lopen, werk met armen	hal b.g., onder kap, einde papierbaan, rand papierbaan
15.29.50	trap aflopen	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.30.00	lopen, werk met armen	hal b.g., onder kap, rand papierbaan
15.30.20	trap oplopen	hal b.g., onder kap, rand papierbaan
15.30.30	lopen, werk met armen	hal b.g., onder kap, bordes, midden papierbaan
15.31.30	trap aflopen	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.31.40	staan, werk met armen	hal b.g., onder kap, einde papierbaan, rand papierbaan
15.32.00	lopen	hal b.g., onder kap, onder papier
15.32.20	staan, werk met armen	hal b.g., onder kap, midden papierbaan, rand papierbaan
15.33.00	lopen	hal b.g.
15.34.00	trap oplopen	trappenhuis voorzijde
15.34.30	staan	stofregelkamer e.v.
15.41.00	lopen	hal e.v., voorzijde
15.42.00	staan	hal e.v., voorzijde (voor machine)
15.43.00	lopen/staan	hal e.v., voorzijde (langs machine)
15.45.00	staan	hal e.v., bij controle-paneel
15.46.00	staan/lopen	hal e.v., bij controle-paneel
15.47.00	lopen/staan	hal e.v., onder papierbaan
15.47.30	staan	controle-kamer
16.18.00	lopen	hal e.v., bij tamboer
16.22.00	staan	controle-kamer
16.25.00	lopen/staan	hal e.v., bij tamboer
16.28.00	lopen, werk met armen	hal e.v.
16.29.30	staan	kantoor ploegleider
16.39.00	lopen/staan	hal e.v.
16.41.00	lopen	hal e.v.
16.41.30	lopen, werk met armen	hal e.v., bij tamboer
16.44.00	staan	controle-kamer

b.g. = begane grond
e.v. = eerste verdieping

t.v. = tweede verdieping
d.v. = derde verdieping

BIJLAGE E BEPALING VAN HET METABOLISME*Resultaten fietsergometerproef:*

Fietsbelasting (W)	Hartslagfrequentie (minuut ⁻¹)	Zuurstofopname*) (l/minuut)	Metabolisme	
			W	W/m ² **)
0	68	0,9	306	70
100	107	1,5	510	237
125	111	1,8	612	285
150	129	2,1	714	332
175	139	2,4	833	387
200	150	2,8	952	443
225	164	3,2	1071	498

*) gebaseerd op gegevens van Astrand [6]

) gebaseerd op de aanname dat 1 l O₂ overeenkomt met 340 W*) gebaseerd op lichaamsoppervlak van 2,15 m²

Uit de waarden van de hartslagfrequentie en het metabolisme kan met behulp van lineaire regressie de volgende relatie worden afgeleid:

$$M = 4,57 * hf - 246,4 \quad (W/m^2)$$

waarin: M = metabolisme in (W/m²)

hf = hartslagfrequentie in slagen/minuut

De relatie geldt voor een hartslagfrequentie groter dan 70 minuut⁻¹.

BIJLAGE F INVOERGEGEVENS VOOR DE BEREKENING VAN DE VER- EISTE ZWETPRODUKTIE

Personal monitoring

Periode	Tijd	Lucht- temperatuur (°C)	Natte- boltemperatuur (°C)	Lucht- snelheid (m/s)	Metabolisme (W/m ²)	Stralings- temperatuur (°C)
1	14.20-14.30	25,0	16,5	0,2	93	27,9
2	14.35-14.38	29,6	19,2	0,2	165	32,1
3	14.38-14.40	40,9	31,9	0,3	146	46,7
4	14.40-14.41	32,3	19,7	0,2	173	38,4
5	14.41-14.42	43,0	34,4	0,2	136	48,0
6	14.42-14.43	35,4	22,1	0,2	184	35,6
7	14.43-14.44	49,0	41,7	0,2	143	51,2
8	14.44-14.46	35,9	22,9	0,2	101	39,5
9	14.46-14.47	35,3	22,5	0,2	98	40,6
10	14.47-15.02	32,3	22,1	0,3	152	36,8
11	15.02-15.04	12,6	8,3	0,1	173	18,9
12	15.04-15.16	26,9	17,6	0,47	123	31,2
13	15.16-15.32	43,5	38,1	0,37	210	39,0
14	15.32-15.34	34,6	21,0	0,2	212	40,1
15	15.34-15.41	22,3	15,1	0,36	117	36,3
16	15.41-15.46	26,9	17,8	0,28	108	37,3
17	15.46-16.06	26,7	19,0	0,2	108	30,6
18	16.06-17.00	24,9	17,3	0,27	84	27,8

Draagbare meetset

Periode	Tijd	Lucht-temperatuur (°C)	Natte-boltemperatuur (°C)	Lucht-snelheid (m/s)	Metabolisme (W/m ²)	Stralings-temperatuur (°C)
1	14.20-14.30	24,8	16,5	0,2	93	25,2
2	14.35-14.38	26,6	17,6	0,2	165	29,8
3	14.38-14.40	34,0	28,1	0,3	146	43,8
4	14.40-14.41	32,0	19,5	0,2	173	42,6
5	14.41-14.42	35,2	35,2	0,2	136	48,2
6	14.42-14.43	36,2	36,2	0,2	184	43,0
7	14.43-14.44	42,1	42,1	0,2	143	54,0
8	14.44-14.46	36,5	22,4	0,2	101	42,3
9	14.46-14.47	36,7	22,3	0,2	98	37,9
10	14.47-15.02	32,9	22,7	0,3	152	35,5
11	15.02-15.04	17,2	13,3	1,0	173	19,3
12	15.04-15.16	25,0	17,0	0,47	123	28,4
13	15.16-15.32	41,4	38,2	0,37	210	48,2
14	15.32-15.34	41,9	29,9	0,2	212	42,7
15	15.34-15.41	31,9	21,5	0,36	117	29,0
16	15.41-15.46	26,8	17,9	0,28	108	31,8
17	15.46-16.06	26,1	18,5	0,2	108	27,4
18	16.06-17.00	24,5	17,0	0,27	84	25,4

Vaste meetpunten

Periode	Tijd	Lucht-temperatuur (°C)	Natte-boltemperatuur (°C)	Lucht-snelheid (m/s)	Metabolisme (W/m ²)	Stralings-temperatuur (°C)
1	14.20-14.30	25,6	17,6	0,2	93	25,8
2	14.35-14.38	28,0	17,4	0,2	165	28,0
3	14.38-14.40	44,0	36,1	0,3	146	44,0
4	14.40-14.41	28,0	17,4	0,2	173	28,0
5	14.41-14.42	44,0	36,1	0,2	136	44,0
6	14.42-14.43	28,0	17,4	0,2	184	28,0
7	14.43-14.44	44,0	36,1	0,2	143	44,0
8	14.44-14.46	28,0	17,4	0,2	101	28,0
9	14.46-14.47	44,0	36,1	0,2	98	44,0
10	14.47-15.02	28,0	17,4	0,3	152	28,0
11	15.02-15.04	28,0	17,4	1,0	173	28,0
12	15.04-15.16	28,0	17,4	0,47	123	28,0
13	15.16-15.32	44,0	36,1	0,37	210	44,0
14	15.32-15.34	28,0	17,4	0,2	212	28,0
15	15.34-15.41	25,6	17,6	0,36	117	25,8
16	15.41-15.46	28,0	17,4	28,0	108	28,0
17	15.46-16.06	25,6	17,6	0,2	108	25,8
18	16.06-17.00	25,6	17,6	0,27	84	25,8