

COMMISSIE VOOR ARBEIDSGENEESKUNDIG ONDERZOEK DER GEZONDHEIDSORGANISATIE T.N.O.

Bibliotheek Hoofdkantoor TNO

s-Gravenhage

Warmtestraling in de Industrie

door

Ir. E. VAN GUNST

hoofd van de afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O.

Probleemstelling

In bepaalde takken van de industrie zijn er processen, waarbij de betrokken personen onder zeer warme omstandigheden hun werk moeten verrichten.

Bij dit werk zullen, afhankelijk van de zwaarte, in het menselijk lichaam hoeveelheden warmte vrijkomen, omdat de voor het werk benodigde energie door het menselijk lichaam met een bijzonder laag rendement geleverd wordt. Het lichaam moet in staat gesteld worden deze overtollige warmte af te voeren: geschiedt dit niet, dan zal de lichaamstemperatuur gaan oplopen. Een oplopen, dat uiteraard maar tot een zekere graad toelaatbaar geacht mag worden, mede omdat niet bekend is, welke (kwalijke) consequenties het op de lange duur kan hebben als het lichaam geregeld op een hogere dan de normale temperatuur wordt gehouden, al kan deze temperatuur op zichzelf voor korte duur als ongevaarlijk worden beschouwd.

Zelfs indien een mens geen noemenswaardige arbeid verricht, zal steeds een overschot aan warmte moeten worden afgevoerd, wat in normale klimaten steeds gewaarborgd is.

Er is een samenstel van omstandigheden, dat met elkaar zal bepalen of een situatie al of niet toelaatbaar zal zijn — indien men het tenminste eens is geworden over een maat voor dit begrip toelaatbaar — en wel:

- de zwaarte van de arbeid;
- de duur van de arbeid;
- het klimaat, waarin de arbeid dient te worden verricht.

Eén van de mogelijkheden om voor een bepaalde situatie te trachten zich een indruk te vormen, is het opstellen van een warmtebalans voor de werkzaam zijnde personen.

Deze warmtebalans kan dan (zoals iedere balans) van twee zijden worden benaderd:

- van de fysiologische (inwendige) kant, via stofwisselingsmetingen;
- van de fysische (uitwendige) kant, via klimaatmetingen en vaststelling van de daaruit volgende hoeveelheden uitgewisselde warmte door straling, convectie en zweetverdamping tussen de mens en zijn omgeving.

Deze problematiek of gedeelten daarvan is op diverse plaatsen onderwerp van onderzoek en om coördinatie van krachten en kennis te bewerkstelligen is zij ondergebracht in het verband van de Commissie voor Arbeidsgeneeskundig Onderzoek (CARGO) en wel in de stuurgroep „Arbeid bij extreme temperaturen”. Deze stuurgroep heeft een aantal werkgroepen ingesteld, waarvan één zich bezighoudt met de uitwisseling van warmtestraling tussen de mens en zijn (industriële) omgeving. Over het werk in deze werkgroep, waarvan behalve de Afdeling Binnenklimaat van het Instituut voor Gezondheidstechniek T.N.O. medewerkers van de N.V. Philips en van het Nederlands Instituut voor Praeventieve Geneeskunde deel uitmaken, zal in het volgende een en ander worden meegedeeld.

Een veelvuldig voorkomende situatie is, dat het „warme klimaat” gevormd wordt door een warmtebron van zekere afmetingen en hoge temperatuur, die de in de nabijheid werkende personen zeer eenzijdig bestraalt. Zulke gevallen doen zich bijvoorbeeld vóór in de nabijheid van gloeiende smeedstukken, glasovens, insmeltmachines, enz.

Het vaststellen van de hoeveelheid warmte, die door straling tussen een persoon en zijn omgeving wordt uitgewisseld, is slechts mogelijk indien men de beschikking heeft over enige methodieken, die enkele jaren geleden nog slechts in een elementair stadium verkeerden en dit ten dele nóg doen. De theoretische principes dateren al van veel oudere datum: de wet van Stefan Boltzmann.

Voor de praktijk is het minstens even — zo niet

meer — essentieel, om voor nog te ontwerpen situaties (dus vooraf) over deze vaststelling te kunnen beschikken als om in bestaande situaties bepaalde uitspraken te kunnen doen, resp. maatregelen te treffen.

Zou alleen dit laatste vereist worden — dus vaststelling in bestaande situaties — dan zou men kunnen volstaan met metingen ter plaatse. Hoewel op zichzelf reeds gecompliceerd genoeg, zou dit alleen betekenen het ontwerpen van een (routine-) apparatuur.

Voor het voorspellen van warmteuitwisselingen in nog te ontwerpen situaties — waarbij men dus nog het volle profijt kan trekken van de keuzemogelijkheden — zal de gehele beschouwing zich op schrift kunnen afspelen; men dient daartoe te beschikken over berekeningsmethodieken en tabellen.

Er wordt momenteel gewerkt aan oplossingen voor beide richtingen. Uit onderzoektechnisch oogpunt moet dit een bijzonder gelukkige combinatie genoemd worden, omdat men op deze wijze een onderlinge vergelijkbaarheid verkrijgt, waardoor betere waarborgen bestaan, dat

— de berekeningsmethodieken een meettechnische controle ondergaan;

— de waarnemingen met meetapparatuur op hun „begrijpelijkheid” getoetst worden.

Ook voor aansluiting met de praktijk is deze oplossing gelukkig. De „theoretische” onderzoekingen en ontwikkelingen vergen doorgaans de meeste tijd. Zolang het rekentechnische onderdeel nog niet bruikbaar is, kan, indien men reeds wel de beschikking heeft over de apparatuur, empirisch gewerkt worden.

Een bijzonder belangwekkend aspect, dat bij de stralingsuitwisseling van de mens in het oog gehouden dient te worden is, dat het wellicht voor het opstellen van een warmtebalans voor de gehele mens onverschillig is, of de warmte op zijn kuit en op zijn voorhoofd binnenkomt, maar dat het dit voor de persoon in kwestie niet is. Als consequentie heeft dit, dat men uiteindelijk naar een partiële stralingsuitwisseling toe moet: tussen delen van de mens en zijn omgeving.

Redenerend vanuit de omgeving komt men tot eenzelfde conclusie, omdat deze omgeving stralingstechnisch zal zijn opgebouwd uit een aantal oppervlakken, uiteenlopend in temperatuur.

Strikt genomen moet men dus toe naar mogelijkheden van vaststelling van de warmteuitwisseling door straling tussen een aantal delen van het menselijk lichaamsoppervlak en een aantal delen van zijn omgeving.

Hoe men dit aantal delen kiest, zal ten dele een arbitraire aangelegenheid zijn. Voor de omgeving zal men zo te werk gaan, dat men daarvoor die vlakken kiest, welke ieder voor zich een min of meer homogene temperatuur over het oppervlak vertonen. Voor het menselijk oppervlak zal men onderscheid willen maken tussen voor- en achterzijde, extremiteiten, hoofd en romp, daarbij de laatste weer verdelend in links, rechts en boven, onder.

Dit lijkt het probleem aanzienlijk te compliceren. Een bijzonder gelukkige omstandigheid is evenwel,

dat men bij het werken naar een oplossing in de rekentechnische richting gemeenlijk zijn beschouwingen pleegt te beginnen met wat men aanduidt als „meetkundige punten” en zo naar vlakjes tracht toe te werken, resp. naar vlakken.

Het probleem zoals de bedoelde werkgroep zich dat gesteld heeft is dus: het bepalen van de stralingsuitwisseling tussen twee vlakken, waarvan één een gedeelte van, resp. het gehele menselijk lichaam is, het andere een gedeelte van zijn omgeving.

Het kenmerk van deze oppervlakken in geometrische zin is, dat men ze als willekeurig moet aan nemen. Het zijn niet de fraaie rechthoeken, vierkanten of cirkels, waarvan de tabellen in de handboeken uitgaan. Bovendien staan zij niet netjes loodrecht op elkaar, resp. zijn zij niet parallel aan elkaar. In een groot aantal gevallen mogen zij zelfs niet als vlak worden aangemerkt.

Is dus de geometrie één hindernis welke genomen dient te worden, er is nog een andere.

Er is gesteld, dat het kenmerk waarop men de omgeving in vlakken verdeelt, de homogeniteit van hun oppervlaktemperaturen zou zijn. Per oppervlak zou dus de temperatuur gelijk dienen te zijn. Strikt genomen is dit uiteraard niet mogelijk; verschillen zullen er altijd zijn. Een praktische grens voor wat nog als „gelijk” moet worden gezien, zal zodanig gevonden moeten worden dat men uitmaakt, welke verschillen nog van invloed zijn.

Bij oppervlakken met zeer gematigde temperaturen (in de buurt van de normale omgevingstemperatuur) zullen doorgaans weinig problemen optreden. Bij hoge temperaturen zullen in het algemeen grotere verschillen kunnen worden verwacht en omdat het gehele niveau hoger is, zullen de invloeden van deze verschillen niet meer verwaarloosd kunnen worden.

Men dient hiermede rekening te houden en dit is de tweede hindernis, welke genomen dient te worden, want om er rekening mede te kunnen houden, dient men een inzicht in de verschillen te hebben. Vooral voor de zeer warme stralingsbronnen dient men derhalve technieken te ontwikkelen, waarmee men een indruk kan krijgen over optredende ongelijkmatigheden van temperatuur, voorzover die van invloed zijn op de stralingsuitwisseling met in de omgeving aanwezige personen.

Indien de straling eenmaal aangekomen is op het oppervlak van het menselijk lichaam — hetzij op de kleding, hetzij op de onbedekte huid — kan men zich gaan afvragen, wat er mede gebeurt.

In principe zal een gedeelte geabsorbeerd worden, de rest gereflecteerd. De geabsorbeerde straling zal vanaf de oppervlakte naar de diepte doordringen. Op deze verschijnselen wordt op het ogenblik niet nader ingegaan in het programma van deze werkgroep. Wel wordt in een andere werkgroep nagegaan, wat in de literatuur te vinden is over beschermende kleding. Met betrekking tot „stralingsbescherming” betekent dit dat er kleding is ontwikkeld, die de eigenschap bezit het grootste gedeelte van de aankomende straling te reflecteren, waardoor zij niet tot op het menselijk lichaam zelf

kan doordringen. Overigens is dit in principe natuurlijk hetzelfde als een stralingsafscherming tussen mens en bron. Indien dit laatste praktisch mogelijk is, verdient toepassing van dit middel steeds de voorkeur. Een derde groep heeft hierover een groot aantal gegevens en waarnemingen verzameld.

Overigens is de stralingsuitwisseling niet de enige manier, waarop de mens in contact met zijn omgeving staat.

Naar of vanuit de hem omringende lucht vindt warmtetransport plaats door convectie en door zweetverdamping. De fysische aspecten van deze verschijnselen maken nog geen deel uit van enig programma.

Wordt (of zou worden) tengevolge van eenzijdige straling een te grote warmtebelasting teweeg gebracht voor de werkende personen en wenst men daarin verandering te brengen, dan bestaat in principe de mogelijkheid wijziging te brengen in:

- de zwaarte van de arbeid;
- de duur van de arbeid;
- het klimaat waarin de arbeid wordt verricht.

Overweegt men maatregelen in het kader van dit laatste, dan kan men bedenken dat de overtollige door straling opvallende warmte door convectie weer kan worden afgevoerd, maar dat het eveneens mogelijk is maatregelen te beramen via stralingsuitwisseling, zgn. stralingskoeling. Ook dit laatste zal men pas met succes kunnen toepassen, als men over de technieken (methodieken) beschikt, waarmee men in staat is situaties stralingstechnisch te „begrijpen”.

*

Benadering van de stralingsuitwisseling tussen de mens en zijn omgeving

Ieder lichaam, dat een bepaalde temperatuur heeft, zendt straling uit. Dit is een vorm van energie, welke wordt afgegeven. In deze straling zullen diverse golflengten voorkomen en in het algemeen kan hierbij gesteld worden, dat de golflengten die een bepaalde warmtebron uitzendt, zullen afhangen van de temperatuur, welke die bron heeft: bij lage temperatuur ver in het infrarood ($\lambda = \text{ca } 0,1 \text{ cm}$). bij toenemende temperatuur ook in het dicht bij het zichtbare spectrum gelegen golflengtegebied. Bij ca. 500°C begint de eerste straling in het zichtbare gebied te verschijnen, eerst alleen in het rode, daarna ook in het gele en blauwe gebied (Denk b.v. aan het verhitten van een metalen staaf). In fig. 1 is aangegeven de hoeveelheid straling als functie van de golflengte bij verschillende temperaturen. We zien niet alleen, dat bij stijgende temperatuur het maximum in een gebied van kleinere golflengte komt te liggen, maar ook dat de totale hoeveelheid straling toeneemt.

Bij kamertemperatuur ligt 90 % van de door een oppervlak uitgezonden straling (lage-temperatuurstraling) tussen ca. $6 \cdot 10^{-4}$ en $48 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$, terwijl 90 % van de zonnestraling (hoge-temperatuurstraling) ligt tussen $0,3 \cdot 10^{-4}$ en $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ cm}$.

Ook de totaal uitgezonden energie is afhankelijk van de temperatuur. De wet van Stefan Boltzmann,

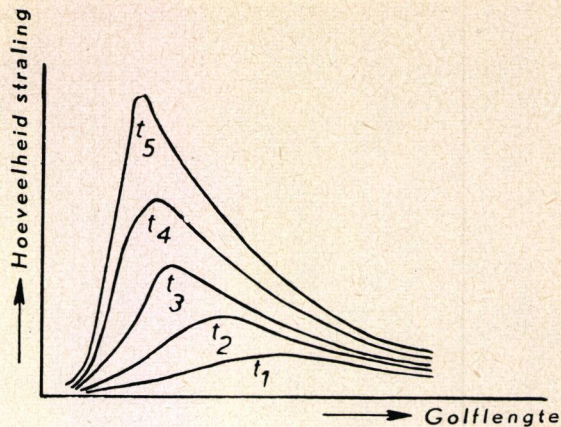


Fig. 1. Hoeveelheid straling als functie van de golflengte bij verschillende temperaturen.

die thermodynamisch afgeleid kan worden, geeft als stralingshoeveelheid in afhankelijkheid van de temperatuur σT^4 .

Een lichaam, dat deze hoeveelheid stralingsenergie bij een bepaalde temperatuur uitzendt, noemt men een zwart lichaam. Lichamen die niet zwart zijn (fysisch zwart) zullen bij een bepaalde temperatuur minder energie uitstralen dan de zwarte lichamen. Het kan nu zijn, dat zij wel alle golflengten uitzenden die ook het zwarte lichaam uitzendt; ook kan het zijn, dat zij sommige golflengten van het zwarte lichaam eveneens uitzenden, andere evenwel in het geheel niet. Lichamen, die wel alle zelfde golflengten als een zwart lichaam bij een bepaalde temperatuur uitzenden, doch in verminderde mate, noemt men grijs. Lichamen, die maar bepaalde fragmenten van de zwartstralers uitzenden, noemt men selectief stralend.

Heeft men te doen met de genoemde grijze lichamen — en men neemt in eerste instantie aan, dat het hierom gaat bij de normaal voorkomende klimaten in woningen en industrie — dan is de fractie van de stralingsenergie t.o.v. het zwarte lichaam aan te duiden door een factor ϵ_1 . Voor een grijs stralend lichaam volgt hieruit, dat de totaal uitgezonden hoeveelheid straling gelijk is aan $\epsilon_1 \sigma T^4$. Op deze wijze is dus de totale hoeveelheid straling, welke een bepaald lichaam (resp. een bepaald oppervlak) uitzendt, eenvoudig af te leiden indien men de temperatuur er van kent. Zoals in de inleiding al werd aangestipt, kan deze temperatuur in bepaalde gevallen een vraagpunt zijn, omdat de bron geen homogene temperatuur heeft, maar een van plaats tot plaats verschillende. Wij komen hierop nog terug.

De straling, die een lichaam verlaat, plant zich ongehinderd voort door de lucht. Slechts vaste obstakels zullen haar kunnen opvangen en de door een lichaam uitgezonden stralingsenergie zal zich dus net zo ver voortplanten, tot zij een dergelijk obstakel treft. Wanneer straling een oppervlak treft, kunnen er verschillende dingen gebeuren. Zij kan geabsorbeerd worden, hetgeen betekent dat de stralingsenergie in het lichaam wordt opgenomen en wederom in warmte wordt omgezet. Dit zal geschieden in het laagje, dat aan het oppervlak grenst

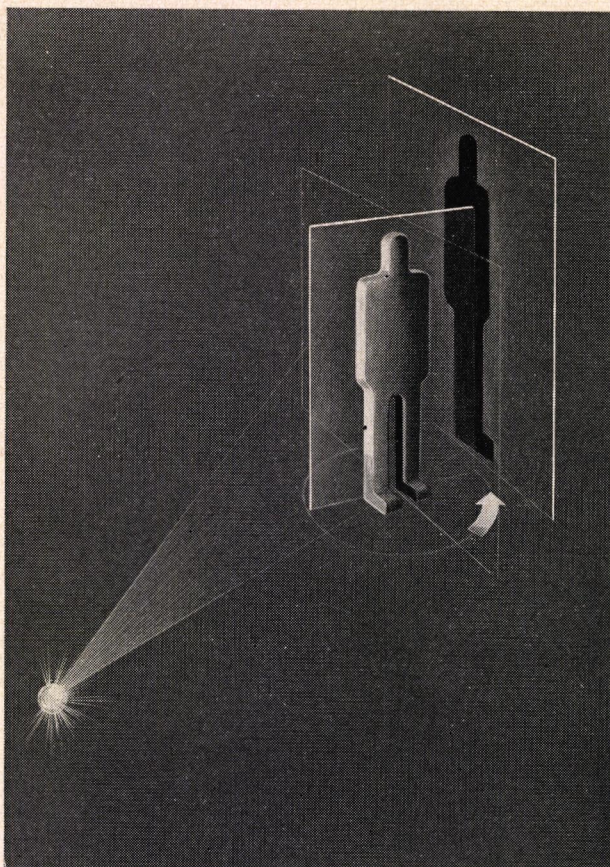


Fig. 2. Stralingsbron, bestraalde figuur en schaduw.

van het ontvangende lichaam. Hoe diep dit laagje zal zijn, zal afhangen en van de golflengte van de betreffende straling en van de aard van het ontvangende materiaal.

Het is ook mogelijk, dat de opvallende straling wordt gereflecteerd; zonder van golflengte te veranderen wordt zij gewoon teruggekaatst. De fractie van de totaal opvallende straling, welke door een lichaam geabsorbeerd wordt, is eveneens weer aan te duiden met een factor, nl. Terzijde kan opgemerkt worden, dat zowel de eerder genoemde factor ε_1 als deze factor ε_2 steeds een waarde zullen hebben, die tussen 1 en 0 gelegen is.

Natuurkundig kan worden afgeleid, dat voor één en dezelfde oppervlakte van een of ander lichaam geldt, dat

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$$

Welke waarde deze factoren voor dat bepaalde oppervlak zullen hebben, wordt voornamelijk bepaald door de aard van het oppervlak. Zo zullen bijv. de waarden voor glimmende metaaloppervlakken dicht in de buurt van 0 liggen; voor normaal voorkomende oppervlakken zullen zij naar 1 tenderen.

Ook zullen deze waarden voor de diverse golflengten bij één en hetzelfde oppervlak variëren. (Pikante bijzonderheid: stralingsbescherming tegen zonnebestraling vraagt een andere oppervlakte dan bescherming tegen stralen bijv. bij 100° C.).

Heeft men nu twee lichamen, dan zullen beide straling uitzenden in evenredigheid met de 4e machten van hun temperaturen. Daarbij zal wel-

licht straling van het ene oppervlak terecht komen op het andere en vice versa. Hier is het waar de eerste hindernis is gelegen, waarop in de inleiding werd gedoeld. Het probleem is namelijk: welk gedeelte van de totaal door het ene lichaam uitgezonden energie komt terecht op het andere? Men kan zich voorstellen, dat van een stralend oppervlak stralen uitgaan naar tal van richtingen. Ergens in deze stralen staat het andere lichaam, dat als obstakel voor een deel van deze stralen fungeert. De vraag is, voor welk deel?

Fig. 2 verduidelijkt dit voor onze gedachten. De stralingsbron zendt een hoeveelheid straling uit in tal van richtingen. Een gedeelte daarvan zal in de buurt van deze stralingsbron staande persoon treffen. Het overige „straalt hem voorbij”, hetgeen te zien is in het feit, dat hij achter zich ergens een schaduw werpt.

De verhouding van de hoeveelheid straling die de man treft en de totaal door de bron uitgezonden straling noemt men de vormfactor van de man t.o.v. de bron.

Het is hier dat de rekentechnische lijn begint, waarlangs de werkgroep enerzijds haar activiteiten richt.

Het is ook hier, dat de in de inleiding reeds aangeduide beschouwingen beginnen vanuit het zgn. meetkundige punt. Het stralende lichaam wordt teruggedacht tot een heel klein vlakje, dat de omvang van een meetkundig punt heeft. Geheel terugdenken in een punt is niet wel mogelijk, aangezien het kleine vlakje een representatie moet kunnen blijven van de stralingsbron, een oppervlak dat ook in zijn kleinste afmetingen een bepaalde stand heeft. Dit is wel aan te geven met een elementair vlakje, niet met een punt.

Is de bron een heel klein vlakje en is het obstakel een nette meetkundige figuur, dan zijn voor deze vormfactor keurig getabelleerde gegevens in diverse handboeken te vinden. Voor obstakels van enigszins meer gecompliceerde aard, vooral wanneer ze niet meer vlak zijn, zijn deze gegevens niet voorradig. Het zal zonder veel betoog duidelijk zijn dat het noodzakelijk is om, wanneer men bij het ontwerpen van situaties zodanig tewerk wil gaan, dat aan deze toestraling bepaalde beperkingen worden opgelegd — waarvoor men over bekendheid met de hoeveelheden moet beschikken — een techniek te ontwikkelen, waarmee men bijzonder snel en betrekkelijk eenvoudig voor tal van situaties deze vormfactoren kan bepalen. Dit is des te klemmender omdat men, in het bezit zijnde van een dergelijke techniek nog maar een gedeelte van het probleem beheerst, aangezien de stralingsbronnen in het algemeen geen zeer kleine vlakjes zijn, doch hoogstens daaruit opgebouwd kunnen worden gedacht.

Fig. 3 laat zien, hoe principieel deze methodiek ontwikkeld is. In het zeer kleine vlakje wordt de lens geplaatst van een fotocamera en wel in dezelfde stand als het vlakje gedacht is. Van hieruit wordt nu een foto gemaakt van het betreffende obstakel. In dit betoog wordt nu verder even de totale persoon als obstakel gedacht. Later zullen wij ook deze om reeds genoemde redenen afbreken tot kleinere

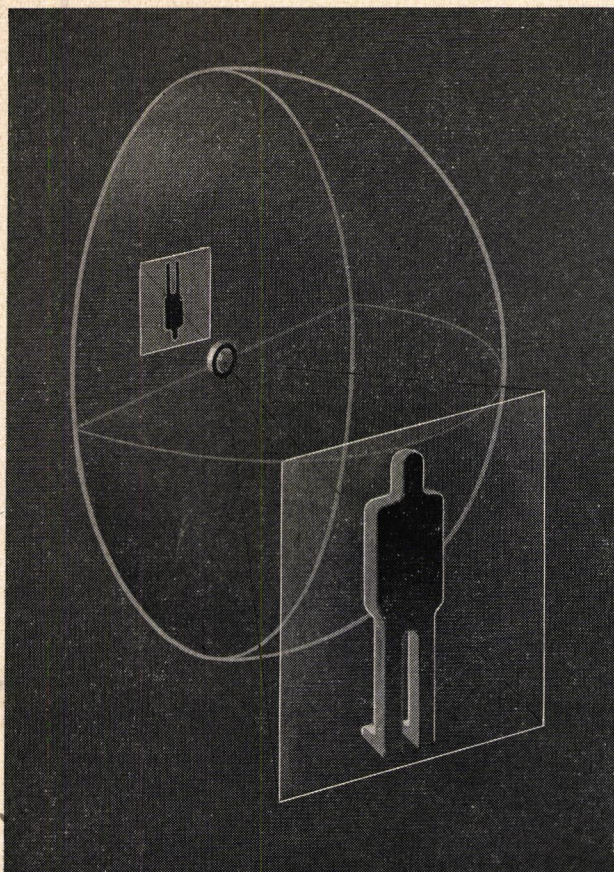


Fig. 3. Methodiek voor het fotograferen van een bestraald obstakel.

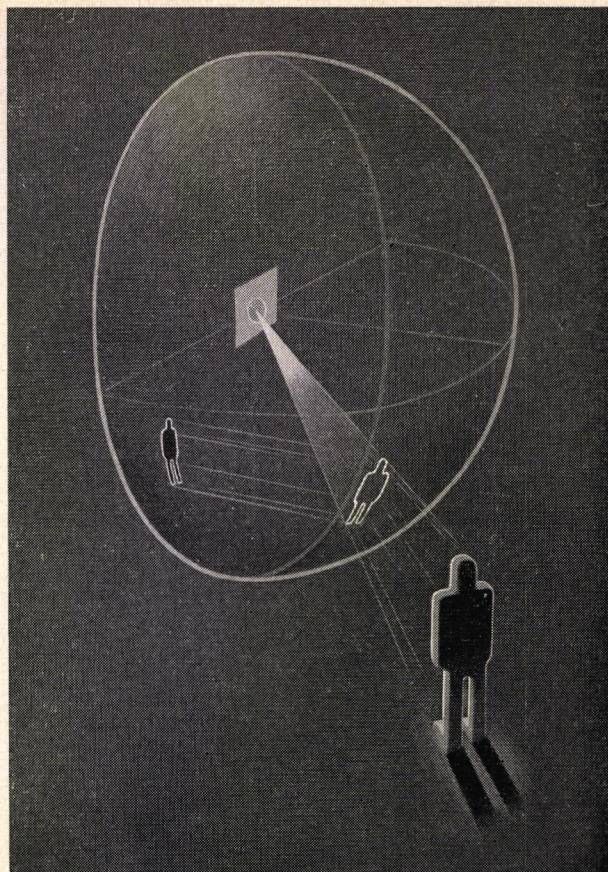


Fig. 4. Benadering van het deel der straling, dat een bepaald obstakel treft.

vlakken, die dus óók van niet-eenvoudige-vlakke-meetkundige aard zullen zijn. De aldus genomen foto geeft een vlakke projectie van de man op een vlakje ergens achter de lens; hiermee hebben wij dus op een bepaalde wijze de situatie vastgelegd en wij hebben daarmee de mogelijkheid, hem „thuis” verder te analyseren.

Wat daaraan geanalyseerd dient te worden is afleesbaar uit fig. 4. Wij nemen aan, dat het heel kleine stralingsbronnnetje zijn stralen uitzendt in de vorm van een halve bol en wensen nu vast te stellen, welk deel van deze straling op de man komt. Een aangrijpbare maat hiervoor zal zijn het oppervlak, dat de onderschepte stralen op de bol tekenen en de plaats waar dit gebeurt t.o.v. het totale halvebol-oppervlak. Een in verdere instantie doorgedachte maat kan ook zijn de verhouding van het eerstgenoemde oppervlakje, geprojecteerd op het grondvlak van de halve bol t.o.v. het totale grondvlak. Er is een verband af te leiden voor de vormfactor, uitgedrukt in deze verhouding.

Wat ons thuis te doen staat, is de foto van de betreffende situatie in relatie te brengen tot het laatstgenoemde verband. Hiervoor nu is een planimeter ontwikkeld. Fig. 5 geeft een voorbeeld van een dergelijke foto en fig 6 laat zien, hoe deze foto is ondergebracht in de planimeter, waarvan men met de stift slechts de omtrek van de man behoeft te volgen om bij aflezing van het planimeterrolletje rechtstreeks de vormfactor van de (zeer kleine)

stralingsbron t.o.v. de man in de geposeerde stand te verkrijgen.

Met behulp van deze methodiek nu is het mogelijk, een zeer groot aantal situaties te bewerken en daarvoor de vormfactoren vast te stellen. Vormfactoren dus, waarbij aan de ene kant een zeer klein vlakje staat, aan de andere zijde een willekeurig oppervlak. Men kan dit dus doen met voor het laatste te kiezen het menselijk oppervlak of een gedeelte daarvan, doch ook voor een willekeurige stralingsbron of een gedeelte hiervan. In deze twee gevallen ligt het zeer kleine vlakje dus resp. òf in de stralingsbron, òf op het menselijk lichaam.

Door het kiezen van een juiste en bovenal systematische opzet is het mogelijk, op deze wijze een catalogus samen te stellen. Een elementair begin is hiermee op enkele punten in het buitenland reeds gemaakt, doch ten gevolge van de grote hoeveelheden werk welke ermee gepaard gaan nog niet beëindigd in een vorm, welke voor de diverse industrie-omstandigheden noodzakelijk moet worden gedacht. Mede oorzaak hiervan is dat, voor zover ons bekend, niet wordt beschikt over een dermate snelle methodiek als hierboven beschreven en door ons ontwikkeld.

Een volgende stap moet zijn hoe men uitgaande van deze methodiek ook aan de zijde, waar het nu elementaire vlakje wordt gedacht, een vlak van eindige afmetingen kan plaatsen, dat ook weer van willekeurige vorm is. Dan pas bezit men de op-



Fig. 5. Voorbeeld van een situatiefoto.

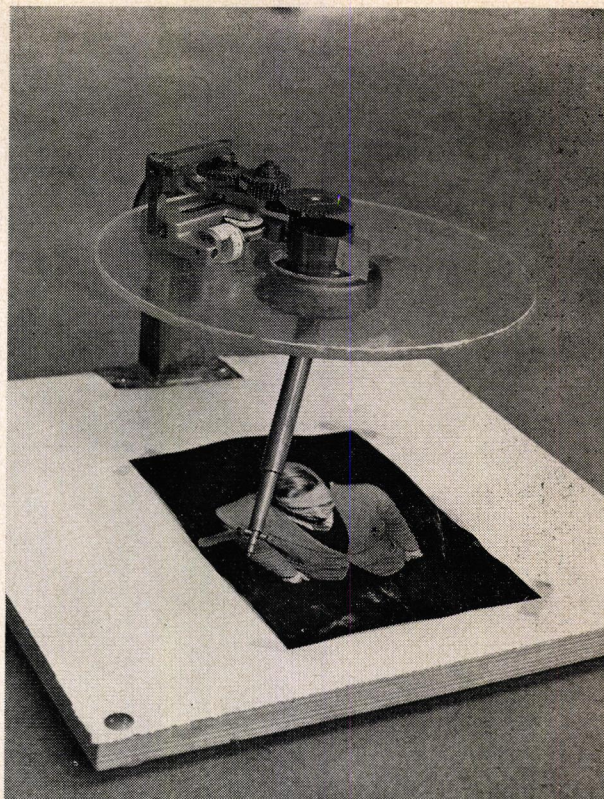


Fig. 6. Foto in de planimeter.

lossingsmethode om de stralingsuitwisseling tussen twee willekeurige oppervlakken vast te stellen. Het zal er op neerkomen, dat men de methodiek met het elementaire vlakje als uitgangspunt neemt en deze dan een aantal malen toepast voor specifieke punten van het tweede oppervlak. Met andere woorden: wenst men de vormfactor te bepalen voor een oppervlak met eindige afmetingen t.o.v. een ander oppervlak eveneens met eindige afmetingen, dan zal de vraag zijn, op hoeveel en welke punten van dat eerste oppervlak men minimaal de methodiek met het elementaire oppervlakje moet toepassen om de gezochte vormfactor met een bekende nauwkeurigheid vast te stellen.

De andere lijn, waarlangs momenteel gewerkt wordt, is de meettechnische. Hierbij wordt er van uitgegaan, dat men rechtstreeks de hoeveelheden straling die vanuit de bron het menselijk lichaam treffen wenst te bepalen. De gedachte ligt dan dichtbij, een zgn. „dummy” te gebruiken. Hieronder dient men te verstaan een soort pop, die op de plaats van de mens in de betreffende situatie kan worden gezet en waaraan men metingen kan uitvoeren.

In de meest uitgebreide vorm worden dergelijke dummies uitgevoerd als calorimeters. Op een of andere ingenieuze wijze wordt een dergelijke constructie ontworpen en gebruikt zodanig, dat men de oppervlaktemperatuur ervan constant kan houden. Dit uitgaande van het feit, dat ook de mens in deze situatie een min of meer constante oppervlaktemperatuur behoudt. Men tracht dan een indruk te verkrijgen omtrent het warmteuitwisselingsproces, waaraan de mens wordt onderworpen.

Deze methode lijkt ons bijzonder moeilijk en wel om twee redenen. In de eerste plaats is het vervaardigen van en het verrichten van metingen met een dergelijke apparatuur een bijzonder gecompliceerde en moeizame zaak. Daarnaast zal men één mechanisme — in warme klimaten wellicht het belangrijkste — namelijk de zweetverdamping, niet kunnen imiteren. Dit betekent, dat al het moeizame werken met een dergelijk apparaat nooit volledige en soms zelfs niet-zinnvolle informatie kan leveren. Het lijkt ons een beter uitgangspunt, de fysische aspecten van het warmteuitwisselingsproces van de mens en zijn omgeving aan te vangen vanuit de afzonderlijke fundamenteën, d.w.z. te beginnen met de straling, convectie en zweetverdamping ieder voor zich fundamenteel te benaderen. In het aan de orde zijnde onderzoek is dit werktechnisch bijzonder eenvoudig gemaakt, omdat dit onderzoek zich reeds zou beperken tot één der drie mechanismen, namelijk de straling.

Een dummy ten behoeve van deze stralingsonderzoeken behoeft dus als uitgangspunt slechts aan één eis te voldoen, namelijk dat hij informatie levert over de stralingsuitwisseling, die plaats heeft tussen het menselijk oppervlak en zijn omgeving. De omgeving wordt hier dan uitdrukkelijk als een totaal gezien, eventuele warmtebronnen en vlakken van gematigde temperatuur resp. lage temperatuur bijeen genomen. Een dergelijke dummy is ontwikkeld en afgebeeld in fig. 7. In wezen is hij niet anders dan een coördinatensysteem, dat in de plaats wordt gesteld van de mens en waaraan

op een groot aantal plaatsen gemeten kan worden, welke de hoeveelheden stralingswarmte zijn, die resulterend op deze plaatsen terecht komen resp. er vanuit worden afgegeven. De afmetingen van het instrument zijn gekozen in overeenstemming met een min of meer als „standaardman” aan te duiden persoon, namelijk een drager van maat 52 overall. Op een zeer groot aantal punten is het mogelijk zgn. stralingsontvangers aan te brengen, waarmee aflezingen te verrichten zijn omtrent hoeveelheden stralingswarmte.

Fig. 8 geeft in principe de opbouw van een dergelijke stralingsontvanger. De voorkant ervan is gelijk met het dummy-oppervlak en bevat een opening, waardoor alle op dit punt van de omgeving binnenkomende straling op een thermozuil kan vallen, die dus direct de totale hoeveelheid van de bij de uitwisseling betrokken straling meet. Om de uitkomst te kunnen interpreteren is het noodzakelijk, dat de thermozuil op een bekende constante temperatuur wordt gehouden, hetgeen geschiedt door een waterbad eromheen. Deze constante temperatuur behoeft niet gelijk te zijn aan de oppervlaktetemperatuur van de mens. Het resultaat van de metingen kan tot iedere gewenste temperatuur en dus ook tot een menselijke oppervlaktetemperatuur op eenvoudige wijze worden omgerekend.

De thermozuilen worden van een fabriek betrokken, de stralingsontvangers worden gebouwd en geijkt in de Afdeling Binnenklimaat. In eerste aanleg zal de dummy uitgerust worden met twaalf van deze ontvangers, welke op één registrerend apparaat worden aangesloten.

Zoals reeds enige malen in het voorgaande betoog werd aangestipt, is de ongelijkmatigheid van de temperatuur van de stralende bron een omstandig-

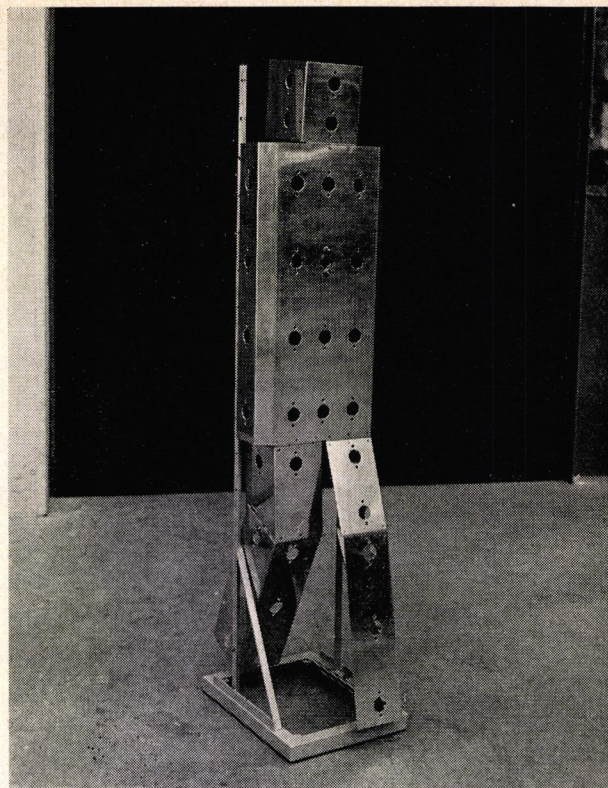


Fig. 7. Dummy voor stralingsonderzoeken.

heid, welke onder ogen gezien moet worden, en in dit stadium alleen door meettechnische informatie zal kunnen worden benaderd. Voor dit doel hoopt men ook gebruik te kunnen maken van de stralingsontvangers als ontwikkeld voor de dummy.

Hiertoe worden zij namelijk voorzien van een dia-

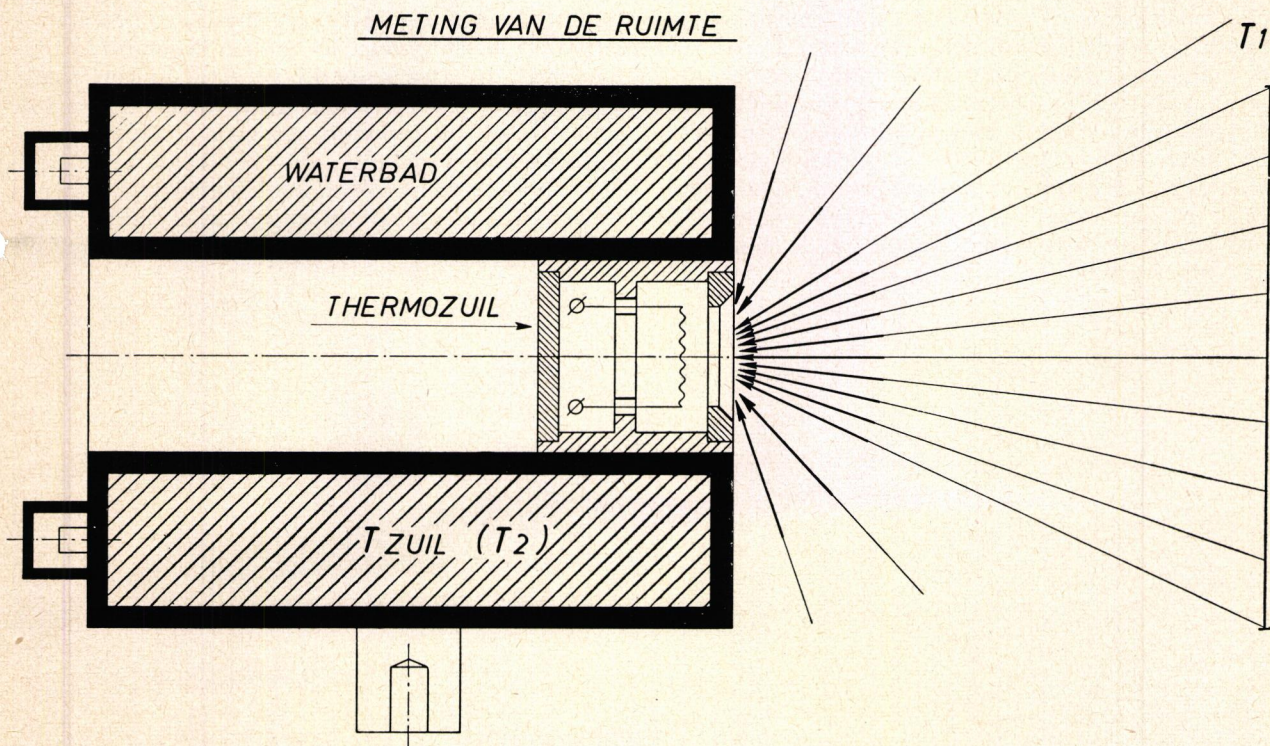


Fig. 8. Schema van de bouw van een stralingsontvanger.

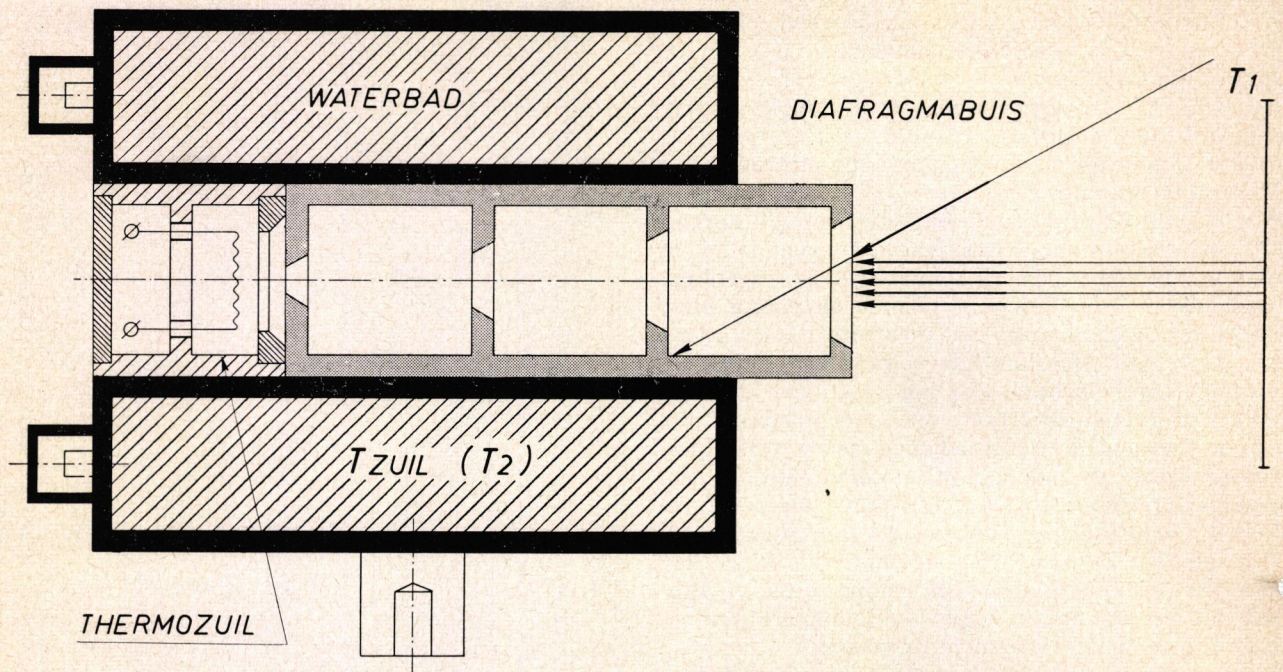


Fig. 9. Schema van een stralingsontvanger voor het benaderen van temperatuurverdelingen.

fragmabuis, welke aan de voorzijde kan worden ingeschoven, nadat de thermozuil tot achter in het instrument verplaatst is. In de opening van de diafragmabuis zal nu, afhankelijk van de opening, slechts de straling binnenkomen vanuit een klein oppervlakje van de omgeving. De thermozuil wordt afgeschermd door de diafragma's tegen de rest van de omgeving. Met een batterij van op deze wijze uitgeruste stralingsontvangers is het mogelijk, een temperatuurverdeling van stralingsbronnen meettechnisch te benaderen. Fig. 9 tenslotte geeft het schema van een aldus uitgeruste stralingsontvanger. De werkzaamheden van de werkgroep zijn momenteel zover gevorderd, dat de benodigde methodieken, die ontwikkeld moesten worden, in een ver

gevorderd stadium zijn en dat enerzijds de werkzaamheden ten behoeve van de opzet van een catalogus van vormfactoren ter hand genomen kunnen worden, dat anderzijds de instrumentatie ten behoeve van de meettechnische benadering haar voltooiing nadert en hiermede metingen in diverse situaties in de industrie zouden kunnen worden aangevat. Het werk in dit verband in een werkgroep, samengesteld zowel uit medewerkers uit de industrie als uit research-laboratoria, heeft als belangrijk aspect getoond, dat voor beide groepen al werkende duidelijk werd, hoe elkanders problemen en benaderingen daarvan gelegen zijn. Dat het werk zich langs fundamentele lijnen kon gaan bewegen, stemt tot verheuging.