

SER. 4

S 46-3

Ventilatie bij het lassen

Een onderzoek

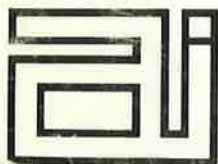
Uitgevoerd in opdracht van Directoraat-Generaal van de Arbeid,
door de Afdeling Binnenmilieu van de Hoofdgroep Maatschappelijke
Technologie TNO, Delft

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden



NIA0029416

Directoraat-Generaal van de Arbeid



S 46-3

621.791:628.83:662.613.5
(spec. a H.)

24/5 J.C.
gratis

Ventilatie bij het lassen

Een onderzoek

Uitgevoerd in opdracht van Directoraat-Generaal van de Arbeid,
door de Afdeling Binnenmilieu van de Hoofdgroep Maatschappelijke
Technologie TNO, Delft

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

starsb.nr. 09-701
plaats Ser. 4, S 46-3
datum 30 JUNI 1989

april 1989

TEN GELEIDE

Dit onderzoek (S 46-3) is het volgende in de serie onderzoeken naar de arbeidsomstandigheden van lassers.

Eerder verschenen:

- S 46 "Uitval om medische redenen van lassers bij een metaal constructiebedrijf";
- S 46-1 "Onderzoek naar de expositie van lassers aan lucht verontreiniging";
- S 46-2 "Onderzoek naar de ultraviolette stralingsniveaus bij lassen".

De gehele serie (S 46 t/m S 46-3) vormt de wetenschappelijke onderbouwing voor concept-publicatieblad CP 17 "verantwoord werken bij het lassen en aanverwante processen".

De verslagen van de onderzoeken en het concept-publicatieblad kunnen schriftelijk worden aangevraagd bij het D.G.A., Postbus 69, 2270 MA Voorburg.

Aan deze uitgaven zijn kosten verbonden, voor een volledig overzicht van de kosten en de overige publicaties van het Directoraat-Generaal van de Arbeid raadplege men onze catalogus (lijst 1). Deze catalogus is gratis verkrijgbaar.

INHOUDSOPGAVE

Deel 1	Het verspreidingsmechanisme van lasrook	blz. 1.1 - 1.67
Deel 2	De simulatie van de lasrookbeweging	blz. 2.1 - 2.133
Deel 3	De beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen	blz. 3.1 - 3.49
Deel 4	De afstemming van ventilatie en andere maatregelen op de verontreinigingen bij lasprocessen en lasmaterialen	blz. 4.1 - 4.64

Deelrapport 1

Het vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook

**Auteur:
Ing. B. Knoll**

INHOUDSOPGAVE DEEL 1	Blz.
Samenvatting	1.3
1. Inleiding	1.4
2. Opzet van het ventilatie-onderzoek	1.5
2.1 Probleemstelling	1.5
2.2 Aanpak	1.6
3. Uitvoering van de metingen	1.8
3.1 Meetmethoden	1.8
3.2 Meetopstelling	1.11
3.3 Representativiteit van de metingen	1.13
3.4 Meetprogramma	1.14
4. Resultaten	1.16
5. Analyse van de meetresultaten	1.17
5.1 Visuele vergelijking	1.17
5.2 Invloed van het lasvermogen	1.22
6. Bespreking en conclusies	1.28
7. Literatuur	1.29
Bijlage A: Meetresultaten	1.31

SAMENVATTING

Om binnen het kader van een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken van lassers worden door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO en door het Coronellaboratorium verschillende deelonderzoeken uitgevoerd. Eén deelonderzoek omvat de ventilatie-aspecten, waarvan dit rapport de eerste fase beschrijft, betreffende het vastleggen van de lasrookbeweging.

De blootstelling van lassers aan lasrook wordt vooral bepaald door de onverdunde lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone stroomt. Beschermende maatregelen moeten daarom vooral zijn gericht op de directe beïnvloeding van deze lasrookbeweging.

Hiervoor moet allereerst het verspreidingsmechanisme van de lasrook bekend zijn om de juiste beschermende maatregelen te kunnen onderzoeken. In een lasopstelling zijn daarom temperaturen, snelheden en stofconcentraties in lasrookpluimen gemeten. De belangrijkste invloedsfactoren, zoals het lasproces, het lasmateriaal, het lasvermogen, het schermgasdebiet en de toortshoek zijn hierbij gevarieerd.

Uit een onderlinge vergelijking van de meetresultaten blijkt, dat de vormen van de lasrookpluimen bij variatie van de genoemde invloedsfactoren sterke overeenkomsten vertonen. De niveaus van temperaturen, snelheden en stofconcentraties blijken vooral met het lasvermogen te variëren. Gemiddeld blijkt het temperatuurverschil tussen een willekeurige plaats in de lasrookpluim en de omgeving evenredig met het lasvermogen tot de macht 0,83. Daarnaast zijn het lasproces en het lasmateriaal van invloed op de temperaturen, snelheden en concentraties. De schermgasstroom en de toortshoek veroorzaken vooral een verschuiving van het hart van de lasrookpluim ten opzichte van de lodlijn boven het smeltbad.

De relaties zullen in de volgende fase van het ventilatie-onderzoek nader worden uitgewerkt.

In ieder geval blijken alle genoemde effecten goed of redelijk voorspelbaar te zijn. Dit maakt het vervolgens beproeven van beschermende maatregelen aan één karakteristiek verspreidingsbeeld mogelijk. Vanuit deze proeven kan dan een interpretatie worden gemaakt naar andere lascondities. Aldus kunnen ventilatiemaatregelen op de verschillende lasprocessen en lascondities worden afgestemd.

1. INLEIDING

In een vooronderzoek van TNO [1] en het Coronellaboratorium [2] is een indruk verkregen van de arbeidssituatie van lassers. In veel gevallen blijken lassers bovenmatig te worden blootgesteld aan verontreinigingen, elektromagnetische straling en lawaai. Hierbij zijn verontreinigingen en straling specifiek afkomstig van het lassen. Deze aspecten worden nader bestudeerd in een vervolgonderzoek, dat door het Directoraat-Generaal van de Arbeid (DGA) aan TNO is opgedragen. Lawaai wordt in breder verband (project Preventie Gehoorschade) reeds onderzocht. De medische aspecten van het lassen worden door het Coronellaboratorium nader onderzocht.

Het doel van het vervolgonderzoek is te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken bij lassen en snijden.

De hoofdlijn van het vervolgonderzoek door TNO komt neer op het volgende:

- Nadere inventarisatie van de verontreinigingen- en stralingsniveaus bij de diverse lasprocessen.
- Onderzoek naar en inventarisatie van middelen ter vermindering van de expositie van lassers.
- Vaststelling van de minimaal gewenste voorzieningen en middelen ter voorkoming van te hoge exposities. Vastlegging in een conceptvoorlichtingsblad.

In de praktijk komt het vervolgonderzoek neer op drie deelonderzoeken:

1. Inventarisatie van verontreinigingsniveaus.
2. Onderzoek naar de benodigde ventilatievoorzieningen ter beperking van de expositie aan verontreinigingen.
3. Onderzoek naar stralingsniveaus bij verschillende lasprocessen en inventarisatie van beschermende middelen.

In dit rapport wordt de eerste fase van het onder 2. genoemde ventilatieonderzoek beschreven.

2. OPZET VAN HET VENTILATIE-ONDERZOEK

2.1 PROBLEEMSTELLING

Om de expositie van lassers aan verontreinigingen te verminderen blijkt het veelal noodzakelijk plaatselijke voorzieningen te treffen, die de lasrook in 't geheel niet of in beperkte mate langs de ademzone van de lassers doen bewegen. Gebruikelijke voorzieningen voor ruimteventilatie zijn hiervoor normaliter niet geschikt. Deze verlagen uitsluitend de achtergrondconcentratie. De expositie blijkt voornamelijk te worden bepaald door de onverdunde lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone van de lasser stroomt (zie figuur 1).

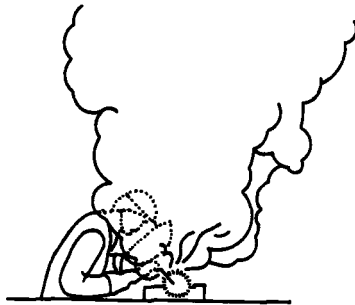


Fig. 1 Directe indringing van de lasrook in de ademzone bepaalt in hoge mate de expositie.

Om de indringing van lasrook in de ademzone te voorkomen of te beperken blijkt in de praktijk uitsluitend plaatselijke afzuiging op beperkte schaal te worden gebruikt. Daarbij valt de effectiviteit van deze voorziening nog vaak tegen. Een belangrijke reden hiervoor is het beperkte vangbereik van plaatselijke afzuigers in verhouding tot de gewenste actieradius van lassers. Het is daarom belangrijk de randvoorwaarden voor een goede werking van afzuigsystemen, maar ook de beperkingen van afzuigsystemen, te kennen. Daarnaast is het nuttig te onderzoeken of met bepaalde hulpmiddelen de werking van afzuigers kan worden verbeterd of met welke andere middelen de beweging van lasrook dusdanig kan worden beïnvloed, dat geen indringing in de ademzone plaatsvindt.

Het ventilatie-onderzoek is op deze aspecten afgestemd.

2.2 AANPAK

Om vast te kunnen stellen hoe de beweging van lasrook positief kan worden beïnvloed is het allereerst nodig deze beweging te kennen.

Vervolgens kan van verschillende plaatselijke voorzieningen het effect op de beweging van de lasrook worden onderzocht.

Als alternatief voor plaatselijke afzuiging wordt hierbij gedacht aan inblaasvoorzieningen om de beweging van lasrook van de ademzone weg te dwingen. De randvoorwaarden voor een goede werking van plaatselijke voorzieningen, maar ook de beperkingen of mogelijkheden van de voorzieningen, dienen vervolgens te worden bepaald. Daarnaast moet bij alle varianten worden bekeken in hoeverre aanvullende ruimteventilatie noodzakelijk is en hoe groot de ventilatie dan moet zijn. Zowel de plaatselijke voorzieningen als de aanvullende ruimteventilatie moeten hierbij worden afgestemd op de gemeten exposities aan verontreinigingen bij de diverse lasprocessen. Zo kan worden bepaald wat de minimaal gewenste ventilatievoorzieningen per lasproces zijn, hetgeen in een concept-voorlichtingsblad zal worden vastgelegd. Concreet betekent deze aanpak, dat de volgende stappen in het onderzoek kunnen worden onderscheiden:

- Fase 1 - Metingen ter bepaling van het verspreidingsmechanisme van lasrook bij verschillende lasprocessen bij variatie van de belangrijkste invloedsfactoren. Er zal worden getracht relaties tussen het verspreidingsbeeld en de invloedsfactoren af te leiden.
Hieruit zal een karakteristiek verspreidingsbeeld worden vastgesteld.
- Fase 2 - Simulatie van het karakteristieke verspreidingsbeeld in een laboratoriumopstelling (er wordt gekozen voor een laboratoriumopstelling in plaats van een lasopstelling, omdat de invloedsfactoren dan beter in de hand zijn te houden en omdat de werkomstandigheden gunstiger zijn). Met een warmtebron, eventueel voorzien van geforceerde luchttoevoer, zal het stromingsbeeld worden nagebootst. De verontreinigingen zullen in de vorm van een tracergas hierin worden geïnjecteerd.
- Fase 3 - Inventarisatie van bestaande plaatselijke ventilatievoorzieningen. Bepaling van de effectiviteit van dergelijke voorzieningen in de laboratoriumopstelling door meting van de concentratie van het

tracergas in de ademzone van een dummy-lasser. De effectiviteit zal onder wisselende gebruiksomstandigheden worden bepaald. In deze opstelling zal tevens worden onderzocht hoe met alternatieve voorzieningen de verspreiding van lasrook naar de ademzone kan worden voorkomen of verminderd.

De randvoorwaarden voor een juist gebruik van de plaatselijke ventilatievoorzieningen bij de verschillende lasprocessen en -omstandigheden moeten uit dit onderzoek volgen.

Fase 4 - Toetsing van de aldus vastgestelde gebruiksvoorwaarden voor plaatselijke ventilatievoorzieningen aan praktijkbevindingen. Afhankelijk van de bevindingen kan zonodig nog een bijstelling plaatsvinden.

Bepaling van de benodigde aanvullende ruimteventilatie bij gebruik van de diverse plaatselijke ventilatievoorzieningen en afhankelijk van de toegepaste lasprocessen.

Inventarisatie van adembeschermingsmiddelen. Vaststellen in welke situaties deze middelen moeten worden toegepast.

Fase 5 - Opstellen van de betreffende hoofdstukken van het conceptvoorlichtingsblad voor verantwoord werken met lasapparatuur.

Op de genoemde onderzoeks-aanpak wordt in [3] nog nader ingegaan.

In dit rapport wordt verder uitsluitend fase 1 behandeld.

3. UITVOERING VAN DE METINGEN

3.1 MEETMETHODEN

De verspreiding van lasrook vanaf het smeltbad van de las ontstaat onder invloed van een luchtbeweging. Deze luchtbeweging wordt veroorzaakt door:

- de warmte-ontwikkeling bij het lassen,
vooral de warmte die in de lucht vrijkomt;
- de gasontwikkeling en eventueel schermgastoevoeging bij het lassen.

De luchtbeweging kan daarbij worden beïnvloed door:

- de vorm van het werkstuk;
- de stand van het werkstuk;
- de houding van de lasser;
- de stand van de lastoorts;
- de verstoringen door langslopen, open deuren en dergelijke;
- de aanwezige ventilatievoorzieningen;
- de vorm van de lasruimte, vooral bij kleine besloten ruimten.

De luchtbeweging kan worden vastgelegd door in één of meer doorsneden boven het smeltbad de luchttemperaturen en -snelheden te meten. De verspreiding van verontreinigingen, die bij het lassen ontstaat, kan worden gemeten door concentraties van de verontreinigingen in de doorsneden te meten.

De luchtsnelheden zijn gemeten met gemodificeerde thermo-anemometers van het bij TNO ontwikkelde type. Het principe van de thermo-anemometer is gebaseerd op de verlaging van de temperatuur van een verwarmd lichaam (sterkere convectieve afkoeling) door verhoging van de luchtsnelheid langs het lichaam. De snelheidsmeting is dan ook eigenlijk een temperatuurmeting van een, door een constante stroom, verwarmd lichaam. Omdat de temperatuur mede wordt bepaald door de omringende lucht, wordt hiervan als referentie de temperatuur meegemeten. Het verschil tussen de temperatuur van het verwarmde lichaam en de referentietemperatuur is een maat voor de luchtsnelheid. Daarbij wordt er vanuit gegaan, dat de luchttemperaturen bij het verwarmde lichaam en bij de

referentie gelijk zijn. Dit klopt meestal wel, omdat de onderlinge afstand tussen het verwarmde lichaam en de referentie bij de thermo-anemometer van TNO slechts enkele centimeters is. Slechts bij sterke temperatuurgradiënten kan dit tot meetfouten leiden. Dit is het geval in de directe nabijheid van het smeltbad van een las. In verband daarmee is de afstand tussen het verwarmde lichaam en de referentie zo kort mogelijk gemaakt bij de gebruikte thermo-anemometer (circa 0,5 cm).

Uit een aantal controlemetingen bij verschillende verwarmingsstromen naar de anemometer blijkt dat dit vanaf afstanden van 10 à 20 cm vanaf het smeltbad, afhankelijk van de warmte-ontwikkeling bij het lassen, voldoende betrouwbare meetresultaten geeft.

De luchttemperaturen zijn gemeten met koperconstantaanthermokoppels. Het principe berust op de temperatuurafhankelijkheid van het elektrische spanningsverschil, dat over het contactvlak tussen beide materialen heerst. Omdat deze relatie bekend is, kan door meting van het spanningsverschil de temperatuur worden bepaald. De gemeten temperatuur wordt in principe door convectie en straling bepaald. Normaal is de stralingsgevoeligheid van het thermokoppel gering, omdat de gesoldeerde thermolas sterk reflecteert. Tijdens de lasproeven veranderde dit echter al snel, doordat lasrook op de thermolassen neersloeg. De verwachting is dat hierdoor de thermokoppels meer stralingsgevoelig zijn geworden. Vooral dicht bij het smeltbad van de las, waar de stralingsintensiteit groot is, kunnen hierdoor in principe hogere temperaturen worden gemeten dan de werkelijke luchttemperatuur ter plaatse. Uit een controlemeting blijkt dat deze afwijking echter gering is. Een belangrijke oorzaak hiervoor is de zeer kleine zichtfactor van het thermokoppel naar de las (van de vlakken die het koppel omgeven en straling uitwisselen is de las slechts een klein deel), zodat de stralingsuitwisseling van het thermokoppel met de las, ondanks de hoge stralingsintensiteit, toch beperkt blijft. Bovendien vindt er een compensatie plaats door verhoogde stralingsuitwisseling van het thermokoppel met de overwegend koudere omgeving, waarnaar de zichtfactor wel groot is. Om desondanks de proeven onderling zo goed mogelijk vergelijkbaar te houden, zijn alle proeven, inclusief de latere metingen in de simulatie-opstelling (fase 2), met door lasrook vervuilde thermokoppels uitgevoerd.

Om de verspreiding van verontreinigingen in de lasrookpluim te bepalen zijn stofconcentraties gemeten. Weliswaar is stof niet de enige verontreiniging die vrijkomt, maar wel veelal de belangrijkste. Van de andere verontreinigingen wordt aangenomen dat ze zich op vergelijkbare wijze verspreiden als het vrijwel uitsluitend respirabele stof in de lasrookpluim. Er wordt namelijk verwacht dat het respirabele stof, door het geringe gewicht van de stofdeeltjes en door de betrekkelijk lage concentraties, zich bij de optredende snelheden stromingstechnisch als gas gedraagt. Door het verspreidingsbeeld van respirabel stof vast te leggen wordt dus tevens een indruk verkregen van het verspreidingsbeeld van andere, gasvormige verontreinigingen. Daarbij gaat het vooral om verhoudingen tussen de concentraties op verschillende plaatsen en niet zozeer om de absolute concentraties. Het vaststellen van de hoogten van de concentraties komt namelijk bij het eerste onderdeel "Inventarisatie van verontreinigingsniveaus" aan bod (zie hoofdstuk 1). De aldus te bepalen verspreidingsbeelden worden voor alle vrijkomende verontreinigingen, behalve ozon, van toepassing geacht. Ozon vormt een uitzondering, omdat dit onder invloed van ultraviolette straling ook buiten de lasrookpluim wordt gevormd. Afvoer van ozon uit de ademzone van lassers heeft daarom in tegenstelling tot andere verontreinigingen beperkt effect, omdat weer nieuwe ozon in de ademzone wordt gevormd. In het beperkte aantal gevallen dat de ozonproductie bepalend is voor de te treffen maatregelen zijn dus andere of aanvullende maatregelen gewenst. Hierop zal in een later stadium van het onderzoek nog worden ingegaan. De concentraties van respirabel stof zijn gemeten met een direct of elektrisch uitleesbare meter.

Het principe ervan berust op de verstrooiing van licht door de stofdeeltjes. Hiertoe zendt de meter een lichtbundel uit waarvan het door het zwevende stof verstrooide licht door een sensor wordt waargenomen. De meter is zo geconstrueerd dat lichtbronnen in de omgeving geen invloed hebben op het meetresultaat. Bij het lassen is dit vanwege de hoge lichtintensiteit belangrijk.

3.2 MEETOPSTELLING

De temperatuur- en snelheidsmeters zijn in een horizontale lijn bevestigd op een stangenstelsel. Het stangenstelsel is bevestigd aan een statief waarmee zowel in horizontale als in verticale richting haaks op de rij sensoren een verplaatsing kan worden bewerkstelligd. De afstand tussen de eerste en de laatste meetsensor is 60 cm. In totaal zijn 7 snelheidssensoren en 19 temperatuursensoren in lijn gebracht. De onderlinge afstand tussen de snelheidsensoren bedraagt 10 cm. De afstand tussen de temperatuursensoren varieert van 2,5 cm in het midden van de rij tot 5 cm aan de uiteinden. Tijdens het lassen is de rij sensoren steeds zo geplaatst dat deze door het midden van de lasrookpluim ging. Daarbij bevonden de middelste temperatuur- en snelheidssensor zich recht boven de las. Om te kunnen controleren of de rij sensoren door het midden van de pluim ging, zijn voor en achter deze middelste sensors twee temperatuursensoren en een snelheidssensor aangebracht. Met behulp van een data-acquisitiesysteem zijn de sensoren afgetast, uitgelezen en verwerkt. Nadat aldus in een horizontale lijn door het hart van de lasrookpluim was gemeten werd de rij sensoren met behulp van het statief in hoogterichting verplaatst. Daarna werd opnieuw gemeten. Aldus werd van een verticale doorsnede door het hart van de pluim het temperatuur- en snelheidsbeeld verkregen. Van dezelfde verticale doorsnede is ook een concentratiebeeld geproduceerd.

Omdat slechts één respirabel-stofmeter beschikbaar was, diende deze behalve in verticale richting ook in horizontale richting te worden verplaatst. Hiervoor is gebruik gemaakt van het in de lasbox aanwezige langssupport. Dit langssupport wordt normaal gebruikt om automatisch lassen in lengterichting te maken. Voor het lassen tijdens de metingen werd dit niet gebruikt, zodat de stofmeter hierop kon worden bevestigd. Voor de verticale verplaatsing werd de op het langssupport aanwezige mogelijkheid voor hoogteverstelling gebruikt.

Zoals uit het voorgaande al min of meer blijkt is het lassen steeds op een vaste plaats uitgevoerd. Dit was nodig, omdat anders het statief met de lastoorts zou moeten worden meebewogen. Om een realistische situatie te krijgen moest onder de vast opgestelde lastoorts het werkstuk worden bewogen. Een dergelijke opstelling is bij het Metaalinstituut TNO aanwezig voor schermgasprocessen. Het werkstuk bestaat uit een dikke metaalplaat, die is

gemonteerd op een met water gekoelde koperen draaischijf. Door hiermee het werkstuk te draaien worden cirkelvormig lassen geproduceerd. De draaisnelheid van de schijf is instelbaar. De positie van de lastoorts boven de schijf is eveneens instelbaar. De bediening van de lastoorts bij schermgasprocessen (MIG/MAG- en TIG-lassen) kan op afstand worden verricht, evenals het laten draaien van de schijf met het werkstuk. Dit maakt het mogelijk het lassen in een afgesloten lasbox uit te voeren. De lasbox zorgt voor een afscherming van het lasproces van de omgeving, zodat verstorende invloeden op het verspreidingsmechanisme van de lasrook zijn uitgesloten. Om te voorkomen dat de lasbox zich met lasrook vult is bovenin de lasbox afzuiging aangebracht. De toevoer kan via spleten aan de randen van de verhoogde bodem plaatsvinden. Tijdens het meten is de afzuiging echter zo min mogelijk gebruikt, omdat bleek dat dit de lasrookpluim beïnvloedde. De afzuiging werd steeds tussen de metingen door ingeschakeld.

Een apart probleem vormde het elektrode-lassen, omdat dit niet automatisch kon worden uitgevoerd door het afsmelten van de elektrode. Daarnaast zorgt het vervangen van een afgesmolten elektrode door een nieuwe elektrode steeds voor een onderbreking. Om het afsmelten van de elektroden te ondervangen is met de hand gelast. Daarbij is gebruik gemaakt van de hiervoor beschreven lasopstelling. Dit houdt in dat de elektrode op één zelfde plaats moest worden afgesmolten in een vaste stand. Hiertoe waren enkele richt- en fixatiepunten aangebracht als hulpmiddel. De lasser stond tegen een steun die er voor zorgde dat voldoende afstand tot de lasrookpluim werd bewaard, zodat deze niet werd beïnvloed. Om de onderbreking voor het vervangen van een elektrode tot een minimum terug te brengen was de lastrafo van extra las-kabels met elektrodehouders voorzien. De onderbreking bestond nu slechts uit het neerleggen van de houder met afgesmolten elektrode en oppakken van een houder met nieuwe elektrode. De onderbreking werd zo teruggebracht tot enkele seconden. Om het meetresultaat zo min mogelijk te beïnvloeden werd gedurende deze periode de meetcyclus gestopt. Overigens kwamen deze onderbrekingen alleen bij de snelheids- en temperatuurmetingen voor. Bij de concentratiemetingen was steeds een elektrode per meetpunt ruim voldoende. Bij de snelheids- en temperatuurmetingen trad een onderbreking op in de wachttijd van twee minuten die aan het meten vooraf ging. Deze wachttijd was ingebouwd in verband met de traagheid van de snelheidsmeters. Daarnaast trad in de meetcyclus slechts één maal een onderbreking op, dankzij de hoge meetsnelheid door gebruik van het data-acquisitiesysteem.

3.3 REPRESENTATIVITEIT VAN DE METINGEN

De meetgegevens zijn in de computer van het data-acquisitiesysteem verzameld en bewerkt tot gemiddelde waarden over de meetperiode. De meetperiode is zo gekozen dat elk temperatuur- en snelheidsmeetpunt twintig maal wordt uitgelezen. Uit controlemetingen bleek dat dit voldoende was om reproduceerbare gemiddelden te krijgen. Bij de concentratiemetingen werd elk meetpunt honderd maal uitgelezen, waarna het gemiddelde werd bepaald. De concentratiemetingen werden steeds voorafgegaan door het ventileren van de lasbox om de achtergrondconcentratie op het niveau van de omgeving te brengen. Daarna werd zo mogelijk met uitgeschakelde lasboxventilatie de concentratiemeting verricht. Hierbij vulde de lasbox zich langzaam met lasrook, zodat de achtergrondconcentratie opliep. Hierdoor zullen gemiddeld iets hogere concentraties zijn gemeten. Het alternatief was meten met ingeschakelde lasboxventilatie. Dit bleek echter de lasrookpluim te verstoren, hetgeen resulteerde in een bredere en instabieler pluim met lagere snelheidspieken.

In een aantal gevallen moest echter voor deze mogelijkheid worden gekozen, omdat de rookproductie bij het betreffende lasproces hoog was.

In het algemeen kan worden gesteld, dat de concentratiebeelden met ingeschakelde afzuiging een zekere nivellering van de concentraties vertonen, terwijl zonder afzuiging de concentraties iets hoger zullen zijn. Vanwege de invloed van de lasboxafzuiging op het stromingsbeeld zijn alle temperatuur- en snelheidsmetingen zonder afzuiging verricht. Ook hier werd tussen de metingen door geventileerd om de luchttemperatuur in de lasbox zoveel mogelijk constant te houden. Om eventuele schommelingen in de temperatuur te herkennen is een referentietemperatuur in de lasbox meegemeten. Voor deze variatie zijn zo nodig de meetresultaten gecorrigeerd.

3.4 MEETPROGRAMMA

In § 3.1 wordt aangegeven waardoor het verspreidingsmechanisme van lasrook ontstaat en wordt beïnvloed. In [3] wordt op deze invloedsfactoren nog nader ingegaan. De metingen dienen zodanig te worden uitgevoerd dat een representatief beeld van de verspreiding ontstaat. Uit praktische overwegingen dient het aantal te meten varianten te worden beperkt. Dit betekent dat niet alle invloedsfactoren kunnen worden onderzocht. Om toch een representatief beeld van de verspreiding te krijgen dienen in ieder geval de belangrijkste invloedsfactoren te worden onderzocht. Verder is het uitgangspunt dat de meest voorkomende lasprocessen met hun instellingen moeten worden gemeten. Dit heeft geleid tot het beschouwen van de volgende variabelen:

- lasproces MIG/MAG (afsmeltende metaalelektrode + schermgas)
 TIG (niet-afsmeltende wolframelektrode + schermgas)
 beklede elektroden (afsmeltend, geen schermgas)

- lasvermogen hoog
 midden
 laag

- schermgasdebiet hoog
 midden
 laag

- toortshoek steil
 normaal
 vlak

Deze variabelen hebben geleid tot het in tabel 1 weergegeven meetprogramma.

Tabel 1 Lasgegevens bij de uitgevoerde proeven

proef nr.	las-proces	draad/ elektrode diameter [mm]	mate- riaal	stroom [A]	spanning [V]	scherm- gas- debiet [l/min]	schermgas samen- stelling	toorts- hoek [graden]
1	MIG	1,2	RVS	200	30	10	95 Ar 5 H ₂	60
2	MAG	1,2	Fe	200	30	10	80 Ar 20 CO ₂	60
3	Als proef 2, echter met lasboxventilatie ingeschakeld							
4	MAG	1,2	Fe	200	30	5	80 Ar 20 CO ₂	60
5	MAG	1,2	Fe	200	30	15	80 Ar 20 CO ₂	60
6	MAG	1,2	Fe	200	30	10	80 Ar 20 CO ₂	45
7	MAG	1,2	Fe	200	30	10	80 Ar 20 CO ₂	75
8	Als proef 2, echter slepend gelast in plaats van stekend							
9	MAG	0,8	Fe	55	16	10	80 Ar 20 CO ₂	60
10	MAG	1,6	Fe	370	30	10	80 Ar 20 CO ₂	60
11	MAG	1,6 mm gevulde draad	Fe	300	30	10	80 Ar 20 CO ₂	60
12	MIG	1,6 mm 95% Al 5% Mg	Al	250	30	17	100 Ar	60
13	TIG	geen draad- toevoeging	RVS	100	12	4	100 Ar	60
14	TIG	geen draad- toevoeging	RVS	200	24	4	100 Ar	60
15	elek- trode	3,25 mm Rutil	Fe	120	28	-	-	60
slepend gelast in plaats van steken								

4. RESULTATEN

De meetresultaten zijn per doorsnede door de lasrookpluim via een printer afgedrukt. De temperaturen, snelheden en concentraties zijn elk apart in rasters afgedrukt. Met de hand zijn door deze rasters lijnen getekend van gelijke temperatuur, gelijke snelheid of gelijke concentratie. Aldus zijn de pluimvormen in verticale doorsneden door het hart van de lasrookpluim zichtbaar gemaakt. De weergave hiervan is in Bijlage A opgenomen.

5. ANALYSE VAN DE MEETRESULTATEN

5.1 VISUELE VERGELIJKING

Een eerste, vluchtige vergelijking van de meetresultaten levert geen onderling sterk afwijkende pluinvormen op. Dit is een belangrijk gegeven voor de voortgang van het project. Er wordt namelijk gestreefd naar een proefopstelling met één representatieve pluinvorm. Als de verspreiding van lasrook bij de verschillende proeven geringe of voorspelbare afwijkingen vertoont ten opzichte van dit representatieve beeld, betekent dit voor het verdere project een belangrijke vereenvoudiging. Aan één representatieve pluinvorm kunnen dan verschillende ventilatiemaatregelen worden beproefd. Vanuit deze proeven kan dan een "vertaling" plaatsvinden naar de gewenste ventilatiemaatregelen onder andere lascondities.

Een nadere beschouwing van de verspreidingsbeelden is uitgevoerd door ze te vergelijken met het verspreidingsbeeld van een referentieproef. Als referentie is hiervoor proef 2 gekozen, betreffende MAG-lassen van ongelegeerd staal onder veel voorkomende lascondities. De resultaten van deze nadere beschouwing worden hierna per proef besproken.

Proef 2: referentie

Opvallend aan de referentieproef op zich is, dat de pluimas zich niet loodrecht boven het smeltbad bevindt. De lasrook stijgt onder een hoek op. De hoek met de loodrechte richting neemt met de hoogte af. Op 30 cm hoogte bereikt de pluimas een loodrechte richting. Daarna blijft de lasrook loodrecht opstijgen. Inmiddels is de pluimas dan wel circa 10 cm verschoven ten opzichte van de loodlijn boven het smeltbad. De verschuiving van de pluimas vindt kennelijk plaats onder invloed van de schuine stand van de toorts en de uitgeblazen schermgasstroom. Deze variabelen komen in de proeven 4 t/m 7 aan bod.

Opvallend aan het snelheidsbeeld van proef 2 is, dat de pluim tot een hoogte van 20 à 30 cm insnoering (vernaauwing) vertoont om daarna geleidelijk aan weer te verwijden. Dit duidt er op dat het snelheidsbeeld zich in het eerste gedeelte nog ontwikkeld, iets dat door meeton nauwkeurigheden in de eerste 10 à 20 cm boven het smeltbad (zie § 3.1) niet goed kan worden gecontroleerd.

Boven 20 à 30 cm hoogte wordt door inductie met de omgevingslucht geleidelijk enige snelheidsafname en volumevergroting verwacht. In het gemeten gebied tot 80 cm hoogte blijkt dit echter nog zeer gering te zijn.

Proef 3: lasboxventilatie aan

Dit betreft dezelfde proef als proef 2, echter met ingeschakelde lasboxventilatie. De lasboxventilatie geeft enigszins verhoogde omgevingsnelheden in de lasbox volgens een oriënterende proefneming. Hierdoor lijkt op het oog de lasrookbeweging minder stabiel te worden. De temperatuurmetingen bevestigen dit door minder scherp afgetekende isothermen. Daarnaast tonen zowel het temperatuur- als het snelheidsbeeld een bredere pluim. Vooral de pieksnelheden blijken lager te zijn. Ook het concentratiebeeld geeft een vrij brede pluim te zien. Waarschijnlijk is een sterkere menging door de hogere omgevingsnelheden de oorzaak van het bredere en vlakker pluimbeeld.

Proef 1: roestvast staal

Bij deze proef is in plaats van ongelegeerd staal roestvast staal gelast. Als schermgas is Argon met 5% waterstof-toevoeging gebruikt in plaats van Argon met 20% kooldioxide. Het beeld verandert hierdoor nauwelijks. Het hart van de pluim blijft gelijk. De pluim lijkt iets breder.

Proef 4: minder schermgas

Het voor een goede laskwaliteit optimale schermgasdebiet van 10 l/min is teruggebracht tot een minimale 5 l/min. De verschuiving van het hart van de pluim ten opzichte van de loodlijn boven het smeltbad neemt hierdoor af van 10 cm tot 7 cm. Overigens blijft de pluim gelijk.

Proef 5: meer schermgas

Het schermgasdebiet is opgevoerd van 10 l/min naar een hoge waarde van 15 l/min. Nu verschuift het hart van de pluim 13 cm in plaats van 10 cm. Uit deze en de voorgaande proef blijkt duidelijk dat de schermgasstroom een rol speelt bij de verschuiving van de pluimas ten opzichte van de loodlijn boven het smeltbad.

Proef 6: kleinere toortshoek

De hoek die de toorts met het werkstuk maakt wordt teruggebracht van een gebruikelijke waarde van 60° naar 45° . Het is namelijk te verwachten dat deze hoek mede de verschuiving van het hart van de pluim bepaalt. Uit deze proef blijkt echter geen invloed op de verschuiving van het hart van de pluim. Wel treedt er een verandering op in het stromingsbeeld van het aanstroombied achter de toorts boven het juist gelaste materiaal. De temperaturen en snelheden nemen hier af.

Proef 7: grotere toortshoek

De hoek tussen de lastoorts en het werkstuk wordt vergroot van 60° naar 75° . Nu blijkt het hart van de pluim slechts 3 cm op te schuiven in plaats van 10 cm. In het aanstroombied achter de toorts nemen de temperaturen en snelheden toe.

Kennelijk wordt bij een kleine toortshoek de lucht die boven het juist gelaste materiaal achter de toorts opstijgt meer naar de lasrookpluim gedwongen dan bij een grote toortshoek. Hierbij zorgt deze toegevoerde lucht tevens voor een verschuiving van het hart van de lasrookpluim die groter is naarmate met een kleinere toortshoek meer lucht wordt toegevoerd. Bij een bepaalde toortshoek wordt de grootste verschuiving bereikt. Verdere verkleining van de toortshoek heeft daarna geen verdere verschuiving van het hart van de pluim tot gevolg.

Proef 8: slepend lassen in plaats van stekend

Bij de vorige proeven werd steeds stekend gelast, dat wil zeggen dat de lastoorts wijst naar het nog te lassen gedeelte. Het gelaste deel bevindt zich dan achter de toorts. Als nu de onderlinge bewegingsrichting tussen het werkstuk en de toorts wordt omgekeerd spreekt men van slepend lassen. Achter de toorts bevindt zich dan geen gelast gedeelte meer. De temperaturen en snelheden boven dit gedeelte zijn daarom lager. Overigens verandert de lasrookpluim zelf nauwelijks.

Proef 9: gering lasvermogen

De vorm van het verspreidingsbeeld blijkt niet wezenlijk te veranderen, terwijl de lasstroom is verlaagd van 200 A tot 55 A en de boogspanning van 30 V tot 16 V. De temperaturen, snelheden en concentraties zijn echter beduidend

lager geworden. Door de verminderde warmte-afgifte, maar de gelijk gebleven schermgasstroom, is het hart van de pluim 13 cm verschoven in plaats van 10 cm.

Proef 10: hoger lasvermogen

De lasstroom is opgevoerd van 200 A naar 370 A; de boogspanning is 30 V gebleven. De snelheden, temperaturen en concentraties zijn hierdoor veranderd, terwijl de pluimvorm gelijk is gebleven. Het hart van de pluim blijft ongeveer op dezelfde plaats.

Proef 11: gevulde draad

Er is een metaaldraad met vulling gelast. De toevoeging wordt in sommige gevallen toegepast om de laseigenschappen te verbeteren. Om de draad goed te kunnen lassen was een lasstroom van 300 A bij een boogspanning van 30 V ingesteld. Afgezien van het effect van dit hogere lasvermogen (zie proef 10) is nauwelijks enige invloed op de lasrookpluim te constateren. Alleen lijkt de pluimas iets schuiner te liggen. Van beduidend hogere stofconcentraties, zoals bij bepaalde typen gevulde draad schijnt op te treden, blijkt bij het toegepaste draadtype geen sprake te zijn.

Proef 12: aluminium

Er is gelast met een lasdraad bestaande uit 95% Aluminium en 5% Magnesium op een aluminiumplaat. De magnesiumtoevoeging wordt veel toegepast om de lasdraad te verstevigen, hetgeen het draadtransport vergemakkelijkt. De lasstroom bedroeg 250 A bij een boogspanning van 30 V. De schermgasstroom bleek te moeten worden opgevoerd van 10 l/min tot 17 l/min om het smeltbad voldoende te kunnen beschermen. Het schermgas was 100% Argon, dus zonder kool-dioxide-toevoeging. Afgezien van de invloed van het hogere lasvermogen bleef de pluimvorm gelijk. Door de grotere schermgasstroom verschuift het hart van de pluim 13 cm in plaats van 10 cm.

Proef 13: TIG-lassen met laag vermogen

Bij het TIG-lassen wordt een niet-afsmeltende Wolfram-elektrode gebruikt om de lasboog te trekken in plaats van de afsmeltende draadelektrode. Met de hand zou lasdraad in de boog moeten worden toegevoegd, maar in de automatische lasopstelling bleef dit achterwege. Het materiaal was roestvast staal.

De lasstroom bedroeg 100 A; de boogspanning was 12 V. De schermgasstroom was teruggebracht tot 4 l/min. Het schermgas was 100% Argon.

Afgezien van de invloed van het lagere vermogen blijkt de pluimvorm niet sterk te wijzigen. De pluim blijkt zich wel minder scherp af te tekenen, hetgeen aan het geringe vermogen kan worden geweten. Het hart van de pluim blijft ongeveer op dezelfde plaats. Dit lijkt logisch, omdat zowel de schermgasstroom als het lasvermogen zijn afgenomen.

Concentratiemetingen zijn niet uitgevoerd, omdat de stofproductie visueel zeer gering lijkt. Uit eerdere praktijkmetingen was dit ook reeds geconstateerd.

Proef 14: TIG-lassen met hoger vermogen

De voorgaande proef is herhaald met een lasstroom van 200 A en een boogspanning van 24 V. Hiermee blijft het lasvermogen nog iets lager dan bij de referentieproef (200 A, 30 V).

Ook nu blijkt de pluimvorm niet sterk te wijzigen, rekening houdend met het iets lagere vermogen dan bij de referentieproef. Opvallend is dat het hart van de pluim op circa 20 cm van de loodlijn boven het smeltbad ligt in plaats van de 10 cm bij de referentieproef. Dit ondanks het feit dat de schermgasstroom beduidend lager is (4 l/min in plaats van 10 l/min) bij een niet veel lager lasvermogen. Later in dit hoofdstuk wordt hierop nog teruggekomen.

Proef 15: elektrode-lassen

Over de uitvoering van deze proef is reeds in § 3.2 het een en ander vermeld. Er is gelast met rutielelektroden van ongelegeerd staal. De lasstroom bedroeg 120 A bij een boogspanning van 28 V. Er is slepend gelast in plaats van stekend, omdat dit bij elektrode-lassen gebruikelijker is.

Globaal blijkt de pluimvorm niet erg af te wijken. Door het ontbreken van de schermgasstroom ligt het hart van de pluim praktisch recht boven het smeltbad. Opvallend is dat de temperaturen en snelheden in dezelfde orde van grootte liggen als bij de referentieproef, ondanks het beduidend lagere lasvermogen.

5.2 INVLOED VAN HET LASVERMOGEN

De eerste onderlinge vergelijking van de proeven, in de voorgaande paragraaf, toont vooral een duidelijke invloed van het lasvermogen op het verspreidingsbeeld. De temperaturen, snelheden en stofconcentraties blijken duidelijk met het lasvermogen te variëren. Daarnaast treden bij enkele proeven nog wat minder duidelijke effecten op die wellicht beter zijn te verklaren als de invloed van het lasvermogen eerst wordt geëlimineerd.

Als een maat voor het lasvermogen kan het produkt van lasstroom en boogspanning worden aangehouden. De waarden hiervan zijn op de lastransformator afgelezen. Wellicht is het hiervan afgeleide vermogen door de eigenschappen en verliezen van de transformator en toebehoren niet het werkelijk in de las opgenomen vermogen. Het is echter wel een eenvoudige maat voor het lasvermogen.

Slechts een beperkt deel van het lasvermogen komt direct in de lucht vrij in de vorm van de convectieve stroming van de lasrookpluim. Een ander deel komt direct door ultraviolette, zichtbare en infrarode (warmte) straling vrij. Daarnaast wordt een deel van de warmte in het materiaal opgeslagen. Later wordt deze warmte door convectie en (infrarode) straling van de las en het door geleiding warm geworden, omringende materiaal afgegeven. Bij de proeven werd de opgeslagen warmte voor een belangrijk deel afgevoerd via de koeling van het lasmateriaal. Voor het verspreiden van de lasrook is vooral de direct convectief afgegeven warmte van belang. Deze warmte-afgifte blijkt globaal circa 20% van het van de lastransformator afgeleide totale lasvermogen (produkt van lasstroom en boogspanning) te bedragen. Hier wordt echter bij de verdere beschouwingen geen rekening mee gehouden. De temperaturen, snelheden en concentraties worden direct aan het (verhoudingsgewijs te hoge) totale lasvermogen gerelateerd.

Omdat het bij convectiestromen gebruikelijk is de snelheden af te leiden uit de temperaturen, wordt allereerst de relatie tussen de temperaturen en het lasvermogen beschouwd. Daarnaast is bekend dat de verspreiding van verontreinigingen (concentratiebeeld) sterke overeenkomsten vertoont met de verspreiding van warmte (temperatuurbeeld). Relaties tussen temperaturen en het lasvermogen kunnen dus wellicht als uitgangspunt dienen voor relaties tussen concentraties en het lasvermogen.

Een temperatuurbeeld van een proef geeft voor een doorsnede door het hart van de lasrookpluim de relatie tussen temperatuur en plaats ten opzichte van het smeltbad bij een bepaald lasvermogen (zie figuur 2).

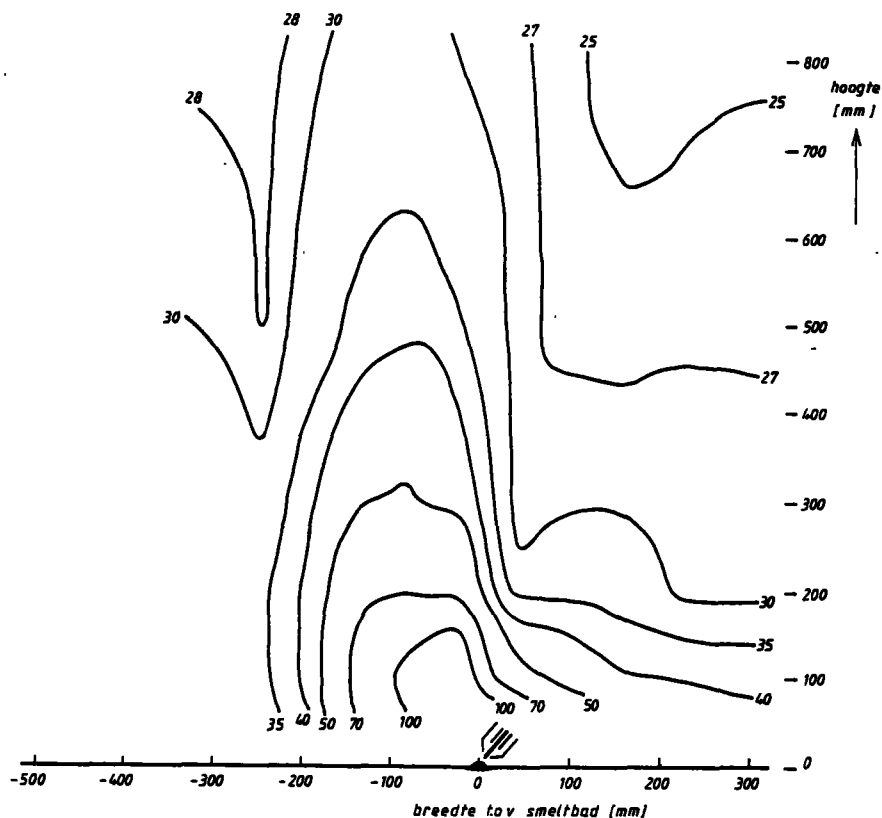


Fig. 2 Temperaturen in °C in een verticale doorsnede door het hart van de lasrookpluim bij de referentieproef.

Bij andere lasvermogens vindt men andere temperatuur/plaats-relaties. Om de relatie tussen temperatuur en vermogen te bepalen moet de variabele plaats worden geëlimineerd. Nu blijkt uit de onderlinge vergelijking van de proeven in § 5.1 dat de vormen van onder andere de temperatuurbeelden sterk overeenkomen. Dit betekent dat voor andere proeven dan de referentieproef isothermen van dezelfde vorm kunnen worden getekend, echter met andere waarden van de temperatuur. Daarbij dient nog wel rekening te worden gehouden met enige verschuiving van het hart van de lasrookpluim onder invloed van de schermgasstroom en het totale convectieve vermogen. Zo vindt men bij proef 10 (met een lasvermogen van $370 \text{ A} \times 30 \text{ V} = 11,1 \text{ kW}$) een isotherm van circa $160 \text{ }^\circ\text{C}$ op de plaats waar bij proef 2 (met een lasvermogen van $200 \text{ A} \times 30 \text{ V} = 6,0 \text{ kW}$) een isotherm van $100 \text{ }^\circ\text{C}$ wordt gevonden. Deze temperaturen kan men relateren

aan de bijbehorende lasvermogens. Figuur 3 geeft hiervan een beeld voor de twee genoemde en enige andere vergelijkbare MIG/MAG-lasproeven. In figuur 3 zijn in plaats van de temperaturen de temperatuurverschillen met de omgeving uitgezet, omdat dit een betere maat is voor het convectief vrijkomende vermogen. Behalve voor de plaats van de isotherm van 100 °C van de referentieproef (proef 2) zijn deze relaties ook bepaald voor de plaatsen van de isothermen van 70, 50, 40, 35 en 30 °C van de referentieproef. De respectievelijke figuren 4 t/m 8 tonen dit. De figuren 3 t/m 8 tonen alle ongeveer eenzelfde verband tussen temperatuur en lasvermogen voor hetzelfde lasproces. Gemiddeld blijkt het temperatuurverschil ongeveer evenredig te zijn met het vermogen tot de macht 0,83, in formule:

$$\Delta T = C \cdot P^{0,83} \quad (1)$$

waarin ΔT = temperatuurverschil tussen een bepaalde plaats in de lasrookpluim en de omgeving [K]

C = constante die afhankelijk is van de plaats in de lasrookpluim [K·kW⁻ⁿ]

P = lasvermogen [kW]

In de figuren 3 t/m 8 zijn behalve de temperatuurverschillen bij verschillende lasvermogens voor MIG/MAG-lassen van ongelegeerd staal ook de meetpunten voor MIG-lassen van aluminium aangegeven. Verder zijn per figuur twee meetpunten voor TIG-lassen en een punt voor elektrode-lassen aangegeven. Daarbij valt op dat bij aluminiumlassen en bij elektrode-lassen systematisch hogere temperatuurverschillen in de lasrookpluim optreden ten opzichte van de temperatuurverschillen bij MIG/MAG-lassen van ongelegeerd staal met eenzelfde lasvermogen. Bij TIG-lassen blijkt het temperatuurverschil systematisch lager te zijn. De oorzaak van deze afwijkingen moet worden gezocht in een veranderde verhouding tussen het direct convectief afgegeven deel van het lasvermogen en de door straling en geleiding afgevoerde delen.

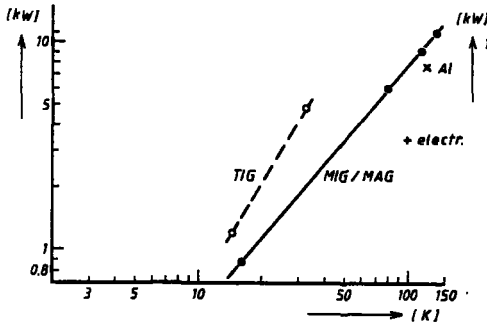


Fig. 3

Verband tussen temperatuur en lasvermogen op de plaats die overeenkomt met de plaats van de isotherm van 100 °C bij de referentieproef

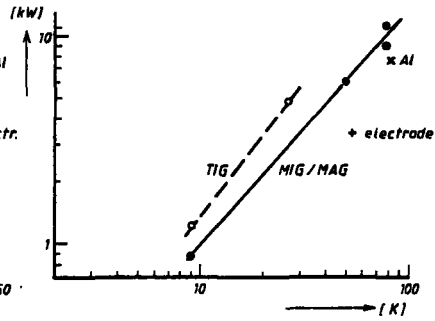


Fig. 4

Verband tussen temperatuur en lasvermogen op de plaats die overeenkomt met de plaats van de isotherm van 70 °C bij de referentieproef

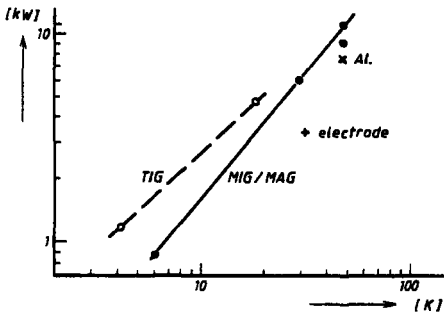


Fig. 5

Verband tussen temperatuur en lasvermogen op de plaats die overeenkomt met de plaats van de isotherm van 50 °C bij de referentieproef

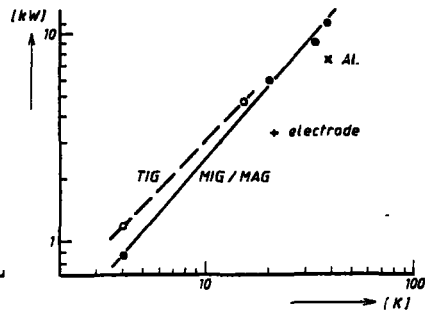


Fig. 6

Verband tussen temperatuur en lasvermogen op de plaats die overeenkomt met de plaats van de isotherm van 40 °C bij de referentieproef

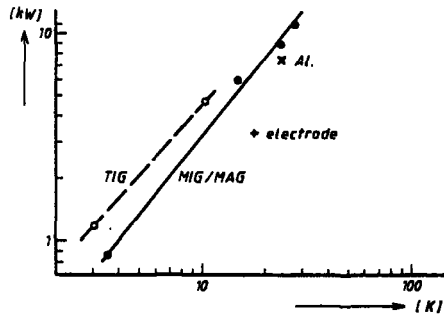


Fig. 7

Verband tussen temperatuur en lasvermogen op de plaats die overeenkomt met de plaats van de isotherm van 35 °C bij de referentieproef

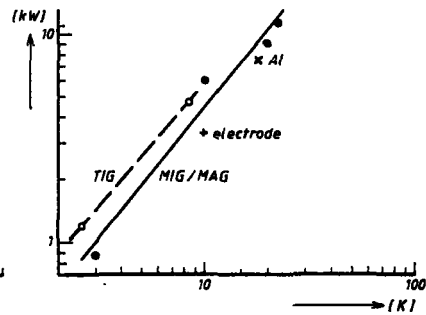


Fig. 8

Verband tussen temperatuur en lasvermogen op de plaats die overeenkomt met de plaats van de isotherm van 30 °C bij de referentieproef

Bij aluminiumlassen heeft men te maken met een metaal dat een vijf maal zo hoge warmtegeleidingscoëfficiënt heeft als staal. De warmte verspreidt zich dus gemakkelijker over een groter warmte afgevend oppervlak. Daar komt bij dat in een aluminiumplaat van dezelfde afmetingen als een staalplaat bij eenzelfde temperatuurverhoging van de plaat beduidend minder warmte kan worden opgeslagen. De temperatuur van de aluminiumplaat zal bij eenzelfde warmtetoevoer dus beduidend hoger worden dan de temperatuur van de staalplaat. Het is aannemelijk dat door deze effecten bij aluminium een relatief groter deel van het toegevoerde lasvermogen door convectie en straling wordt afgegeven dan bij staal. De hogere convectieve warmte-afgifte zorgt voor de hogere temperaturen in de lasrookpluim.

Bij het elektrode-lassen is bekend dat de doorlassing minder is dan bij MIG/MAG-lassen. Dit wil zeggen dat het smeltbad zich minder diep in het materiaal, dus meer aan het oppervlak, bevindt. Het is aannemelijk dat hierdoor relatief minder warmte het materiaal ingaat en relatief meer warmte direct aan het oppervlak door convectie en straling wordt afgegeven. Ook hier ontstaan door de relatief grotere convectieve warmte-afgifte relatief hogere temperaturen in de lasrookpluim.

Bij TIG-lassen is het omgekeerde het geval van het effect bij elektrode-lassen. TIG-lassen heeft namelijk een betere doorlassing dan MIG-lassen. Een relatief kleiner deel van het smeltbad bevindt zich aan het oppervlak. Dit uit zich in een zichtbaar kleiner lasoppervlak bij eenzelfde doordringdiepte van de TIG-las ten opzichte van de MIG/MAG-las. Wellicht kan het niet toevoegen van lasmateriaal bij de TIG-proeven dit effect nog hebben versterkt. In ieder geval zal bij TIG-lassen het convectief afgegeven deel van het lasvermogen relatief kleiner zijn dan bij MIG/MAG-lassen. Dit resulteert in relatief lagere temperaturen in de lasrookpluim.

Overigens is het voorstelbaar dat met de versterkte of verminderde convectieve warmte-afgifte ook meer respectievelijk minder metaaldeeltjes (lasrook) van het smeltbadoppervlak in de lucht worden gebracht. Het is bekend dat bij aluminiumlassen en elektrode-lassen relatief hogere lasrookconcentraties optreden en bij TIG-lassen relatief lagere lasrookconcentraties dan bij MIG/MAG-lassen van ongelegeerd staal.

In § 5.1 is nog een aantal effecten geconstateerd die niet direct verklaarbaar waren, maar die met behulp van het voorgaande aannemelijk worden. Bij proef 14 (TIG-lassen) werd geconstateerd dat het hart van de lasrookpluim

meer verschoven lag ten opzichte van de loodlijn boven het smeltbad dan bij de referentieproef (MIG-lassen). Dit ondanks het feit dat de schermgasstroom beduidend lager was en het lasvermogen slechts weinig lager. De verklaring ligt waarschijnlijk in het feit dat bij het TIG-lassen het convectief afgegeven deel van het lasvermogen beduidend lager is dan bij het MIG-lassen. De verhouding tussen de schermgasstroom en de convectiestroom, die de verschuiving van het hart van de lasrookpluim bepaalt, is daardoor bij TIG-lassen waarschijnlijk toch nog groter dan bij MIG-lassen. Soortgelijke effecten bij de andere proef met TIG-lassen en bij aluminium-lassen en elektrode-lassen zijn op deze wijze eveneens te verklaren.

6. BESPREKING EN CONCLUSIES

De belangrijke vraag van dit eerste deel van het onderzoek is: "Kunnen de verspreidingsbeelden van de verontreinigingen bij de verschillende lasprocessen met hun variabelen door één verspreidingsbeeld worden gekarakteriseerd?".

Vanuit in de volgende onderzoekdelen uit te voeren proeven naar de effectiviteit van beschermende maatregelen aan dit karakteristieke verspreidingsbeeld dienen dan "vertalingen" te kunnen worden uitgevoerd naar andere lasomstandigheden dan de beproefde omstandigheden. Dit betekent dat de invloed van de belangrijkste lasvariabelen voorspelbaar moet zijn.

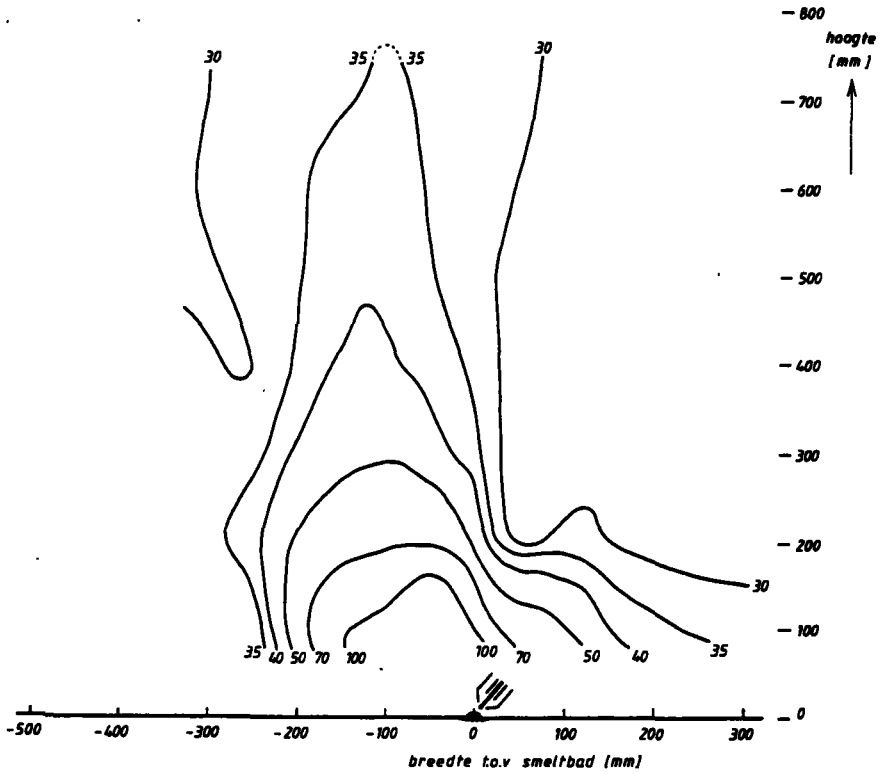
Het voorgaande heeft aangetoond dat de verspreidingsbeelden bij de verschillende belangrijkste lasvariabelen grote overeenkomsten vertonen. Als veruit belangrijkste variabele moet het lasvermogen worden aangemerkt. Uit § 5.2 blijkt dat de invloed van deze variabele duidelijk voorspelbaar is. Ook van de overige belangrijke variabelen blijkt de invloed redelijk voorspelbaar te zijn. De conclusie is dan ook dat de in § 2.2 voorgestelde aanpak met een simulatie-opstelling van een karakteristiek verspreidingsbeeld verder kan worden uitgewerkt. Deze verdere uitwerking betekent dat zowel door een theoretische als door een praktische benadering zal worden getracht om tot een simulatie-opstelling van het verspreidingsmechanisme te komen.

7. LITERATUUR

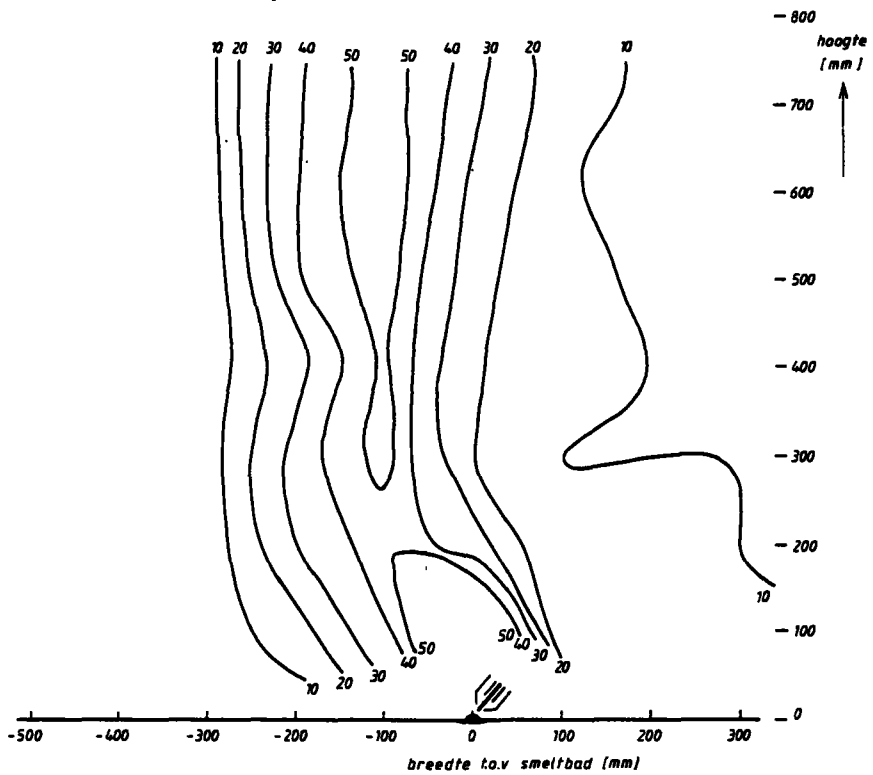
- [1] Wal, J.F. v.d., e.a.
De belastende agentia en factoren bij het lassen.
Eindrapport.
Delft, MT-TNO, 1983. IMG-rapport F 2012-06.
- [2] Coronel Laboratorium, Faculteit Geneeskunde, Universiteit van Amsterdam
Indicatief oriënterend onderzoek t.b.v. het project
"Verantwoord werken bij het lassen". Eindrapport.
Amsterdam, Coronel Laboratorium, 1983.
- [3] Knoll, B.
Uitwerking van het onderzoek "Ventilatie bij lassers".
Delft, MT-TNO, juni 1985; Memo nr. BK 85-6 BK.

BIJLAGE A : MEETRESULTATEN

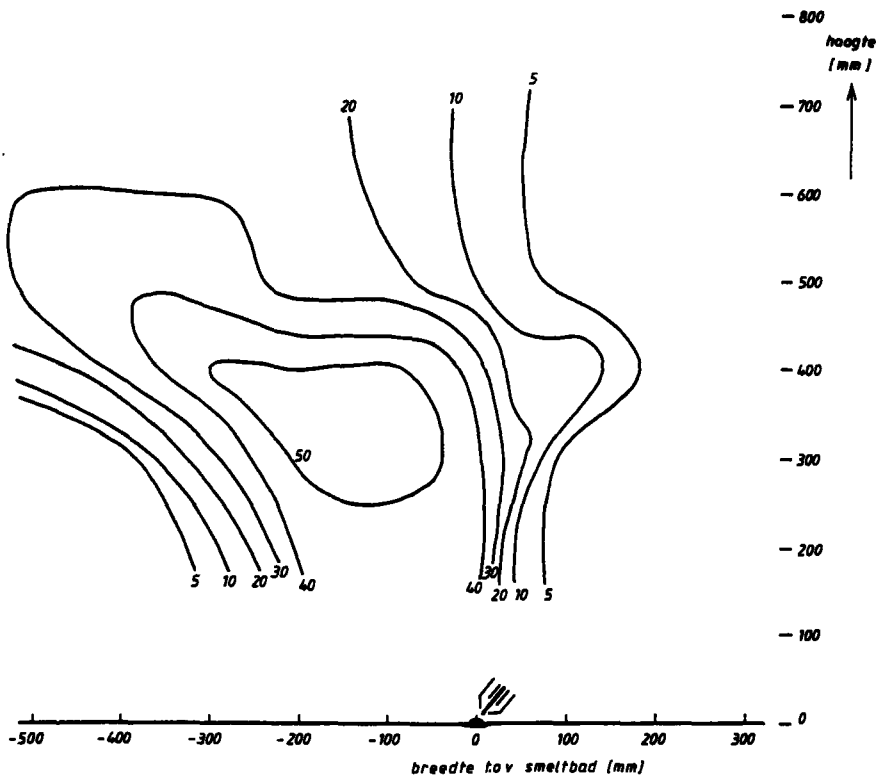
In deze bijlage zijn per proef de gemeten temperaturen, snelheden en stofconcentraties weergegeven. Bij de metingen is getracht zo goed mogelijk in doorsneden door het hart van de lasrookpluim te meten. De doorsneden zijn in de lengterichting van de las genomen. De lastoorts is alleen in het vlak van de doorsnede schuin geplaatst, zoals schematisch is aangegeven. Op hoogte = 0 mm en breedte = 0 mm bevindt zich het smeltbad. Afgezien van proef 8 bevindt zich rechts van het smeltbad (positieve breedte) het gelaste gedeelte en links van het smeltbad (negatieve breedte) het nog te lassen gedeelte. Bij proef 8 is dit juist andersom, omdat slepend in plaats van stekend is gelast.



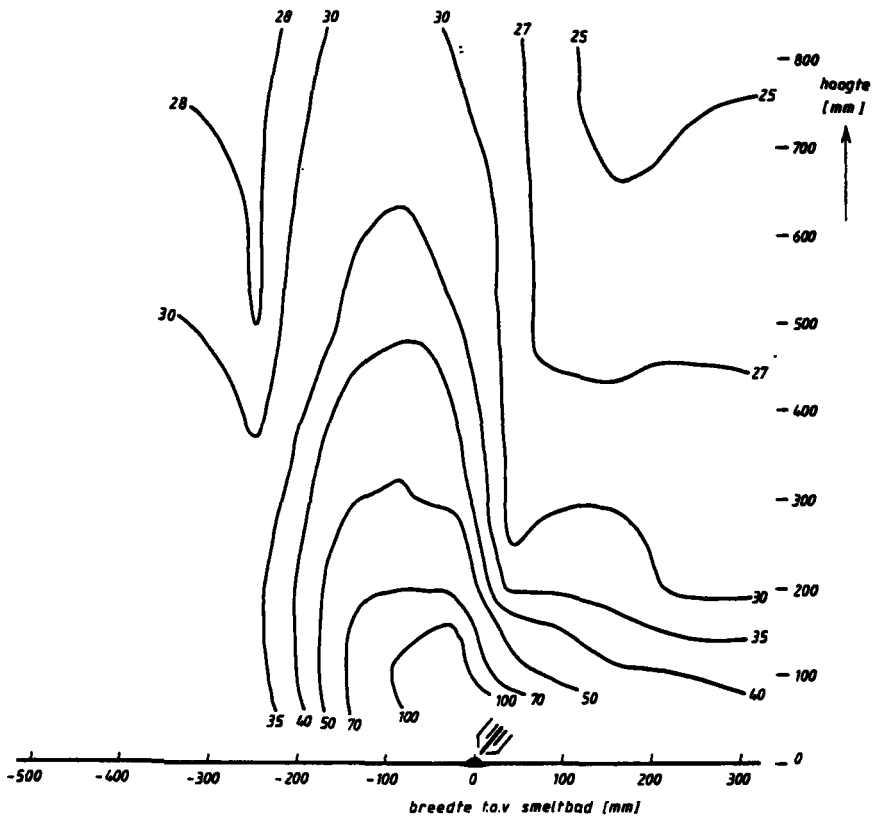
Temperaturen in °C bij proef 1:
lassen van roestvast staal; geen lasboxafzuiging.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 1:
 lassen van roestvast staal; geen lasboxafzuiging.

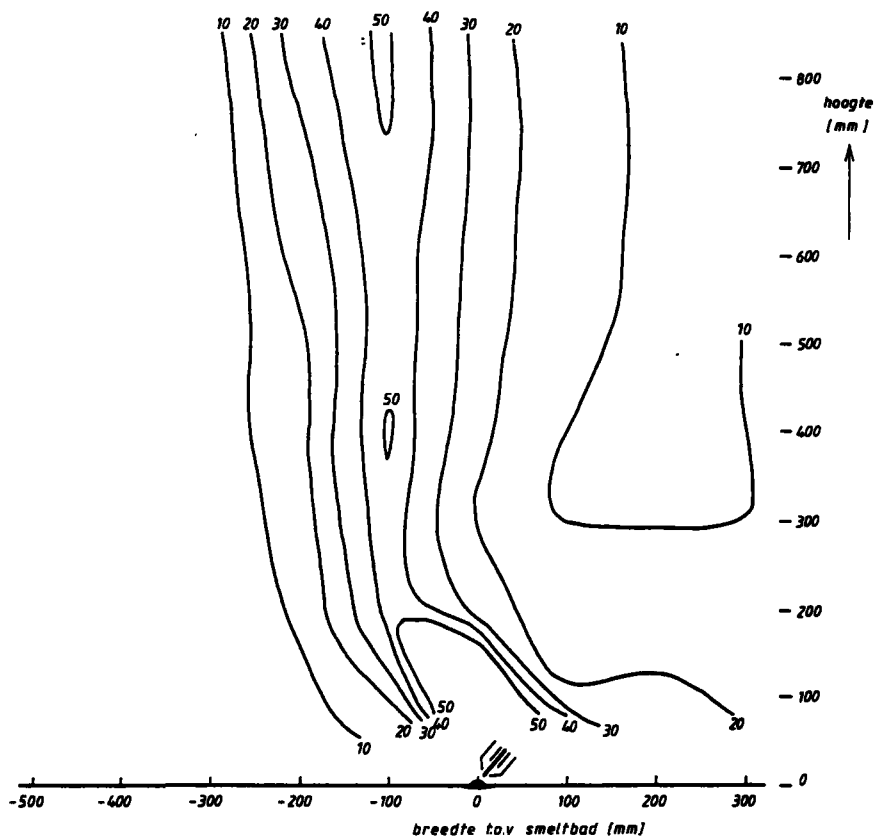


Stofconcentraties in mg/m^3 bij proef 1:
lassen van roestvast staal; lasboxafzuiging aan.

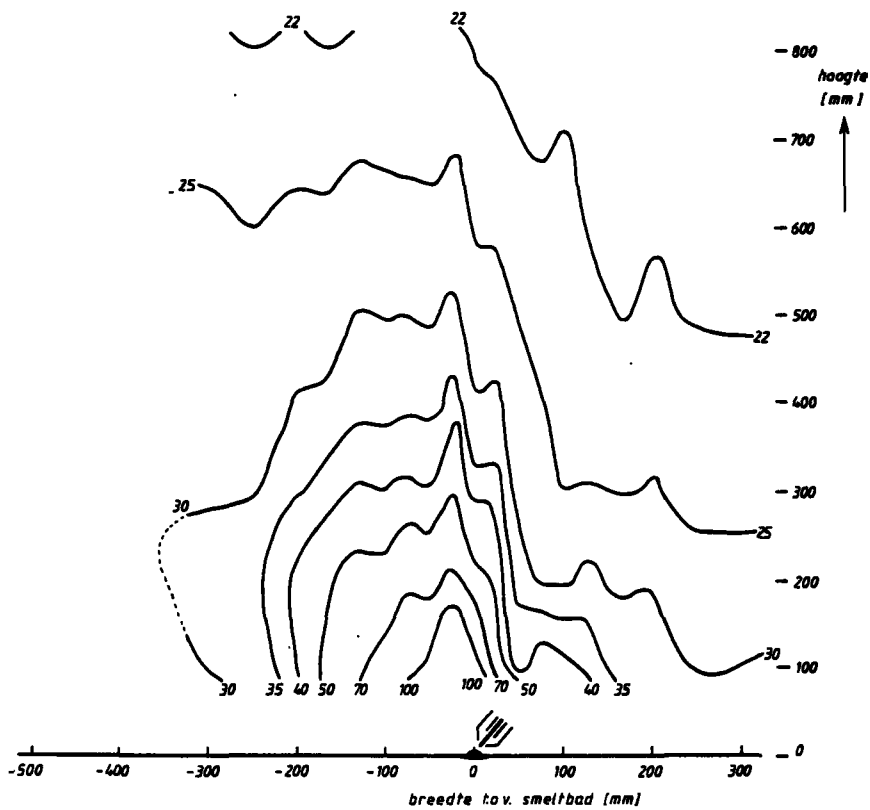


Temperaturen in °C bij proef 2:

referentieproef MIG/MAG-lassen staal; geen lasboxafzuiging.

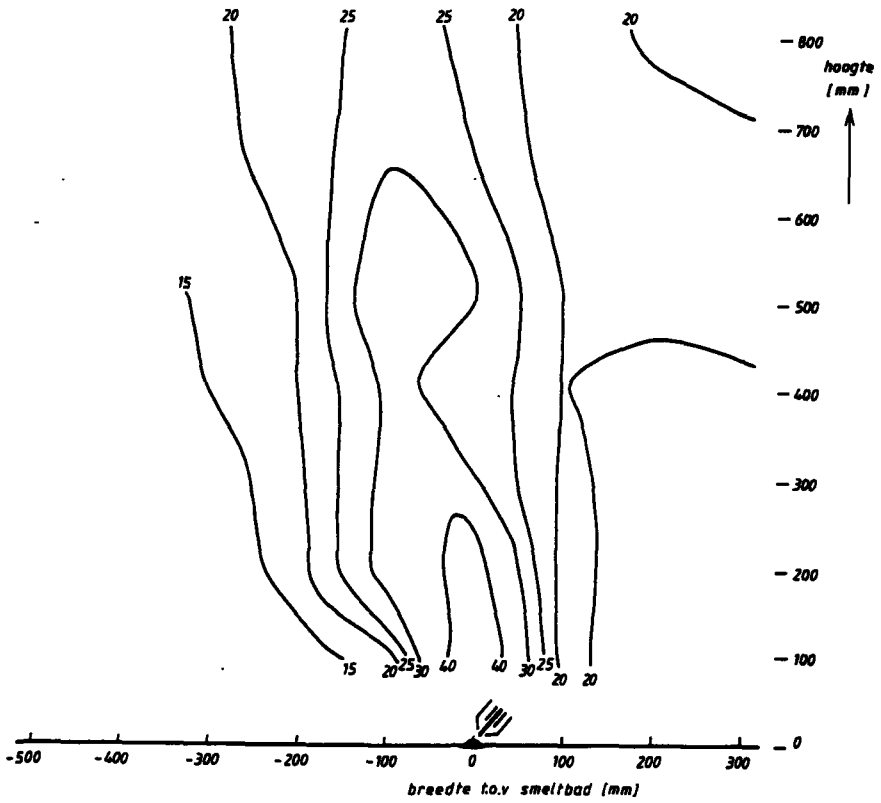


Luchtsnelheden in cm/s bij proef 2:
 referentieproef MIG/MAG-lassen staal; geen lasboxafzuiging.

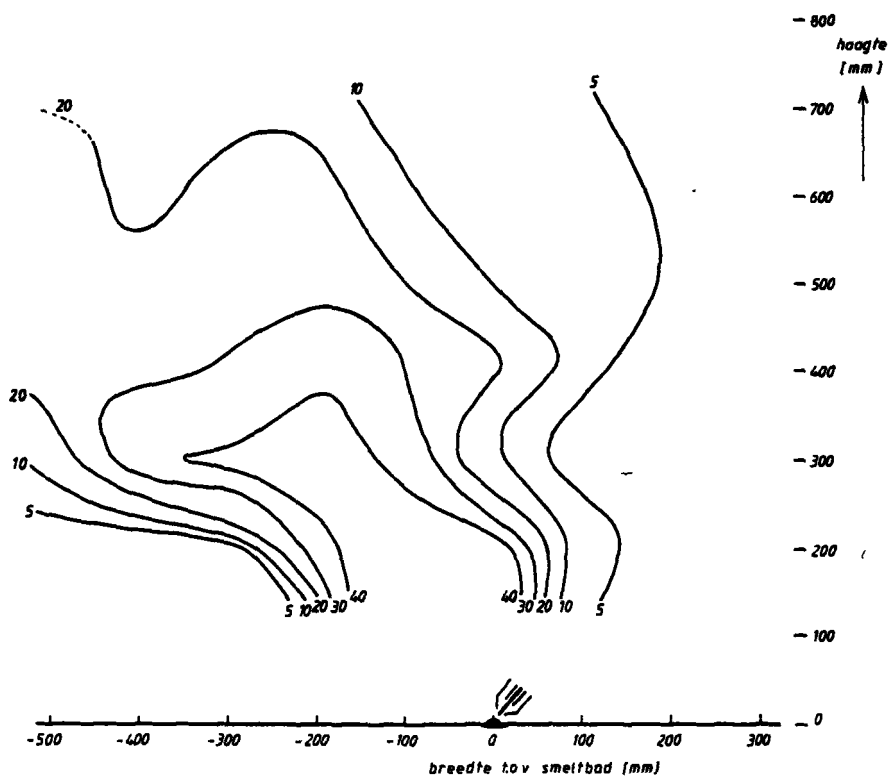


Temperaturen in °C bij proef 3:

Referentie met ingeschakelde lasboxafzuiging.

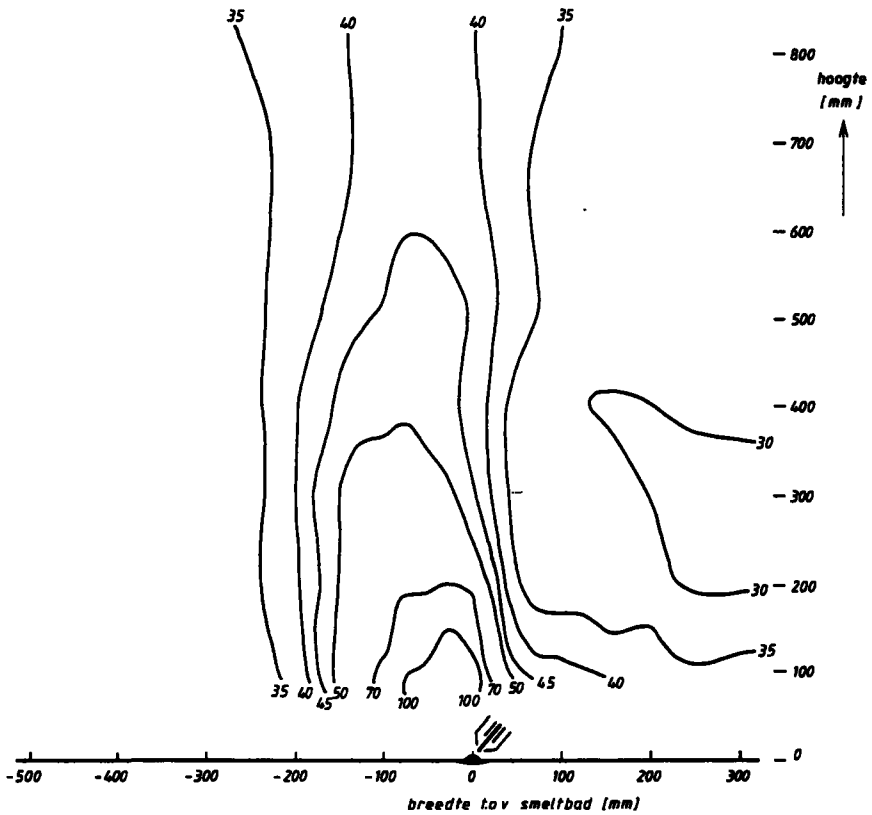


Luchtsnelheden in cm/s bij proef 3:
 Referentie met ingeschakelde lasboxafzuiging.



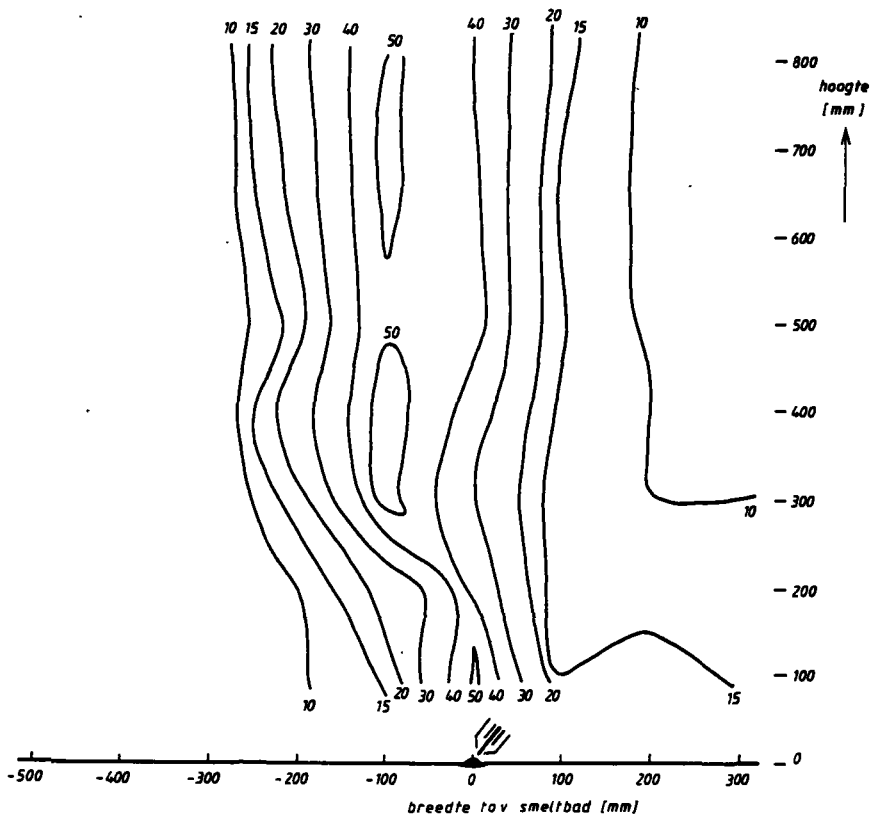
Stofconcentraties in mg/m^3 bij proef 3:

Referentie met ingeschakelde lasboxafzuiging.

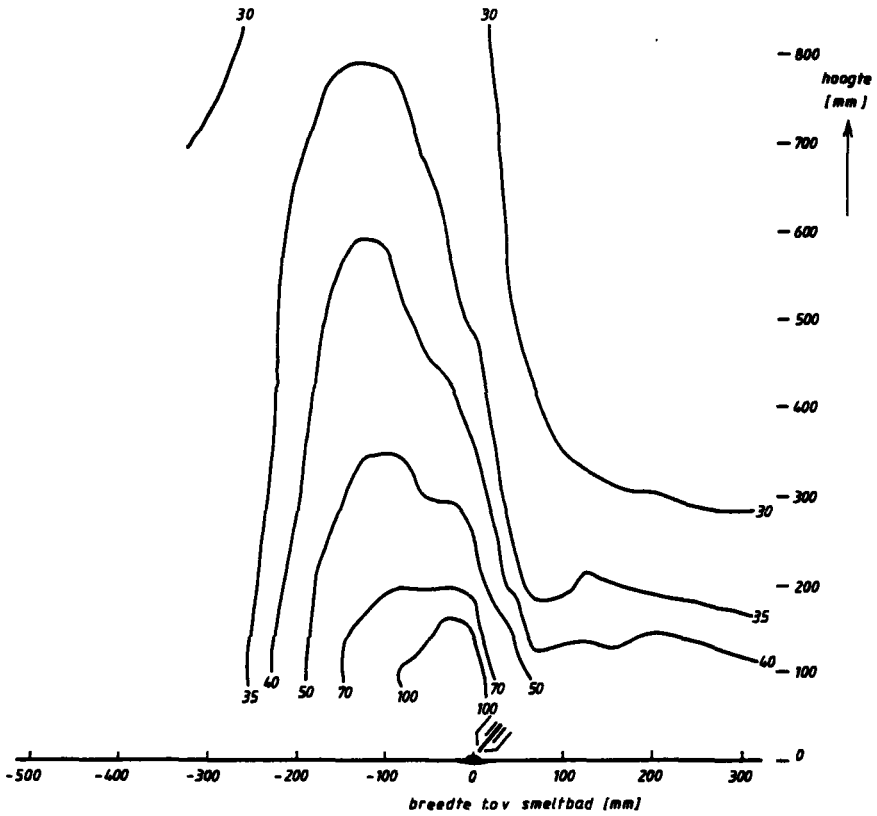


Temperaturen in °C bij proef 4:

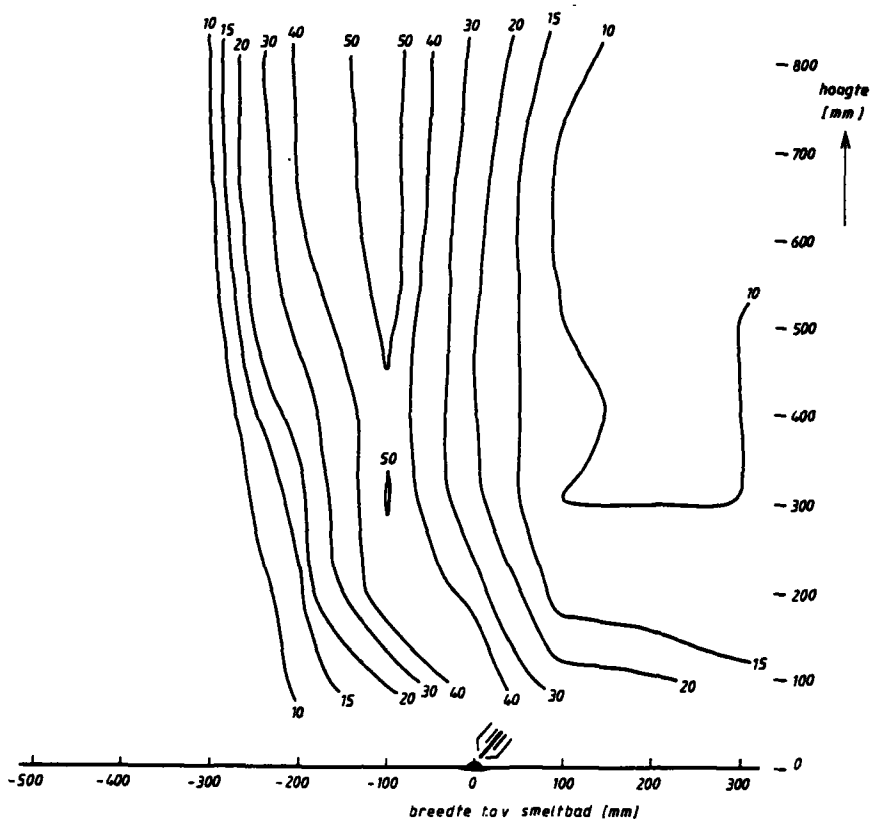
kleinere schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



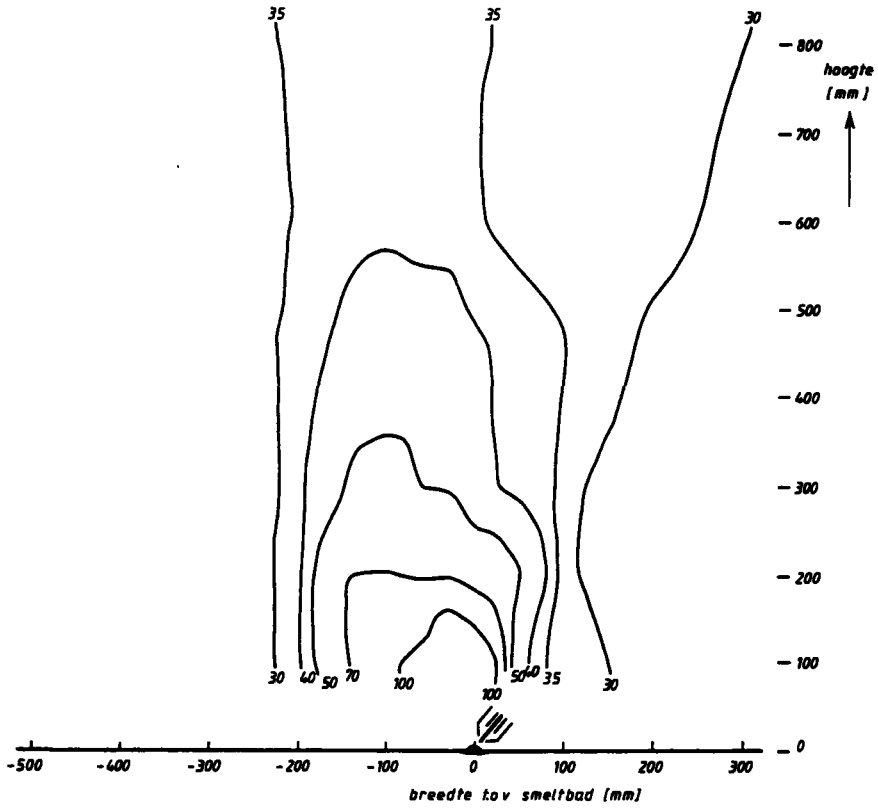
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 4:
 kleinere schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



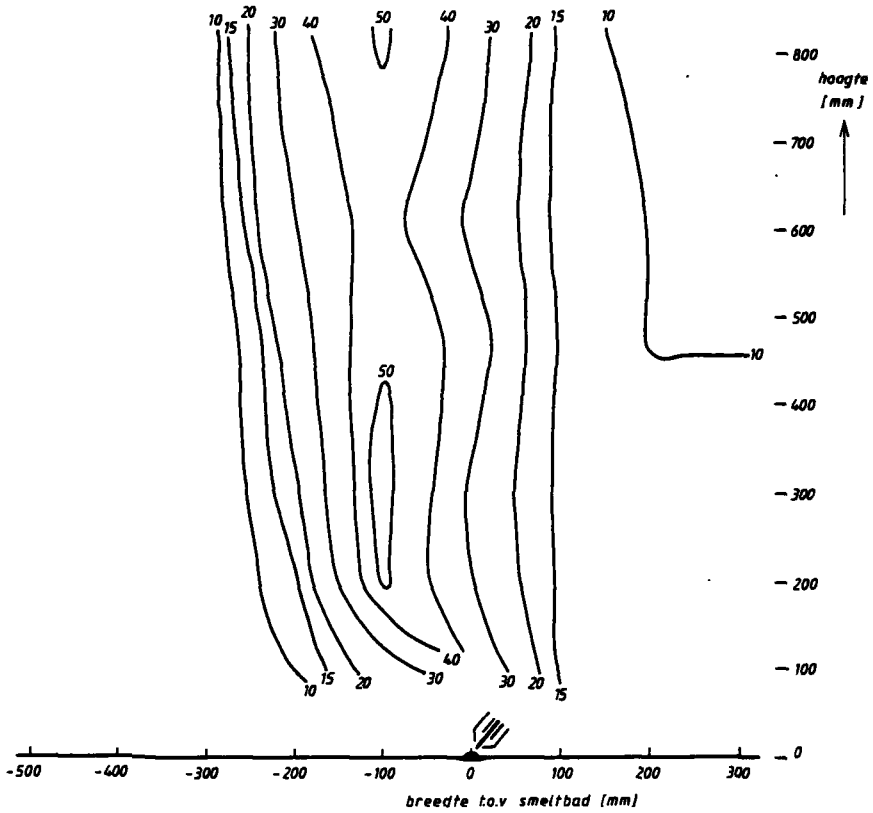
Temperaturen in °C bij proef 5:
 grotere schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



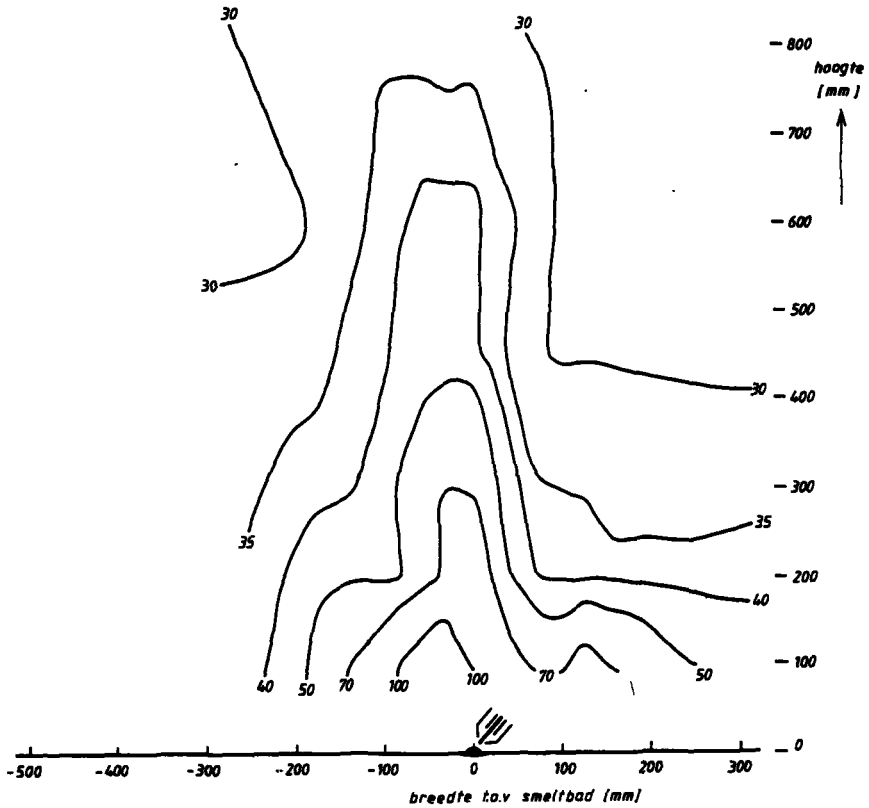
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 5:
 grotere schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



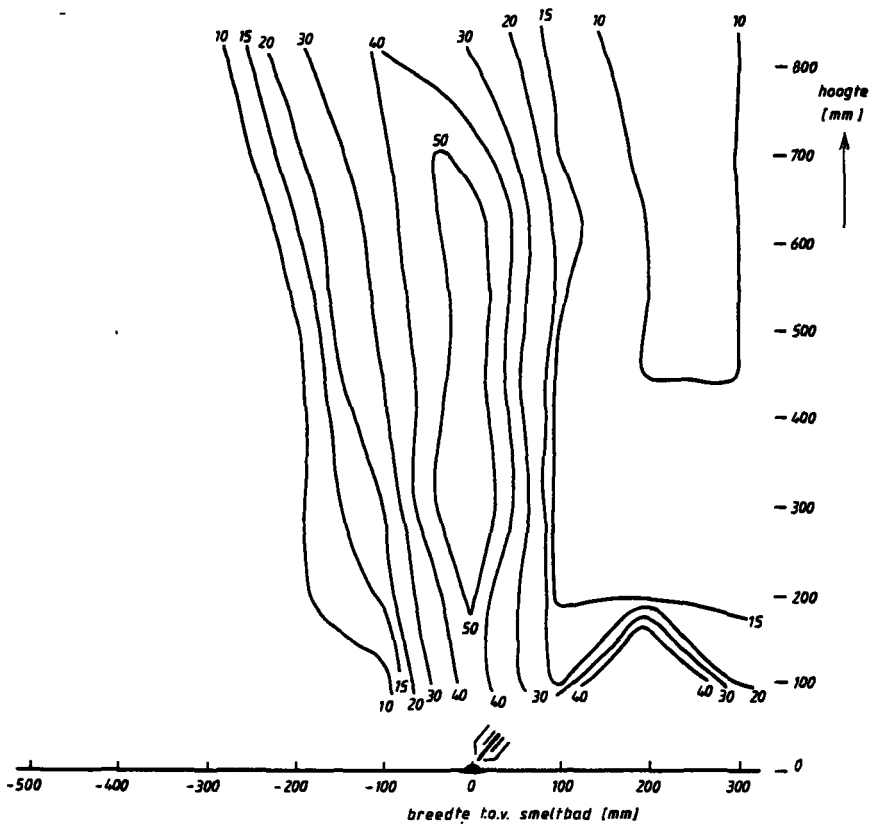
Temperaturen in °C bij proef 6:
 kleinere toortshoek; geen lasboxafzuiging.



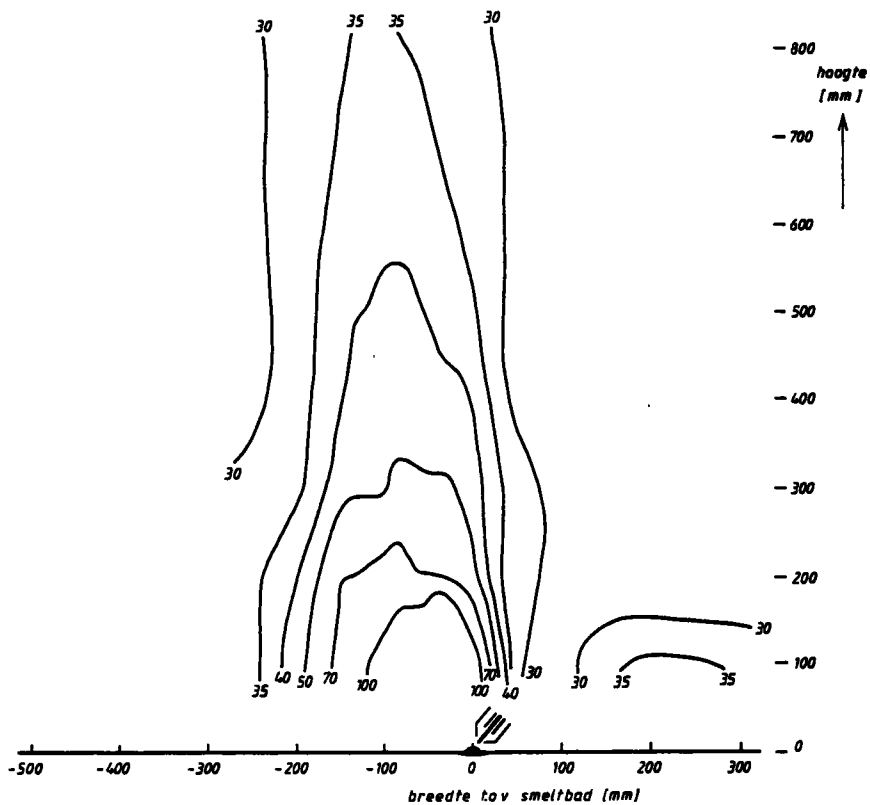
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 6:
 kleinere toortshoek; geen lasboxafzuiging.



Temperaturen in °C bij proef 7:
 grotere toortshoek; geen lasboxafzuiging.

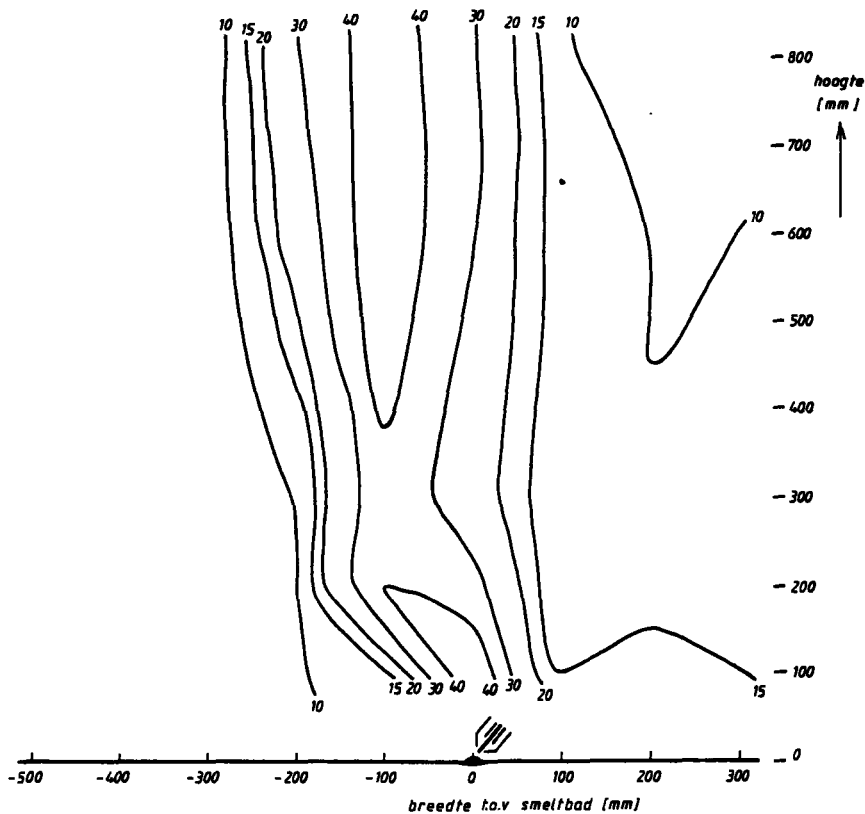


Luchtsnelheden in cm/s bij proef 7:
 grotere toortshoek; geen lasboxafzuiging.



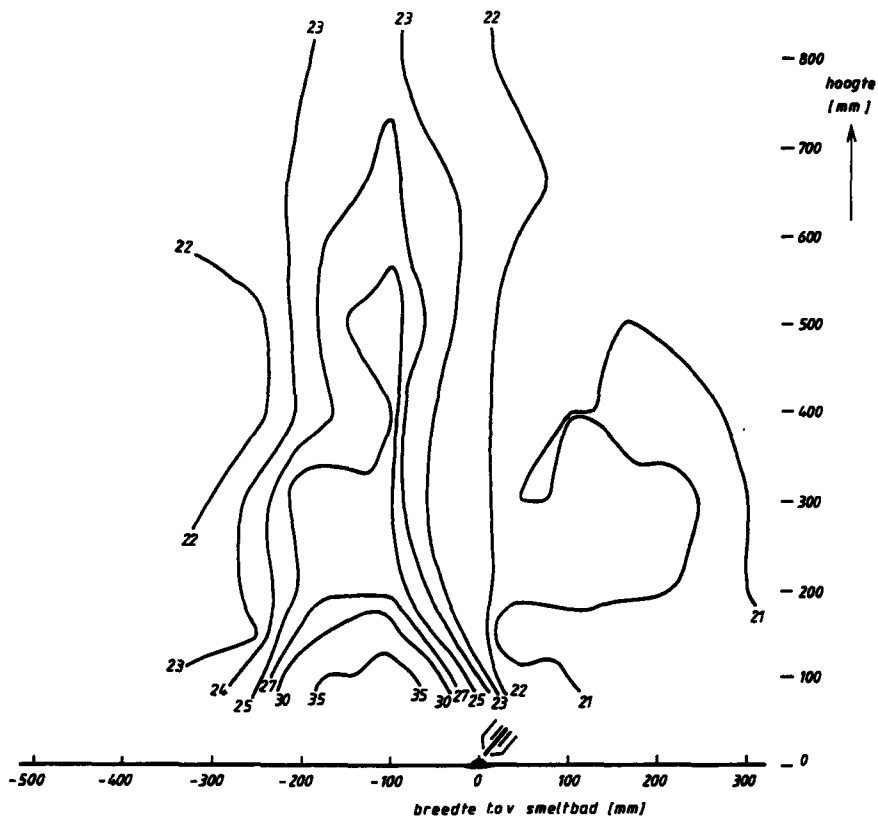
Temperaturen in °C bij proef 8:

slepend lassen in plaats van stekend; geen lasboxafzuiging.

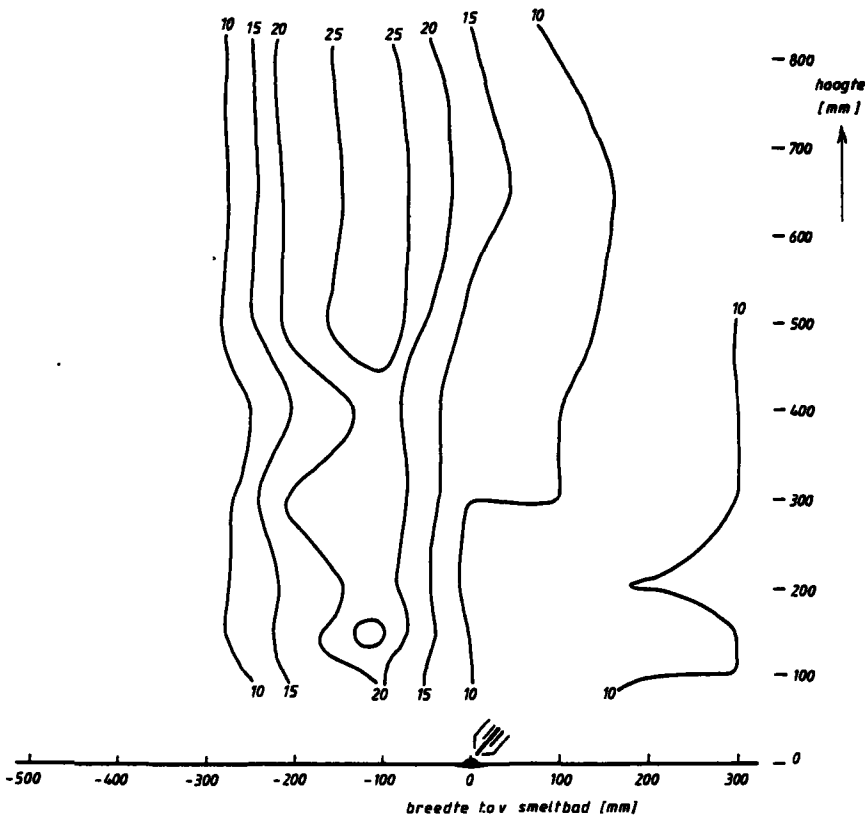


Luchtsnelheden in cm/s bij proef 8:

slepend lassen in plaats van stekend; geen lasboxafzuiging.

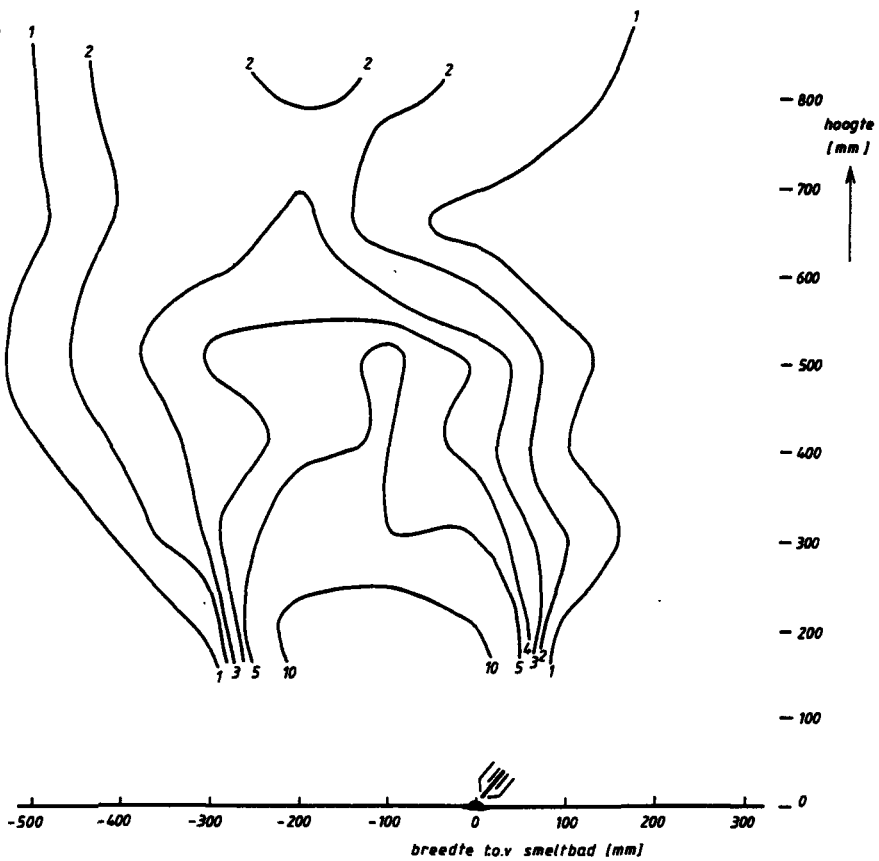


Temperaturen in °C bij proef 9:
 kleiner lasvermogen; geen lasboxafzuiging.

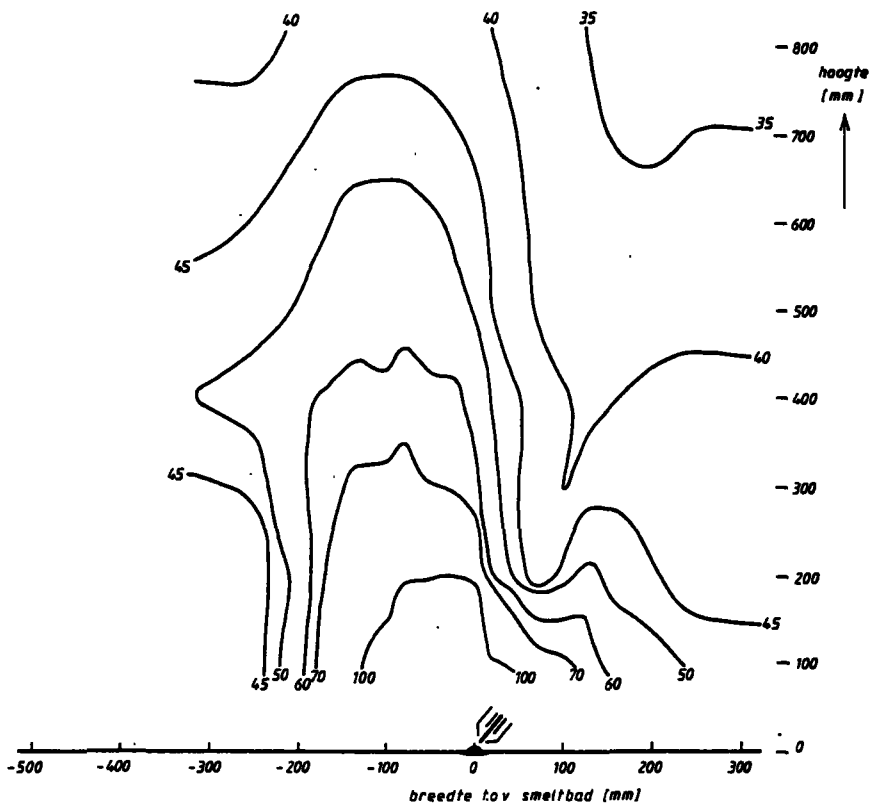


Luchtsnelheden in cm/s bij proef 9:

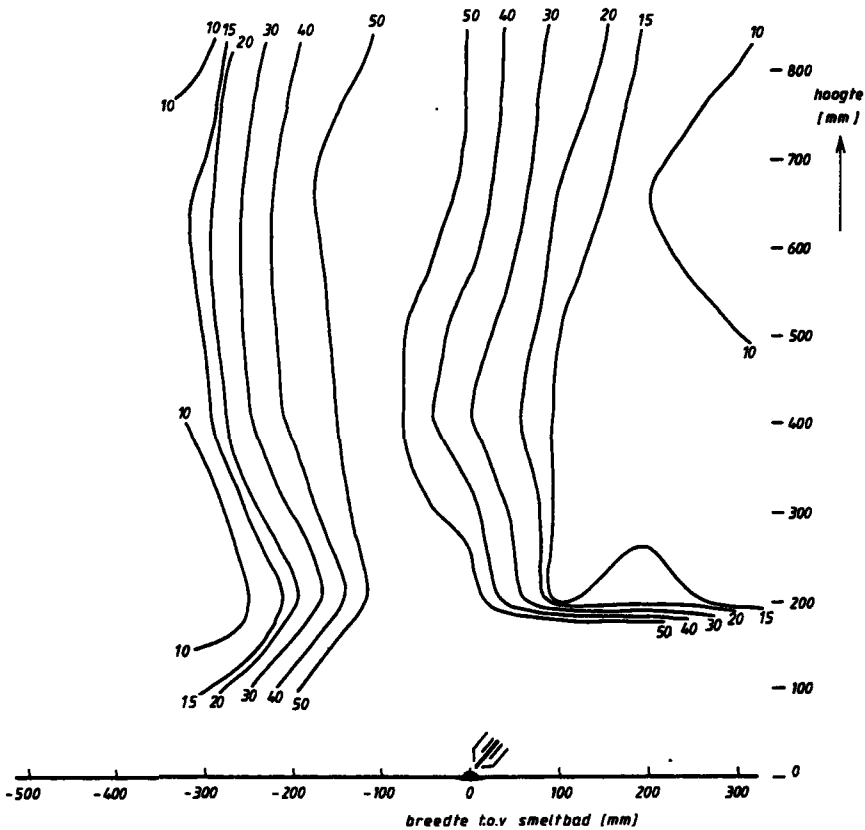
kleiner lasvermogen; geen lasboxafzuiging.



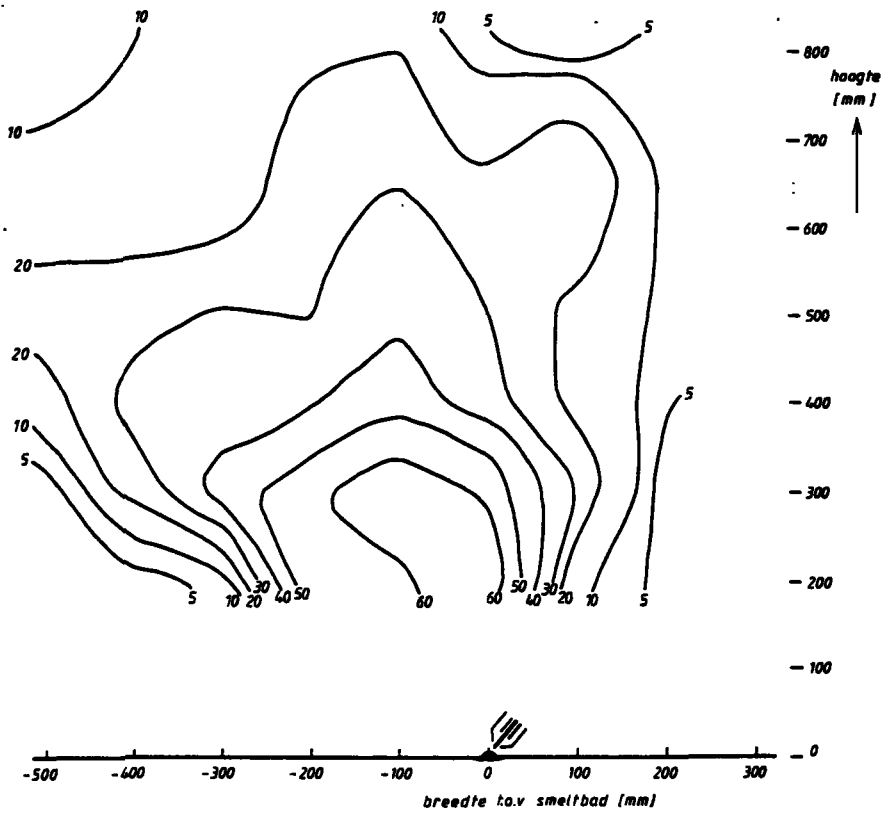
Stofconcentraties in mg/m^3 bij proef 9:
 kleiner lasvermogen; geen lasboxafzuiging.



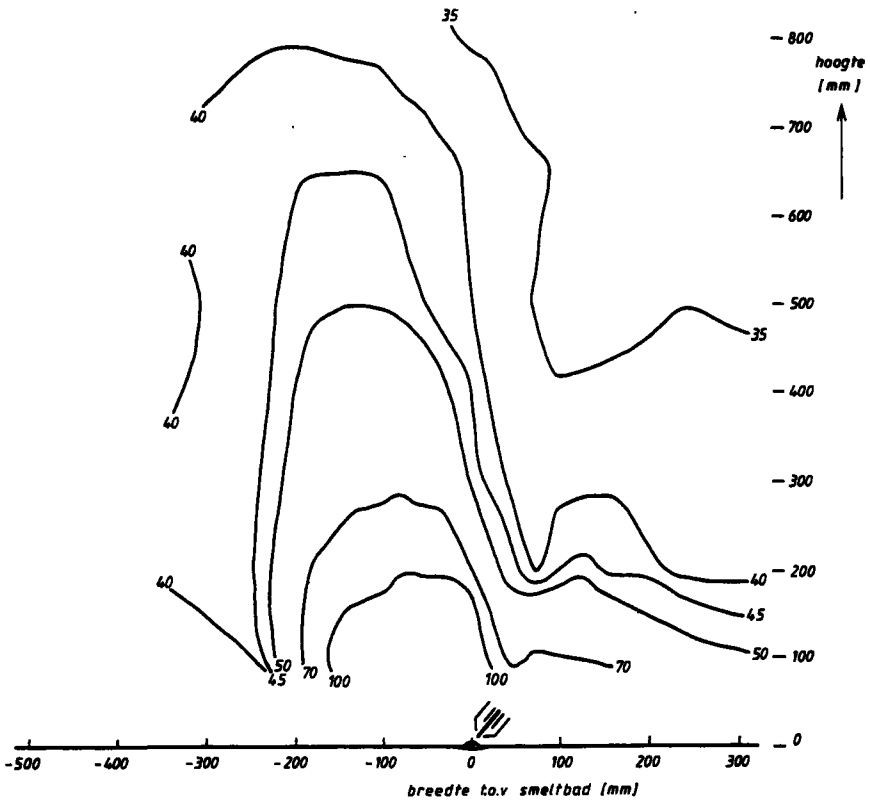
Temperaturen in °C bij proef 10:
 groter lasvermogen; geen lasboxafzuiging.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 10:
 groter lasvermogen; geen lasboxafzuiging.

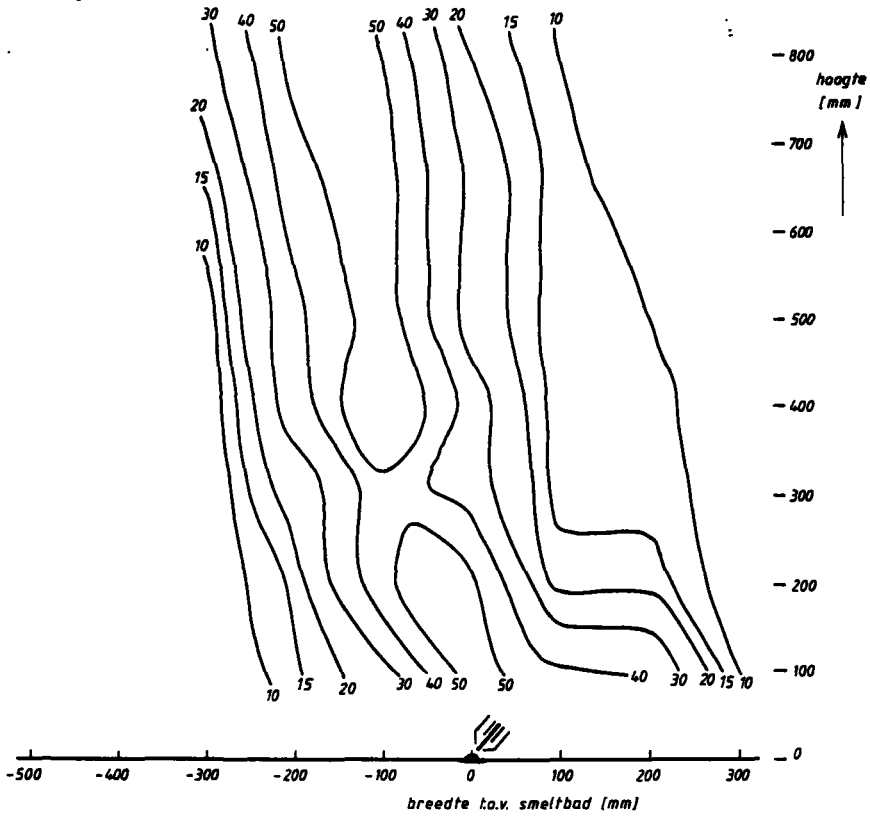


Stofconcentraties in mg/m^3 bij proef 10:
 groter lasvermogen; ingeschakelde lasboxafzuiging.



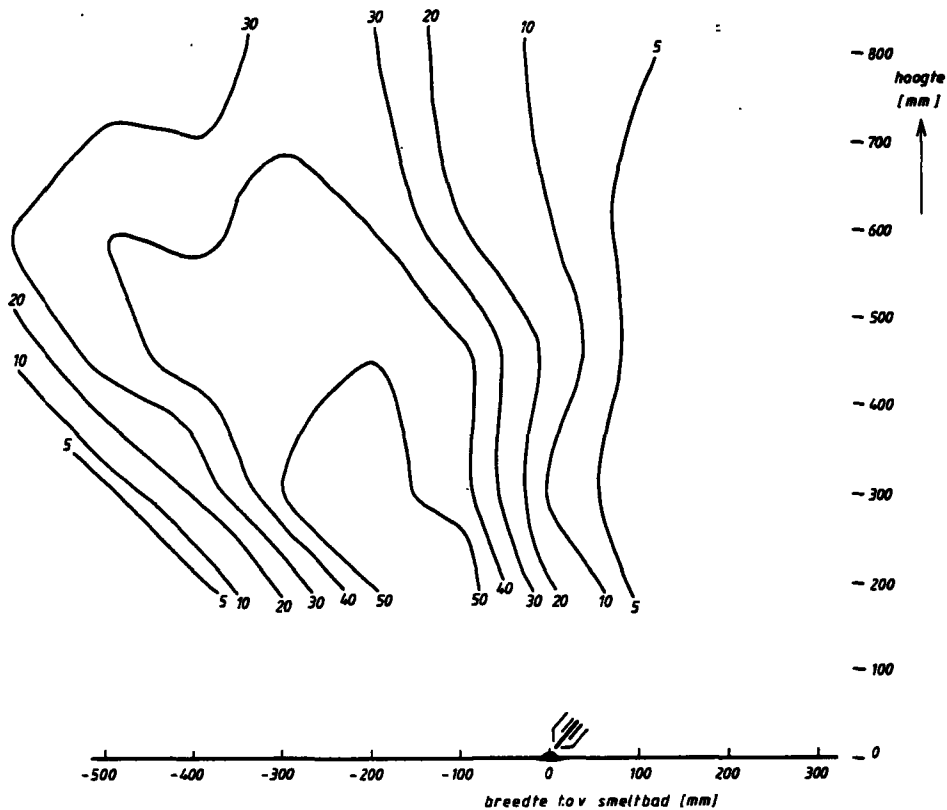
Temperaturen in °C bij proef 11:

gevulde lasdraad; afwijkend lasvermogen; geen lasboxafzuiging.



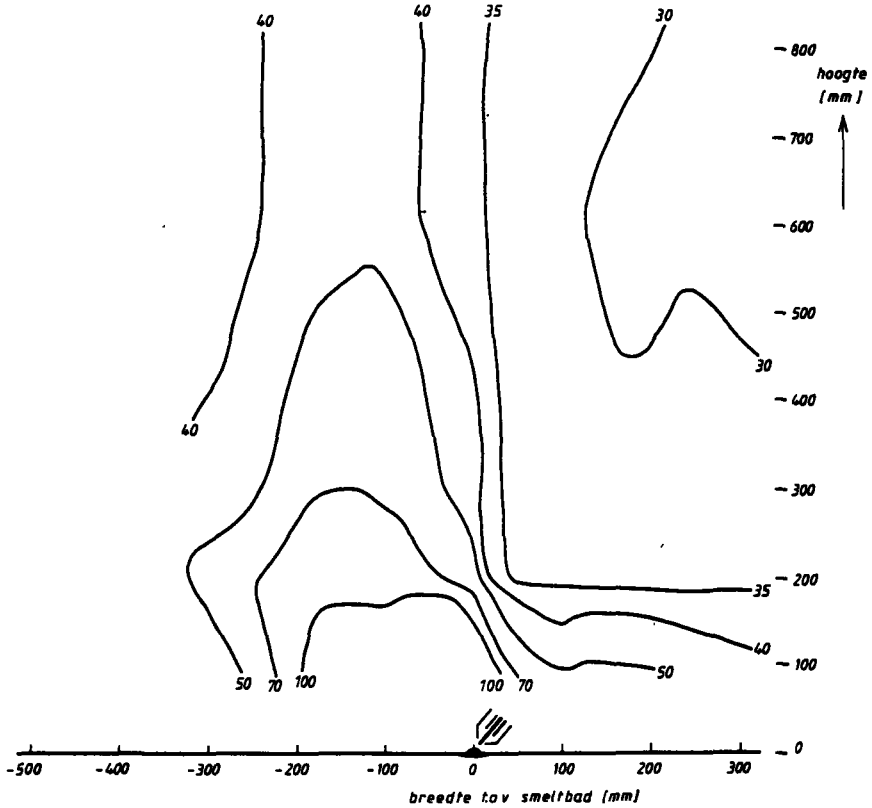
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 11:

gevulde lasdraad; afwijkend lasvermogen; geen lasboxafzuiging.



Stofconcentraties in mg/m^3 bij proef 11:

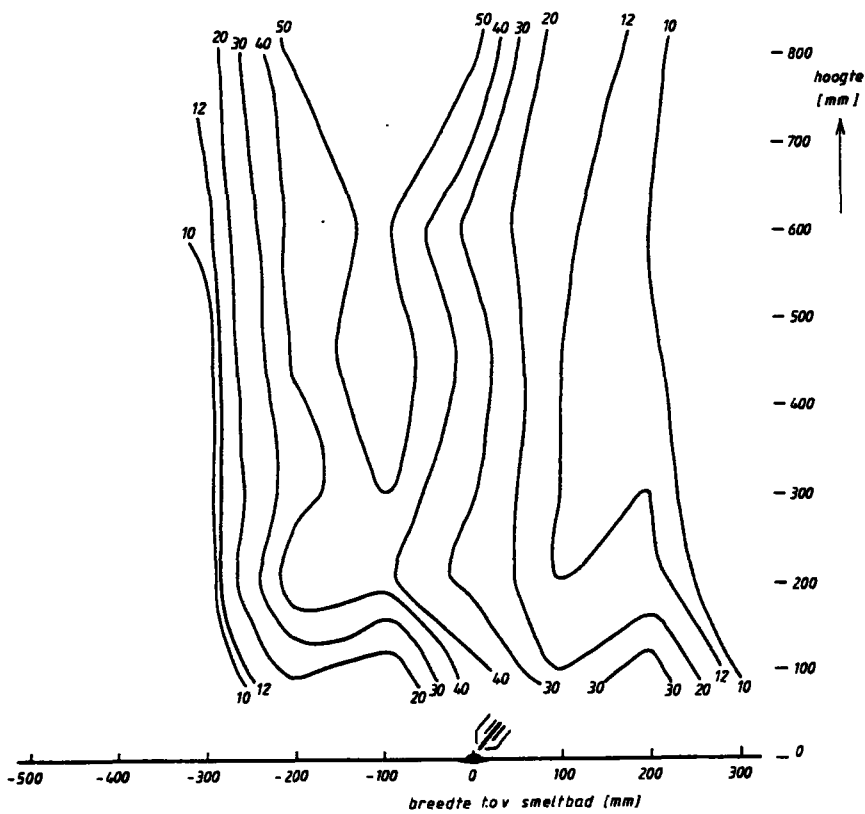
gevulde lasdraad; afwijkend lasvermogen; geen lasboxafzuiging.



Temperaturen in °C bij proef 12:

aluminiumlassen; afwijkend lasvermogen en

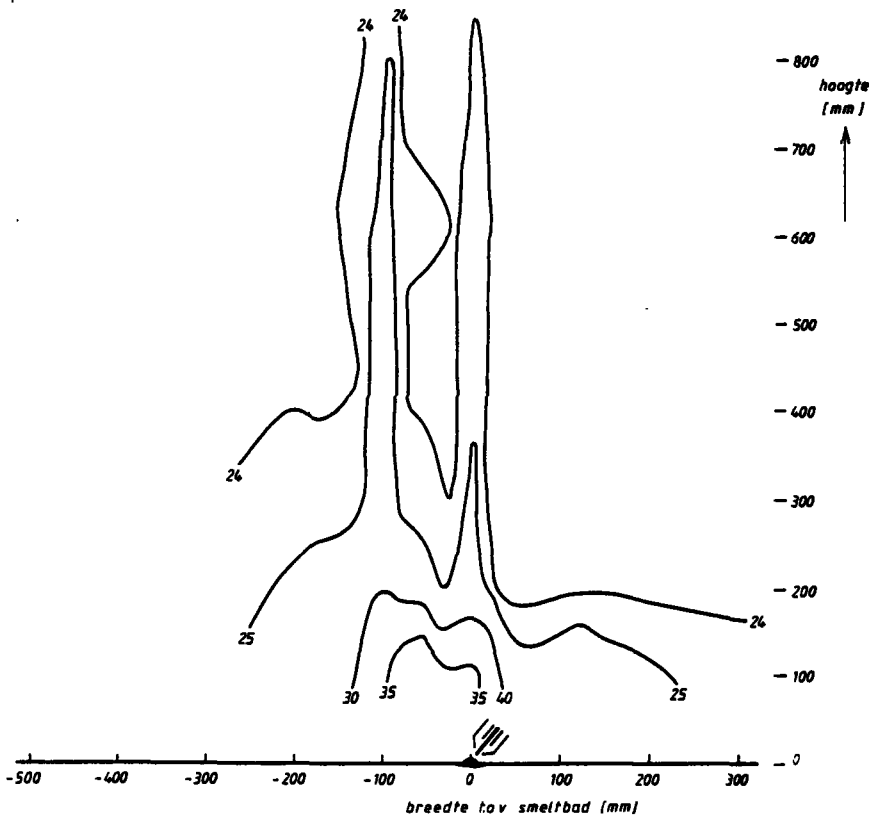
afwijkende schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 12:

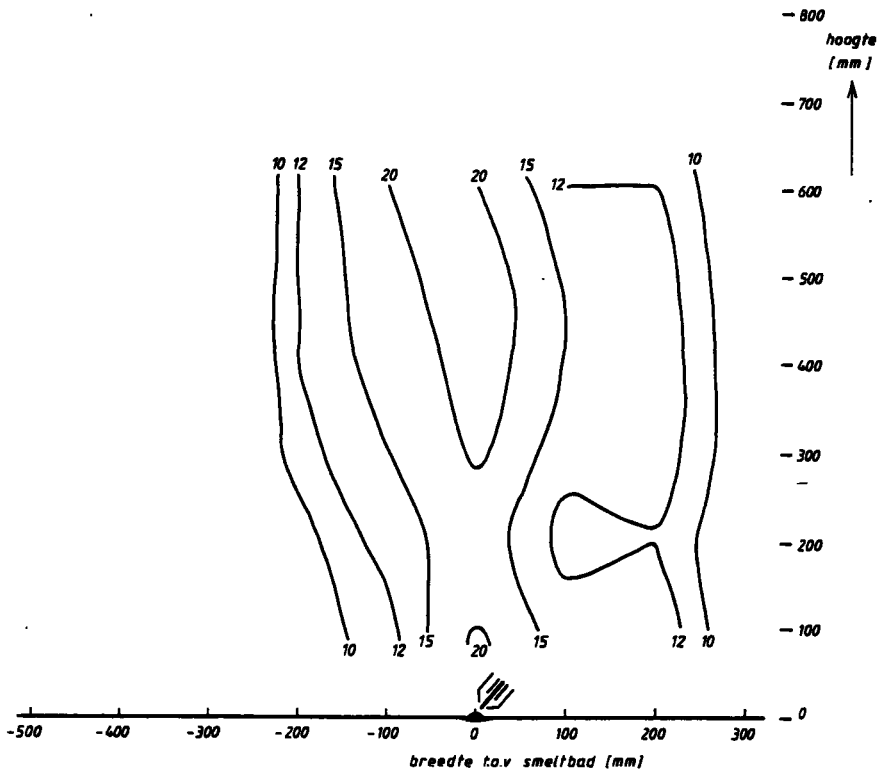
aluminiumlassen; afwijkend lasvermogen en

afwijkende schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



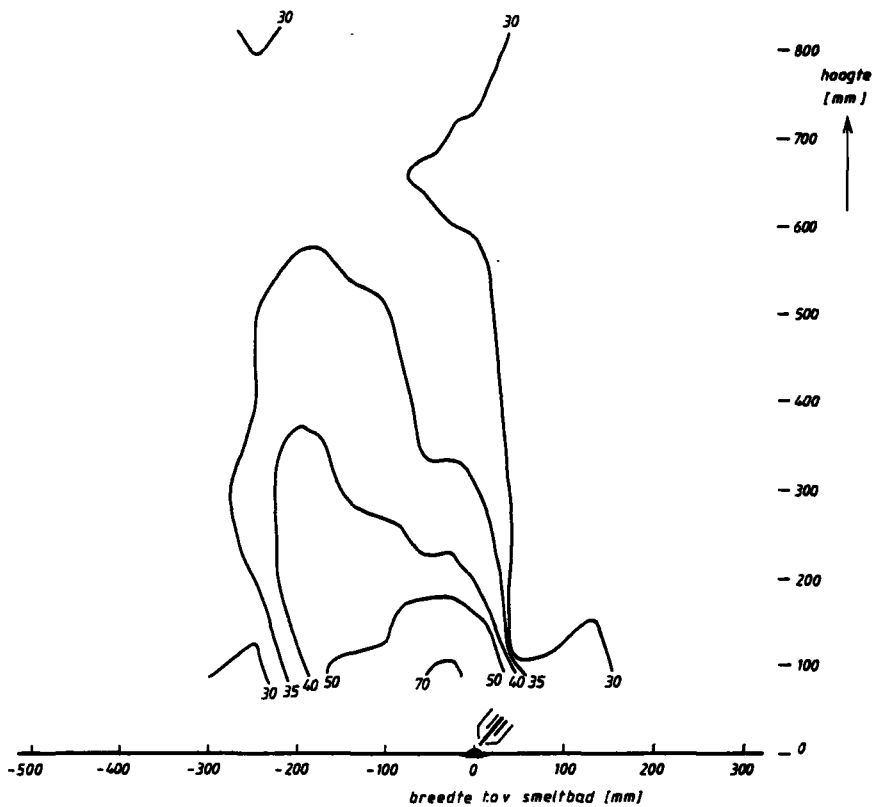
Temperaturen in °C bij proef 13:

TIG-lassen zonder toevoegmateriaal; afwijkend lasvermogen
en afwijkende schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



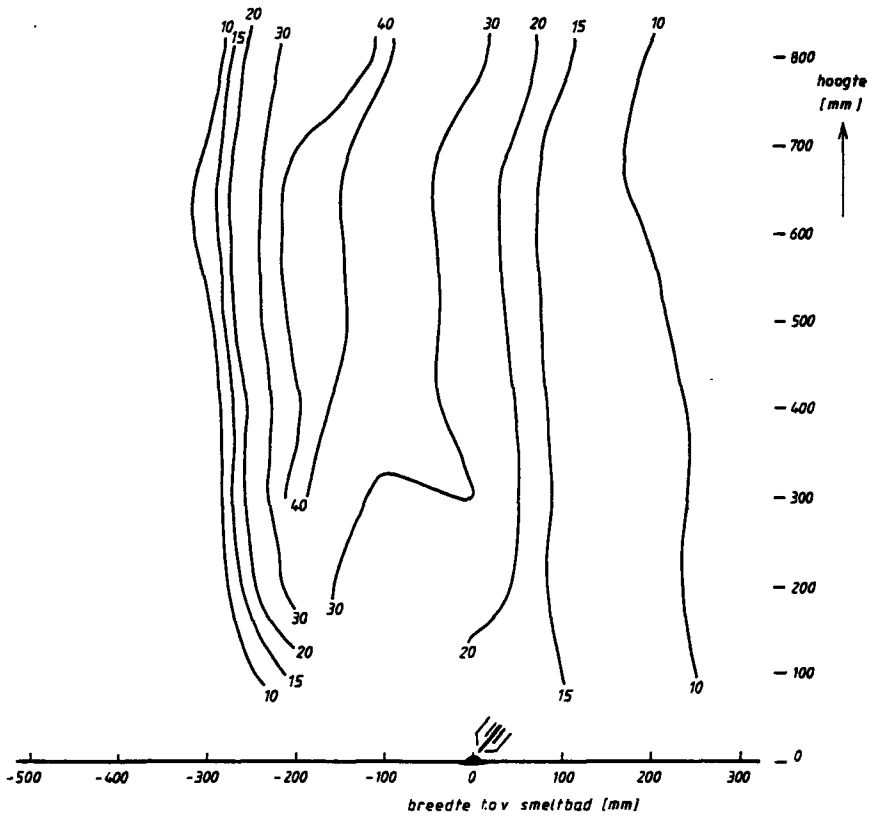
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 13:

TIG-lassen zonder toevoegmateriaal; afwijkend lasvermogen
en afwijkende schermgasstroom; geen lasboxafzuiging.



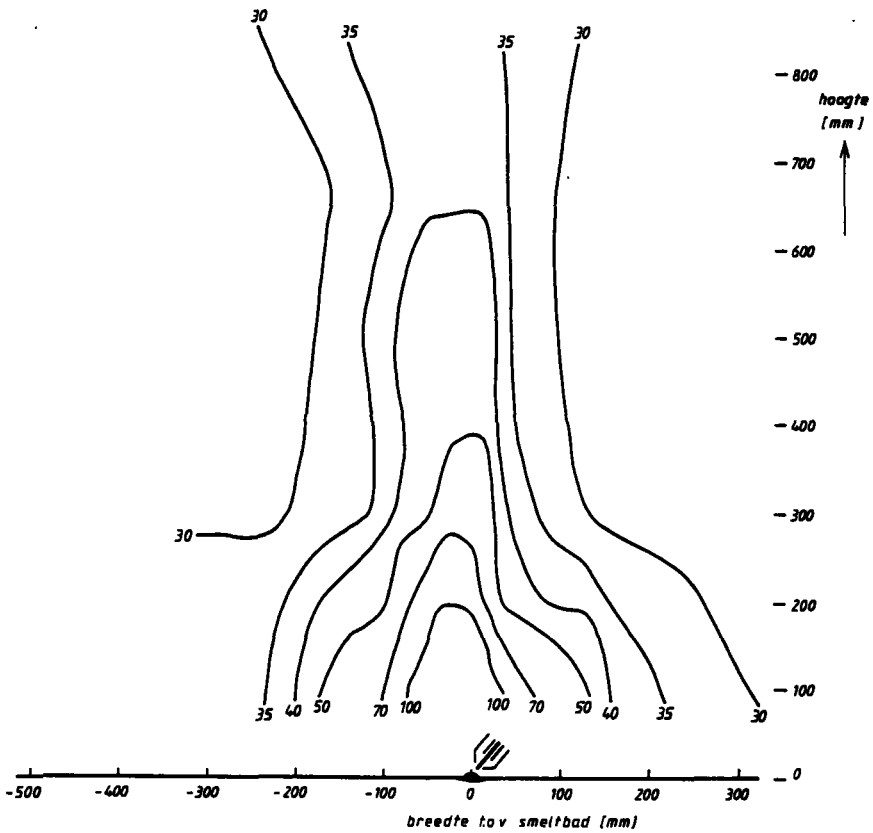
Temperaturen in °C bij proef 14:

TIG-lassen met hoger lasvermogen dan bij proef 13.

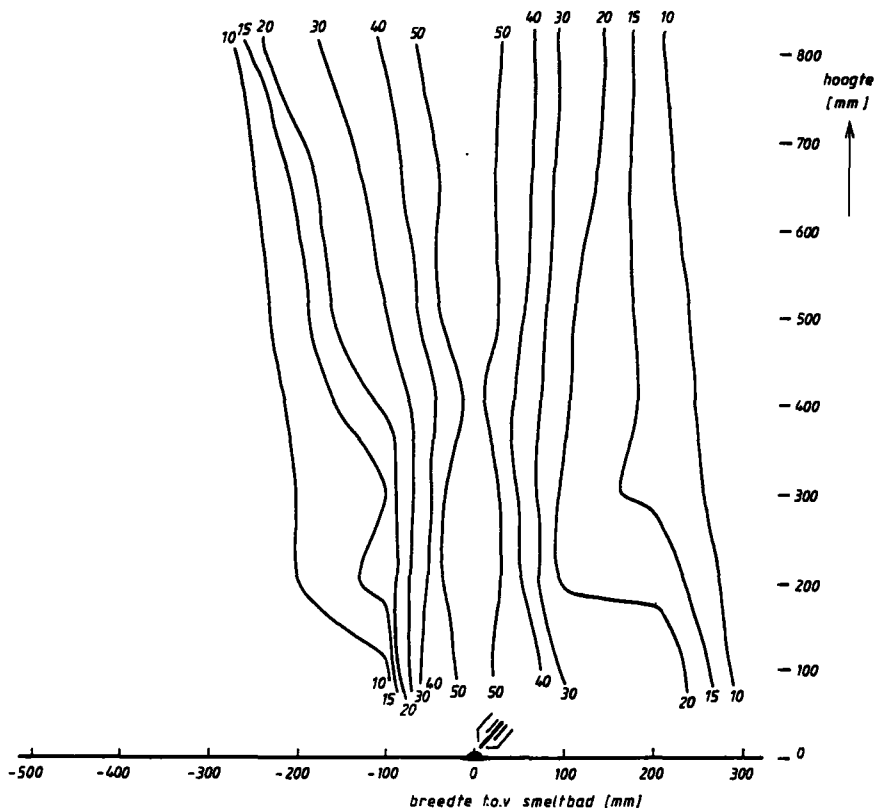


Luchtsnelheden in cm/s bij proef 14:

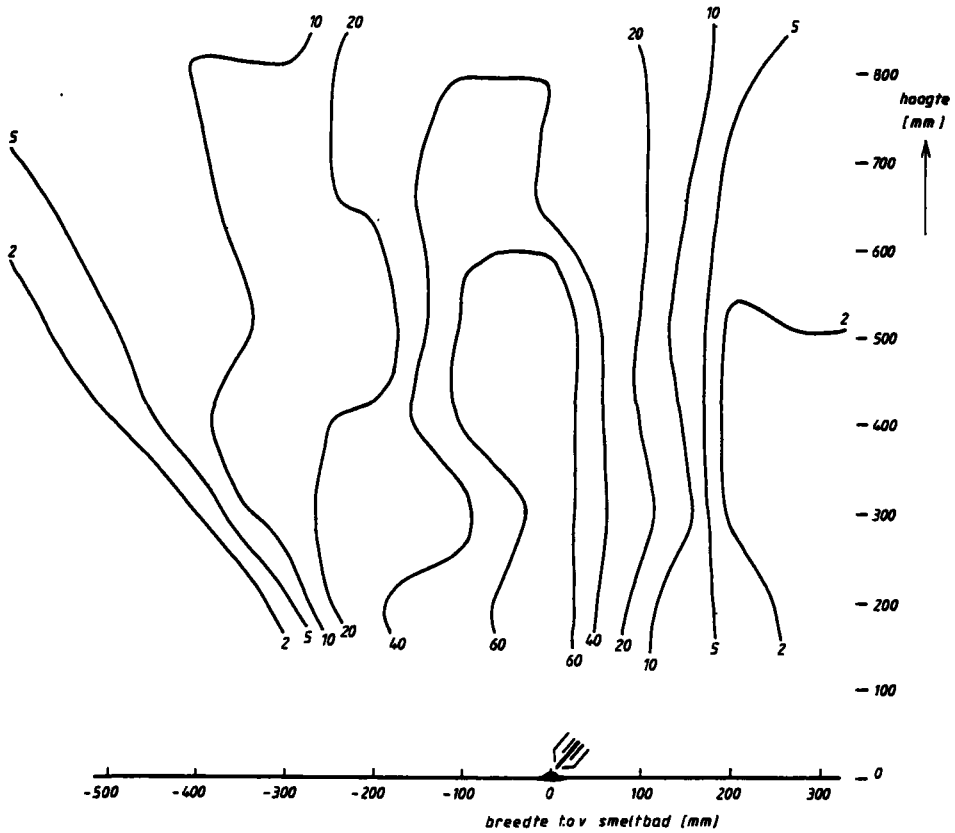
TIG-lassen met hoger lasvermogen dan bij proef 13.



Temperaturen in °C bij proef 15:
 elektrode-lassen; afwijkend lasvermogen;
 slepend gelast; geen lasboxafzuiging.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 15:
 elektrode-lassen; afwijkend lasvermogen;
 slepend gelast; geen lasboxafzuiging.



Stofconcentraties in mg/m^3 bij proef 15:
 elektrode-lassen; afwijkend lasvermogen;
 slepend gelast; geen lasboxafzuiging.

Deelrapport 2

De simulatie van de lasrookbeweging

Auteur:

Ing. B. Knoll

Ir. R.D. Crommelin

INHOUDSOPGAVE DEEL 2

Blz.

Samenvatting	2.3
1. Inleiding	2.4
2. Opzet van het ventilatieonderzoek	2.5
2.1 Probleemstelling	2.5
2.2 Aanpak	2.6
3. Nadere beschouwing van de gemeten luchttemperaturen	2.8
4. Nadere beschouwing van de gemeten stofconcentraties	2.13
5. Nadere beschouwing van de gemeten luchtsnelheden	2.15
5.1 Snelheden op de as van de lasrookpluim	2.15
5.2 Snelheden buiten de as van de lasrookpluim	2.23
6. Uitvoering van de simulatiemetingen	2.25
6.1 Opstelling met een verwarmde vlakke plaat	2.25
6.2 Opstelling met een geforceerde warme-luchtstraal	2.27
7. Resultaten van de simulatiemetingen	2.29
8. Bespreking van de meetresultaten	2.30
8.1 Eerste metingen met een verwarmde vlakke plaat	2.30
8.2 Metingen met een geforceerde warme-luchtstraal	2.32
8.3 Laatste metingen met een verwarmde vlakke plaat	2.33
9. Conclusies	2.44
10. Symbolenlijst	2.45
11. Literatuur	2.47
Bijlage B: Meetresultaten	2.48

SAMENVATTING

Om binnen het kader van een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid te komen tot een richtlijn voor het veilig werken van lassers worden door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO en door het Coronellaboratorium verschillende deelonderzoeken uitgevoerd. Eén deelonderzoek omvat de ventilatie-aspecten, waarvan dit rapport de tweede fase beschrijft.

De blootstelling van lassers aan lasrook wordt vooral bepaald door de onverdunde lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone stroomt. Beschermende maatregelen moeten daarom vooral zijn gericht op de directe beïnvloeding van deze lasrookbeweging.

Hiervoor moet allereerst het verspreidingsmechanisme van de lasrook bekend zijn om de juiste beschermende maatregelen te kunnen onderzoeken. In deze tweede fase van het ventilatie-onderzoek is dit verspreidingsmechanisme nader geanalyseerd. Tevens is, voornamelijk vanwege de betere proefomstandigheden, een simulatie-opstelling ontwikkeld waarin de lasrookpluim wordt nagebootst. In deze opstelling kunnen beschermende maatregelen worden beproefd.

Uit het onderzoek blijkt dat de lasrookbeweging als een convectiestroming mag worden opgevat, waarin dicht bij de las hoge turbulentie-intensiteiten optreden. Naast een opstijgende beweging treedt hierdoor ook een sterke diffusie in horizontale richting op. Dit veroorzaakt al op geringe hoogte boven de las een breed uitwaaiierend verontreinigingsbeeld en een onderdrukking van de stijgsnelheden. Dit karakteristieke beeld kan worden nagebootst met een verwarmde vlakke plaat waarop loodrecht in het hart een luchtstraal, voorzien van een tracergas als maat voor de verontreinigingen, wordt geblazen.

1. INLEIDING

In een vooronderzoek van TNO [1] en het Coronellaboratorium [2] is een indruk verkregen van de arbeidssituatie van lassers. In veel gevallen blijken lassers bovenmatig te worden blootgesteld aan verontreinigingen, elektromagnetische straling en lawaai. Hierbij zijn verontreinigingen en straling specifiek afkomstig van het lassen. Deze aspecten worden nader bestudeerd in een vervolgonderzoek, dat door het Directoraat-Generaal van de Arbeid (DGA) aan TNO is opgedragen. Lawaai wordt in breder verband (project Preventie Gehoorschade) reeds onderzocht. De medische aspecten van het lassen worden door het Coronellaboratorium nader onderzocht.

Het doel van het vervolgonderzoek is te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken bij lassen en snijden.

De hoofdlijn van het vervolgonderzoek door TNO komt neer op het volgende:

- Nadere inventarisatie van de verontreinigings- en stralingsniveaus bij de diverse lasprocessen.
- Onderzoek naar en inventarisatie van middelen ter vermindering van de expositie van lassers.
- Vaststelling van de minimaal gewenste voorzieningen en middelen ter voorkoming van te hoge exposities. Vastlegging in een concept voorlichtingsblad.

In de praktijk komt het vervolgonderzoek neer op drie deelonderzoeken:

1. Inventarisatie van verontreinigingsniveaus.
2. Onderzoek naar de benodigde ventilatievoorzieningen ter beperking van de expositie aan verontreinigingen.
3. Onderzoek naar stralingsniveaus bij verschillende lasprocessen en inventarisatie van beschermende middelen.

In dit rapport wordt de tweede fase van het onder 2. genoemde ventilatieonderzoek beschreven.

2. OPZET VAN HET VENTILATIE-ONDERZOEK

2.1 PROBLEEMSTELLING

Om de expositie van lassers aan verontreinigingen te verminderen blijkt het veelal noodzakelijk plaatselijke voorzieningen te treffen, die de lasrook in 't geheel niet of in beperkte mate langs de ademzone van de lassers doen bewegen. Gebruikelijke voorzieningen voor ruimteventilatie zijn hiervoor normaliter niet geschikt. Deze verlagen uitsluitend de achtergrondconcentratie. De expositie blijkt voornamelijk te worden bepaald door de onverdunde lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone van de lasser stroomt (zie figuur 1).

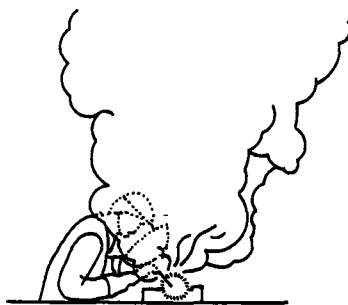


Fig. 1 Directe indringing van de lasrook in de ademzone bepaalt in hoge mate de expositie.

Om de indringing van lasrook in de ademzone te voorkomen of te beperken blijkt in de praktijk uitsluitend plaatselijke afzuiging op beperkte schaal te worden gebruikt. Daarbij valt de effectiviteit van deze voorziening nog vaak tegen. Een belangrijke reden hiervoor is het beperkte vangbereik van plaatselijke afzuigers in verhouding tot de gewenste actieradius van lassers. Het is daarom belangrijk de randvoorwaarden voor een goede werking van afzuigsystemen, maar ook de beperkingen van afzuigsystemen, te kennen. Daarnaast is het nuttig te onderzoeken of met bepaalde hulpmiddelen de werking van afzuigers kan worden verbeterd of met welke andere middelen de beweging van lasrook dusdanig kan worden beïnvloed, dat geen indringing in de ademzone plaatsvindt.

Het ventilatie-onderzoek is op deze aspecten afgestemd.

2.2 AANPAK

Om vast te kunnen stellen hoe de beweging van lasrook positief kan worden beïnvloed is het allereerst nodig deze beweging te kennen.

Vervolgens kan van verschillende plaatselijke voorzieningen het effect op de beweging van de lasrook worden onderzocht.

Als alternatief voor plaatselijke afzuiging wordt hierbij gedacht aan inblaasvoorzieningen om de beweging van lasrook van de ademzone weg te dwingen. De randvoorwaarden voor een goede werking van plaatselijke voorzieningen, maar ook de beperkingen of mogelijkheden van de voorzieningen, dienen vervolgens te worden bepaald. Daarnaast moet bij alle varianten worden bekeken in hoeverre aanvullende ruimteventilatie noodzakelijk is en hoe groot de ventilatie dan moet zijn. Zowel de plaatselijke voorzieningen als de aanvullende ruimteventilatie moeten hierbij worden afgestemd op de gemeten exposities aan verontreinigingen bij de diverse lasprocessen. Zo kan worden bepaald wat de minimaal gewenste ventilatievoorzieningen per lasproces zijn, hetgeen in een concept-voorlichtingsblad zal worden vastgelegd. Concreet betekent deze aanpak, dat de volgende stappen in het onderzoek kunnen worden onderscheiden:

- Fase 1 - Metingen ter bepaling van het verspreidingsmechanisme van lasrook bij verschillende lasprocessen bij variatie van de belangrijkste invloedsfactoren. Er zal worden getracht relaties tussen het verspreidingsbeeld en de invloedsfactoren af te leiden. Hieruit zal een karakteristiek verspreidingsbeeld worden vastgesteld.
- Fase 2 - Simulatie van het karakteristieke verspreidingsbeeld in een laboratoriumopstelling (er wordt gekozen voor een laboratoriumopstelling in plaats van een lasopstelling, omdat de invloedsfactoren dan beter in de hand zijn te houden en omdat de werkomstandigheden gunstiger zijn). Met een warmtebron, eventueel voorzien van geforceerde luchttoevoer, zal het stromingsbeeld worden nagebootst. De verontreinigingen zullen in de vorm van een tracergas hierin worden geïnjecteerd.
- Fase 3 - Inventarisatie van bestaande plaatselijke ventilatievoorzieningen. Bepaling van de effectiviteit van dergelijke voorzieningen in de laboratoriumopstelling door meting van de concentratie van het

tracergas in de ademzone van een dummy-lasser. De effectiviteit zal onder wisselende gebruiksomstandigheden worden bepaald. In deze opstelling zal tevens worden onderzocht hoe met alternatieve voorzieningen de verspreiding van lasrook naar de ademzone kan worden voorkomen of verminderd.

De randvoorwaarden voor een juist gebruik van de plaatselijke ventilatievoorzieningen bij de verschillende lasprocessen en -omstandigheden moeten uit dit onderzoek volgen.

Fase 4 - Toetsing van de aldus vastgestelde gebruiksvoorwaarden voor plaatselijke ventilatievoorzieningen aan praktijkbevindingen. Afhankelijk van de bevindingen kan zonedig nog een bijstelling plaatsvinden.

Bepaling van de benodigde aanvullende ruimteventilatie bij gebruik van de diverse plaatselijke ventilatievoorzieningen en afhankelijk van de toegepaste lasprocessen.

Inventarisatie van adembeschermingsmiddelen. Vaststellen in welke situaties deze middelen moeten worden toegepast.

Fase 5 - Opstellen van de betreffende hoofdstukken van het conceptverlichtingsblad voor verantwoord werken met lasapparatuur.

Op de genoemde onderzoeks-aanpak wordt nog nader ingegaan [3].

Fase 1 is grotendeels uitgevoerd en gerapporteerd [4].

Een verdere theoretische beschrijving van de metingen in fase 1 wordt in het eerste deel van dit rapport gegeven. Deze karakterisering dient als uitgangspunt voor de praktische simulatie van de lasrookbeweging. Meetresultaten aan een simulatie-opstelling worden in het tweede deel van dit rapport beschreven.

3. NADERE BESCHOUWING VAN DE GEMETEN LUCHTTEMPERATUREN

De MIG/MAG-metingen zijn uitgevoerd bij vier lasvermogens, namelijk:

0,88 kW (55 A x 16 V)

6,0 kW (200 A x 30 V)

9,0 kW (300 A x 30 V)

11,1 kW (370 A x 30 V)

In figuur 2 t/m 5 zijn de in de as van de laspluim gemeten overtemperaturen ten opzichte van de omgevingstemperatuur (ΔT) als functie van de hoogte, beide op logarithmische schaal, uitgezet. Uit deze figuren blijkt dat bij de hogere lasvermogens (6 t/m 11,1 KW) de meetresultaten grafisch goed door een rechte lijn kunnen worden benaderd. Bij het lage lasvermogen is dit niet meer het geval, vermoedelijk door de lagere overtemperaturen en daardoor relatief grotere invloed van toevallige verstoringen van de omgeving op de laspluim. Voor de hogere lasvermogens geldt dus met goede benadering

$$\Delta T \approx \text{const.} \times h$$

Uit figuur 3 t/m 5 vindt men:

$$P = 6,0 \text{ kW} : \Delta T = 115 \left(\frac{h}{0,1} \right)^{-1,19} \quad (1)$$

$$P = 9,0 \text{ kW} : \Delta T = 134 \left(\frac{h}{0,1} \right)^{-0,98} \quad (2)$$

$$P = 11,1 \text{ kW} : \Delta T = 147 \left(\frac{h}{0,1} \right)^{-0,91} \quad (3)$$

(h in m, ΔT in K)

Uit de ligging van de isothermen bij verschillende lasvermogens bleek dat ΔT ongeveer evenredig is met $P^{0,83}$ [4].

In figuur 6 zijn de logarithmen van $\Delta T/P^{0,83}$ en h tegen elkaar uitgezet (ΔT in K, P in W en h in m).

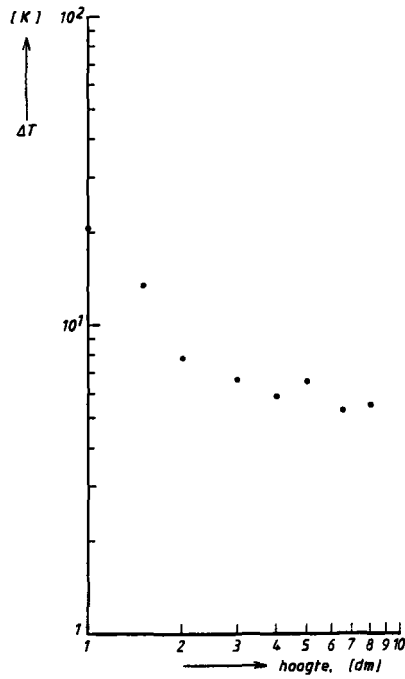


Fig. 2 Overtemperaturen gemeten bij een lasvermogen van 0,88 kW.

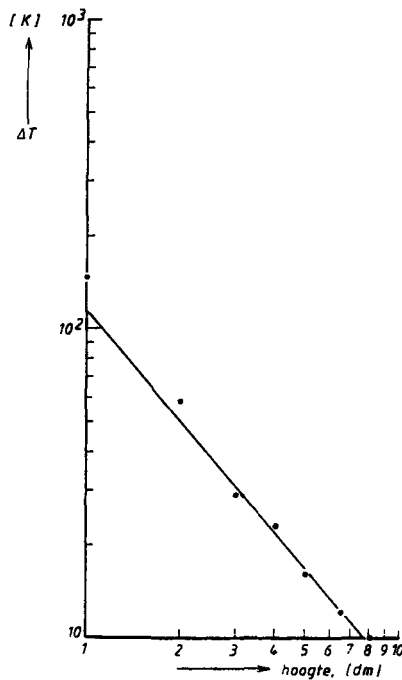


Fig. 3 Overtemperaturen gemeten bij een lasvermogen van 6,0 kW.

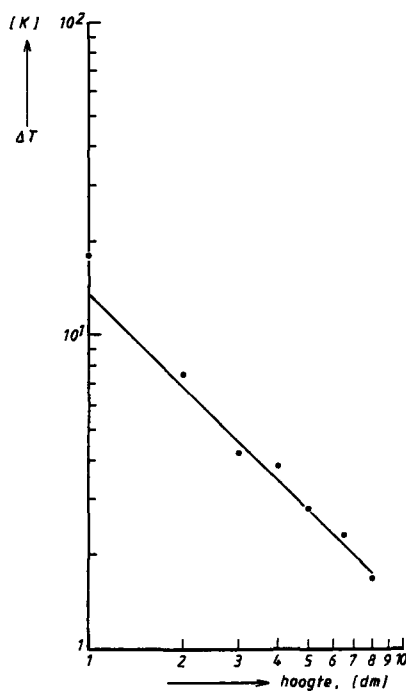


Fig. 4 Overtemperaturen gemeten bij een lasvermogen van 9,0 kW.

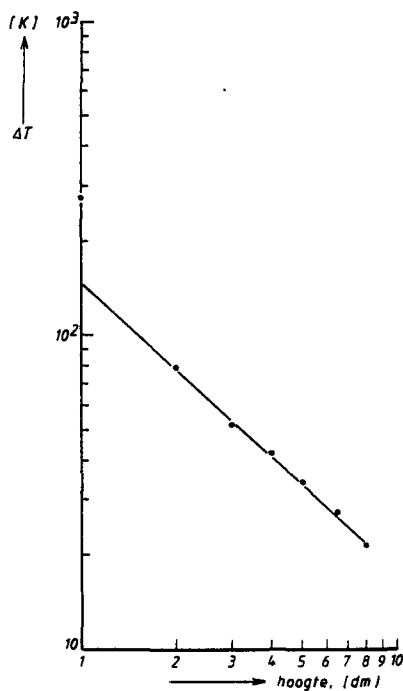


Fig. 5 Overtemperaturen gemeten bij een lasvermogen van 11,1 kW.

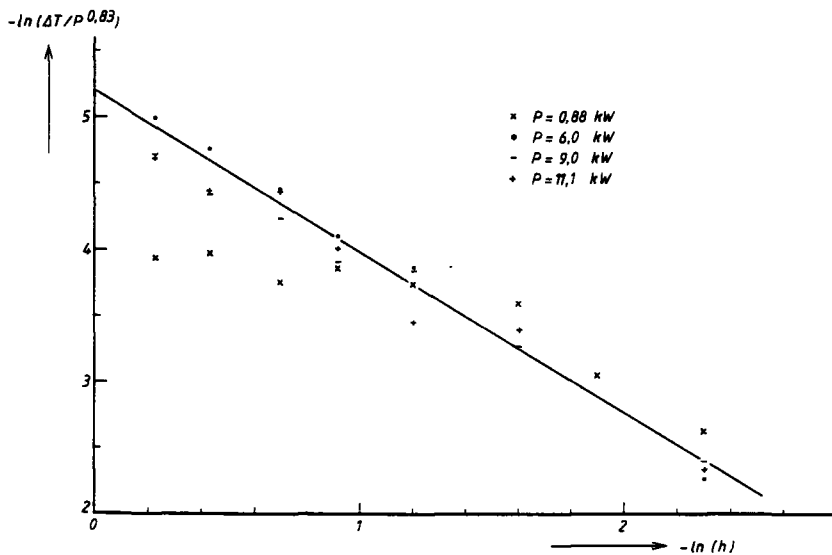


Fig. 6 Overtemperaturen gemeten bij verschillende lasvermogens.

Uit lineaire regressie vindt men hieruit voor de hogere lasvermogens de vergelijking

$$\ln(\Delta T/P^{0,83}) = -1,17 \ln h - 5,11$$

Hieruit vindt men de volgende vergelijking voor de overtemperaturen in de as van de laspluim:

$$\Delta T = 6,05 \times 10^{-3} \times P^{0,83} \times h^{-1,17} \quad (4)$$

(P in W, h in m)

Deze vergelijking is dus geldig voor lasvermogens van 6-11 kW en hoogten boven de laspluim van 0,1-0,8 m. Enige extrapolatie buiten deze waarden van P en h is waarschijnlijk wel geoorloofd. Bij een lasvermogen van 0,88 kW vindt men echter, zoals uit figuur 6 blijkt, geen betrouwbare waarden voor ΔT .

Uit de theorie van de ronde vrije straal volgt voor de afname van de overtemperatuur in de as van de straal (buiten de kern) met de afgelegde weg x :

$$\Delta T \sim x^{-1}$$

In ons geval is de afgelegde weg, indien men de laspluim als een niet-isotherme straal beschouwt, de hoogte h . Uit vergelijking (4) blijkt dat de afname van ΔT in de as van de laspluim ongeveer hetzelfde is als bij de straal. De laspluim kan dus, afgezien van de onmiddellijke omgeving van de lasboog met zeer hoge temperaturen die wellicht door de stralingsinvloed zijn overschat, met goede benadering als niet-isotherme vrije straal worden beschouwd.

4. NADERE BESCHOUWING VAN DE GEMETEN STOFCONCENTRATIES

In figuur 7 zijn bij de vier lasvermogens de in de as van de laspluim gemeten stofconcentraties uitgezet tegen de hoogte. Bij een lasvermogen van 11,1 kW en 6,0 kW vindt men een analoog verband tussen de concentratie en de hoogte als bij de overtemperatuur. Bij een lasvermogen van 0,88 kW vertonen de concentraties wel, maar de overtemperaturen geen goed verband met de hoogte. Het verband voor de concentraties lijkt veel op de verbanden bij 11,1 en 6,0 kW. Bij een lasvermogen van 9,0 kW wordt dit verband echter niet gevonden. Deze proef wijkt af doordat een gevulde draad is gelast in plaats van een massieve draad. Het is echter niet duidelijk hoe dit tot een afwijkende stofverspreiding kan leiden, terwijl het temperatuur- en snelheidsbeeld niet duidelijk afwijken.

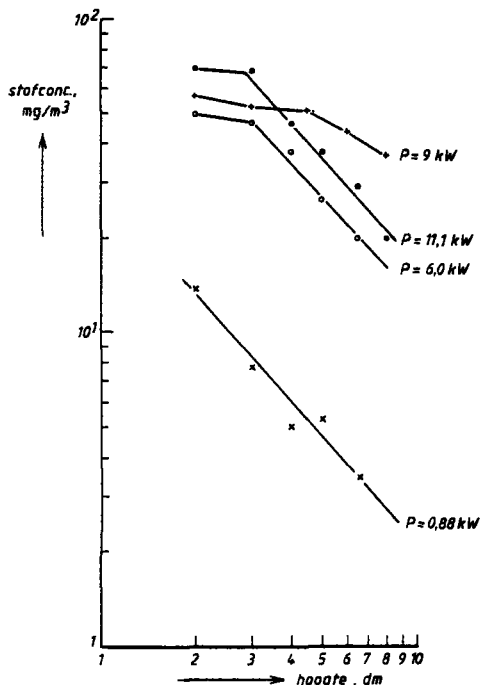


Fig. 7 Stofconcentraties gemeten bij verschillende lasvermogen.

Men vindt voor de concentraties in de as van de pluim bij 0,88 kW, 6,0 kW en 11,1 kW de volgende vergelijkingen:

$$P = 0,88 \text{ kW} : C = 8,2 \times \left(\frac{h}{0,3}\right)^{-1,14} \quad (0,2 \leq h \leq 0,8 \text{ m}) \quad (5)$$

$$P = 6,0 \text{ kW} : C = 47 \times \left(\frac{h}{0,3}\right)^{-1,10} \quad (0,3 \leq h \leq 0,65 \text{ m}) \quad (6)$$

$$P = 11,1 \text{ kW} : C = 63 \times \left(\frac{h}{0,3}\right)^{-1,12} \quad (0,3 \leq h \leq 0,8 \text{ m}) \quad (7)$$

De concentraties zijn evenals de overtemperaturen ongeveer evenredig met $P^{0,83}$. Voor de concentraties vindt men met behulp van lineaire regressie dan de volgende vergelijking uit de meetresultaten bij lasvermogens van 0,88 kW, 6,0 kW en 11,1 kW:

$$C = 7,92 \times 10^{-3} \times P^{0,83} \times h^{-1,12} \quad (8)$$

(P in W, C in mg/m³)

Uit het verband tussen de concentratie en de hoogte volgt eveneens dat de laspluim met goede benadering als een ronde vrije straal kan worden beschouwd. Tevens kan men hierbij concluderen dat de stofdeeltjes zich als gas gedragen.

Omdat vergelijking (8) gebaseerd is op de concentraties gemeten bij lasvermogens van 0,88 kW, 6,0 kW en 11,1 kW maar de concentraties, gemeten bij een lasvermogen van 9 kW, hier niet aan voldoen is voorzichtigheid bij het gebruik van vergelijking (8) geboden.

5. NADERE BESCHOUWING VAN DE GEMETEN LUCHTSNELHEDEN

5.1 SNELHEDEN OP DE AS VAN DE LASROOKPLUIM

Door Shepelev [5] is een methode ontwikkeld voor het berekenen van luchtsnelheden boven een warme horizontale plaat. Er is hierbij uitsluitend sprake van vrije convectie, de omgevingslucht is in rust en de temperatuur van de plaat wordt in ieder punt hetzelfde verondersteld.

Shepelev gaat uit van rechthoekige platen. Voor de snelheden in de as van de opstijgende luchtstroom, dit is dus de maximale snelheid bij een gegeven hoogte boven de plaat, geeft hij de volgende vergelijking (voor verklaring van de symbolen zie Hoofdstuk 10):

$$v = v_0 K \quad (9)$$

$$\text{met } v_0 = \left[\frac{(1+\sigma)g Q_{\text{conv}}}{4c \sigma c_p \rho T_0 \sqrt{A}} \right]^{1/3}$$

$$K = [\sqrt{(ch/b)} \operatorname{erf}(\sqrt{(3b/2ch)}) \sqrt{(ch/l)} \operatorname{erf}(\sqrt{(3l/2ch)})]^{1/3}$$

Hierin is $\operatorname{erf}(x)$ de foutenintegraal, gedefiniëerd als

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-n^2} dn$$

Deze integraal is zodanig genormeerd dat $\operatorname{erf}(0) = 0$ en $\operatorname{erf}(\infty) = 1$. Van deze integraal bestaan tabellen zodat bij gegeven waarden van c , h , b en l de waarde K kan worden bepaald.

Bij de berekening van de snelheden boven de lasboog in de as van de laspluim wordt uitgegaan van een vierkante plaat zodat $l=b$ en $A=4b^2$ waardoor vergelijking (9) vereenvoudigd kan worden. In vergelijking (9) heeft σ de waarde 0,5 en c is een constante die door zo goed mogelijke aanpassing aan de gemeten snelheden kan worden berekend.

De berekeningsprocedure is nu als volgt: v_0 wordt berekend met behulp van de vergelijking:

$$v_0 (K_1 + K_2 + K_3 + \dots) = v_1 + v_2 + v_3 + \dots \quad (10)$$

Hierin zijn K_1 , K_2 , enz. de K -waarden berekend voor de hoogten h_1 , h_2 , enz. en v_1 , v_2 , enz. de op deze hoogten gemeten snelheden. Hierbij wordt het verloop van K als functie van ch/b en de ligging van K_{\max} ($K_{\max} = 0,95$) voor de vierkante plaat zo goed mogelijk geschat uit het verloop van de gemeten snelheden. Hierbij vindt men $K_{\max} = 0,95$ bij $ch_{\max}/b = 1,3$. Uit het verloop van de gemeten snelheden blijkt dat $h_{\max} \cong 0,4$ m bij de hogere lasvermogens en $h_{\max} \cong 0,5$ m bij $P = 880$ W.

Hierdoor worden de K -waarden bepaald voor de verschillende hoogten waarop is gemeten. De plaattemperatuur kan uit v_o worden berekend indien men gebruik maakt van de door Baturin [6] gegeven formule voor de warmteoverdracht van horizontale platen. Deze formule is:

$$Nu = 0,135 (Gr.Pr)^{1/3} \quad (11)$$

Hieruit volgt voor α :

$$\alpha = 0,135 \lambda \left(\frac{g \cdot \Delta T \cdot Pr}{v_o^2 T_o} \right)^{1/3}$$

Voor het temperatuurverschil ΔT tussen de plaat en de omgeving vindt men dan:

$$\Delta T = \left(\frac{4 \times 1,3 \times \rho \cdot c \cdot T_o}{0,81 \lambda g h_{\max}} \right)^{1/3} \left(\frac{v_o^2 T_o}{g Pr} \right)^{1/4} v_o^{g/4} \quad (12)$$

De fysische eigenschappen (ρ , c , λ , v en Pr) zijn echter temperatuurafhankelijk. Een redelijk goede benadering krijgt men door deze fysische eigenschappen te kiezen bij een temperatuur T_g die het gemiddelde is van de omgevingstemperatuur T_o en de plaattemperatuur, dus $T_g = T_o + 0,5 \Delta T$.

De berekening verloopt nu als volgt: ΔT wordt berekend met de fysische eigenschappen behorend bij omgevingstemperatuur, dit is meestal ongeveer 20°C. Uit T_o en ΔT wordt T_g berekend waarna bij deze temperatuur de fysische eigenschappen opnieuw worden gekozen en ΔT opnieuw wordt berekend. Zonodig worden de fysische eigenschappen opnieuw gekozen en ΔT opnieuw berekend. Na enig proberen lukt het wel om de berekende waarde van T_g in overeenstemming te krijgen met de aangenomen waarde van T_g waarbij de fysische eigenschappen zijn gekozen. Een kleine afwijking die geen noemenswaardige invloed

op de waarde van de fysische eigenschappen heeft, is aanvaardbaar. De afmeting b van de denkbeeldige vierkante plaat kan berekend worden indien het lasvermogen bekend is. Er geldt immers in de stationaire toestand

$$Q = Q_{\text{conv}} + Q_{\text{str}} \quad (13)$$

Hierin is de totaal afgegeven warmte Q gelijk aan het lasvermogen.

Er geldt:

$$Q_{\text{conv}} = 4 b^2 \alpha \Delta T \quad (14)$$

$$Q_{\text{str}} = 4 b^2 \times 5,77 \times 10^{-8} \times \varepsilon((T_0 + \Delta T)^4 - T_0^4) \quad (15)$$

Men krijgt dan:

$$b = 0,5 \sqrt{Q \left[0,135 \lambda \left(\frac{g Pr}{v^2 T_0} \right)^{1/3} \Delta T^{4/3} + 5,77 \cdot 10^{-8} \cdot \varepsilon((T_0 + \Delta T)^4 - T_0^4) \right]^{-1/2}} \quad (16)$$

Met behulp van vergelijking (10) t/m (16) zijn bij de vier lasvermogens v_0 , ΔT , b , Q_{conv} en Q_{str} berekend. De resultaten van deze berekening staan vermeld in Tabel 1. De voor simulatie van de lasrookpluim belangrijke temperatuurverhoging en breedte van de plaat zijn tevens in figuur 8 weergegeven.

Tabel 1 Berekende waarden van diverse karakteristieke waarden bij vier lasvermogens.

Lasvermogen [W]	v_0 [m/s]	ΔT [K]	b [m]	Q_{conv} [W]	Q_{str} [W]	h_{max} [m]
880	0,294	163	0,261	364	516	0,5
6000	0,536	587	0,200	1035	4965	0,4
9000	0,610	734	0,184	1128	7872	0,4
11100	0,640	815	0,178	1202	9898	0,4

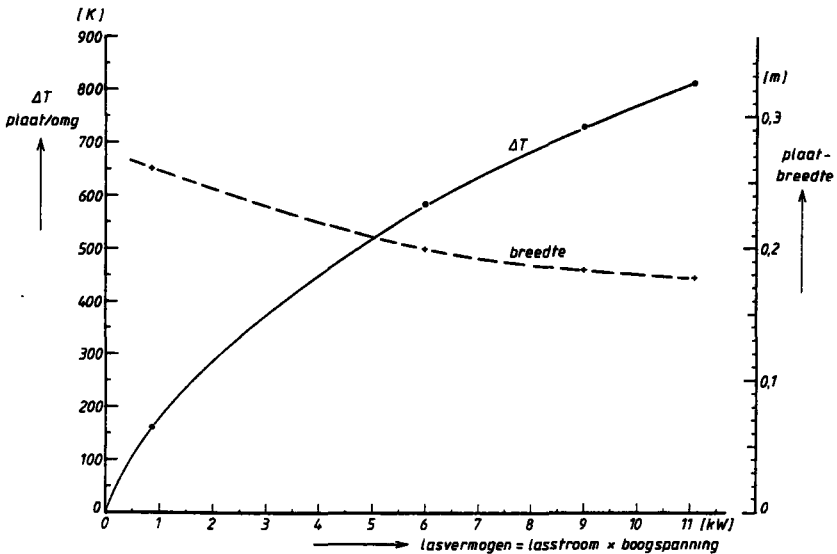


Fig. 8 Benodigde breedte en temperatuurverhoging van een verwarmde vierkante plaat waarmee de lasrookpluim wordt gesimuleerd, afhankelijk van het lasvermogen.

De gemeten snelheden in de as van de laspluim en de met vergelijking (9) en (10) berekende snelheden staan in Tabel 2 vermeld.

Tabel 2 Berekende en gemeten snelheden in de as van de laspluim (in m/s).

h [m]	P = 880 W		P = 6000 W		P = 9000 W		P = 11 100 W	
	v_{ber}	v_{gem}	v_{ber}	v_{gem}	v_{ber}	v_{gem}	v_{ber}	v_{gem}
0,1	0,18	0,20	-	-	-	-	-	-
0,15	0,21	0,25	-	-	-	-	-	-
0,2	0,23	0,22	0,46	0,44	0,52	0,57	0,55	0,57
0,3	0,26	0,24	0,50	0,48	0,57	0,46	0,60	0,60
0,4	0,28	0,22	0,51	0,51	0,58	0,65	0,61	0,57
0,5	0,28	0,30	0,50	0,47	0,57	0,55	0,60	0,57
0,65	0,28	0,28	0,47	0,47	0,53	0,56	0,56	0,61
0,8	0,26	0,27	0,44	0,52	0,51	0,50	0,53	0,53

Bij de hogere lasvermogens zijn de gemeten snelheden op 0,1 m en 0,15 m hoogte niet gegeven omdat deze metingen onbetrouwbaar zijn door de sterke temperatuurgradiënten en de zeer sterke straling ter plaatse. Hierdoor wordt de anemometer, waarmee de snelheid wordt gemeten, beïnvloed.

In figuur 9 t/m 12 zijn de gemeten berekende snelheden grafisch weergegeven. Uit deze figuren blijkt dat het verloop van de gemeten snelheden met de hoogte onregelmatiger is dan het verloop van de berekende snelheden met de hoogte. Gemiddeld stemt het verloop redelijk overeen.

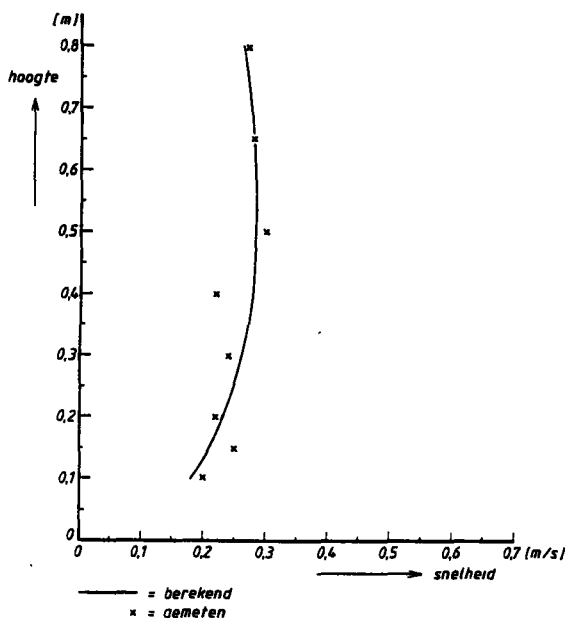


Fig. 9 Snelheden in de as van de lasrookpluim bij een lasvermogen van 880 W.

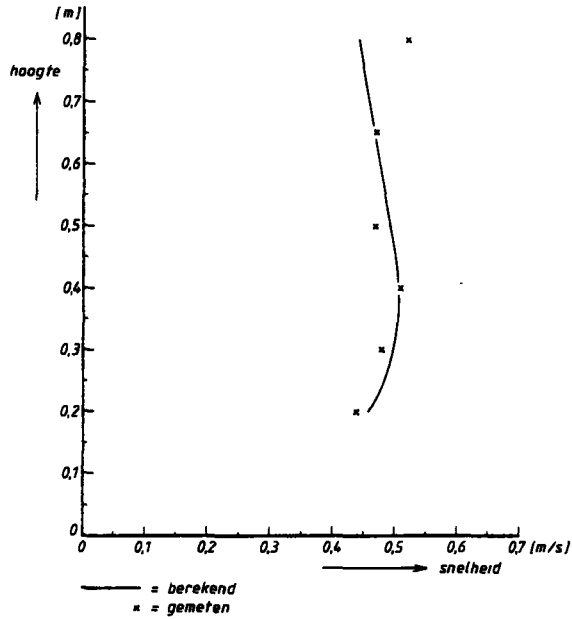


Fig. 10 Snelheden in de as van de lasrookpluim bij een lasvermogen van 6000 W.

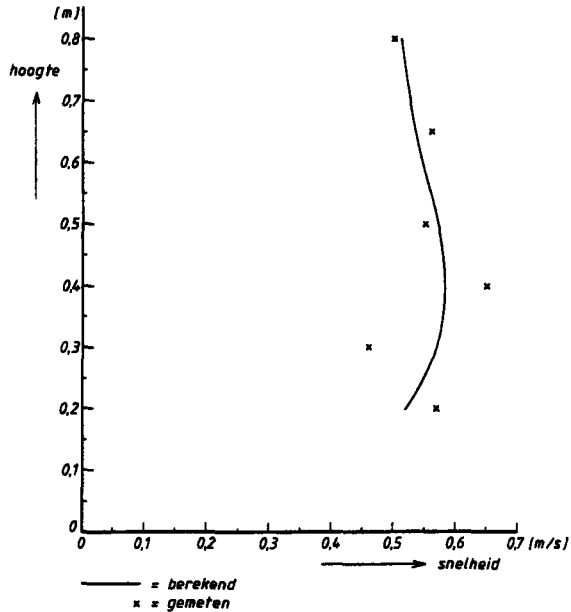


Fig. 11 Snelheden in de as van de lasrookpluim bij een lasvermogen van 9000 W.

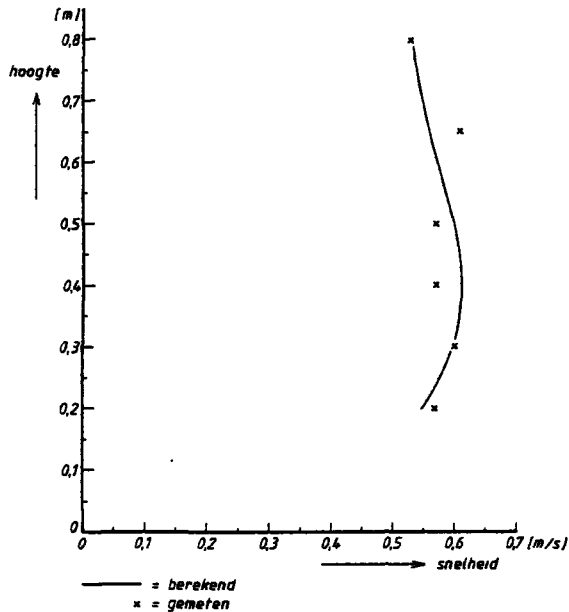


Fig. 12 Snelheden in de as van de lasrookpluim bij een lasvermogen van 11100 W.

Wellicht speelt de meetnauwkeurigheid een beslissende rol bij de gevonden afwijkingen. Om een indruk te krijgen van de betrouwbaarheid van de berekeningsmethode, die immers een benadering van de werkelijkheid inhoudt, is bij ieder lasvermogen het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald van de verschillen tussen de gemeten en berekende snelheden. Tabel 3 geeft de resultaten.

Tabel 3 Gemiddelde waarden en standaardafwijkingen van de verschillen tussen de gemeten en berekende snelheden.

lasvermogen	$\bar{\Delta v}$	$\sigma \Delta v$	$\frac{\sigma \Delta v}{v_0}$
[W]	[m/s]	[m/s]	[%]
880	0	0,031	10,5
6000	-0,008	0,039	7,0
9000	-0,005	0,058	9,5
11100	0	0,033	5,2

Uit de lage waarden van $\overline{\Delta v}$ en ook uit figuur 9 t/m 12 blijkt dat h_{\max} wel ongeveer op de juiste hoogte (0,4 m of 0,5 m) is gekozen. De waarden van $\sigma\Delta v$ zijn een maat voor de spreiding van de gemeten snelheden om de berekende kromme en dus voor de betrouwbaarheid van de berekening. De waarde $\sigma\Delta v/v_0$ is een maat voor de relatieve fout. Rekening houdend met de meetnauwkeurigheid door de instabiliteit van de lasrookpluim lijken de in Tabel 4 genoemde relatieve fouten acceptabel.

In figuur 13 tenslotte is v_0 bij verschillende lasvermogens uitgezet. De gestippelde lijn zou als hulpmiddel kunnen dienen bij het schatten van v_0 bij lasvermogens tussen 800 W en 11.100 W waarbij enige extrapolatie van dit gebied wel geoorloofd lijkt.

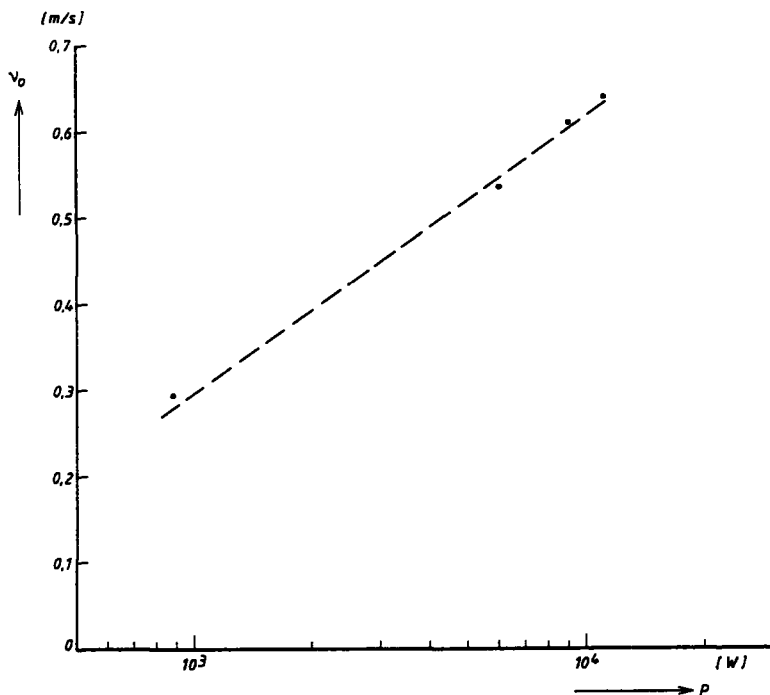


Fig. 13 Waarden van v_0 bij verschillende lasvermogens.

Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor betrekkelijk geringe hoogten boven de lasboog, namelijk 0,2-0,8 m. Hierbij is gebruik gemaakt van vergelijking (9) voor de berekening van K. Er kan worden bewezen dat voor grote hoogten voor een vierkante plaat geldt:

$$K \cong 1,137 \left(\frac{h_{\max}}{h} \right)^{1/3} \quad (17)$$

Deze benadering is binnen 1% nauwkeurig als $h \geq 7,7 h_{\max}$. Als $h_{\max} = 0,4$ m is dit dus het geval als $h \cong 3,1$ m.

5.2 SNELHEDEN BUITEN DE AS VAN DE LASROOKPLUIM

Het is bekend dat bij een straal de snelheid in een richting loodrecht op de stromingsrichting afneemt van zijn maximale snelheid tot 0 volgens een Gauss-kromme. In de laspluim is dit niet het geval zoals uit de metingen blijkt (zie figuur 14). Om dit nog te verduidelijken is van een enkel snelheidsprofiel een weergave op waarschijnlijkheidspapier gemaakt (figuur 15). Indien van een Gauss-kromme sprake is moet een lineair verband zichtbaar worden, hetgeen niet het geval blijkt te zijn. De snelheidsverdeling om de as is op iedere hoogte asymmetrisch; aan een zijde neemt de snelheid veel sneller met de afstand af dan aan de andere zijde.

De oorzaak hiervan ligt in het scheefdrukken van de pluim door de schuine stand van de toorts in combinatie met de uitgeblazen schermgasstroom. Ook het temperatuurbeeld vertoont hierdoor een asymmetrie. Doordat de pluim vooral in het begin niet loodrecht opstijgt, blijven de temperaturen aan de kant van de pluimas die loodrecht boven het smeltbad ligt relatief hoger dan aan de andere kant. Dit wordt veroorzaakt door het volharden van de warme lucht in zijn loodrecht opstijgende beweging. Doordat de temperaturen aan deze kant van de pluimas relatief hoger blijven nemen ook de snelheden hier langzamer af. Dit verklaart waarom de snelheidsafname dwars op de pluimas niet volgens een Gauss-kromme verloopt. Waarschijnlijk is dit op grotere (niet gemeten) hoogten wel het geval.

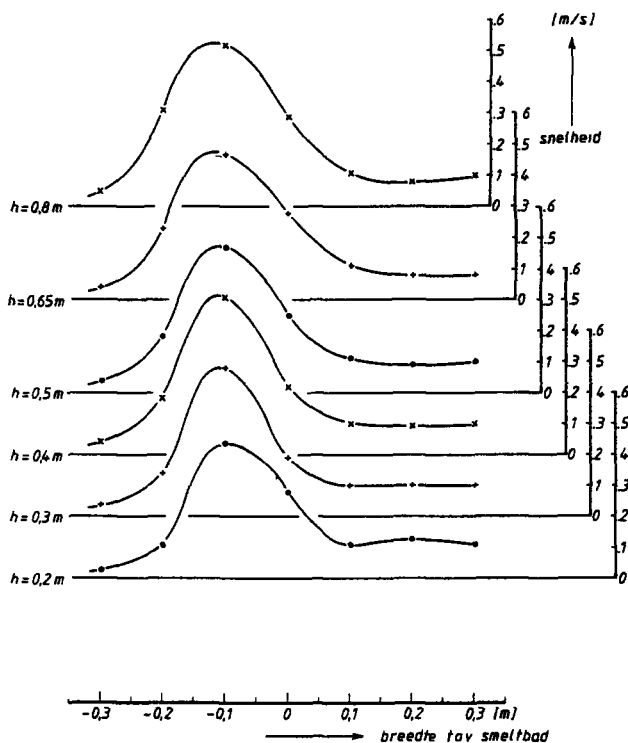


Fig. 14 Snelheidsverdelingen op verschillende hoogten bij de referentieproef (proef 2).

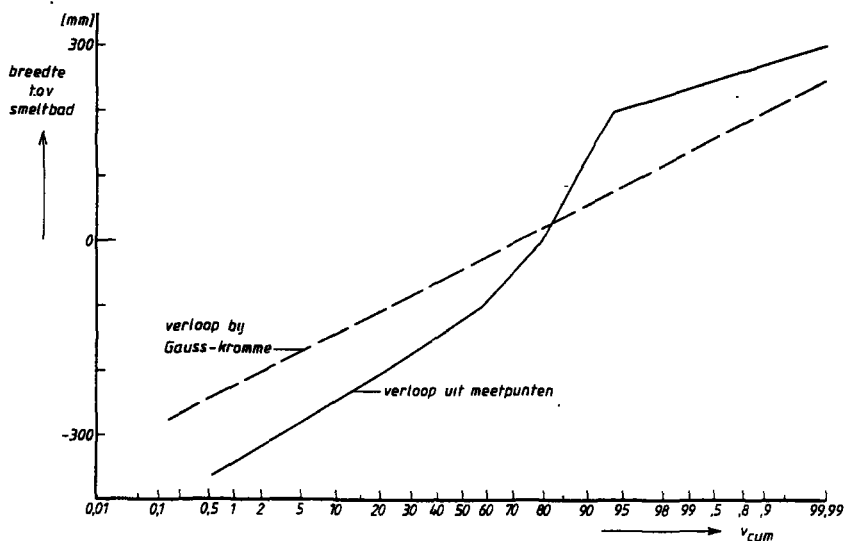


Fig. 15 Waarschijnlijkheidsverdeling van een karakteristiek snelheidsprofiel (referentieproef, $h = 65\text{ cm}$).

6. UITVOERING VAN DE SIMULATIEMETINGEN

6.1 OPSTELLING MET EEN VERWARMEDE VLAKKE PLAAT

Uit het voorgaande is gebleken dat de stroming in de lasrookpluim redelijk te beschrijven is als de stroming boven een verwarmde vlakke plaat. De benodigde plaatafmetingen en plaattemperatuur, voor simulatie van de lasrookpluim bij een bepaald lasvermogen, zijn in figuur 8 gegeven.

Om dit te benaderen zijn experimenten uitgevoerd met een grote en een kleine kookplaat. Beide kookplaten zijn rond. De grote kookplaat heeft een diameter van 22 cm en een opgenomen vermogen van 1200 W bij 220 V. De kleine kookplaat heeft een diameter van 18 cm en een opgenomen vermogen van 625 W bij 220 V. Met deze kookplaat is slechts één proef bij 220 V uitgevoerd. Bij de grote kookplaat is met behulp van een variac de spanning geregeld om het vermogen te kunnen variëren. Behalve bij een spanning van 220 V zijn experimenten uitgevoerd bij een spanning van 160 V, 120 V, 100 V, 80 V en 50 V. Een aantal experimenten is herhaald met op de kookplaat, onder hoeken van 60 tot 90 graden, uitgeblazen luchtstromen 0,17; 0,83; 1,27 of 1,44 dm³/s, om de schermgasstroom en de turbulenties van het smeltbad na te bootsen. Ook zijn experimenten uitgevoerd waarbij de aanstroming van de plaat is beïnvloed en experimenten waarbij de warmteverdeling over de plaat is beïnvloed. Een overzicht van de in deze opstelling met de grote kookplaat uitgevoerde proeven geeft Tabel 4.

In eerste instantie betroffen de experimenten uitsluitend luchtsnelheids- en temperatuurmetingen in een verticale doorsnede door het hart van de opstijgende luchtpluim. Hierbij is de in [4] beschreven meetopstelling toegepast, die ook voor de metingen van de lasrookpluim is gebruikt. Later zijn enkele aanvullende concentratiemetingen uitgevoerd. Hiertoe is in de op de plaat geblazen luchtstroom een volumestroom tracergas van 11,0 cm³/s toegevoerd. In een verticale doorsnede door het hart van de pluim werd de concentratieverdeling van het tracergas bepaald. Hiervoor zijn de concentraties van het tracergas op een aantal punten in de verticale doorsnede gemeten met behulp van een gas-analysator volgens het principe van de infraroodabsorptie (Miran). Doordat een gas een piek vertoont in absorptie van infraroodstraling bij een bepaalde, gasspecifieke golflengte kan uit de mate van absorptie de concentratie worden afgeleid. De meter dient hiervoor vooraf te zijn geijkt.

Tabel 4 Overzicht van de met de grote kookplaat uitgevoerde proeven (proef 1 is uitgevoerd met de kleine kookplaat op 220 V, zonder aanvullende voorzieningen; zie bijlage A-2 en A-3).

Proef- nr.	stook- spanning [V]	aanvullende voorzieningen	zie voor gemeten temp. snelh. conc.	
2	220	geen	A-4	A-5
3	160	"	A-6	A-7
4	120	"	A-8	A-9
5	100	"	A-10	A-11
6	80	"	A-12	A-13
7	50	"	A-14	A-15
8	220	aanblaas ϕ 20 mm; 60°; 0,17 dm ³ /s op hart plaat	A-16	A-17
9	160	aanblaas ϕ 20 mm; 60°; 0,17 dm ³ /s op hart plaat	A-18	A-19
10	100	aanblaas ϕ 20 mm; 60°; 0,17 dm ³ /s op hart plaat	A-20	A-21
11	80	aanblaas ϕ 20 mm; 60°; 0,17 dm ³ /s op hart plaat	A-22	A-23
12	120	aanblaas ϕ 20 mm; 90°; 0,83 dm ³ /s op hart plaat	A-24	A-25
13	120	aanblaas ϕ 20 mm; 90°; 1,44 dm ³ /s op hart plaat	A-26	A-27
14	160	aanblaas ϕ 20 mm; 70°; 0,83 dm ³ /s; 6 cm uit hart		A-28
15	160	aanblaas ϕ 20 mm; 70°; 1,44 dm ³ /s; 6 cm uit hart		A-29
16	160	aanblaas ϕ 20 mm; 90°; 1,44 dm ³ /s op hart plaat	A-30	A-31 A-32
17	160	aanblaas door ringleiding 1,44 dm ³ /s boven rand		A-33
18	120	aanblaas ϕ 20 mm; 90°; 1,27 dm ³ /s op hart plaat	A-34	A-35 A-36
19	50	aanblaas ϕ 20 mm; 90°; 0,83 dm ³ /s op hart plaat	A-37	A-38 A-39
20	160	aanstroomstuk over kookplaat met gat ϕ 190 mm	A-40	A-41
21	160	aanstroomstuk over kookplaat met gat ϕ 140 mm	A-42	A-43
22	160	aanstroomstuk over kookplaat met gat ϕ 70 mm	A-44	A-45
23	160	aanstroomstuk om kookplaat vierkant 600 mm	A-46	A-47
vanuit het midden oplopende isolatie R=0 tot 0,5 m ² k/W				
24	160	isolatieplaat ϕ 220 mm, geen randisolatie	A-48	A-49
25	220	isolatieplaat ϕ 220 mm, geen randisolatie	A-50	A-51
26	220	isolatieplaat ϕ 350 mm, geen randisolatie	A-52	A-53
27	220	isolatieplaat ϕ 300 mm, met randisolatie	A-54	A-55
28	220	isolatieplaat ϕ 260 mm, geen randisolatie	A-56	A-57
R=0 tot 1,0 m ² k/W				
29	220	isolatieplaat ϕ 260 mm, geen randisolatie	A-58	A-59

6.2 OPSTELLING MET EEN GEFORCEERDE WARME-LUCHTSTRAAL

Naast de experimenten met de verwarmde plaat zijn ook proeven uitgevoerd met een geforceerde warme-luchtstraal. Er is gekeken of hiermee nog betere resultaten konden worden bereikt door zowel de grootte van de luchtstroom als het toegevoerde vermogen te regelen. Hiertoe is een opstelling gebruikt bestaande uit een koker waarin verticaal drie elektrische verwarmingspiralen zijn opgehangen. De koker loopt naar boven taps toe tot een opening met een diameter van 10 cm. Deze opening mondt uit in het midden van een tafelblad. Door de spanning over de drie parallel geplaatste verwarmingspiralen van 0 tot 260 V te regelen kan het afgegeven vermogen tussen 0 en 2000 W worden ingesteld. De lucht rond de spiralen wordt verwarmd en stijgt op om via de doorlaatopening in het tafelblad te ontwijken. Behalve door de instelling van het verwarmingsvermogen kan door gazen in de doorlaatopening en een diafragma aan de onderzijde van de koker (toestroomopening) het snelheids- en temperatuurbeeld van de warme-luchtstraal boven de tafel worden beïnvloed. Later is het snelheidsbeeld nog beïnvloed door op de toestroomopening van de koker een ventilator aan te sluiten waarmee de luchtstroom door de koker kon worden ingesteld. In deze opstelling zijn snelheids- en temperatuurbeelden in een verticale doorsnede door het hart van de pluim gemeten bij verschillende combinaties van verwarmingsvermogen, gazen in de uitstroomopening, diafragmastanden van de aanstroomopening en geforceerde luchtstroom door de ventilator. Ook de invloed van het aanblazen van de straal onder een hoek (simulatie van de schermgasstroom) is onderzocht. Tabel 5 geeft een overzicht van de met deze opstelling uitgevoerde proeven.

Tabel 5 Overzicht van de uitgevoerde proeven in de opstelling met een ge-forceerde warme-luchtstraal.

Proef- nr.	stook- spanning [V]	aanvullende voorzieningen	zie voor gemeten temp. snelh.	
30	150	geen	A-60	A-61
31	200	"	A-62	A-63
32	78	aanzuigopening ϕ 80 mm i.p.v. ϕ 200 mm	A-64	A-65
33	120	" " " "	A-66	A-67
34	156	" " " "	A-68	A-69
35	145	gazen + blindplaat ϕ 60 mm in uitblaas	A-70	A-71
36	0	sinterplaat "40" in uitblaas; ventilator maximaal		A-72
37	120	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 6 dm ³ /s	A-73	A-74
38	170	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 2 dm ³ /s	A-75	A-76
39	120	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 2 dm ³ /s	A-77	A-78
40	100	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 2 dm ³ /s	A-79	A-80
41	120	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 2 dm ³ /s; zij-aanblaas 0,17 dm ³ /s	A-81	A-82
42	120	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 2 dm ³ /s; zij-aanblaas 0,25 dm ³ /s	A-83	A-84
43	170	staalwolfilter + fijn gaas in uitblaas; ventilator 3,4 dm ³ /s; zij-aanblaas 0,33 dm ³ /s	A-85	A-86

7. RESULTATEN VAN DE SIMULATIEMETINGEN

De meetresultaten zijn per doorsnede door de simulatiepluim via een printer afgedrukt. De temperaturen, snelheden en concentraties zijn elk apart in rasters afgedrukt. Met de hand zijn door deze rasters lijnen getekend van gelijke temperatuur, gelijke snelheid of gelijke concentratie. Aldus zijn de pluimvormen in verticale doorsneden door het hart van de simulatiepluim zichtbaar gemaakt. De weergave hiervan is in Bijlage A opgenomen.

8. BESPREKING VAN DE MEETRESULTATEN

8.1 EERSTE METINGEN MET EEN VERWARMEDE VLAKKE PLAAT

Ter oriëntatie zijn allereerst temperatuur- en snelheidsbeelden vastgelegd in een doorsnede boven de kleine kookplaat (625 W) en boven de grote kookplaat (1200 W). Hierbij bleek dat door de grote schakeldifferentie van de kleine kookplaat het temperatuur- en snelheidsbeeld in de tijd aanzienlijk veranderde. Omdat een overeenkomstig beeld stabiel met de grote kookplaat op een lager vermogen kan worden geproduceerd zijn de metingen verder uitsluitend met de grote kookplaat uitgevoerd.

Om de invloed van het lasvermogen te kunnen simuleren zijn beelden bij verschillende vermogens vastgelegd (proeven 2 t/m 7). Om het effect van de schermgasstroom te simuleren is op de kookplaat in een aantal aanvullende proeven op vergelijkbare wijze lucht geblazen (proeven 8 t/m 11).

Uit deze proeven blijkt dat temperatuurbeelden kunnen worden geproduceerd die goed overeenkomen met de gemeten beelden in de lasopstelling (zie figuur 16).

De snelheidsbeelden blijken redelijk overeen te komen (zie figuur 17). Het wel of niet simuleren van de schermgasstroom blijkt hierbij nauwelijks invloed te hebben. De snelheden in de simulatieopstelling blijken systematisch circa 30% te hoog te zijn ten opzichte van de snelheden in de lasopstelling indien de temperaturen vergelijkbaar zijn. Er is getracht dit te ondervangen door tegen de convectiestroom in op de plaat te blazen (proeven 12 en 13). Dit blijkt echter vooral de temperaturen te doen afnemen en in mindere mate de luchtsnelheden. Daarbij blijft het snelheidsbeeld iets te breed.

Het feit dat bij een las de warmte vooral is geconcentreerd rond het punt waar wordt gelast, terwijl bij de kookplaat de warmte meer gelijkmatig is verdeeld over een groter oppervlak, kan de reden zijn voor het bredere snelheidsbeeld in de simulatieopstelling.

Door de pluim in te snoeren kan het snelheidsbeeld worden versmald. Er is getracht dit effect te bereiken door de aanstroming van de kookplaat te beïnvloeden (proeven 20 t/m 23). Het blijkt echter dat weliswaar het snelheidsbeeld kan worden versmald, doch dat dit gepaard gaat met een niet gewenste toename van de snelheden.

Een andere manier om de, vanaf het punt waar wordt gelast, afnemende plaattemperatuur te simuleren is het isoleren van de kookplaat met een vanuit het hart oplopende isolatie (proeven 24 t/m 29). Dit blijkt tot redelijke simulaties te leiden, hoewel het snelheidsbeeld toch te breed blijft. Ten opzichte van de proeven met de kale kookplaat treedt geen verbetering op.

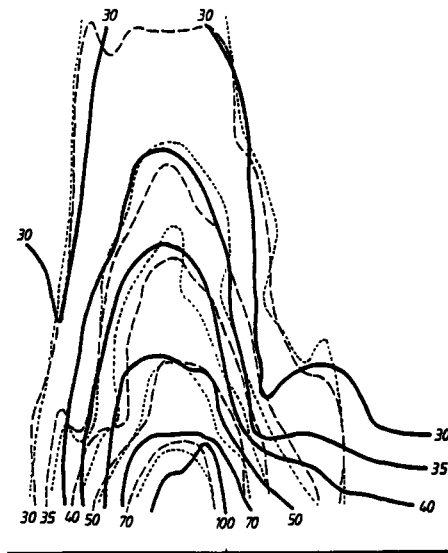


Fig. 16 Vergelijking van de temperatuurbeelden [$^{\circ}\text{C}$] boven de kookplaat met en zonder schermgassimulatie met het temperatuurbeeld boven een las.

- las (referentieproef)
- simulatie kookplaat 160 V met aanblaas $0,17 \text{ dm}^3/\text{s}$
- simulatie kookplaat 160 V zonder aanblaas

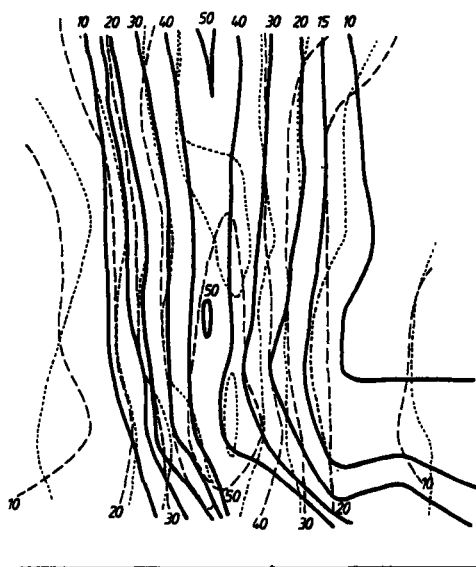


Fig. 17 Vergelijking van de snelheidsbeelden [cm/s] boven de kookplaat met en zonder schermgassimulatie met het temperatuurbeeld boven een las.

- las (referentieproef)
 - - - - - simulatie kookplaat 160 V met aanblaas 0,17 dm³/s
 simulatie kookplaat 160 V zonder aanblaas

8.2 METINGEN MET EEN GEFORCEERDE WARME-LUCHTSTRAAL

Als alternatief voor de kookplaat zijn een aantal proeven uitgevoerd met een geforceerde warme-luchtstraal. De gedachte hierachter is dat zowel het snelheidsbeeld als het temperatuurbeeld als hun onderlinge verhouding beter kunnen worden beheerst door via een beperkte opening (kleiner oppervlak dan de kookplaat) een beheersbare hoeveelheid warmte in een beheersbare luchtvolume-stroom vrij te laten komen.

In eerste instantie is het temperatuur- en snelheidsbeeld vastgelegd bij een niet-geforceerde luchtstroom (vrije convectie). De pluimbeelden blijken dan te smal te zijn met te hoge snelheden (proeven 30 en 31). Dit kan worden verbeterd door extra weerstand aan te brengen in de aanzuigopening (proeven 32 t/m 34) of in de uitblaasopening (proeven 35 en 36). Bij onvoldoende weerstand blijken bij een juist temperatuurbeeld de snelheden echter nog te

hoog te zijn. Bij het opvoeren van de weerstand smooit daarentegen de warme luchtstroom vrij abrupt. Daarom is een hulpventilator gebruikt om de volumestroom te ondersteunen. De hiermee uitgevoerde proeven zijn zowel zonder als met simulatie van de schermgasstroom uitgevoerd (respectievelijk proeven 37 t/m 40 en proeven 41 t/m 43). De hiermee bereikte resultaten zijn hoogstens vergelijkbaar, doch niet beter dan de resultaten met de kale kookplaat. Daarom is besloten met de eenvoudigere opstelling met de kookplaat verder te gaan.

8.3 LAATSTE METINGEN MET EEN VERWARMEDE VLAKKE PLAAT

Zoals uit de vergelijking tussen de simulatie met de kookplaat en de lasopstelling blijkt kunnen de temperatuurbeelden (figuur 16) goed worden gesimuleerd en de snelheidsbeelden (figuur 17) redelijk. Het blijkt dat de luchtsnelheden bij de lasboog iets lager zijn ofwel vanaf de as van de pluim naar buiten eerder afnemen dan bij de kookplaat. Dit is als volgt te verklaren.

Dicht bij de lasboog zal de turbulentie door de zeer hoge temperatuur sterk toenemen. Dit betekent dat in vergelijking (9) de turbulentiecoëfficiënt c groter wordt dan op grotere afstand van de lasboog waar de temperaturen minder hoog worden. Bij de kookplaat worden ook niet zulke hoge temperaturen bereikt als bij de lasboog. Door de verhoogde turbulentie (hogere c -waarden) bij de lasboog nemen de snelheden daar sneller af met toenemende afstand vanaf de lasboog dan bij de kookplaat. Dit betekent op een bepaalde hoogte ook een snellere afname van de snelheid vanaf de as naar buiten.

Om tot een betere simulatie van de laspluim met een kookplaat te komen is getracht de turbulentie vlak bij de kookplaat en daarmee de diffusie in horizontale richting kunstmatig te verhogen.

Dit is gedaan door een kleine hoeveelheid lucht omlaag gericht tegen de kookplaat te blazen. De lucht botst dan tegen de kookplaat en stroomt hier vandaan alzijdig weg (proeven 14 t/m 19).

Omdat de diffusie vooral tot uitdrukking komt in het concentratiebeeld zijn bij deze proeven allereerst deze beelden vastgelegd. Daarbij zijn de verontreinigingen nagebootst door in de luchtinblaas een instelbare stroom van

een willekeurig tracergas, in dit geval lachgas (N_2O) op te nemen. De vorm van zo'n concentratiebeeld kan worden vergeleken met de vorm van een verontreinigingsbeeld bij een vergelijkbare las. Figuur 18 toont een concentratiebeeld voor een loodrechte puntinblaas op het hart van de kookplaat, met een volumestroom die circa 4% is van de totale convectiestroom, vergeleken met het verontreinigingsbeeld van MAG-lassen met hoog vermogen (370 A, 30 V).

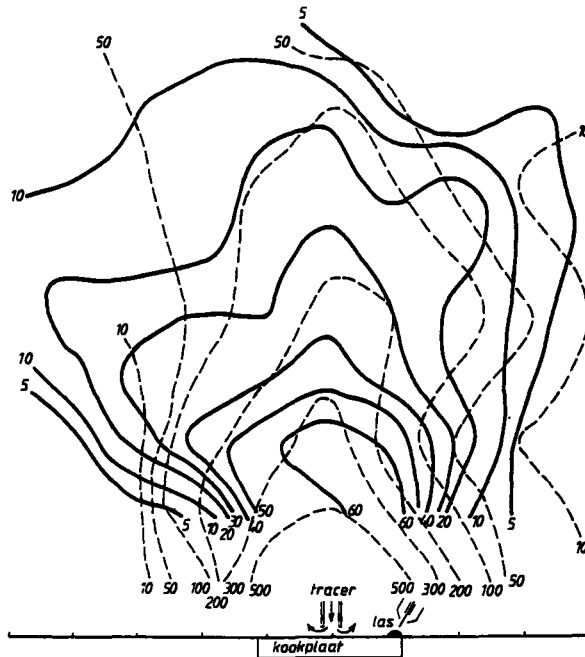


Fig. 18 Vergelijking van de N_2O -concentraties (ppm) boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en de stofconcentraties (mg/m^3) boven de las.
 ----- simulatie kookplaat 160 V met luchtinblaas $1,44 \text{ dm}^3/s$
 ————— las MAG 1,6 mm, 370 A, 30 V

Uit figuur 18 blijkt een redelijke overeenkomst. De simulatie met een loodrechte puntinblaas geeft betere resultaten dan met een ringinblaas (vergeleijk proef 16 en 17). Met een loodrechte puntinblaas op de kookplaat worden betere resultaten bereikt dan bij puntinblaas onder een hoek zoals bij de schermgasstroom gebeurt (vergeleijk proef 16 en 15).

Uiteraard wordt bij loodrechte inblaas de convectiepluim dan niet meer opzij geblazen zoals bij het lassen met schermgas.

In de simulatie-opstelling kan dit eenvoudig worden gecompenseerd door het hart van de kookplaat te verschuiven ten opzichte van het hart van de las, zoals in figuur 18.

Naast het concentratiebeeld (figuur 18) kunnen ook het temperatuur- en snelheidsbeeld van proef 16 met de beelden van de overeenkomstige lasproef worden vergeleken. Figuren 19 en 20 tonen dit. Uit figuren 19 en 20 blijkt dat het snelheidsbeeld redelijk goed overeenkomt, doch dat het temperatuurbeeld vooral kwantitatief sterk afwijkt. Dit laatste is wel begrijpelijk omdat de diffusie bewust is vergroot door het blazen van lucht op de kookplaat. Voor een goede simulatie-opstelling, waarin maatregelen bij het lassen moeten worden getest, is het temperatuurbeeld echter niet van belang. Het gaat er immers om het verspreiden van de verontreinigingen zo goed mogelijk na te bootsten, hetgeen betekent dat de concentratiebeelden in de simulatie-opstelling en in de lasopstelling overeen moeten komen. Omdat met de maatregelen (bijvoorbeeld plaatselijke afzuiging) getracht wordt het stromingsbeeld gunstig te beïnvloeden moeten ook de luchtsnelheden (te beïnvloeden drijvende kracht naast de diffusie) in de simulatie-opstelling goed overeenkomen met de luchtsnelheden in de lasopstelling, hetgeen volgens figuur 19 redelijk blijkt te kloppen.

De temperatuurbeelden waren oorspronkelijk alleen van belang voor het doen ontstaan van de juiste snelheids- en concentratiebeelden. Dit gebeurt nu echter niet meer uitsluitend thermisch, maar door een combinatie van thermische en mechanische (blazen) effecten.

Bij het beproeven van maatregelen in de simulatie-opstelling zal vooral de aandacht blijven uitgaan naar de hogere lasvermogens. Hierbij ontstaan immers de hoogste concentraties, zodat maatregelen hier het meest zijn gewenst. Dit is de reden dat bij de simulatie vooral aandacht is besteed aan de lasrookpluimen bij hoge lasvermogens. Voor de volledigheid zijn echter ook enkele proeven verricht om een middelgroot lasvermogen (proef 18) en een laag lasvermogen (proef 19) na te kunnen bootsen. De vergelijking van deze simulatieproeven met de overeenkomstige lasproeven is in figuur 21 t/m 23 voor het middelgrote lasvermogen en in de figuren 24 t/m 26 voor het lage lasvermogen weergegeven. Uit de figuren blijkt dat met name voor het lage lasvermogen in de simulatie-opstelling het concentratiebeeld nog te smal en het snelheidsbeeld te breed is. Door de op de kookplaat geblazen volumestroom te vergroten en eventueel het vermogen iets aan te passen kan deze simulatie worden verbeterd. Gezien het geringe belang om maatregelen bij lage lasvermogens te beproeven is dit niet verder uitgewerkt.

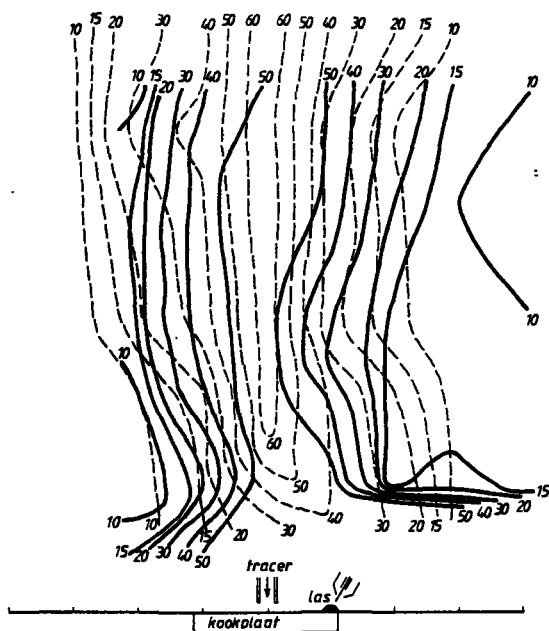


Fig. 19 Vergelijking van de luchtsnelheden [cm/s] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en boven de las.

----- simulatie kookplaat 160 V met luchtinblaas $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 1,6 mm, 370 A, 30 V

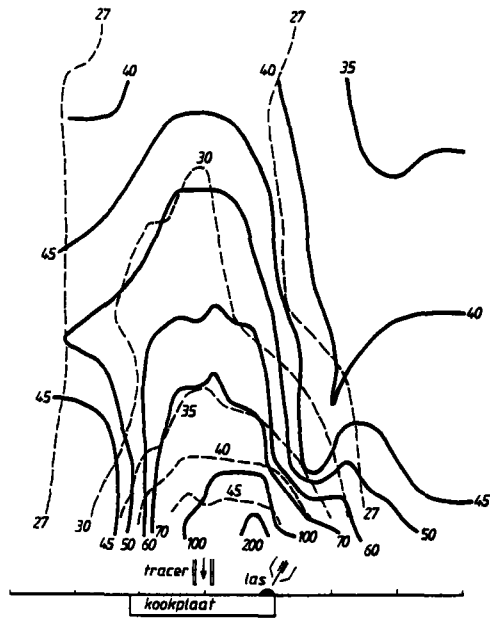


Fig. 20 Vergelijking van de temperaturen [$^{\circ}\text{C}$] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en boven de las.

----- simulatie kookplaat 160 V met luchtinblaas $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 1,6 mm, 370 A, 30 V

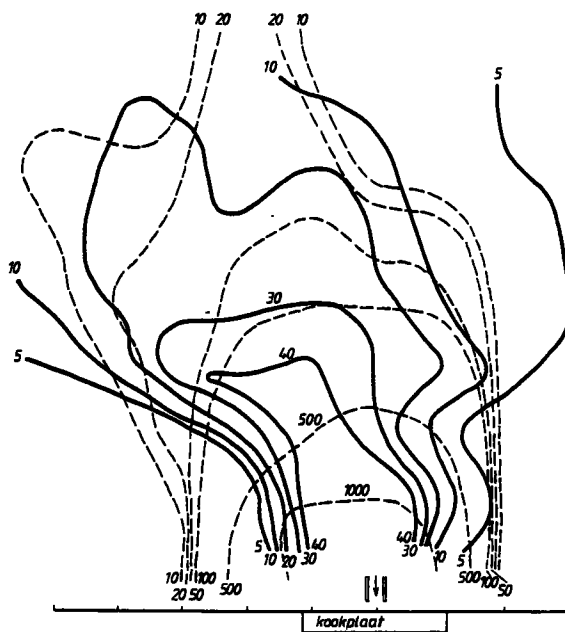


Fig. 21 Vergelijking van de N_2O -concentraties [ppm] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en de stofconcentraties [mg/m^3] boven de las.

----- simulatie kookplaat 120 V met luchtinblaas $1,27 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 1,2 mm, 200 A, 30 V

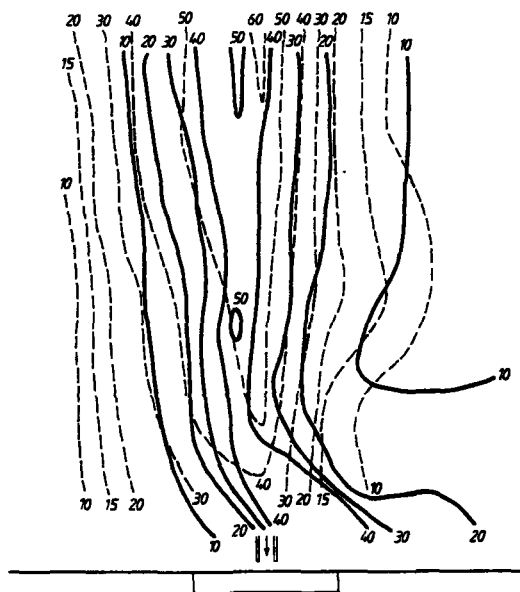


Fig. 22 Vergelijking van de luchtsnelheden [cm/s] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en boven de las.

----- simulatie kookplaat 120 V met luchtinblaas 1,27 dm³/s
 ————— las MAG 1,2 mm, 200 A, 30 V

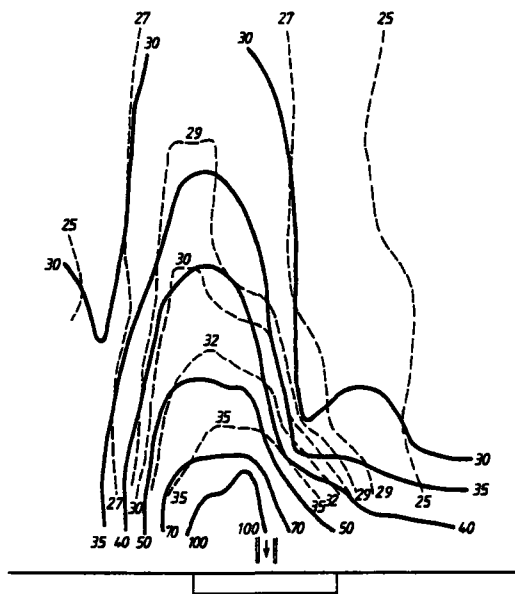


Fig. 23 Vergelijking van de temperaturen [$^{\circ}\text{C}$] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en boven de las.

----- simulatie kookplaat 120 V met luchtinblaas $1,27 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 1,2 mm, 200 A, 30 V

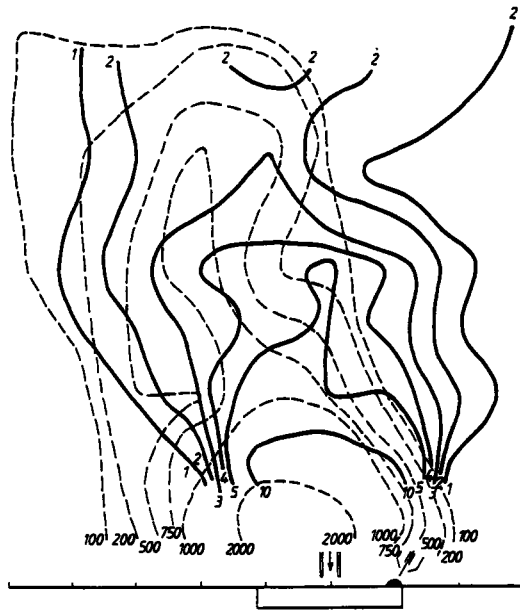


Fig. 24 Vergelijking van de N_2O -concentraties [ppm] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en de stofconcentraties [mg/m^3] boven de las.

----- simulatie kookplaat 50 V met luchtinblaas $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 0,8 mm, 55 A, 16 V

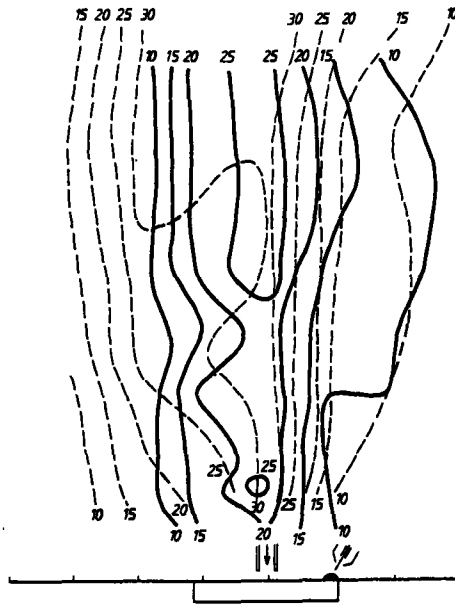


Fig. 25 Vergelijking van de luchtsnelheden [cm/s] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en boven de las.

----- simulatie kookplaat 50 V met luchtinblaas $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 0,8 mm, 55 A, 16 V

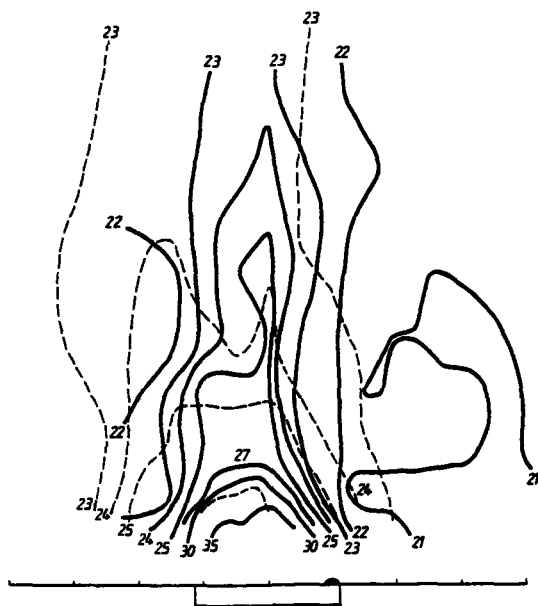


Fig. 26 Vergelijking van de temperaturen [$^{\circ}\text{C}$] boven de kookplaat met loodrechte aanblaas en boven de las.

----- simulatie kookplaat 50 V met luchtinblaas $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$
 ————— las MAG 0,8 mm, 55 A, 16 V

9. CONCLUSIES

De lasrookbeweging vertoont grote overeenkomsten met de convectiestroming boven een verwarmde plaat. Een fundamenteel verschil wordt echter veroorzaakt door de sterkere temperatuurvariatie met aanzienlijk hogere temperaturen bij de las ten opzichte van de verwarmde plaat. De hierdoor optredende hogere turbulentie-intensiteiten ter plaatse van de las resulteren in een relatief breder verontreinigingsbeeld en een relatief smaller en gematigder snelheidsbeeld in de lasrookpluim. Deze effecten zijn voor de concentraties in de ademzone en de beïnvloeding hiervoor door beschermende maatregelen essentieel. In de simulatie-opstelling met een verwarmde vlakke plaat kunnen deze effecten worden nagebootst door een luchtstroom loodrecht op het hart van de plaat te blazen.

De grootte van de luchtstroom in combinatie met de benodigde verwarmingsstroom naar de plaat is voor enkele lasvermogens vastgesteld. Met deze laboratoriumopstelling is het mogelijk lasrookpluimen voldoende natuurgetrouw na te bootsen om het effect van beschermende maatregelen te beproeven.

10. SYMBOLENLIJST

A	oppervlak van een warme plaat	[m ²]
b	halve zijde van een als rechthoek gedachte warme plaat (zie vergelijking (9))	[m]
C	concentratie	[mg/m ³]
c	constante, zie vergelijking (9)	[-]
c _p	soortelijke warmte	[J/(kg K)]
Gr	kengetal van Grashof ($Gr = \frac{g \Delta T b^3}{\nu^2 T}$)	[-]
g	versnelling van de zwaartekracht	[m/s ²]
h	hoogte boven de lasboog	[m]
h _{max}	hoogte boven de lasboog waarbij in de berekening de snelheid maximaal wordt verondersteld	[m]
K	zie vergelijking (9)	[-]
l	zie onder b (zie vergelijking (9))	[m]
Nu	kengetal van Nusselt ($Nu = \frac{\alpha b}{\lambda}$)	[-]
P	lasvermogen	[W]
Pr	kengetal van Prandtl ($Pr = \frac{\nu}{a}$)	[-]

Q	afgegeven warmte	[W]
T	temperatuur	[K] of [°C]
v	snelheid	[m/s]
v_0	referentiesnelheid (zie vergelijking (9))	[m/s]
x	afgelegde weg in de stromingsrichting	[m]
α	warmteoverdrachtscoëfficiënt	[W/(m ² K)]
ϵ	emissiecoëfficiënt bij straling	[-]
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht	[W/(m K)]
ν	kinematische viscositeit	[m ² /s]
ρ	soortelijke massa	[kg/m ³]
σ	parameter (zie vergelijking (9))	[-]

indices

conv convectief

g gemiddelde

gem gemeten

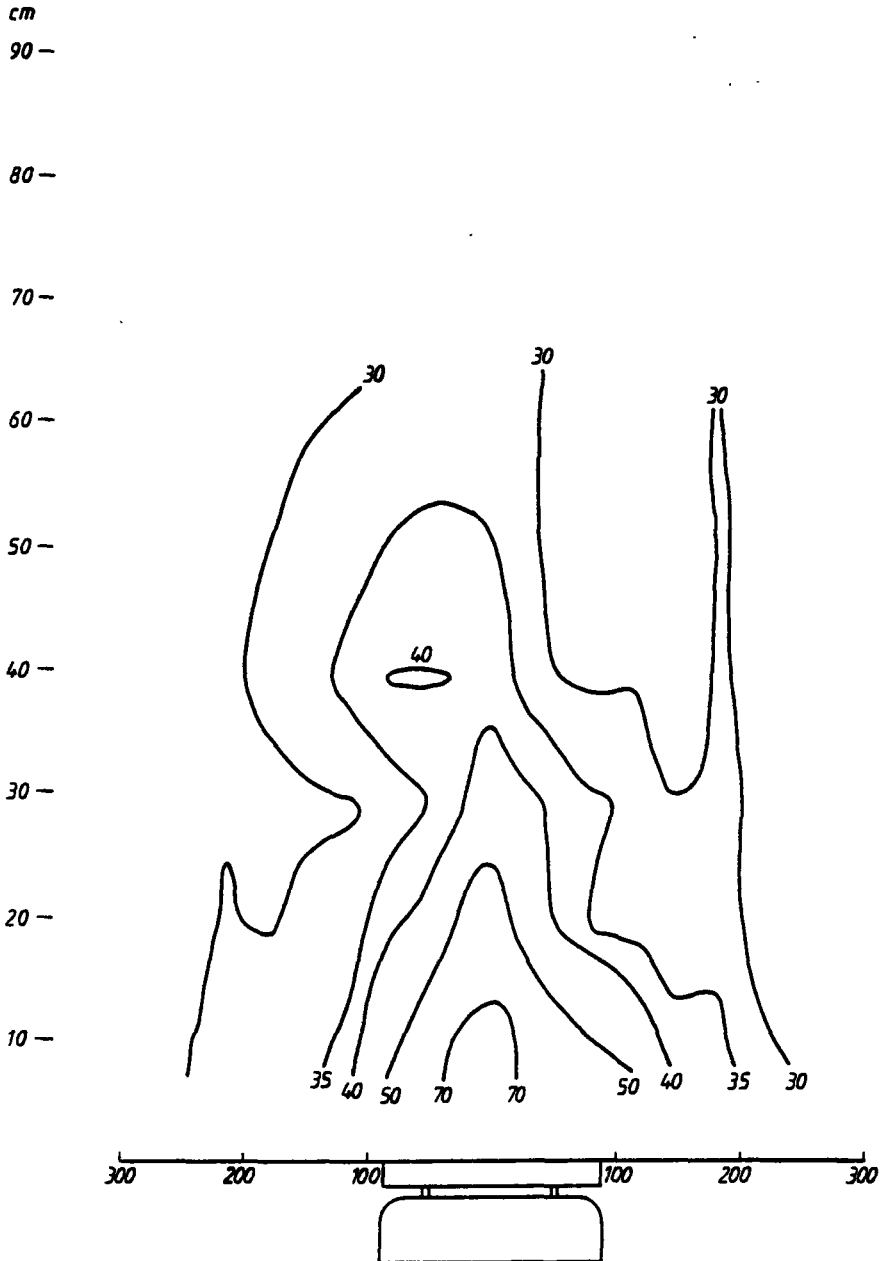
str straling

11. LITERATUUR

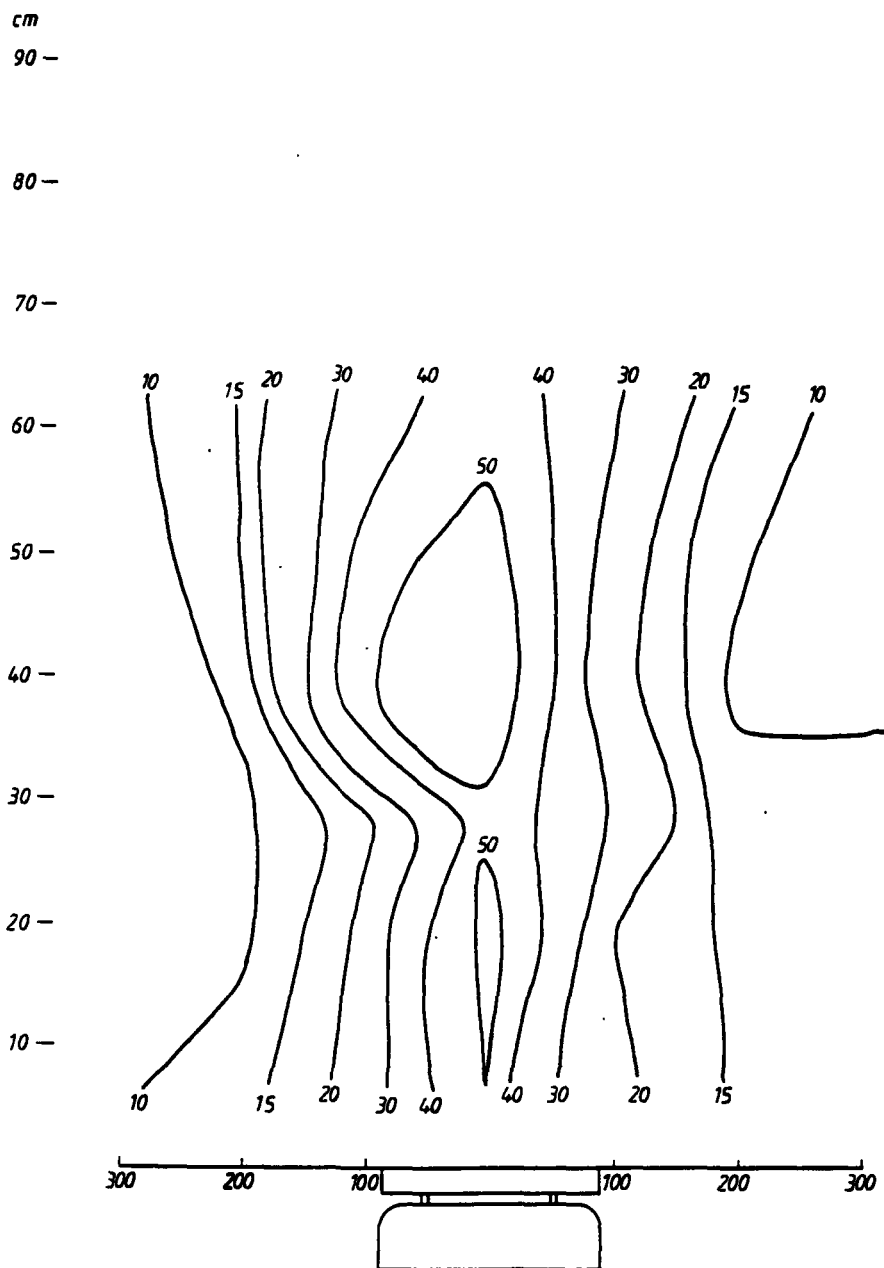
- [1] Wal, J.F. v.d., e.a.
De belastende agentia en factoren bij het lassen. Eindrapport.
Delft, MT-TNO, 1983. IMG-rapport F2012-06.
- [2] Coronel Laboratorium, Faculteit Geneeskunde, Universiteit van Amsterdam.
Indicatief oriënterend onderzoek ten behoeve van het project "Verantwoord werken bij het lassen". Eindrapport.
Amsterdam, Coronel Laboratorium, 1983.
- [3] Knoll, B.
Uitwerking van het onderzoek "Ventilatie bij lassers".
Delft, MT-TNO, juni 1985. memo nr. BK 85-6 BK.
- [4] Knoll, B.
Ventilatie bij ht lassen. 1. Deelrapport betreffende het vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook.
Delft, MT-TNO, aug. 1986. Rapport R 86/313.
- [5] Shepelev, I.A.
Convectiestromen boven verwarmde oppervlakken (warmtebronnen).
In: Proceedings 4e Internationaal Congres over Verwarming en Klimaatregeling.
Parijs, Mei 1967 (in het Russisch).
- [6] Baturin, V.V.
Fundamentals of Industrial Ventilation.
Pergamon Press, Oxford/New York/Toronto/Sydney/Braunschweig, 1972.

BIJLAGE A : MEETRESULTATEN

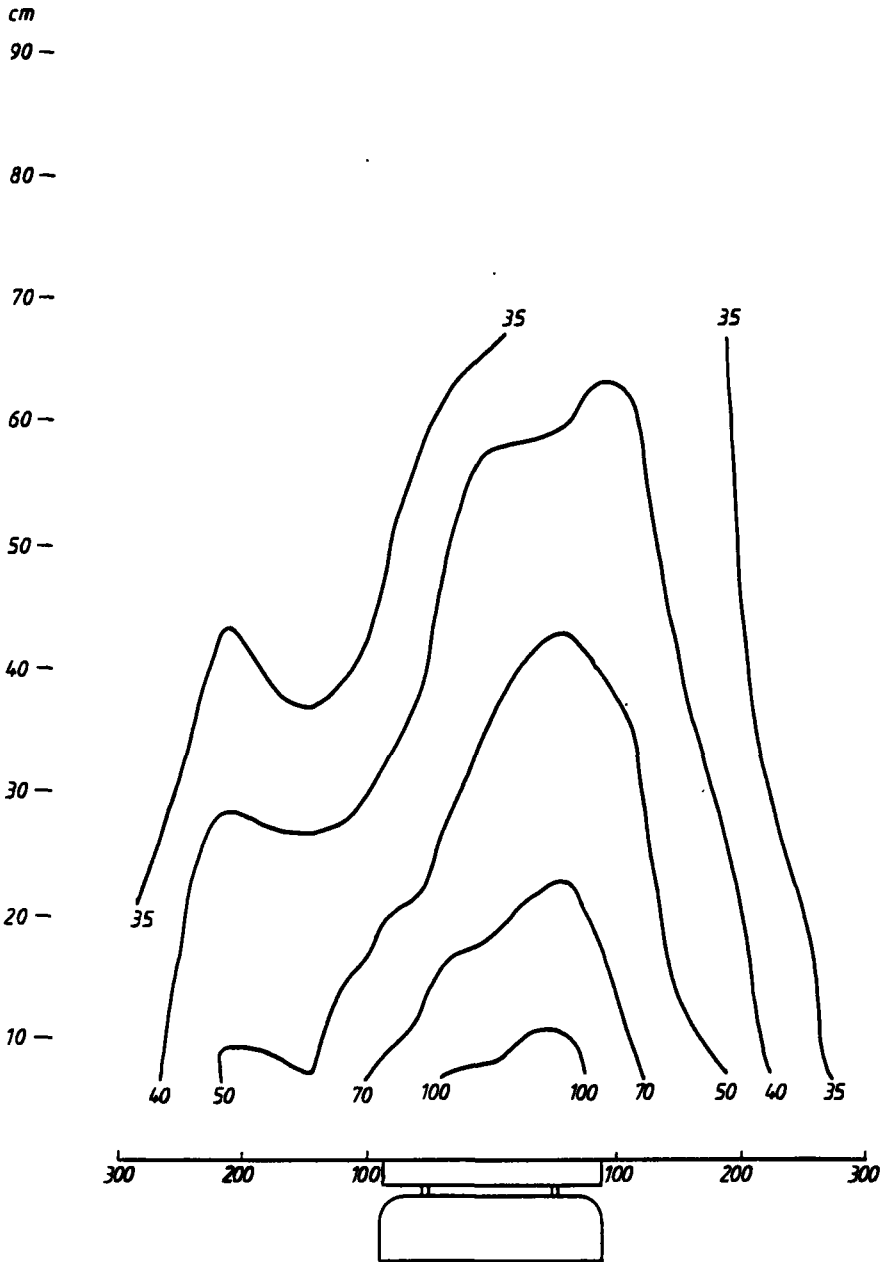
In deze bijlage zijn per proef de gemeten temperaturen, snelheden en stofconcentraties weergegeven. Bij de metingen is getracht zo goed mogelijk in doorsneden door het hart van de lasrookpluim te meten. De doorsneden zijn in de lengterichting van de las genomen. De lastoorts is alleen in het vlak van de doorsnede schuin geplaatst, zoals schematisch is aangegeven. Op hoogte = 0 mm en breedte = 0 mm bevindt zich het smeltbad. Afgezien van proef 8 bevindt zich rechts van het smeltbad (positieve breedte) het gelaste gedeelte en links van het smeltbad (negatieve breedte) het nog te lassen gedeelte. Bij proef 8 is dit juist andersom, omdat slepend in plaats van stekend is gelast.



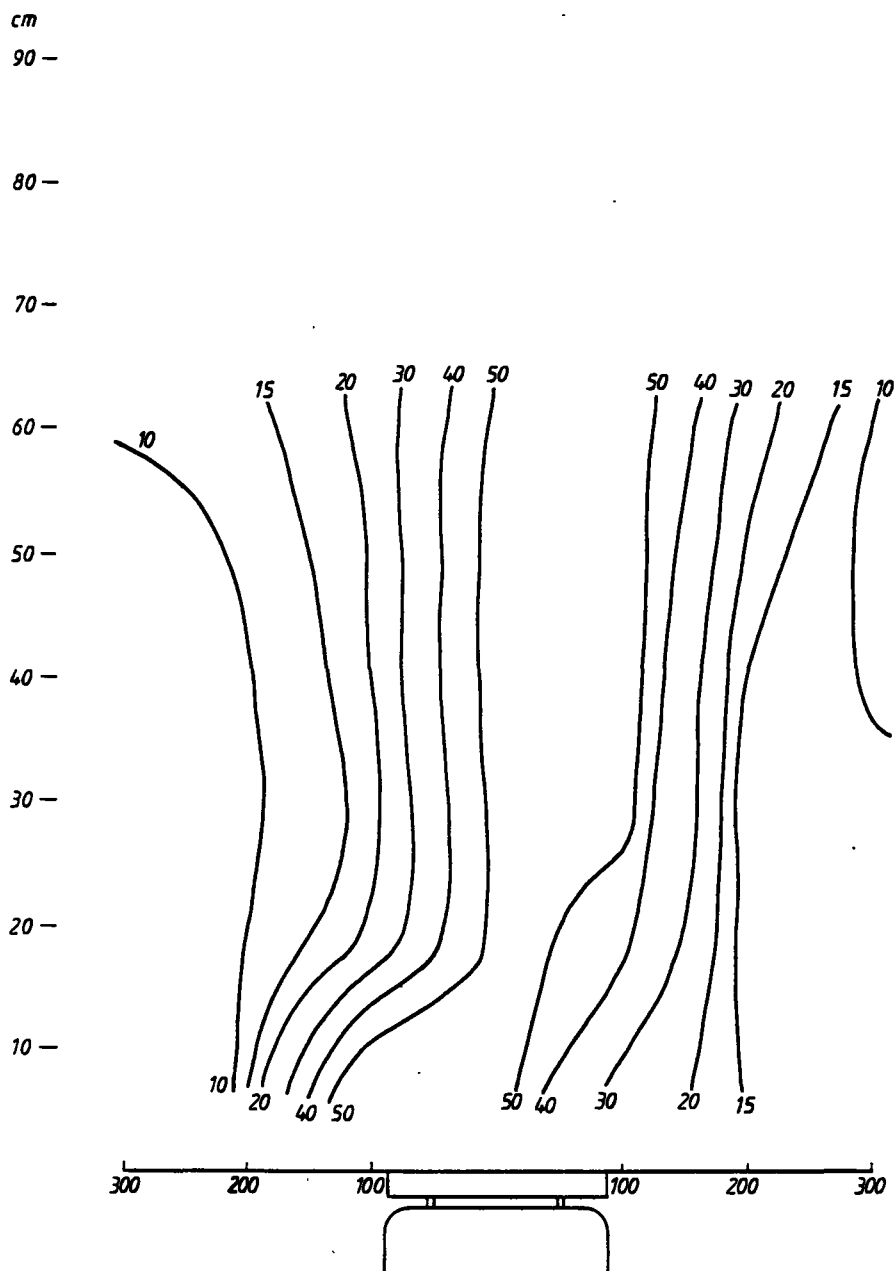
Temperaturen in °C bij proef 1: kleine kookplaat (625 W) op 220 V.



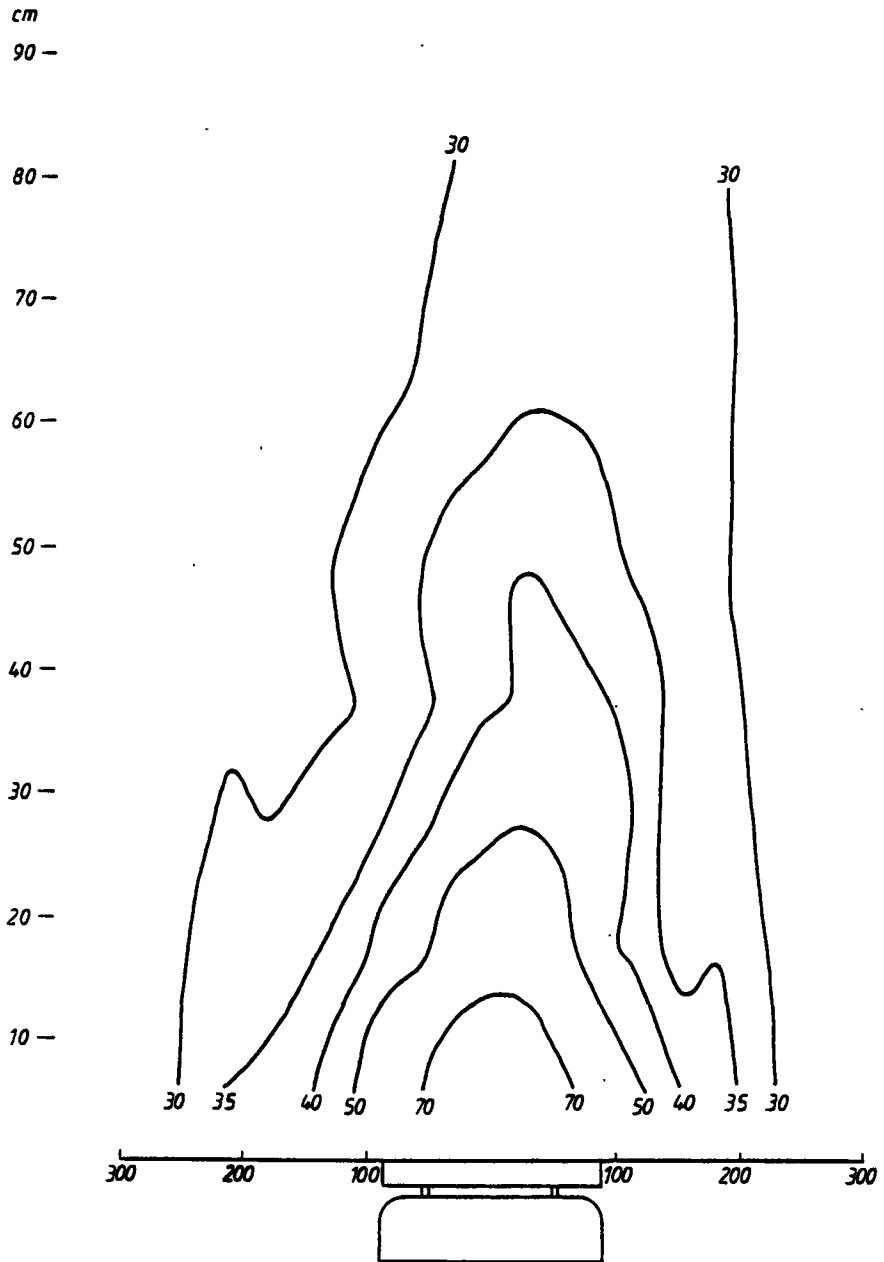
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 1: kleine kookplaat (625 W) op 220 V.



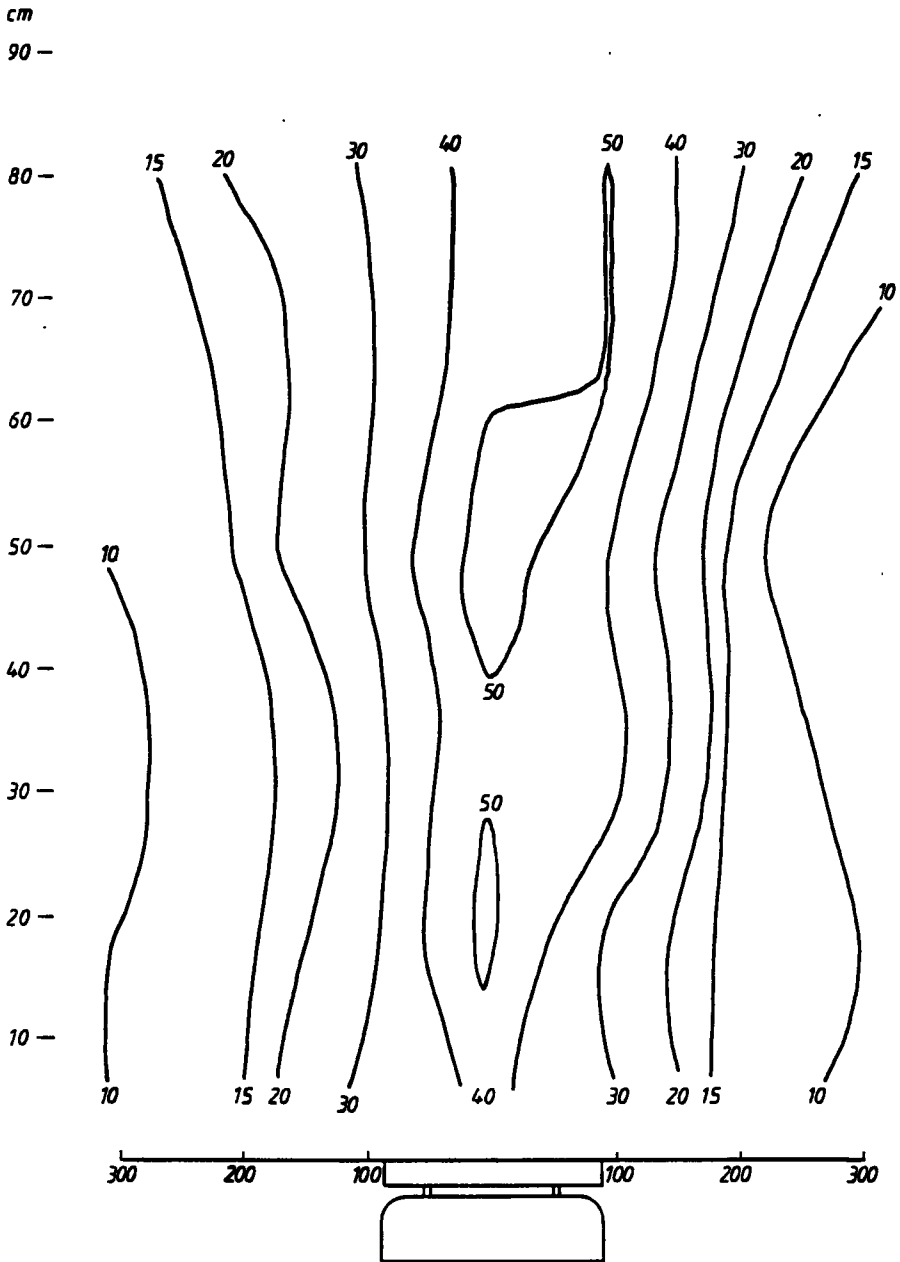
Temperaturen in °C bij proef 2: grote kookplaat (1200 W) op 220 V.



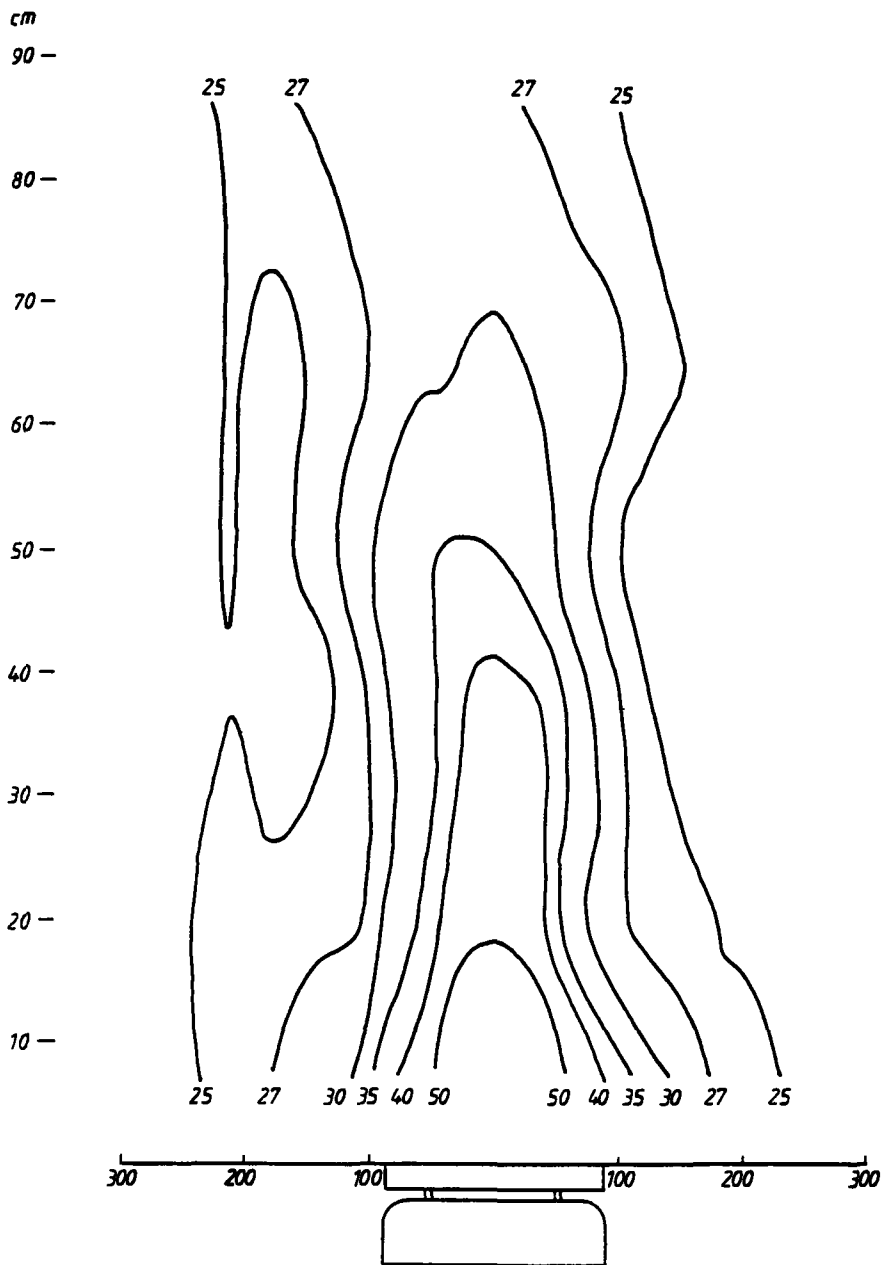
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 2: grote kookplaat (1200 W) op 220 V.



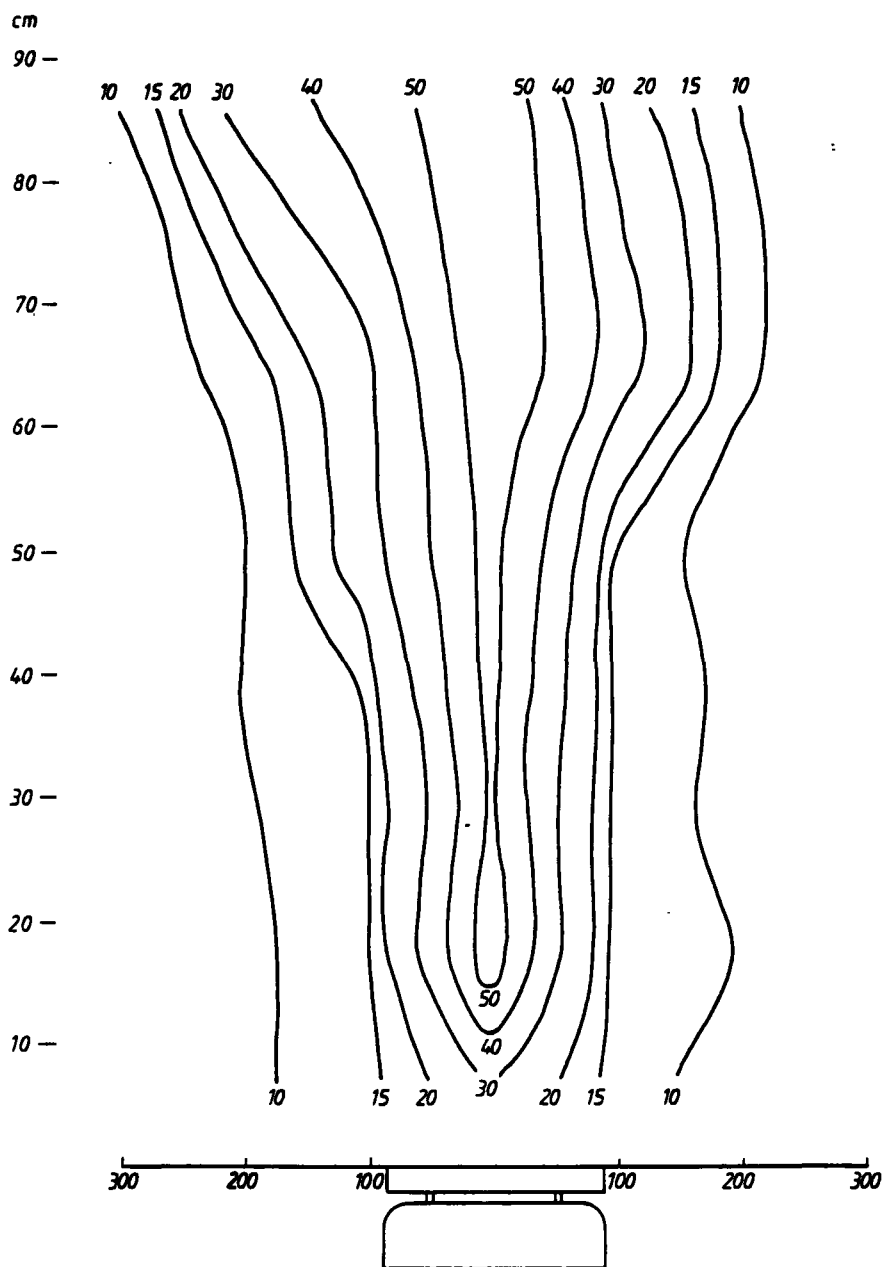
Temperaturen in °C bij proef 3: grote kookplaat op 160 V.



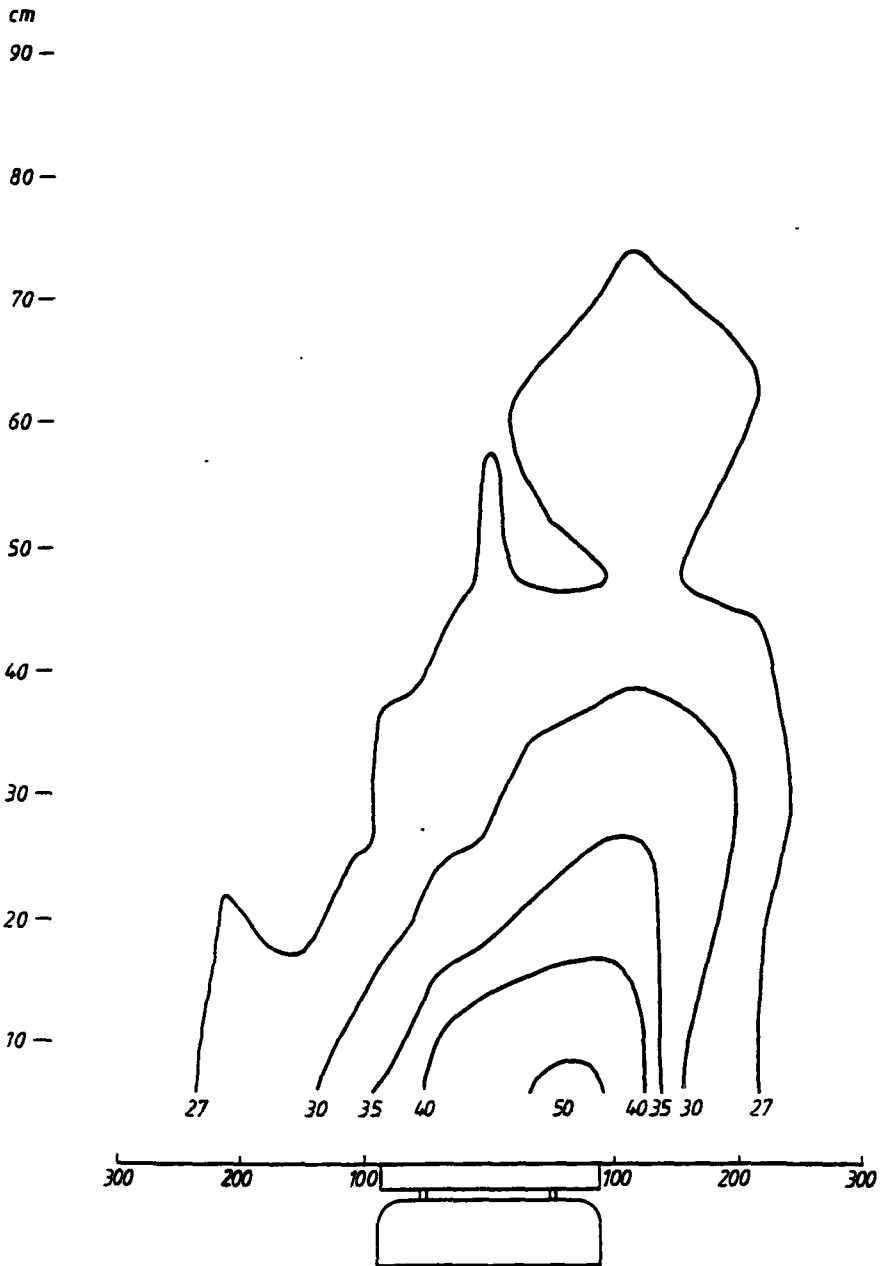
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 3: grote kookplaat op 160 V.



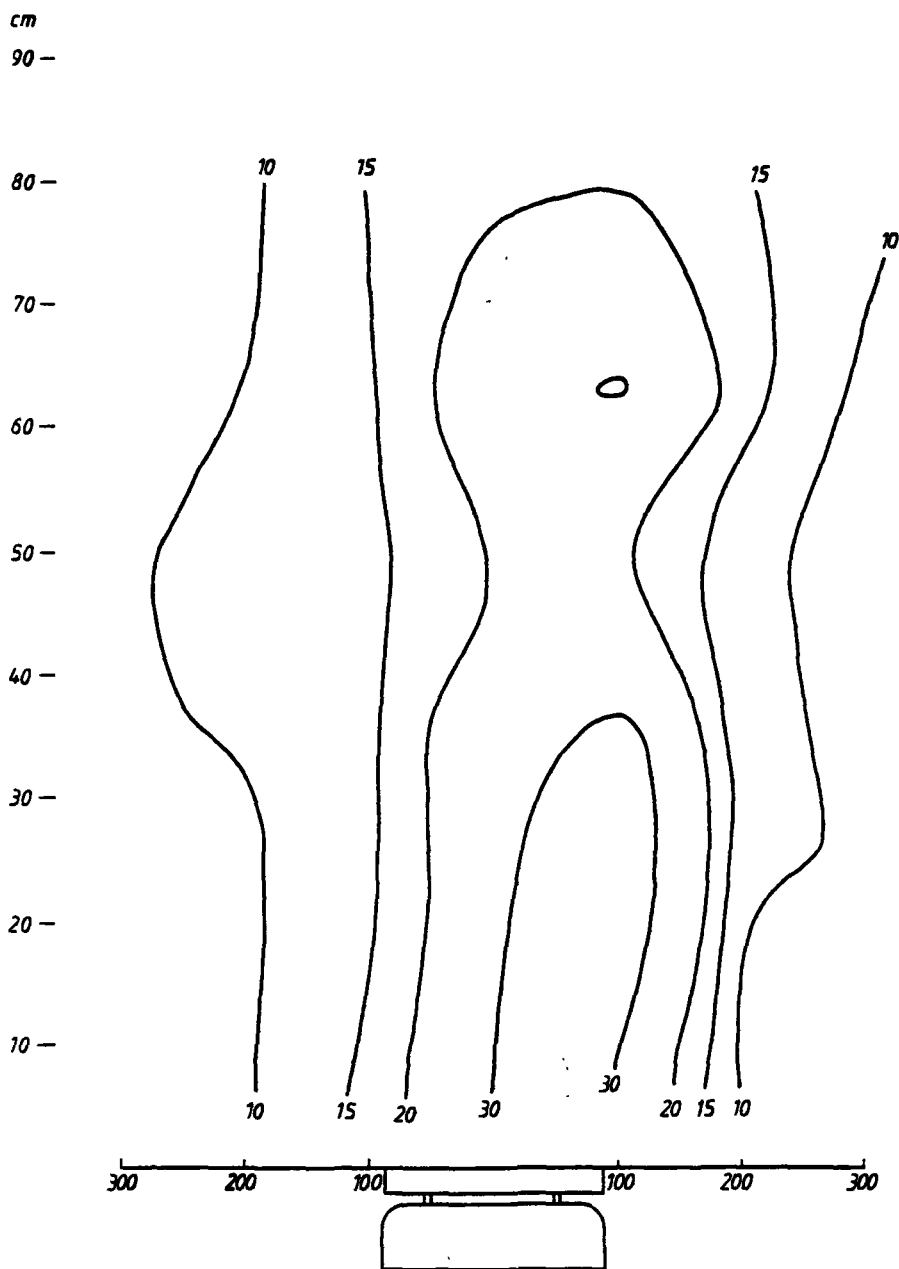
Temperaturen in °C bij proef 4: grote kookplaat op 120 V.



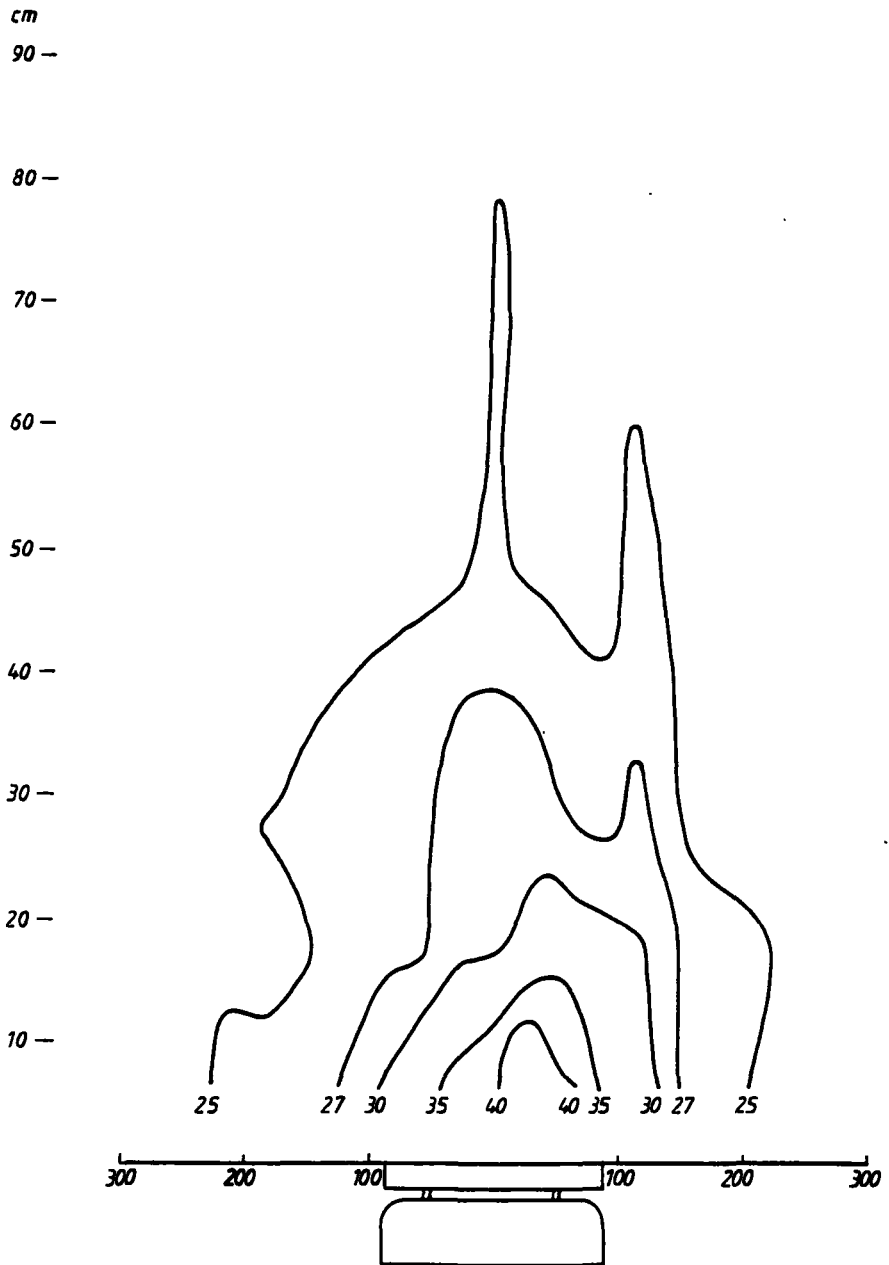
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 4: grote kookplaat op 120 V.



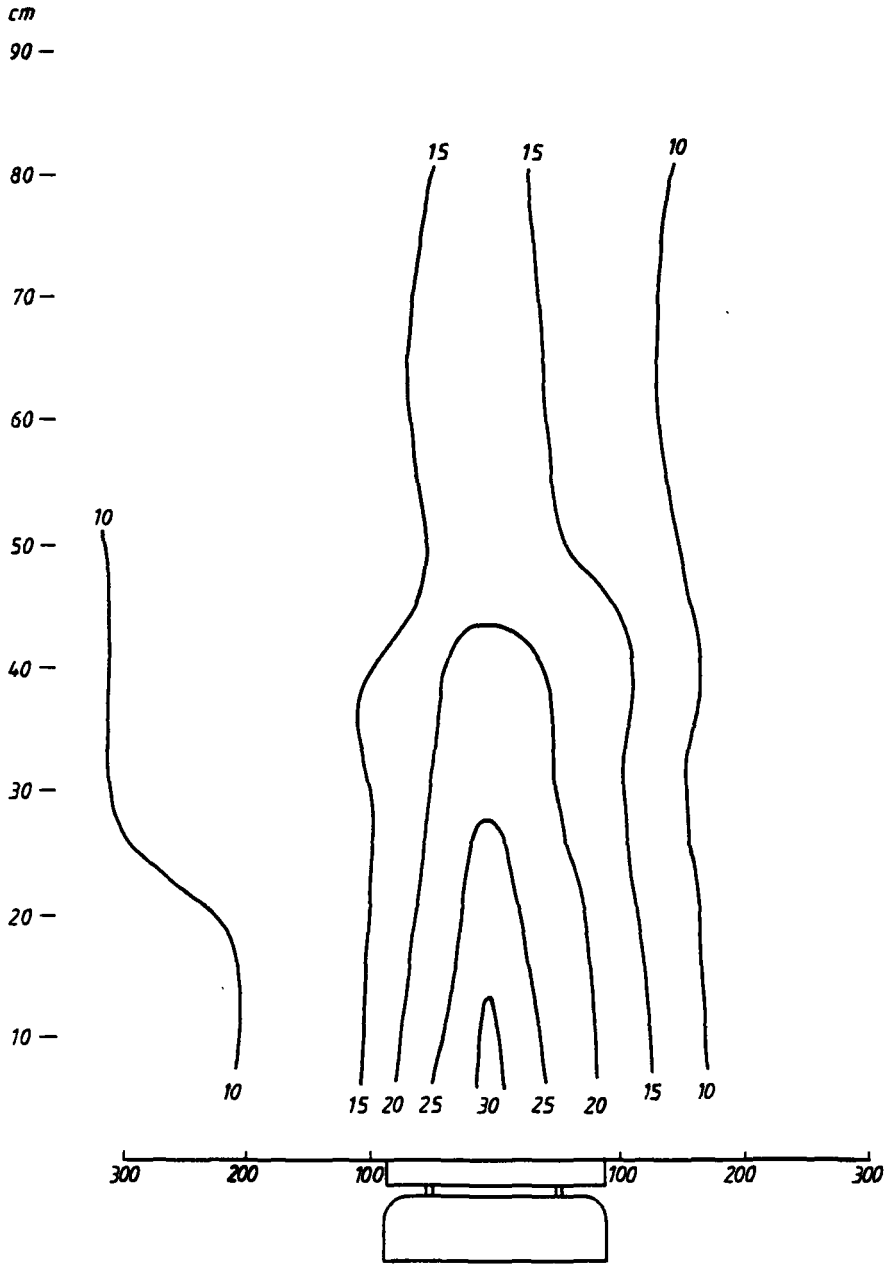
Temperaturen in °C bij proef 5: grote kookplaat op 100 V.



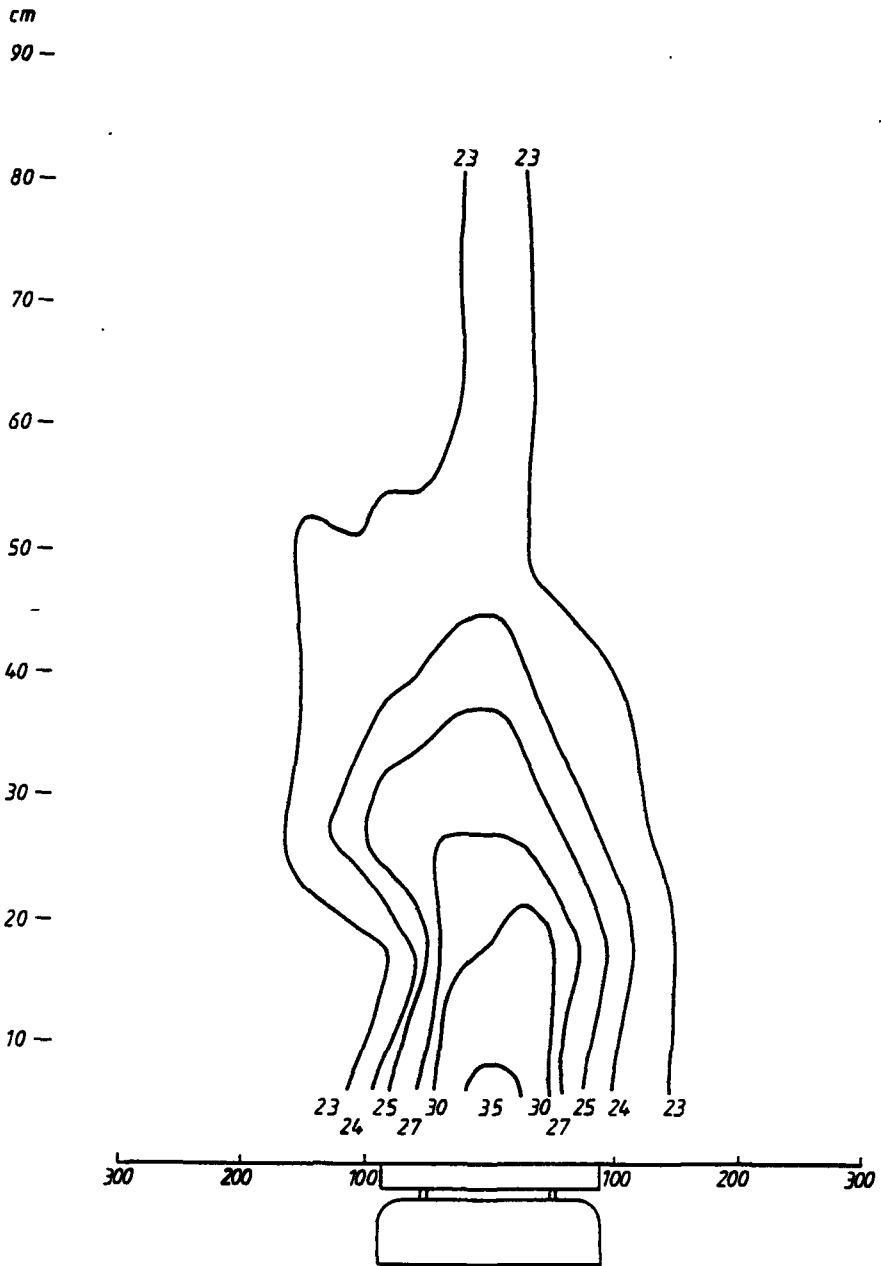
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 5: grote kookplaat op 100 V.



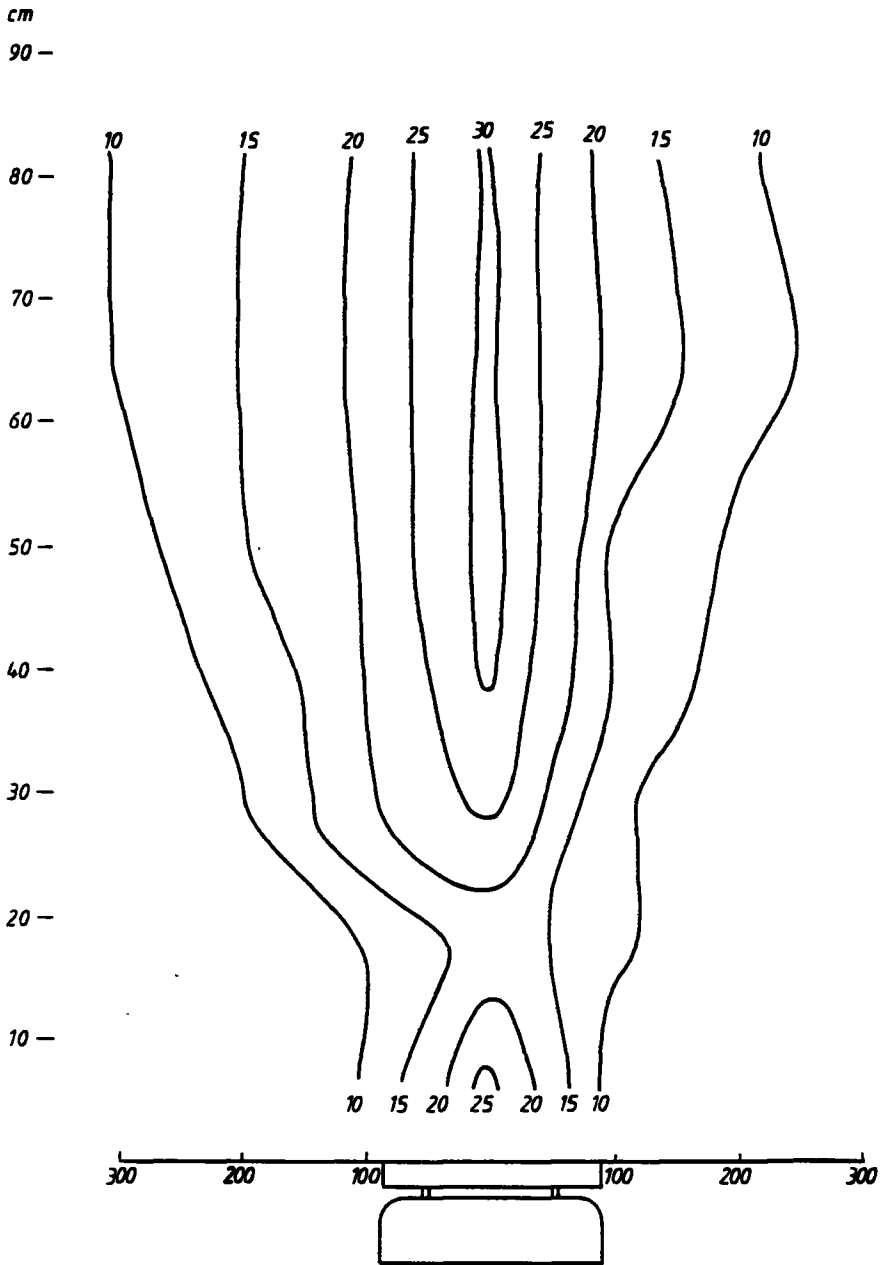
Temperaturen in °C bij proef 6: grote kookplaat op 80 V.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 6: grote kookplaat op 80 V.



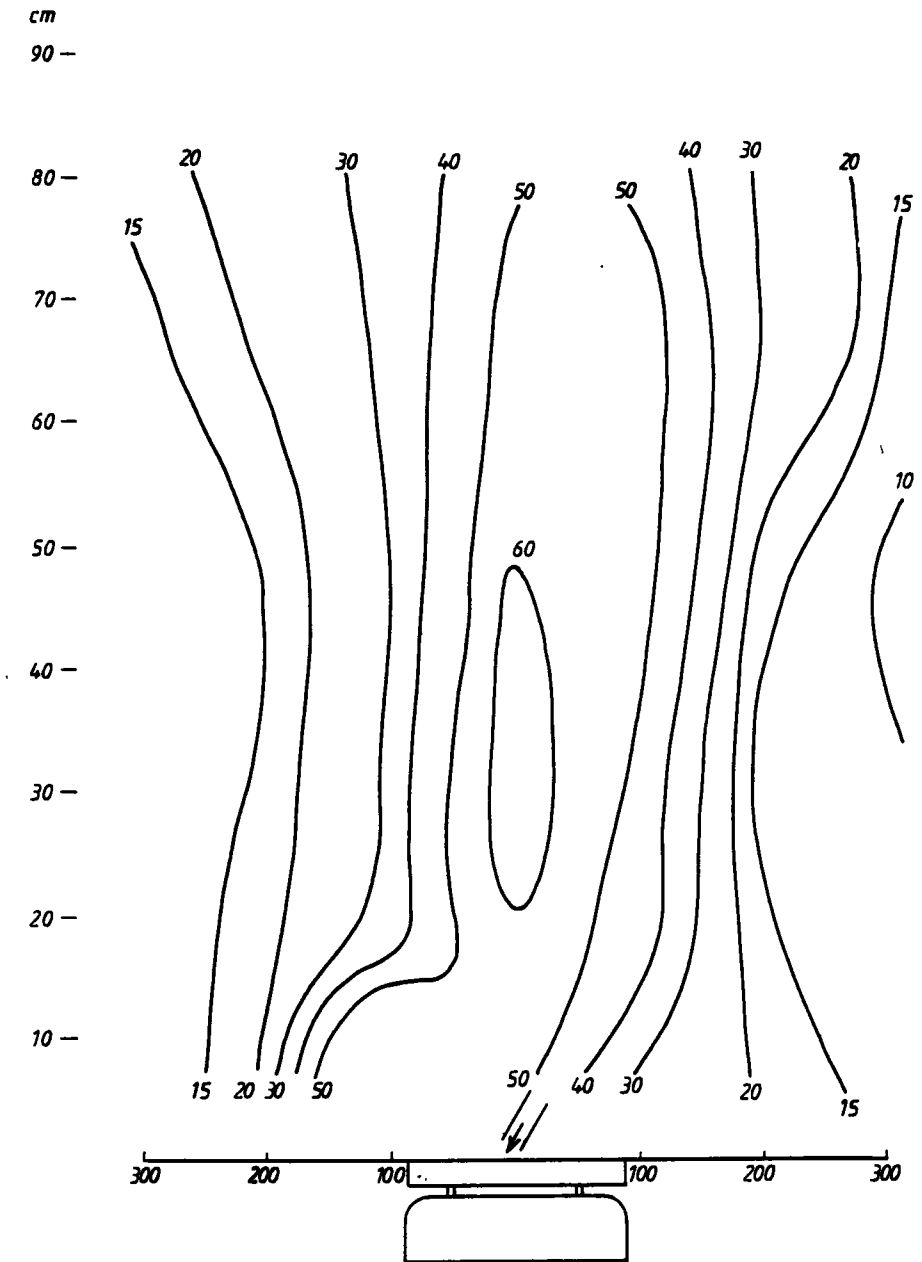
Temperaturen in °C bij proef 7: grote kookplaat op 50 V.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 7: grote kookplaat op 50 V.



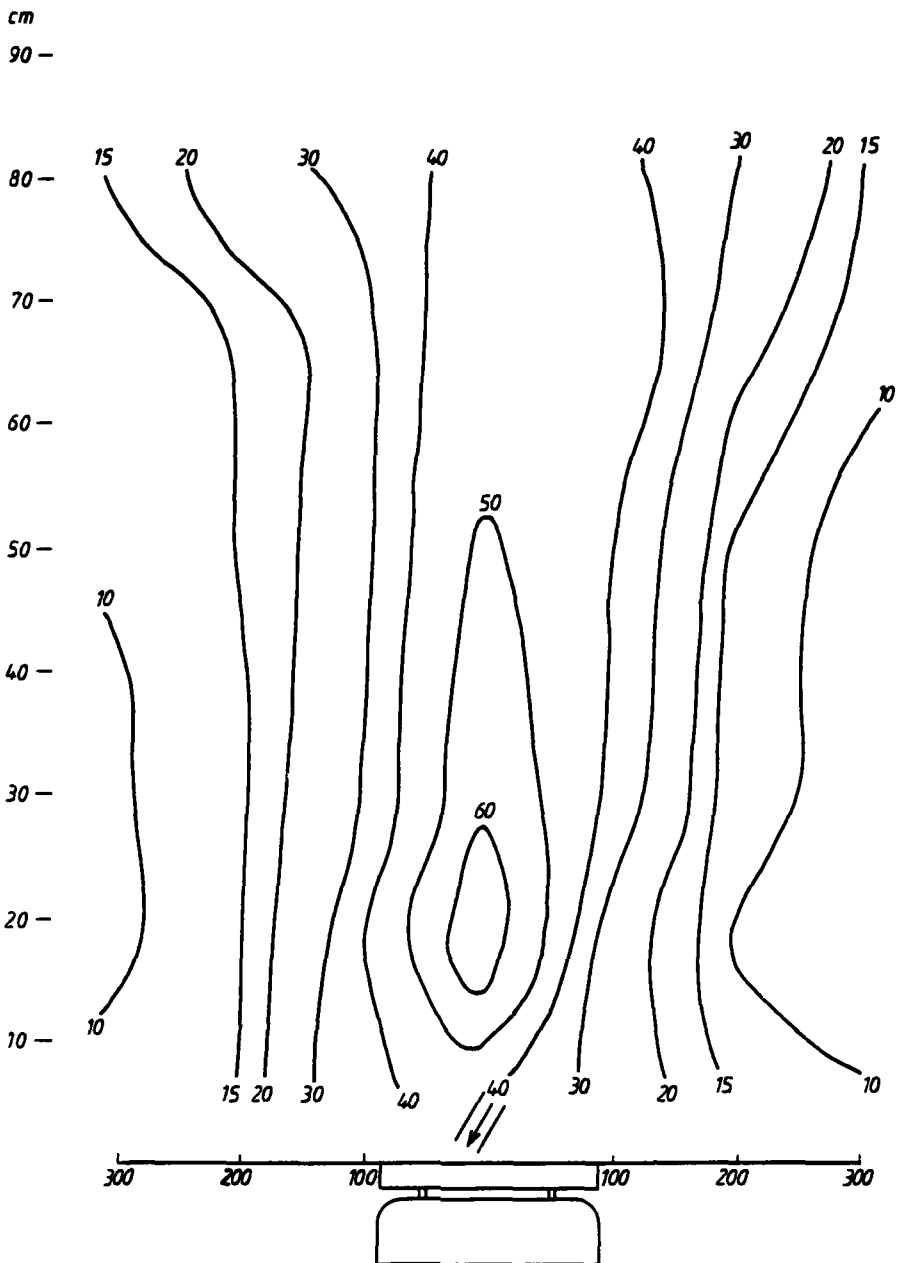
Temperaturen in °C bij proef 8: grote kookplaat 220 V met aanblaas 0,17 dm³/s onder 60° op het hart.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 8: grote kookplaat 220 V met aanblaas 0,17 dm³/s onder 60° op het hart.



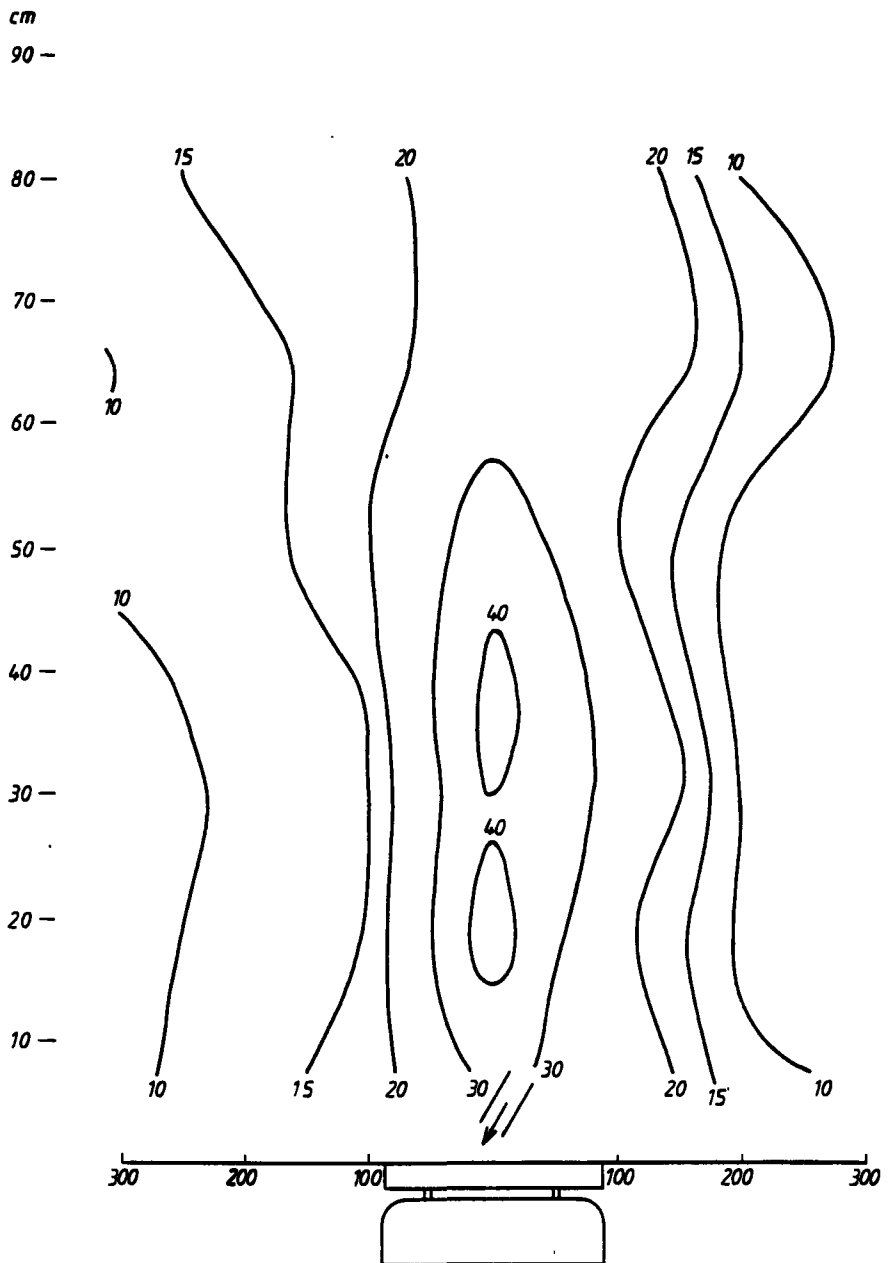
Temperaturen in °C bij proef 9: grote kookplaat 160 V met aanblaas 0,17 dm³/s onder 60° op het hart.



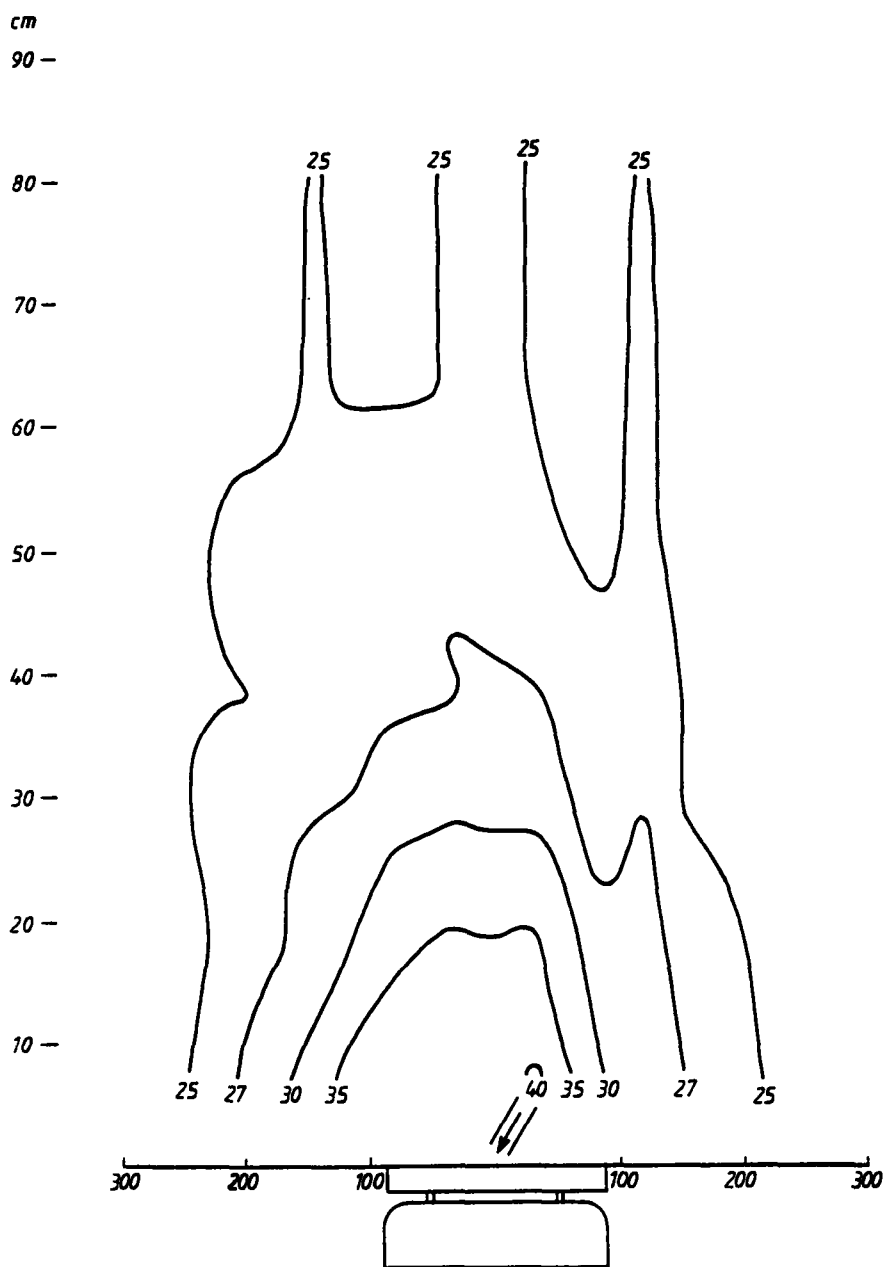
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 9: grote kookplaat 160 V met aanblaas 0,17 dm^3/s onder 60° op het hart.



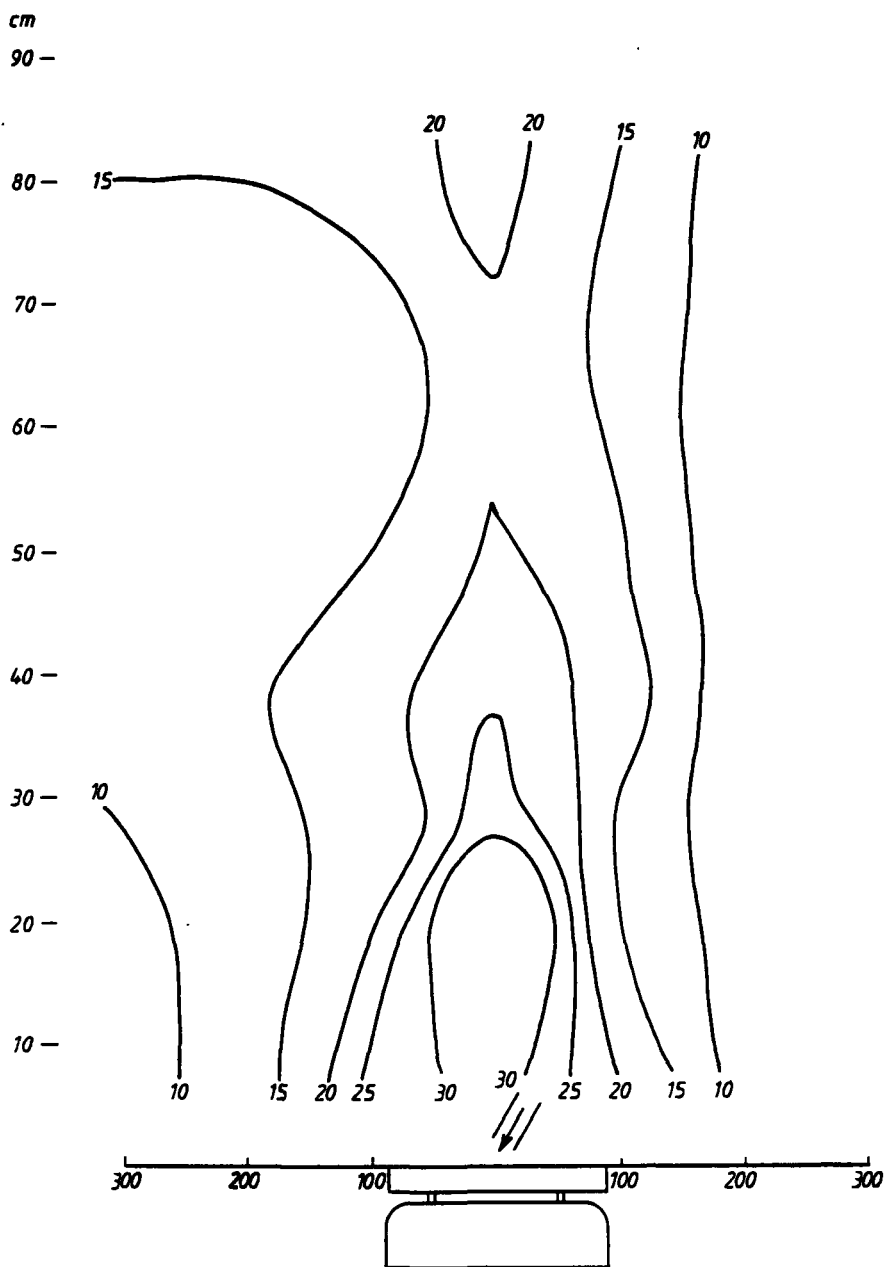
Temperaturen in °C bij proef 10: grote kookplaat 100 V met aanblaas 0,17 dm³/s onder 60° op het hart.



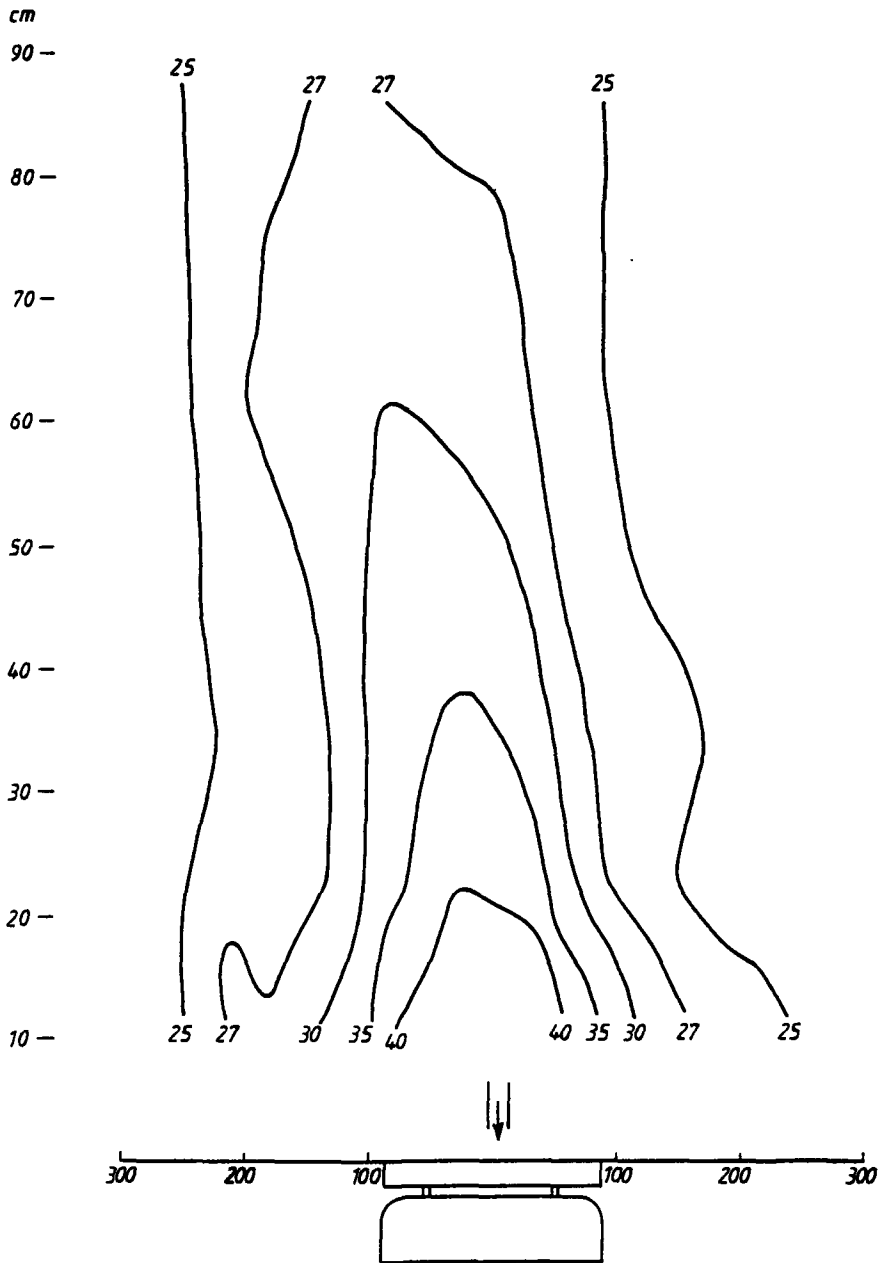
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 10: grote kookplaat 100 V met aanblaas $0,17 \text{ dm}^3/\text{s}$ onder 60° op het hart.



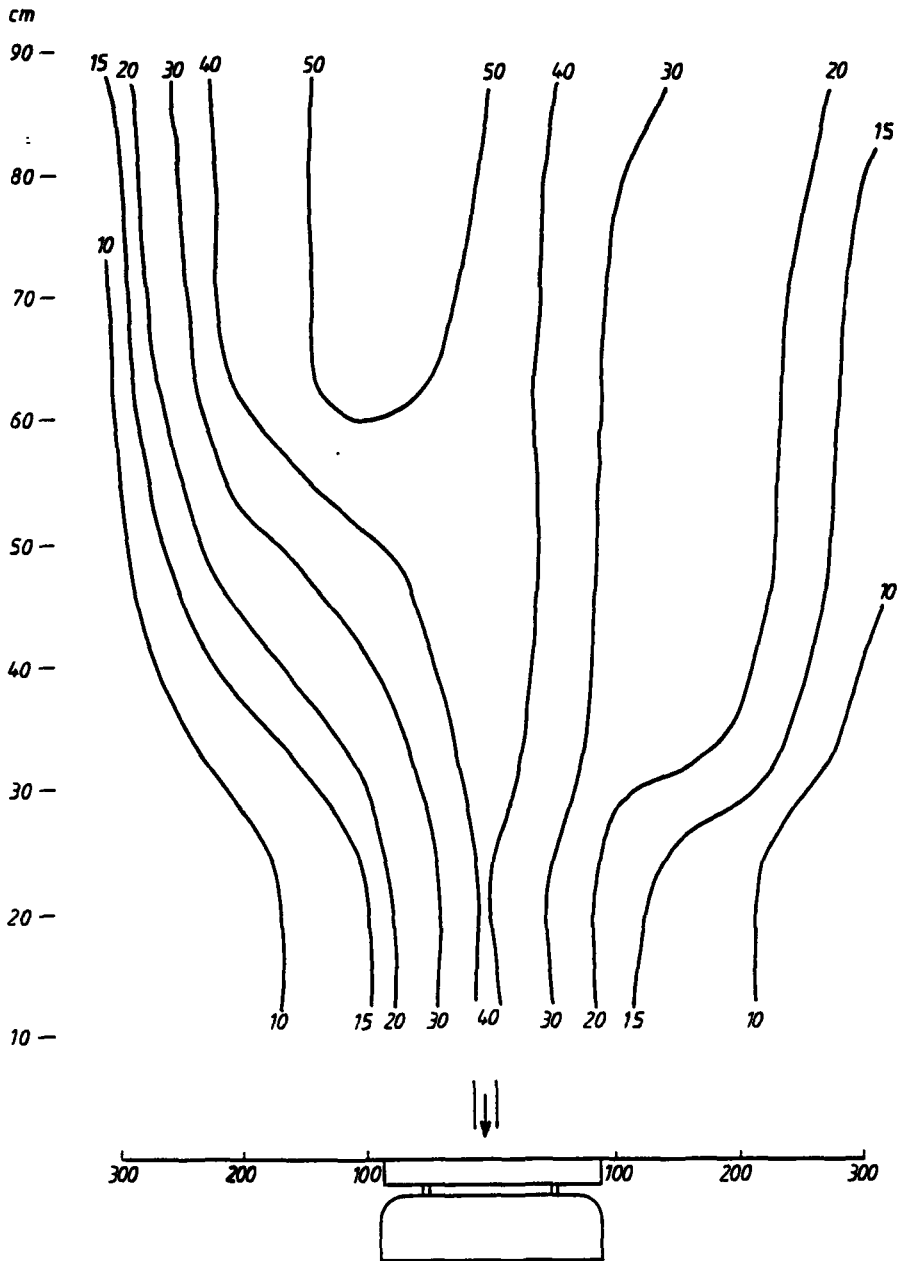
Temperaturen in °C bij proef 11: grote kookplaat 80 V met aanblaas 0,17 dm³/s onder 60° op het hart.



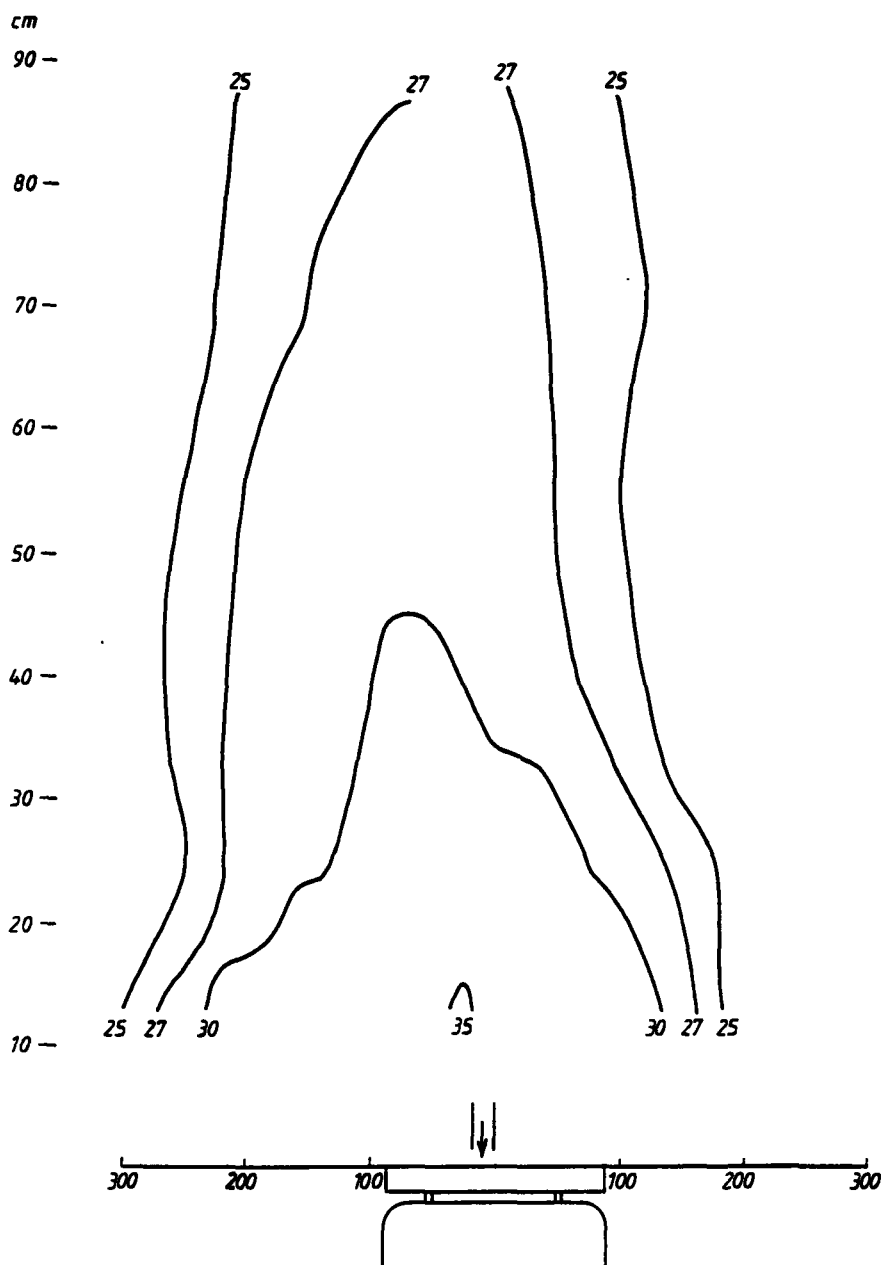
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 11: grote kookplaat 80 V met aanblaas 0,17 dm³/s onder 60° op het hart.



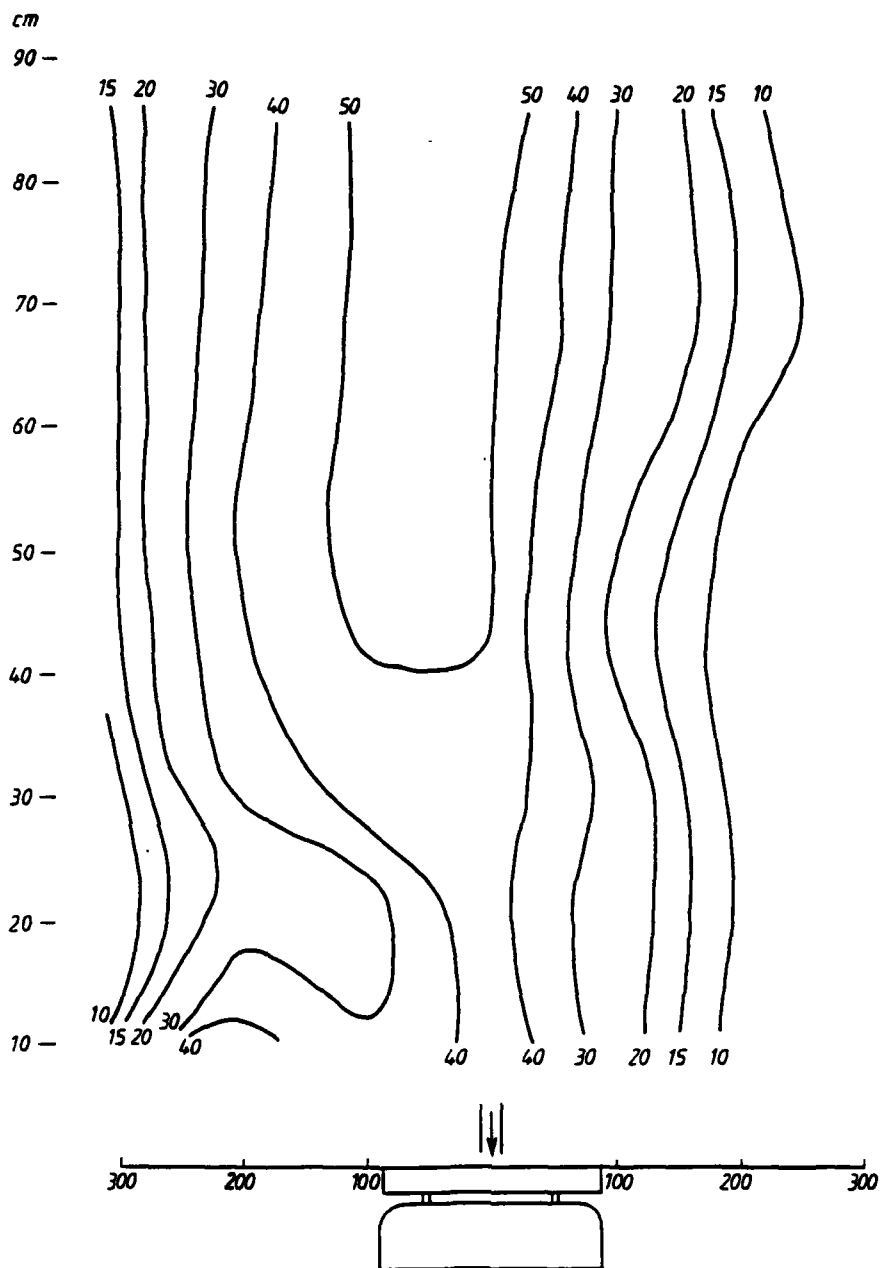
Temperaturen in °C bij proef 12: grote kookplaat 120 V met rechte aanblaas
 $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



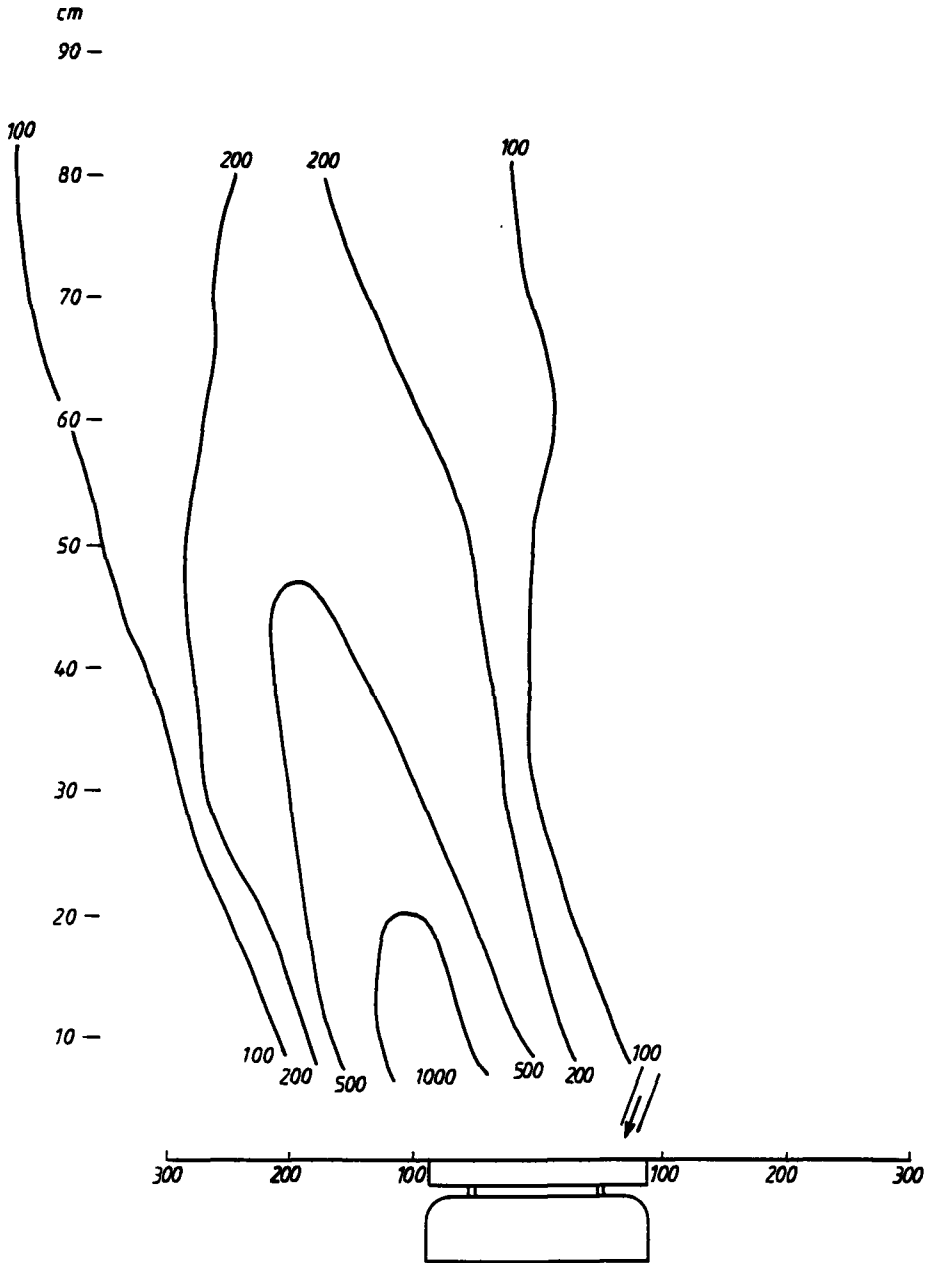
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 12: grote kookplaat 120 V met rechte aanblaas $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



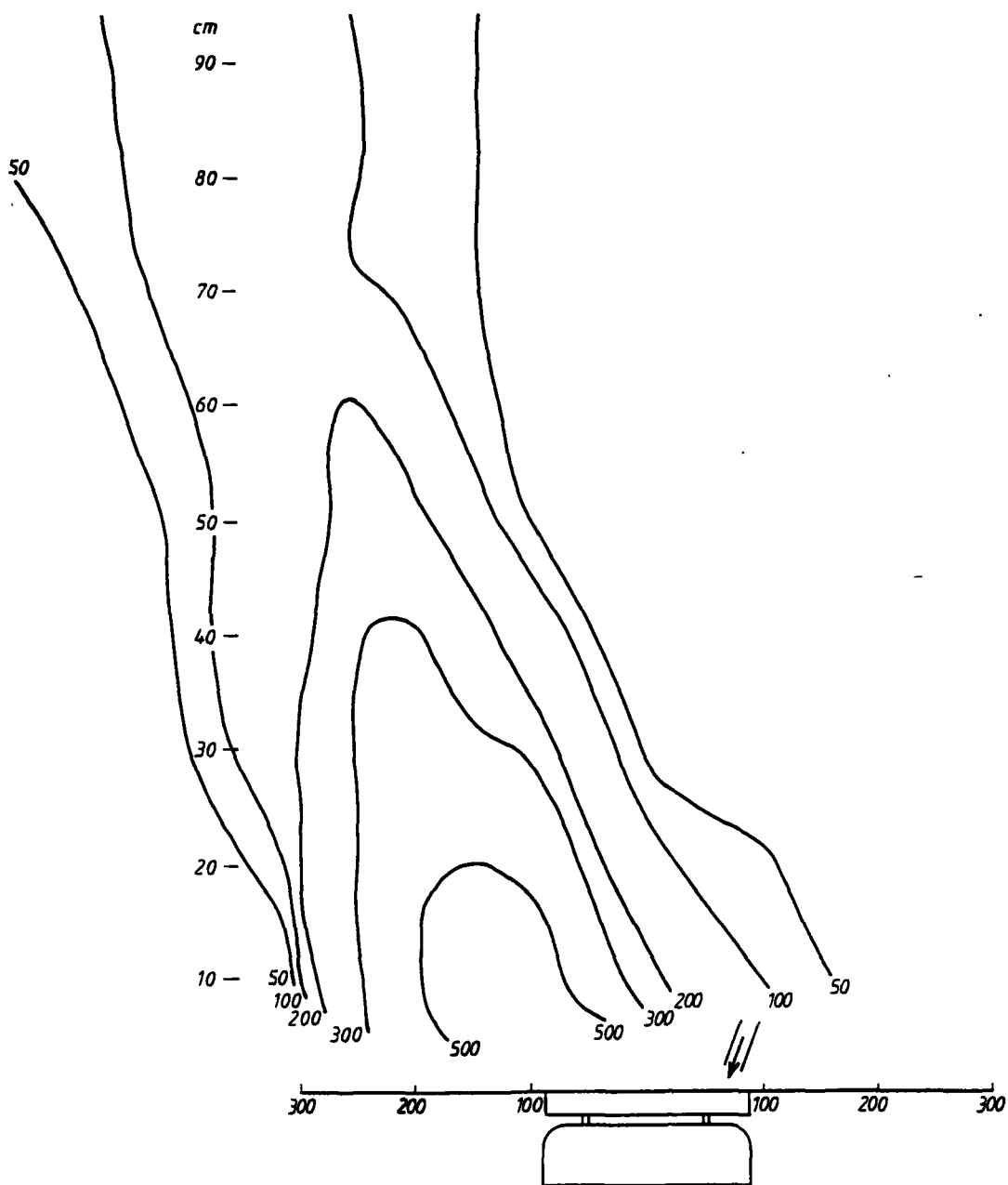
Temperaturen in °C bij proef 13: grote kookplaat 120 V met rechte aanblaas
 $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



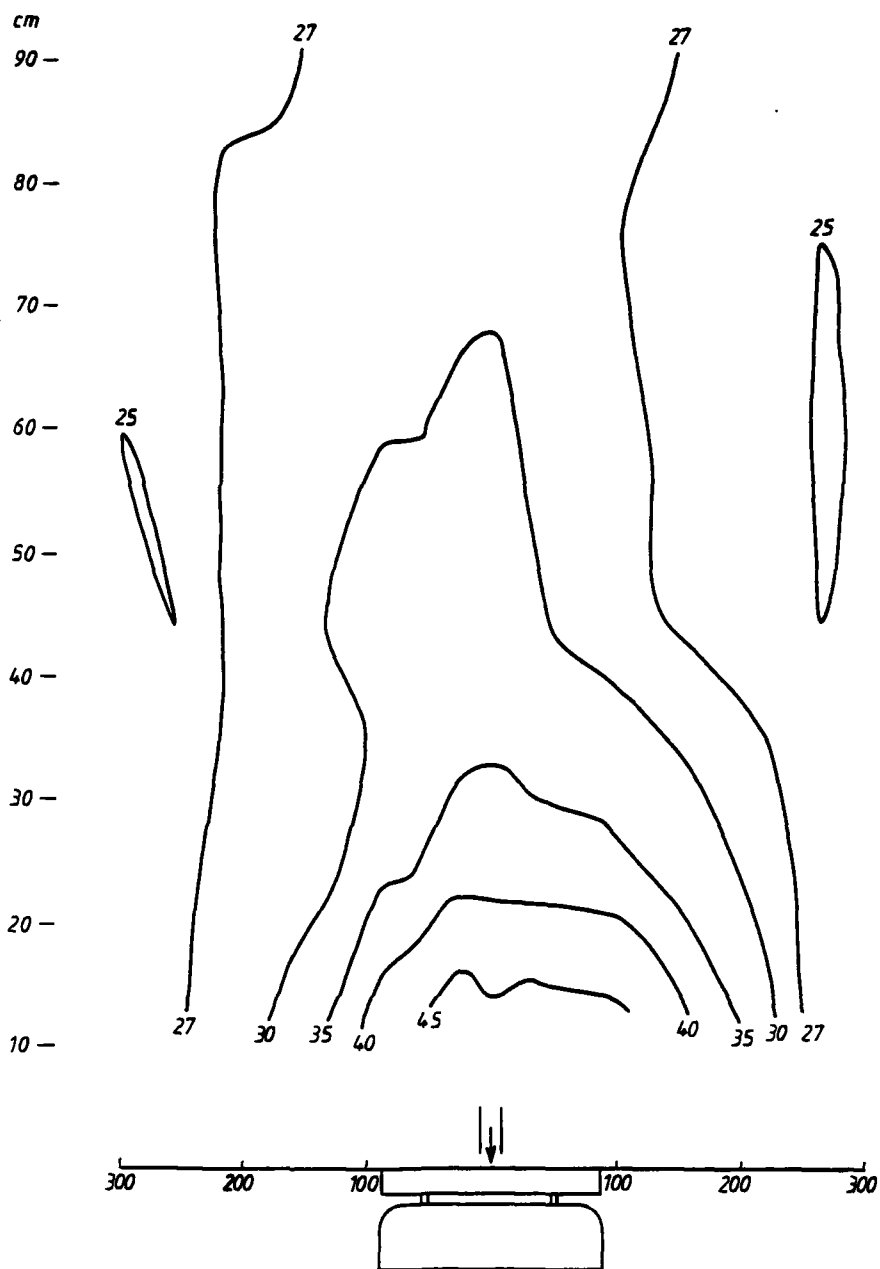
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 13: grote kookplaat 120 V met rechte aanblaas $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



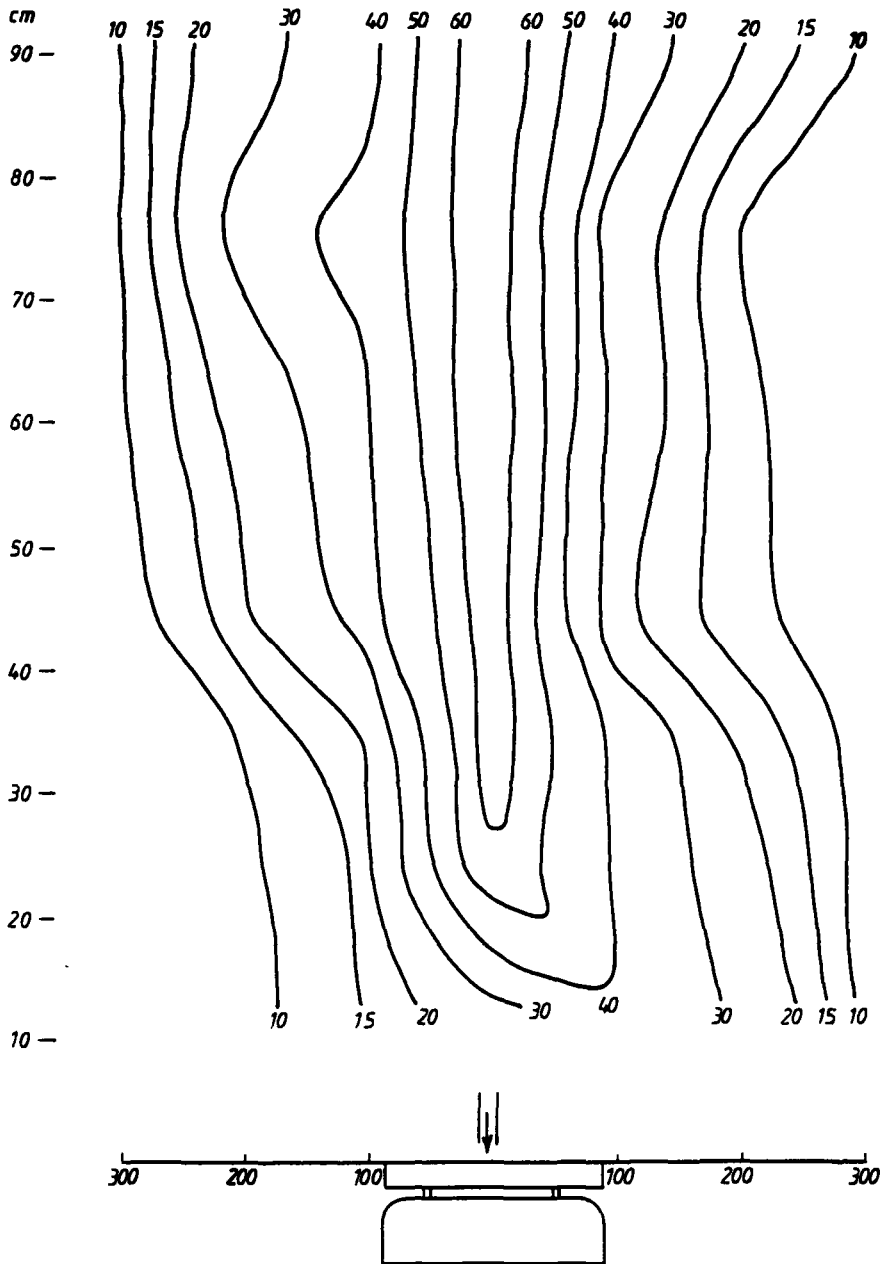
N₂O-concentraties in ppm bij proef 14: grote kookplaat 160 V met aanblaas 0,83 dm³/s onder 70°; 6 cm uit het hart. N₂O-dosering 11,0 cm³/s.



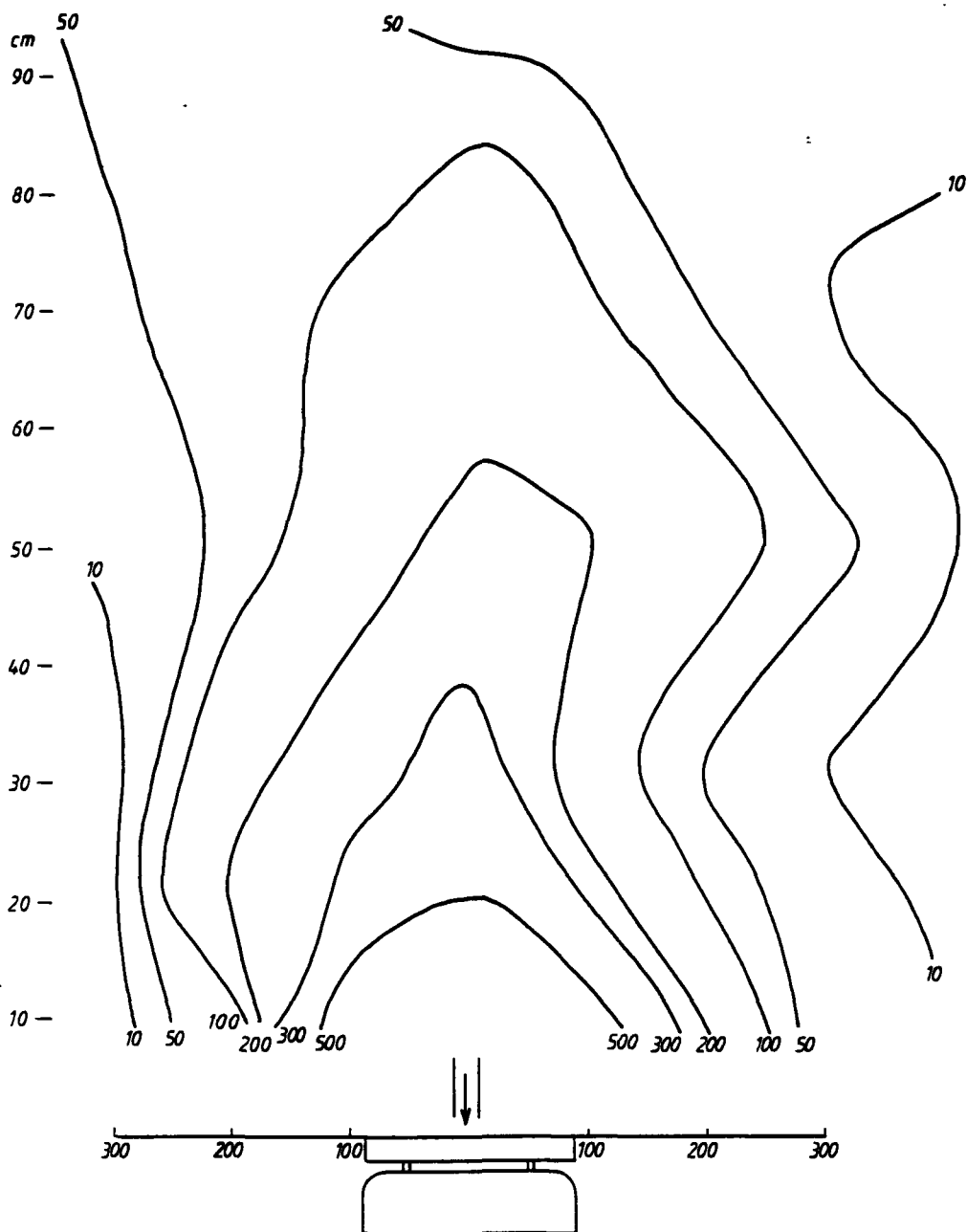
N_2O -concentraties in ppm bij proef 15: grote kookplaat 160 V met aanblaas $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ onder 70° ; 6 cm uit het hart. N_2O -dosering $11,0 \text{ cm}^3/\text{s}$.



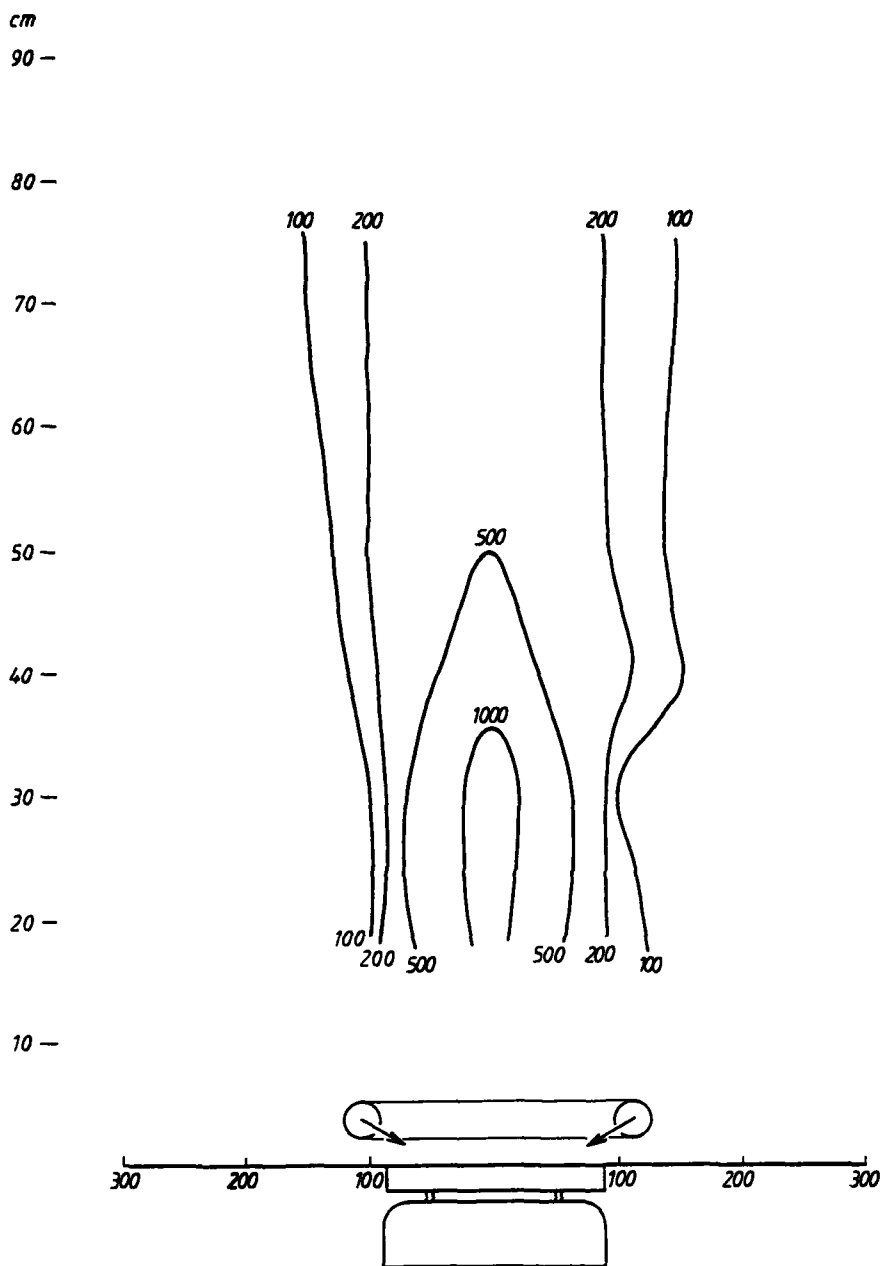
Temperaturen in °C bij proef 16: grote kookplaat 160 V met rechte aanblaas
 1,44 dm³/s op het hart.



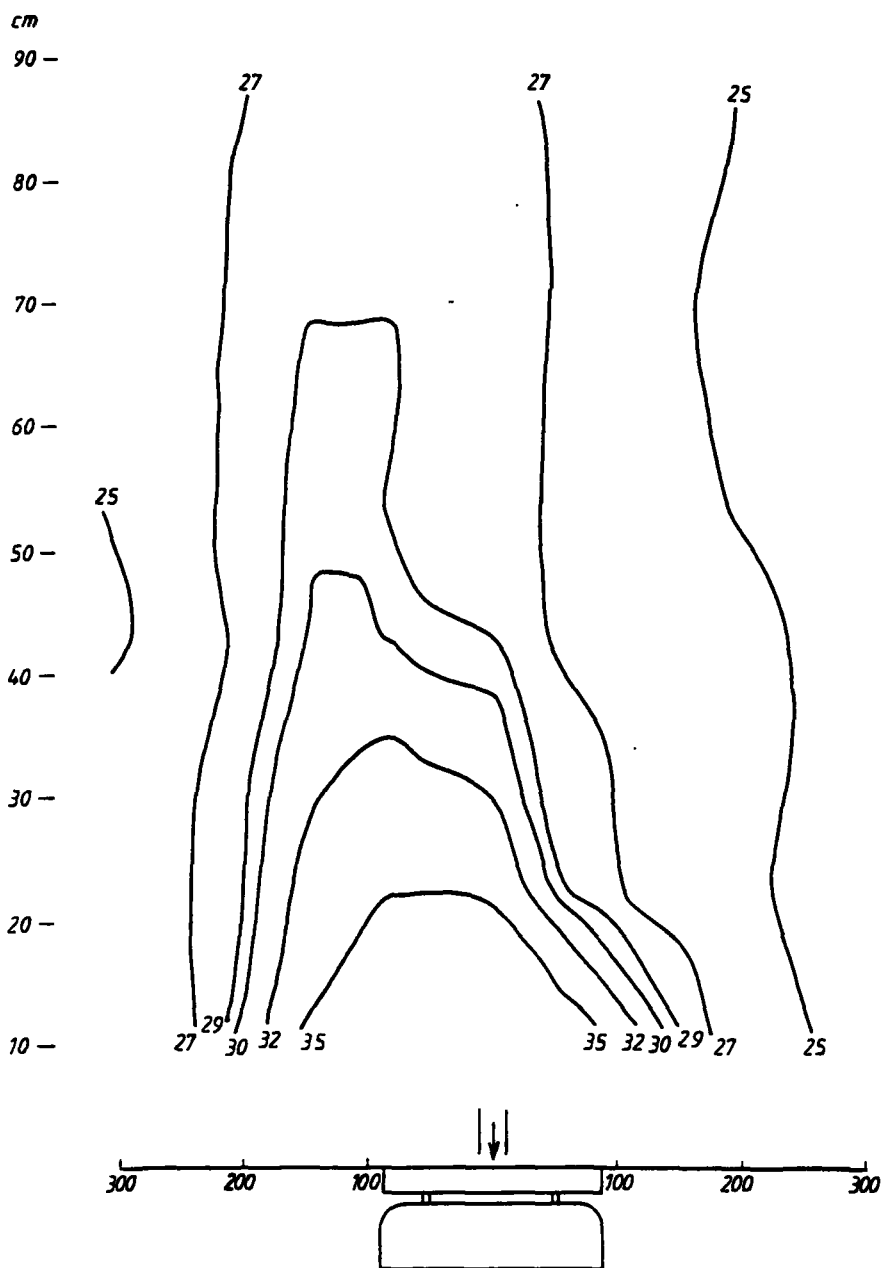
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 16: grote kookplaat 160 V met rechte aanblaas $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



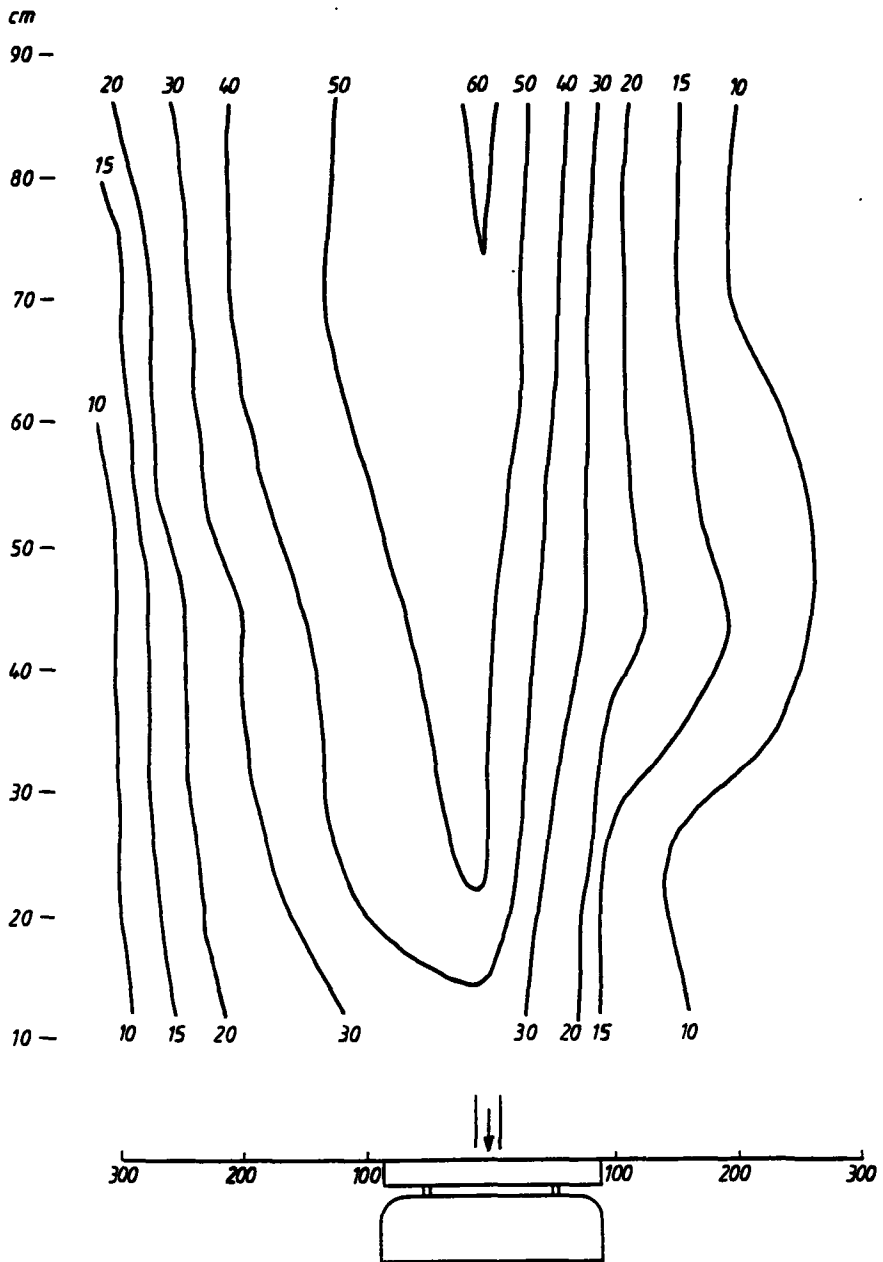
N_2O -concentraties in ppm bij proef 16: grote kookplaat 160 V met aanblaas $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart. N_2O -dosering $11,0 \text{ cm}^3/\text{s}$.



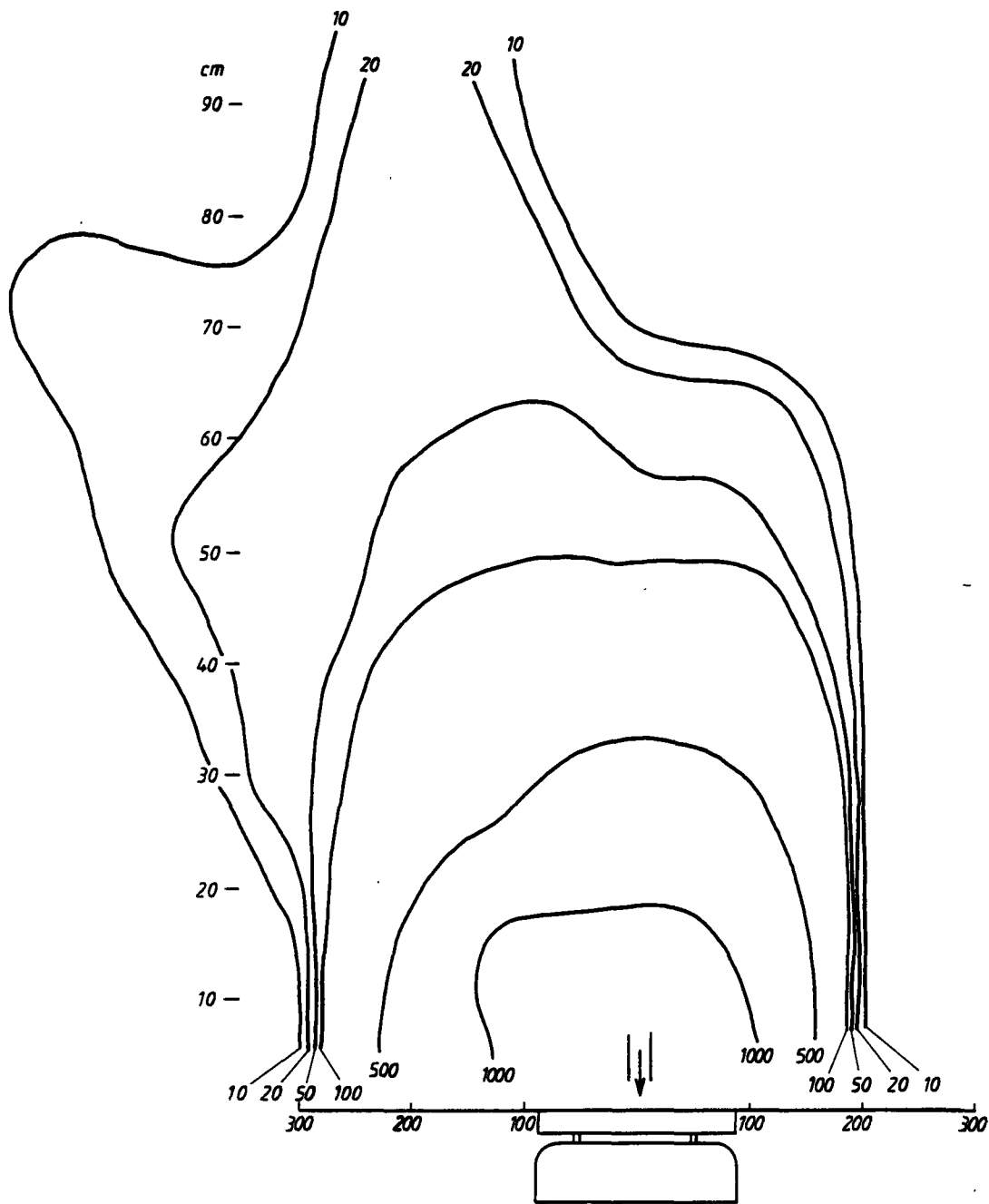
N_2O -concentraties in ppm bij proef 17: grote kookplaat 160 V met aanblaas
 $1,44 \text{ dm}^3/\text{s}$ iets boven rand kookplaat via ringleiding.
 N_2O -dosering $11,0 \text{ cm}^3/\text{s}$.



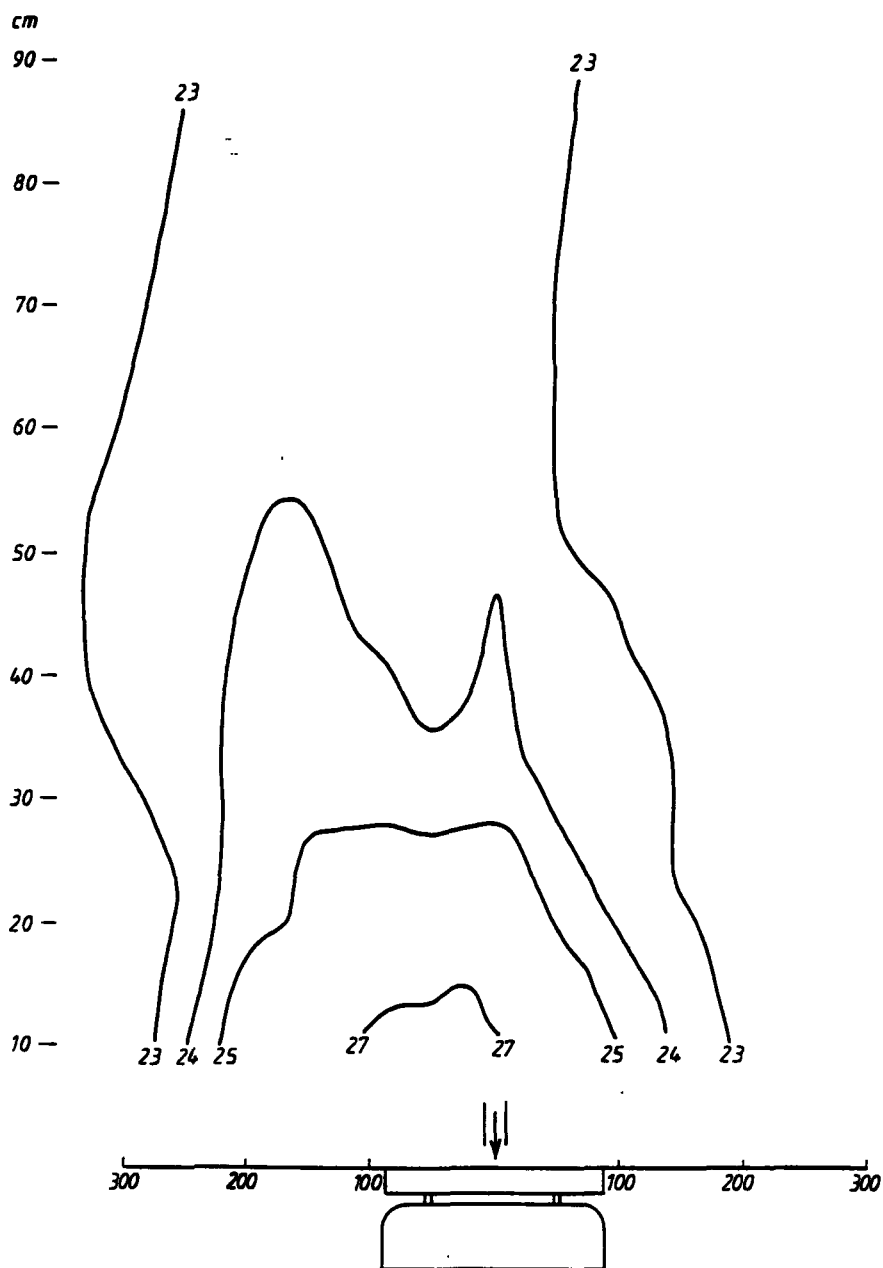
Temperaturen in °C bij proef 18: grote kookplaat 120 V met rechte aanblaas
 1,27 dm³/s op het hart.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 18: grote kookplaat 120 V met rechte aanb্লাas $1,27 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



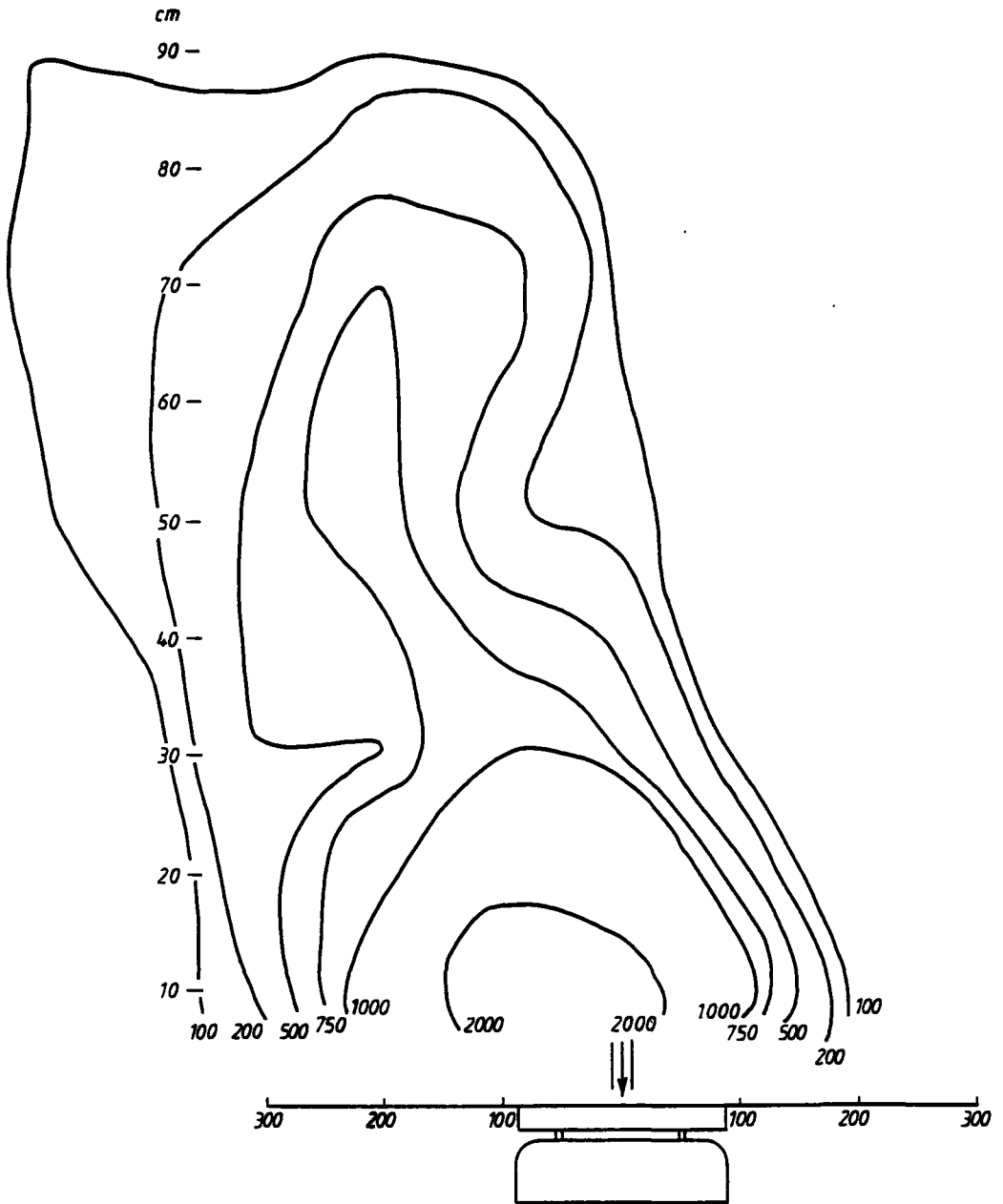
N_2O -concentraties in ppm bij proef 18: grote kookplaat 120 V met rechte
aánblaas $1,27 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart. N_2O -dosering $11,0 \text{ cm}^3/\text{s}$.



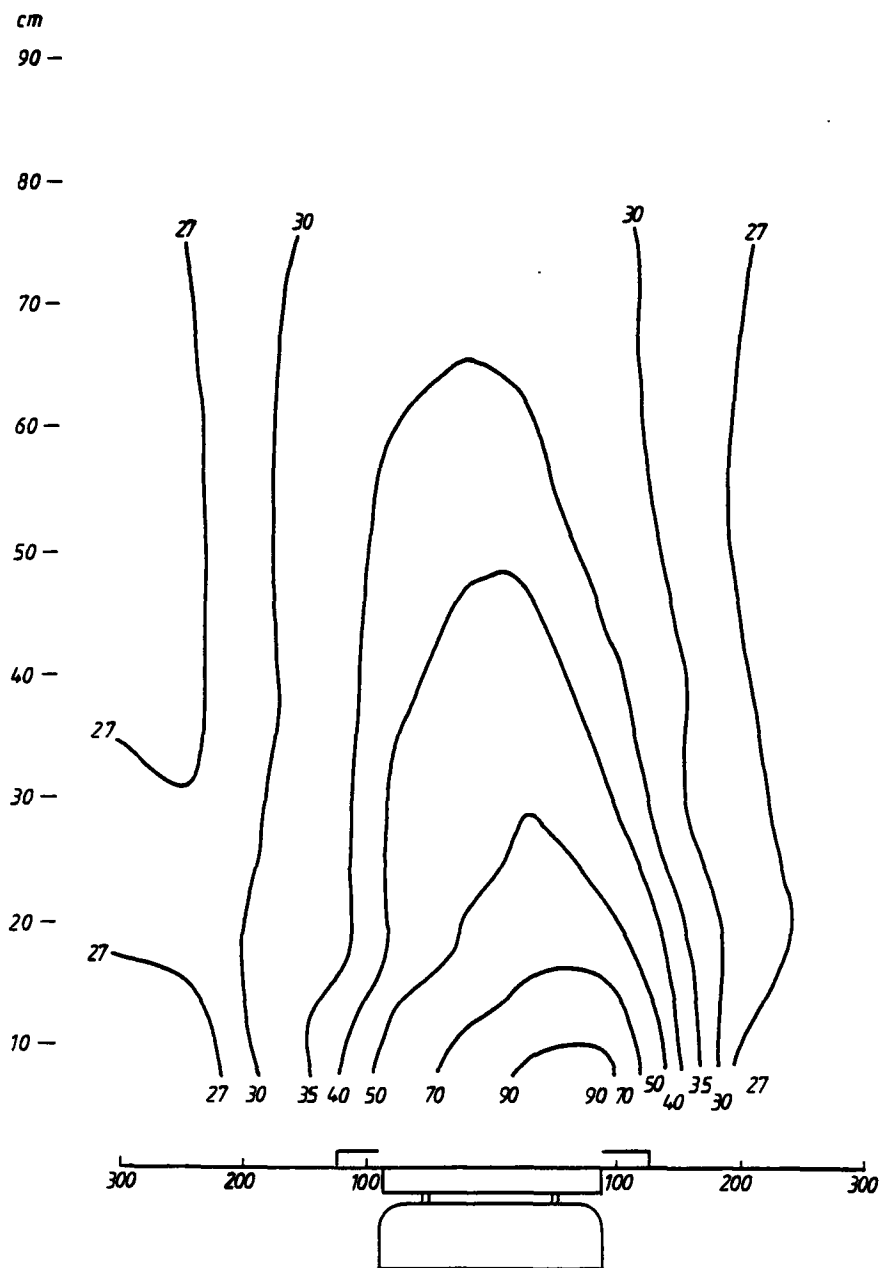
Temperaturen in °C bij proef 19: grote kookplaat 50 V met rechte aanblaas
 $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



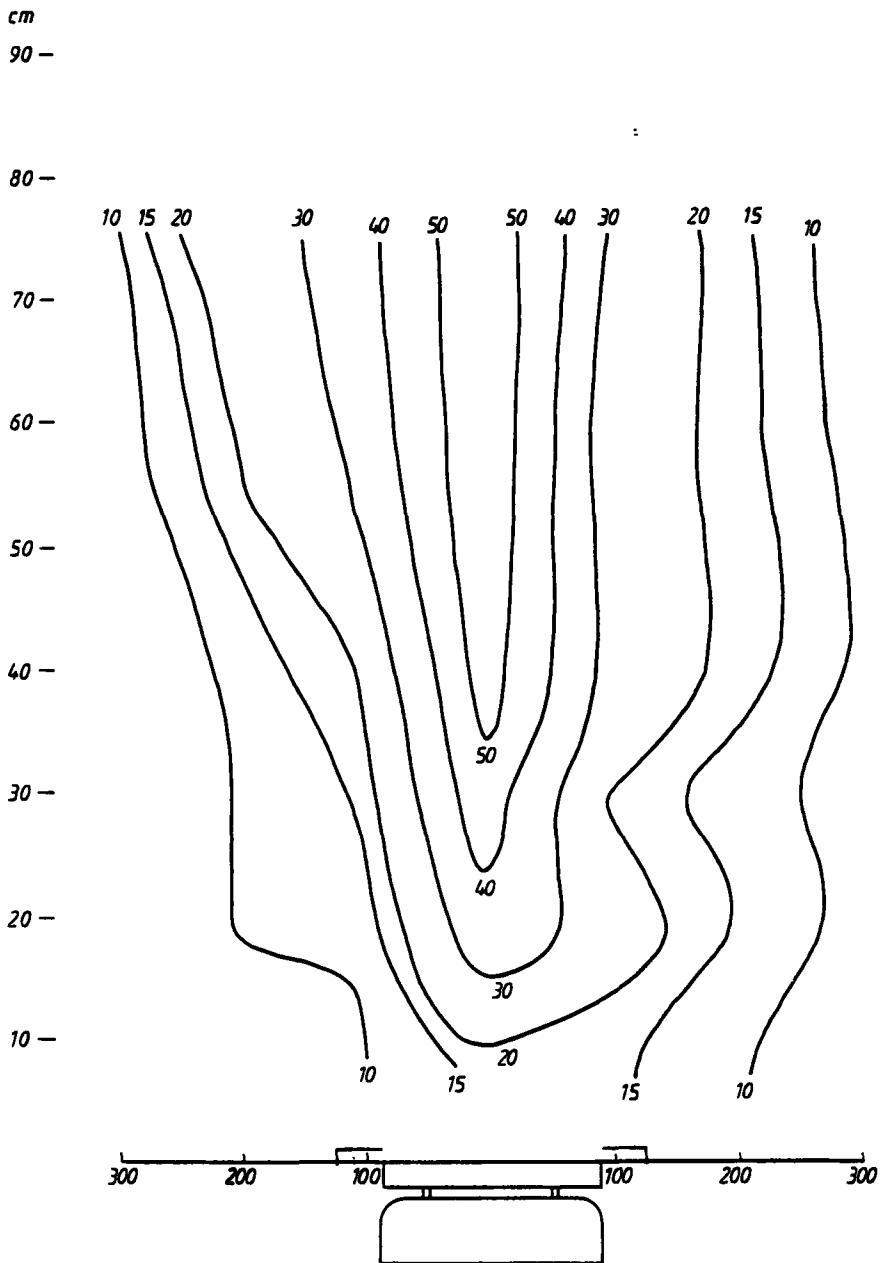
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 19: grote kookplaat 50 V met rechte aanblaas $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart.



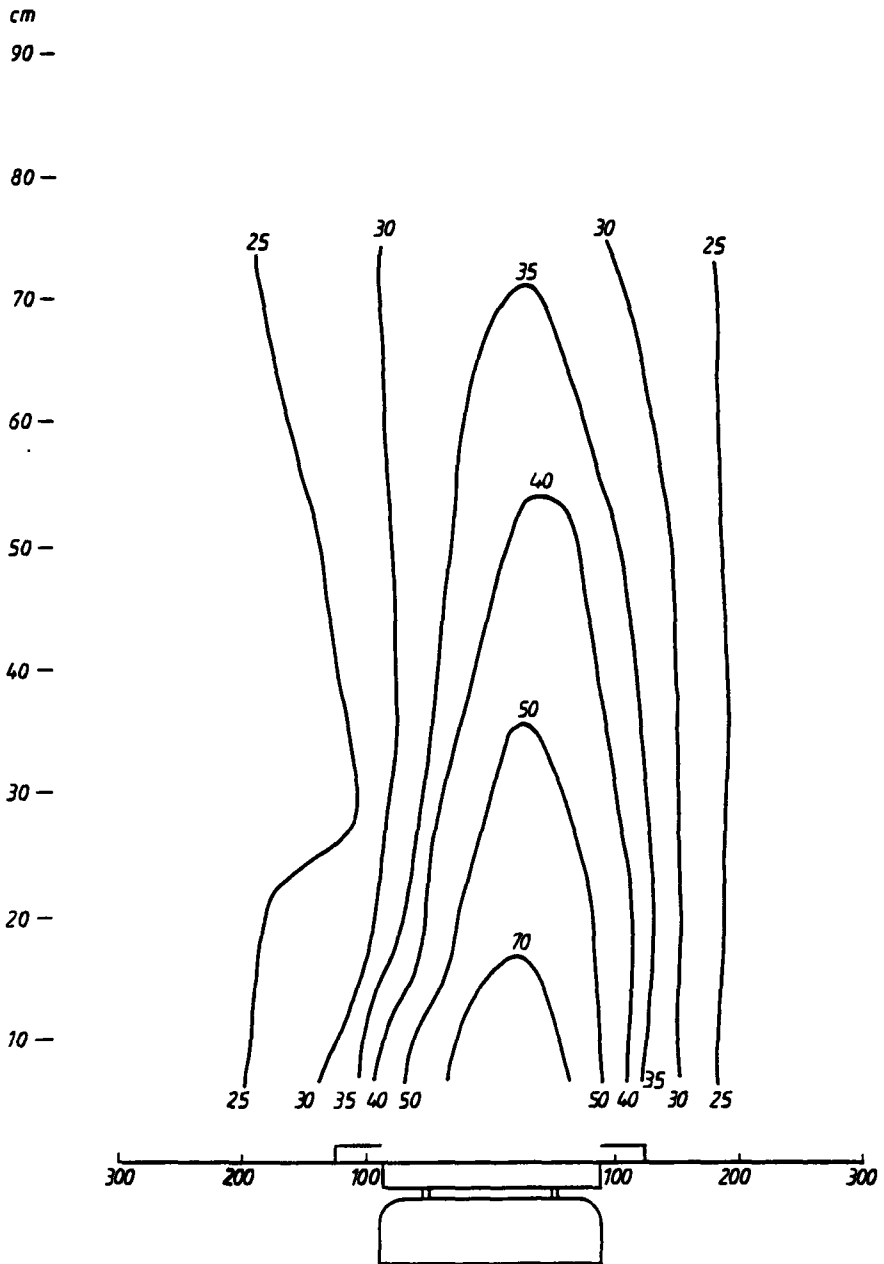
N_2O -concentraties in ppm bij proef 19: grote kookplaat 50 V met rechte aanblaas $0,83 \text{ dm}^3/\text{s}$ op het hart. N_2O -dosering $11,0 \text{ cm}^3/\text{s}$.



Temperaturen in °C bij proef 20: grote kookplaat 160 V voorzien van een aanstroomstuk met gat ϕ 190 mm.

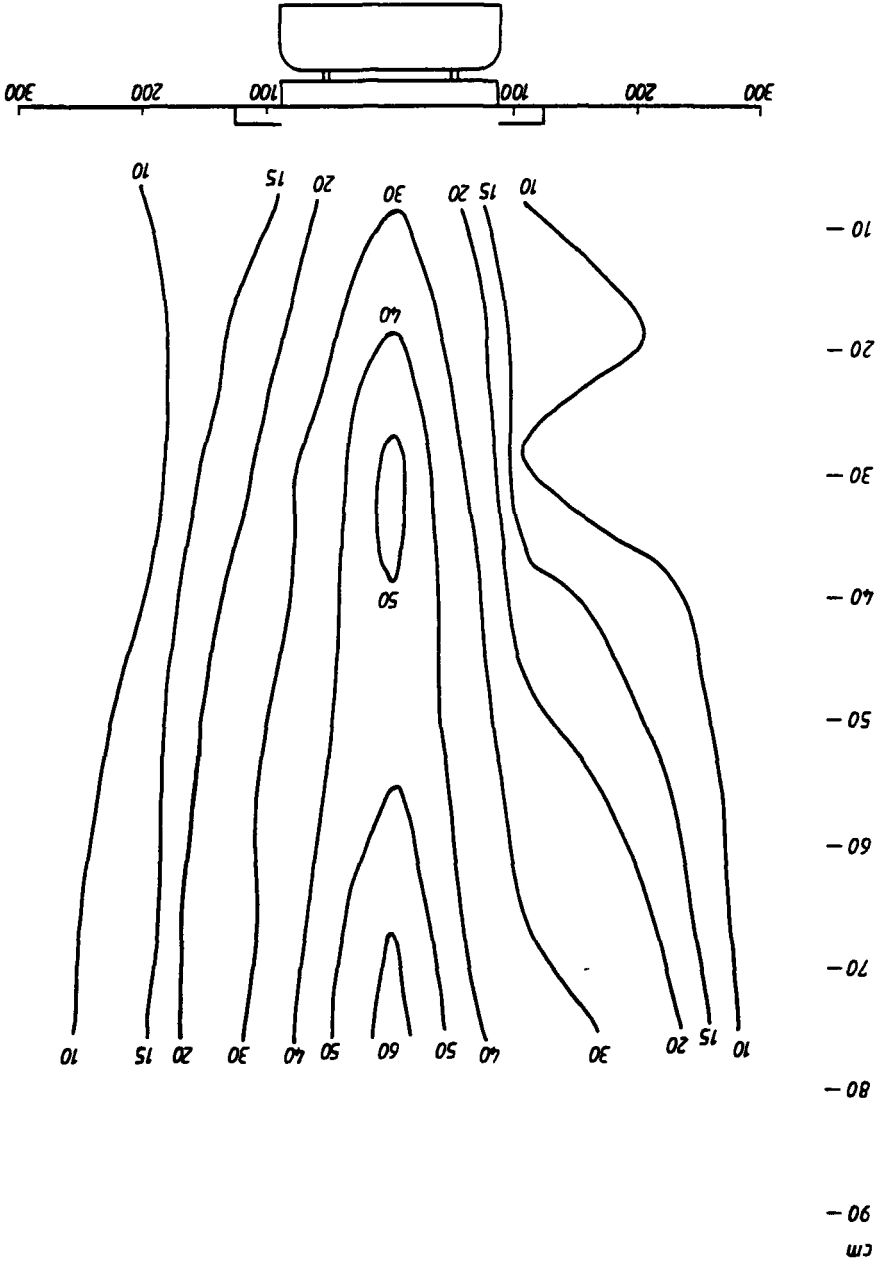


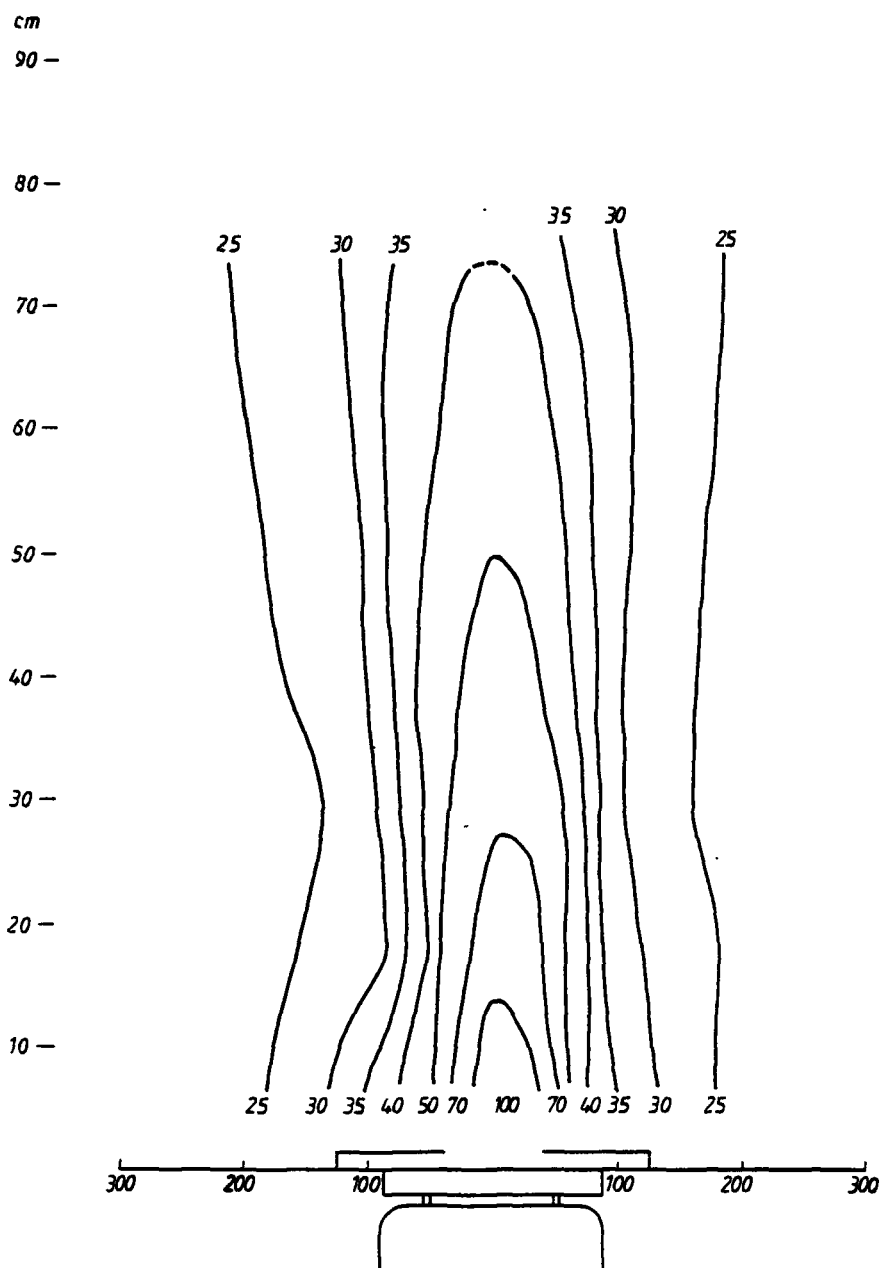
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 20: grote kookplaat 160 V voorzien van een aanstroomstuk met gat ϕ 190 mm.



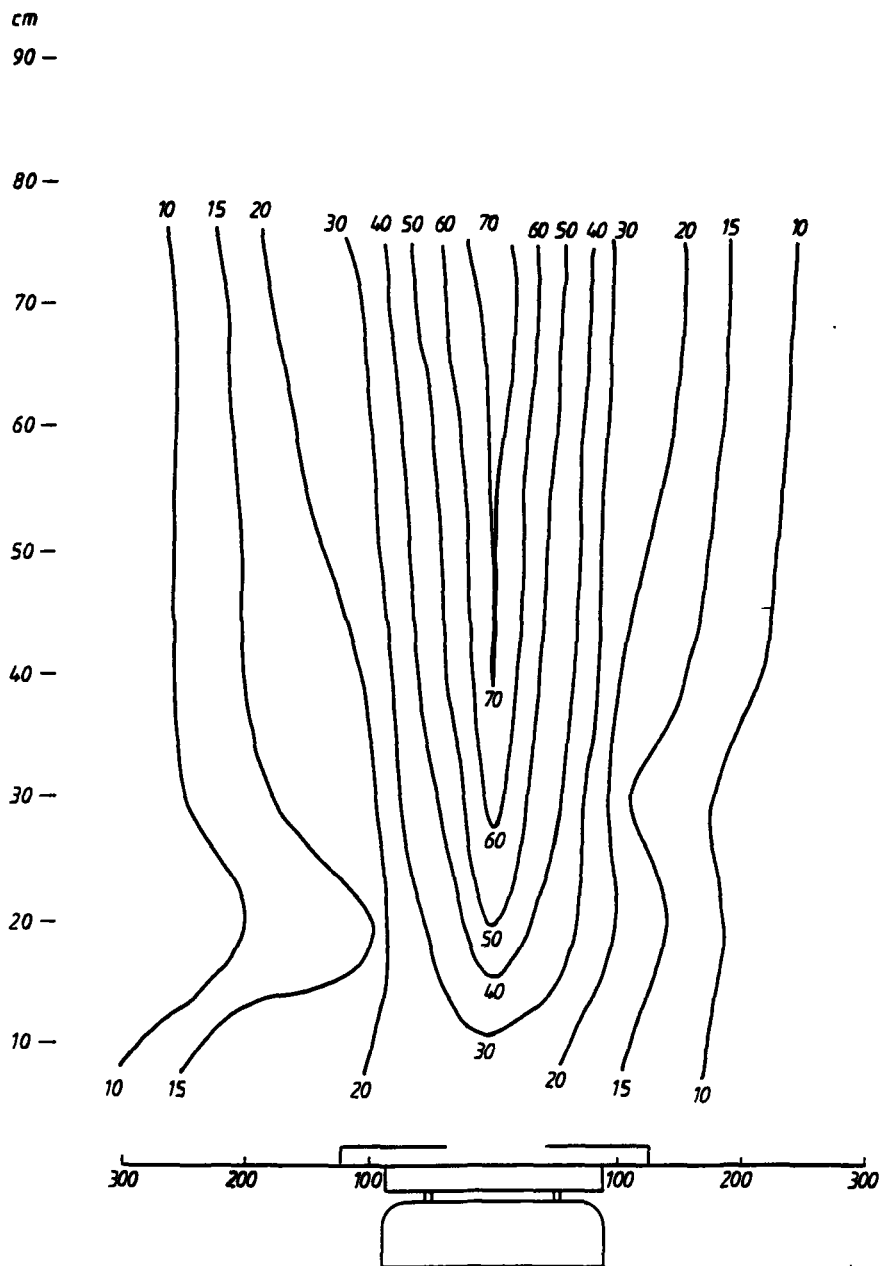
Temperaturen in °C bij proef 21: grote kookplaat 160 V voorzien van een aanstroomstuk met gat ϕ 140 mm.

Luchtsnelheden in cm/s bij proef 21: grote kookplaat 160 V voorzien van een aanstroomstuk met gat ϕ 140 mm.

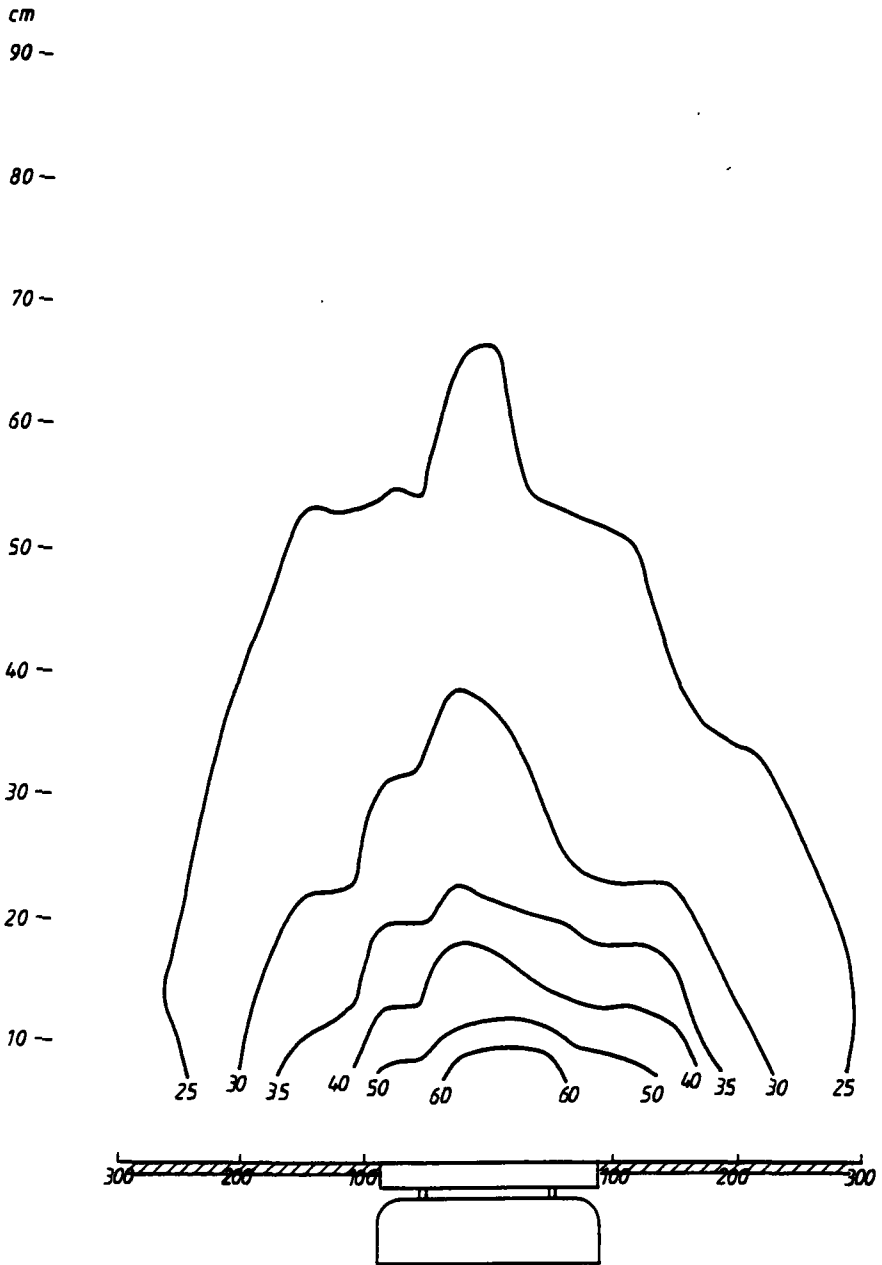




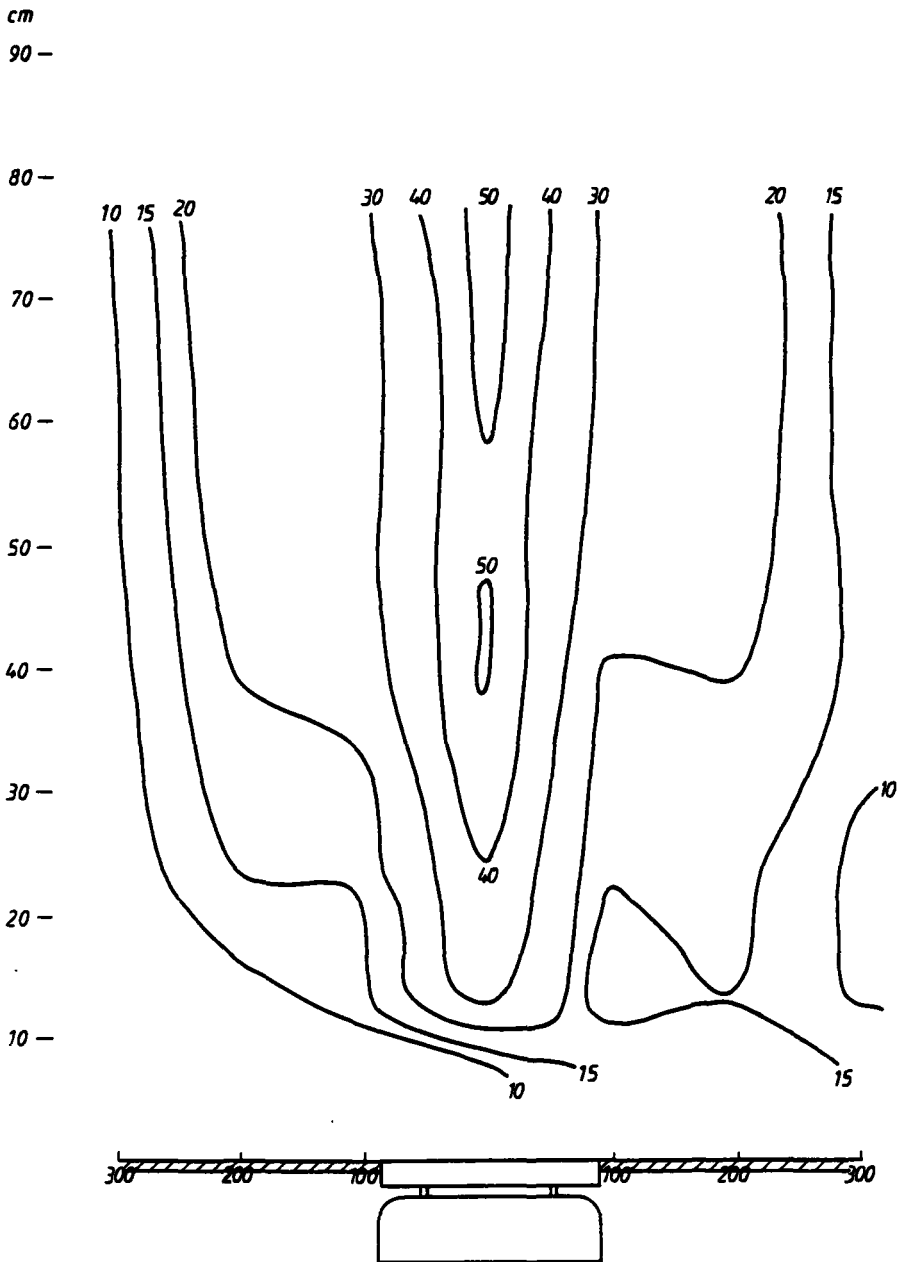
Temperaturen in °C bij proef 22: grote kookplaat 160 V voorzien van een aanstroomstuk met gat ϕ 70 mm.



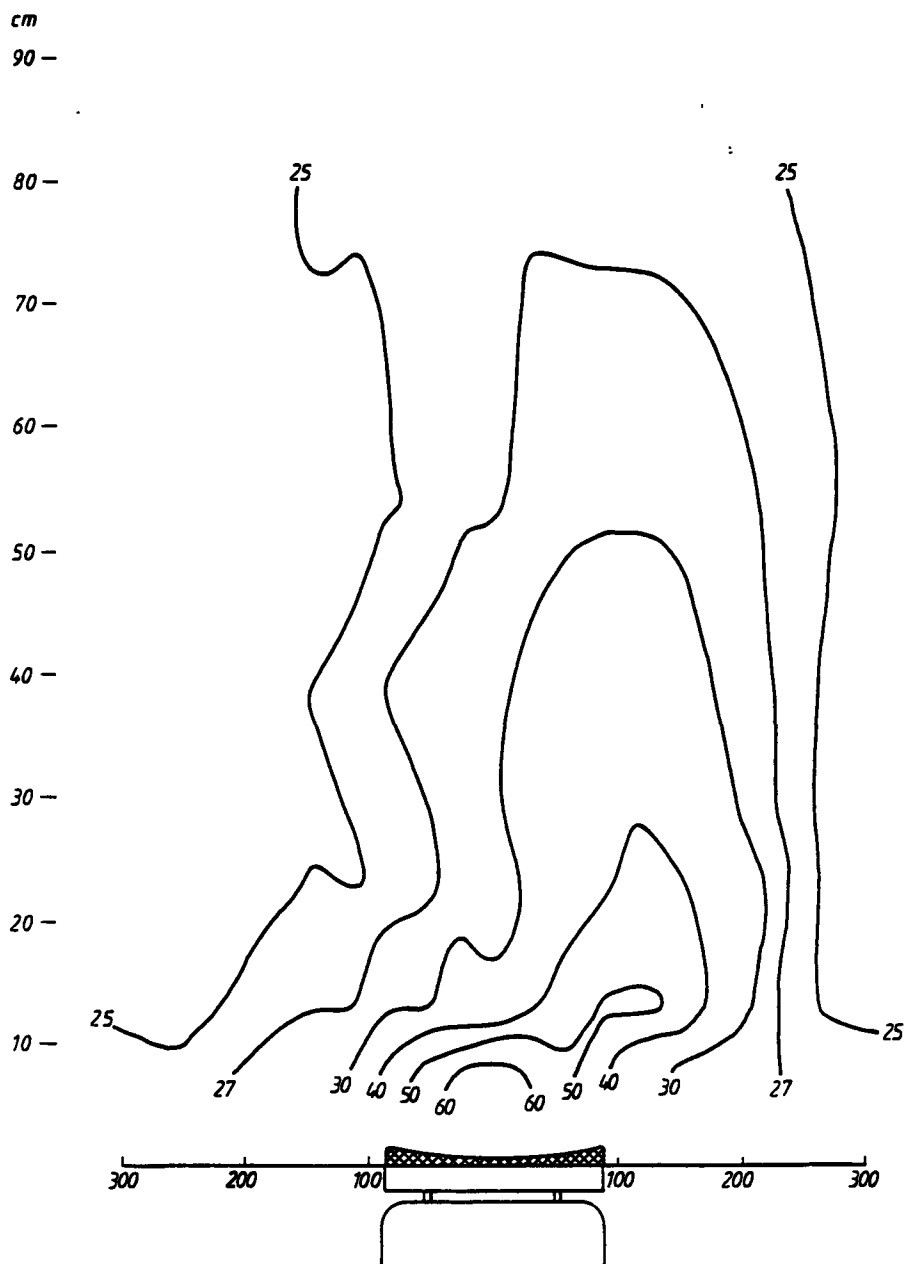
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 22: grote kookplaat 160 V voorzien van een aanstroomstuk met ϕ 70 mm.



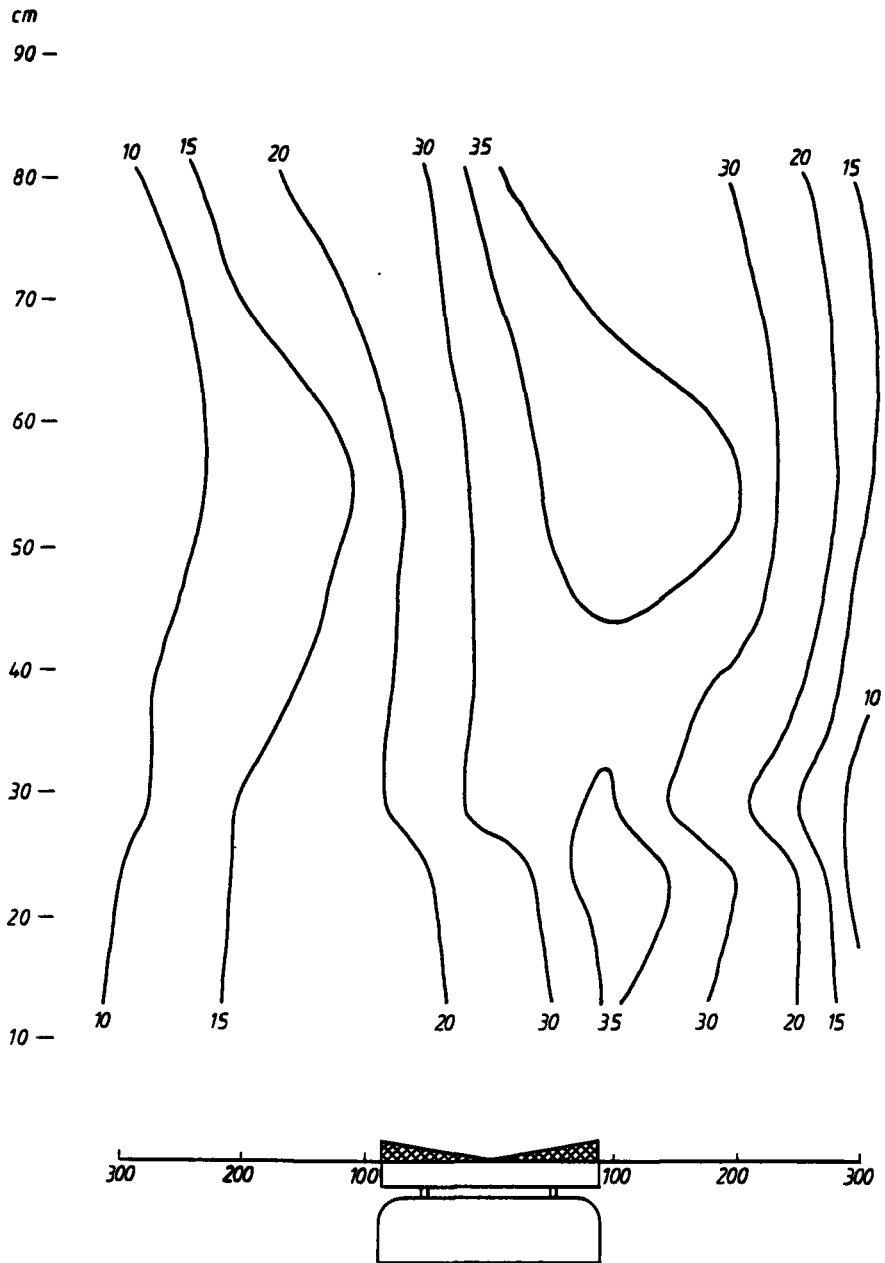
Temperaturen in °C bij proef 23: grote kookplaat 160 V omgeven door een vlak aanstroomstuk vierkant 600 mm.



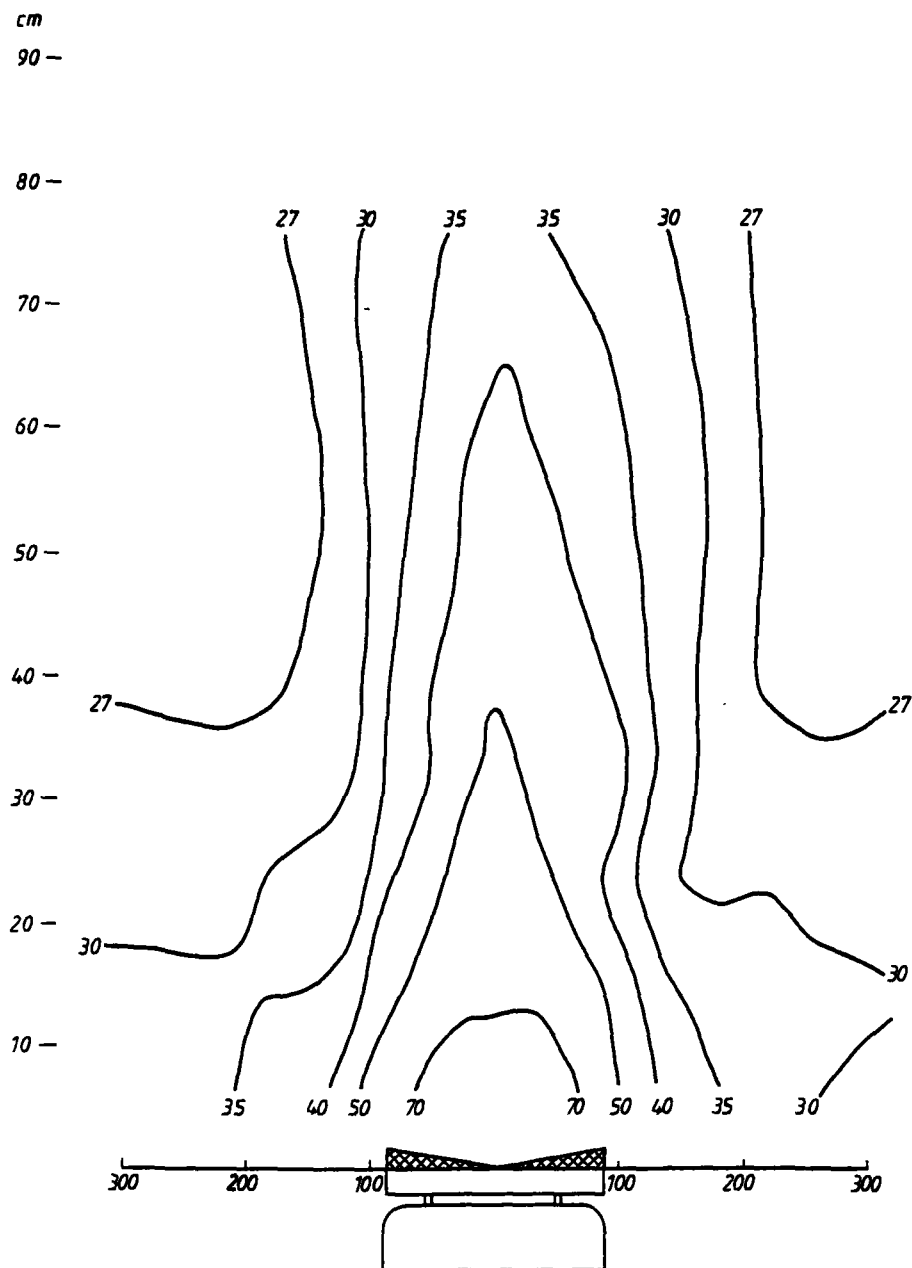
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 23: grote kookplaat 160 V omgeven door een vlak aanstroomstuk vierkant 600 mm.



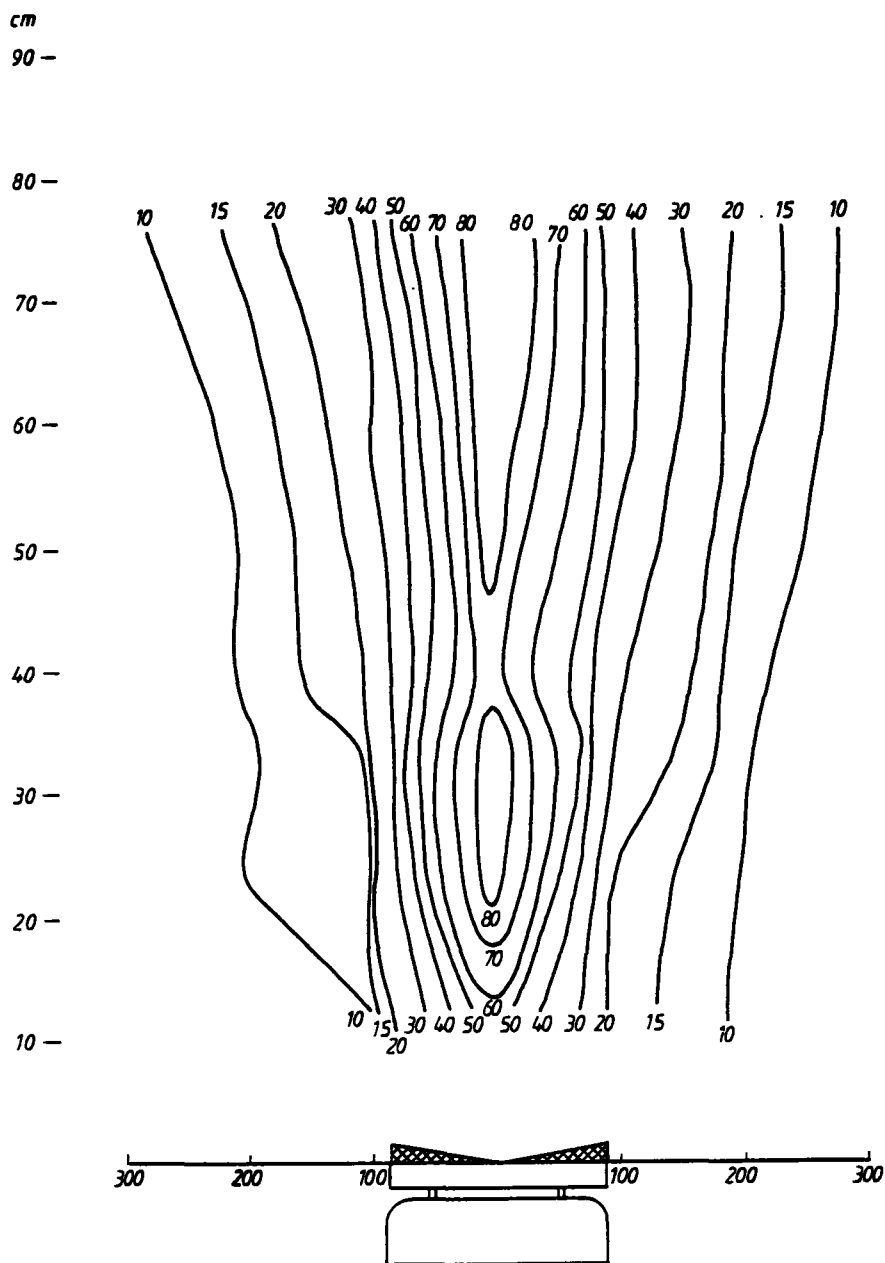
Temperaturen in °C bij proef 24: grote kookplaat 160 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 220 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.



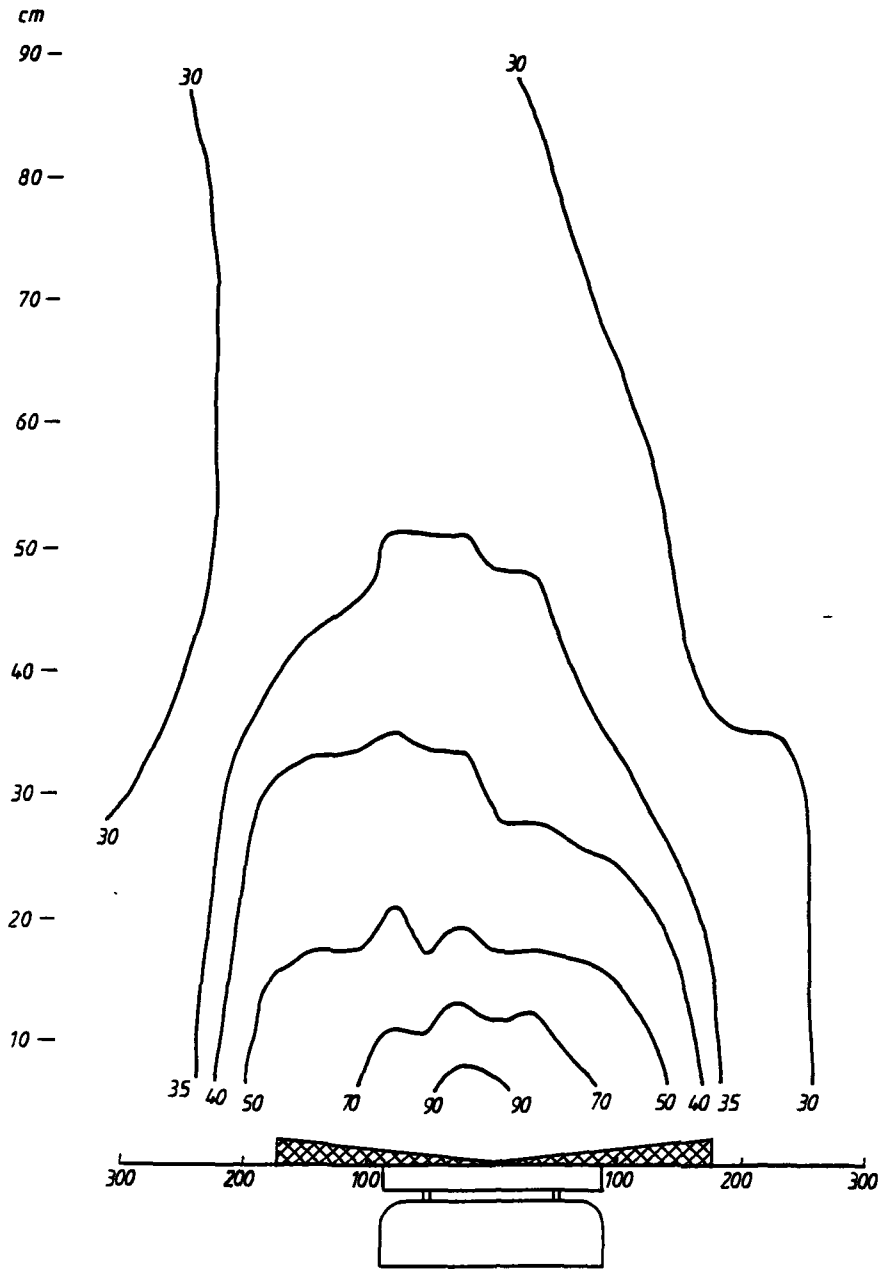
Luchtsnelheden bij proef 24: grote kookplaat 160 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 220 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.



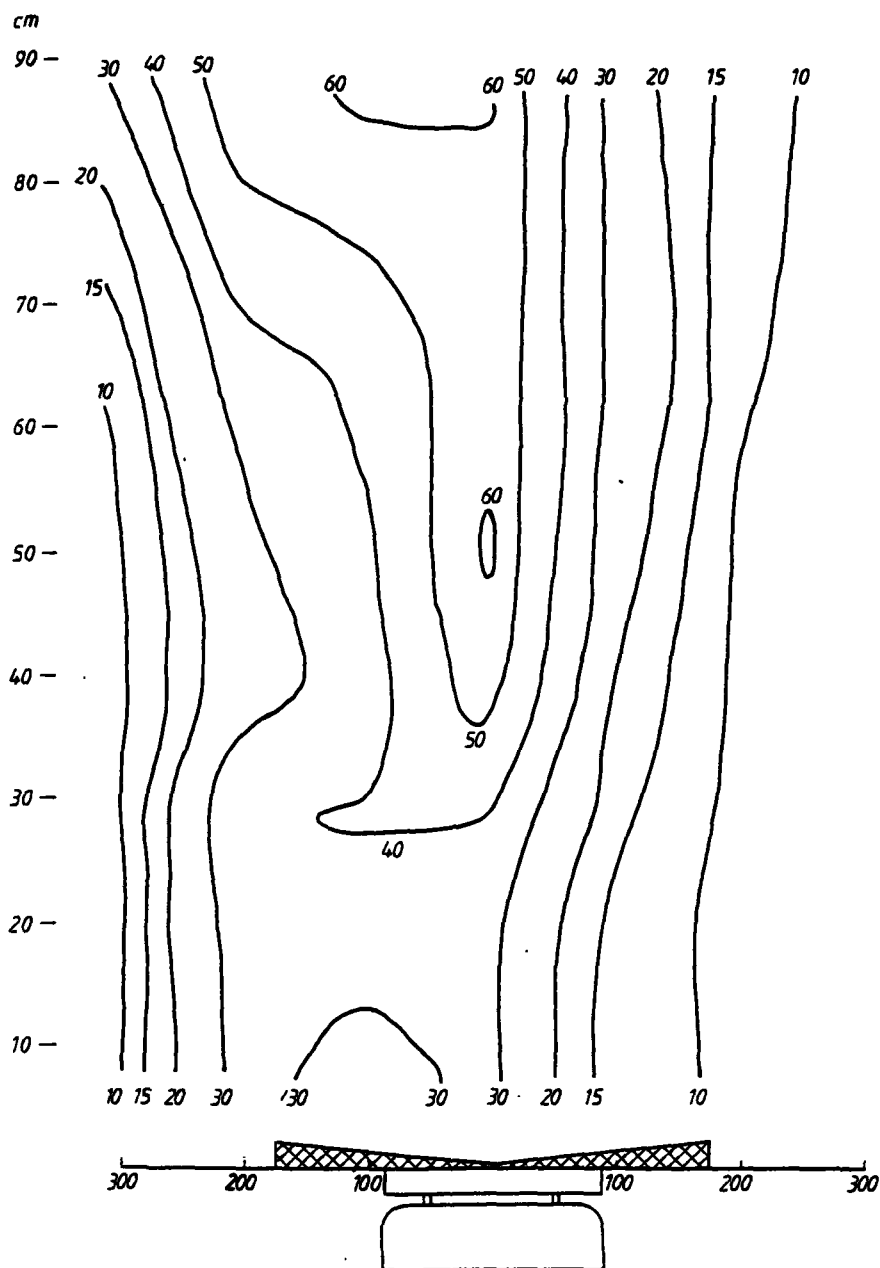
Temperaturen in °C bij proef 25: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 220 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.



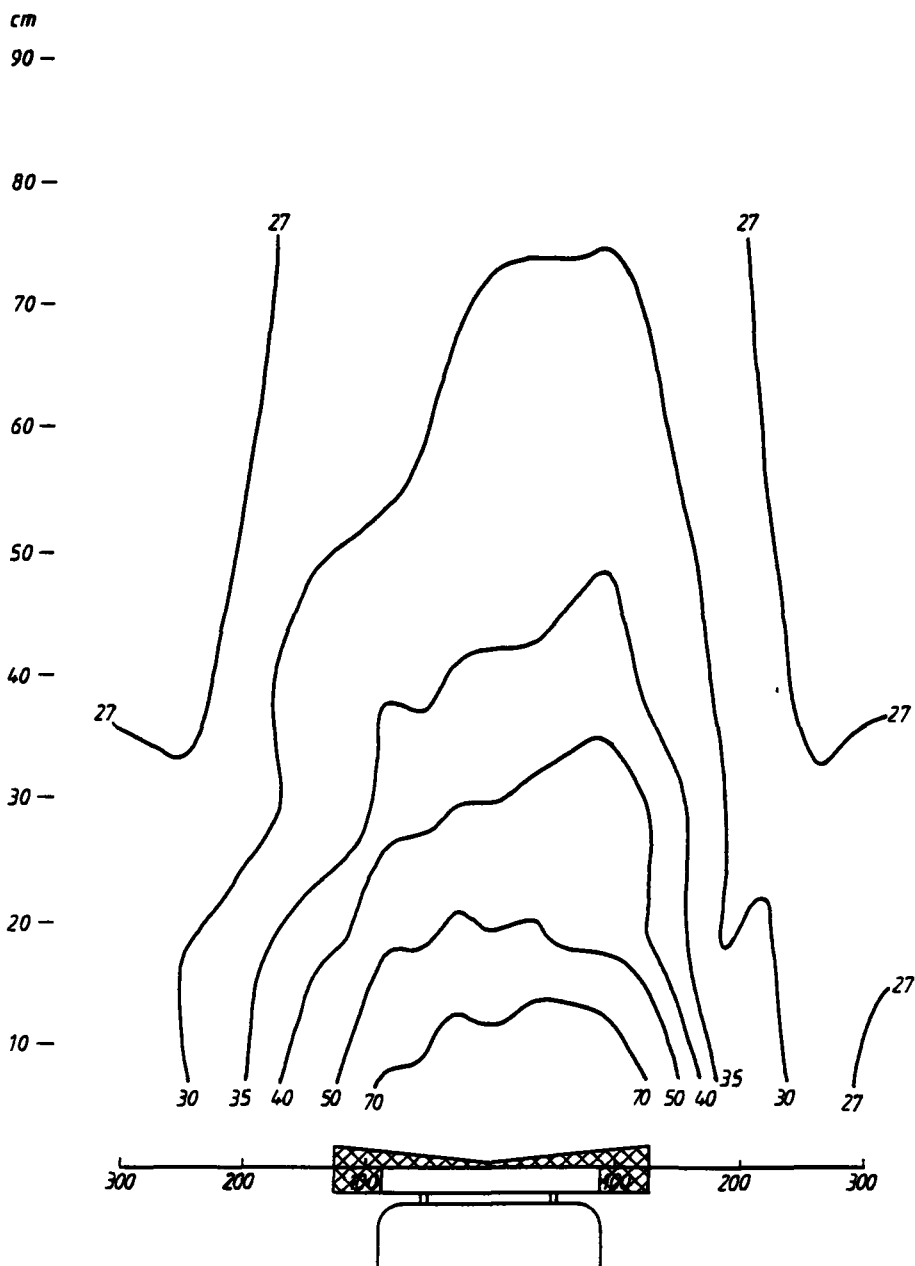
Luchtsnelheden bij proef 25: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat \varnothing 220 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.



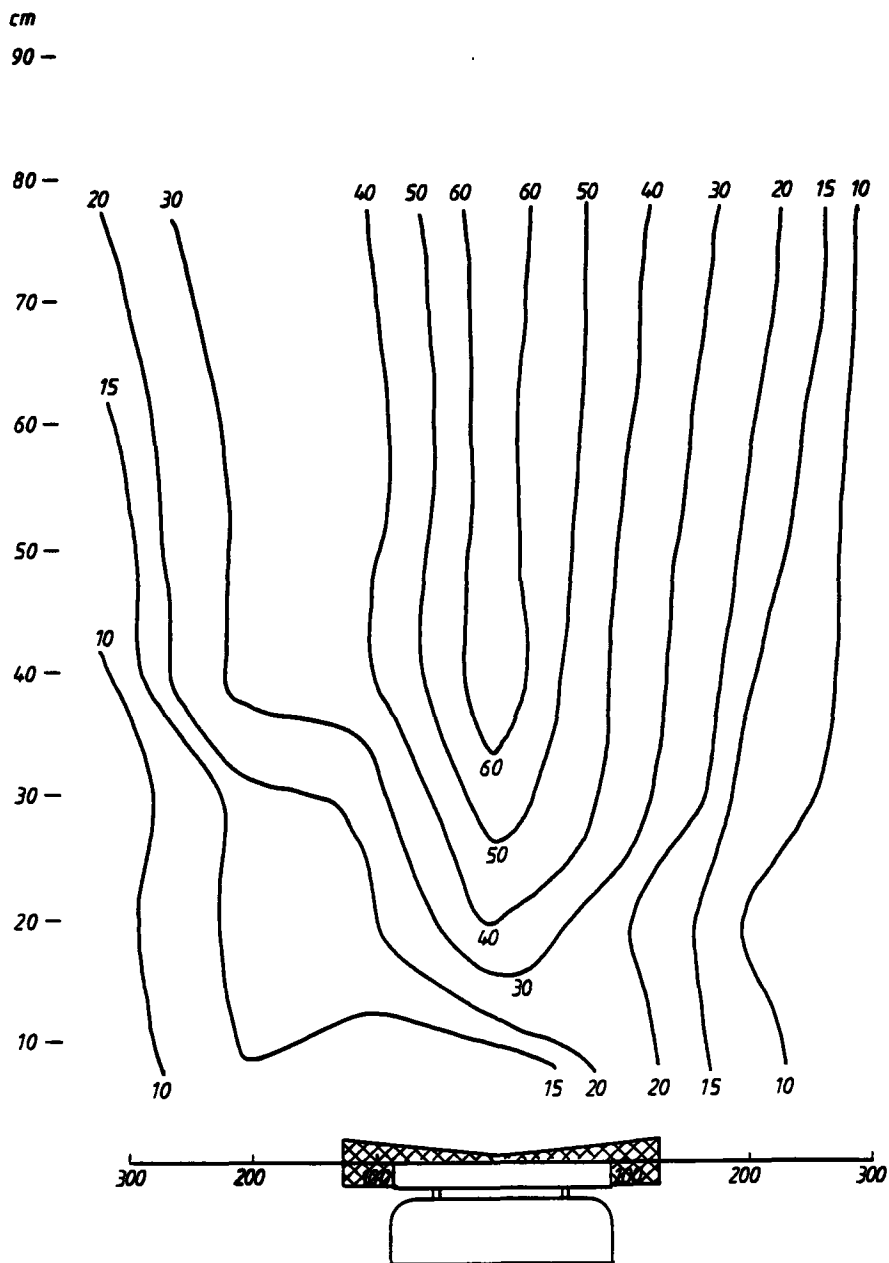
Temperaturen in °C bij proef 26: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 350 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.



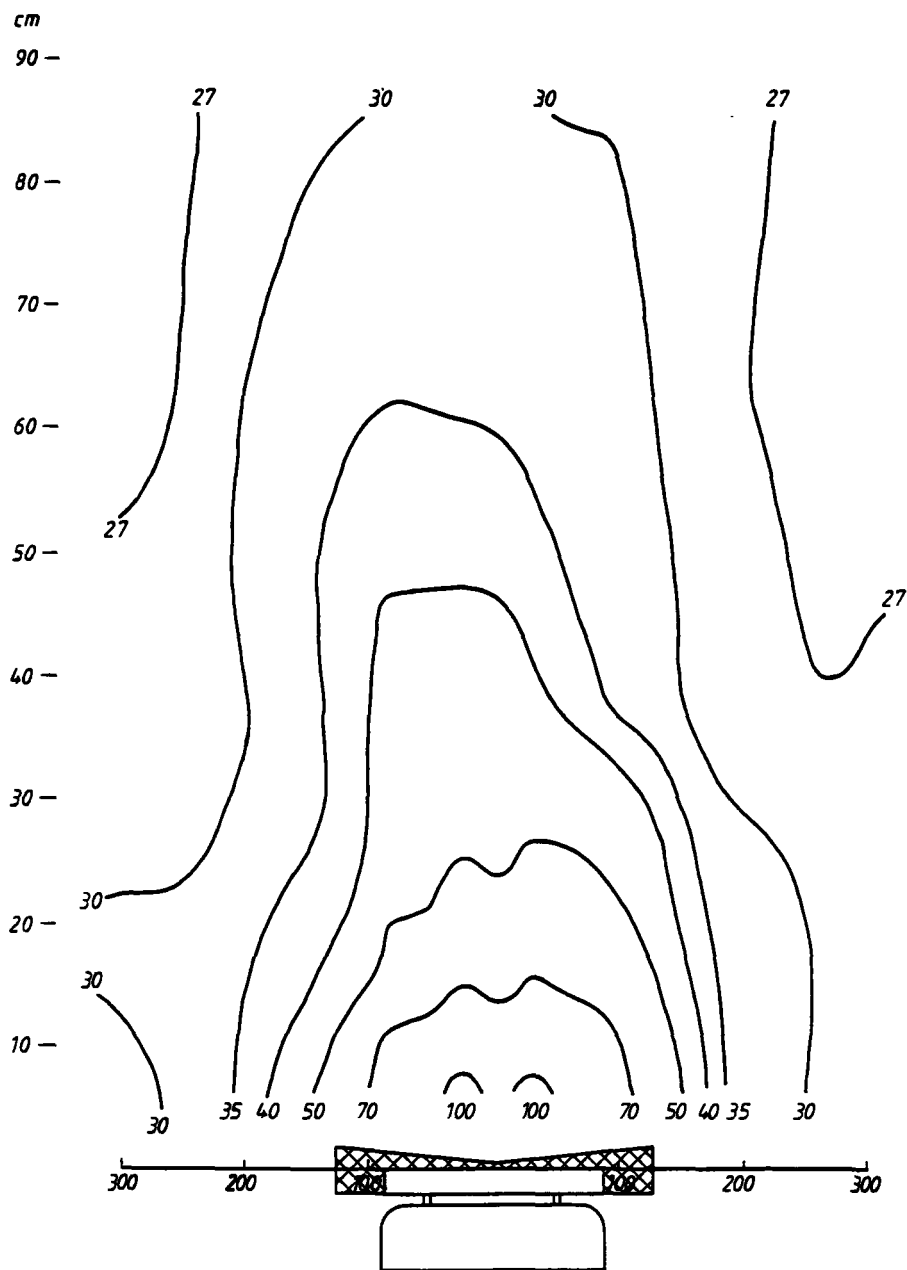
Luchtsnelheden bij proef 26: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 350 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$.



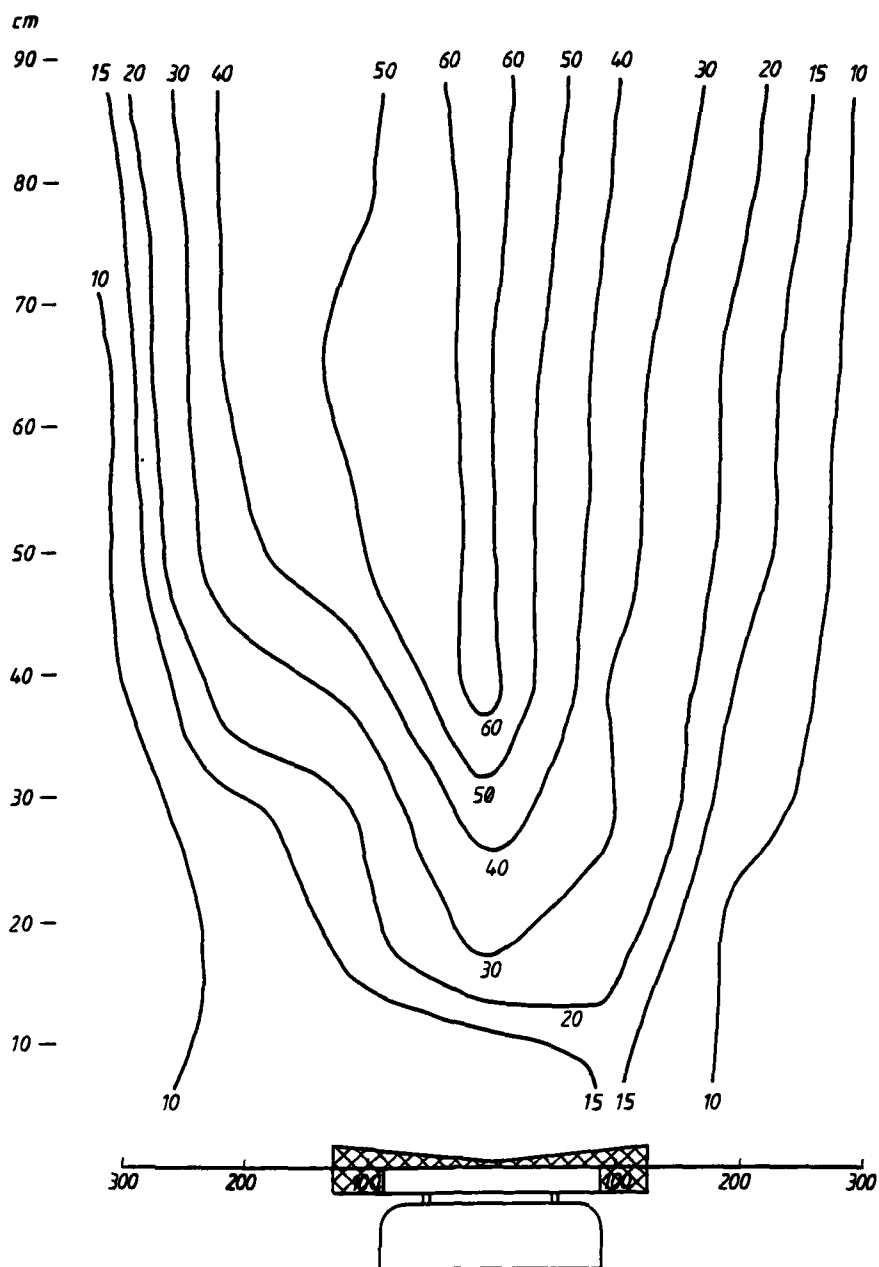
Temperaturen in °C bij proef 27: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 300 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ en randisolatie.



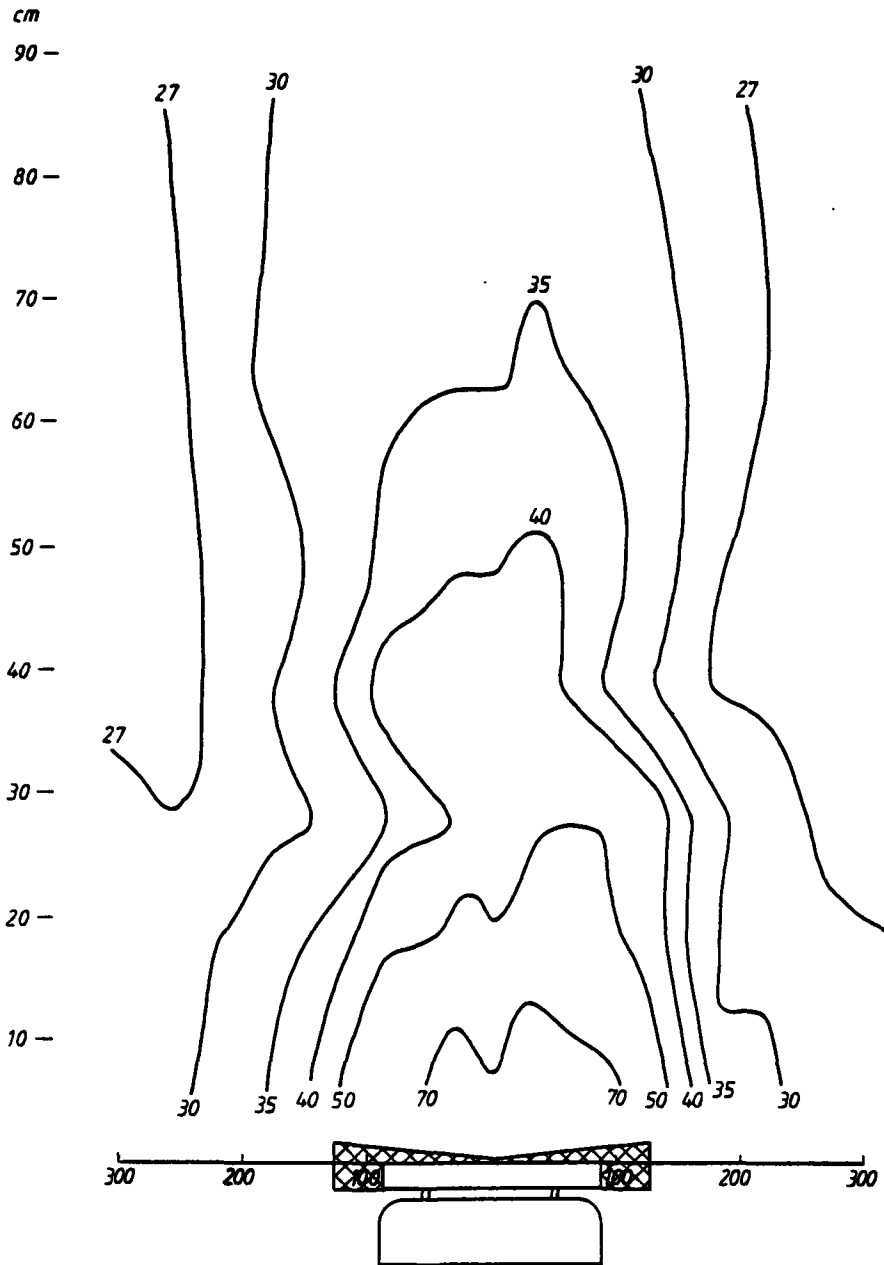
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 27: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat \varnothing 300 mm, $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ en randisolatie.



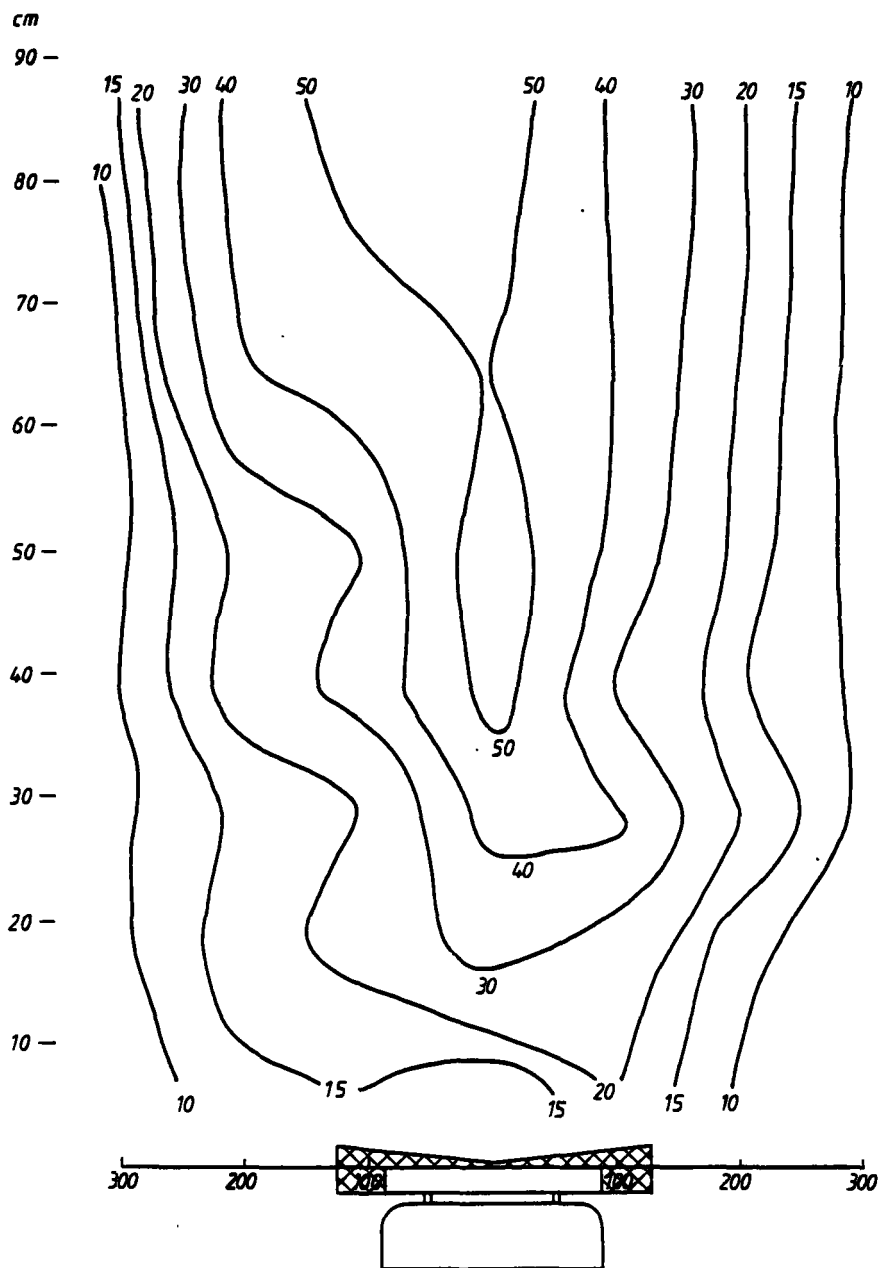
Temperaturen in °C bij proef 28: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 260 mm.
 $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ en randisolatie.



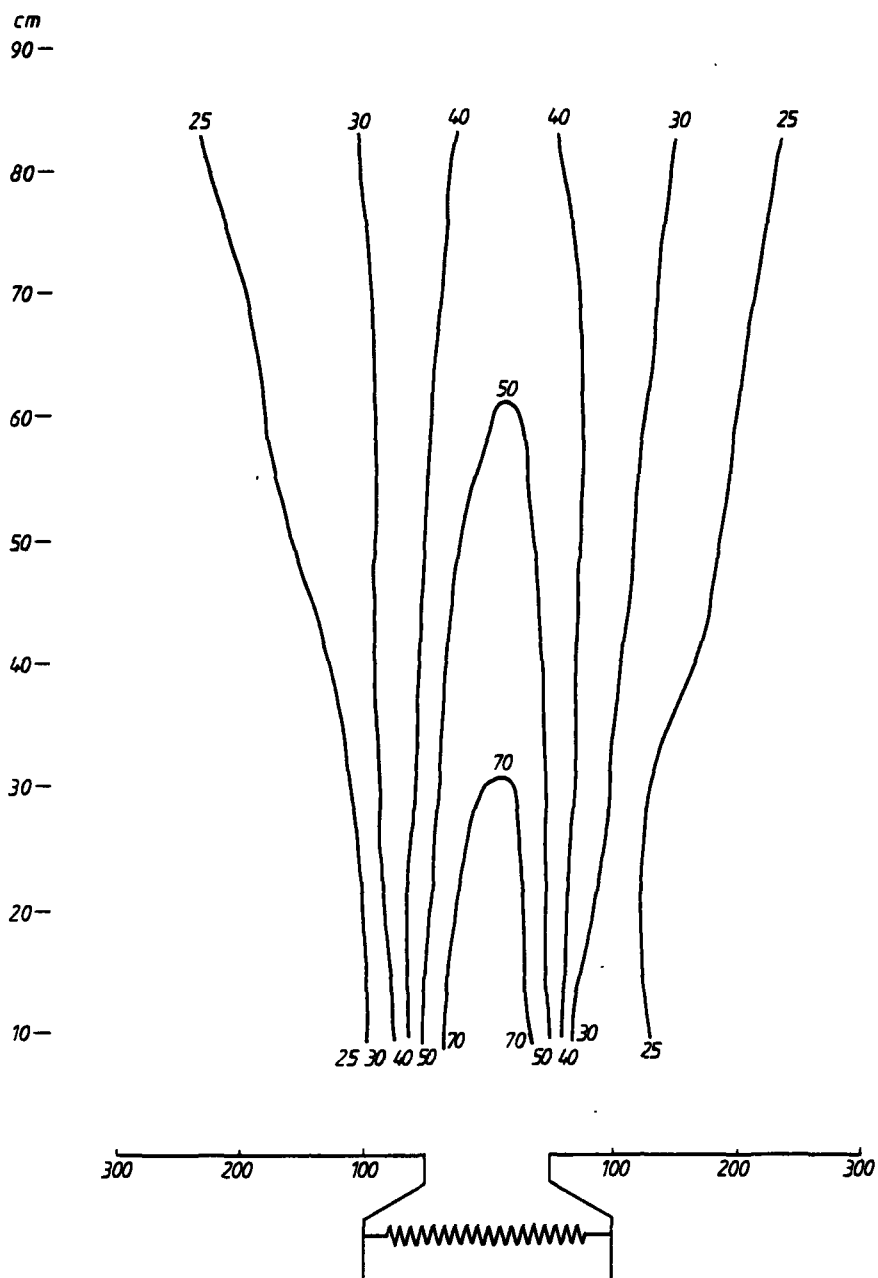
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 28: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 260 mm, $R = 0$ tot $0,5 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ en randisolatie.



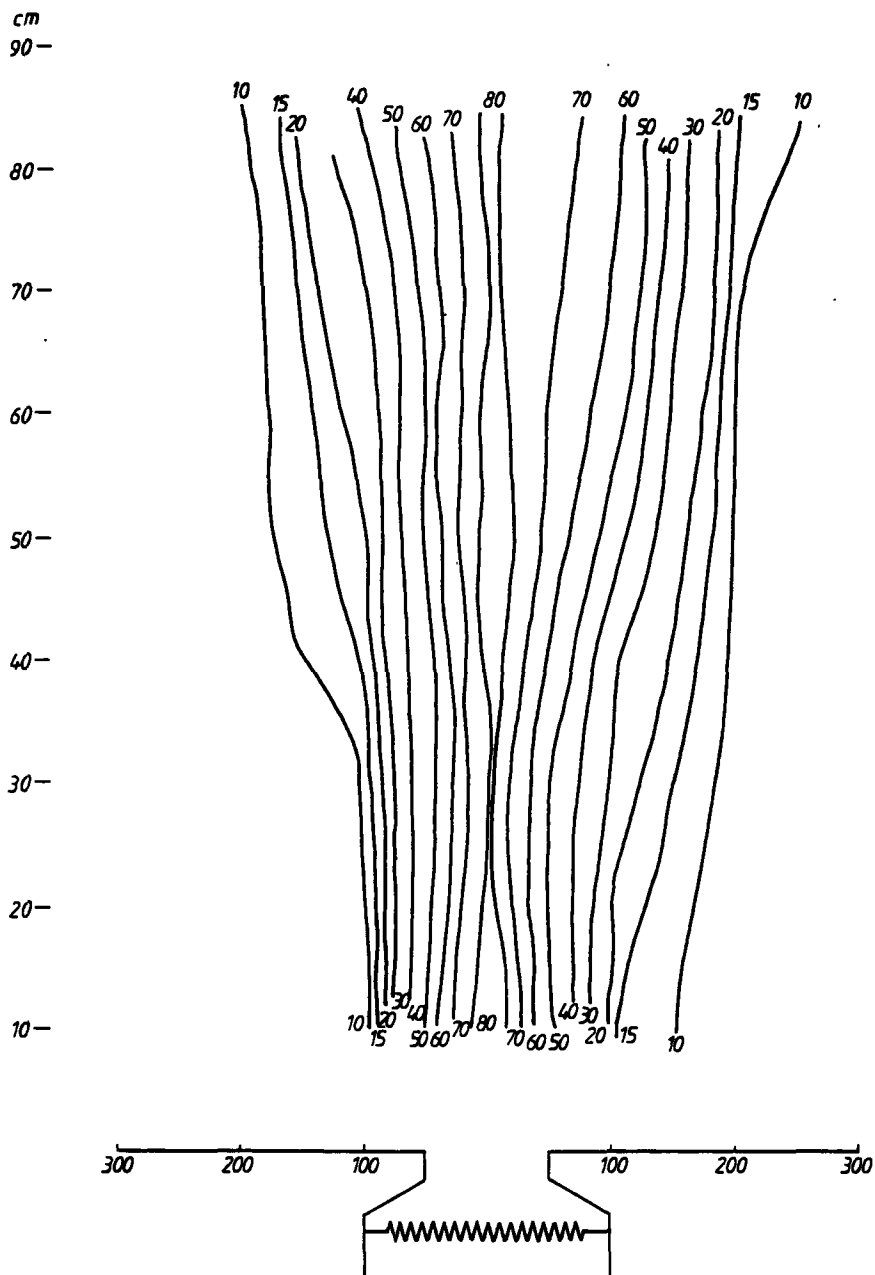
Temperaturen in °C bij proef 29: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 260mm.
 $R = 0$ tot $1,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ en randisolatie.



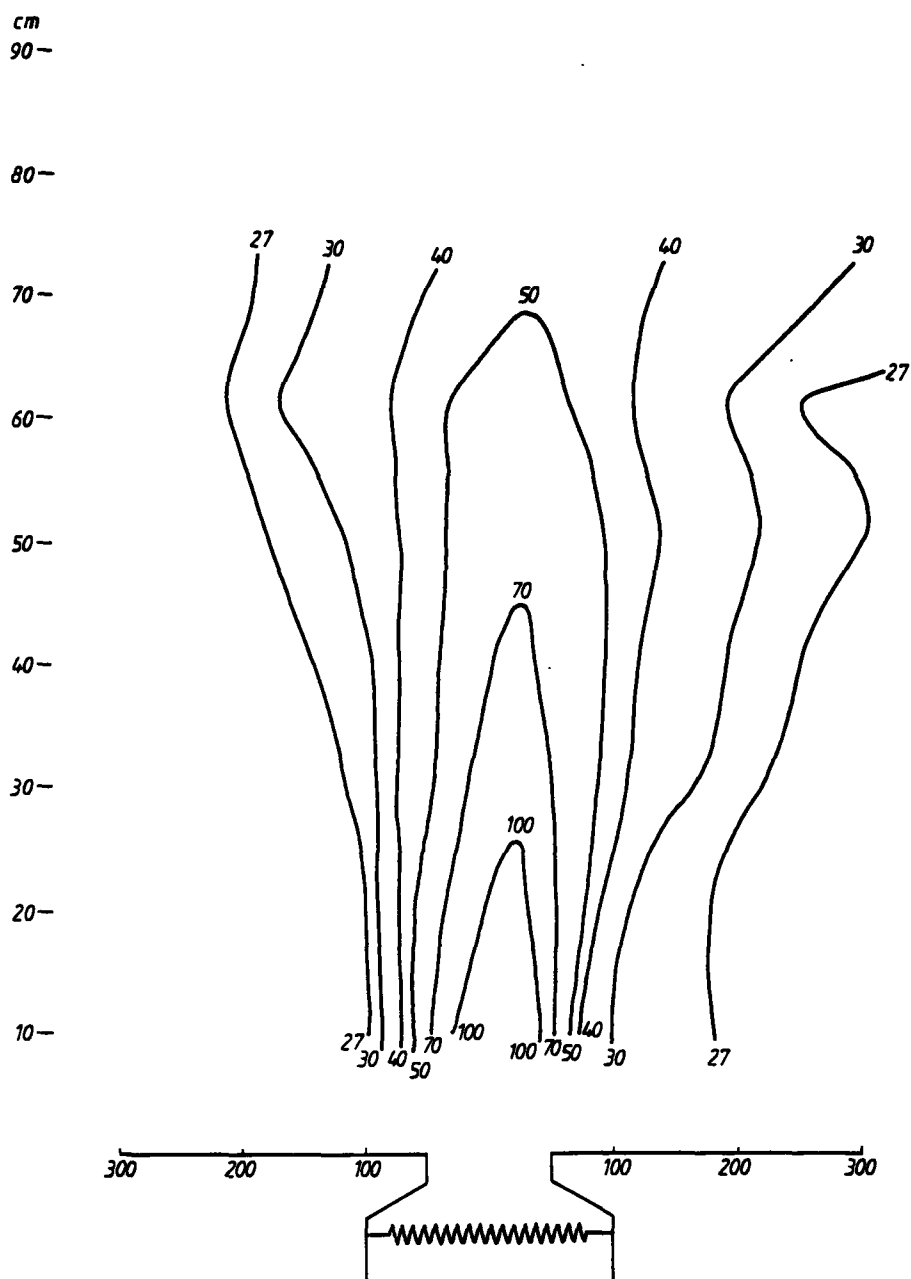
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 29: grote kookplaat 220 V met vanuit het midden oplopende isolatieplaat ϕ 260 mm, $R = 0$ tot $1,0 \text{ m}^2 \text{ K/W}$ en randisolatie.



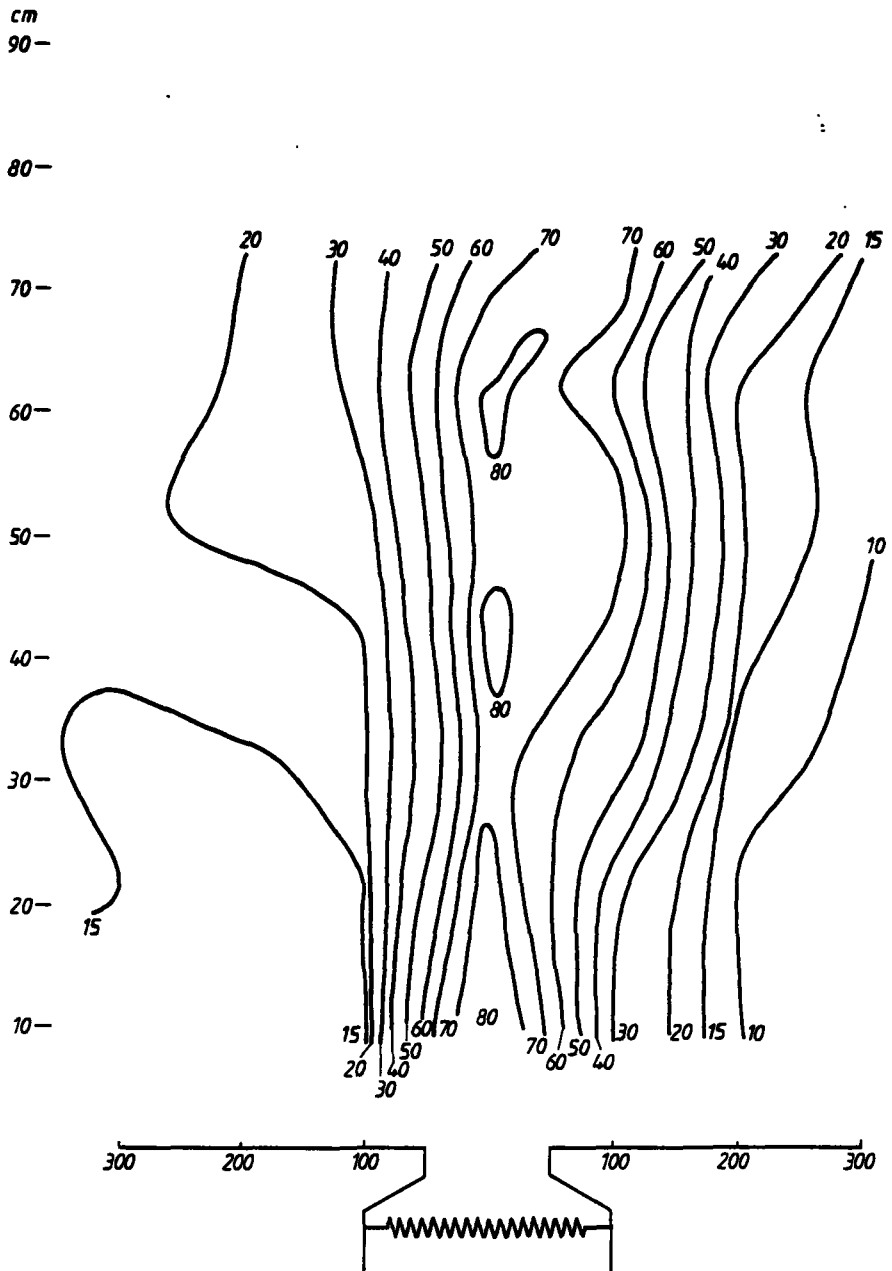
Temperaturen in °C bij proef 30: warme-luchtstraal, stookspanning 150 V.



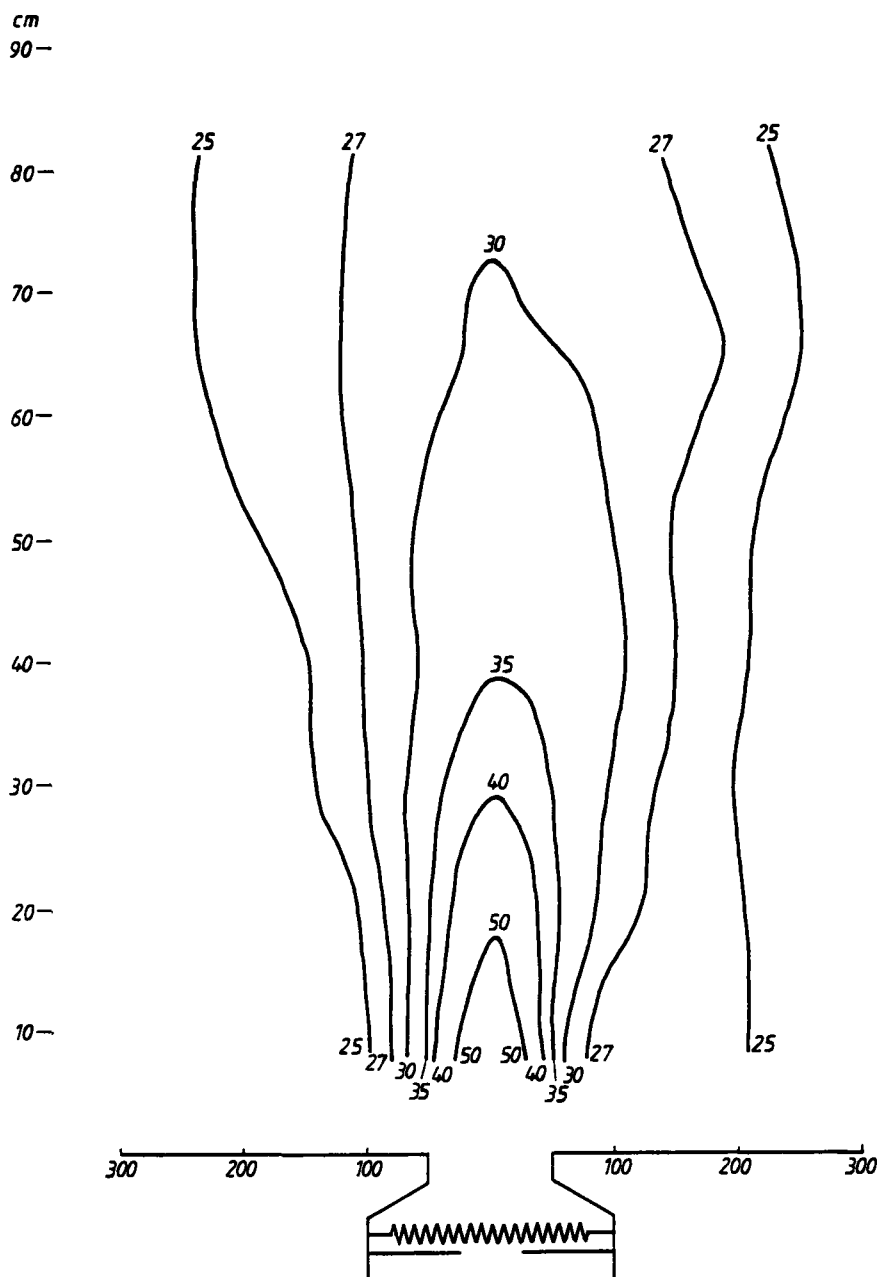
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 30: warme-luchtstraal, stookspanning 150 V.



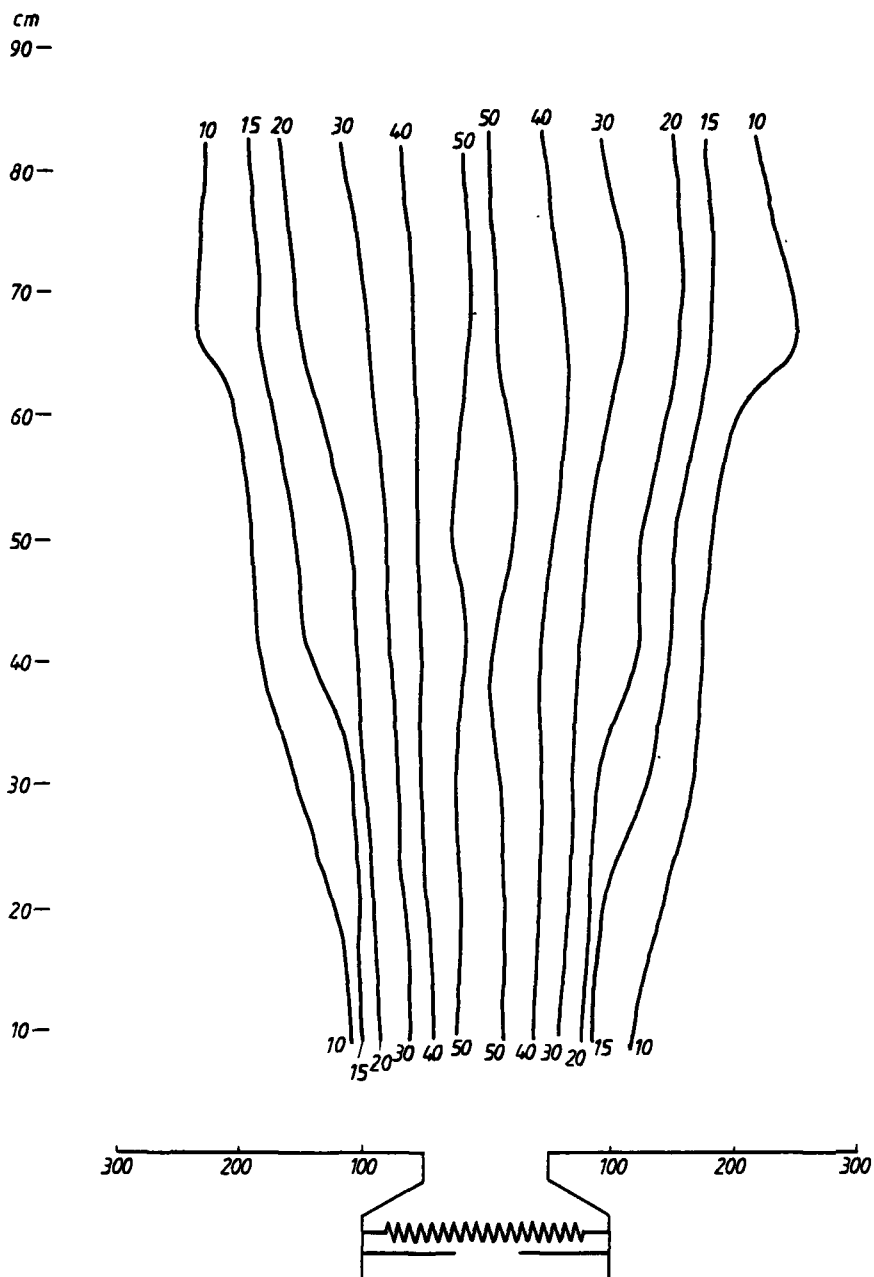
Temperaturen in °C bij proef 31: warme-luchtstraal, stookspanning 200 V.



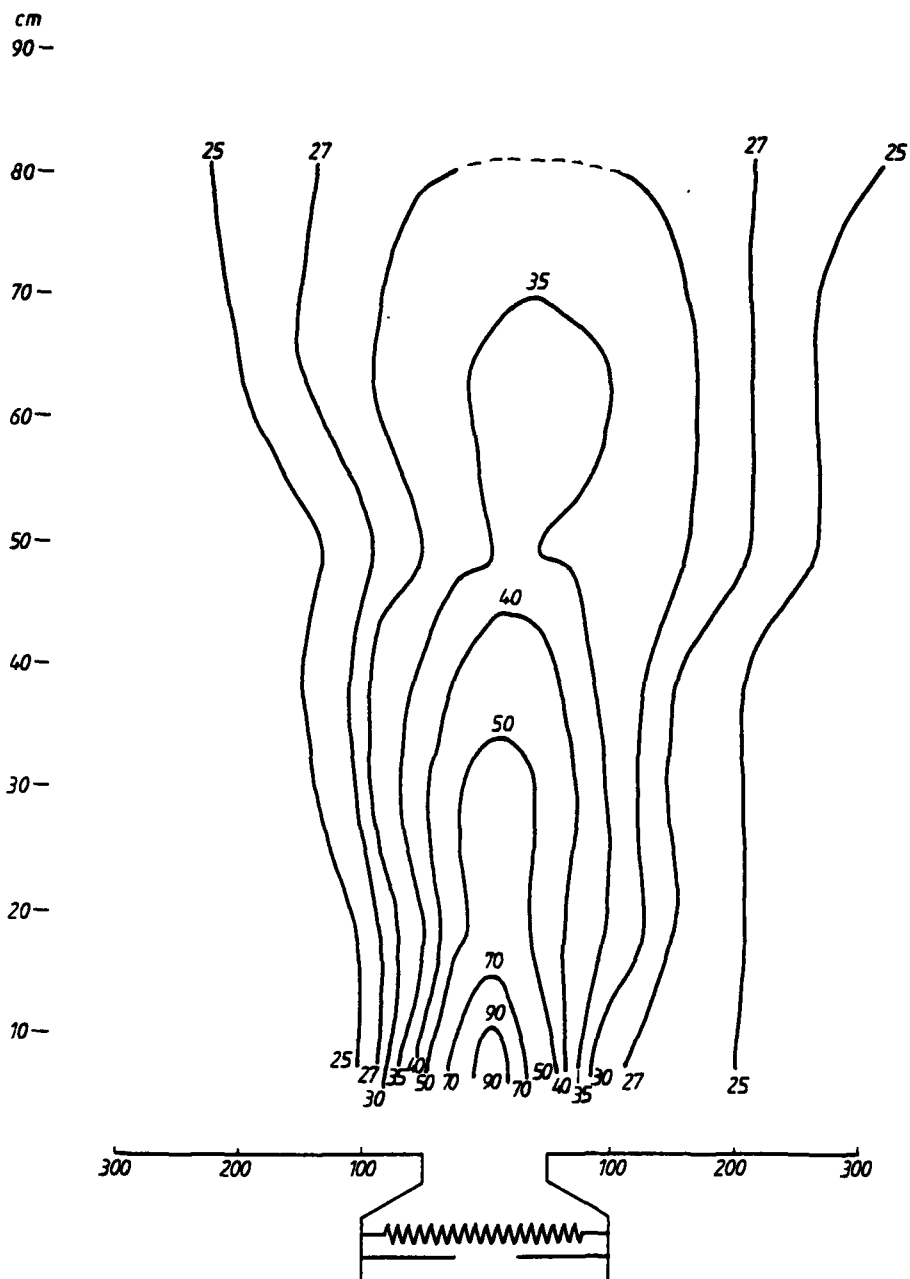
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 31: warme-luchtstraal, stookspanning 200 V.



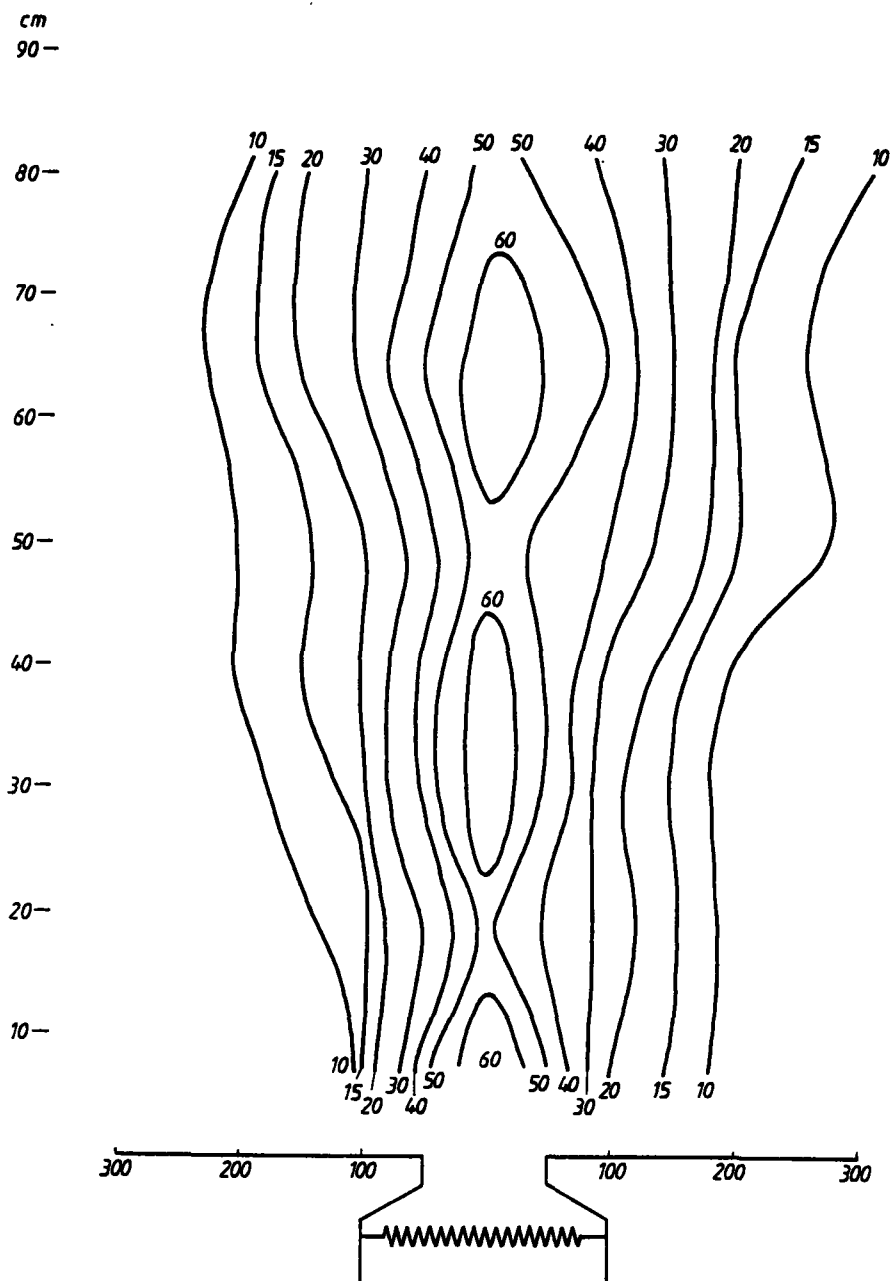
Temperaturen in °C bij proef 32: warme-luchtstraal, stookspanning 78 V, aanzuigopening ϕ 80 mm in plaats van ϕ 200 mm.



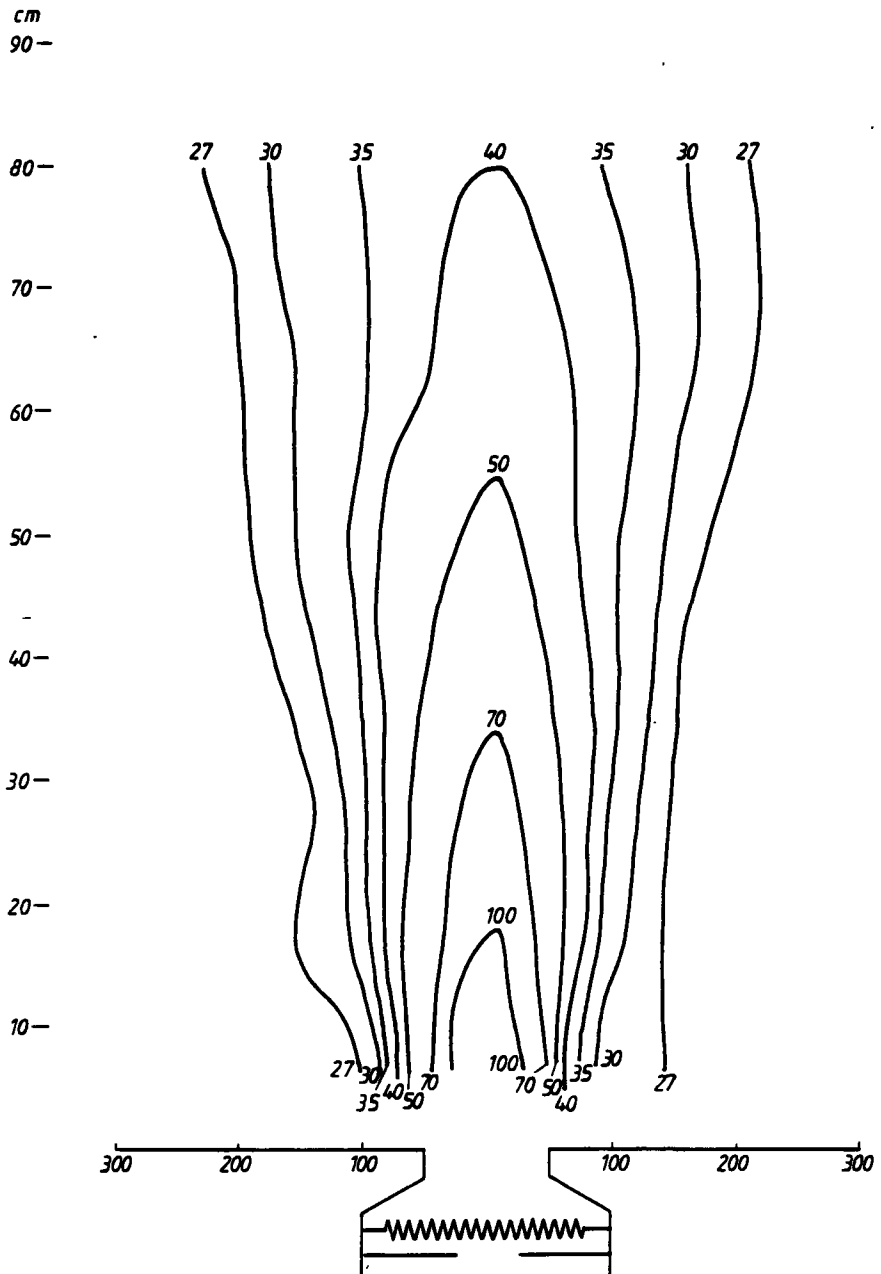
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 32: warme-luchtstraal, stookspanning 78 V, aanzuigopening ϕ 80 mm in plaats van ϕ 200 mm.



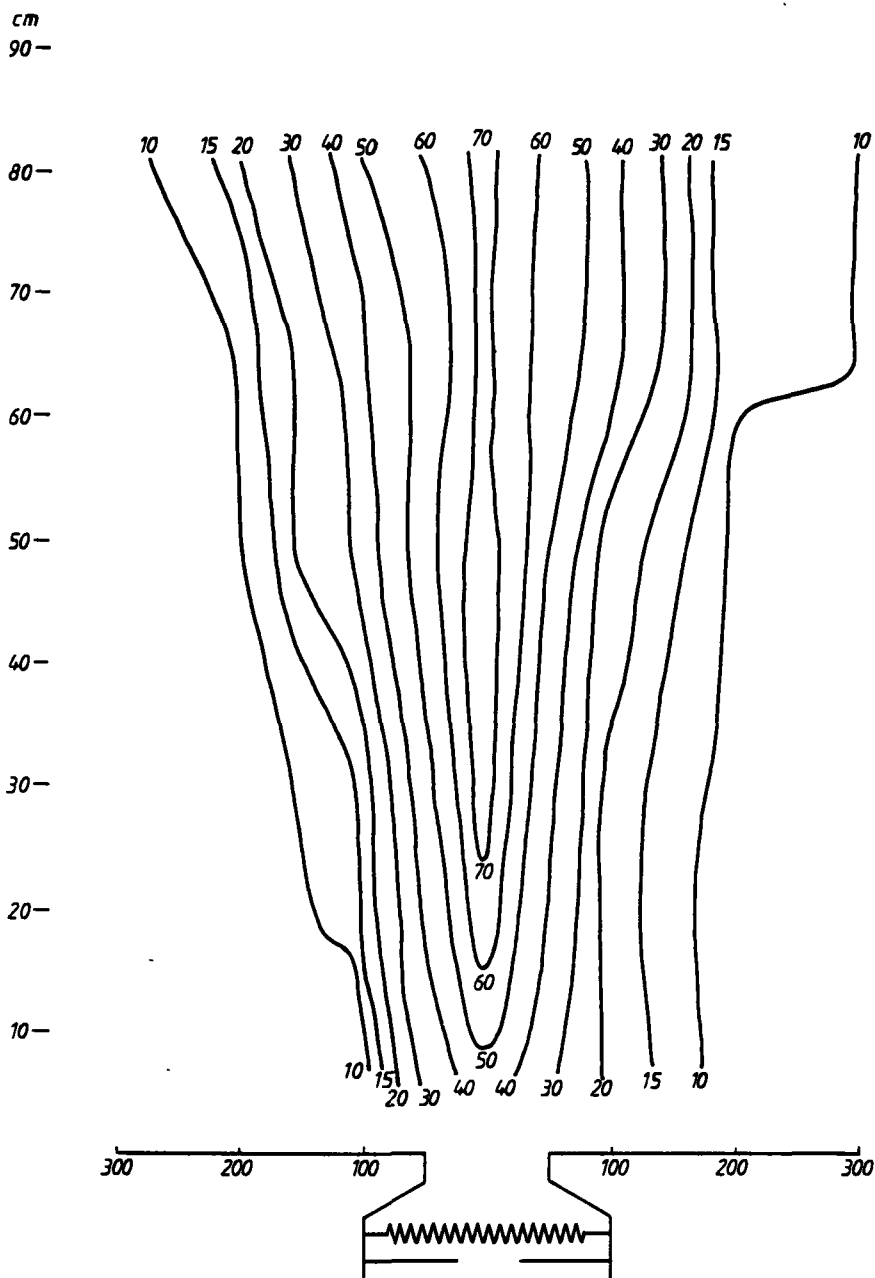
Temperaturen in °C bij proef 33: warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, aanzuigopening ϕ 80 mm in plaats van ϕ 200 mm.



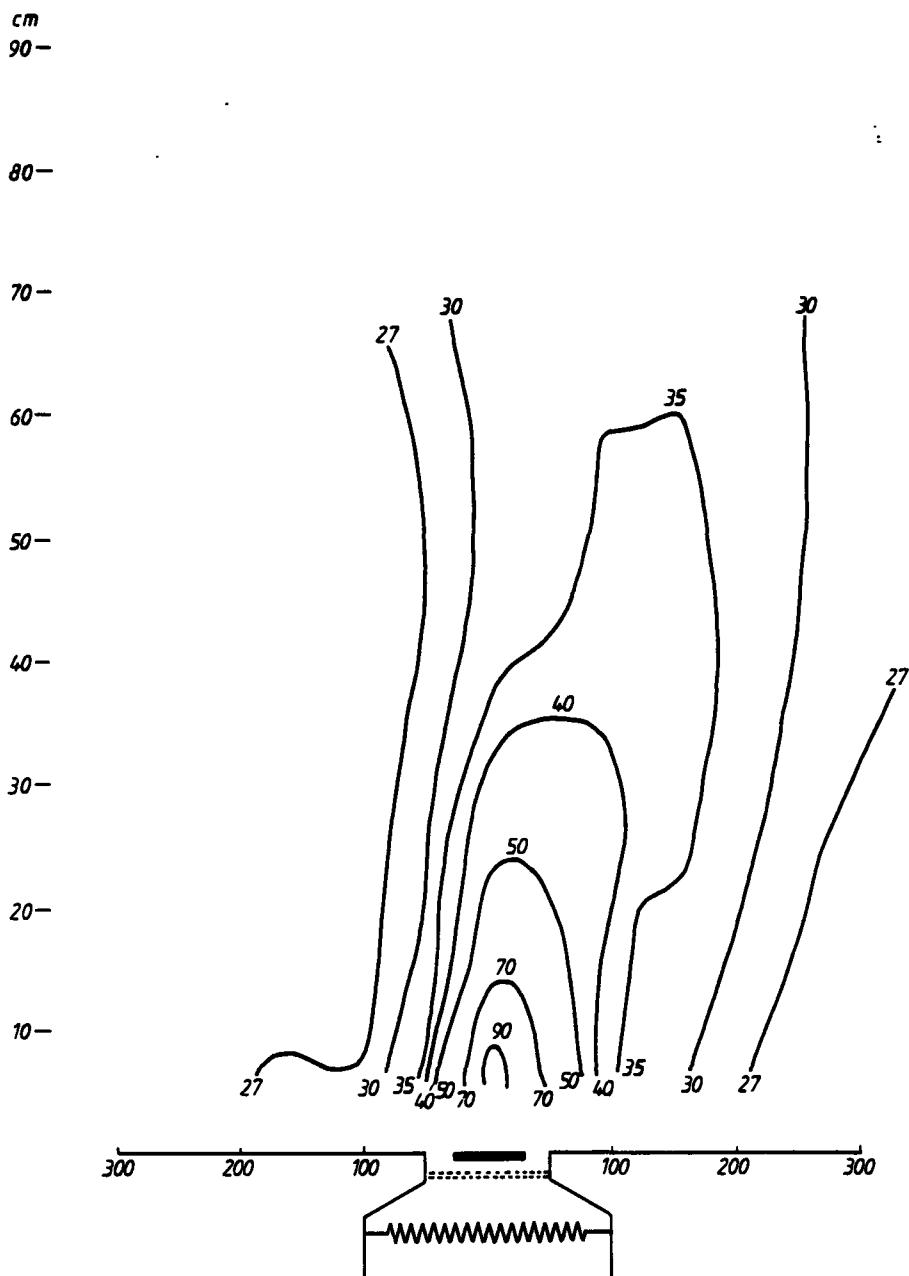
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 33: warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, aanzuigopening ϕ 80 mm in plaats van ϕ 200 mm.



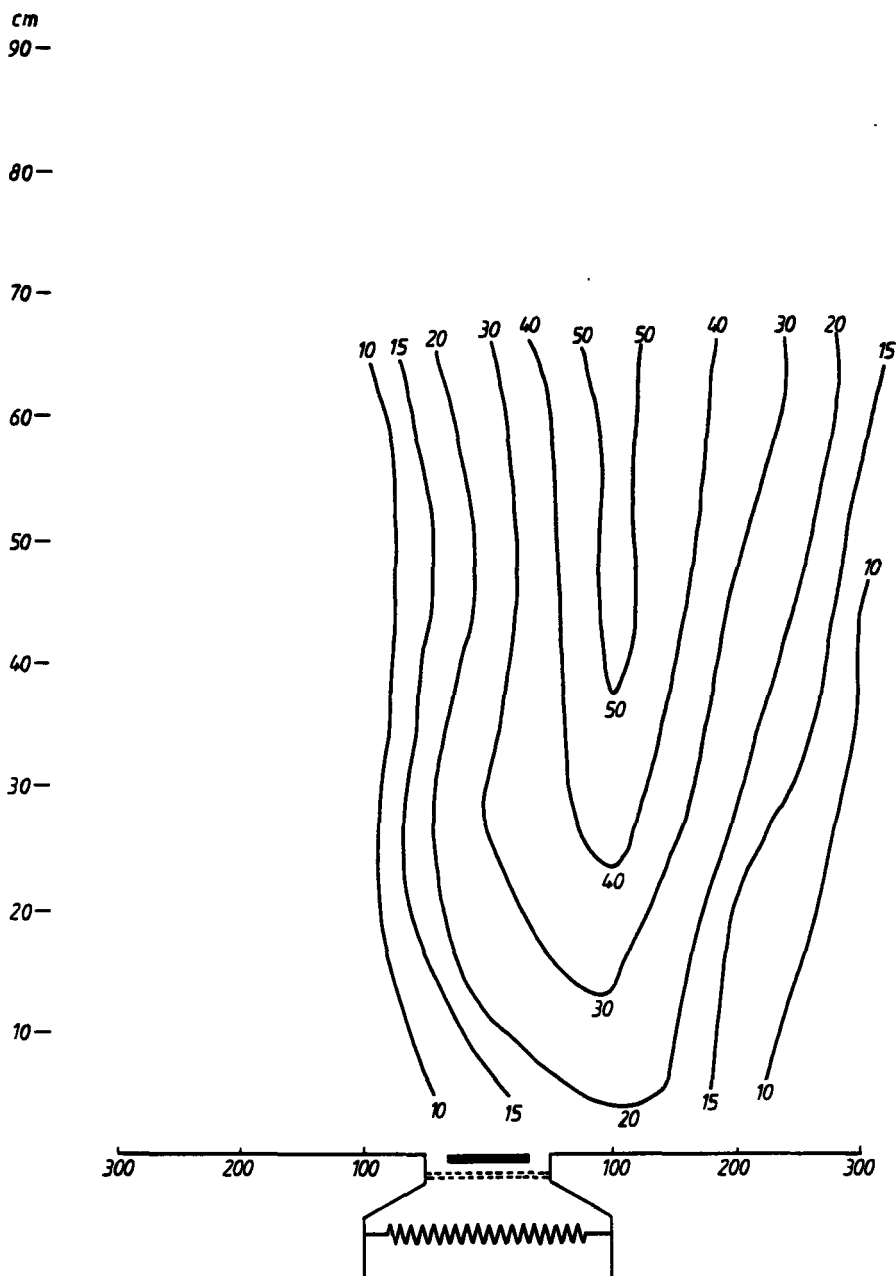
Temperaturen in °C bij proef 34: warme-luchtstraal, stookspanning 156 V, aanzuigopening ϕ 80 mm in plaats van ϕ 200 mm.



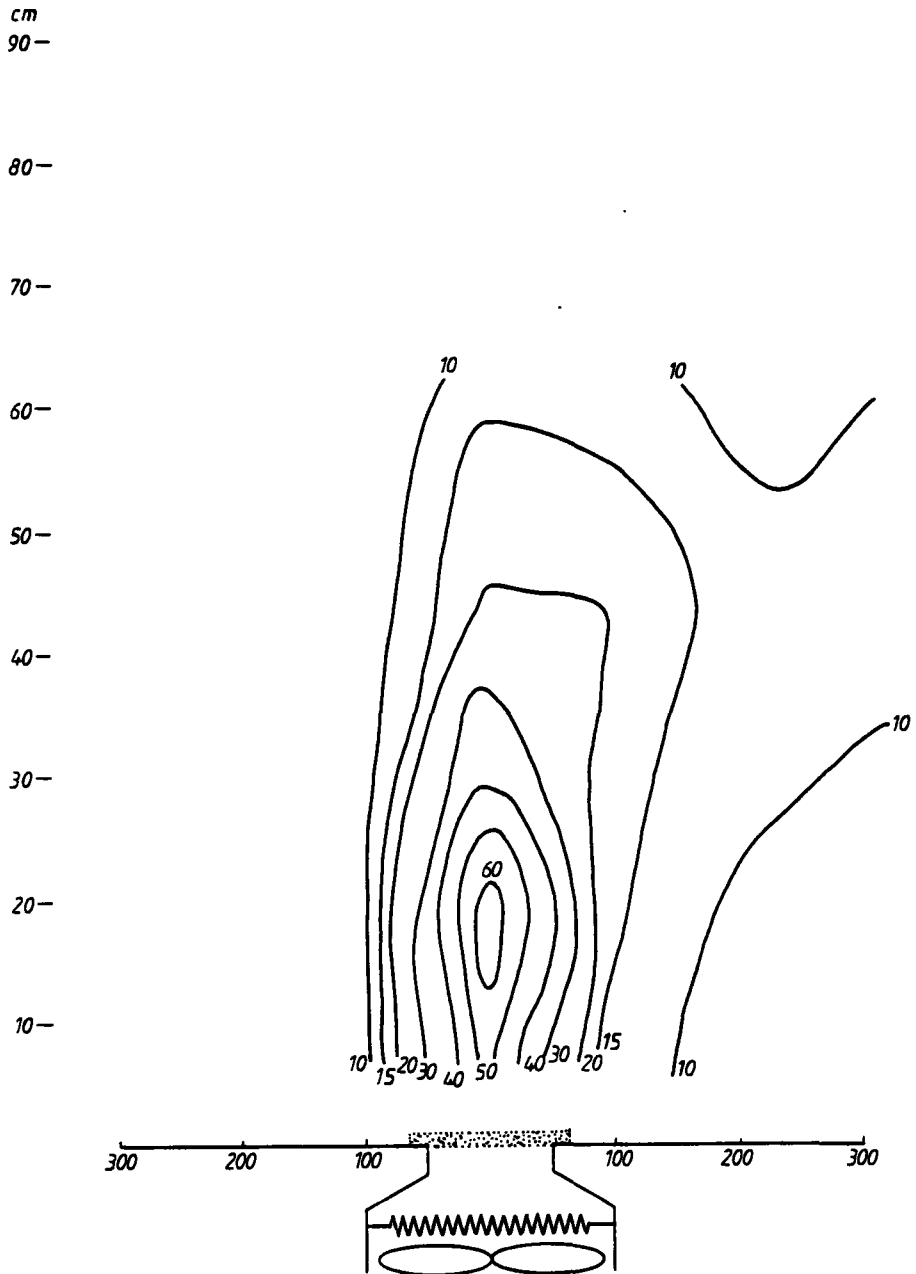
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 34: warme-luchtstraal, stookspanning 156 V, aanzuigopening ϕ 80 mm in plaats van ϕ 200 mm.



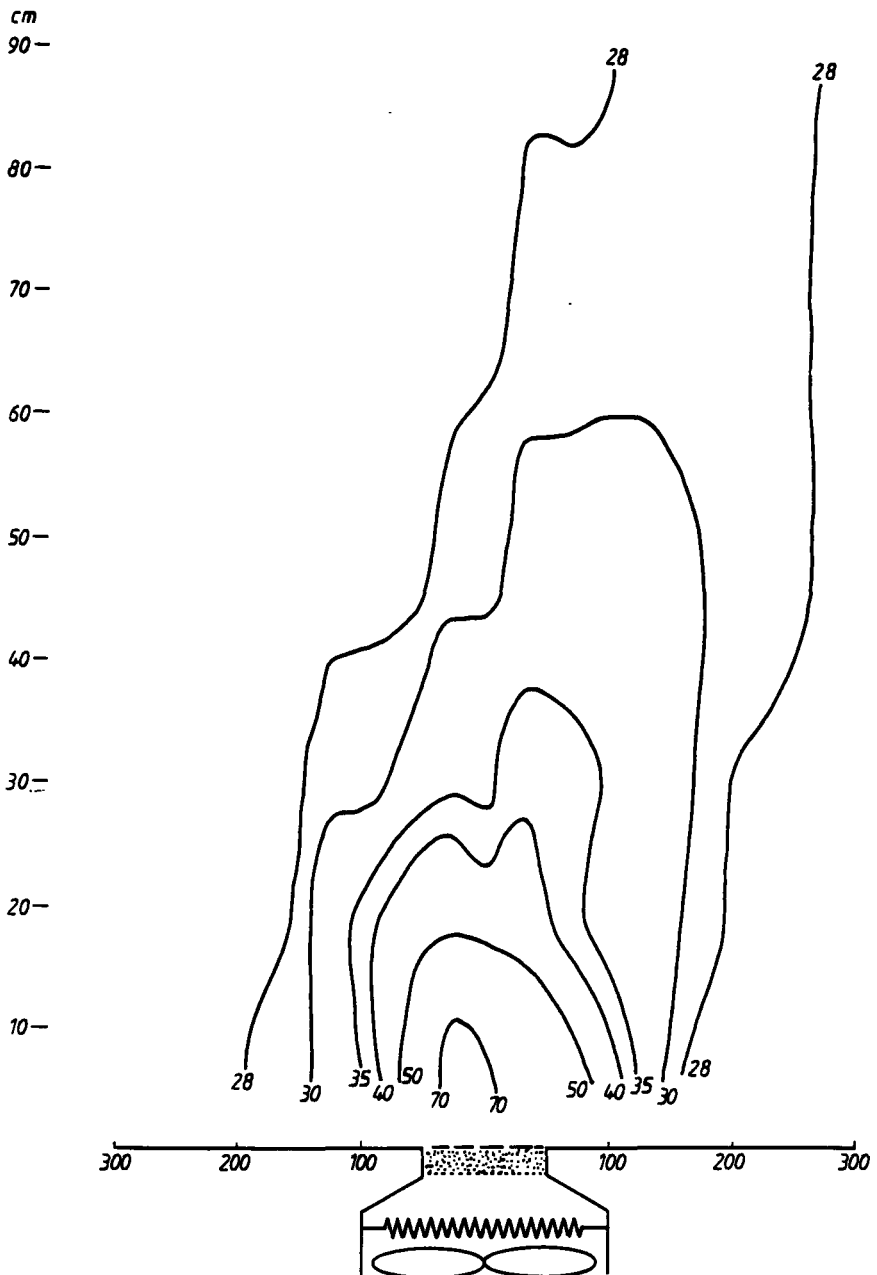
Temperaturen in °C bij proef 35: warme-luchtstraal, stookspanning 145 V, gazen en blindplaat \varnothing 60 mm in uitblaas.



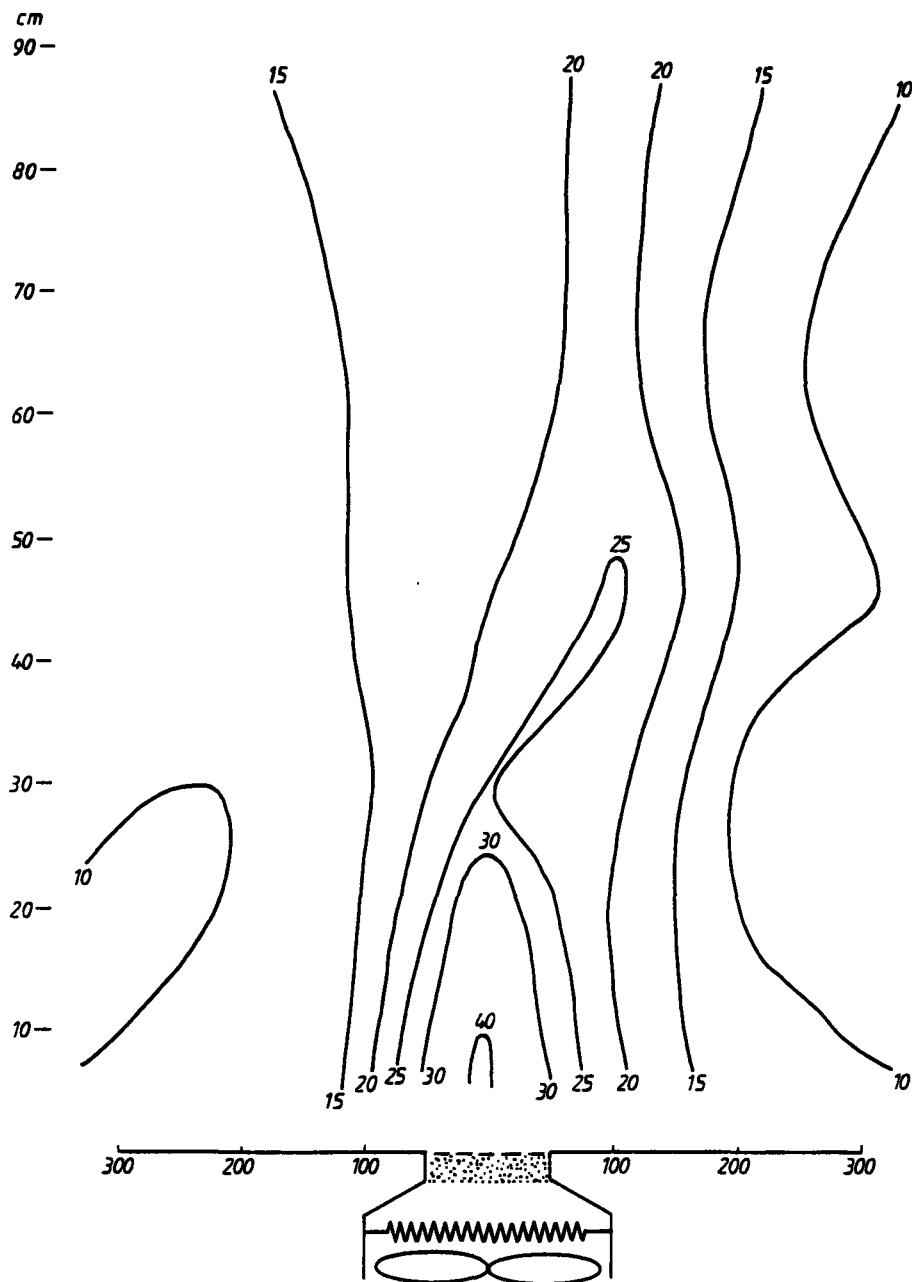
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 35: warme-luchtstraal, stookspanning 145 V, gazen en blindplaat ϕ 60 mm in uitblaas.



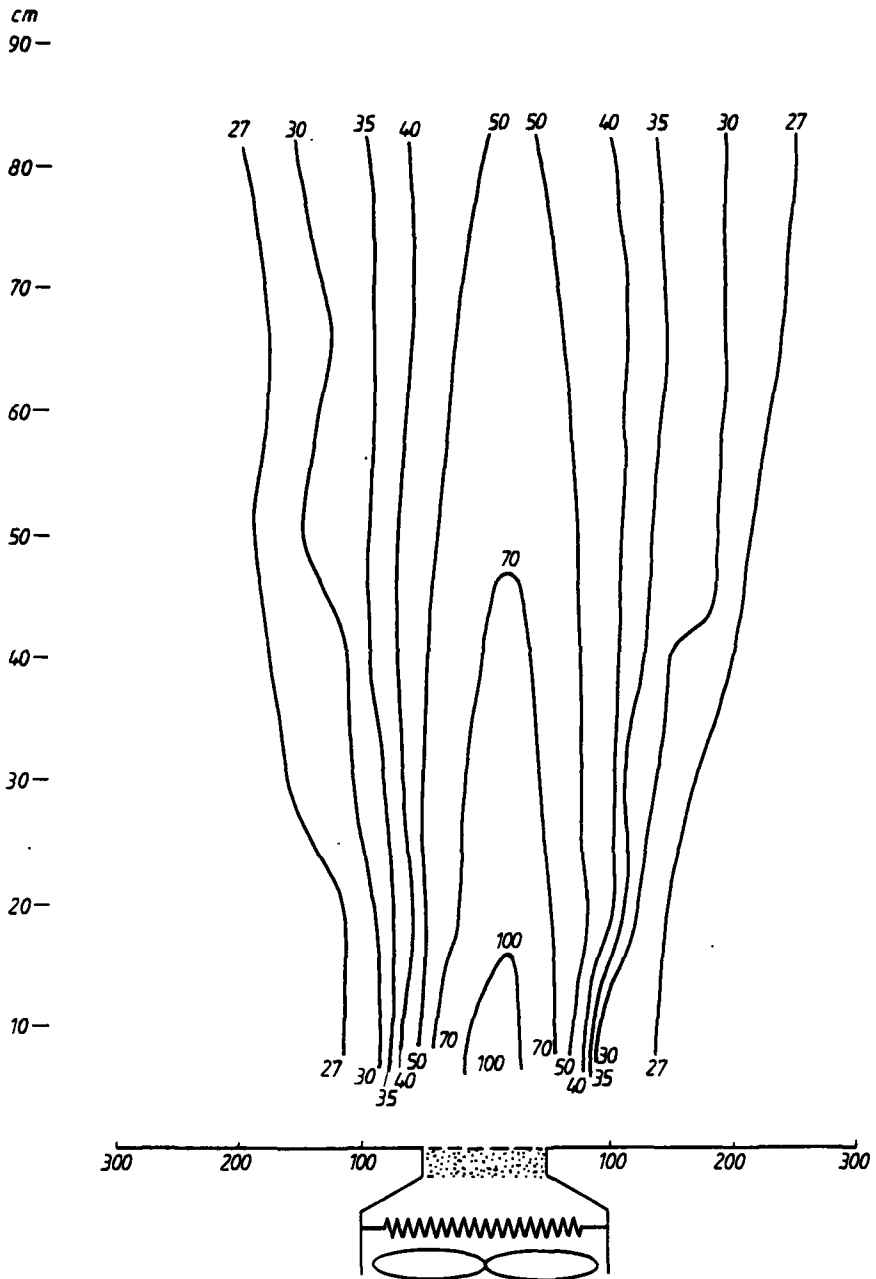
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 36: geforceerde luchtstraal, geen verwarming, sinterplaat "40" in uitblaas, ventilator maximaal.



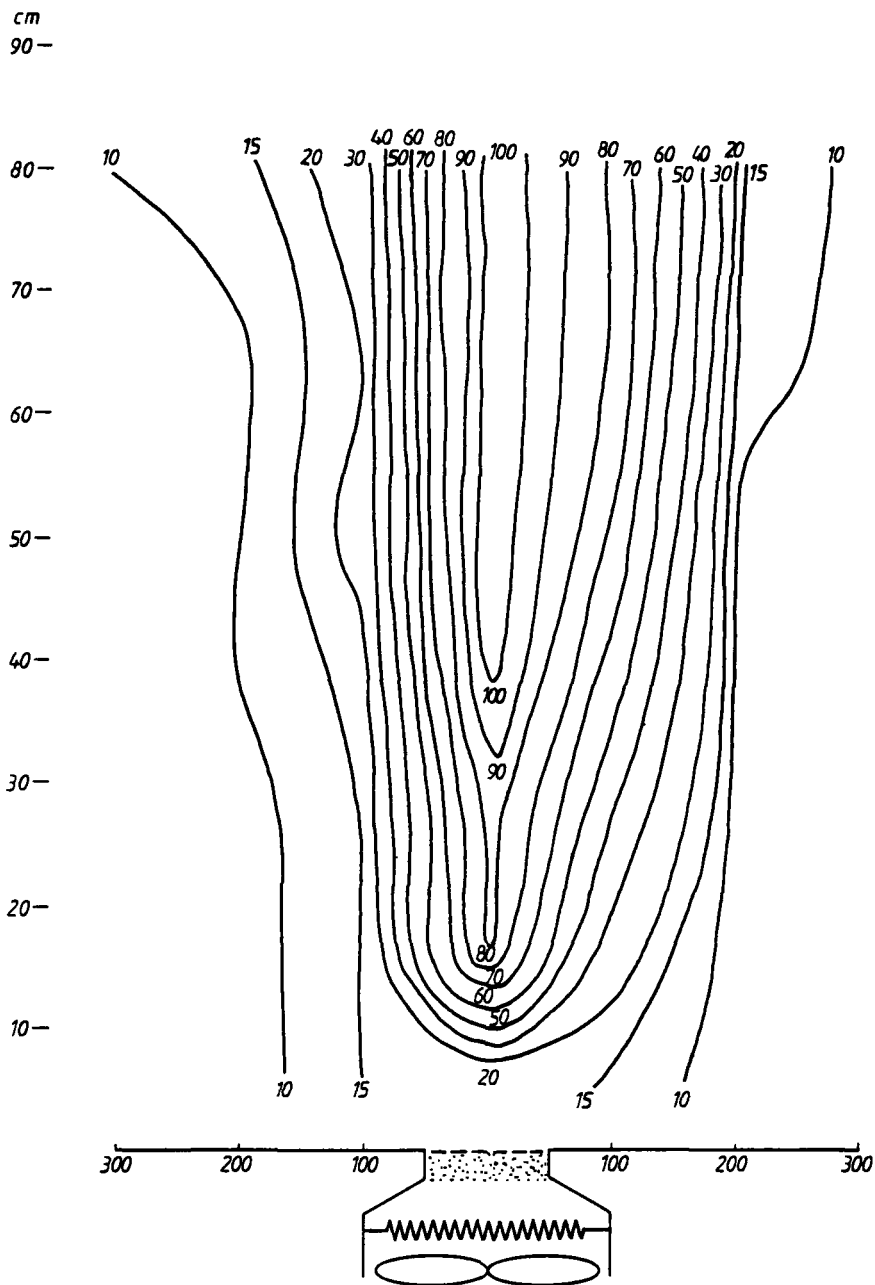
Temperaturen in °C bij proef 37: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 6 dm³/s.



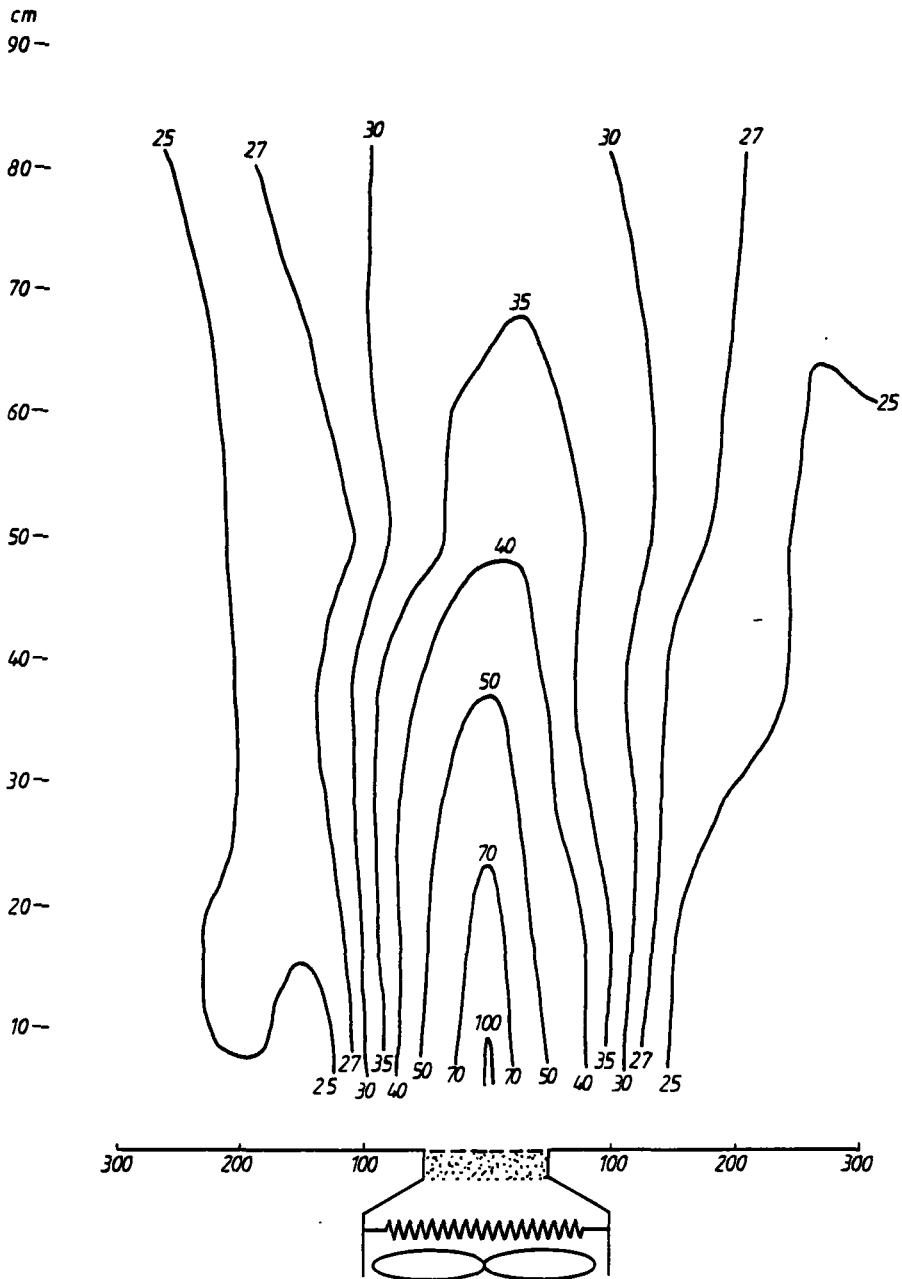
Luchtsnelheden bij proef 37: geforceerde warme-luchtstraal, stoekspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 6 dm³/s.



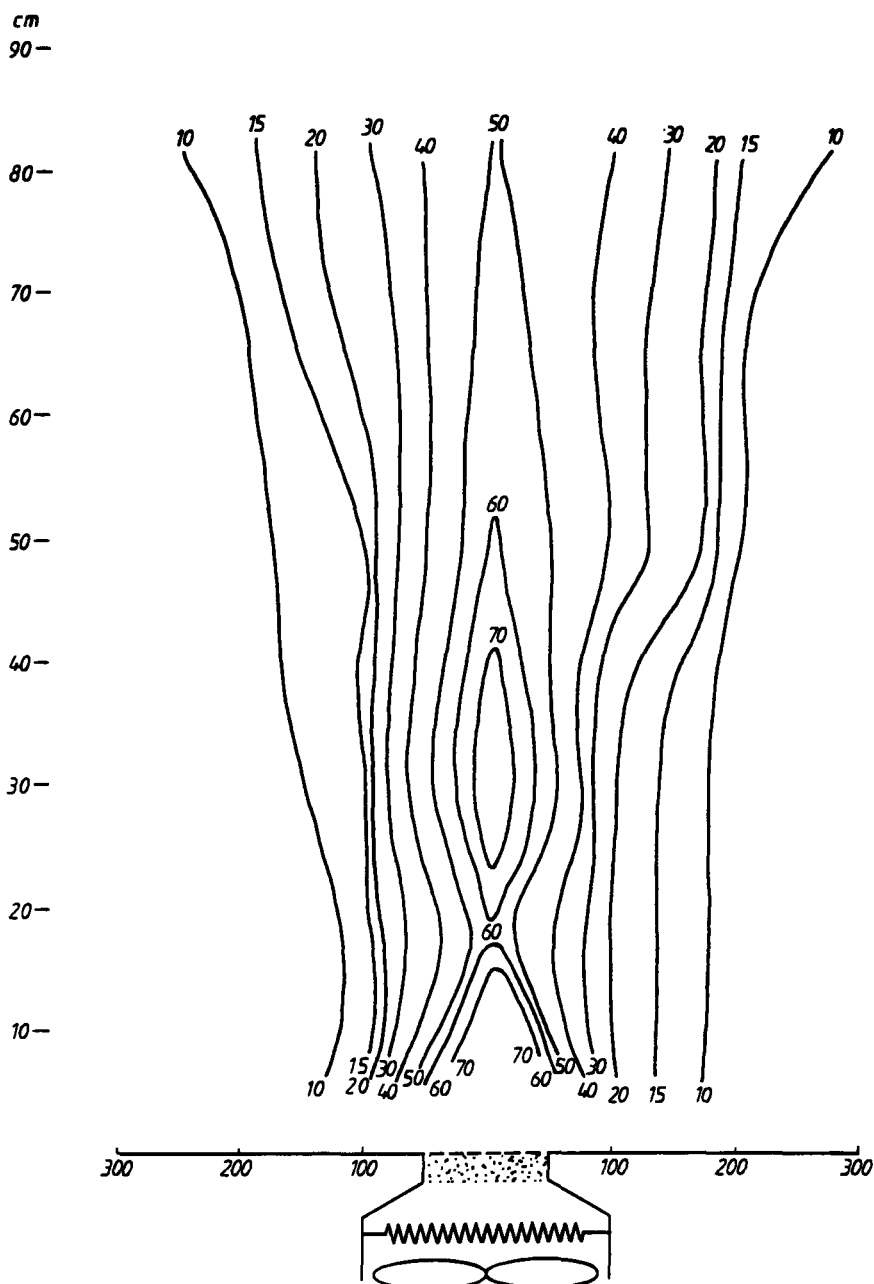
Temperaturen in °C bij proef 38: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 170 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s.



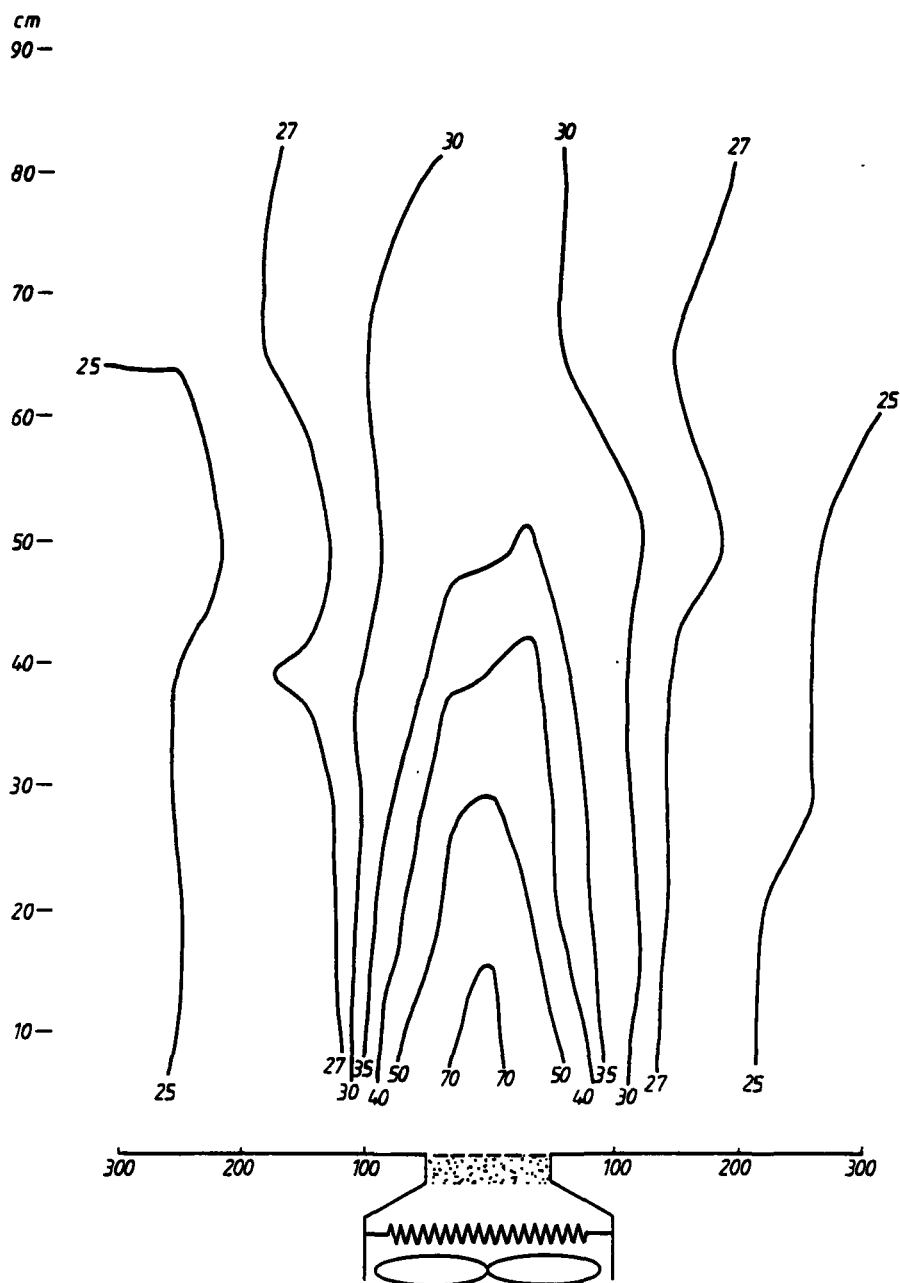
Luchtsnelheden bij proef 38: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 170 V, staalwolfilter en fijn gas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s.



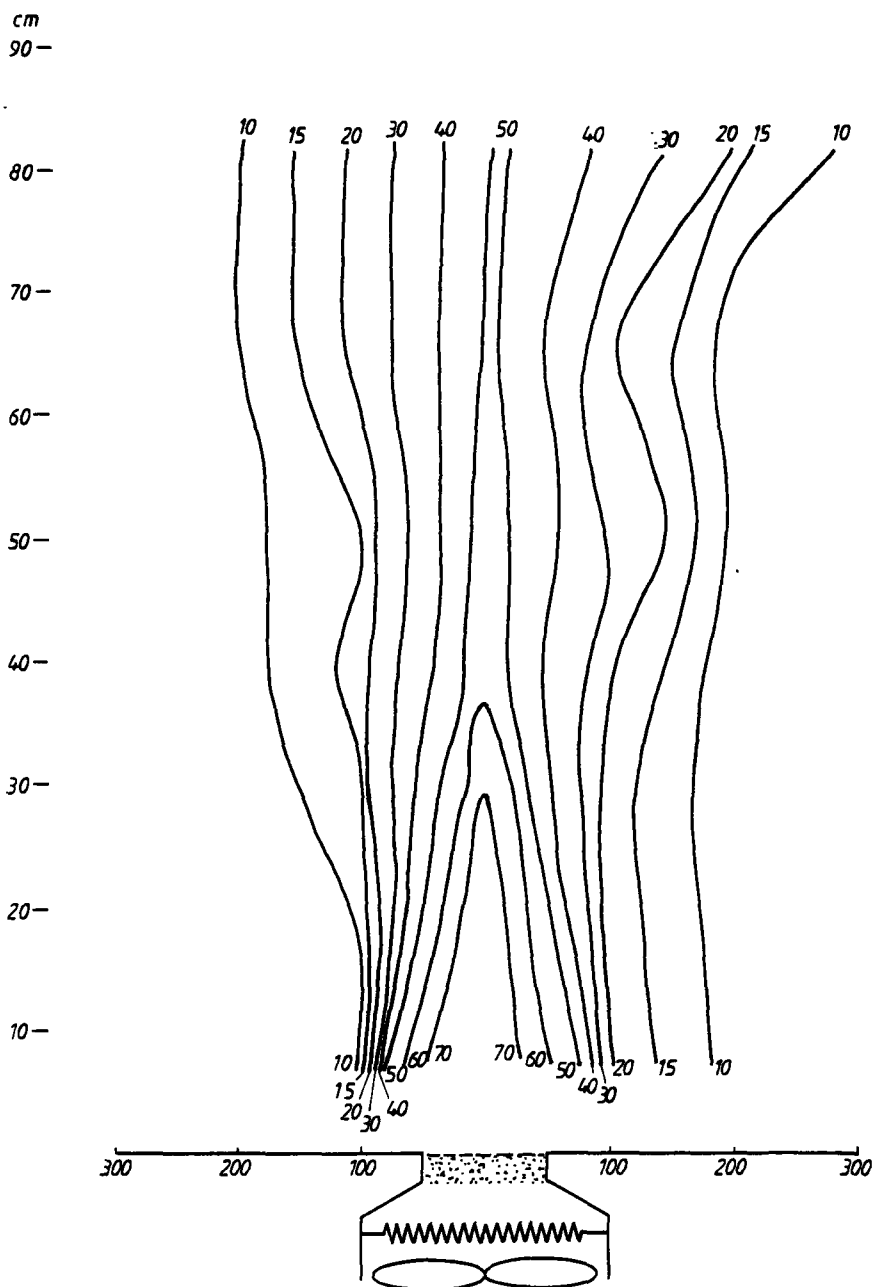
Temperaturen in °C bij proef 39: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s.



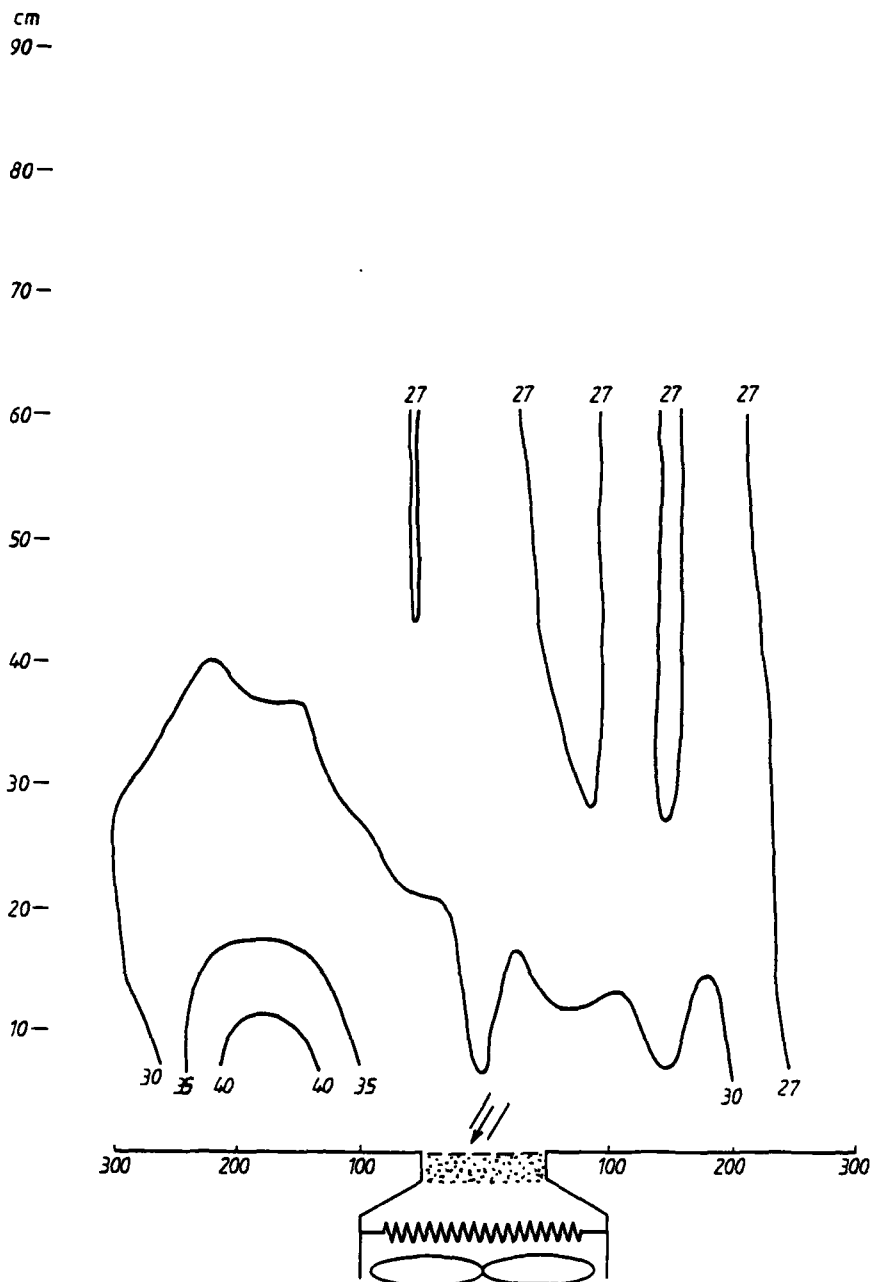
Luchtsnelheden bij proef 39: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s.



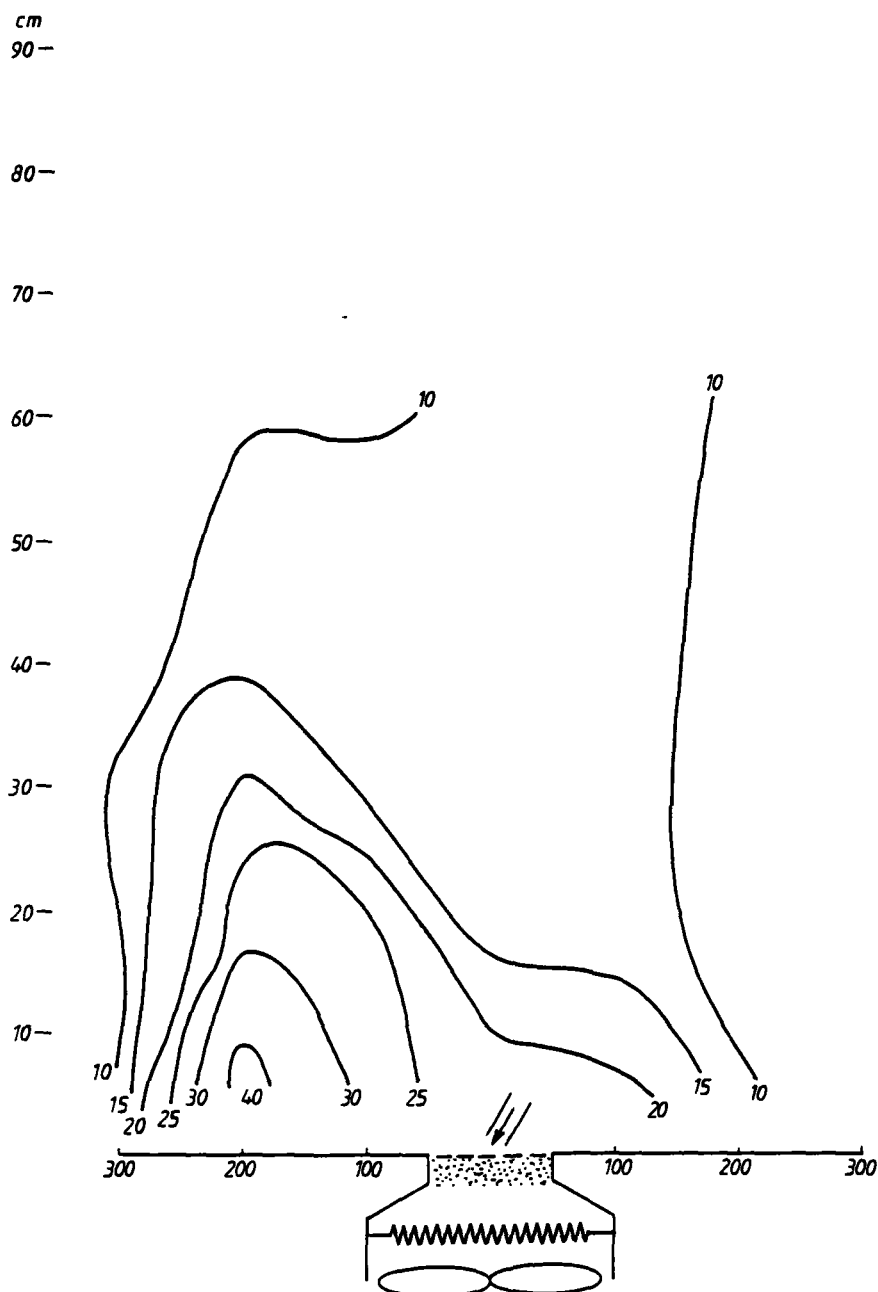
Temperaturen in °C bij proef 40: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 100 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s.



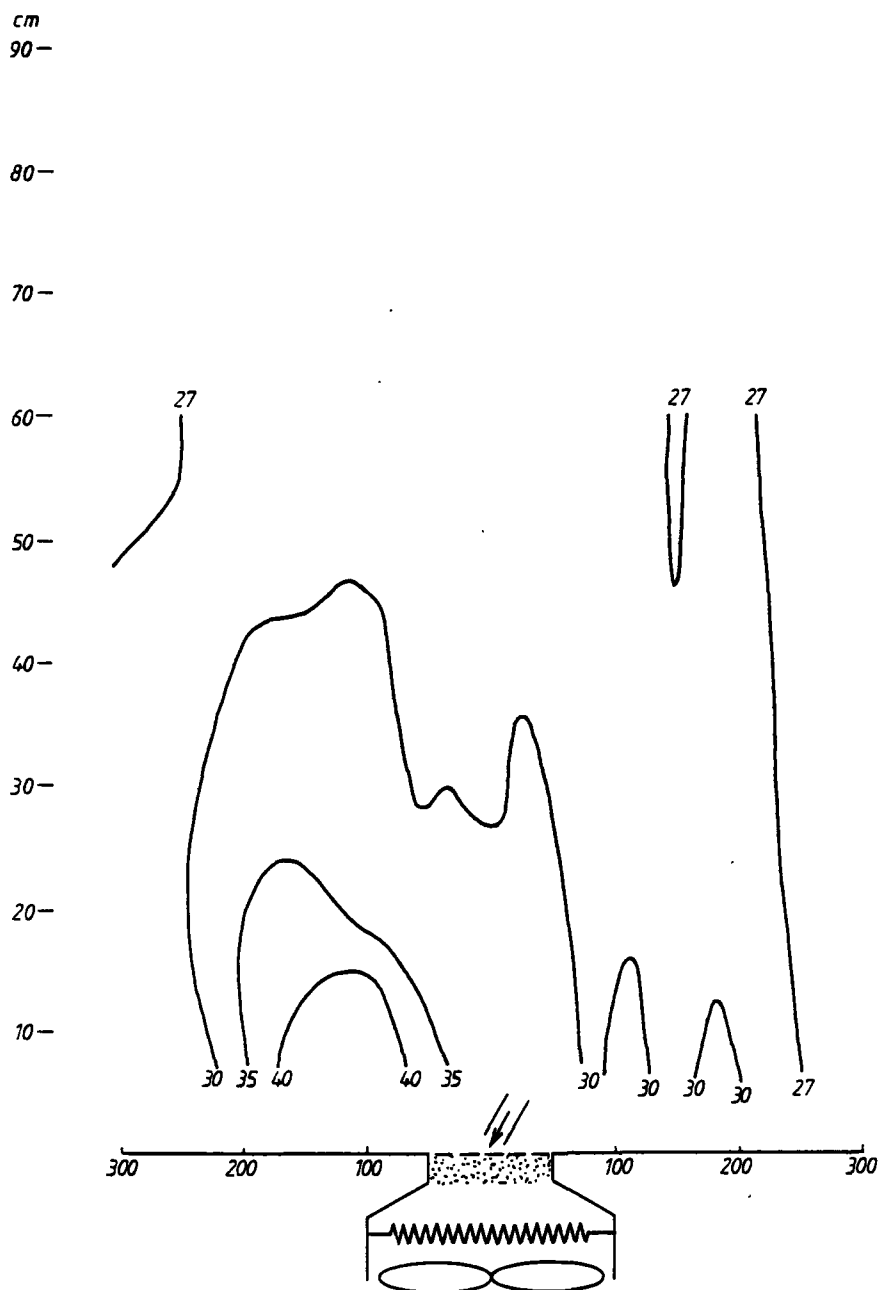
Luchtsnelheden bij proef 40: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 100 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator $2 \text{ dm}^3/\text{s}$.



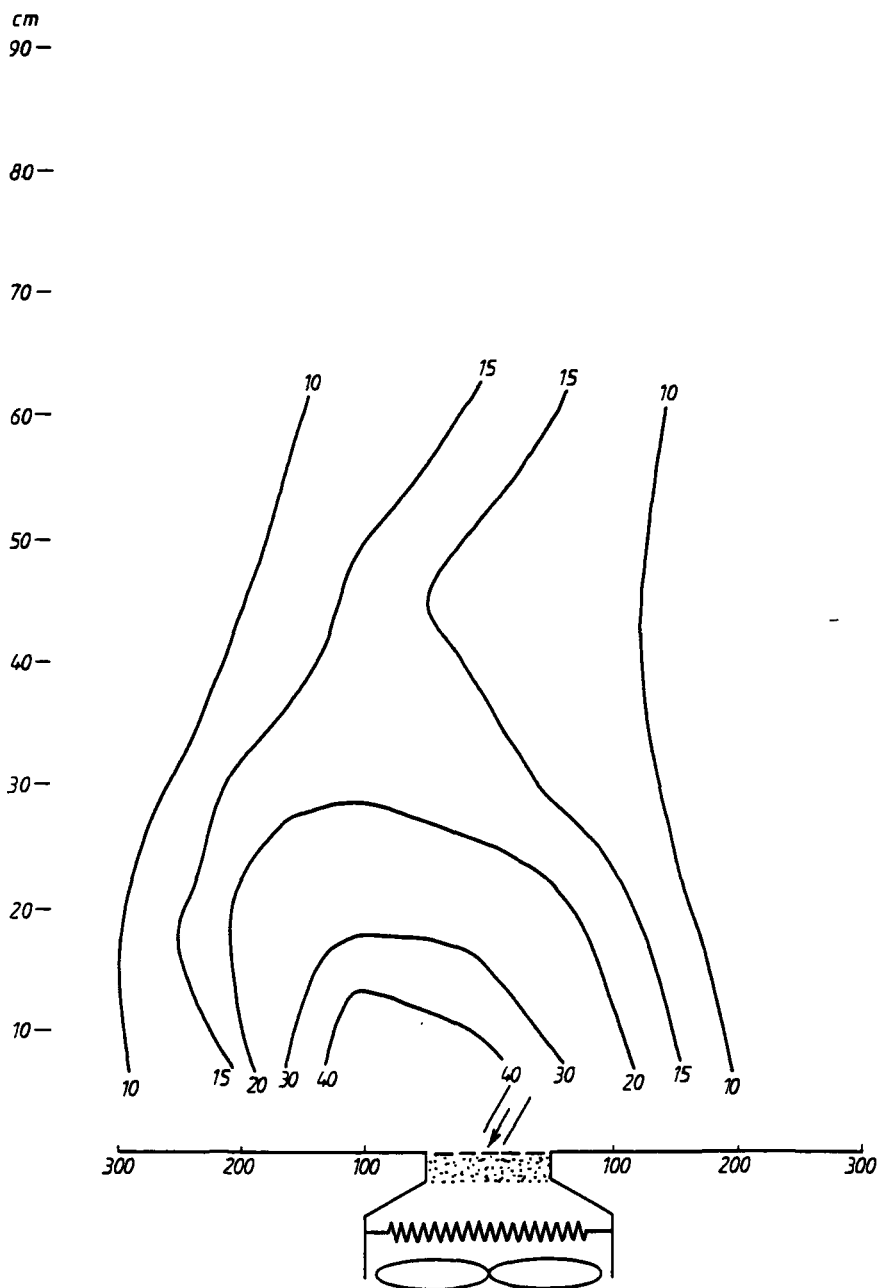
Temperaturen in °C bij proef 41: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s, schermgassimulatie door aanblaas 0,17 dm³/s onder 60°.



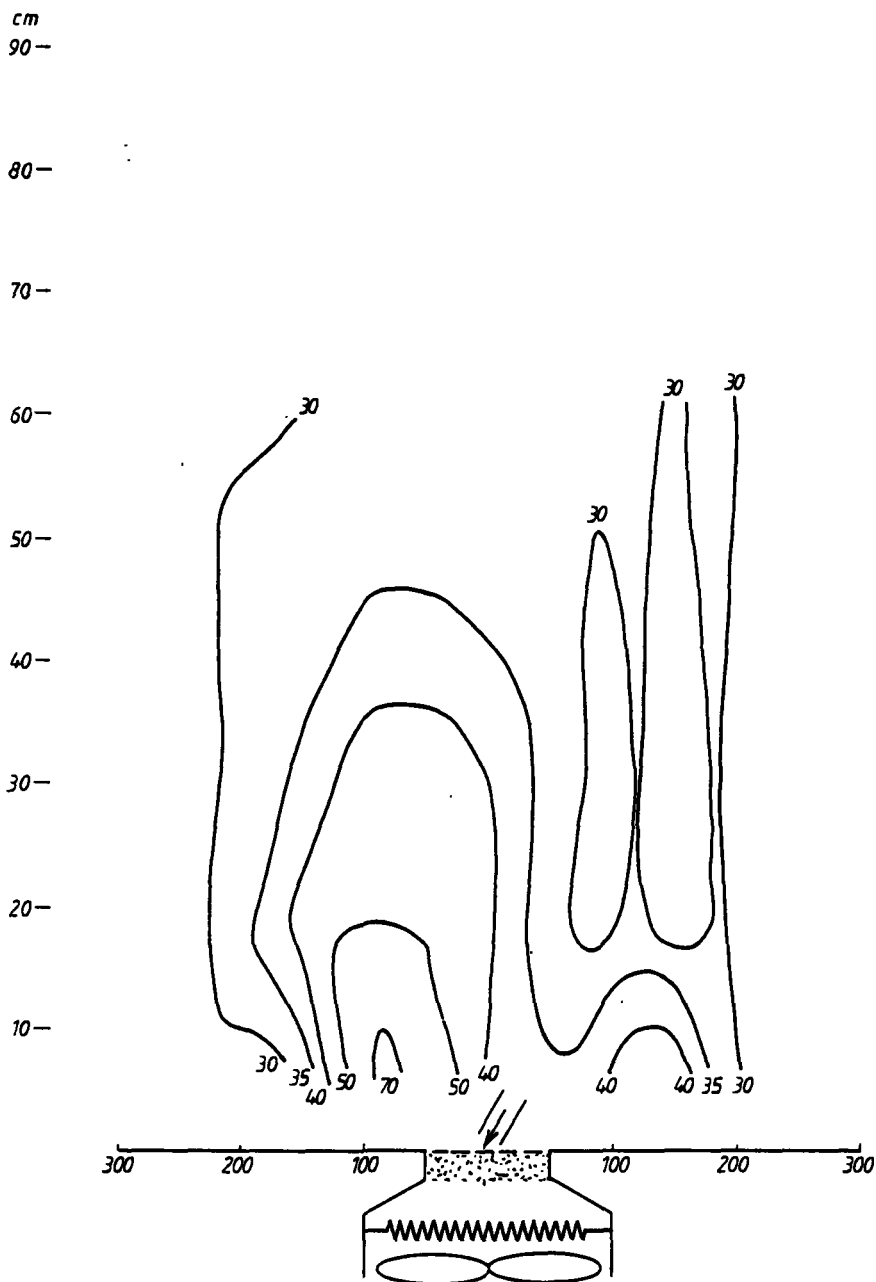
Luchtsnelheden in cm/s bij proef 41: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s, schermgassimulatie door aanblaas 0,17 dm³/s onder 60°.



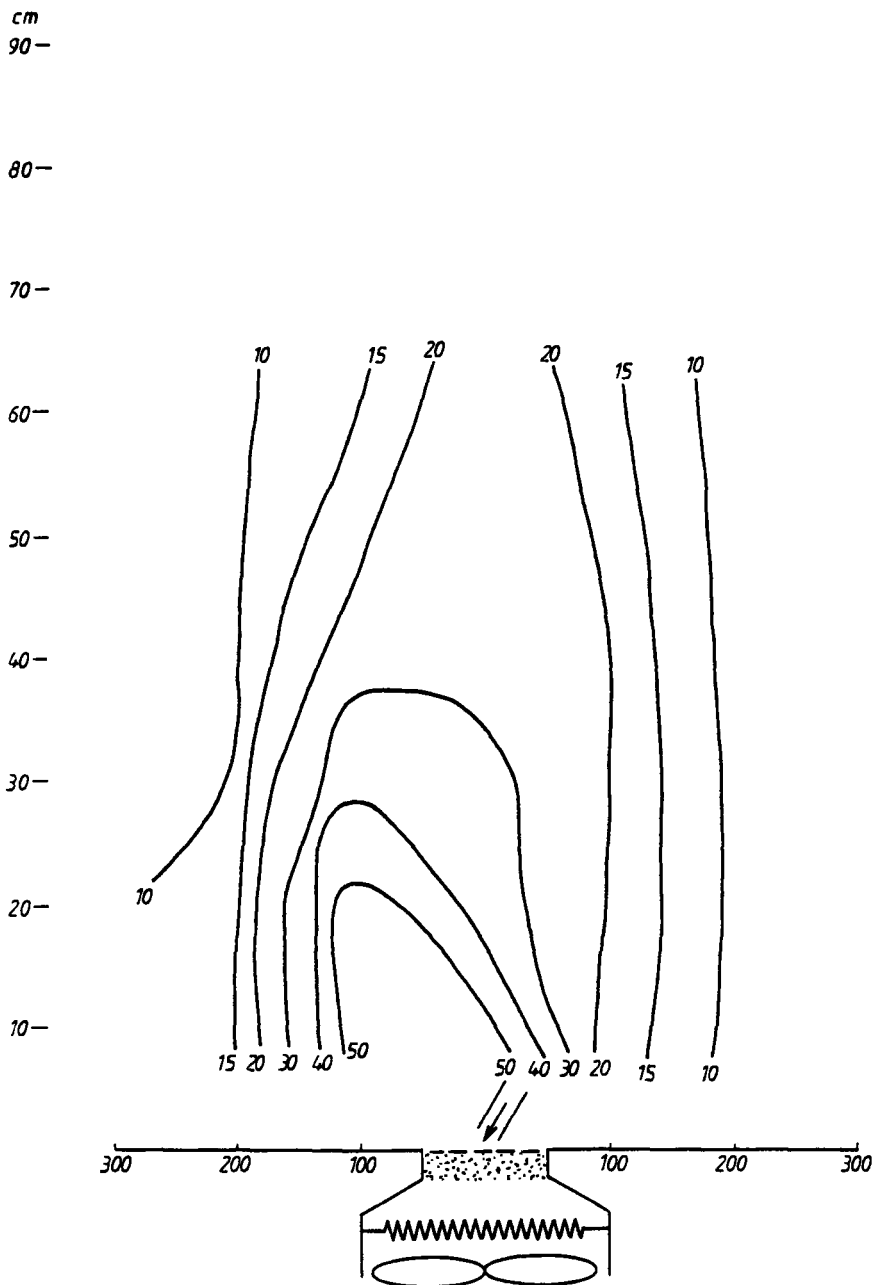
Temperaturen in °C bij proef 42: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s, schermgassimulatie door aanblaas 0,25 dm³/s onder 60°.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 42: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 120 V, staalwolfilter en fijn gas in uitblaas, ventilator 2 dm³/s, schermgassimulatie door aanblaas 0,25 dm³/s onder 60°.



Temperaturen in °C bij proef 43: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 170 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 3,4 dm³/s, schermgassimulatie door aanblaas 0,33 dm³/s onder 60°.



Luchtsnelheden in cm/s bij proef 43: geforceerde warme-luchtstraal, stookspanning 170 V, staalwolfilter en fijn gaas in uitblaas, ventilator 3,4 dm³/s, schermgassimulatie door aanblaas 0,33 dm³/s onder 60°.

Deelrapport 3

De beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen

Auteur:
Ing. B. Knoll

INHOUDSOPGAVE DEEL 3

Blz.

Samenvatting	3.3
1. Inleiding	3.5
2. Opzet van het ventilatieonderzoek	3.7
2.1 Probleemstelling	3.7
2.2 Aanpak	3.8
3. Onderzoekopstelling en meetprincipes	3.11
3.1 Proefopstelling van een dummy-lasser met een gesimuleerde lasrookbeweging	3.11
3.2 Vastlegging van de verspreiding van tracergas	3.14
3.3 Overige metingen	3.15
4. Beproefde plaatselijke ventilatievoorzieningen	3.16
4.1 Inventarisatie bestaande voorzieningen	3.16
4.2 Overzicht van beproefde voorzieningen en condities	3.21
5. Resultaten van het onderzoek	3.23
5.1 Verplaatsbare puntafzuiging	3.23
5.2 Verplaatsbare spleetafzuiging	3.30
5.3 Lashelm met afzuiging	3.36
5.4 Invloed van verstorende luchtstromen	3.36
6. Bespreking van de resultaten van het onderzoek	3.39
7. Conclusies	3.46
8. Literatuur	3.48

SAMENVATTING

Om binnen het kader van een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken van lassers worden door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO en door het Coronel-laboratorium verschillende deelonderzoeken uitgevoerd. Eén deelonderzoek omvat de ventilatie-aspecten, waarvan dit rapport de derde fase beschrijft.

In deze derde fase van het ventilatie-onderzoek is het effect van plaatselijke ventilatievoorzieningen op de lasrookbeweging onderzocht.

De blootstelling van lassers aan lasrook wordt namelijk vooral bepaald door de lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone stroomt. Beschermende maatregelen moeten daarom vooral zijn gericht op de directe beïnvloeding van deze lasrookbeweging met plaatselijke voorzieningen. In hoofdzaak richt het onderzoek zich op plaatselijke afzuiging. In de literatuur wordt veel onderzoek aan plaatselijke afzuiging beschreven. Desondanks blijkt uit oriënterend praktijkonderzoek dat plaatselijke afzuiging beperkt wordt toegepast en slechts matig voldoet, vooral als het gaat om laswerkzaamheden op regelmatig wisselende plaatsen. Om hierin meer inzicht te krijgen is de effectiviteit voor de ademzone onderzocht, afhankelijk van:

- de door de ventilatievoorziening verplaatste volumestroom;
- de positie van de ventilatievoorziening ten opzichte van de las en lasser;
- de uitvoeringsvorm van de ventilatievoorziening;
- versturende luchtbewegingen.

De effectiviteit is hierbij uitgedrukt in het percentage waarmee de concentraties in de ademzone worden verminderd door de onderzochte voorzieningen. Bestaand onderzoek waarbij de effectiviteit voor de ademzone systematisch is bepaald, afhankelijk van verstoringen en grootheden als volumestroom en afstand tot las en lasser is niet gevonden. Voor een goede afstemming van plaatselijke ventilatievoorzieningen op het laswerk wordt dit onderzoek noodzakelijk geacht. De uitvoering en resultaten van dit onderzoek worden in dit rapport beschreven. Hierbij is om de invloedsfactoren beter in de hand te houden en vanwege de gunstigere werkomstandigheden gewerkt met een gesimuleerde las-opstelling.

Met verplaatsbare afzuigers blijken effectiviteiten tot 100% te kunnen worden bereikt. Ook ander onderzoek meldt effectiviteiten tot 99% in laboratoriumsituaties [11].

Praktijkonderzoek door TNO en anderen vertoont beduidend lagere effectiviteiten, variërend van 22 tot 58% [8, 11]. Uit het praktijkonderzoek door TNO blijkt tevens dat de verplaatsbare afzuiger de enige plaatselijke ventilatievoorziening is die op redelijke schaal, hoewel nog in te beperkte mate, wordt toegepast. Het beperkte gebruik en de tegenvallende effectiviteiten in de praktijk worden veroorzaakt door:

- verstorende luchtbewegingen in de lasruimte;
- de grote invloed van de juiste dimensionering en de juiste positionering van de afzuiging op de goede werking;
- kosten van aanschaf en de nadelige invloed van het gebruik op de produktiesnelheid;
- geringe gebruiksvriendelijkheid van voorzieningen en onvoldoende motivatie van werknemers.

Door voorlichting over de noodzaak en de juiste wijze van gebruik van verplaatsbare afzuigers, eventueel aangevuld met schermen, kan aan deze bezwaren ten dele tegemoet worden gekomen. De nadelige invloed op de produktiesnelheid en de geringe gebruiksvriendelijkheid blijven echter bestaan. Meebewegende afzuigers zoals afzuiging aan de lastoorts of afzuiging aan de lashelm zouden hiervoor een alternatief kunnen zijn. Deze voorzieningen blijken in principe voldoende effectief te kunnen werken. De afmetingen van de afzuiging worden dan echter zodanig dat het gewicht een bezwaar vormt. Bij de toortsen met afzuiging wordt bovendien de laskwaliteit nadelig beïnvloed. Het principe van meebewegende afzuiging blijft echter een aantrekkelijk alternatief en is het waard om verder uitgewerkt te worden [12].

Een ander aantrekkelijk alternatief is het wegblazen van de lasrookpluim bij de lasser.

Met dit alternatief zijn volgens oriënterende proeven goede resultaten te bereiken [14].

1. INLEIDING

In een vooronderzoek van TNO [1] en het Coronellaboratorium [2] is een indruk verkregen van de arbeidssituatie van lassers. In veel gevallen blijken lassers bovenmatig te worden blootgesteld aan verontreinigingen, ultraviolette en zichtbare straling en lawaai. Hierbij zijn verontreinigingen en straling specifiek afkomstig van het lassen. Deze aspecten worden nader bestudeerd in een vervolgonderzoek, dat door het Directoraat-Generaal van de Arbeid (DGA) aan TNO is opgedragen. Lawaai wordt in breder verband (project Preventie Gehoorschade) reeds onderzocht. De medische aspecten van het lassen worden door het Coronellaboratorium nader onderzocht.

Het doel van het vervolgonderzoek is te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken bij lassen en snijden.

De hoofdlijn van het vervolgonderzoek door TNO komt neer op het volgende:

- Nadere inventarisatie van de verontreinigings- en stralingsniveaus bij de diverse lasprocessen.
- Onderzoek naar en inventarisatie van middelen ter vermindering van de expositie van lassers.
- Vaststelling van de minimaal gewenste voorzieningen en middelen ter voorkoming van te hoge exposities. Vastlegging in een concept voorlichtingsblad.

Het vervolgonderzoek is gesplitst in drie deelonderzoeken:

1. Inventarisatie van verontreinigingsniveaus.
2. Onderzoek naar de benodigde ventilatievoorzieningen ter beperking van de expositie aan verontreinigingen.
3. Onderzoek naar stralingsniveaus bij verschillende lasprocessen en inventarisatie van beschermende middelen.

In dit rapport wordt de derde fase van het onder 2. genoemde ventilatieonderzoek beschreven, betreffende de beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen. De beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen dient

om de effectiviteit van de voorzieningen voor de ademzone van lassers te bepalen, afhankelijk van de uitvoeringsvorm, de verplaatste volumestroom, de afstand tot de las en de lasser en verstorende luchtbewegingen. Hoewel veel onderzoek aan plaatselijke ventilatievoorzieningen is verricht ontbreekt het aan dergelijke relaties. Deze relaties zijn nodig voor een goede afstemming van plaatselijke ventilatievoorzieningen op de lasomstandigheden. Vooral bij laswerk op vaak wisselende plaatsen blijken voorzieningen als plaatselijke afzuiging slechts matig te voldoen. Het doel van deze fase van het onderzoek is hierin meer inzicht te verkrijgen. Behalve het signaleren van knelpunten wordt ook naar mogelijke verbeteringen gezocht.

De resultaten van het onder 2. genoemde ventilatieonderzoek worden daartoe gekoppeld aan de resultaten van het onder 1. genoemde onderzoek naar de verontreinigingsniveaus onder praktijkomstandigheden, in het bijzonder bij gebruik van plaatselijke ventilatievoorzieningen. In het volgende hoofdstuk wordt het ventilatieonderzoek nog nader toegelicht.

2. OPZET VAN HET VENTILATIE-ONDERZOEK

2.1 PROBLEEMSTELLING

Om de expositie van lassers aan verontreinigingen te verminderen blijkt het veelal noodzakelijk plaatselijke voorzieningen te treffen, die de lasrook in het geheel niet of in beperkte mate langs de ademzone van de lassers doen bewegen. Gebruikelijke voorzieningen voor ruimteventilatie zijn hiervoor normaliter niet geschikt. Deze verlagen uitsluitend de achtergrondconcentratie. De expositie blijkt voornamelijk te worden bepaald door de lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone van de lasser stroomt (zie figuur 1).

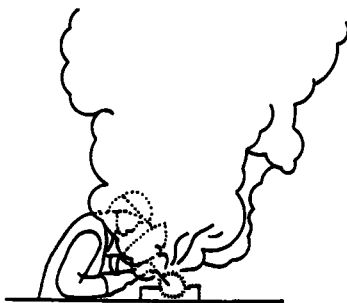


Fig. 1 Directe indringing van de lasrook in de ademzone bepaald in hoge mate de expositie.

Om de directe indringing van lasrook in de ademzone te voorkomen of te beperken blijkt in de praktijk uitsluitend plaatselijke afzuiging op beperkte schaal te worden gebruikt. Daarbij valt de effectiviteit van deze voorziening nog vaak tegen. Een belangrijke reden hiervoor is het beperkte vangbereik van plaatselijke afzuigers in verhouding tot de gewenste actieradius van lassers. Verder kan de door afzuigers opgewekte luchtbeweging gemakkelijk door luchtstromingen in de ruimte worden verstoord. Het is daarom belangrijk de randvoorwaarden voor een goede werking van afzuigsystemen bij het lassen, maar ook de beperkingen van afzuigsystemen bij het lassen, te kennen. Bestaande onderzoeken geven daarin onvoldoende inzicht. Weliswaar worden in de literatuur voorwaarden voor goede werking van afzuigsystemen

genoemd, maar deze zijn meestal niet in relatie met lasprocessen bepaald. Vaak zijn de voorwaarden voor goede werking van afzuigsystemen dan gebaseerd op een benodigde vangsnelheid van lasrook met een globaal bepaalde stijgsnelheid, zonder de lasrookhoeveelheden in aanmerking te nemen. Afzuigeffectiviteiten worden bovendien meestal uitgedrukt in het percentage van de totale lasrook dat wordt gevangen. Voor bescherming van de lasser is echter voornamelijk het effect voor de ademzone van belang. Er is daarom behoefte aan onderzoek waarbij het effect van afzuigers voor de ademzone wordt gerelateerd aan het lasproces en lasomstandigheden zoals houding van de lasser, afstand van de las en de lasser tot de afzuiging, verstorende omstandigheden en dergelijke. Ook het afzuigdebiet, de wijze van plaatsing en de uitvoeringsvorm van de afzuiger zijn van belang. Daarnaast is het nuttig te onderzoeken of met bepaalde hulpmiddelen de werking van afzuigers kan worden verbeterd of met welke andere middelen de beweging van lasrook dusdanig kan worden beïnvloed, dat geen indringing in de ademzone plaatsvindt. Het ventilatie-onderzoek is op deze aspecten afgestemd.

2.2 AANPAK

Om vast te kunnen stellen hoe de beweging van lasrook positief kan worden beïnvloed is het allereerst nodig deze beweging te kennen.

Vervolgens kan van verschillende plaatselijke voorzieningen kwantitatief het effect op de beweging van de lasrook voor de ademzone worden onderzocht, eventueel beïnvloed door verstorende luchtbewegingen.

Als alternatief voor plaatselijke afzuiging wordt hierbij gedacht aan inblaasvoorzieningen om de beweging van lasrook van de ademzone weg te dwingen. De randvoorwaarden voor een goede werking van plaatselijke voorzieningen, maar ook de beperkingen of mogelijkheden van de voorzieningen, dienen vervolgens uit deze kwantificering te worden bepaald. Daarnaast moet bij alle varianten worden bekeken in hoeverre aanvullende ruimteventilatie noodzakelijk is en hoe groot de ventilatie dan moet zijn. Zowel de plaatselijke voorzieningen als de aanvullende ruimteventilatie moeten hierbij worden afgestemd op de gemeten exposities aan verontreinigingen bij de diverse lasprocessen. Zo kan worden bepaald wat de minimaal gewenste ventilatievoorzieningen per lasproces zijn, hetgeen in een concept-voorlichtingsblad zal worden vastgelegd. Concreet betekent deze aanpak, dat de volgende stappen in

het onderzoek kunnen worden onderscheiden:

- Fase 1 - Metingen ter bepaling van de verspreiding van lasrook bij verschillende lasprocessen bij variatie van de belangrijkste invloedsfactoren. Er zal worden getracht relaties tussen het verspreidingsbeeld en de invloedsfactoren af te leiden. Hieruit zal een karakteristiek verspreidingsbeeld worden vastgesteld.
- Fase 2 - Simulatie van het karakteristieke verspreidingsbeeld in een laboratoriumopstelling (er wordt gekozen voor een laboratoriumopstelling in plaats van een lasopstelling, omdat de invloedsfactoren dan beter in de hand zijn te houden en omdat de werkomstandigheden gunstiger zijn). Met een warmtebron, eventueel voorzien van geforceerde luchttoevoer, zal het stromingsbeeld worden nagebootst. De verontreinigingen zullen in de vorm van een tracergas hierin worden geïnjecteerd.
- Fase 3 - Inventarisatie van bestaande plaatselijke ventilatievoorzieningen. Bepaling van de effectiviteit van dergelijke voorzieningen in de laboratoriumopstelling door meting van de concentratie van het tracergas in de ademzone van een dummy-lasser. De effectiviteit zal onder wisselende gebruiksomstandigheden en ook bij verstorende luchtbewegingen worden bepaald. In deze opstelling zal tevens worden onderzocht hoe met alternatieve voorzieningen de verspreiding van lasrook naar de ademzone kan worden voorkomen of vermindert. De randvoorwaarden voor een juist gebruik van de plaatselijke ventilatievoorzieningen bij de verschillende lasprocessen en -omstandigheden moeten uit dit onderzoek volgen.
- Fase 4 - Toetsing van de aldus vastgestelde gebruiksvoorwaarden voor plaatselijke ventilatievoorzieningen aan praktijkbevindingen. Afhankelijk van de bevindingen kan zondig nog een bijstelling plaats vinden. Bepaling van de benodigde aanvullende ruimteventilatie bij gebruik van de diverse plaatselijke ventilatievoorzieningen en afhankelijk van de toegepaste lasprocessen. Inventarisatie van adembeschermingsmiddelen. Vaststellen in welke situaties deze middelen moeten worden toegepast.

Fase 5 - Opstellen van de betreffende hoofdstukken van het concept voorlichtingsblad voor verantwoord werken met lasapparatuur.

Op de genoemde onderzoeksaanpak wordt nog nader ingegaan [3].

Fasen 1 en 2 zijn uitgevoerd en gerapporteerd [4] en [5].

In dit rapport wordt verder uitsluitend fase 3 en een deel van fase 4 (toetsing aan de praktijk) behandeld. Er wordt allereerst de proefopstelling van de dummy-lasser met de gesimuleerde lasrookbeweging beschreven. Vervolgens worden de metingen aan plaatselijke ventilatievoorzieningen in deze opstelling gerapporteerd en vergeleken met praktijkmetingen.

De overige werkzaamheden worden later gerapporteerd.

3. ONDERZOEKOPSTELLING EN MEETPRINCIPES

3.1 PROEFOPSTELLING VAN EEN DUMMY-LASSER MET EEN GESIMULEERDE LASROOK- BEWEGING

Zoals in Hoofdstuk 2.1 al is vermeld is de directe indringing van lasrook in de ademzone in hoge mate bepalend voor de blootstelling van lassers aan luchtverontreinigingen. Plaatselijke ventilatievoorzieningen moeten deze lasrook in de eerste plaats van de lasser af doen bewegen, zodat het de ademzone niet bereikt.

Beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen vergt dus een opstelling waarin de plaatselijke situatie rond lasser en lasrookbeweging natuurgetrouw wordt weergegeven. Met name de stroming van lasrook ten opzichte van de lasser en een eventuele beïnvloeding van deze stroming door obstakels, tocht en dergelijke is hierbij van belang. Dit wordt bepaald door de houding van de lasser, de vorm van het werkstuk, de lasruimte met zijn inrichting en wijze van gebruik, maar ook door het type las, het lasproces, het lasvermogen en dergelijke. In de praktijk zijn hiervan veel variaties mogelijk. Deze kunnen in dit onderzoek niet allemaal worden nagebootst. Er moet dus een keuze worden gemaakt. Uitgangspunt bij de keus is dat het merendeel van de voorkomende lassituaties hier onder moet vallen, terwijl de afstemming op sterk belastende lassituaties zeker even goed moet zijn. Dit laatste is van belang omdat in sterk belastende lassituaties de goede werking van plaatselijke ventilatievoorzieningen het meest kritiek is.

Veruit het meeste laswerk wordt "onder de hand" uitgevoerd, een lashouding waarbij de lasser zich iets voorover gebogen boven het laswerk bevindt. In deze houding is de kans op inademing van lasrook het grootst. Deze houding wordt ook in de proefopstelling aangehouden. De horizontale en verticale afstand van de ademzone van de lasser tot de las kan hierbij variëren. In een Duits onderzoek zijn de meest voorkomende afstanden vastgesteld [6]. Figuur 2 geeft hiervan een beeld. De variatie in horizontale richting blijkt minder te zijn dan in verticale richting. In horizontale richting is het verloop in concentratie echter groter dan in verticale richting [4].

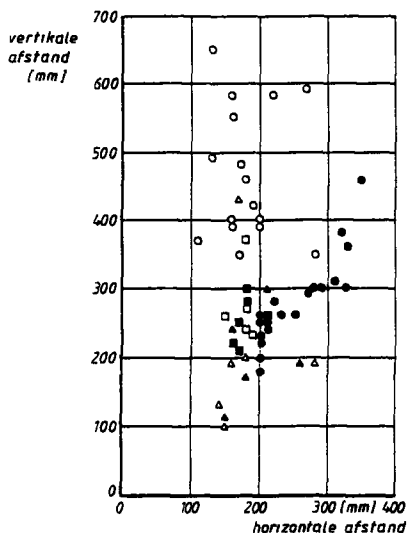


Fig. 2 Afstand tussen lasplaats en ademzone (volgens [6]).

lasproces	Houding van de lasser	
	staand	zittend
elektrode	o	o
MAG	Δ	Δ
TIG	□	□

Zowel voor de horizontale als de verticale afstand geldt dat bij afnemende afstand de concentratie toeneemt. Voor de horizontale afstand wordt in de proefopstelling 175 mm aangehouden. Voor de verticale afstand 250 mm. Beide afstanden liggen bewust lager dan de gemiddelden die uit Figuur 6 worden afgeleid. Hieraan ligt de gedachte ten grondslag dat de opstelling voor het merendeel van de werksituaties moet voldoen, dus ook voor een meer ongunstige lashouding.

Er is een dummy-lasser in de betreffende houding ten opzichte van de las geplaatst (zie Figuur 3).

De dummy-lasser is een pop waarvan de romp wordt verwarmd om de eigen convectie na te bootsen. Het verwarmingsvermogen is 120 W. De dummy-lasser is met een kookplaat met luchtaanblaas, voor simulatie van de lasrookpluim [5], op een tafel geplaatst.

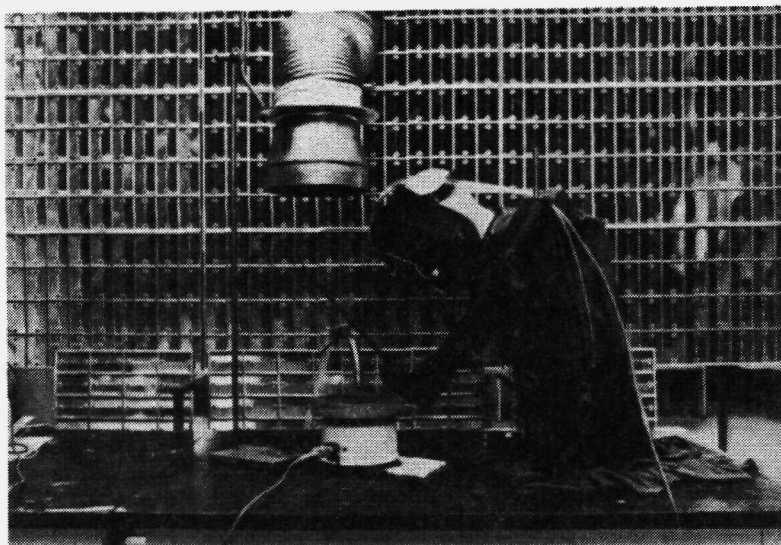


Fig. 3 Opstelling van de dummy-lasser met door een kookplaat met aanblaas nagebootste laspluim.

De tafel vormt deels een obstakel voor een stroming in verticale richting. Langs de tafel is wel voldoende aanstroomruimte naar de kookplaat aanwezig. Obstakels zijn in elke lasopstelling in verschillende mate aanwezig. Het laswerkstuk is zo'n obstakel. Ook aanwezige apparatuur en schermen kunnen de stroming beïnvloeden. De verscheidenheid in obstakels is in de praktijk groot en daarom moeilijk te simuleren. Het effect op de directe stroming van las naar lasser is echter beperkt, indien ze zich niet hiertussen bevinden. Dit is het geval in de simulatie-opstelling dus is hieraan verder geen aandacht besteed. De invloed van de opstellingsruimte op de lasrookbeweging is ook gering, mits deze groot genoeg is om de beweging van lasrook te dempen. Voor de gebruikte opstellingsruimte geldt dit zeker. De opstelling is namelijk in een hal van circa 1500 m³ geplaatst om snelle veranderingen van de achtergrondconcentratie te voorkomen.

Belangrijker is de beïnvloeding van de lasrookbeweging door dwarsstromingen in de ruimte, bijvoorbeeld door geopende ramen en deuren, door convectiestromen of door langslopen. De lasopstelling is slechts voor sterke stroming uit open ramen of buitendeuren afgeschermd. De invloed van zulke sterke dwarsstromingen is apart beproefd door ze met een ventilator te genereren.

De las is gesimuleerd met een kookplaat waarop lucht met tracergas wordt geblazen [5]. De kookplaat is zo geplaatst dat het hart van de lasrookpluim zich recht voor de lasser bevindt. De horizontale afstand tussen de ademzone (midden van mond en neus) en het hart van de las, in voorwaartse richting vanaf de lasser, bedraagt de reeds genoemde 175 mm. De verticale afstand tot het vlak van de kookplaat is 250 mm.

Bij de meeste proeven is uitgegaan van de simulatie van een hoog lasvermogen van 11,1 kW (370 A, 30 V). De 1200 W kookplaat met een diameter van 22 cm is hiertoe op 160 V gestookt. Er is recht op het hart een luchtvolumestroom van 1,44 dm³/s geblazen via een pijpje met een diameter van 20 mm. In deze luchtvolumestroom is een tracergas toegevoegd. Om de invloed van het lasvermogen vast te stellen zijn ook proeven bij een laag lasvermogen (0,88 kW, 55 A, 16 V) uitgevoerd met de kookplaat op 50 V en 0,83 dm³/s aanblaas [5].

3.2 VASTLEGGING VAN DE VERSPREIDING VAN TRACERGAS

De dummy-lasser is voorzien van een veel gebruikt, rond type lashelm. In de lashelm is een monsternamepunt vlak bij de mond en neus van de lasser aangebracht. De concentraties van het op de kookplaat uitgeblazen tracergas bij dit monsterpunt zijn een maat voor de verontreiniging in de ademzone. Door de situaties met en zonder toepassing van plaatselijke ventilatievoorzieningen met elkaar te vergelijken is een relatieve maat voor het effect van de voorziening in de ademzone af te leiden.

Als tracergas is lachgas (N₂O) gebruikt. De concentraties zijn bepaald met een gasanalysator volgens het principe van de infrarood-absorptie (Miran). Doordat een gas een piek vertoont in absorptie van infraroodstraling bij een bepaalde, gasspecifieke golflengte kan uit de mate van absorptie de concentratie worden afgeleid. De meter dient hiervoor vooraf te zijn geijkt.

De concentratiemetingen zijn ondersteund door metingen uitgevoerd met een door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO ontwikkeld apparaat, de zogenaamde gaswolksanner. De werking van de gaswolksanner wordt beschreven in [7].

Het meetprincipe komt overeen met de hiervoor genoemde Miran gasanalysator. Het grote verschil is echter dat de meting in de vrije ruimte wordt uitgevoerd, in plaats van in een meetkamer van het apparaat waarin het gas is gezogen. Met behulp van aangepaste verwerkingsapparatuur is het hierdoor mogelijk een indruk te krijgen van de verspreiding van het tracergas in de ruim-

te. Met deze techniek kan snel een beeld worden geproduceerd, waardoor bijvoorbeeld de beïnvloeding van de lasrookpluim door toepassing van een bepaalde maatregel zichtbaar kan worden gemaakt. Uit dit beeld kunnen ook concentraties worden afgeleid.

3.3 OVERIGE METINGEN

De luchtvolumestromen van plaatselijke ventilatievoorzieningen zijn gemeten met geijkte meetflenzen of met een "flowfinder". De "flowfinder" is een nieuw, bij de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO ontwikkeld meetinstrument. De volumestroom wordt gemeten door het instrument op de zuig- of blaasmond te plaatsen, zodat alle lucht er door stroomt. Daarna wordt de flowfinder zodanig ingesteld dat de weerstand van het instrument bij de betreffende volumestroom volledig wordt gecompenseerd. De instelling is dan een maat voor de volumestroom. De meetonauwkeurigheid is minder dan 5%.

Bij meting met meetflenzen zijn deze in de zuigleiding van de plaatselijke ventilatievoorzieningen aangebracht.

Het drukverschil over de meetflens is dan een maat voor de volumestroom. De onnaauwkeurigheid is bij geijkte meetflenzen minder dan 2%.

Bij grote luchtvolumestromen is een variant van de meetflenzen toegepast. Het verschil is dat niet het drukverschil over de meetflens is gemeten, maar de snelheid in het hart van de doorstroomopening. Ook dit is een geijkte meetopstelling. De onnaauwkeurigheid is minder dan 10%.

Bij de dosering van tracergas is de volumestroom constant gehouden door standaard nozzle's met een vaste voordruk te gebruiken. Voor grote doseringen, toegepast bij de metingen met de gaswolkscanner, is een flowrator toegepast (onnaauwkeurigheid circa 10%). Overigens zijn de tracergasdoseringen minder van belang omdat relatief is gemeten. Dit wil zeggen dat bij eenzelfde dosering steeds met en zonder beschermende maatregel een meting is uitgevoerd. De relatieve invloed van de maatregel is hieruit afgeleid.

Incidenteel zijn ook snelheidsmetingen verricht, zoals bij de vaststelling van dwarsstromingen. Hiervoor is een thermo-anemometer toegepast.

4. BEPROEFDE PLAATSELIJKE VENTILATIEVOORZIENINGEN

4.1 INVENTARISATIE BESTAANDE VOORZIENINGEN

Voor de plaatselijke ventilatie bij het lassen zijn verschillende voorzieningen in de handel. Uit de in vele folders genoemde voorzieningen is de volgende onderverdeling te maken:

- Lastafels met afzuiging.

Er zijn lastafels in de handel met afzuiging aan de onderzijde, de zijkant, de bovenzijde of combinaties hiervan. Er zijn ontwikkelingen waarbij de afzuiging wordt ondersteund door inblaaslucht, die via een spleet de lasrook langs een geleide schot naar de afzuigopening leidt.

Gevangen lasrook wordt in het algemeen naar de buitenlucht afgevoerd.

De grootte van afgezogen luchtvolumestromen wordt meestal niet genoemd.

Dit is ook sterk afhankelijk van de grootte van de lastafel. Als richtwaarden kunnen ter plaatse van de las zuigsnelheden van 2 m/s voor onderafzuiging en 1 m/s voor zij- en bovenafzuiging worden aangehouden.

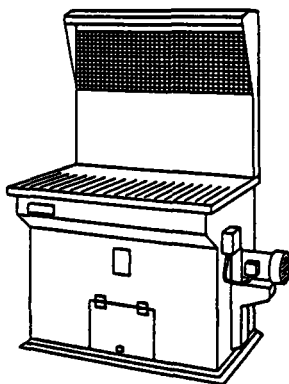


Fig. 4 Een lastafel met onder- en zijafzuiging.

Als toepassingsgebied moet vooral worden gedacht aan klein, vervoerbaar laswerk, in het algemeen in seriematige productie. De toepassing in productiebedrijven lijkt beperkt tot vaste lasplaatsen.

In de vele lasbedrijven met vooral wisselende lasplaatsen, waarop het onderzoek zich richt, zijn geen lastafels met afzuiging aangetroffen. Een uitzondering hierop vormen de snijtafels met onderafzuiging, die enkele malen zijn aangetroffen. De effectiviteit hiervan is in de praktijk onderzocht. Concentraties in de ademzone blijken door het gebruik van snijtafels gemiddeld met 70% te worden verminderd. Ze blijven daarmee steeds onder de MAC-waarden voor lasrook [8].

Gezien dit resultaat en het beperkte toepassingsgebied voor wisselende lasplaatsen worden lastafel met afzuiging in dit onderzoek niet nader onderzocht.

- Verplaatsbare afzuigers.

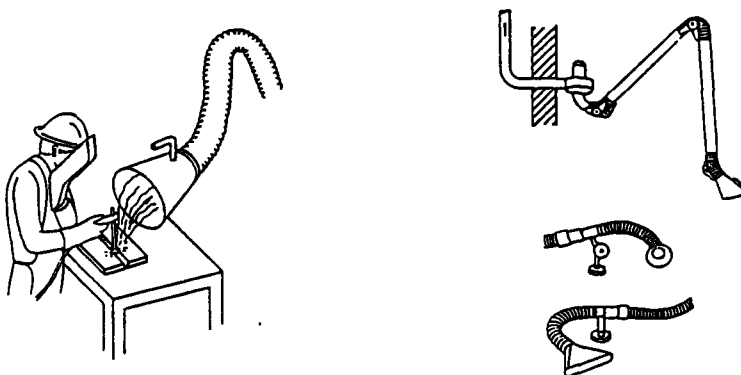


Fig. 5 Verplaatsbare afzuigers in verschillende uitvoeringsvormen.

Er is een grote verscheidenheid aan verplaatsbare afzuigers in de handel. Het meest aangetroffen zijn puntafzuigers die vanuit een vast punt op elke willekeurige plaats binnen een straal van enkele meters kunnen worden geplaatst.

Vanuit het zwenkpunt wordt de lasrook meestal met een vaste leiding naar buiten afgevoerd. Het werkingsgebied kan worden vergroot door het zwenkpunt op een afzuigrail te monteren, waarlangs de zwenkarm kan worden verschoven. De zwenkarm kan ook zijn gemonteerd op een verrijdbare ventilator/filterunit. De afgezogen lucht wordt dan na filtratie in de ruimte teruggevoerd. De afzuigdebieten die in de folders worden opgegeven variëren van 200 tot 500 dm³/s. De plaatsingsafstand tot de las ligt meestal tussen 20 en 80 cm.

Er bestaan ook bronafzuigers die met beduidend lagere volumestromen werken, namelijk 40 tot 90 dm^3/s . De plaatsingsafstand is meestal niet meer dan 20 cm. Vaak is de afzuigmond evenals de lasnaad langwerpig. De afzuigmond wordt meestal met een magneetvoet op het laswerkstuk geklemd. De afzuigventilator is vrijwel steeds draagbaar of verrijdbaar en blaast via een filter terug in de ruimte. In een enkel bedrijf is een centraal afzuigstelsel aangebracht met insteekpunten voor de flexibele afzuigslangen. Vanwege de geringe afstand waarbinnen deze bronafzuigers werkzaam zijn moet de afzuigmond veelvuldig worden verplaatst. Waarschijnlijk is dit de reden dat deze afzuigers nauwelijks zijn aangetroffen in het praktijkonderzoek. In het enkele geval dat deze apparatuur aanwezig was, werd het niet gebruikt.

Ook het gebruik van grotere puntafzuigers is beperkt. Vaak blijken lassers zonder dergelijke beschermende hulpmiddelen te werken. In de gevallen dat puntafzuigers werden gebruikt varieert het effect [8]. Bij afzuigers die op het oog de lasrook van de ademzone weghouden en het daarna vangen lagen de concentraties in de ademzone gemiddeld 50% lager dan zonder gebruik van afzuiging. Afstanden tot de lasboog waren meestal 20 tot 40 cm. Als de afstand te groot werd was er nauwelijks enig effect. Als niet goed op het weggeleiden van de lasrook bij de ademzone werd gelet kon een averechts effect ontstaan. Een afzuiger boven het hoofd van de lasser veroorzaakte een twee maal zo hoge expositie!

Omdat de verplaatsbare afzuigers wel worden toegepast in de praktijk, maar omdat juist gebruik te wensen overlaat zijn deze afzuigers nader onderzocht.

- Laskappen met afzuiging

Er bestaan laskappen waarbij de afzuiging aan de laskap is gekoppeld. Het voordeel is dat de afzuiging steeds op ongeveer gelijke afstand van de lasrookpluim plaats vindt, zodat niet veelvuldig gepositioneerd hoeft te worden. Een gevaar is echter dat lasrook juist naar de ademzone wordt getrokken. Als lasrook dan niet afdoende wordt afgevoerd, wordt de indringing van lasrook in de ademzone juist bevorderd. Een afzuiguit kan dan wellicht verbetering geven. Afzuigdebieten liggen tussen 30 en 70 dm^3/s . Het gewicht kan hierbij een bezwaar vormen. Het gebruik is in de praktijk niet geconstateerd. Toch heeft deze vorm van afzuiging vanwege het eerdergenoemde voordeel aantrekkelijke kanten. In het onderzoek is er daarom enige aandacht aan besteed.

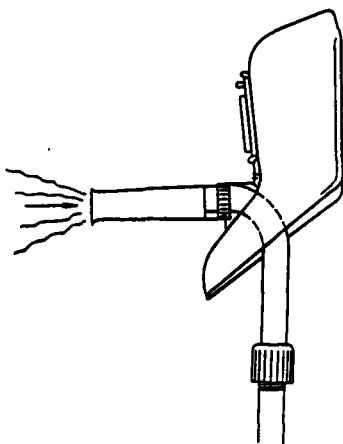


Fig. 6 Een laskap met afzuiging via een tuit.

- Lastoortsen met afzuiging

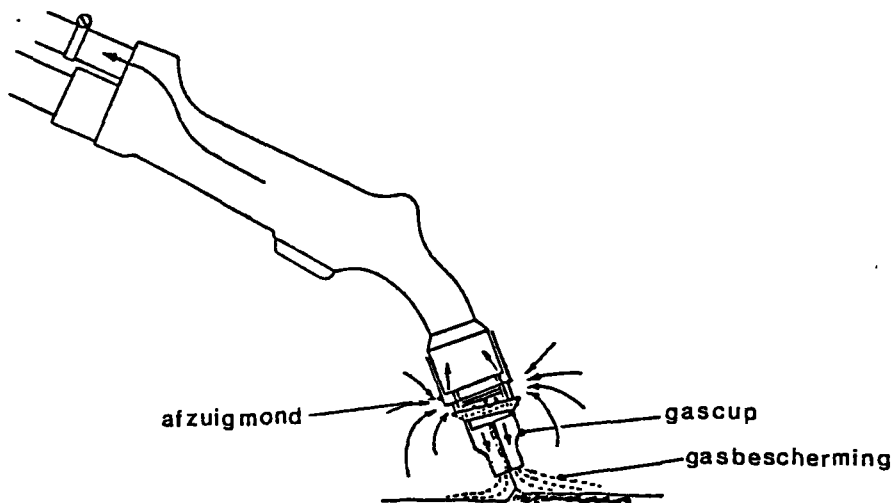


Fig. 7 Een lastoorts met afzuiging.

Het idee is aantrekkelijk. Afzuiging aan de lastoorts betekent dat steeds op geringe afstand van de bron wordt afgezogen. Bovendien zijn op dit punt de concentraties nog hoog en is de hoeveelheid verontreinigde lucht nog klein omdat nog nauwelijks menging met ruimtelucht is opgetreden.

Om de laskwaliteit niet te beïnvloeden zijn de afzuigsnelheden echter begrensd. De begrenzing zorgt ervoor dat juist dat deel van de lasrookpluim dat zich het meest verspreidt niet wordt gevangen en vrijwel ongehinderd de ademzone kan bereiken. (zie Figuur 8). Enig effect voor de ademzone van de lasser is daarom niet geconstateerd. De totale belasting van de ruimte wordt wel verminderd omdat verontreinigingen in het hart van de lasrookpluim wel worden gevangen [9].

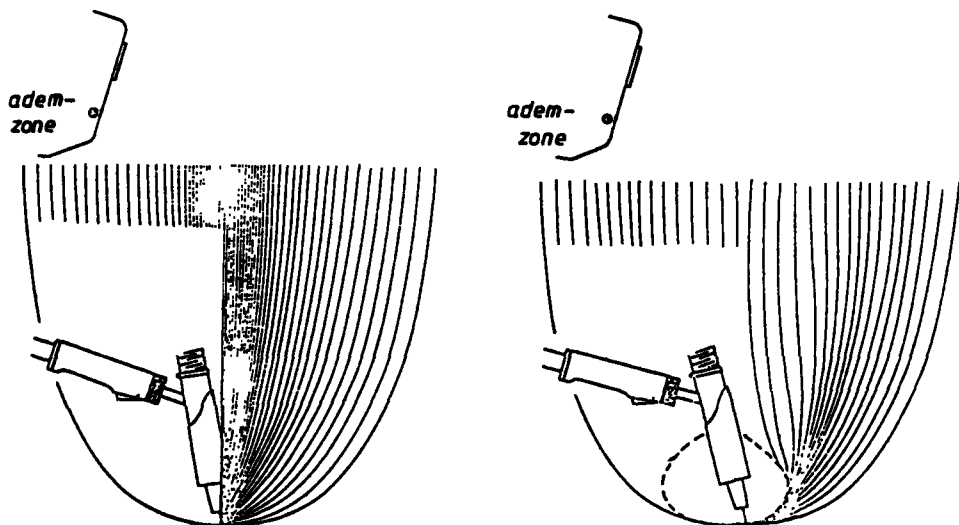


Fig. 8 Veronderstelde lasrookverdeling zonder en met afzuiging aan de lastoorts (ontleend aan [9]).

Naast het geringe effect voor de ademzone is een bezwaar van lastoortsen met afzuiging dat ze alleen bij lassen met beschermgas en draadtoevoer (MIG- en MAG-lassen) worden toegepast. Verder is het grotere gewicht een bezwaar, hoewel inmiddels toortsen met afzuiging zijn ontwikkeld die dit bezwaar niet hebben.

Het is echter onbekend wat de effectiviteit van deze toortsen is.

Vanwege de praktische bezwaren die thans nog aan lastoortsen met afzuiging

kleven en vanwege de geringe toepassing is er in dit onderzoek verder geen aandacht meer aan besteed.

4.2 OVERZICHT VAN BEPROEFDE VOORZIENINGEN EN CONDITIES

Aan de in Hoofdstuk 3.1 beschreven opstelling van een dummy-lasser met een door een kookplaat gesimuleerde lasrookbeweging zijn de volgende plaatse-lijke ventilatievoorzieningen beproefd:

- verplaatsbare puntafzuigers met ronde, conische afzuigmond. De afzuigmond heeft een diameter van 250 mm. De tophoek van de conus is 60° . De afzuigdebieten zijn 200, 350 en $500 \text{ dm}^3/\text{s}$.
- lichter uitgevoerde verplaatsbare spleetafzuiging. De spleet is 40 cm lang en 1 cm breed. Rondom de spleet bevindt zich een rand van 10 cm breedte. De spleet is evenwijdig aan de lasrichting geplaatst. De afzuigdebieten zijn 25, 50, 100 en $125 \text{ dm}^3/\text{s}$.
- lashelm met afzuiging. Het effect van een afzuigopening bij het venster en bij de kin van de lashelm is vastgesteld. De afzuigdebieten zijn 30, 50 en $70 \text{ dm}^3/\text{s}$.

De proeven komen neer op het vastleggen van de concentraties in de ademzone zonder gebruik van voorzieningen en bij gebruik van de genoemde voorzieningen onder de genoemde condities. De verplaatsbare afzuigers zijn daarbij op verschillende plaatsen ten opzichte van las en lasser aangebracht. Daarbij is de afzuiger in hoogterichting, in zijwaartse richting en in voorwaartse richting ten opzichte van de lasser verplaatst. Uit deze gegevens is de effectiviteit van de afzuigers, afhankelijk van de plaatsing en het debiet vastgesteld. Een aantal proefnemingen is herhaald bij aanwezigheid van een dwarsstroming langs de lasser met een lichtsnelheid van 0,5 m/s. Dit om de invloed van verstoring van de stroming vast te stellen. De snelheid van 0,5 m/s wordt reeds een vrij sterke stroming geacht. Hogere lichtsnelheden zullen zeker dichtbij geopende ramen of buitendeuren optreden, maar worden geacht slechts kortstondig aanwezig te zijn in verband met toechthinder. Op de gemiddelde expositie over langere periode (bijvoorbeeld een werkdag) worden ze geacht een geringe invloed te hebben. Een lichtsnelheid van 0,5 m/s wordt een reële snelheid geacht die nog wel langdurig voor kan komen in lasruimten.

Alle proeven zijn uitgevoerd bij de simulatie van het hoge lasvermogen (11,1 kW). Proeven met de verplaatsbare afzuigers zijn gedeeltelijk ook uitgevoerd bij het lage lasvermogen (0,88 kW).

Van een aantal kenmerkende situaties zijn scanneropnamen gemaakt om de invloed van de voorziening op de stroming en concentratieverdeling van lasrook vast te leggen.

De beelden illustreren hoe de voorzieningen de concentraties in de ademzone beïnvloeden.

5. RESULTATEN VAN HET ONDERZOEK

5.1 VERPLAATSBARE PUNTAFZUIGING

In de figuren 10 t/m 14 is de invloed van verplaatsbare puntafzuiging op de concentraties in de ademzone weergegeven, afhankelijk van het debiet, de plaatsing en het lasvermogen. De percentages geven aan welk deel van de verontreinigingen, die anders in de ademzone komen, wordt gevangen. Honderd procent betekent dus dat geen verontreinigingen vanaf de las meer in de ademzone komen. Nul procent betekent dat de afzuiging geen effect meer heeft. De plaats waar het percentage wordt aangegeven is de plaats waar het hart van de afzuigmond moet zijn aangebracht om de concentratie in de ademzone met het betreffende percentage terug te brengen. De percentages zijn in punten en in getrokken lijnen aangegeven. De punten geven de gemeten waarden. Omdat door toevallige effecten de spreiding per meetpunt aanzienlijk is en anderzijds toch een systematisch verband aanwezig wordt geacht, zijn geïdealiseerde effectiviteitslijnen getrokken. De vormen van de lijnen zijn bepaald door van alle proeven met eenzelfde type afzuiging gemiddelden te bepalen. De plaatsen van de lijnen zijn zo gekozen dat ze enerzijds onderling een redelijk verband vertonen tussen ligging en percentage, anderzijds zelden een gunstiger effect vertonen dan het werkelijk gemeten effect op die plaatsen.

In de figuren is rond de lastoorts een gearceerde zone aangegeven. Als de afzuiging hierbinnen wordt geplaatst veroorzaakt dit bij de las zuigsnelheden hoger dan 1,0 m/s. Dit wordt in de literatuur een ontoelaatbare waarde geacht voor lassen met beschermgas, omdat het beschermgas dan wordt weggeblazen. De vergrote afkoeling van de las zelf vormt dan echter nog geen probleem [10].

De effectiviteitslijnen zijn aangegeven voor plaatsing van de afzuiging vóór de lasser. Uit metingen bij opzij van de lasser geplaatste afzuiging (dus loodrecht op het vlak van tekening) blijkt ongeveer eenzelfde verband tussen plaatsing en effectiviteit van de afzuiging te bestaan. Bij benadering mag men de effectiviteitslijnen dus naar twee zijden 90° omcirkelen om een loodlijn boven de las. Verder omcirkelen lijkt niet toegestaan. De afzuiging komt dan namelijk achter de lasser en trekt de lasrook juist naar de ademzone.

De resultaten van de metingen met de gaswolkscanner zijn weergegeven in figuren 15 en 16. Figuur 15 toont de invloed van het afzuigdebiet; Figuur 16 laat het effect van verschillen in plaatsing zien. Op de scanneropnamen zijn gearceerd de contouren van de dummy-lasser, de kookplaat en de afzuiging aangegeven zoals ze ook in Figuur 3 zijn te zien.

Een grijstint in de lasrookpluim geeft de hoeveelheid tracergas in ppm.m aan, die zich op een lijn loodrecht op het vlak van de afbeelding, in de lasrookpluim bevindt (zie Figuur 9).

Voor de concentratie in de ademzone is de grijswaarde onder de kin van de lasser, bij zijn hals een maat. Ter vergelijking van de scannerbeelden is Figuur 17 toegevoegd, geldig voor lassen zonder afzuiging.

De resultaten van de scannermetingen zijn, behalve in dit rapport, ook in een aparte publicatie opgenomen [13].

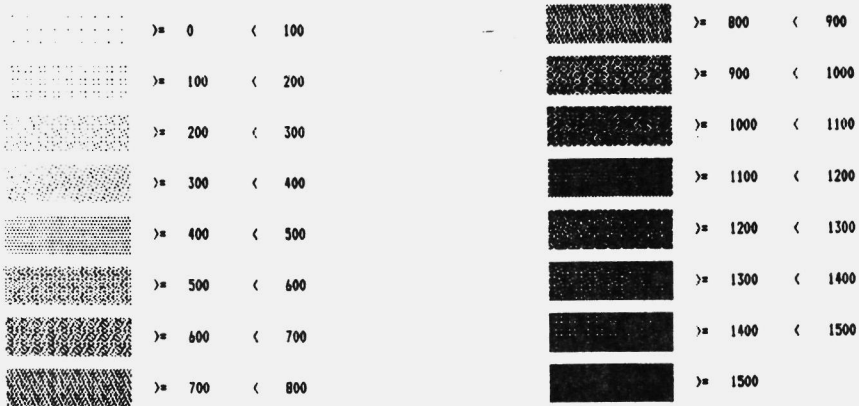


Fig. 9 Grijstinten schaal, in ppm-meter.

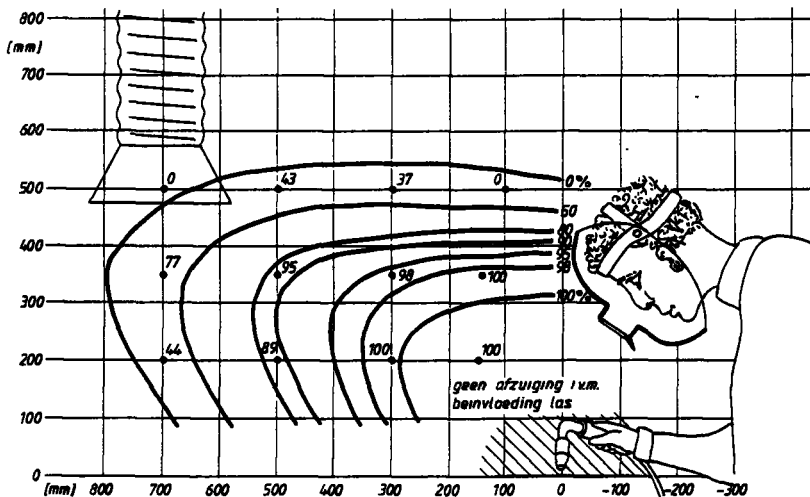


Fig. 10 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare puntafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigebiet = $200 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hoog lasvermogen.

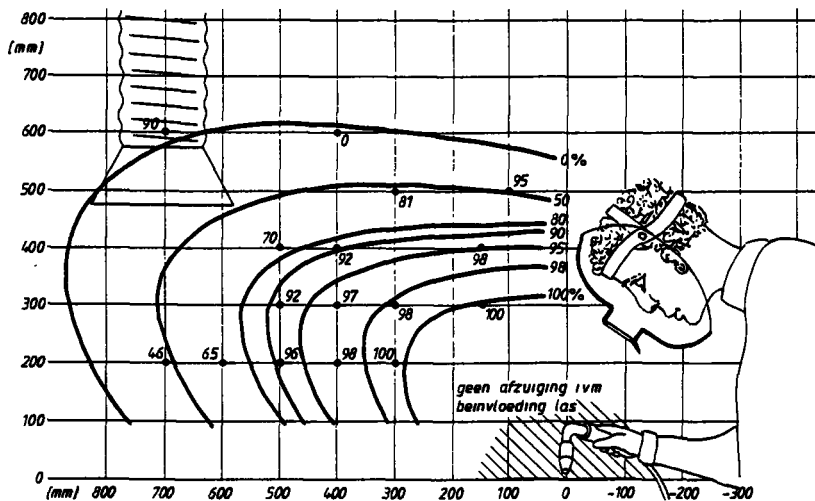


Fig. 11 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare puntafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigebiet = $200 \text{ dm}^3/\text{s}$. Laag lasvermogen.

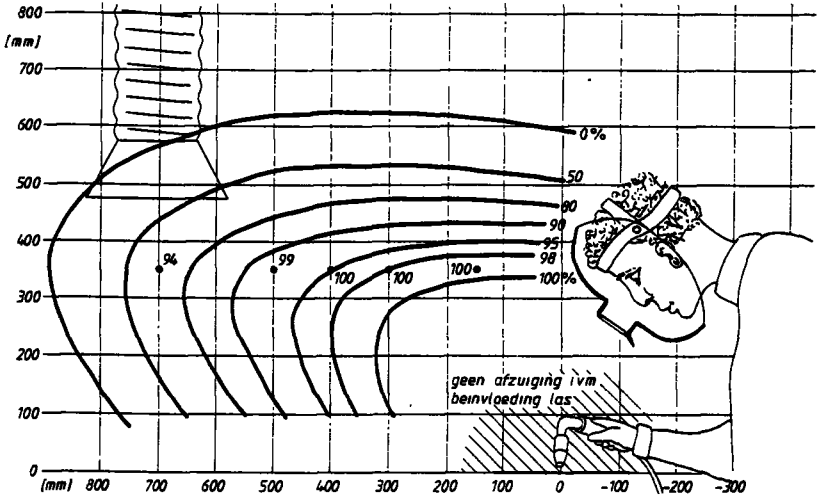


Fig. 12 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare puntafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $350 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hoog lasvermogen.

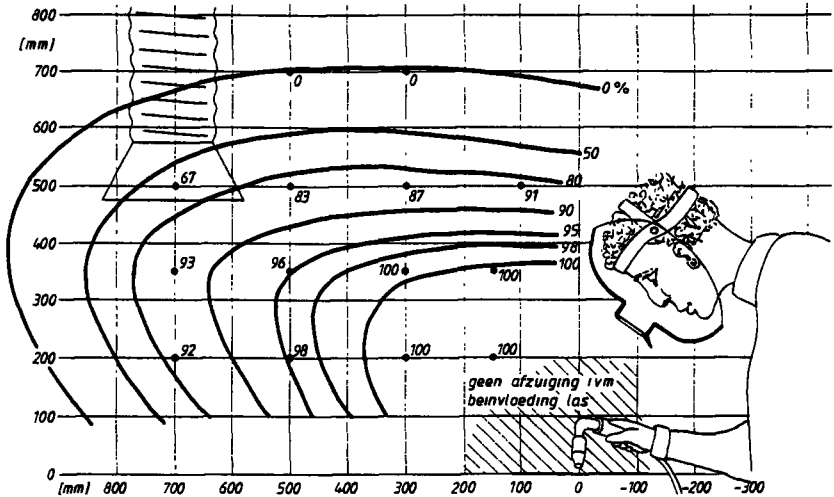


Fig. 13 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare puntafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $500 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hoog lasvermogen.

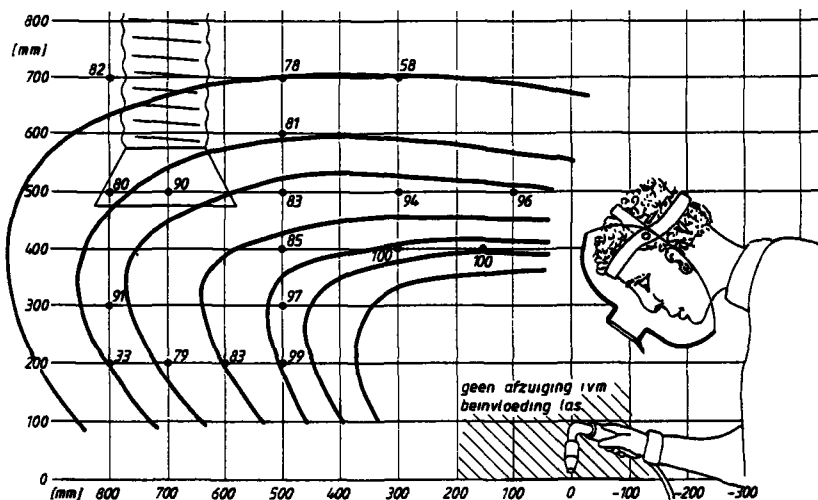


Fig. 14 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare puntafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigebied = $500 \text{ dm}^3/\text{s}$. Laag lasvermogen.

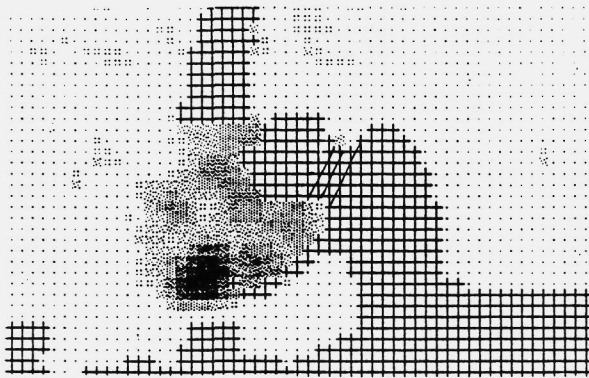
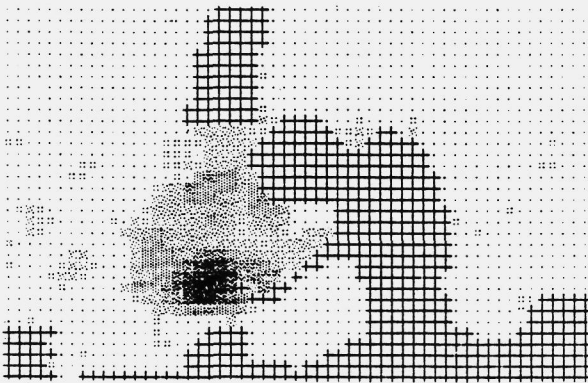
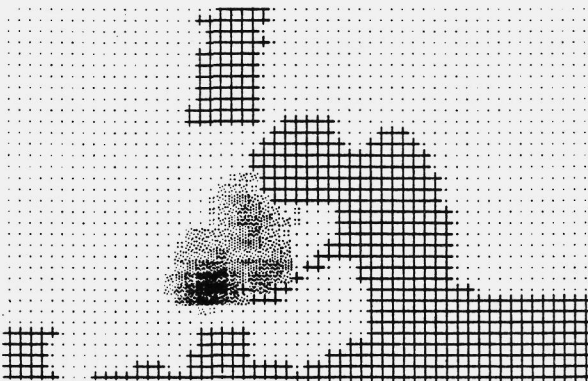
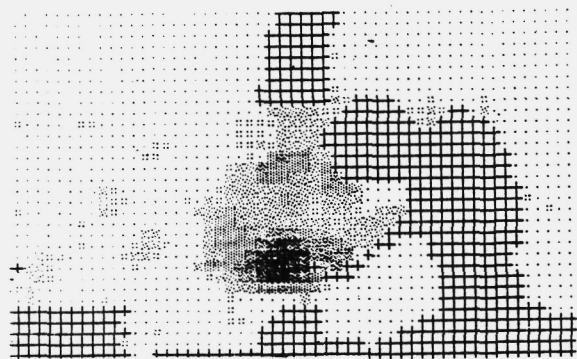
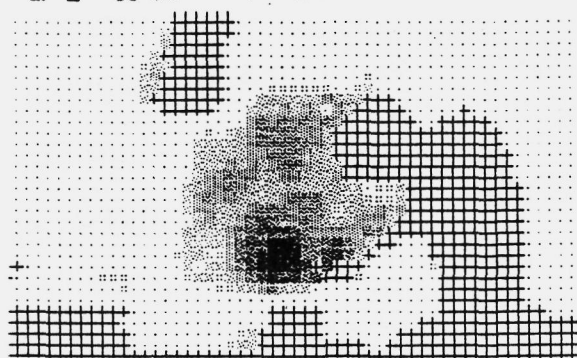
a. DEBIET 200 dm³/sb. DEBIET 350 dm³/sc. DEBIET 500 dm³/s

Fig. 15

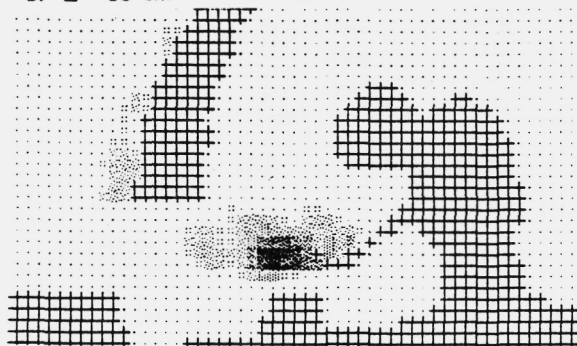
Variatie debiet verplaatsbare puntafzuiging. Opnamen met de gaswolks scanner voor verschillende waarden van het debiet bij bovenafzuiging. Het effect van de debietinstelling is in de scanneropnamen goed zichtbaar.



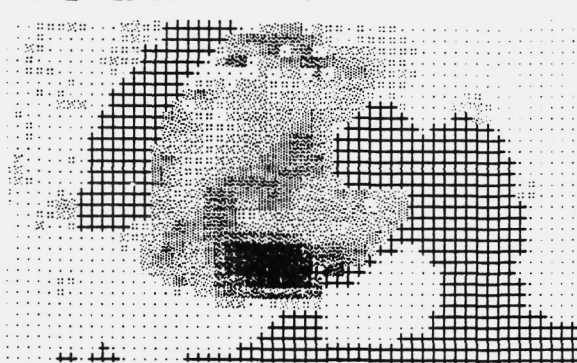
a. $Z = 50$ cm $Y = 10$ cm



b. $Z = 50$ cm $Y = 40$ cm



c. $Z = 20$ cm $Y = 40$ cm



d. $Z = 20$ cm $Y = 60$ cm

Fig. 16

Variatie plaats puntafzuiging.

Scanneropnamen van de lasopstelling, voor verschillende plaatsen van de bovenafzuiging. Het debiet is $350 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Bij de opnamen zijn de verticale afstand (Z) en de horizontale afstand (Y) tussen het hart van de lasplaat en het hart van de afzuigopening vermeld.

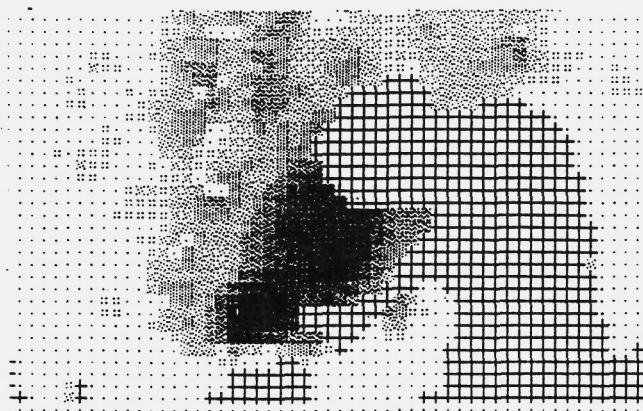


Fig. 17 Scanneropnamen van het lassen zonder enige plaatselijke ventilatievoorziening.

5.2 VERPLAATSBARE SPLEETAFZUIGING

In figuren 18 t/m 22 is de invloed van verplaatsbare spleetafzuiging op de concentraties in de ademzone weergegeven, afhankelijk van het debiet, de plaatsing en het lasvermogen. Voor de figuren geldt dezelfde toelichting als in Hoofdstuk 5.1 voor figuren 10 t/m 14 is gegeven.

De resultaten van de metingen met de gaswolkscanner zijn weergegeven in figuren 23 en 24. Hier geldt dezelfde toelichting als in Hoofdstuk 5.1 voor figuren 15 en 16.

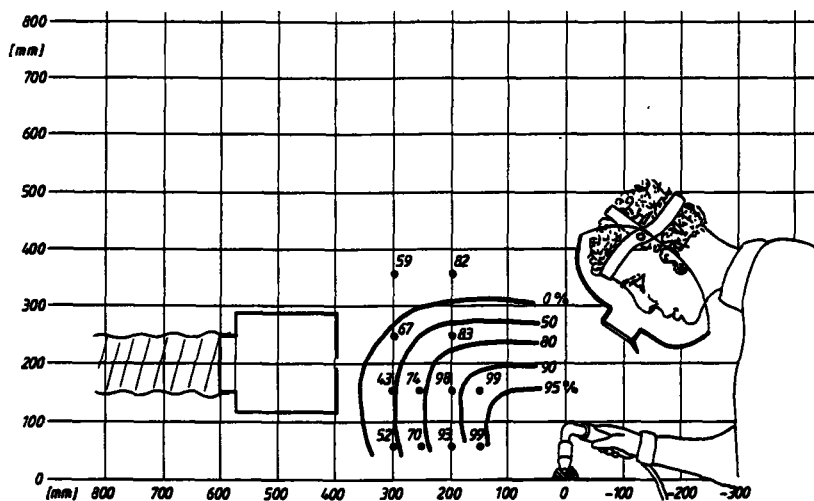


Fig. 18 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare spleetafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $25 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hoog lasvermogen.

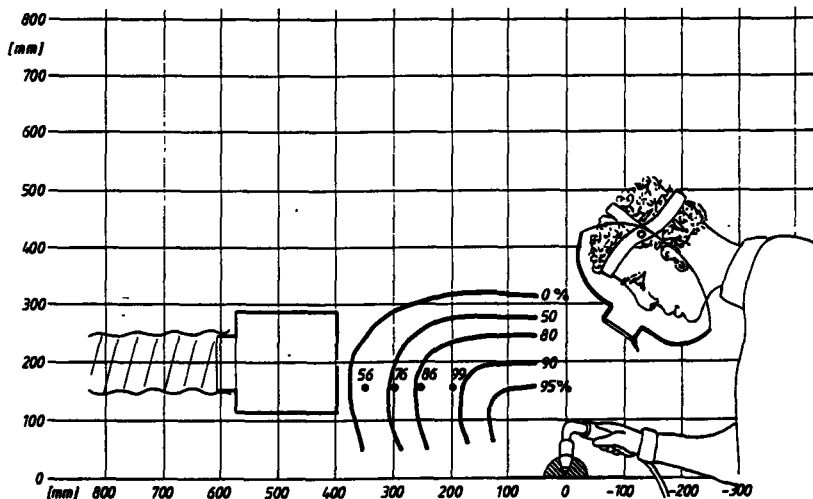


Fig. 19 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare spleetafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $50 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hoog lasvermogen.

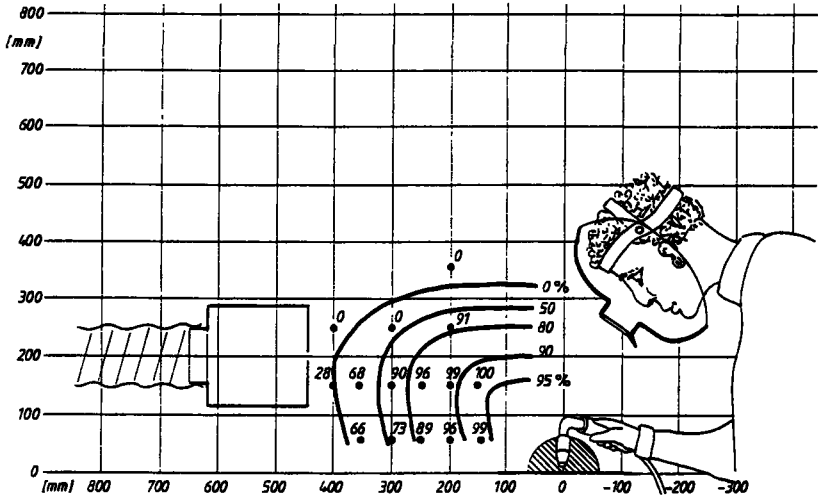


Fig. 20 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare spleetafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $100 \text{ dm}^3/\text{s}$. Hoog lasvermogen.

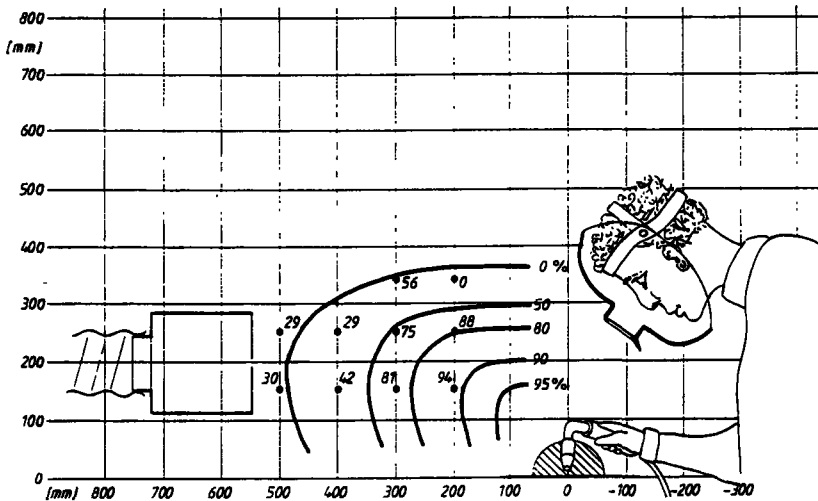


Fig. 21 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare spleetafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $100 \text{ dm}^3/\text{s}$. Laag lasvermogen.

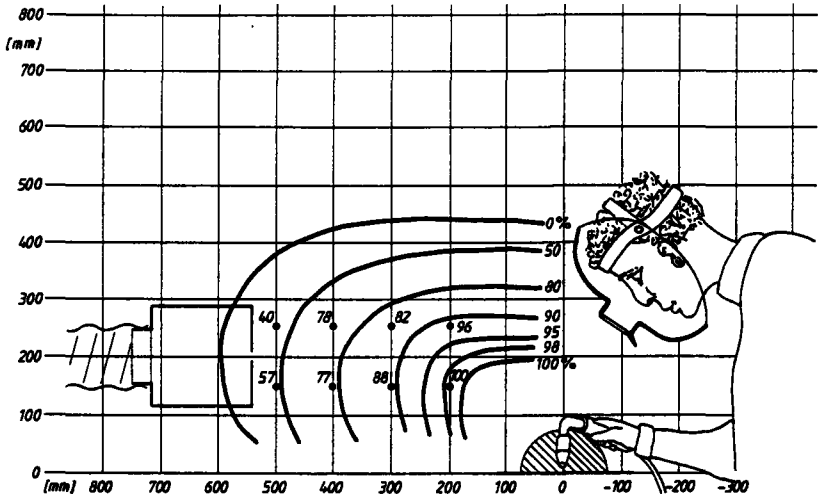


Fig. 22 Gemeten (.) en geïdealiseerde (-) effectiviteit (%) van verplaatsbare spleetafzuiging voor de lasrookconcentraties in de ademzone, afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. Afzuigdebiet = $125 \text{ dm}^3/\text{s}$. Laag lasvermogen.

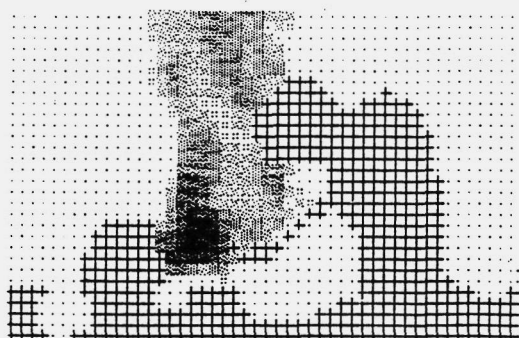
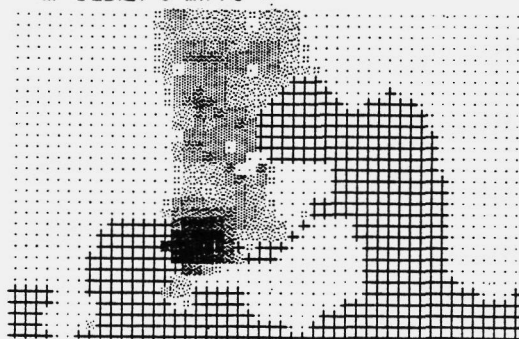
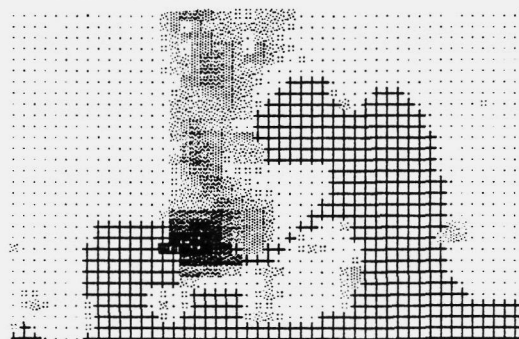
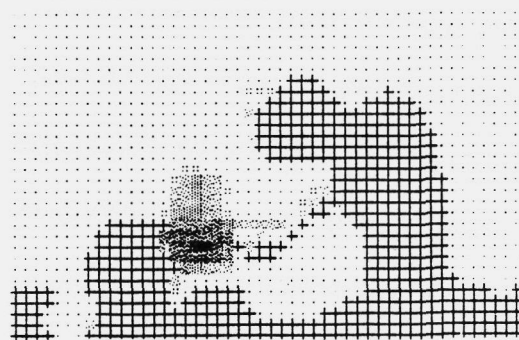
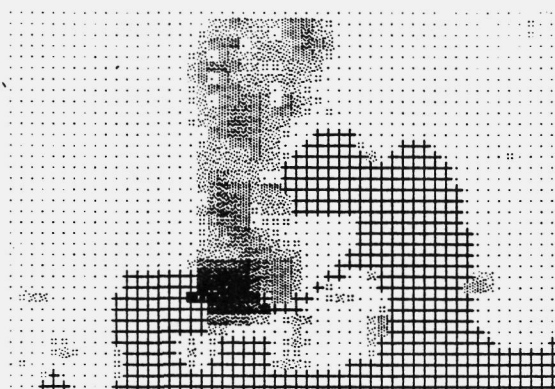
a. DEBIET 0 dm³/sb. DEBIET 25 dm³/sc. DEBIET 50 dm³/sd. DEBIET 100 dm³/s

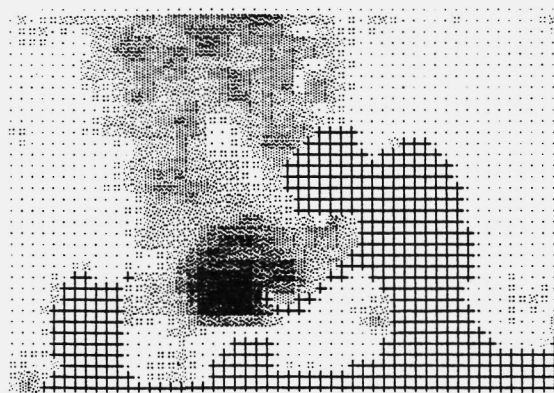
Fig. 23

Variatie debiet spleetafzuiging.

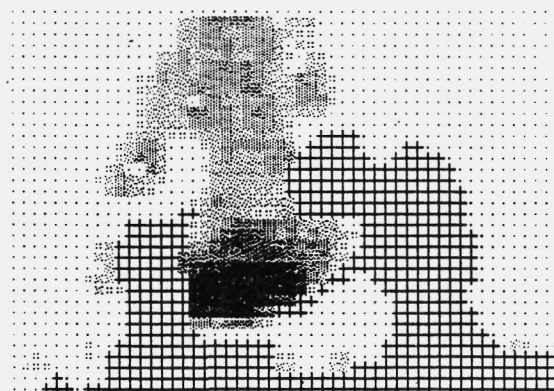
Opnamen met de gaswolk-scanner voor verschillende waarden van het debiet bij spleetafzuiging. De verticale en de horizontale afstand tussen het hart van de lasplaats en het hart van de afzuigspleet zijn respectievelijk $Z = 15$ cm en $Y = 15$ cm.



a. $Z = 15 \text{ cm}$ $Y = 15 \text{ cm}$



b. $Z = 15 \text{ cm}$ $Y = 30 \text{ cm}$



c. $Z = 30 \text{ cm}$ $Y = 15 \text{ cm}$

Fig. 24

Variatie plaats spleetafzuiging.

Scanneropnamen van de lasopstelling voor verschillende plaatsen van de spleetafzuiging. Het debiet is $50 \text{ dm}^3/\text{s}$.

Bij de opnamen zijn de verticale afstand (Z) en de horizontale afstand (Y) tussen het hart van de lasplaat en het hart van de afzuigspleet vermeld.

5.3 LASHELM MET AFZUIGING

Er is afzuiging bij de kin en afzuiging rond het venster van de lashelm onderzocht, afhankelijk van het debiet. De proeven zijn bij het hoge lasvermogen uitgevoerd. De resultaten zijn als volgt:

kinafzuiging

debiet [dm^3/s]	vermindering concentratie in ademzone [%]
30	0
50	93
70	100

vensterafzuiging

debiet [dm^3/s]	vermindering concentratie in ademzone [%]
30	0
50	39
70	81

5.4 INVLOED VAN VERSTORENDE LUCHTSTROMEN

Interne stromingen kunnen gemakkelijk de lasrookbeweging beïnvloeden. Zoals figuur 17 toont kan hierdoor lasrook juist naar de ademzone worden bewogen. De blootstelling van de lasser neemt dan toe. Indien een luchtbeweging met 0,5 m/s naar de lasser toe plaatsvindt blijkt de concentratie in de ademzone een factor 2,3 hoger te worden. Gezien het feit dat concentraties in het hart van de lasrookpluim wel het tienvoudige kunnen bedragen van de gemiddelde concentraties bij de ademzone valt dit nog mee. De relatief beperkte toeneming van de concentratie in de ademzone wordt veroorzaakt doordat de luchtbeweging weliswaar de lasrook naar de ademzone drijft, maar deze tevens verdunt. De verhoogde blootstelling kan worden voorkomen door voor de lasser een scherm te plaatsen (Figuur 25).

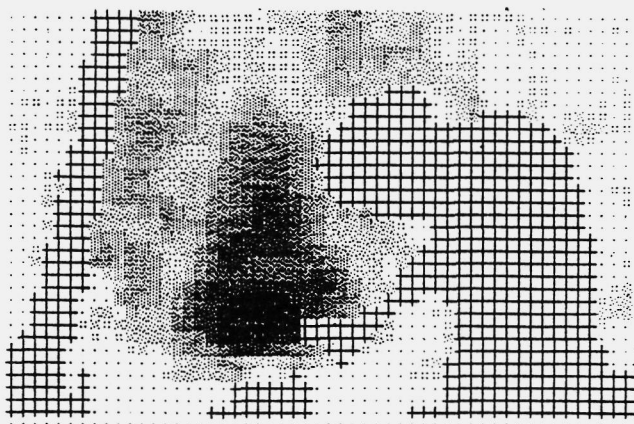


Fig. 25 Scanneropname met scherm, zonder verdere maatregelen. De laspluim heeft achter het scherm de neiging om verticaal op te stijgen.

In de luwte van het scherm stijgt de lasrook wel verticaal op, of trekt de lasrook zelfs iets naar het scherm toe. Dit komt dan door het aankleefeffect van de lasrookstroming. Uiteraard blijft voor een goede bescherming het gebruik van een plaatselijke ventilatievoorziening noodzakelijk. Het scherm voorkomt echter ongewenste verstoring van de goede werking van de ventilatievoorziening. Schermen hebben in laswerkplaatsen vaak nog een doel. Ze voorkomen dat andere werknemers in de ruimte last hebben van het felle licht of de ultraviolette straling van het lassen.

Dwarsbewegingen zijn niet altijd ongunstig. Dit is voorstelbaar als hierdoor de lasrook niet naar de lasser toe, maar van de lasser af wordt bewogen. Het blijkt echter ook te gelden bij een beweging langs de lasser. Bij proeven met een dwarsbeweging van 0,5 m/s blijkt, zonder overige beschermende maatregelen, de concentratie in de ademzone met circa 90% af te nemen. Bij toepassing van verplaatsbare puntafzuiging is de invloed van de dwarsbeweging nauwelijks merkbaar, zolang deze niet overheerst. Effectiviteiten van de afzuiging voor de ademzone tussen 80 en 100% worden bij een dwarsbeweging van 0,5 m/s bij dezelfde plaatsen en debieten van de afzuiger gevonden. Wordt de zuigmond zo geplaatst dat de afzuigeffectiviteit beduidend lager dan 80% wordt dan gaat het effect van de dwarsbeweging overheersen. Op een plaats

waar de effectiviteit zonder dwarsbeweging 50% is, neemt door de dwarsbeweging van 0,5 m/s de effectiviteit toe tot 75%. De lasrook wordt daarbij echter nauwelijks nog gevangen, zodat wel de belasting voor de ruimte toeneemt. Als de verstorende luchtbeweging van 0,5 m/s naar de lasser toe is gericht in plaats van langs de lasser blijkt verplaatsbare puntafzuiging nog nauwelijks te werken. Om afzuigeffectiviteiten van 80% of meer te halen moet de afstand van de afzuiging tot de las globaal gehalveerd worden ten opzichte van de afstand waar zonder verstorende luchtstroming nog 100% effectiviteit wordt bereikt. Daarmee komt de afzuiging dicht bij het gebied waar plaatsing ongewenst is in verband met beïnvloeding van de las.

De afstand is bovendien erg kritisch geworden. Een geringe toeneming van de afstand kan de werking van de afzuiging volledig verloren doen gaan. Dit is te verklaren doordat de verstorende luchtbeweging direct gaat overheersen zodat de concentraties in de ademzone toenemen in plaats van afnemen. Zonder verstorende luchtbeweging wordt er bij toenemende afstand door de afzuiging altijd nog een nevenbeweging van de lasser af geïntroduceerd, die voor een meer geleidelijke afname van de effectiviteit zorgt.

6. BESPREKING VAN DE RESULTATEN

Een minderheid van de lassers gebruikt volgens het praktijkonderzoek plaatselijke ventilatie. Van de onderzochte plaatselijke ventilatievoorzieningen zijn de verplaatsbare puntafzuigers in de praktijk het meest aangetroffen [8]. De resultaten in Hoofdstuk 5 tonen aan dat met de verplaatsbare puntafzuigers en spleetafzuigers goede afzuigeffectiviteiten, betrokken op de concentraties in de ademzone van de lassers, kunnen worden bereikt. Versturende luchtbewegingen, in het bijzonder naar de lasser toe gericht, moeten dan wel worden vermeden of afgeschermd. Verder blijken de juiste plaats en afstand ten opzichte van de las en de lasser, met het afzuigebiet van groot belang te zijn. Uit figuren 10 t/m 14 en 18 t/m 22 blijkt de optimale plaats van afzuiging onder een hoek van 30° tot 45° ten opzichte van de las te zijn (zie Figuur 26).

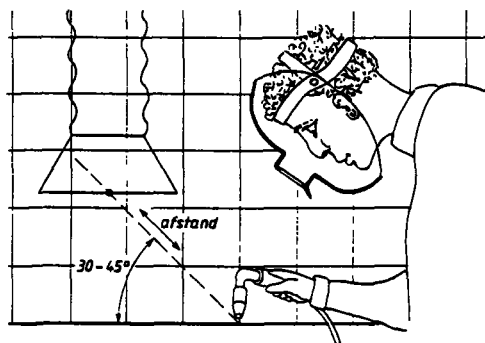


Fig. 26 Optimale plaats van afzuiging.

Bij deze hoeken is de effectiviteit, behorend bij een bepaalde afstand tot de las, het grootst. Ook König [10] noemt dit als optimale plaatsing. Het globale verband tussen de afstand, de effectiviteit en het daarvoor benodigde afzuigebiet is bij optimale plaatsing weergegeven in Figuur 27.

De figuur is eveneens afgeleid uit de figuren 10 t/m 14 en 18 t/m 22. Figuur 27 geldt dus zowel voor puntafzuiging als voor spleetafzuiging.

Afzuiging zal lang niet altijd optimaal worden geplaatst. Vaak wordt een willekeurige plaats voor de lasser en boven de las gekozen. Figuur 28 geeft

aan welk afzuigdebiet minimaal nodig is om op zo'n willekeurige plaats een bepaalde effectiviteit, afhankelijk van de afstand, te halen. Bij de samenstelling van figuren 27 en 28 is uitgegaan van de volgens de theorie geldende evenredigheid tussen het debiet en het kwadraat van de afstand. Beide figuren zijn afgeleid uit de laboratoriumproeven en gelden dus voor een omgeving met beperkte verstoringen.

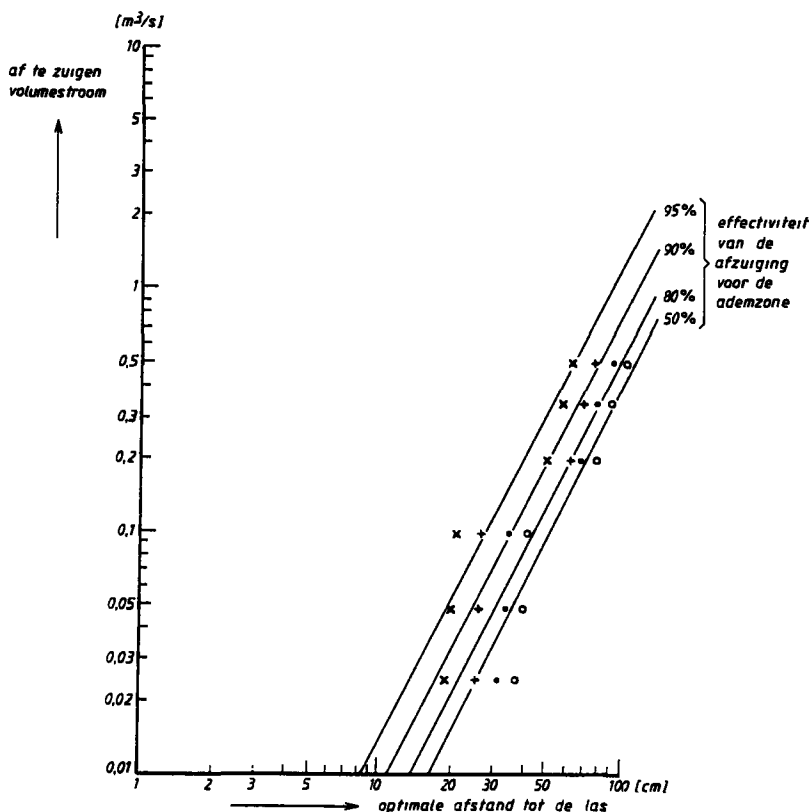


Fig. 27 Het benodigde afzuigdebiet, afhankelijk van de effectiviteit en de afstand tussen afzuiger en las bij optimaal geplaatste afzuiging.

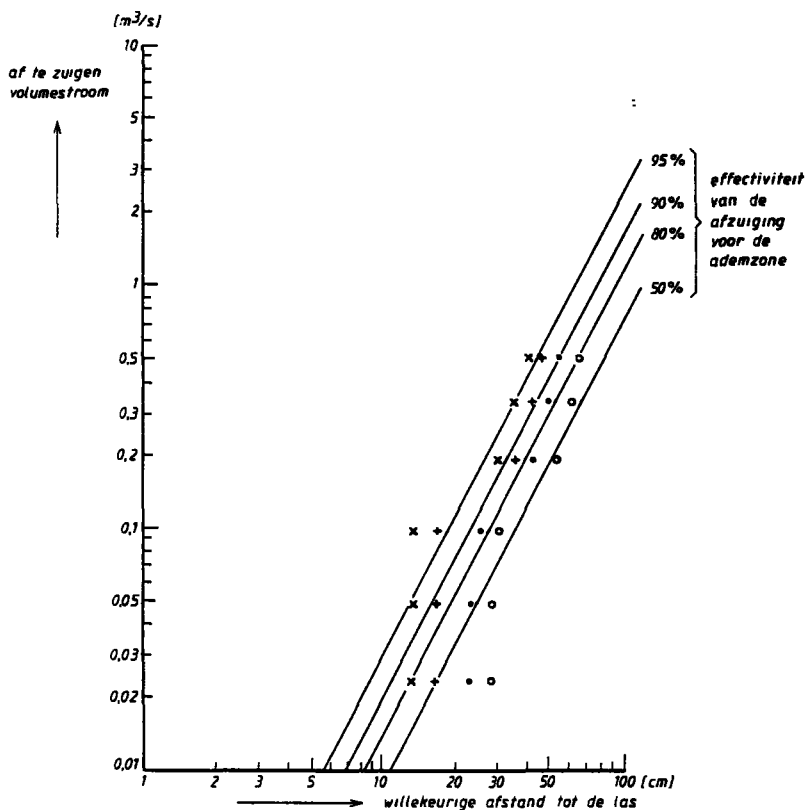


Fig. 28 Het benodigde afzuigdebiet, afhankelijk van de effectiviteit en de afstand tussen afzuiger en las bij willekeurig voor de lasser geplaatste afzuiging.

De afwijkingen van afzonderlijke waarnemingspunten ten opzichte van deze ideale verbanden zijn groot. De figuren zijn daarom slechts indicaties. Hoewel ze uit de proeven voor een hoog lasvermogen zijn samengesteld, zijn ze ook voor een laag lasvermogen bij benadering geldig. De invloed van het lasvermogen op de relatieve afzuigeffektiviteit blijkt uit figuren 10 t/m 14 en 18 t/m 22 namelijk gering te zijn. Dit is verklaarbaar omdat de vorm van de lasrookpluim met het lasvermogen nauwelijks verandert en de luchtsnelheden in de lasrookpluim slechts beperkt toenemen met het lasvermogen [4]. Uiteraard veranderen de concentraties in de lasrookpluim wel sterk met het lasvermogen, doch dit is niet van invloed op de relatief weergegeven effectiviteit.

teit. De gewenste effectiviteit neemt met het lasvermogen vanzelfsprekend wel toe.

De stroming van de lasrookpluim en het effect van de afzuiging hierop zijn gemakkelijk nadelig te beïnvloeden. Dit blijkt uit de resultaten van de proeven met een versturende stroming langs of naar de lasser en uit de proeven met en zonder scherm. Vooral bij stroming naar de lasser toe en bij afnemende effectiviteit van de afzuiging blijkt de kans op verstoring toe te nemen. De grote invloed van een goede plaats en afstand van de afzuiging ten opzichte van de las en lasser, afhankelijk van de afgezogen volumestroom en de invloed van verstoringen zijn hoogst waarschijnlijk de oorzaak van tegenvallende effectiviteiten in de praktijk. Zelfs indien lassers werden geïnstrueerd de afzuiging zo te plaatsen dat lasrook, visueel beoordeeld, volledig werd opgevangen zonder de ademzone te passeren vielen de resultaten tegen [8]. Het bleek dat de expositie aan lasrook bij het lassen met beklede elektroden gemiddeld 50% lager was dan zonder gebruik van plaatselijke afzuiging.

In de aangetroffen situaties bedroeg bij aanvang van het lassen de ingestelde afstand van de lasboog tot de afzuigopening 20-40 cm en het debiet van de afgezogen lucht 0,12-0,25 m³/s.

Volgens Figuur 28 zou bij deze afstanden en debieten een effectiviteit van circa 90% mogelijk moeten zijn.

Bij praktijkmetingen aan MAG-lassen was het effect nog kleiner: de gemiddelde effectiviteit bedroeg slechts 22%.

Als de afzuiging te ver werd geplaatst, zodat zichtbaar niet alle lasrook werd opgevangen, was de lasrookexpositie vrijwel gelijk aan die zonder gebruik van afzuiging.

Als de afzuiging zo werd geplaatst dat de lasrook zichtbaar de ademzone passeerde, was de expositie gemiddeld twee maal zo hoog als zonder afzuiging. Dit was het geval als de afzuiging zich boven het hoofd van de lasser bevond.

Vergelijkbare tegenvallende effectiviteiten van afzuiging in de praktijk werden onder andere geconstateerd door Ulfvarsson [11], die een gemiddelde afzuigeffectiviteit van 58% vond bij het lassen met beklede elektroden en van 35% bij het MIG/MAG-lassen in bedrijfssituaties, terwijl in een laboratoriumopstelling respectievelijk 97-99% voor elektrode-lassen en 70-90% voor MIG/MAG-lassen kon worden bereikt bij optimale plaatsing van de afzuigkap.

Een verklaring voor de verschillen tussen praktijk- en laboratoriumsituaties is niet duidelijk te geven. Vermoedelijk is in de praktijksituaties de kans op verstoringen groter. Van groot belang lijkt ook te zijn hoe vaak de afzuiging bij een zich verplaatsende las opnieuw moet worden gepositioneerd en of dit daadwerkelijk wordt gedaan.

Zoals de scannerbeelden van Figuur 16c en 16d tonen kan een verplaatsing van enkele tientallen centimeters de goede werking al geheel verloren doen gaan. Het is te verwachten dat bij elektrode-lassen het positioneren vaker gebeurt dan bij MIG/MAG-lassen. De lasser moet daarbij namelijk vanzelf regelmatig onderbreken voor het plaatsen van een nieuwe elektrode. Dit zou een verklaring kunnen zijn waarom bij elektrode-lassen de afzuigeffectiviteit minder tegenvalt dan bij MIG/MAG-lassen.

Van invloed is verder het inzicht dat een lasser heeft in het optimaal plaatsen van de afzuiger. Het visueel instellen, zodanig dat alle lasrook wordt gevangen, is daarbij geen goed criterium. Het eerste doel moet zijn het bij de ademzone wegbuigen van de lasrookpluim. Om alle lasrook te vangen lijkt het gevoelsmatig beter de afzuiging boven de las te plaatsen in plaats van schuin voor de las. Zoals Figuur 16a en 16b tonen wordt de lasrook dan inderdaad volledig gevangen, maar daarvoor dringt de lasrook eerst in de ademzone. Dit in tegenstelling tot het beeld van Figuur 16c, waarbij de afzuiging schuin voor de lasser is geplaatst.

Verder speelt een rol dat de lasrook die in de ademzone komt zich ongeveer bevindt in het verst van de afzuigmond gelegen deel van de lasrookpluim. Deze lasrook zal dus de eerste lasrook zijn die niet meer wordt gevangen als de afstand te groot wordt. Omdat de concentraties hier relatief laag zijn ten opzichte van het hart van de lasrookpluim, wordt dit op basis van visuele waarneming waarschijnlijk te laat geconstateerd.

Resumerend kan men stellen dat het gebruik van afzuiging van de lasser discipline en kennis van zaken vergt, dat het werken ermee een extra belasting vormt die de produktiesnelheid ongunstig beïnvloed en dat het afzuigstelsel erg gevoelig is voor storingen, juiste dimensionering, juiste instelling en verlopende afstand tot de las en lasser tijdens het lassen. Het is niet verwonderlijk dat het gebruik in de praktijk dan ook beperkt is en dat het effect ervan tegenvalt. Met goede voorlichting over het juiste gebruik en de juiste dimensionering van afzuiging en afscherming van de lasplaats kan aan deze bezwaren slechts ten dele tegemoet worden gekomen.

Voorzieningen die deze bezwaren niet kennen genieten daarom de voorkeur. Lashelmen of lastoortsen met afzuiging zijn uit dit oogpunt aantrekkelijk. Lashelmen met afzuiging kunnen bij een voldoende groot debiet een hoge effectiviteit bereiken. Het lijkt daarbij het beste om de afzuiging bij de kin aan te brengen. Brengt men de afzuiging rond het venster aan dan kan lasrook eerst nog in de ademzone dringen alvorens het wordt afgezogen. De effectiviteit is dan minder. Dit zal eveneens gelden voor afzuiging bovenaan de lashelm of via een afstandbuis voor de lashelm. Ook de kans op verstoring is groter dan wanneer de afzuiging dicht bij de ademzone is aangebracht. Voor alle typen afzuiging aan lashelmen geldt dat ze de lasser in zijn bewegingsvrijheid zullen beperken en dat zeker bij juiste dimensionering van de afzuiging het gewicht aanzienlijk wordt. Dit zullen de redenen zijn dat ze in de praktijk niet zijn aangetroffen.

Lastoortsen met afzuiging zijn slechts in een enkel bedrijf aangetroffen. Ze werden echter niet gebruikt. Als reden gaf men op dat het grotere gewicht ten opzichte van toortsen zonder afzuiging snel tot vermoeidheid leidde, waardoor de laskwaliteit nadelig werd beïnvloed. Voegt men daarbij dat nauwelijks een positief effect op de concentraties in de ademzone wordt bereikt [9], dan is ook deze voorziening geen alternatief voor de verplaatsbare afzuigers. Verbetering van lastoortsen met afzuiging lijkt moeilijk. Het zal grotere afzuigebieden vergen om verspreiding van lasrook naar de ademzone te voorkomen. Hierdoor wordt niet alleen de lastoorts nog zwaarder, maar wordt ook het beschermgas bij de las weggezogen, hetgeen de laskwaliteit nadelig beïnvloed. Bovendien is lastoortsafzuiging niet bij alle lasprocessen toe te passen.

Als bestaande alternatieven voor een betere bescherming van lassers dan met de genoemde afzuigers blijven alleen persoonlijke beschermingsmiddelen over. Gebruikelijke persoonlijke beschuttingsmiddelen zijn vaak hinderlijk voor de lasser. Zo bemoeilijken gelaatmaskers de ademhaling, terwijl de filters (te) snel vervuilen. De zogenaamde airstreamhelmen en andere overdrukkappen hebben daarom ook een geforceerde luchttoevoer. Ze hebben echter nog de volgende bezwaren:

- belasting door het extra gewicht op het hoofd,
- draagbare filters vervuilen (te) snel; externe luchttoevoer beperkt de lasser in zijn bewegingen,

- tocht langs het gezicht,
- lawaai onder de kap,
- benauwd en opgesloten gevoel.

Een nog te ontwikkelen alternatief voor bescherming van de lasser is het wegblazen van de lasrook.

In het kader van de doelsubsidiebesteding door TNO is hieraan oriënterend onderzoek verricht [14].

Omdat de resultaten met een blazende voorziening goed zijn is voor de verdere ontwikkeling een voorstel gemaakt [12]. Er wordt voorgesteld een prototype te ontwikkelen waarin zowel luchttechnische aspecten als gebruikaspecten nader worden uitgewerkt. Het prototype moet daarna een praktijkevaluatie ondergaan.

Behalve een blazende voorziening kan wellicht een automatisch met de lasser meebewegende afzuiging een belangrijke arbeidshygiënische verbetering vormen. Met de huidige technieken wordt de ontwikkeling van een dergelijke voorziening niet onmogelijk geacht. In het voorstel wordt daarom tevens een haalbaarheidsstudie naar een meebewegende afzuiger genoemd.

7. CONCLUSIES

1. Het afzuigdebiet en de plaats van de afzuiging ten opzichte van de las en de lasser blijkt van grote invloed op de effectiviteit. In de simulatie-opstelling blijkt de indringing van lasrook in de ademzone bij optimale afstemming geheel te kunnen worden voorkomen.
2. De beste plaats van de afzuiger is voor de lasser, onder een hoek van 30 tot 45° met het horizontale vlak. De afstand tot de las moet zo klein mogelijk zijn. Een vergroting van de afstand met enkele decimeters kan de goede werking al geheel verloren doen gaan, vanwege het beperkte vangbereik van afzuiging. Bij de gebruikelijke plaatsingswijze gaat het effect voor de ademzone het eerst verloren omdat de afstand hiervan tot de afzuiger het grootst is. Het effect voor de ademzone kan reeds nihil zijn terwijl toch een groot deel van de totale lasrook wordt gevangen.
3. Luchtbewegingen in de lasruimte kunnen de werking van de afzuiging aanzienlijk verstoren. Een niet ongebruikelijke luchtsnelheid van 0,5 m/s blijkt het beperkte werkingsgebied van de afzuiging duidelijk nog verder te verkleinen. Omdat luchtbewegingen ook de stromingsrichting van de lasrook beïnvloeden kunnen ze de concentraties in de ademzone doen toenemen bij een stroming naar de lasser toe en doen afnemen bij een stroming langs de lasser of van de lasser af.
4. In het praktijkonderzoek bleken plaatselijke ventilatievoorzieningen slechts in beperkte mate te worden toegepast. Verplaatsbare afzuiging komt hierbij veruit het meeste voor. Verder zijn enkele snijtafels met afzuiging aangetroffen. In een enkel geval waren lastoortsen met afzuiging aanwezig, maar niet in gebruik. Andere voorzieningen zijn niet aangetroffen [8].
5. De effectiviteit van afzuiging blijkt in de praktijk tegen te vallen. Bij het lassen met beklede elektroden werden de concentraties in de ademzone door verplaatsbare afzuiging gemiddeld met 50% verminderd. Volgens de metingen in de simulatie-opstelling zou 90% verlaging moge-

lijk moeten zijn. Bij MAG-lassen bleek het effect nog minder, namelijk gemiddeld 22% verlaging in praktijksituaties. Snijtafels functioneren met 70% verlaging redelijk goed.

In een ander onderzoek zijn vergelijkbare verschillen gevonden [11]. Een verlaging van 58% bij elektrode-lassen en 35% bij MIG/MAG-lassen in de praktijk staat daar tegenover respectievelijk 98% en 80% onder laboratoriumomstandigheden.

6. De oorzaken van de tegenvallende effectiviteiten van afzuigers in de praktijk moeten behalve in versturende luchtbewegingen vooral worden gezocht in de grote invloed van onjuiste dimensionering en positionering van afzuiging, veelal in combinatie met de veranderende afstand van de afzuiger tot de las en lasser tijdens het lassen. Het gebruik van schermen om de lasplaats en goede voorlichting aan lassers omtrent de juiste toepassing van afzuiging kunnen hierin verbetering brengen. Het bezwaar blijft echter dat de lasser de afzuiging veelvuldig moet verplaatsen, hetgeen extra inspanningen vergt en de produktiesnelheid ongunstig beïnvloedt. Dit stimuleert het gebruik niet.
7. Afzuigers die vanzelf met de lasser meebewegen zijn principiëel in het voordeel. Ze hebben niet het bezwaar dat ze de lasser extra belasten en de produktiesnelheid nadelig beïnvloeden. De effectiviteit kan bovendien hoger zijn doordat de afzuiging steeds in dezelfde positie blijft. Lastoortsen en lashelmen met afzuiging zijn vormen van meebewegende afzuiging die hieraan kunnen voldoen. Ze hebben echter als nadeel dat bij juiste dimensionering het gewicht een bezwaar vormt. Bij de toortsen wordt bovendien de laskwaliteit nadelig beïnvloed.
8. Alternatieven voor een minder belastende bescherming van lassers zijn een automatisch gestuurde meebewegende afzuiging of een draagbare blazende voorziening. Beide alternatieven moeten nog worden ontwikkeld [12].

8. LITERATUUR

- [1] Wal, J.F. v.d., e.a.
De belastende agentia en factoren bij het lassen. Eindrapport.
Delft, MT-TNO, 1983. IMG-rapport F2012-06.
- [2] Coronel Laboratorium, Faculteit Geneeskunde, Universiteit van Amsterdam.
Indicatief oriënterend onderzoek ten behoeve van het project "Verantwoord werken bij het lassen". Eindrapport.
Amsterdam, Coronel Laboratorium, 1983.
- [3] Knoll, B.
Uitwerking van het onderzoek "Ventilatie bij lassers".
Delft, MT-TNO, juni 1985. memo nr. BK 85-6 BK.
- [4] Knoll, B.
Ventilatie bij het lassen. 1. Deelrapport betreffende het vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook.
Delft, MT-TNO, aug. 1986. Rapport R 86/313.
- [5] Knoll, B. en R.D. Crommelin
Ventilatie bij het lassen. 2. Deelrapport betreffende de simulatie van de lasrookbeweging.
Delft, MT-TNO, 1 juni 1987. Rapport R 87/084.
- [6] Grosse, J., E. Stracke
Zusammenhänge zwischen der Immission beim Schweißen und der konstruktiven Vorgabe der Schweissposition.
Schweißen und Schneiden 34, Heft 2, 1982.
- [7] Drenth, L., W.M. ter Kuile, P. Zandveld
Bouw infrarood gaswolkscanner.
Delft, MT-TNO, november 1985. Rapport R 85/249 (vertrouwelijk).

- [8] Wal, J.F. v.d.
Verantwoord werken bij het lassen. Onderzoek naar de expositie van lasers aan luchtverontreiniging. Eindrapport.
Delft, MT-TNO, 22 augustus 1986. Rapport R 86/210.
- [9] Bakker, R.G. en J.D. van Pelt
Onderzoek van twee laspistolen voorzien van een afzuiginrichting.
Nederlands Maritiem Instituut. Intern rapport no. SRC-270, 1978.
- [10] König, R.
Be- und Entlüftung in Schweisswerkstätten.
VDI-Verlag, ISBN 3-18-400506-2, 1981.
- [11] Ulfvarson, U.
Air contaminants involved in Swedish Industry - sources of variation in concentrations.
Health hazards and biological effects of welding fumes and gases.
Excerpta Medica. International Congress Series 676 (1986), 133-136.
- [12] Knoll, B.
Innovatie arbeidshygiënische voorzieningen bij lassen.
Delft, MT-TNO, 18 mei 1987. Memorandum M 87/249.
- [13] Kuile, W.M. ter, P. Zandveld, L. Drenth, B. Knoll
Toepassing gaswolks scanner bij een onderzoek naar de ventilatie bij lasers.
Delft, MT-TNO, 24 april 1987. Publicatie P 87/16.
- [14] Knoll, B.
Oriënterende proefnemingen aan een blazende lasrookverdrijver.
Delft, MT-TNO, december 1987. Vertrouwelijk rapport R 87/349.

Deelrapport 4

**De afstemming van ventilatie en andere maatregelen op de verontreinigingen
bij lasprocessen en lasmaterialen**

**Auteur:
Ing. B. Knoll**

INHOUDSOPGAVE DEEL 4	Blz.
Samenvatting	4.4
1. Inleiding	4.5
2. Opzet van het ventilatie-onderzoek	4.7
2.1 Probleemstelling	4.7
2.2 Aanpak	4.8
3. Benodigde vermindering van concentraties in de ademzone	4.10
4. Structuur van maatregelen	4.16
5. Algemene aanbevelingen	4.18
5.1 Het lasproces	4.18
5.2 Het lasmateriaal	4.18
5.3 De juiste instelling van de lasapparatuur	4.19
5.4 Het laswerkstuk	4.19
5.5 De lasplaats	4.20
5.6 De lasser en de lashulp	4.21
6. Plaatselijke ventilatie	4.22
6.1 Algemeen	4.22
6.2 Uitvoeringsvormen	4.22
6.3 Bepaling van het afzuigdebiet	4.26
6.4 Gebruiksaspecten	4.30
7. Persoonlijke adembeschermingsmiddelen	4.31
7.1 Algemeen	4.31
7.2 Verbeterd type laskap	4.31
7.3 Overige uitvoeringsvormen	4.34
8. Koppeling van beschermende maatregelen aan reductie- factoren	4.37
9. Aanvullende ruimteventilatie	4.40
9.1 Het nut van ruimteventilatie	4.40
9.2 Bepaling van ruimteventilatie bij het lassen van onge- legeerde elektroden	4.40

9.3	Bepaling van ruimteventilatie bij andere lasprocessen en lasmaterialen	4.49
9.4	Uitvoeringsaspecten van ruimteventilatie	4.53
9.5	Ventilatie van kleine, besloten ruimten	4.55
9.6	Ventilatie van afgezogen kabinen	4.56
10.	Bespreking en conclusies	4.57
11.	Gebruikte afkortingen	4.59
12.	Literatuur	4.60

SAMENVATTING

Om binnen het kader van een opdracht van het Directoraat-Generaal van de Arbeid te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken van lassers worden door de afdeling Binnenmilieu van MT-TNO en door het Coronel-laboratorium verschillende deelonderzoeken uitgevoerd. Eén deelonderzoek omvat de ventilatie-aspecten, waarvan dit rapport de vierde fase beschrijft.

De blootstelling van lassers aan lasrook wordt vooral bepaald door de lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone stroomt. Beschermende maatregelen moeten daarom vooral zijn gericht op de directe beïnvloeding van deze lasrookbeweging. Plaatselijke ventilatiemaatregelen zijn hiervoor het meest geschikt. Daarnaast blijft ruimteventilatie noodzakelijk. Soms is uitsluitend ruimteventilatie voldoende; soms zijn persoonlijke beschermingsmiddelen noodzakelijk.

In deze vierde fase van het ventilatie-onderzoek is de afstemming van de verschillende maatregelen op de lasprocessen en lasmaterialen beschreven. Hierbij is uitgegaan van eigen onderzoekgegevens en van literatuurgegevens. De resultaten worden in het voorlichtingsblad verwerkt.

Het blijkt dat concentraties in de ademzone soms tot meer dan een factor 100 moeten worden gereduceerd. Bij de meest voorkomende lasprocessen en materialen zijn echter reductiefactoren van 2 tot 10 afdoende. Met plaatselijke afzuiging wordt tot een factor 5 haalbaar geacht. De maatregel is echter weinig gebruiksvriendelijk en vergt kennis van zaken en discipline van de lasser. Een voorziening die de lasrook wegblaast biedt wat dit betreft meer perspectief en geeft bovendien meer dan een factor 10 reductie. De voorziening moet echter nog verder worden ontwikkeld.

Een verbeterd type laskap geeft weliswaar niet meer dan een factor 2 reductie, maar is desondanks in veel situaties afdoende. In de uitzonderlijke gevallen dat reductiefactoren hoger dan 10 noodzakelijk zijn is persoonlijke bescherming de enige mogelijkheid.

1. INLEIDING

In een vooronderzoek van TNO [1] en het Coronellaboratorium [2] is een indruk verkregen van de arbeidssituatie van lassers. In veel gevallen blijken lassers bovenmatig te worden blootgesteld aan verontreinigingen, elektromagnetische straling en lawaai. Hierbij zijn verontreinigingen en straling specifiek afkomstig van het lassen. Deze aspecten worden nader bestudeerd in een vervolgonderzoek, dat door het Directoraat-Generaal van de Arbeid (DGA) aan TNO is opgedragen. Lawaai wordt in breder verband (project Preventie Gehoorschade) reeds onderzocht. De medische aspecten van het lassen worden door het Coronellaboratorium nader onderzocht.

Het doel van het vervolgonderzoek is te komen tot een voorlichtingsblad voor het verantwoord werken bij lassen en snijden.

De hoofdlijn van het vervolgonderzoek door TNO komt neer op het volgende:

- Nadere inventarisatie van de verontreinigings- en stralingsniveaus bij de diverse lasprocessen.
- Onderzoek naar en inventarisatie van middelen ter vermindering van de expositie van lassers.
- Vaststelling van de minimaal gewenste voorzieningen en middelen ter voorkoming van te hoge exposities. Vastlegging in een concept voorlichtingsblad.

Het vervolgonderzoek is gesplitst in drie deelonderzoeken:

1. Inventarisatie van verontreinigingsniveaus.
2. Onderzoek naar de benodigde ventilatievoorzieningen ter beperking van de expositie aan verontreinigingen.
3. Onderzoek naar stralingsniveaus bij verschillende lasprocessen en inventarisatie van beschermende middelen.

In dit rapport wordt de vierde fase van het onder 2. genoemde ventilatieonderzoek beschreven. Deze fase betreft vooral de afstemming van ventilatiemaatregelen en mogelijke andere voorzieningen op de in de praktijk gemeten exposities van lassers. De basis hiervoor wordt gevormd door eigen onder-

zoekgegevens en literatuurgegevens. De resultaten vormen het uitgangspunt van het voorlichtingsblad. Op de uitwerking van het ventilatie-onderzoek wordt hierna nog nader ingegaan.

2. OPZET VAN HET VENTILATIE-ONDERZOEK

2.1 PROBLEEMSTELLING

Om de expositie van lassers aan verontreinigingen te verminderen blijkt het veelal noodzakelijk plaatselijke voorzieningen te treffen, die de lasrook in 't geheel niet of in beperkte mate langs de ademzone van de lassers doen bewegen. Gebruikelijke voorzieningen voor ruimteventilatie zijn hiervoor normaliter niet geschikt. Deze verlagen uitsluitend de achtergrondconcentratie. De expositie blijkt voornamelijk te worden bepaald door de lasrook, die direct van de lasboog naar de ademzone van de lasser stroomt (zie figuur 1).

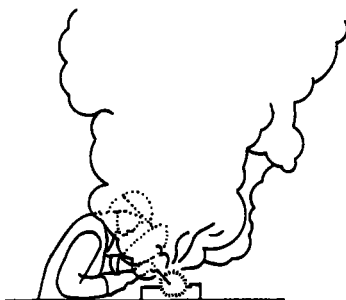


Fig. 1 Directe indringing van de lasrook in de ademzone bepaalt in hoge mate de expositie.

Om de indringing van lasrook in de ademzone te voorkomen of te beperken blijkt in de praktijk uitsluitend plaatselijke afzuiging op beperkte schaal te worden gebruikt. Daarbij valt de effectiviteit van deze voorziening nog vaak tegen. Een belangrijke reden hiervoor is het beperkte vangbereik van plaatselijke afzuigers in verhouding tot de gewenste actieradius van lassers. Het is daarom belangrijk de randvoorwaarden voor een goede werking van afzuigsystemen, maar ook de beperkingen van afzuigsystemen, te kennen. Daarnaast is het nuttig te onderzoeken of met bepaalde hulpmiddelen de werking van afzuigers kan worden verbeterd of met welke andere middelen de beweging van lasrook dusdanig kan worden beïnvloed, dat geen indringing in de ademzone plaatsvindt.

Het ventilatie-onderzoek is op deze aspecten afgestemd.

2.2 AANPAK

Om vast te kunnen stellen hoe de beweging van lasrook positief kan worden beïnvloed is het allereerst nodig deze beweging te kennen.

Vervolgens kan van verschillende plaatselijke voorzieningen het effect op de beweging van de lasrook worden onderzocht.

Als alternatief voor plaatselijke afzuiging wordt hierbij gedacht aan inblaasvoorzieningen om de beweging van lasrook van de ademzone weg te dwingen. De randvoorwaarden voor een goede werking van plaatselijke voorzieningen, maar ook de beperkingen of mogelijkheden van de voorzieningen, dienen vervolgens te worden bepaald. Daarnaast moet bij alle varianten worden bekeken in hoeverre aanvullende ruimteventilatie noodzakelijk is en hoe groot de ventilatie dan moet zijn. Zowel de plaatselijke voorzieningen als de aanvullende ruimteventilatie moeten hierbij worden afgestemd op de gemeten exposities aan verontreinigingen bij de diverse lasprocessen. Zo kan worden bepaald wat de minimaal gewenste ventilatievoorzieningen per lasproces zijn, hetgeen in een concept-voorlichtingsblad zal worden vastgelegd. Concreet betekent deze aanpak, dat de volgende stappen in het onderzoek kunnen worden onderscheiden:

- Fase 1 - Metingen ter bepaling van het verspreidingsmechanisme van lasrook bij verschillende lasprocessen bij variatie van de belangrijkste invloedsfactoren. Er zal worden getracht relaties tussen het verspreidingsbeeld en de invloedsfactoren af te leiden. Hieruit zal een karakteristiek verspreidingsbeeld worden vastgesteld.
- Fase 2 - Simulatie van het karakteristieke verspreidingsbeeld in een laboratoriumopstelling (er wordt gekozen voor een laboratoriumopstelling in plaats van een lasopstelling, omdat de invloedsfactoren dan beter in de hand zijn te houden en omdat de werkomstandigheden gunstiger zijn). Met een warmtebron, eventueel voorzien van geforceerde luchttoevoer, zal het stromingsbeeld worden nagebootst. De verontreinigingen zullen in de vorm van een tracergas hierin worden geïnjecteerd.
- Fase 3 - Inventarisatie van bestaande plaatselijke ventilatievoorzieningen. Bepaling van de effectiviteit van dergelijke voorzieningen in de laboratoriumopstelling door meting van de concentratie van het

tracergas in de ademzone van een dummy-lasser. De effectiviteit zal onder wisselende gebruiksomstandigheden worden bepaald. In deze opstelling zal tevens worden onderzocht hoe met alternatieve voorzieningen de verspreiding van lasrook naar de ademzone kan worden voorkomen of verminderd.

De randvoorwaarden voor een juist gebruik van de plaatselijke ventilatievoorzieningen bij de verschillende lasprocessen en -omstandigheden moeten uit dit onderzoek volgen.

Fase 4 - Toetsing van de aldus vastgestelde gebruiksvoorwaarden voor plaatselijke ventilatievoorzieningen aan praktijkbevindingen. Afhankelijk van de bevindingen kan zonedig nog een bijstelling plaatsvinden.

Bepaling van de benodigde aanvullende ruimteventilatie bij gebruik van de diverse plaatselijke ventilatievoorzieningen en afhankelijk van de toegepaste lasprocessen.

Inventarisatie van adembeschermingsmiddelen. Vaststellen in welke situaties deze middelen moeten worden toegepast.

Fase 5 - Opstellen van de betreffende hoofdstukken van het conceptvoorlichtingsblad voor verantwoord werken met lasapparatuur.

Op de genoemde onderzoeks-aanpak wordt nog nader ingegaan [3].

Fase 1, 2, 3 en een deel van fase 4 (toetsing plaatselijke ventilatievoorzieningen aan praktijkbevindingen) zijn uitgevoerd en gerapporteerd [4], [5], [6]. De overige werkzaamheden worden in dit rapport beschreven. Ze betreffen de afstemming van de verschillende voorzieningen op de lasprocessen en -materialen. Hierbij vormt de gemeten expositie van lassers in de praktijk het uitgangspunt [7]. De benodigde vermindering van concentraties van verontreinigingen in de ademzone wordt hiervan afgeleid. Vervolgens wordt uitgewerkt met welke maatregelen deze vermindering onder praktijkomstandigheden kan worden bereikt. Deze gegevens zullen de basis vormen van het voorlichtingsblad.

3. BENODIGDE VERMINDERING VAN CONCENTRATIES IN DE ADEMZONE

De maatregelen dienen zodanig te worden gekozen dat lassers hierdoor in de praktijk steeds afdoende worden beschermd. Dit betekent dat concentraties van verontreinigingen in de ademzone onder alle werkomstandigheden tot aanvaardbare niveaus moeten worden teruggebracht.

In het praktijkonderzoek [7] zijn onder verschillende werkomstandigheden voor de belangrijke lasprocessen en lasmaterialen concentraties in de ademzone gemeten. Toetsing hiervan aan de MAC-waarden geeft de globale beoordeling zoals in tabel 1 is weergegeven.

De beoordeling in tabel 1 geldt voor het werken in grote ruimten zonder plaatselijke afzuiging of andere expositie-reducerende middelen. Bij het werken in kleine besloten ruimten is de situatie aanzienlijk ongunstiger.

Uit tabel 1 blijkt dat het OP-lassen en het TIG-lassen van roestvast staal en cunifer bij de huidige MAC-waarden de enige onderzochte processen zijn, waarbij maatregelen om de lasrookexpositie te beperken nauwelijks nodig zijn. Dit geldt ook voor het hardsolderen met soldeer dat geen cadmium bevat. In alle overige gevallen zijn maatregelen nodig om de expositie aan lasrook en/of gassen te beperken.

Om nader aan te duiden welk effect maatregelen bij de verschillende lasprocessen moeten hebben worden reductiefactoren gehanteerd. Een reductiefactor geeft aan hoeveel maal een blootstelling hoger kan zijn dan een aanvaarde grenswaarde, als geen bescherming wordt gebruikt. Nu kan per lasproces de blootstelling echter aanzienlijk verschillen. Figuur 2 geeft dit aan voor bijvoorbeeld lasrook als verontreiniging.

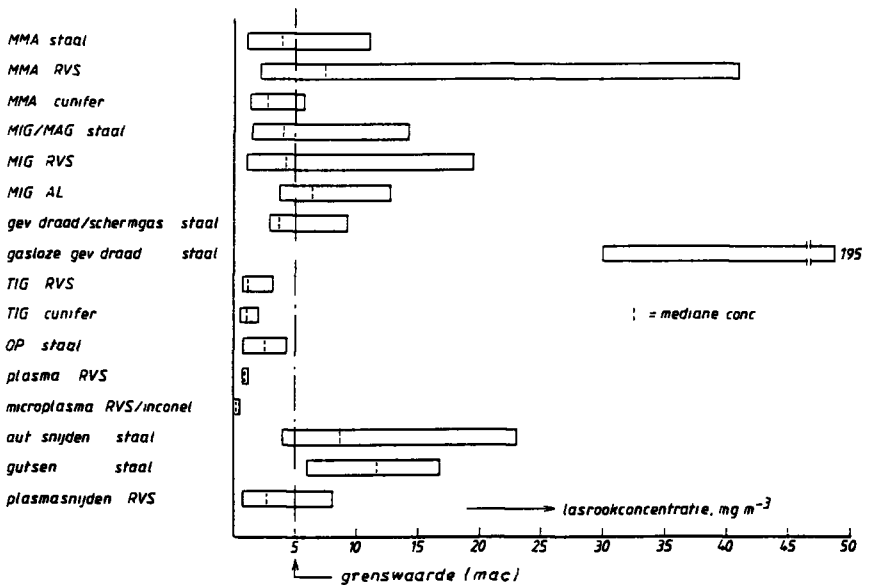


Fig. 2 Lasrookconcentraties in ademzone bij lassen in grote ruimten zonder gebruik van bescherming.

Belangrijke oorzaken voor de verschillen in concentratie per lasproces zijn het toegepaste lasvermogen, de inschakelduur van het lasgereedschap en de houding van de lasser.

Het is weinig praktisch om maatregelen van dergelijke variabelen afhankelijk te stellen. In de praktijk zal een lasser dezelfde beschermende voorzieningen steeds bij eenzelfde proces gebruiken. Tot bijvoorbeeld aanpassing van de voorzieningen bij verandering van de stroomsterkte zal men niet geneigd zijn. Een beschermende voorziening moet dus onder een breed scala van omstandigheden voldoen. Parallel hieraan moet de benodigde reductiefactor dus worden afgestemd op de hoge concentraties die meestal niet worden overschreden. Anderzijds is het niet praktisch eisen aan de bescherming te stellen die meestal veel te hoog zijn.

Voor de reductiefactoren is daarom uitgegaan van concentraties die gedurende 90% van de tijd niet worden overschreden (zie figuur 3).

Door deze concentraties te delen door de MAC-waarden vindt men de reductiefactoren. Hierop worden standaardmaatregelen per lasproces en lasmateriaal gebaseerd. Voor de uitzonderlijke situaties (resterende 10% van de gevallen) worden aangepaste maatregelen afgeleid.

Een voorbeeld van de afleiding van een reductiefactor wordt voor het elektrode-lassen van ongelegeerd staal gegeven (MMA-lassen). Volgens tabel 1 is lasrook de bepalende verontreiniging, omdat deze het meeste aanleiding geeft tot maatregelen. Figuur 3 geeft de cumulatieve verdeling van lasrookconcentraties bij onder andere MMA-lassen van ongelegeerd staal.

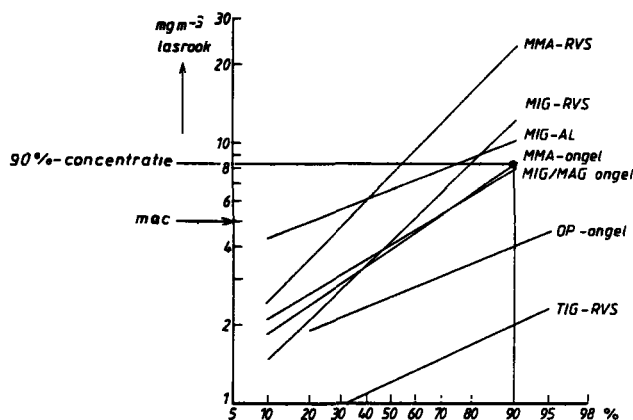


Fig. 3 Cumulatieve verdeling van lasrookconcentraties in de ademzone van lassers, gemeten in grote ruimten zonder gebruik van plaatselijke afzuiging.

In figuur 3 is af te lezen dat de concentratie, die in 90% van de optredende omstandigheden niet wordt overschreden, ongeveer $8,3 \text{ mg/m}^3$ bedraagt. De MAC-waarde voor lasrook is $5,0 \text{ mg/m}^3$. De reductiefactor is dus $\frac{8,3}{5,0} = 1,66$.

Aan de reductiefactoren wordt een beperkt aantal typen maatregelen gekoppeld. De reductiefactoren worden daarom niet in de exacte getallen weergegeven, maar in getallen die behoren bij de maatregelenklassen. Elke reductiefactor wordt afgerond naar het getal van de eersthogere klasse. De gehanteerde klasse-indeling van de reductiefactoren is 1, 2, 5, 10, 30, 50, 100 en groter dan 100. Op de relatie met de bijbehorende maatregelen wordt in hoofdstuk 8 nog nader ingegaan. De klasse-indeling betekent bijvoorbeeld dat de reductiefactor van 1,66 voor het elektrode-lassen van ongelegeerd staal wordt afgerond op 2.

Op een dergelijke wijze zijn voor alle belangrijke lasprocessen, zonodig nog onderscheiden naar lasmateriaal, de reductiefactoren afgeleid. Tabel 2 geeft ze weer.

Tabel 1 Samenvatting resultaten betreffende expositie aan chemische verontreinigingen, volgens [7].

lasproces en te lassen materiaal	las-rook	Cr	Ni	Cu	Cd	Ag	F	NO ₂	NO	O ₃	Mn	CO
MMA	ongel. staal	-						+	+	+	+	+
MAG	ongel. staal	-						+	+	+	+	+
MMA	RVS	-	-	+				+	+	+	+	
MIG	RVS	-	-	+	-			+	+	-	+	
TIG	RVS	+	±	+				+	+	+		
MMA, basische el. polijsten	ongel./RVS	-					+					
TIG	monel	±		+	-							
hardsolderen		+			+	-	+	+	+	+		
MIG	Cu (in afgezo- gen lasbox)	-			--			+	+	+		
plasmalassen	RVS	+	+	+				+	+	-		
plasma-snijden	RVS	-	+	+				±	+	+		
MMA	cunifer	-		+	-			+	+	+		
MMA	75% Ni-all.			-								
TIG	cunifer	+		+	+			+	+	+		
MIG	staal met 7% Mn	-									-	
autgeen snijden	ongel. staal	-						+	+	+		+
MIG	Al	-						+	+	-		
TIG	Al	+						+	+	±		
OP	ongel. staal	+						+	+	+		
el. gutsen	ongel. staal	-			+			+	+	+		
gev. draadlassen	ongel. staal	-						+	+	-		
poedervlamspuiten	Ni	+		+								
draadvlamspuiten	Ni	-		-				+	+	+		-
draadvlamspuiten	Cu	-		-				+	+	+		-

- + situatie geeft geen aanleiding tot het nemen van maatregelen
 ± twijfelachtige situatie, maatregelen in overweging nemen
 - maatregelen zijn nodig om de expositie te verlagen
 -- zeer slechte situatie, maatregelen dringend noodzakelijk.

Tabel 2 Reductiefactoren waarmee de blootstelling per lasproces en lasmateriaal moet worden teruggebracht om onder de meeste omstandigheden een aanvaardbaar niveau te bereiken.

Proces	Lasmetaal of andere bijzonderheden	benodigde reductiefactor i.v.m. luchtverontreiniging
Druklasprocessen	alle materialen	1
Autogeen lassen	alle materialen	1
TIG-lassen	alle materialen, behalve Al	1 2
Onder poederdeklassen	alle materialen	1
Plasmaslassen	alle materialen	1
Hardsolderen	- zonder cadmium - met cadmium	1 10
Plasmasnijden	- onder water - boven water	1 5
Autogeen snijden	alle materialen	5
Beklede elektroden	- niet RVS, Be, V-leg - wel RVS, Be, V-leg	2 10
MIG- en MAG-lassen	- niet RVS, Al, Cu, Be, V-leg.	2
- massieve draad	- wel RVS, Al - wel Cu, Be, V-leg.	10 30
- gevulde draad	- met beschermgas - gasloos, geen Barium - gasloos, Bariumhoudend	2 30 50
Elektrisch gutsen	alle materialen	5
Draadvlampspuiten	- niet Cu-legering - wel Cu-legering	5 30
Geverfde las- of snijnamen	- alle primers behalve loodmenie (rood) - rode loodmenie	5 ¹⁾ meer dan 100

1) Dit is een minimumeis voor geverfde las- of snijnamen. Het lasproces zelf kan echter hogere eisen stellen, die in dat geval voorgaan.

De reductiefactoren voldoen door de afronding naar boven meestal in meer dan 90% van de werksituaties. Ook het feit dat de verontreinigingsproductie bij hoge lasvermogens stabiliseert speelt hierin mee [8]. Slechts in uitzonderlijke situaties kan de reductiefactor te klein zijn, hetgeen door aanvullende maatregelen kan worden ondervangen. Toch moeten de reductiefactoren niet als streefwaarden maar meer als indicaties voor de benodigde bescherming worden gezien. Voor bescherming moet steeds naar een zo groot mogelijke reductie van de blootstelling worden gestreefd. Grotere reductiefactoren worden aanbevolen; kleinere reductiefactoren zijn in het algemeen niet toegestaan.

De reductiefactoren in tabel 2 zijn afgeleid uit de praktijkgegevens [7]. Niet alle gegevens zijn eigen waarnemingen. In de literatuur vermelde waarnemingen zijn mede beschouwd. Soms ontbraken dan echter nog voldoende gegevens om op een statistisch verantwoorde wijze een reductiefactor af te leiden. In die gevallen is een zo goed mogelijke schatting gemaakt. Dit betreft uitsluitend enkele weinig toegepaste lasprocessen of lasmaterialen.

De reductiefactoren van tabel 2 zijn afgeleid uit gegevens voor grote lasruimten. In kleine besloten lasruimten zijn concentraties in de ademzone gemeten tot een factor 5 hoger dan in grote ruimten bij zelfde lasprocessen. De oorzaak hiervan is de hogere achtergrondconcentratie, die ontstaat doordat verontreinigingen zich makkelijker ophopen in een kleine besloten ruimte. Door goede ruimteventilatie kan dit worden voorkomen. Aan de ruimteventilatie van kleine ruimten wordt daarom apart aandacht besteed. Als goede ruimteventilatie problematisch is worden de plaatselijke ventilatie of andere maatregelen zonodig aangepast.

Tabel 2 is uitsluitend gebaseerd op verontreinigingen die bij lassen en aanverwante processen vrijkomen. In lasruimten worden echter ook vaak andere werkzaamheden uitgevoerd, zoals slijpen, schuren, ontvetten, enzovoorts. Bij dergelijke werkzaamheden komen ook verontreinigingen vrij. Hieraan worden de lassers eveneens blootgesteld. Lassers kunnen dan zwaarder worden belast dan de reductiefactoren van tabel 2 aangeven. Zonodig dient men hiervoor dus te corrigeren en de maatregelen aan te passen.

4. STRUCTUUR VAN MAATREGELEN

Het is altijd beter te voorkomen dat schadelijke componenten ontstaan, dan dat deze schadelijke componenten later moeten worden bestreden.

Uitgaande van dit ook door DGA gehuldigde principe is de volgorde van maatregelen de volgende:

1. Beperk de emissie door de bron weg te nemen, kleiner te maken of af te schermen.
2. Voer schadelijke componenten af.
3. Beperk blootstelling van personen.
4. Pas persoonlijke beschermingsmiddelen toe.

Voor lassers kan men zich bij deze regels het volgende voorstellen:

- Wegnemen van de bron betekent bijvoorbeeld overwegen in plaats van smeltlassen te gaan druklassen of een andere wijze van verbinden, zoals felsen.
- De bron kleiner maken kan door bijvoorbeeld TIG-lassen toe te passen in plaats van elektrodelassen. Bij dezelfde lasduur ontstaan bij TIG-lassen veel minder verontreinigingen.
- Afschermen van de bron kan bijvoorbeeld door automatisch te lassen in een afgesloten kabine.
- Schadelijke componenten worden afgevoerd door plaatselijke afzuiging en ruimteventilatie.
- Beperking van blootstelling kan vaak door organisatorische maatregelen te nemen, zoals beperken van de lasduur door combineren met andere werkzaamheden of door constructiewerkers niet vlakbij de lassers te laten werken.
- Persoonlijke beschermingsmiddelen zijn bijvoorbeeld een persluchtkap, maar ook de laskap, laskleding of oordoppen.

De regels komen in de eerste plaats neer op een verantwoorde keuze van lasproces en lasmateriaal, een verantwoorde werkwijze en een goede inrichting van de lasplaats.

Concrete maatregelen op dit gebied worden niet alleen door de arbeidshygiënische eisen maar ook door eisen aan het laswerk, beschikbare technieken, benodigde en beschikbare lasruimte en dergelijke bepaald. Daarom worden hiervoor in het volgende hoofdstuk slechts algemene aanbevelingen gegeven. Vervolgens worden beschermende maatregelen besproken, zoals toepassing van plaatselijke afzuiging en persoonlijke beschermingsmiddelen. Tenslotte wordt de hierbij benodigde ruimteventilatie behandeld.

5. ALGEMENE AANBEVELINGEN

5.1 HET LASPROCES

Om een las goed te kunnen maken, kan over het algemeen gekozen worden uit verschillende lasprocessen. Als de keuze vrij is, kies dan altijd het minst schadelijke proces. Dit betekent een keuze voor het lasproces met de laagste reductiefactor (tabel 2). Een voorbeeld is het plasmasnijden onder water in plaats van in de lucht (reductiefactor voor luchtverontreiniging is 1 in plaats van 5). Het water beperkt niet alleen het vrijkomen van verontreinigingen, maar ook van straling en geluid.

5.2 HET LASMATERIAAL

Voor de keuze van het lasmateriaal geldt hetzelfde als voor de keuze van het lasproces: kies altijd het materiaal dat het minst schadelijk is voor de gezondheid van de lasser. Met name de samenstelling van de toevoegmaterialen bepaalt de schadelijkheid (elektrode, draad, beschermgas, vloeimiddel). Hieruit ontstaat de meeste lasrook. Sommige onderzoekers melden dat circa 90% van de lasrook uit het toevoegmateriaal afkomstig is [9], [10].

De belangrijkste algemene regels zijn:

- Gebruik geen schadelijke materialen als dit niet strikt noodzakelijk is voor de las kwaliteit (zie reductiefactoren, tabel 2). Gebruik bijvoorbeeld geen basische elektroden of elektroden met zure bekleding als rutiel ook mogelijk is of hooggelegeerd draad als laaggelegeerd of ongelegeerd ook kan [11].
- Gebruik materialen die een rustige lasboog bevorderen. Bijvoorbeeld de samenstelling van het beschermgas heeft hierop invloed. Lasspetters en reactieve gassen in de lasboog verhogen de productie van lasrook [9].
- Stel u goed op de hoogte van de schadelijkheid van de lasmaterialen. Laat u door uw leverancier informeren over de hoeveelheid en de schadelijkheid van de lasrook. Ook de verpakking van de materialen geeft hierover soms informatie.

5.3 DE JUISTE INSTELLING VAN DE LASAPPARATUUR

Indien de las- of snijapparatuur goed wordt ingesteld, kan dit het ontstaan van schadelijke componenten beperken.

Het is raadzaam de volgende regels te hanteren:

- Kies de meest doelmatige elektrode, draad of branderspits; dus niet te groot, maar ook niet te klein. Groot betekent meer neersmelt en daarom meer rookproduktie. De rookproduktie bij dezelfde hoeveelheid neersmelt is echter wel minder [11].
- Gebruik bij elektrisch lassen een zo laag mogelijke stroomsterkte en een zo klein mogelijke booglengte, zodat de spanning zo laag mogelijk kan blijven. Een uitzondering vormt het lassen van roestvaststaal dat bij sproeihoog minder carcinogene, zeswaardige chroomverbindingen vormt dan bij kortsluithoog. Voor sproeihoog is een hoge spanning nodig. Las bij voorkeur met wisselstroom in plaats van met gelijkstroom [11].
- Houd bij het lassen met beschermgas de beschermgasstroom zo klein mogelijk [8].
- Stel de vlam goed af in de bedrijfstoestand bij autogeen lassen, snijden en bij hardsolderen. Bij snijden dus met geopende kraan van de snijzuurstof. Zorg voor geen zuurstofovermaat en geen gebrek. Doof de vlam ook bij korte onderbrekingen van het werk. De afstand tussen de branderspits en het werkstuk moet altijd zo kort mogelijk zijn [12].
- Houd lastoortsen en branderspitsen goed schoon om verontreinigingen te voorkomen.

5.4 HET LASWERKSTUK

- Vermijd constructies die leiden tot lassen in enge, slecht te ventileren ruimten. Kies in dergelijke gevallen altijd een type lasnaad, bijvoorbeeld V-naad in plaats van X-naad en een montagevolgorde waarbij kleine ruimten worden vermeden.
- Voordat wordt begonnen met lassen, moeten alle oppervlaktebehandelingen zoals primer, menie en olie, oplosmiddelen en metaalcoatings zijn verwijderd op de plek van de las- of snijnaad. Verwijder ook vuil en roest zoveel mogelijk [7], [13].

- Men mag niet gaan lassen aan bijvoorbeeld vaten met restanten van onbekende stoffen. Deze stoffen moeten eerst grondig zijn verwijderd. Als dit niet kan, moet worden vastgesteld om welke stoffen het gaat en of men zonder risico aan het vat kan gaan lassen [14].

5.5 DE LASPLAATS

- Laswerkzaamheden moeten zo mogelijk worden uitgevoerd in apart ingerichte laswerkplaatsen waar alle benodigde beschermende voorzieningen aanwezig zijn. De werkplekken moeten uitgerust zijn met goede plaatselijke en ruimtelijke ventilatievoorzieningen (zie hiervoor ook de volgende hoofdstukken).
- De lassers en andere werknemers moeten van elkaar worden afgeschermd. Gebruik hiervoor enigszins doorzichtige schermen; de lasser houdt zo contact met zijn omgeving en is bij een ongeluk niet geïsoleerd. De schermen dienen ongewenste straling van de las en verstorende luchtbewegingen bij de las tegen te houden.
- Zorg ervoor dat alle hulpmiddelen bedrijfsklaar en binnen het handbereik van de lasser zijn. Hij zal de beschermende voorzieningen dan eerder gebruiken. Zorg voor een goede instructie aan de lasser over het juiste gebruik (zie ook de volgende hoofdstukken). Voer regelmatig controle en onderhoud van de voorzieningen uit.
- Gebruik zoveel mogelijk vaste lasplaatsen waar alle voorzieningen aanwezig zijn. Voer klein laswerk op vaste lastafels uit. Dit bevordert het gebruik van beschermende middelen en hulpmiddelen die het werk makkelijker maken. Ook wordt tijdrovend en belastend sjouwwerk voorkomen.
- Voer geen laswerkzaamheden uit in ruimten die dampen van ontvettingsmiddelen op basis van gechlloreerde koolwaterstoffen bevatten. Hieruit kan namelijk giftig fosgeen ontstaan. Het ontvetten van werkstukken moet zoveel mogelijk buiten de lasruimten worden uitgevoerd.
- De lasplek moet goed plaatselijk kunnen worden verlicht. Dit is met name belangrijk bij het MIG-lassen van roestvaststaal, bij alle aluminium lasprocessen en bij het verrichten van hechtwerk. Als de verlichting voldoende is, kan de lasser door zijn lasvenster het werkstuk op

een normale afstand zien. De lasser ademt dan geen extra verontreinigingen in door de te korte afstand tussen las- en ademzone. De kans op verblinding of lasogen door onbeschermd waarnemen van het ontsteken van de lasboog wordt ook minder.

5.6 DE LASSER EN DE LASHULP

Het is in het belang van de gezondheid van de lasser en van de lashulp die in zijn directe nabijheid is, dat de beschermingsmiddelen juist worden gebruikt. De juiste toepassing van deze middelen staat in de volgende hoofdstukken beschreven. Voor goed gebruik van de middelen geldt als algemene regel:

- Voorkom de kans op direct inademing van schadelijke lasrook. Vooral de horizontale afstand tussen de las en uw ademzone moet zo groot mogelijk zijn. Een goede verlichting op de werkplek is hierbij een hulpmiddel. Zorg voor een goede plaatselijke ventilatie (hoofdstuk 6). Gebruik deze ventilatie op de juiste manier. Weeg altijd zorgvuldig af of geen zwaardere maatregelen noodzakelijk zijn om u tegen luchtverontreinigingen te beschermen (zie hoofdstuk 8, tabel 3).

6. PLAATSELIJKE VENTILATIE

6.1 ALGEMEEN

Volgens de hoofdlijn van hoofdstuk 4 moeten allereerst maatregelen worden genomen om de emissie te beperken. Hoofdstuk 5 beschrijft dergelijke maatregelen. Het ontstaan van schadelijke componenten kan hiermee vaak nog niet afdoende worden voorkomen. Dan moeten deze componenten worden afgevoerd. Plaatselijke ventilatiemaatregelen zijn hiervoor het meest geschikt. Ze dienen vooral te voorkomen dat sterk geconcentreerde lasrook in de ademzone van de lasser komt en door de lasser wordt ingeademd. Zo mogelijk moet tevens de lasrook worden opgevangen en afgevoerd voordat vermenging met ruimtelucht plaats vindt. De ruimteventilatie en daarmee het energieverlies kan dan beperkt blijven.

6.2 UITVOERINGSVORMEN

Plaatselijke ventilatievoorzieningen zijn in het voorgaande deel van het ventilatie-onderzoek beproefd [6].

De enige bestaande voorzieningen die met een goede instructie en bij gedisciplineerd gebruik redelijk kunnen voldoen zijn lastafels met vaste afzuiging of verplaatsbare puntafzuigers.

De lastafels met afzuiging zijn geschikt voor laswerk op vaste plaatsen. De verplaatsbare afzuigers zijn ook bruikbaar op wisselende lasplaatsen. Het bezwaar van afzuigers is het beperkte vangbereik. De afstand van de afzuiging tot de las en de lasser moet daarom beperkt blijven. Dit vergt veelvuldig positioneren van de afzuiging met het voortschreden van de las. Hoe goed dit gebeurt is bepalend voor de effectiviteit van de afzuiging. Reductiefactoren voor verontreinigingen in de ademzone van 20 en hoger moeten bij optimaal gebruik en juiste dimensionering haalbaar zijn. In de praktijk blijken reductiefactoren van 2 voor verplaatsbare afzuigers en van 3 à 4 voor lastafels met afzuiging realistischer.

Er wordt verwacht dat met een goede gebruiksinstructie en door een juiste dimensionering een reductiefactor van 5 voor afzuigers in de praktijk haalbaar is. Op deze punten laat de praktijk namelijk nog te wensen over. Ook

kan het gebruik van schermen om de lasplaats de werking verbeteren, omdat hierdoor de invloed van storende luchtbewegingen in de ruimte wordt beperkt. In het vorige hoofdstuk is deze maatregel reeds genoemd. In de volgende delen van dit hoofdstuk wordt verder op de eisen voor goed gebruik van afzuiging en op de juiste dimensionering ingegaan. De grote invloed van de wijze van gebruik van de afzuiging op de effectiviteit blijft echter een onzeker punt. Ondanks alle inspanningen die zijn verricht om het bedieningsgemak te vergroten, blijft men het werken met afzuiging hinderlijk en nadelig voor de produktiesnelheid vinden. Daarom blijft de in de praktijk te realiseren reductiefactor onzeker. Ontwikkeling van meer gebruiksvriendelijke en dus meer bedrijfszekere voorzieningen is gewenst [6]. Toepassing van alleen afzuiging bij gewenste reductiefactoren groter dan 5 lijkt niet voldoende. Om de meest geschikte uitvoering van bestaande plaatselijke afzuiging te kiezen volgen nog enkele overwegingen.

- Lastafels met afzuiging.

Het is raadzaam voor de kleinere, verplaatsbare laswerkstukken vaste lastafels met afzuiging te gebruiken, eventueel aangevuld met blazen. Het werkstuk moet binnen het vangbereik van de afzuiging blijven. Dit wordt bij lage werkstukken en bij snijwerk al bereikt bij een tafel met uitsluitend onderafzuiging. Bij grotere werkstukken moeten combinaties met zijaanzuiging en bovenaanzuiging worden gebruikt. De beste afzuiging verkrijgt men door de lasrook met inblaasstralen en een geleideschot naar de afzuiging te dwingen [15]. De afgezogen dampen moeten direct naar buiten worden afgevoerd.

- Verplaatsbare afzuigers.

Bij grotere, moeilijk verplaatsbare werkstukken is een verplaatsbare afzuiging vaak de enige mogelijkheid. Door de afzuiger aan een zwenkarm te bevestigen kan de afzuiging binnen een straal van enkele meters worden verplaatst. Vanuit het zwenkpunt wordt de rook met een vaste leiding naar buiten afgevoerd. Om het werkingsgebied te vergroten, kan het zwenkpunt ook op een afzuigraail worden gemonteerd, waarlangs de zwenkarm kan schuiven. Een nog groter bereik geeft een centraal afzuigstelsel met insteekpunten voor flexibele afzuigslangen. Een andere mogelijkheid is het gebruik van draagbare of verrijdbare afzuigers. Over

het algemeen hebben deze afzuigers filters. Dit voldoet niet in alle gevallen aan de eisen. Volgens [7] ontstaan bij plasmasnijden en auto-geen snijden verhoogde NO_2 -concentraties; hierbij moet de afgezogen lucht direct naar buiten worden afgevoerd. Dit geldt ook voor processen waarbij hoge ozonconcentraties ontstaan zoals TIG- en MIG-lassen van aluminium, MIG-lassen en plasmalassen van roestvaststaal en lassen met gevulde draad en beschermgas. De gassen die bij deze processen ontstaan kunnen met de gebruikelijke elektrostatische of mechanische filters niet worden gevangen. Koolfilters filteren ook niet alle gassen.

Ook bij andere processen ontstaan gassen die niet worden gevangen. De concentraties hiervan zijn echter relatief laag. In het algemeen zullen ze de aanvaardbare grenswaarden pas bereiken bij de lasprocessen met reductiefactoren hoger dan 10. Bij reductiefactoren van 10 en lager mag, uitgezonderd bij de voornoemde lasprocessen, de plaatselijk afgezogen lucht dus worden gefiltreerd en gerecirculeerd. Aan de filters moeten dan wel eisen voor het vangen van lasrookdeeltjes worden gesteld. Uit de lasrookconcentraties en de deeltjesgrootteverdeling van lasrook is af te leiden dat filterklasse EU 9 in het algemeen zal voldoen [16]. Dit betekent een filterrendement van tenminste 95% voor deeltjes van $0,3 \mu\text{m}$ en groter.

Lucht van plaatselijke afzuigers, die na filtratie in de ruimte wordt geblazen, mag voor de opmenging of het verval van de aanwezige gassen of andere reststoffen niet aanwezige personen bereiken. In het algemeen zal een uitblaas die naar boven is gericht via een opening, die buiten de leefzone is gebracht, voldoen.

- Laskappen met afzuiging.

Er bestaan laskappen waarbij de afzuiging aan de laskap is gekoppeld. Door het gebruik van deze kappen moet de afzuiging steeds in de correcte positie blijven. In de praktijk blijkt de lasrook echter juist naar de ademzone toetrokken te worden. In het algemeen wordt niet genoeg afgevoerd om indringing in de ademzone te voorkomen. Bij juiste dimensionering van de afzuiging zijn de kappen evenwel zwaar. De toepassing is daarom beperkt [6].

- Lastoortsen met afzuiging.

Bij het schermgaslassen kunnen toortsen met afzuiging worden gebruikt. Ook hier wil men de afzuiging met een dergelijke toorts steeds op de juiste plaats houden. Om de laskwaliteit niet te beïnvloeden zijn de afzuigsnelheden begrensd. De begrenzing zorgt ervoor dat het effect van de afzuiging voor de concentraties in de ademzone gering is. De verspreiding van verontreinigingen naar de ruimte wordt wel beperkt. De toorts met gekoppelde afzuiging is daarom een zinvolle aanvullende maatregel, maar een andere vorm van plaatselijke ventilatie blijft nodig [6].

- Afzuigmond.

Behalve de verschillende uitvoeringsvormen van afzuigers is er een grote verscheidenheid in afzuigmonden. De effecten hiervan op de optredende zuigsnelheden zijn echter beperkt [17]. Bij trechtervormige afzuigmonden is het voor een homogeen snelheidsprofiel belangrijk dat de trechterhoek niet te groot is [18]. Een hoek van circa 30° tot ten hoogste 45° voldoet (figuur 4). Hier mag van worden afgeweken als de afzuigopening als spleet aan de omtrek van de afzuigkap wordt uitgevoerd.

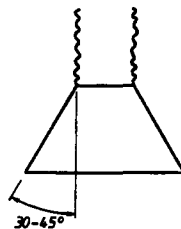


Fig. 4 Optimale hoek van een afzuigmond.

Verbeteringen van de werking van de afzuiging worden bereikt door:

- aanpassing van de vorm van de afzuigmond aan de vorm van de lasnaad. De afstand tussen afzuigopening en las blijft dan steeds gering. Dit is met name zinvol bij afzuiging op korte afstand van de las;

- aanbrenge van een brede flensrand om de afzuigopening. Het vangbereik neemt dan vooral in zijwaartse richting toe. In de richting van de as van de afzuiging neemt het vangbereik echter in beperkte mate toe [18];
- grote afzuigopeningen uitvoeren als spleetopeningen langs de rand, bijvoorbeeld bij kappen boven lastafels.

Veruit het belangrijkste zijn echter een goede plaatsing van de afzuiger ten opzichte van de las, beperking van de afstand tussen afzuiger en las en een juist afzuigdebiet.

6.3 BEPALING VAN HET AFZUIGDEBIET

Het benodigde afzuigdebiet om een bepaalde reductiefactor te bereiken is afhankelijk van de plaatsing van de afzuiging. In het voorgaande deel van het ventilatie-onderzoek zijn deze relaties voor een aantal afzuigvoorzieningen vastgelegd [6]. Figuur 5 geeft dit weer voor verplaatsbare punt- en spleetafzuiging. De figuur geldt voor willekeurige plaatsing van de afzuiging schuin voor de lasser en afzuigeffectiviteiten voor de ademzone van 50 tot 100%. De afzuigeffectiviteit is te vertalen in een reductiefactor. Zo betekent bijvoorbeeld een effectiviteit van 80% dat nog 20% in de ademzone komt ten opzichte van de onbeschermd situatie, ofwel een vijfde deel, ofwel een reductiefactor 5. Een reductiefactor 5 wordt met een goede gebruiksinstructie gemiddeld haalbaar geacht. Hiertoe wordt echter aanbevolen de afzuiging te dimensioneren op 100% afzuigeffectiviteit in plaats van op 80%. Deze overdimensionering is gebaseerd op de volgende aspecten:

- De afstand van de afzuiging tot de las en lasser is tijdens het lassen meestal niet constant. De afzuiging moet regelmatig worden bijgesteld om de afstand niet zo groot te laten worden dat de afzuiging geen effect meer heeft. In de praktijk zal de gemiddelde effectiviteit hierdoor afnemen, afhankelijk van de discipline van de lasser.
- Behalve de afstand zal ook de positie van de afzuiging niet altijd optimaal zijn. De discipline van de lasser, de kennis van het juiste gebruik en de vorm van het werkstuk zijn hier van belang.

- Volumestromen blijken in de praktijk vaak lager te liggen dan in het ontwerp. Onzorgvuldig ontwerpen en afwijkende leidingloop zijn hiervan bijvoorbeeld de oorzaak.

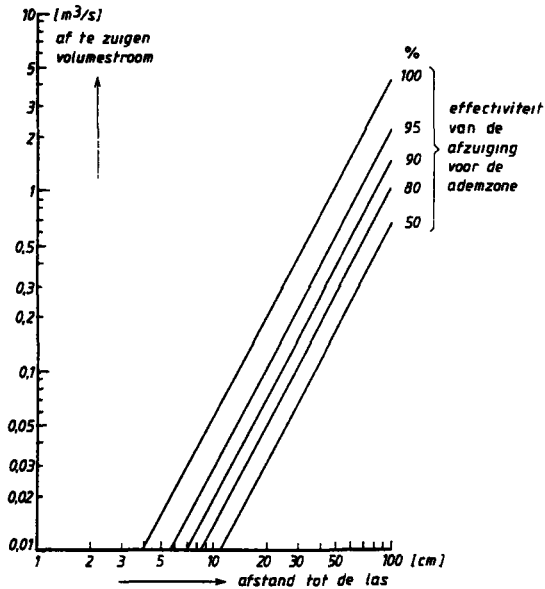


Fig. 5 Het benodigde afzuigebiet voor verplaatsbare punt- en spleetafzuiging, afhankelijk van de effectiviteit en de afstand tussen afzuiger en las bij willekeurig voor de lasser geplaatste afzuiging.

De op deze wijze gevonden dimensionering van afzuigers is in figuur 6 vergeleken met literatuurgegevens waarin dimensies worden genoemd. In sommige gevallen betreft dit ontwerprichtlijnen, in andere gevallen betreft het meetresultaten van praktijkproeven. Daarbij is meestal niet te achterhalen welke effectiviteiten voor de ademzone werden bereikt. Wel is in alle gevallen sprake van een "goede" werking van de afzuiging. Behalve van mogelijke afwijkingen in effectiviteit is er ook sprake van afwijkende uitvoeringsvormen en positioneringen. Al deze afwijkingen zullen voor een belangrijk deel de onderlinge verschillen verklaren.

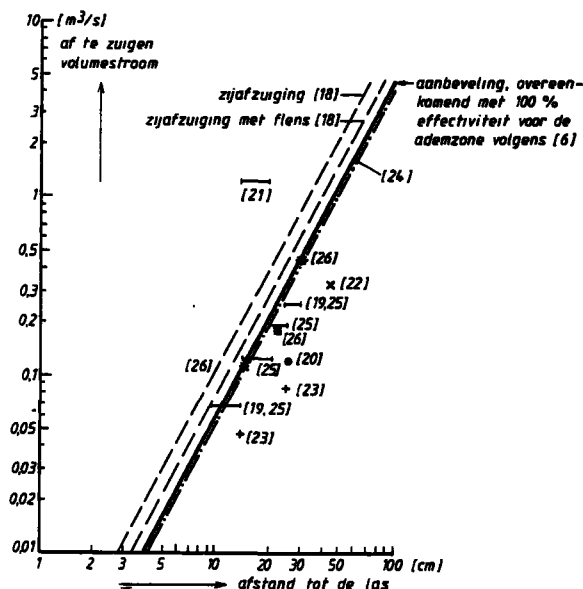


Fig. 6 De relatie tussen het afzuigdebiet van verplaatsbare afzuigers en de afstand tot de las volgens verschillende bronnen (zie literatuurlijst). De getrokken lijn geeft de door ons aanbevolen relatie weer.

De door ons aanbevolen relatie valt goed samen met onder andere de aanbeveling van de ACGIH [26]. De aanbeveling van de Duitse richtlijn is echter zwaarder [18]. Een verklaring hiervoor zijn de hoge vangsnelheden (1 m/s) die men voor zijafzuiging hanteert. Voor bovenafzuiging noemt men vangsnelheden < 1 m/s zonder deze nader te specificeren. De genoemde vangsnelheden worden hoog geacht, afgaande op de door ons gemeten stijgsnelheden van lasrook tot ca. 0,6 m/s. Vangsnelheden tussen 0,3 en ca. 0,6 m/s moeten dan voldoende zijn. De meeste in de literatuur gevonden waarden variëren tussen 0,4 en 0,65 m/s.

Resumerend kan men stellen dat onze aanbeveling voor de dimensionering van afzuiging, zowel op basis van eigen onderzoek als vergeleken met andere bronnen afdoende lijkt. De aanbeveling kan worden gebruikt voor zowel vaste als verplaatsbare afzuiging die schuin voor de lasser is geplaatst. Bij verplaatsbare afzuiging dient gedimensioneerd te worden op de grootste afstand die tussen het hart van de afzuigmond en de las tijdens het lassen ontstaat.

Voor lastafels met zijafzuiging kan dezelfde aanbeveling worden gebruikt als voor verplaatsbare afzuiging. Bij onderafzuiging dient het afzuigdebiet echter groter te zijn. Dit komt omdat de afzuigrichting tegengesteld is aan de richting van de opstijgende lasrook. In [18] wordt eenzelfde relatie genoemd als voor zijafzuiging, echter met een tweemaal zo hoge vangsnelheid. De volgende formule wordt gehanteerd:

$$q_v = (10 x^2 + A) V_x \quad (1)$$

waarin

q_v = af te zuigen volumestroom [m^3/s]

x = maximale hoogte boven de afzuigopening waarop de afzuiging nog moet werken [m]

A = vrije doorlaatoppervlak van de afzuigopening [m^2]

$V_x = 2$ [m/s] = vangsnelheid op de plaats x .

De in de formule gebruikte vangsnelheid van 2 m/s is evenals voor zijafzuiging hoog. In principe moeten vangsnelheden tussen 0,6 en 1,2 m/s voldoende zijn om de stijgsnelheden tot 0,6 m/s te overheersen. Anderzijds wordt een zekere overdimensionering van de volumestroom noodzakelijk geacht.

De vorm van het laswerkstuk kan er namelijk voor zorgen dat de lasrook zich in eerste instantie in de lufte van het werkstuk ongehinderd omhoog kan verplaatsen. Pas op grotere hoogte dan de hoogte van het smeltbad boven de lastafel komt de lasrook dan in de invloedssfeer van de afzuiging. De afzuiging moet ook daar nog voldoende krachtig zijn. In principe zal onderafzuiging daarom vooral geschikt zijn voor laswerkstukken van beperkte afmetingen, open laswerk en voor snijwerk, omdat bij snijden de gasstroom voornamelijk naar beneden is gericht. Voor de dimensionering van onderafzuiging wordt formule (1) aangehouden, uitgaande van een vangsnelheid van 2 m/s.

Voor lashelmen met afzuiging bij de kin is minimaal een afzuigdebiet van 70 dm^3/s noodzakelijk [6]. Voor lashelmen met vensterafzuiging wordt op basis van ditzelfde onderzoek het minimale afzuigdebiet voor 100% effectiviteit op circa 110 dm^3/s geschat. Lashelmen met een afzuigtuit zijn qua werking vergelijkbaar met verplaatsbare puntafzuigers. Afhankelijk van de houding van de lasser met lashelm kan de afstand van de zuigmond tot de las variëren van circa 10 tot circa 30 cm. Volgens figuur 6 betekent dit dat debieten tot

circa 500 dm³/s gewenst zijn om steeds 100% effectiviteit te houden. Lashelmen met afzuiging bovenaan de helm worden niet aanbevolen, omdat de lasrook eerst de ademzone kan passeren alvorens de afzuigmond te bereiken.

Laspistolen met afzuiging blijken nauwelijks effect voor de ademzone te hebben [27]. Het betreft hier laspistolen die volgens de instructies van de fabrikant zijn toegepast. De afzuigdebieten bleken in de orde van grootte van 20 tot 30 dm³/s te liggen. Het is mogelijk dat het effect sterk verbetert indien deze debieten enkele malen worden vergroot. Of dit gevolgen heeft voor de laskwaliteit en hoe de constructieve uitvoering dan moet worden aangepast is niet bekend. Zolang dit niet nader is uitgewerkt worden laspistolen met afzuiging niet aanbevolen.

6.4 GEBRUIKSASPECTEN

Voor een juist gebruik van afzuiging dient gewezen te worden op het beperkte vangbereik en de juiste positionering ten opzichte van las en lasser. Ten aanzien van de positie van de afzuiger bestaat het vooroordeel dat recht boven de las de beste positie is. Het onderzoek wijst echter anders uit [6]. Ook meent men dat de werking visueel goed te beoordelen is. Voor de nog nauwelijks zichtbare lasrook bij de ademzone is dit echter niet het geval. Deze aspecten worden in het voorlichtingsblad, met het belang van een beperkte afstand tussen afzuiger en las, daarom benadrukt. Eenvoudige verplaatsbaarheid van afzuigers moet worden aanbevolen. De lasser kan ook de invloed van verstoringen beperken door hierop attent te worden gemaakt.

7. PERSOONLIJKE ADEMBESCHERMINGSMIDDELEN

7.1 ALGEMEEN

Plaatselijke afzuiging heeft in de praktijk een beperkt effect en is door de grote invloed van het juiste gebruik en verstorende luchtstromen onvoldoende betrouwbaar.

Lasprocessen waarvoor reductiefactoren hoger dan 5 nodig zijn, vergen daarom andere maatregelen. Maatregelen die hieraan kunnen voldoen zijn uitsluitend persoonlijke beschermingsmaatregelen. Deze zijn hiertoe geïnteriseerd. Op basis van de gevonden gegevens en praktijkbevindingen is de toepasbaarheid vastgesteld. Tevens zijn de bijbehorende randvoorwaarden vastgelegd. In dit hoofdstuk wordt een en ander nader toegelicht.

7.2 VERBETERD TYPE LASKAP

Bij booglasprocessen dient een laskap uit het oogpunt van bescherming tegen elektromagnetische straling steeds te worden gedragen. Ook in verband met luchtverontreinigingen heeft de laskap echter zijn nut. Een Duits onderzoek toont dit aan [28]. De lasrook blijkt voor het grootste gedeelte voor de laskap langs te stromen. Hierdoor vindt men gemiddeld slechts 4% van de concentraties in de ademzone ten opzichte van een situatie zonder laskap.

Door enkele aanpassingen aan de laskap blijken de concentraties nog tot 2% te kunnen worden teruggebracht. Deze aanpassingen betekenen dat ten opzichte van de gebruikelijke praktijksituaties nog een factor twee verbetering mogelijk is, ofwel een reductiefactor 2. Volgens tabel 2 blijkt een dergelijke reductiefactor voor een aantal lasprocessen reeds voldoende. Het verbeterd type laskap is voor deze processen een aantrekkelijk alternatief voor plaatselijke afzuiging. De betrouwbaarheid is groter en de extra belasting voor de lasser ontbreekt.

De werking van de verbeterde laskap berust op het effectiever langs de ademzone leiden van de lasrook. Normaal stroomt lasrook onderin en aan de zij-kanten de laskap binnen (figuur 7). Door het aanbrengen van een leren slabbe aan de onderzijde, eventueel in combinatie met een geknikte vorm, kan indringing aan de onderzijde worden beperkt. Door het aanbrengen van strippen

aan de zijkanten kan tevens indringing aan de zijkanten worden verminderd. Dit leidt tot optimale uitvoeringsvormen als in figuur 8.

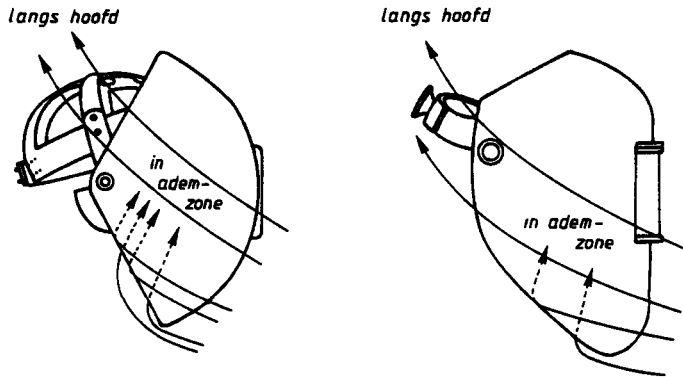
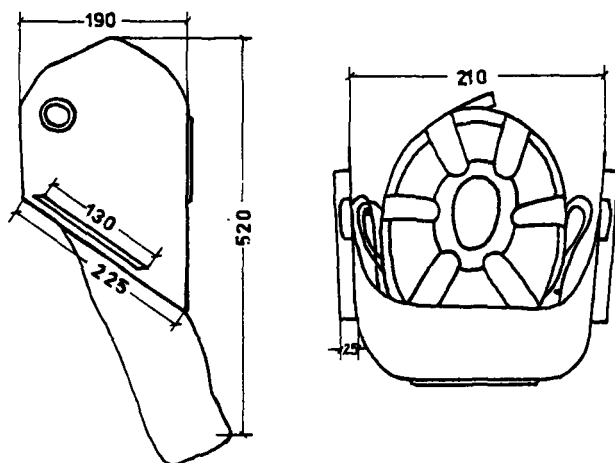
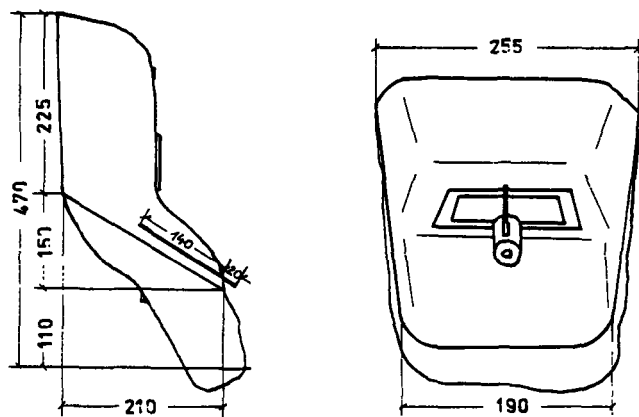


Fig. 7 Met de bestaande laskappen of -helmen kan lasrook gemakkelijk aan de onderzijde in de ademzone dringen.



Optimaal verbeterde lashelm (op het hoofd gedragen)



Optimaal verbeterde laskap (in de hand gedragen)

Fig. 8 Verbeterd type laskap en lashelm.

7.3 OVERIGE UITVOERINGSVORMEN

Voor reductiefactoren hoger dan 5 zijn beschermingsmiddelen nodig die de ademzone afzonderen van de verontreinigde omgeving. Er bestaan verschillende uitvoeringsvormen. Globaal kan onderscheid worden gemaakt in de wijze van afzondering van de ademzone en in de wijze van verse-luchtvoorziening. Maskers dichten op het gelaat af. Kappen dichten op de kleding af ter plaatse van borst, rug en schouders. Helmen sluiten vrij nauw om het hoofd. Vaak wordt de afdichting gecombineerd met het creëren van overdruk in de ademzone. Dit is vooral bij de kappen en helmen het geval. De naar de ademzone toegevoerde, schone lucht is dan bovendien de verse-luchtvoorziening. In deze geforceerde verse-luchttoevoer kan via een vast, olievrij persluchtsysteem, via een verrijdbare of draagbare compressor of via een draagbare rugpomp worden voorzien. Ook bij maskers worden soms draagbare pompjes gebruikt. In veel gevallen zijn maskers echter niet voorzien van geforceerde luchttoevoer, hetgeen de ademhaling bemoeilijkt en hogere eisen aan de afdichting stelt.

Geforceerd toegevoerde lucht kan van buiten of uit een schone ruimte worden aangezogen. Ook kan er via filters uit de lasruimte worden aangezogen.

Van de mogelijke varianten zijn slechts enkele goed bruikbaar bij het lassen. Het gebruik van maskers en helmen met in de verontreinigingenstroom geplaatste filterbussen wordt in het algemeen afgeraden in verband met de snelle vervuiling van de filters. Persoonlijke adembescherming wordt immers voorgeschreven bij hoge reductiefactoren, dus bij hoge verontreinigingsproducties. Ook systemen zonder geforceerde luchttoevoer worden afgeraden, omdat deze de ademhaling teveel bemoeilijken. Maskers zijn in het algemeen dus ongeschikt voor lassers. Geforceerde luchttoevoer kan worden bewerkstelligd door aansluiting van de helmen of kappen op het persluchtsysteem of door gebruik van verrijdbare of gedragen filter/compressor-units. Voor beide gevallen geldt dat de lucht olievrij moet zijn. De aanzuig moet bij voorkeur van buiten de verontreinigde lasruimte plaatsvinden. Bij gebruik van aan een gordel op de rug gedragen filter/compressor-unit is dit niet het geval (figuur 9). Het gebruik hiervan moet dan ook worden beperkt tot situaties waar geen goede alternatieven voorhanden zijn. De standtijden van filterbussen kunnen namelijk, ondanks plaatsing buiten de directe verontreinigingenstroom, kort zijn (orde van grootte van een half uur). De te gebruiken filterklasse, bij lasprocessen waar persoonlijke adembescherming is vereist, is in het al-

gemeen P3, meestal aangevuld met een gasfilter B (kleur grijs) in verband met de vorming van ozon en NO_x [29].

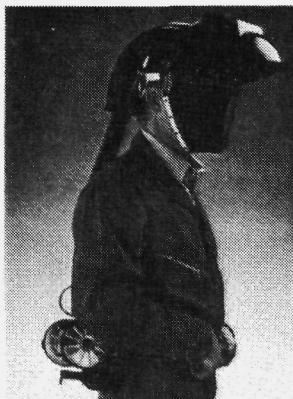


Fig. 9 Overdrukhelm met draagbare toevoer/filterunit.
Externe luchttoevoer verdient echter de voorkeur.

Het meest in aanmerking komen helmen of kappen (figuur 10) met externe luchttoevoer. Door met de luchttoevoer overdruk onder de helm of kap op te bouwen moet indringing van lasrook in de ademzone worden voorkomen. De overdruk moet voldoende zijn om de stijgsnelheden van lasrook, vermeerderd met eventuele eigen convectie van de lasser zijn lichaam, te overheersen. Uitgaande van stijgsnelheden tot circa 0,6 m/s wordt een uitstroomsnelheid van de verse-lucht van circa 1 m/s, via de overstroomopeningen van de helm of kap, voldoende geacht. Dit betekent een minimale luchttoevoer van 0,1 dm³/s per cm² vrije opening tussen de helm en het gelaat, de hals of de borst. Vertaald naar een overdrukkap zoals in figuur 10, die met een flap afdicht op de hals, schouders en borst betekent dit dat de minimum luchttoevoer circa 2 dm³/s moet bedragen. Bij een overdrukhelm zoals in figuur 9, die aan de zijkanten op het gelaat afdicht, maar bij de kin een vrij grote opening heeft, bedraagt de minimum luchttoevoer circa 4 dm³/s.

Om dergelijke lucht volumestromen tochtvrij onder de helm, langs het gelaat te voeren is behalve een goede luchtverdeling onder de kap een zekere minimum temperatuur van de toevoerlucht gewenst.

Onder normale omstandigheden moet de temperatuur van de toevoerlucht tussen 20 en 30°C kunnen worden ingesteld. Behalve onder zomerse omstandigheden betekent dit dat de toevoerlucht moet kunnen worden verwarmd.



Fig. 10 Overdrukcap met afdichtingsflap.
De luchttoevoer is via een oliescheider op de perslucht.
aangesloten.

In de zomer moet door opvoeren van de toegevoerde luchtstroom extra koeling kunnen worden bereikt.

Bij de gebruikte luchtdebieten mag de geluidproductie onder helm of kap niet hinderlijk worden. Er moet worden gestreefd naar een maximum geluidniveau van 40 dB(A).

Zowel de eis ten aanzien van de geluidproductie als de eis ten aanzien van tochtvrije toevoer zijn van belang voor de goede werking. Tijdens het praktijkonderzoek [7] bleek namelijk dat vanwege tocht- en geluidproblemen de instelling van het debiet werd verlaagd. Hierdoor varieerde de verhouding tussen de concentraties in de verblijfsruimte en de ademzone tussen 2 en 20. Overdrukkappen kunnen dus hoge reductiefactoren opleveren, maar tocht- of geluidhinder kan blijkbaar leiden tot een sterke afneming van het nuttig effect.

Bij juiste instelling van de volumestroom blijkt in de praktijk de concentratie in de ademzone een factor 20 lager dan de omgevingsconcentratie te kunnen liggen. Hierbij dient in aanmerking te worden genomen dat bij lassers zonder gebruik van beschermende maatregelen de ademzoneconcentraties gemiddeld tweemaal hoger zijn dan de omgevingsconcentraties [7]. De werkelijk te bereiken reductiefactoren voor de ademzone zijn dus ongeveer $2 \times 20 = 40$.

8. KOPPELING VAN BESCHERMENDE MAATREGELEN AAN REDUCTIEFACTOREN

De benodigde reductiefactoren, die in tabel 2 zijn vermeld, dienen door beschermende maatregelen te worden gerealiseerd. Daarbij dient de in hoofdstuk 4 genoemde structuur te worden aangehouden. Dit betekent dat allereerst steeds de in hoofdstuk 5 beschreven algemene aanbevelingen moeten worden overwogen. Vervolgens komen plaatselijke ventilatiemaatregelen in aanmerking. Als laatste mogelijkheid blijft dan persoonlijke adembescherming over. Er moet steeds naar een zo goed mogelijke bescherming worden gestreefd. De maatregelen uit tabel 3 zijn echter minimaal noodzakelijk. Ze worden hierna verder toegelicht.

Bij lasprocessen met reductiefactor 1 zijn geen aanvullende maatregelen noodzakelijk. Wel dienen bepaalde minimeisen aan de ruimteventilatie te worden gesteld (zie volgende hoofdstuk).

Bij lasprocessen met een reductiefactor 2 is een verbeterd type laskap, naast een zekere ruimteventilatie, afdoende. Deze maatregel is strikt genomen een vorm van persoonlijke adembescherming en zou dientengevolge niet als eerste in aanmerking komen. Laskappen zijn bij de betreffende lasprocessen echter steeds noodzakelijk in verband met bescherming tegen straling. De verbeterde uitvoering hoeft geen extra belasting te vormen voor de lasser. De betrouwbaarheid van de maatregel wordt bovendien groter geacht dan van het alternatief plaatselijke afzuiging.

Plaatselijke afzuiging kan als maatregel dienen voor lasprocessen met reductiefactor 5. De uitvoeringsvorm dient afhankelijk van het type laswerk te worden gekozen. Omdat bij plaatselijke afzuiging een deel van de verontreinigingen nog in de ruimte vrij kan komen dient ook hier aanvullende ruimteventilatie plaats te vinden.

Voor reductiefactoren 10 en hoger komt alleen nog maar persoonlijke adembescherming in aanmerking. Dergelijke processen zijn onder andere het elektrode- en MIG-lassen van roestvaststaal en MIG-lassen van aluminium. Dit wordt nog vrij veel toegepast, ook voor grotere constructies. Vaak zijn hier gelijktijdig lassers en andere constructiewerkers in eenzelfde ruimte met hun werkzaamheden bezig. Hoewel hun blootstelling gemiddeld aanzienlijk lager is (geen directe inademing van lasrook) dienen ook deze constructiewerkers voldoende te worden beschermd.

In grote ruimten lukt dit nog door voldoende ruimteventilatie te verzorgen [7]. De eisen worden in het volgende hoofdstuk nader uitgewerkt. In kleine ruimten kunnen ook andere aanwezigen dan de lassers aan te hoge concentraties worden blootgesteld. Door de beperkte ruimte-afmetingen kunnen verontreinigingen zich dan onvoldoende met ruimtelucht vermengen alvorens ze omstanders bereiken. Hier moet de aanwezigheid van andere personen dan de lassers dus worden beperkt. Moeten echter anderen aanwezig zijn dan dienen zij dezelfde beschermende maatregelen te gebruiken als de lassers. Ditzelfde geldt voor de meer bijzondere lasprocessen met reductiefactoren groter dan 10. Deze processen mogen niet in grote ruimten, waar ook andere werkzaamheden worden uitgevoerd, plaatsvinden. Ze dienen in principe in afgezonderde ruimten plaats te vinden. Zonodig moet een te lassen constructiedeel in een ruimte worden afgezonderd en apart geventileerd.

Dergelijke ruimten of laskabines moeten met een afzuiging op onderdruk worden gehouden om verspreiding naar naastgelegen werkruimten te voorkomen. In het volgende hoofdstuk wordt dit nader uitgewerkt.

Alleen de lassers en noodzakelijke hulpkrachten mogen in de afgezonderde lasruimte aanwezig zijn. Bij reductiefactoren van 30 wordt persoonlijke adembescherming voor hen nog voldoende geacht. Bij reductiefactoren van 50 en hoger is dit echter niet meer het geval. De laswerkzaamheden dienen dan niet alleen met persoonlijke adembescherming in afgezonderde ruimten te worden uitgevoerd; er dient tevens aanvullende plaatselijke afzuiging te worden toegepast om extreem hoge concentraties in de lasruimte te beperken. Het binnenlekken van ruimtelucht in de afgeschermdde ademzone heeft dan minder snel overschrijding van grenswaarden tot gevolg.

Reductiefactoren van 50 en hoger zijn nodig bij het lassen of snijden van materialen die zware metalen zoals barium en lood bevatten. Beperking van de arbeidsduur om de expositie te beperken heeft bij dergelijke metalen weinig zin vanwege het ophopingseffect in het lichaam. Het gebruik van zulke metalen dient dan ook zoveel mogelijk te worden vermeden. Is dit echter niet mogelijk dan moet volledige automatisering van het lasproces worden overwogen, zodat zich geen personen in de nabijheid hoeven te bevinden. Er blijven echter situaties waar de eerder genoemde maatregelen noodzakelijk zijn. Dit dient dan zo zorgvuldig mogelijk te geschieden. Ook is het mogelijk dat dergelijke werkzaamheden in de buitenlucht moeten worden uitgevoerd. Plaatselijke afzuiging is dan niet goed toe te passen in verband met verstoring door de wind. Anderzijds kan de wind een gunstige invloed hebben doordat

verontreinigingen worden weggeblazen. Men dient daarvan zo veel mogelijk gebruik te maken door een juiste positie ten opzichte van de wind te kiezen. Persoonlijke adembescherming blijft echter verplicht.

Ook voor lasprocessen met andere reductiefactoren, die in de buitenlucht worden uitgevoerd, geldt dat plaatselijke afzuiging weinig zinvol is. Het gebruik is in die gevallen dan ook niet verplicht als men een juiste positie ten opzichte van de wind kiest. Andere beschermende maatregelen blijven wel verplicht.

Tabel 3 Afstemming van minimaal benodigde maatregelen op lasprocessen en lasmaterialen.

Proces	Lasmetaal of andere bijzonderheden	Benodigde maatregelen				
		ruimteventilatie	verbeterd type laskap	plaatselijke ventilatie	persoonlijke adembescherming	afgezogen lascabine
Drukiasprocessen	alle materialen	x				
Autogeen lassen	alle materialen	x				
TIG-lassen	alle materialen, behalve Al Al	x x	x			
Onder poederdeklussen	alle materialen	x				
Plasmalassen	alle materialen	x				
Hard solderen	- zonder cadmium - met cadmium	x x	x		x	
Plasmasnijden	- onder water - boven water	x x		x		
Autogeen snijden	alle materialen	x		x		
Beklede elektroden	- niet RVS, Be, V-leg - wel RVS, Be, V-leg	x x	x		x	
MIG- en MAG-lassen	- niet RVS, Al, Cu, Be, V-leg.	x	x			
- massieve draad	- wel RVS, Al - wel Cu, Be, V-leg.	x x			x x	x
- gevulde draad	- met beschermgas - gasloos, geen Barium - gasloos, Bariumhoudend	x	x		x x	x x
Elektrisch gutsen	alle materialen			x		x
Draadvlampspuiten	- niet Cu-legering - wel Cu-legering			x		x x
Geverfde las- of snijzaden	- alle primers behalve loodmanie (rood) - rode loodmanie	x ¹⁾		x ¹⁾		x x

1) Dit is een minimumeis voor geverfde las- of snijzaden.
Het lasproces zelf kan echter hogere eisen stellen, die in dat geval voorgaan.

9. AANVULLENDE RUIMTEVENTILATIE

9.1 HET NUT VAN RUIMTEVENTILATIE

Bij alle lasprocessen is een zekere mate van ruimteventilatie noodzakelijk. Bij ruimteventilatie wordt zoveel verse lucht naar een lasruimte toegevoerd dat aanwezige verontreinigingen voldoende worden verdund en als verontreinigde lucht worden afgevoerd. Het betreft de verontreinigingen die niet reeds door plaatselijke afzuiging zijn gevangen en afgevoerd.

Behalve voor het zorgen voor acceptabele concentraties in de ruimtelucht kan ruimteventilatie ook ervoor zorgen dat verontreinigde lucht niet naar naastgelegen ruimten ontwijkt. Dit is van belang bij sterk verontreinigende lasprocessen die in afgezonderde ruimten moeten worden uitgevoerd. Op beide soorten ruimteventilatie wordt nader ingegaan in dit hoofdstuk.

Ruimteventilatie is een aanvullende maatregel. De belangrijkste bescherming voor lassers moet komen van de maatregelen die in de voorgaande hoofdstukken zijn beschreven. Deze maatregelen voorkomen vooral directe indringing van lasrook in de ademzone als de lasrookconcentraties nog hoog zijn. Deze directe indringing is namelijk het meest bepalend voor de ademzoneconcentraties. De invloed van de ruimteluchtconcentratie op de concentratie in de ademzone is maar beperkt [1]. Het feit dat ruimteventilatie voor lassers als een tweede-orde-effect is te beschouwen houdt in dat een nauwkeurige afstemming weinig zinvol is. Een globale bepaling van de minimaal benodigde ruimteventilatie is voldoende. De wijze waarop dit is uitgevoerd wordt hierna beschreven.

9.2 BEPALING VAN RUIMTEVENTILATIE BIJ HET LASSEN VAN ONGELEGEERDE ELEKTRODEN

Toegevoerde schone lucht mengt zich met verontreinigde ruimtelucht. Door voldoende toe te voeren kan de concentratie die na menging ontstaat aanvaardbaar blijven. Bij continu aanwezige bronnen is alleen de toegevoerde luchtvolumestroom van belang. Bij bronnen zoals lassen, die niet continu optreden, speelt echter ook de ruimte-inhoud een rol.

De aanvankelijke schone ruimtelucht wordt namelijk naast de toegevoerde schone lucht benut om met de verontreinigingen te mengen. Is de ruimte-inhoud groot dan is dus naast de toegevoerde schone lucht veel extra lucht beschikbaar en zal het langer duren eer een zelfde concentratie wordt bereikt als in een kleinere ruimte. Uiteindelijk zal echter zowel in een grote als in een kleine ruimte de aanwezige ruimtelucht "verzadigd" raken en is alleen de schone lucht die van buiten of via filters wordt toegevoerd nog van belang. Dit kan worden beschreven door de formule:

$$C_t = C_b + (C_e - C_b) \cdot \left\{ 1 - e^{-t \cdot q_{v1}/V} \right\} \quad (2)$$

Waarin: C_t = concentratie op tijdstip t [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$] of [$\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]
 C_b = beginconcentratie " " "
 C_e = eindconcentratie " " "
 e = grondtal van de natuurlijke logaritme = 2,718 [-]
 t = tijd [s]
 q_{v1} = naar de ruimte toegevoerde volumestroom schone lucht [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 V = ruimte-inhoud [m^3]

De stationaire concentraties C_b en C_e kunnen worden berekend door de bij deze toestanden behorende verontreinigingenproducties (q_{v1}) te delen door de schone-luchttoevoer (q_{v1}), in formule:

$$C = \frac{q_{v1}}{q_{v1}} \quad (3)$$

waarin: C = concentratie in niet meer veranderende toestand [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$]
of [$\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]
 q_{v1} = verontreinigingenproduktie [$\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$] of [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

Een grafische weergave van de concentratieverlopen voor een grote en een kleine ruimte wordt gegeven in figuur 11.

Is er nu sprake van een kortstondig optredende verontreinigende bron, zoals bij lassen, dan kunnen afhankelijk van de ruimte-inhoud concentratieverlopen

ontstaan als geschetst in figuur 12. Gedurende de tijd dat de bron aanwezig is nemen de concentraties toe als in figuur 11. Omdat echter de bron stopt voordat eindwaarden zijn bereikt blijkt in de kleine ruimte een hogere piekconcentratie te ontstaan dan in de grote ruimte. Na het stoppen van de bron nemen de concentraties weer af. Ook het afnemen van de concentratie verloopt, evenals het toenemen, in de grote ruimte langzamer dan in de kleine ruimte. Desondanks komt de gemiddelde concentratie over de totale tijdsduur voor de kleine ruimte hoger uit dan voor de grote ruimte (zie figuur 12).

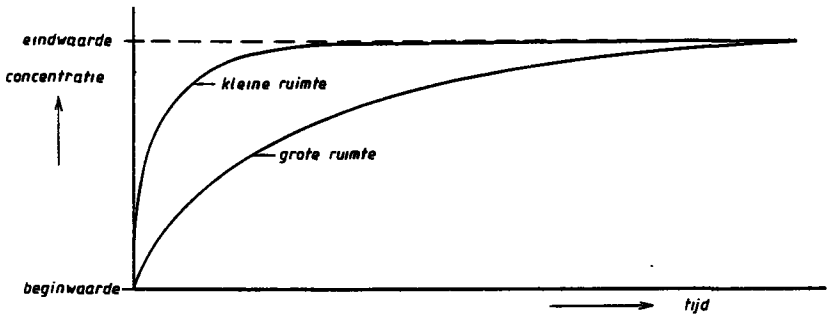


Fig. 11 Concentratieverlopen in een grote en een kleine ruimte met dezelfde ventilatie in de tijd die verstrijkt na het ontstaan van de bron.

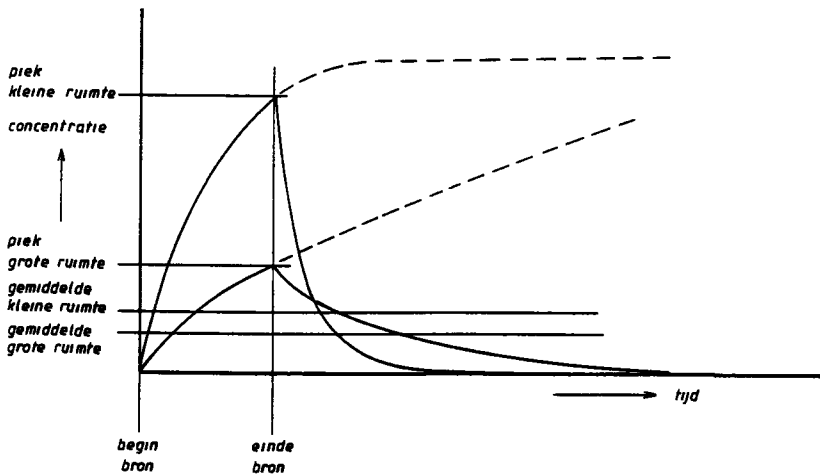


Fig. 12 Concentratieverlopen in een grote en een kleine ruimte met dezelfde ventilatie bij een kortstondig aanwezige bron.

Afhankelijk van het type verontreiniging kan de gemiddelde concentratie of de piekconcentratie die wordt ingeademd bepalend zijn voor het optredende effect.

Bij de verontreinigingen die bij het lassen ontstaan zijn in het algemeen geen kortstondige pieken van belang. Een uitzondering hierop vormt stikstofdioxide. De concentraties zijn echter laag ten opzichte van andere gevormde verontreinigingen, zodat deze andere verontreinigingen bepalend zijn voor de ventilatie.

Omdat de ruimteventilatie bij lasprocessen op gemiddelde concentraties kan worden afgestemd, in plaats van op piekconcentraties, is formule (2) minder goed bruikbaar. Er kan beter van de volgende formule worden uitgegaan:

$$C_g = \frac{q_{v_v} \times \Delta t_v}{V + q_{v_l} \times \Delta t_l} \quad (4)$$

- Waarin: C_g = gemiddelde concentratie in een ruimte gedurende een werkdag [$\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$] of [$\text{cm}^3 \cdot \text{m}^{-3}$]
 q_{v_v} = verontreinigingenproduktie in de ruimte [$\text{mg} \cdot \text{s}^{-1}$] of [$\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 Δt_v = totale duur dat verontreinigingen worden geproduceerd per dag [s]
 V = ruimte-inhoud [m^3]
 q_{v_l} = toegevoerde lucht volumestroom naar de ruimte [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]
 Δt_l = ventilatieduur per werkdag [s]

Formule (4) geeft de gemiddelde concentratie per dag weer als de verhouding tussen de totaal geproduceerde hoeveelheid verontreiniging per dag en het totaal beschikbare volume schone lucht per dag. Hierbij wordt er van uitgegaan dat het ruimtevolumen aan het begin van de werkdag schoon is. De duur van de verontreinigingenproduktie (Δt_v) wordt voor full-time-lassers gesteld op 35% van de dag en voor part-time-lassers op 15% [1]. Voor de ventilatieduur (Δt_l) wordt voor full-time lassen 8 uur per werkdag aangehouden, dus continu ventilatie. Bij part-time laswerk wordt aangenomen dat tijdens grote onderbrekingen steeds lang genoeg wordt doorgeventileerd om de ruimtelucht volledig te verversen.

Omtrent de verontreinigingsproductie worden in de literatuur gegevens vermeld. Tabel 4 is hiervan een voorbeeld. De tabel is ontleend aan [11] en geeft representatieve stofproducties van ongelegeerde, beklede elektroden weer. Stof is voor deze elektroden volgens tabel 1 de bepalende verontreiniging. Behalve de stofproductie vermeldt tabel 4 ook de bijbehorende stroomsterkte en spanning.

Tabel 4 Gemiddelde lasrookproductie van verschillende typen ongelegeerde elektroden [11].

Type elektrode volgens DIN 1913	Lasrookemissie bij verschillende elektrodediameters				
	2,5 mm mg/s	3,25 mm mg/s	4 mm mg/s	5 mm mg/s	6 mm mg/s
A2		6,5 (130 A, 20 V)			
R3	3,0 (90 A, 23 V)	3,5 (140 A, 20 V)			
R(C)3		7,5 (140 A, 25 V)	8,0 (180 A, 24 V)		
A5		7,0 (150 A, 25 V)		8,0 (190 A, 26 V)	
RR6	3,5 (110 A, 26 V)	4,0 (140 A, 26 V)	4,0 (180 A, 24 V)	4,5 (210 A, 25 V)	5,0 (250 A, 23 V)
RR(C)6		5,5 (130 A, 25 V)		6,5 (210 A, 25 V)	
AR7		7,0 (140 A, 25 V)	8,0 (170 A, 26 V)	10,5 (230 A, 28 V)	
RR(B)7	4,0 (100 A, 26 V)	4,0 (140 A, 26 V)	4,0 (170 A, 23 V)		
RR8		6,0 (140 A, 27 V)		6,0 (215 A, 24 V)	
RR(B)8		6,0 (135 A, 25 V)		6,0 (200 A, 23 V)	
B9		6,0 (140 A, 23 V)	6,0 (170 A, 20 V)		
B10	4,5 (100 A, 20 V)	8,0 (140 A, 20 V)	9,0 (160 A, 20 V)	11,0 (190 A, 20 V)	12,5 (250 A, 20 V)
B(R)10		7,5 (140 A, 28 V)	8,0 (180 A, 25 V)		
RR11 160		5,0 (140 A, 28 V)		11,5 (310 A, 29 V)	
AR11 160		12,0 (160 A, 33 V)		20,0 (300 A, 35 V)	
B(R)12 160		6,5 (150 A, 27 V)		13,0 (280 A, 31 V)	
B12 160		9,5 (140 A, 27 V)		27,5 (290 A, 32 V)	

Door de hoogste productie bij een bepaalde stroomsterkte van tabel 4 en de overige aannamen in formule (4) in te vullen kan de minimaal benodigde ruimteventilatie worden berekend, uitgaande van een bepaald ruimtevolumen en een maximaal aanvaardbare concentratie. Het volgende voorbeeld illustreert dit.

Voorbeeld:

Een 3,25 mm elektrode heeft volgens tabel 4 een maximale emissie $q_v \approx 12,0$ mg/s bij 160 A en 33 V.

Er wordt aangenomen dat alleen bij dit type elektrode met maximale emissie de concentratie C_g uiterlijk de MAC-waarde van 5 mg/m³ mag bereiken.

Het ventilatievolume V wordt op 1000 m³ gesteld.

Uitgaande van full-time lassers is Δt_v 35% van de werkdag van 8 uur, ofwel 10080 s. De inschakelduur van de ventilatie is 8 uur ≈ 28800 s. Invullen in formule (4) levert een minimum ventilatie $q_{v_1} = 0,805$ m³/s.

Voor andere ruimtevolumen kan op soortgelijke wijze de benodigde minimum ventilatie worden berekend. Dit levert een verband tussen ruimtevolumen en benodigde minimum ventilatie, zoals in figuur 13 door de getrokken lijn is weergegeven. Hieruit blijkt dat bij toenemend ruimtevolumen de benodigde minimum ventilatie uiteindelijk tot nul terugloopt. Kennelijk is de hoeveelheid schone lucht in de ruimte dan groot genoeg om de verontreinigingen tot aanvaardbare concentraties te brengen. Dit gaat echter alleen op als de ruimtelucht aan het begin van een werkdag weer schoon is. Om dit te bereiken zal 's nachts moeten worden doorgeventileerd met een ventilatievoud van ongeveer 0,25 per uur. Dit betekent ventilatiestromen zoals in figuur 13 door de onderbroken lijn is weergegeven. Voordelen van een mogelijke verlaging van de dagventilatie bij grote ruimtevolumen worden dus teniet gedaan door een toenemende, benodigde nachtventilatie. Anderzijds kan met formule (3) een minimum dagventilatie, onafhankelijk van het ruimtevolumen worden berekend, waarbij de gemiddelde concentratie ook zonder nachtventilatie geen maximaal aanvaarde grenswaarde overschrijdt. Voor het voornoemde voorbeeld is deze minimum ventilatiestroom 0,84 m³/s, uitgaande van een gemiddelde verontreinigingenproduktie gelijk aan de momentane verontreinigingenproduktie (12 mg.s⁻¹) maal de inschakelduur (35%). Het is aan te bevelen deze ventilatiestroom voor alle ruimtevolumen aan te houden. Dit voorkomt de noodzaak tot eisen aan de nachtventilatie en vereenvoudigt de bepaling van de benodigde minimum ventilatie, die zoals eerder gezegd uitsluitend indicatief hoeft te zijn.

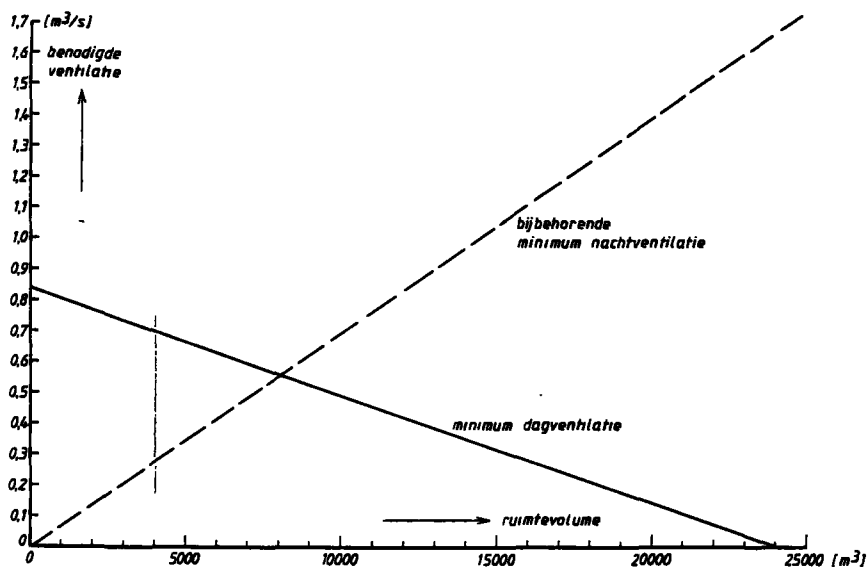


Fig. 13 De volgens formule (4) benodigde ventilatie in de voorbeeldsituatie afhankelijk van het ruimtevolume.

De berekeningsformule wordt dus:

$$q_{v1} = \frac{q_{vv} \times \Delta i_v}{C_g} \quad (5)$$

- waarin:
- q_{v1} = continu ventilatiestroom van en naar de ruimte [$m^3 \cdot s^{-1}$]
 - q_{vv} = verontreinigingenproduktie in de ruimte [$mg \cdot s^{-1}$] of [$cm^3 \cdot s^{-1}$]
 - Δi_v = gemiddelde inschakelduur lasgereedschap [%] (indien onbekend, kan voor lassers in constructiebedrijven 35% worden aangehouden)
 - C_g = aanvaardbare daggemiddelde concentratie [$mg \cdot m^{-3}$] of [$cm^3 \cdot m^{-3}$]

Formule (5) geldt voor de berekening van continu ventilatie gedurende de werkdag. Verkorting van de inschakelduur is slechts toegestaan als langere tijd niet wordt gelast en de ruimtelucht door naventileren geheel is gereinigd. Met formule (5) is de benodigde minimum ventilatie bij lassen met ongelegeerde elektrodetypen, vermeld in tabel 4, te berekenen. Dit is weergegeven in figuur 14. De figuur mag als representatief worden beschouwd voor ongelegeerde, beklede elektroden. De ventilatie is steeds gebaseerd op een maximaal aanvaardbare gemiddelde concentratie gelijk aan de MAC-waarde. Om te zorgen dat zelfs bij het elektrodetype met de sterkste verontreinigingsproductie de gemiddelde concentratie de MAC-waarde niet overschrijdt kan de getrokken lijn in figuur 14 worden aangehouden. Voor deze lijn is de ruimteventilatie eenvoudig evenredig met het kwadraat van de stroomsterkte verondersteld, ofwel evenredig met het lasvermogen. Dit in de veronderstelling dat de neersmelt van lasmateriaal en daarmee de verontreinigingsproductie evenredig is met het lasvermogen. Deze simplificatie geldt niet voor alle elektroden, zoals figuur 14 al laat zien, maar blijkt evenwel acceptabel.

Het gebruik van de algemene relatie van figuur 14 voor elke willekeurige, ongelegeerde elektrode betekent dat de gemiddelde concentratie in de ruimte in min of meerdere mate onder de MAC-waarde blijft. Hoewel voor de meeste elektrodetypen dus al sprake is van een zekere veiligheidsmarge kan deze door concentratieverschillen in de ruimte teniet worden gedaan. Om gemiddeld hogere concentraties bij de lassers te vermijden is het daarom nodig de ventilatievoorzieningen rond de laszone te concentreren. Verder is boven de lassers een minimale vrije hoogte van circa 3 à 5 m aan te bevelen, zodat de lasrook op kan stijgen [30]. Hierdoor zullen concentraties in de leefzone relatief laag blijven. Uitzonderingen vormen bijvoorbeeld kraanmachinisten boven in de ruimte. Gesloten besturingskabinen met geforceerde, gefiltreerde luchttoevoer kunnen hier een oplossing bieden.

De relatie in figuur 14 kan worden gebruikt om een minimum ruimteventilatie voor ongelegeerde elektroden te dimensioneren. De relatie geldt voor één lasapparaat. Op basis van de toevallig ingestelde stroomsterkte moet het ventilatiedebiet worden bepaald. Vaak zal men echter een ventilatiesysteem ontwerpen terwijl nog geen stroomsterkte bekend is. De ontwerper zal dan uitgaan van de maximaal instelbare stroomsterkte van het lasapparaat, zodat het ventilatiesysteem steeds groot genoeg is. Omdat echter meestal met lagere stroomsterkten wordt gelast, is voor deze situaties een extra veiligheidsmarge aanwezig.

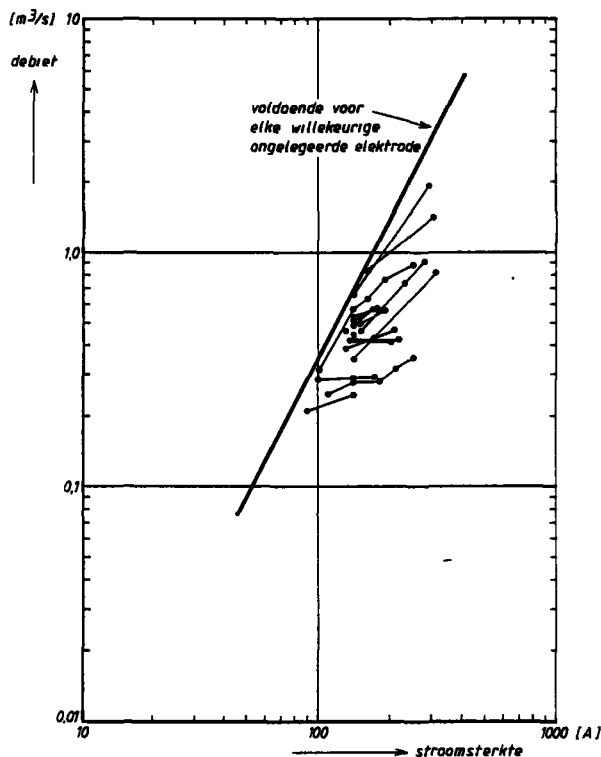


Fig. 14 Per lasapparaat benodigde minimum ruimteventilatie bij het lassen van verschillende typen ongelegeerde elektroden, zoals vermeld in tabel 4, afhankelijk van de stroomsterkte.

Bij gebruik van meer lasapparaten in één ruimte dient per lasapparaat de minimum ventilatie te worden bepaald waarna de debieten in beginsel worden gesommeerd. Niet gelijktijdig inschakelen kan geen argument zijn om minder dan de som van de debieten aan te houden. Er wordt immers uitgegaan van continu benodigde ventilatie, hoewel de bronnen intermitterend zijn. Wat wel een rol speelt is de kans dat alle lasapparaten in de ruimte op maximale stroomsterkte zijn ingesteld. Met afnemende stroomsterkte neemt de benodigde ventilatie kwadratisch af. Des te groter dus het aantal lasapparaten in een ruimte des te groter de marge in de ruimteventilatie ten opzichte van het minimum zal zijn. Exacte gegevens hier omtrent ontbreken echter. Om toch een correctie hiervoor te kunnen schatten kan worden uitgegaan van empirische formules voor vergelijkbare problemen. Zo is de ventilatie van parkeergara-

ges bijvoorbeeld evenredig met het aantal aanwezige parkeerplaatsen tot de macht $2/3$ [31] en de gezamenlijke afvoer voor gastoestellen in flatgebouwen evenredig met de wortel uit het aantal aangesloten woningen [32]. In het laatste geval geeft de relatie een onderschatting voor kleine aantallen. De volgende benadering wordt daarom voorgesteld:

$$q_{v_t} = n^{-1/3} \cdot \sum q_{v_1} \quad (6)$$

Waarin: q_{v_t} = totale minimum ruimteventilatie [$m^3 \cdot s^{-1}$]

n = aantal lasapparaten in de ruimte [-]

q_{v_1} = uit figuur 14 afgeleide minimum ventilatie per lasapparaat [$m^3 \cdot s^{-1}$]

Formule (6) betekent bijvoorbeeld dat vijf lasapparaten met willekeurige stroominstelling een ruimteventilatie eisen gelijk aan die voor drie vergelijkbare lasapparaten met maximale stroominstelling. Gezien het feit dat de ruimteventilatie met het kwadraat van de stroomsterkte afneemt en gezien de praktijkbevinding dat maximale stroominstellingen weinig voorkomen, lijkt deze correctie acceptabel.

9.3 BEPALING VAN RUIMTEVENTILATIE BIJ ANDERE LASPROCESSEN EN LASMATERIALEN

Bij andere lasprocessen en -materialen kan in principe op vergelijkbare wijze als voor ongelegeerde elektroden de minimum ruimteventilatie worden bepaald. Hierbij dient van andere verontreinigingenproducties te worden uitgegaan. De literatuur geeft deze in beperkte mate. Figuur 15 is hiervan een voorbeeld. De figuur geldt voor lasrook (stof) en is ontleend aan [8], [12], [33], [34], [35], [36], [37].

Bijbehorende stroomsterkten of brandergrootten (snijden) zijn vaak niet meer te achterhalen. Bovendien kunnen behalve stof andere verontreinigingen van belang zijn of soms zelfs meer bepalend (zie tabel 1). Productiegegevens van deze stoffen dienen dan aan aanvaardbare grenswaarden voor deze stoffen te worden getoetst. Op deze wijze de benodigde minimum ruimteventilatie bepalen is een omvangrijk werk dat door onvolledige gegevens een beperkte waarde heeft.

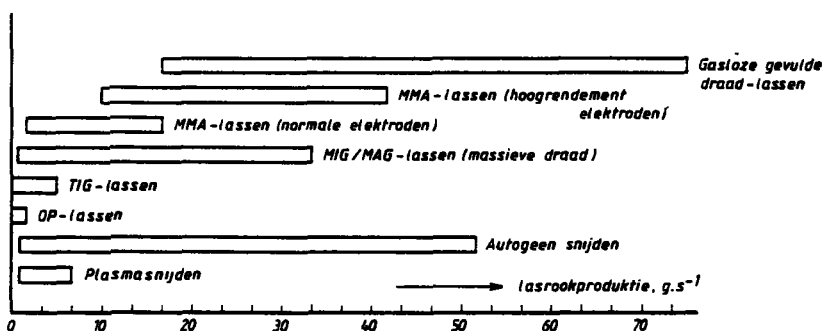


Fig. 15 Produktie van lasrook.

Daarom is het benutten van de reductiefactoren uit tabel 2 meer voor de hand liggend. De reductiefactoren geven aan hoeveel maal de ademzoneconcentraties zonder beschermingsmiddelen, uitgezonderd een standaard laskap, te hoog kunnen worden. Ze zijn dus een gewogen maat voor de verontreinigingsproductie van een lasproces of -materiaal. Daarom zijn ze tevens een maat voor de benodigde ruimteventilatie.

De in figuur 14 aangegeven minimum ruimteventilatie voor ongelegeerde elektroden geldt voor een lasproces met reductiefactor 2. Bij een proces met reductiefactor 10 is de verontreinigingsproductie ten opzichte van de bijbehorende grenswaarde vijf maal zo hoog. Ook de ruimteventilatie moet in principe dus vijf maal hoger zijn. Op deze wijze is voor alle genoemde lasprocessen en lasmaterialen de benodigde minimum ruimteventilatie vast te stellen. Dit geldt echter zonder de invloed van de beschermingsmiddelen. Een plaatselijke afzuiging, mits goed functionerend, vangt al een aanzienlijk deel van de verontreinigingen.

In het voorgaande is ervan uitgegaan dat de afzuiging 80% van de oorspronkelijke verontreinigingen uit de ademzone weghoudt. Om dit te bereiken wordt waarschijnlijk een aanzienlijk groter deel van de totale verontreinigingsproductie gevangen, omdat de lasrookpluim in het algemeen gemiddeld minder ver van de afzuiging is verwijderd dan de ademzone. In de ruimte komt dus minder dan 20% van de verontreinigingen die zonder plaatselijke afzuiging in de ruimte zouden komen. Anderzijds is de goede werking van afzuiging gemakkelijk te verstoren, zodat enige overdimensionering van de ruimteventilatie

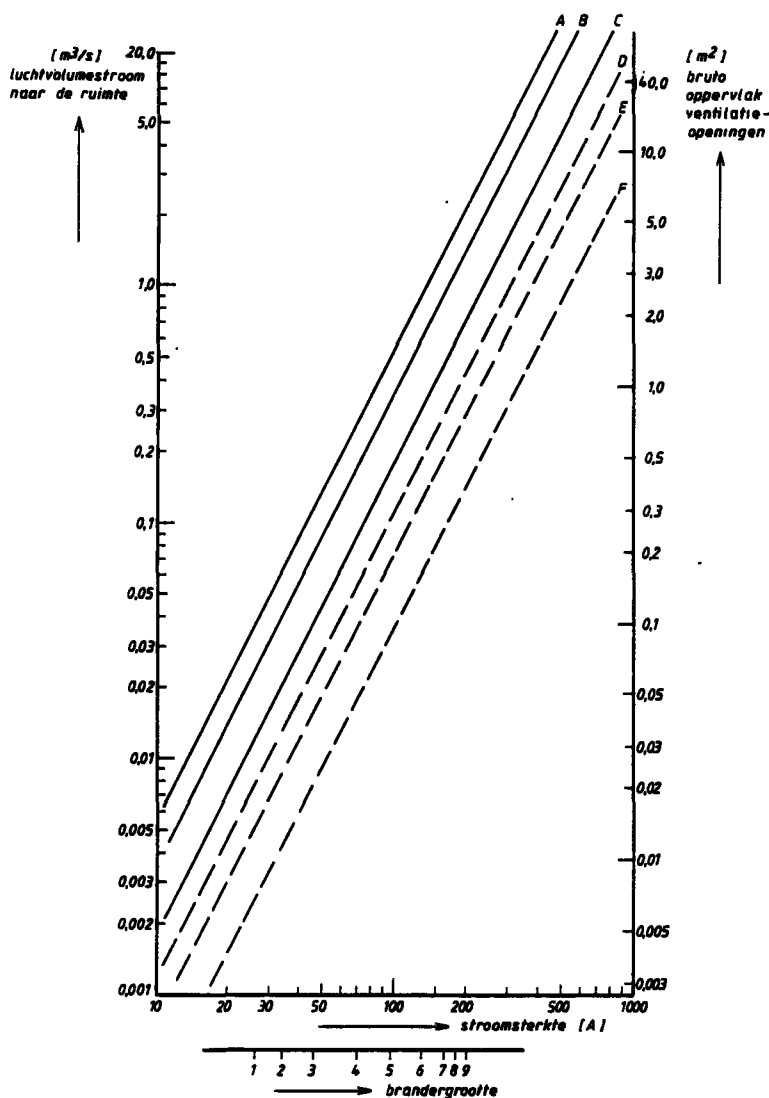
wenselijk is. Een factor vijf verlaging van de ruimteventilatie bij gebruik van plaatselijke afzuiging lijkt daarom redelijk.

Bij andere beschermende voorzieningen dan afzuiging vindt geen directe afvoer van verontreinigingen plaats. In principe beïnvloeden deze voorzieningen dus niet de benodigde ruimteventilatie. Bij lasprocessen met hoge reductiefactoren leidt dit tot uitzonderlijk hoge luchtdebieten. Realisatie wordt dan moeilijk of zelfs onmogelijk en de kans op tochtproblemen wordt groot. Bij juist gebruik van overdrukhelmen worden echter ademzoneconcentraties bereikt die een factor twintig lager liggen dan de concentraties in de ruimte. Men kan stellen dat in zo'n geval een ruimteventilatie die een factor twintig lager is ook nog voldoet. Om enige veiligheidsmarge in verband met onjuist gebruik te hebben wordt echter niet meer dan een factor tien aangehouden bij de bepaling van de minimaal benodigde ruimteventilatie.

De voornoemde aanpassingen leiden tot een minimum ruimteventilatie voor lasprocessen en lasmaterialen zoals in figuur 16 is aangegeven. De figuur dient in combinatie met tabel 2 te worden gelezen. De in tabel 3 genoemde maatregelen worden als verplichting beschouwd. Met name plaatselijke afzuiging is om de ruimteventilatie te beperken wenselijk, ook al is het niet verplicht. Dit is in figuur 16 door de onderbroken lijnen aangegeven. In de figuur is de ruimteventilatie behalve van de stroomsterkte ook afhankelijk van de brandergrootte aangegeven. Dit heeft betrekking op autogeen processen.

De gegevens hiervoor zijn ontleend aan literatuur [12] waarop de Duitse richtlijn [18] is gebaseerd.

De ruimteventilatie is in figuur 16 in twee grootheden weergegeven. Behalve een luchtvolumestroom [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$] is een bruto roosteroppervlak van ventilatieopeningen [m^2] aangegeven. In het eerste geval betreft het een mechanisch ventilatiesysteem; in het tweede geval wordt natuurlijke ventilatie verondersteld. Op de uitvoering van deze systemen en op andere uitvoeringsaspecten wordt hierna nog nader ingegaan. Ook op bijzondere ruimten wordt nog nader ingegaan.



Tabel waarmee kan worden vastgesteld op welke lijn de ruimteventilatie moet worden afgelezen afhankelijk van de benodigde reductiefactor en de toegepaste maatregelen.

	reductiefactor						
	1	2	5	10	30	50	100
geen maatregelen	C						
verbeterde laskap		B					
plaatselijke afzuiging	(F)	(E)	C				
overdrukhelm				C	A		
pl. afz. + overdrukhelm				(F)	(D)	C	B

Fig. 16 Benodigde minimum ruimteventilatie afhankelijk van de reductiefactor van het lasproces en de toegepaste stroomsterkte of brandergrootte.

9.4 UITVOERINGSASPECTEN VAN RUIMTEVENTILATIE

De ventilatie kan geheel mechanisch zijn, dat wil zeggen dat zowel wordt toegevoerd als afgevoerd met ventilatoren. Daarbij moeten zowel de toevoer als de afvoer een luchtvolumestroom in m^3/s verplaatsen zoals met behulp van figuur 16 is bepaald.

Het is ook mogelijk dat alleen de afvoer mechanisch is en de toevoer via roosters. In dat geval is een vuistregel dat het doorlaatoppervlak van de roosters in m^2 gelijk moet zijn aan het aantal m^3/s dat wordt afgevoerd. De snelheid in de opening is dan gemiddeld 1 m/s. Hogere snelheden zijn wel mogelijk, maar in verband met mogelijke tochtproblemen niet aan te bevelen. Ook wordt bij hogere luchtsnelheden het drukverlies over de roosters groter, hetgeen de afvoerventilatie negatief beïnvloed.

Bedrijfsruimten kunnen vaak een aanzienlijk lekoppervlak in de gevels en het dak hebben. Een voorbeeld zijn de openingen van de koppen van golfplaten. Het totale roosteroppervlak mag worden verminderd met het totale oppervlak van dergelijke lekken. Voor een goed functioneren van de ventilatie is het noodzakelijk dat de benodigde openingen of ventilatoren gelijkmatig worden verdeeld over de gevels en het dak van het gebouwdeel waar wordt gelast. Dit is om hoge concentraties in het betreffende deel van de ruimte te voorkomen. Bij geheel of gedeeltelijk mechanische ventilatie moeten de afvoerventilatoren bij voorkeur in het dak zijn geplaatst en de toevoerventilatoren of roosters in de gevels. Men maakt dan gebruik van de opwaartse beweging van de lasrook. De afvoer wordt dan effectiever en de concentraties op grondniveau (leefzone) lager.

De ventilatie kan ook geheel op natuurlijke wijze plaatsvinden via roosters, ramen en kieren. Het benodigde doorstroomoppervlak is eveneens in figuur 16 weergegeven. Met dit totale doorlaatoppervlak kan de ventilatie al bij een lage windsnelheid van 2 m/s worden bereikt. Lagere windsnelheden komen in Nederland gemiddeld slechts 7% van de tijd voor. Bij het oplopen van de windsnelheden zal de ventilatie toenemen. Om dit uit het oogpunt van energiebesparing en mogelijke tochtthinder te kunnen beperken moeten de natuurlijke ventilatie-openingen regelbaar zijn.

In verband met de optredende drukverdelingen rond gebouwen moet bij natuurlijke ventilatie 1/3 van het doorlaatoppervlak gelijkmatig verdeeld in het dak zijn geplaatst en 2/3 van het doorlaatoppervlak gelijkmatig verdeeld over de gevels.

Bij zeer grote ruimten moeten de ventilatievoorzieningen zijn geconcentreerd rond het deel van de ruimte waar de las- of snijapparaten staan opgesteld. Voor natuurlijke ventilatievoorzieningen zijn echter steeds minimaal twee geveloriëntaties nodig.

Bij veel lasprocessen kan de verontreinigde lucht niet alleen door schone buitenlucht, maar ook door reiniging via een filter worden verversd. De lucht blijft dan in de ruimte waardoor het verlies van verwarmingsenergie kleiner is.

Bij het lassen ontstaan behalve deeltjesvormige verontreinigingen ook gassen zoals ozon, koolmonoxide en stikstofdioxiden. Deze gassen kunnen met de gebruikelijke elektrostatische of mechanische filters niet worden gevangen. Koolfilters filteren ook niet alle gassen. Bij lasprocessen met hoge concentraties aan gassen mag daarom niet worden gefiltreerd, maar moet met buitenlucht worden geventileerd. In deze gevallen kan energieverlies worden beperkt door toepassen van warmteterugwinning. Het betreft in het algemeen lasprocessen met reductiefactoren groter dan 10, die in afgesloten kabinen moeten worden uitgevoerd.

Bij de overige lasprocessen, waar in beperkte mate gassen ontstaan, is naast filtratie enige aanvullende ventilatie met buitenlucht voldoende om gassen en eventueel niet gevangen deeltjesvormige verontreinigingen te verwijderen. Indien maximaal $\frac{2}{3}$ deel van de luchtverversing wordt gefiltreerd en de rest met buitenlucht wordt verversd worden ook de gassen voldoende afgevoerd. In grote ruimten ontstaat dit al door de altijd aanwezige kierventilatie. In kleine ruimten moet bewust aanvullend worden geventileerd met buitenlucht. Het filter waarover de ruimtelucht wordt gerecirculeerd moet evenals bij plaatselijke afzuiging (hoofdstuk 6.2) een rendement van minimaal 95% hebben voor deeltjes van $0,3 \mu\text{m}$ en groter (filterklasse EU 9 [16]).

Van buiten toegevoerde ventilatielucht kan kou en tocht veroorzaken. Koude toevoerlucht moet daarom bij de lassers zijn opgewarmd tot (normale) omgevingstemperatuur. De lucht moet daartoe bij voorkeur reeds bij intrede langs een warmtewisselaar worden geleid. Ook moet de snelheid waarmee de lucht binnenkomt, teruggebracht zijn tot normale omgevingsnelheid voordat het de lassers bereikt. Om dit te bewerkstelligen moet lucht in het algemeen niet te laag in de ruimte worden ingebracht en moet de inblaasrichting zo zijn dat een zo lang mogelijke weg door de ruimte wordt afgelegd alvorens de lucht de lassers bereikt.

In lasruimten kan het ook te warm worden door het lassen en door de aanwezigheid van andere warmtebronnen. De lassers zijn voor de noodzakelijke bescherming tamelijk dik gekleed. Ideale ruimtetemperaturen liggen tussen de 12 en 20°C. Overtollige warmte moet in voorkomende gevallen kunnen worden afgevoerd. Ventilatie is hiervoor vaak een mogelijkheid.

Behalve lasprocessen kunnen ook andere verontreinigende processen ruimteventilatie noodzakelijk maken. Voor het ventileren van dit soort processen kan wel eens meer nodig zijn dan voor het lassen. In dergelijke gevallen moet de ruimteventilatie tenminste op de grootste ventilatiebehoefte, dus de grootste verontreiniging, worden afgestemd. Als het om vergelijkbare verontreinigende bronnen gaat, moet de benodigde ventilatie zelfs bij elkaar worden opgeteld.

9.5 VENTILATIE VAN KLEINE, BESLOTEN RUIMTEN

Laswerkzaamheden moeten soms in kleine, besloten ruimten, zoals holle ruimten van werkstukken, worden uitgevoerd. In dergelijke ruimten blijft de lasrook gemakkelijk hangen, zodat tot vijf maal hogere concentraties van verontreinigingen ontstaan dan in grote ruimten [7]. De ventilatie van de besloten ruimte kan dit vooral voorkomen [7]. Het is dus belangrijk dat aan de ventilatie-eisen van hoofdstuk 9.3 wordt voldaan. Vaak zal dit niet mogelijk zijn, omdat dit tot extreem hoge doorstroomsnelheden leidt. In dergelijke gevallen mag men de doorstroomsnelheid beperken tot 0,5 m/s, mits een stromingsrichting wordt gehandhaafd die de lasrook in zijwaartse of voorwaartse richting van de lasser af doet bewegen (de zogenaamde verdringingsventilatie). Uit [6] blijkt dat met een dergelijke dwarsbeweging de lasrook voldoende van de lasser kan worden afgedwongen. De benodigde luchtvolumestroom in m³/s wordt dan gelijk aan het doorstroomoppervlak waarin de lasser zich met zijn hoofd bevindt, in m², vermenigvuldigd met de doorstroomsnelheid van 0,5 m/s. Als geen dwarsstroming kan worden gerealiseerd is in ieder geval plaatselijke afzuiging verplicht. Bij de in tabel 2 genoemde lasprocessen met een reductiefactor voor verontreinigingen van 5 of hoger wordt dit echter onvoldoende geacht. Dan is altijd persoonlijke adembescherming verplicht. Bij reductiefactoren van 10 en hoger dient de persoonlijke bescherming te worden gecombineerd met plaatselijke afzuiging. Deze eisen zijn een

verzwaring ten opzichte van de eisen voor grotere lasruimten. Ze zijn gebaseerd op de gemiddeld vijf maal hogere concentraties die in de praktijk bij onvoldoende ruimteventilatie ontstaan.

9.6 VENTILATIE VAN AFGEZOGEN KABINES

Bij sterk verontreinigende lasprocessen (reductiefactoren 30 en hoger) moet het lasproces worden afgezonderd in speciale ruimten. Alleen de lassers en eventueel hulpkrachten bevinden zich in een dergelijke ruimte. Ze gebruiken daarbij persoonlijke adembescherming. De afstemming van de ventilatie is dezelfde als die voor andere lasruimten (hoofdstuk 9.3). De afvoer moet mechanisch zijn. De toevoer moet via kieren en eventuele aanvullende openingen gebeuren.

De sterk verontreinigde lucht mag niet via deze openingen ontsnappen. Om dit te bereiken moet de totale toevoeropening in m^2 , de helft zijn van het aantal af te voeren m^3/s . Dit betekent een doorstroomsnelheid van 2 m/s. Bij deze snelheid wordt de drukval over de openingen voldoende geacht om eventuele versturende thermische effecten te overheersen, onafhankelijk van de plaatsen van de openingen.

Elektrisch gutsen en draadvlamsputten moeten in afgezogen kabinen worden uitgevoerd hoewel de reductiefactoren lager dan 30 kunnen zijn. In die gevallen is de afzondering nodig in verband met de hoge geluidproductie.

10. BESPREKING EN CONCLUSIES

De expositie van lassers aan luchtverontreinigingen blijkt aanzienlijk te kunnen verschillen. Om lassers afdoende te beschermen moeten ademzoneconcentraties met een factor 1 tot meer dan 100 worden gereduceerd (tabel 2).

De variatie in reductiefactoren wordt beïnvloed door het toegepaste lasproces. Veruit het belangrijkste blijkt echter het lasmateriaal of het materiaal van op de las aangebrachte primers of coatings te zijn.

Ingedeeld naar lasproces blijkt circa 85% van het laswerk uit lassen met beklede elektroden of MIG/MAG-lassen te bestaan [38]. Onderverdeeld naar lasmateriaal blijkt circa 80% ongelegeerd of laaggelegeerd constructiestaal te betreffen. Van de 20% resterende materialen maken roestvaststaal en aluminium een aanzienlijk deel uit (circa 15%).

Op basis van deze verdeling kan worden gesteld dat bij het overgrote deel (circa 80%) van het laswerk minstens een reductiefactor 2 voor de ademzone noodzakelijk is. In de resterende gevallen bedraagt de reductiefactor veelal 10 (circa 15% van het laswerk). Hogere reductiefactoren zijn in beperkte mate noodzakelijk (minder dan 5% van het laswerk).

Van de bestaande voorzieningen is met plaatselijke afzuiging een reductiefactor 2 te bereiken. Juist gebruik is daarbij zeer belangrijk. Ook reductiefactor 5 wordt dan haalbaar geacht. Voor een reductiefactor 10 wordt echter persoonlijke adembescherming noodzakelijk geacht. Slechte motivatie en onvoldoende kennis van de goede werking van afzuigers bij lassers vormen met hinder en produktieverlies belangrijke belemmeringen voor de succesvolle toepassing van plaatselijke afzuiging. Dit geldt vooral wanneer de lasplaats vaak wisselt, hetgeen veel voorkomt. Goede alternatieven zijn daarom gewenst. Een verbeterd type laskap is zo'n alternatief. Een reductiefactor 2 wordt dan haalbaar geacht. Ook bestaande laskappen zijn eenvoudig te verbeteren. Door de noodzaak om in verband met licht en straling een laskap te dragen wordt deze oplossing veel betrouwbaarder geacht.

Een ander alternatief is een voorziening waarmee de lasrook van de lasser wordt weggeblazen. Eerste proefnemingen tonen aan dat een reductiefactor groter dan 10 haalbaar is [39]. Dit maakt toepassing bij 95% van het laswerk mogelijk.

Bij beide alternatieven worden de nadelen zoals die bij plaatselijke afzuiging optreden niet verwacht. Een nadeel is wel dat de ruimteventilatie niet kan worden beperkt doordat verontreinigingen niet bij de bron worden gevangen zoals bij plaatselijke afzuiging wel het geval is.

Verder zijn de beide alternatieven nog niet standaard te koop. Om dit te bereiken zijn vooral voor de blazende voorziening nog enige ontwikkelingswerkzaamheden noodzakelijk.

Andere alternatieven zijn persoonlijke beschuttingsmiddelen die echter ook hun nadelen hebben. Voor de beperkte situaties dat hoge reductiefactoren noodzakelijk zijn, zijn ze de enige oplossing.

Om bestaande voorzieningen zoals plaatselijke afzuiging en overdrukhelmen of -kappen effectief te gebruiken is goede instructie aan lassers noodzakelijk. De lasser moet tevens op de noodzaak van het gebruik worden gewezen. Dit geldt evenzo voor de bedrijfsleiding. Deze moet de juiste middelen beschikbaar stellen en zorgdragen voor een goede uitvoering en toepassing. Verder moet de bedrijfsleiding steeds afwegen of de lasomstandigheden niet verbeterd kunnen worden door toepassing van minder schadelijke materialen, andere constructievormen, automatisering en dergelijke.

Op al deze elementen dient in het voorlichtingsblad te worden gewezen. Om lassers optimaal te instrueren is een aanvullende folder aan te bevelen.

Om op langere termijn een blijvende verbetering van de arbeidssituatie van lassers te bereiken, dient voorlichting periodiek te worden herhaald en in lasopleidingen te worden geïntegreerd. Daarnaast moet de ontwikkeling worden gestimuleerd van arbeidsvriendelijke, beschermende voorzieningen die de lasser, de laskwaliteit en de lassnelheid niet ongunstig beïnvloeden.

11. GEBRUIKTE AFKORTINGEN

Symbolen in formules zijn steeds bij de formules verklaard. Overige afkortingen worden hierna verklaard.

Ag	= Zilver
Al	= Aluminium
all.	= alliage of legering
Be	= Beryllium
Cd	= Cadmium
CO	= Koolmonoxide
Cr	= Chroom
Cu	= Koper
DGA	= Directoraat Generaal van de Arbeid
el.	= elektrode of elektrisch
F	= Fluor
i.v.m.	= in verband met
leg.	= legering
MAG	= Metal Active Gaswelding = lassen met reactief beschermgas
MIG	= Metal Inert Gaswelding = " " inert "
MMA	= Manual Metal Arcwelding = " " beklede elektroden
Mn	= Mangaan
Ni	= Nikkel
NO	= Stikstofmonoxide
NO ₂	= Stikstofdioxide
O ₃	= Ozon
ongel.	= ongelegeerd
OP	= Onder Poederdek lassen
pl.afz.	= plaatselijke afzuiging
RVS	= Roestvaststaal
TIG	= Tungsten Inert Gaswelding = lassen met niet-afsmeltende elektrode en inert beschermgas
V	= Vanadium

12. LITERATUUR

- [1] Wal, J.F. van der, e.a.
De belastende agentia en factoren bij het lassen. Eindrapport.
Delft, MT-TNO, 1983. IMG-rapport F 2012-06.
- [2] Coronel Laboratorium, Faculteit Geneeskunde, Universiteit van Amsterdam
Indicatief oriënterend onderzoek ten behoeve van het project "Verantwoord werken bij het lassen". Eindrapport.
Amsterdam, Coronel Laboratorium, 1983.
- [3] Knoll, B.
Uitwerking van het onderzoek "Ventilatie bij lassers".
Delft, MT-TNO, juni 1985, memo nr. BK 85-6 BK.
- [4] Knoll, B.
Ventilatie bij het lassen. 1. Deelrapport betreffende het vastleggen van het verspreidingsmechanisme van lasrook.
Delft, MT-TNO, 19 juni 1987. Rapport R 86/313.
- [5] Knoll, B. en R.D. Crommelin
Ventilatie bij het lassen. 2. Deelrapport betreffende de simulatie van de lasrookbeweging.
Delft, MT-TNO, 1 juni 1987. Rapport R 87/084.
- [6] Knoll, B.
Ventilatie bij het lassen. 3. Deelrapport betreffende de beproeving van plaatselijke ventilatievoorzieningen.
Delft, MT-TNO, juli 1987. Rapport R 87/085.
- [7] Wal, J.F. van der
Verantwoord werken bij het lassen. Onderzoek naar de expositie van lassers aan luchtverontreiniging. Eindrapport.
Delft, MT-TNO, 22 augustus 1986. Rapport R 86/210.

- [8] Press, H. und W. Florian
Messungen der entstehenden Schadstoffmengen beim Schutzgasschweissen.
Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, 1982.
Forschungsbericht.
- [9] Gray, C.N. and P.J. Hewitt
Control of particulate emissions from electric-arc welding by process
modification.
London. Ann. Occ. Hyg., 25 (1982) 4, p. 431-438.
- [10] Stern, R.M.
Gesundheit in der Industrie. Forschungsarbeiten am dänischen Schweiss-
institut.
Basel, Schweizerischer Verein für Schweißtechnik, 1979. Zeitschrift
für Schweißtechnik nr. 6, 7 und 8, Sonderdruck.
- [11] Eichhorn, F., F. Trösken und T. Oldenburg
Entstehung luftverunreinigender Stoffe beim Lichtbogenhandschweissen.
Schweissen und Schneiden 34, (1982) 2, p. 63-67.
- [12] Press, H.
Entstehung luftverunreinigender Stoffe beim Arbeiten mit Brenngasen
und Sauerstoff.
Schweissen und Schneiden 34, (1982) 2, p. 68-72.
- [13] Böhme, D. und H. Henser
Entstehung luftverunreinigender Stoffe beim Überschweissen von Ferti-
gungsbeschichtungen.
Schweissen und Schneiden 34, (1982) 2, p. 72-77.
- [14] Denk aan de gezondheid als je last.
Directoraat-Generaal van de Arbeid, Noorwegen. Vertaling lasfolder nr.
448.

- [15] Feilcke, F., G. Hölzel und R. König
Verbesserungen van Be- und Entlüftungsanlagen in Ausbildungsschweiss-
werkstätten.
Düsseldorf, Deutscher Verlag für Schweisstechnik, 1982. Forschungs-Ber-
richte, band 5.
- [16] Deutsches Institut für Normung e.V.
Filterklassen volgens Eurovent. DIN 24185.
Berlijn, Benth Verlag GmbH.
- [17] Braconnier, R.
Champs de vitesse au voisinage de l'entrée des dispositifs d'aspiration
localisée.
Paris, Institut National de Recherche et de Sécurité, 1986. ND
1586-124-86.
- [18] Absaugung an Schweisserarbeitsplätzen.
Düsseldorf, Deutscher Verband für Schweisstechnik, 1981. Merkblatt
DVS 1201.
- [19] Afzuigen van lasrook.
Metaal en Kunststof 13 (1975), 21, (13 oktober), p. 30-33.
- [20] Mellenbergh, J.H.C.
Schadelijke dampen en nevels. Maatregelen tegen verspreiding van scha-
delijke dampen en nevels welke ontstaan bij het elektrisch lassen.
Lastechniek, 41 (1975) 11, (november), p. 193-204.
- [21] RSV heeft plaatselijke afzuigsystemen onderzocht.
Metaal en Kunststof 17 (1979) 25, (10 december), p. 38-41.
- [22] Welding fume - A variety of approaches.
Welding Review, November 1982, p. 18-19.
- [23] Holt, J.E. and D.E. Hickish
Report of experiments with ventilation for welding.
International Institute of Welding, commission VIII, working group B,
London, December 1967.

- [24] Designing a movable-hood exhaust system.
Welding Design and Fabrication, January 1969, p. 68-69.
- [25] Capture welding and cutting fumes - safeguard the operator.
Welding Design and Fabrication, January 1969, p. 64-65.
- [26] American Conference of Governmental Industrial Hygienists.
Soldering and arc welding.
Industrial Ventilation, 10th edition (1968), p. 5-50.
- [27] Bakker, R.G. en J.D. van Pelt
Onderzoek van twee laspistolen voorzien van een afzuiginrichting.
Nederlands Maritiem Instituut. Intern rapport no. SRC-270, 1978.
- [28] Ratsch, E.
Untersuchungen zur Verbesserung von Schutzschirmen und Schutzschilden
für Schweisser, um das Einatmen von Rauchen, Gasen und Dämpfen zu vermeiden.
Düsseldorf, Deutscher Verlag für Schweißtechnik, band 1, 1980.
- [29] Arbeidsinspectie, Ademhalingsbeschermingsmiddelen.
Keuzetabel P no. 112-3, Voorburg, 1983.
- [30] Olander, L.
Welding fume plumes in industrial workrooms.
Elsevier Science Publishers, Amsterdam. Ventilation, 1985, p. 153-158.
- [31] Mercey, A.
Ventilatie van ondergrondse en bovengrondse gesloten parkeergarages.
Technisch Gemeentebblad, 1969, 8/9.
- [32] NEN 1078.
Voorschriften voor aardgasinstallaties (GAVO 1976, aanvulling 1978).
Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1976/1978.

- [33] Malmquist, K.G.J. et al.
Process-dependent characteristics of welding fume particles.
Health Hazards and biological effects of welding fumes and gases.
Excerpta Medica. International Congress Series 676 (1986), p. 31-46.
- [34] Von Trink, V.D., Congkhanh, H.
Measurements of pollutants emitted during manual arc-welding with
coated electrodes in an experimental chamber.
Staub-Reinhalt Luft 43 (1983), p. 55-57.
- [35] Nederlands Instituut voor Lastechniek, Technische Commissie VIII.
Lasrook, veiligheids- en gezondheidsaspecten.
Voorlichtingsdag (1981).
- [36] Documentatie van leveranciers van lasmaterialen.
- [37] Kolany, E., Rettenbacher, H.
Untersuchungen über die Rauchentwicklung beim Lichtbogenschweissen mit
umhüllten Stabelektroden.
Sichere Arbeit (1981) 3, p. 1-3.
- [38] Wanders, S.P. en R.L. Zielhuis
Uitval om medische redenen bij lassers op een scheepswerf. Eindrapport.
Amsterdam, Coronel Laboratorium, september 1987.
- [39] Knoll, B.
Oriënterende proefnemingen aan een blazende lasrookverdrijver.
Delft, MT-TNO, dec. 1987. Vertrouwelijk rapport R 87/349.