

55/
23

2^e ed.

PRAKTIJKGIDSEN ARBEIDSHYGIENE

VENTILATIE EN AFZUIGING VAN TOXISCHE STOFFEN EN WARMTE

B. KNOLL

Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden

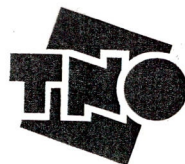


NIA1097814

AUGUSTUS 1996

TOXISCHE STOFFEN TOXISCHE STOFFEN TOXISCHE STOFFEN TOXISCHE STOFFEN TOXISCHE STOFFEN TOXISCHE STOFFEN

TNO Arbeid
Postbus 718
2130 AS Hoofddorp



Bibliotheek

T 023 554 94 68
F 023 554 93 01

Datum terugzending

18 JUNI 2001

21 DEC. 2001

03 MAART 2002

22 MEI 2002

11 DEC. 2002

Verzoeke de uitleentermijn niet te overschrijden.

ISN-nr. 30041
plaats 55-23
datum 04 OKT. 1996 (2^e ex.)

INHOUDSOPGAVE

INLEIDING 3

1 UITGANGSPUNTEN VOOR VENTILATIE 5

- 1.1 VENTILATIEVERPLICHTING 5
- 1.2 HINDER EN PRODUCTIESCHADE BEPERKEN 8

2 VERONTREINIGINGEN 9

- 2.1 BRONTYPERING 9
- 2.2 PRODUCTIEPROCES EN WERKHANDELINGEN 13
- 2.3 CONCENTRATIEPATRONEN IN DE RUIMTE 14
- 2.4 BLOOTSTELLING 14
- 2.5 ONTWERPCONCENTRATIES EN VEILIGHEIDSMARGES 15

3 WARMTE 18

- 3.1 WARMTEPRODUCTIE 18
- 3.2 WARMTEREDUCTIE 20
- 3.3 RESULTEREND KLIMAAT 21
- 3.4 ONTWERPCRITERIA 23
- 3.5 BEPERKING VAN TOCHT 24

4 CALAMITEITEN 25

5 PLAATSELIJKE VENTILATIE 26

- 5.1 PRIMAIRE EN SECUNDAIRE FUNCTIE 26
- 5.2 AFBUIGING EN INVANGING VAN LUCHT 27
- 5.3 PLAATSELIJKE AFZUIGING 28
- 5.4 PLAATSELIJKE VERDRINGING 33
- 5.5 ZONEBELUCHTING EN CABINES 36

6 RUIMTELIJKE VENTILATIE 39

- 6.1 MENGING 39
- 6.2 VENTILATIESTROOM EN VENTILATIEVOUD 41
- 6.3 CIRCULATIE 43
- 6.4 TOEVOER EN AFVOER 44
- 6.5 FILTRATIE ALS ALTERNATIEF 45
- 6.6 NATUURLIJKE VENTILATIE 47
- 6.7 MECHANISCHE VENTILATIE 51

7 UITVOERING VAN VENTILATIESYSTEMEN 53

- 7.1 KANAALSYSTEMEN 53
- 7.2 ROOSTERS 53

8 KEUZE EN ONTWERP 55

- 8.1 HERLEIDEN VAN BASISEISEN 55
- 8.2 VERZAMELEN VAN GEGEVENS 56
- 8.3 ARBEIDSHYGIËNISCHE ANALYSE 56
- 8.4 KEUZE VAN DE MAATREGELEN 57
- 8.5 DIMENSIONERING VAN PLAATSELIJKE VENTILATIE 59
- 8.6 DIMENSIONERING VAN RUIMTELIJKE VENTILATIE 61

9 AANSCHAF EN INSTALLATIE 64

- 9.1 OFFERTE 64
- 9.2 OPLEVERING 66
- 9.3 ONDERHOUD EN BEDRIJFSVOERING 67

BIJLAGEN

- 1 WOORDENLIJST 68
- 2 INDEX 72
- 3 AFKORTINGEN 73
- 4 LITERATUUR EN NUTTIGE ADRESSEN 75

COLOFON

UITGAVE VAN HET NEDERLANDS INSTITUUT
VOOR ARBEIDSMOMSTANDIGHEDEN NIA
EERSTE DRUK, AUGUSTUS 1996

OVER DE AUTEUR:

ING. B. KNOLL IS ALS WERKTUIGBOUW-
KUNDIGE WERKZAAM BIJ TNO BOUW.
HIJ IS GESPECIALISEERD OP HET GEBIED
VAN TECHNISCHE ARBEIDSHYGIËNE EN
ADVISEERT ONDER MEER OVER MAAT-
REGELEN VOOR EEN VERANTWOORD
BINNENMILIEU.

EINDREDACTIE:

DRS. L. JAGER

COMMENTATOREN:

IR. H. L. BOERRIGTER

IR. T. A. J. NOY (RAH), PHILIPS ARBO-DIENST

ONTWERP:

MARIT VAN DER MEER, AMSTERDAM

ZET- EN DRUKWERK:

MONDEEL BV, AMSTERDAM

OMSLAGFOTO:

CHRIS PENNARTS

TE BESTELLEN BIJ:

NIA, KLANTENSERVICE INFORMATIEGROEP

POSTBUS 75665

1070 AR AMSTERDAM

TEL: (020) 54 98 404

FAX: (020) 64 43 102

Copyright ©1996 NIA

Behoudens de in of krachtens de Auteurswet 1912 gestelde uitzonderingen mag niets uit deze uitgave worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook zonder de schriftelijke toestemming van de uitgever, het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden NIA.

Aan deze uitgave is de uiterste zorg besteed. Voor eventuele (druk)fouten en onvolledigheden aanvaarden de auteur(s) en uitgever geen aansprakelijkheid.

CIP-GEGEVENS KONINKLIJKE BIBLIOTHEEK, DEN HAAG

Knoll, B.

Ventilatie en afzuiging van toxische stoffen en warmte / B. Knoll. [red. L. Jager] - Amsterdam : Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden NIA. - Ill., foto's. - (Praktijkgidsen Arbeidshygiëne).

ISBN 90-6365-120-1

Trefw.: ventilatie; arbeidshygiëne

DEZE GIDS IS GEDRUKT OP
TOTALLY CHLORINE-FREE PAPIER.

INLEIDING

DEZE PRAKTIJKGIDS BEHANDELT VENTILATIE IN INDUSTRIËLE WERKPLAATSEN, DIE VARIEERT VAN LUCHTVERVERSING VAN RUIMTEN TOT AFZUIGING TER PLAATSE. WE BESCHRIJVEN EERST DE EIGENSCHAPPEN VAN VERONTREINIGINGEN EN WARMTE EN VERVOLGENS HOE U DE GEVOLGEN VAN BLOOTSTELLING HIERAAN MET BEHULP VAN VENTILATIE KUNT BEHEERSEN. DE GIDS IS BUIKBAAR VOOR MEDEWERKERS DIE IN HET BEDRIJF VERANTWOORDELIJK ZIJN VOOR DE VENTILATIE, VOOR ADVISEURS OP DIT GEBIED EN VOOR AANBIEDERS VAN INSTALLATIESYSTEMEN.

Er zijn steeds meer regels om er voor te zorgen dat werknemers niet of minder worden blootgesteld aan schadelijke stoffen of invloeden op het werk. Met deze regels wil de overheid stimuleren dat bedrijven doeltreffende beheersmaatregelen kiezen. De verantwoordelijkheid hiervoor ligt bij de werkgever.

Doeltreffende beheersmaatregelen moeten zijn afgestemd op het 'industriële' proces. Dit vergt goede samenwerking tussen de disciplines preventie (waaronder ventilatietechniek), arbeidshygiëne en proces- of productietechniek. Deze brengen hun specifieke kennis in en dit maakt bepaling van goede ventilatiemaatregelen complex. Met deze Praktijkgids willen we bijdragen aan een betere communicatie en meer onderling begrip tussen:

- de medewerkers in een bedrijf, zoals productietechnici, verantwoordelijken van de technische dienst, beheerders van de voorzieningen en inkopers
- initiërende of adviserende personen, zoals arbeidshygiënist, veiligheidskundigen, arbo-adviseurs en installatietechnische adviseurs
- aanbieders van ventilatiesystemen, de vertegenwoordigers van installatiebedrijven

De Praktijkgids behandelt de elementaire kennis uit zowel de arbeidshygiëne als de installatietechniek, maar is op geen van beide gebieden uitputtend. Daarvoor verwijzen we naar de vakliteratuur. Een aantal uitgaven vindt u in het literatuuroverzicht.

Wie installaties ontwerpt in industriële werkplaatsen of aanverwante werkruimten, zoals professionele keukens, tandtechnische laboratoria of ateliers, moet niet alleen rekening houden met de regelgeving met betrekking tot de arbeidshygiëne, maar ook met de milieuwetgeving. Het gaat dan vooral om de uitworp en de geluidsoverdracht. In principe zijn deze eisen aanvullend. In deze Praktijkgids gaan we hier verder niet op in, zodat u daar zelf rekening mee moet houden, mocht dit nodig zijn.

LEESWIJZER

Het eerste deel van de Praktijkgids is informatief, het tweede deel is toepassingsgericht en kunt u als 'werkdokument' raadplegen. In hoofdstuk 1 gaan we in op de wettelijke verplichtingen om te ventileren en op de ventilatiebehoefte. De hoofdstukken 2 en 3 behandelen bronnen van verontreiniging en warmte. Deze bepalen de ontwerpcriteria voor ventilatie, evenals calamiteitsituaties die we kort in hoofdstuk 4 bespreken. De hoofdstukken 5, 6 en 7 gaan over de eigenschappen van ventilatiesystemen, die ofwel op de plaatselijke situatie van de bron ofwel op de ruimte zijn afgestemd. Hoofdstuk 8 geeft regels en berekeningswijzen voor het ontwerp van ventilatiesystemen. Hoofdstuk 9 gaat over het opstellen en beoordelen van offertes en de oplevering van de installatie.

Lezers zonder specifieke arbeidshygiënische of installatietechnische achtergrond kunnen het beste de Praktijkgids in zijn geheel lezen. De hoofdstukken 1 tot en met 4 zullen voor lezers met een arbeidshygiënische

achtergrond veel bekends bevatten, maar het vastleggen van bronkarakteristieken bevat ook voor hen nieuwe elementen. De hoofdstukken 5 tot en met 8 zijn voor lezers met een installatietechnische achtergrond herkenbaar, maar ook zij zullen nog onbekende ontwerpregels aantreffen.

1

UITGANGSPUNTEN VOOR VENTILATIE

SCHADELIJKE STOFFEN OF OVERTOLLIGE WARMTE DIE DOOR INDUSTRIËLE PROCESSEN WORDEN GEPRODUCEERD, MOETEN WE AFVOEREN. DIT KAN DOOR TE VENTILEREN. ENERZIJD IS VENTILATIE EEN VERPLICHTING OM GEZONDHEIDSSCHADE TE VOORKOMEN. ANDERZIJD IS HIERAAN BEHOEFTE OM HINDER EN PRODUCTIESCHADE TE BEPERKEN.

Bij het uitvoeren van werkzaamheden kan de binnenlucht ontoelaatbaar vervuild raken door stoffen en gassen. Ook kan teveel warmte worden geproduceerd. We moeten de vervuilde lucht en overtollige warmte dan afvoeren. Dit kan door ventilatie.

OPTIMALISATIE

Het lijkt verstandig om veel te ventileren, zodat de blootstelling aan schadelijke stoffen en warmte beperkt blijft. Hieraan is echter een grens gezien de kosten, mogelijke toechthinder en energieverlies. Bovendien is veel ventilatie nog geen garantie voor een beperkte blootstelling, zeker als werknemers dicht bij bronnen van verontreiniging moeten werken. De keuze van het juiste ventilatiesysteem is dan ook belangrijker dan de grootte van de ventilatie. Uitgangspunt is dat het bedrijf een optimum vindt tussen blootstelling enerzijds en kosten anderzijds.

VENTILATIEVERPLICHTING

Vervuilde lucht en overtollige warmte kunnen niet alleen hinderlijk zijn voor werknemers, maar kunnen ook leiden tot gezondheidsschade of productieschade. Gezondheidsschade treedt vaak niet direct op en daarom wordt het risico lang niet altijd onderkend. De wetgever heeft daarom regels gesteld. Het treffen van ventilatiemaatregelen is dus niet vrijblijvend.

VENTILATIEBEHOEFTE

Er kan ook hinder of productieschade optreden, zonder dat er een belangrijk gezondheidsrisico is. Doordat ze schadelijkheid en hinder verschillend ervaren kan de persoonlijke behoefte van werknemers en werkgevers aan luchtverversing verschillen van wat de wetgever voorschrijft. Daarom onderscheiden we:

- de verplichting om te ventileren
- ventilatie om hinder te beperken
- ventilatie om productieschade te beperken

1.1 VENTILATIEVERPLICHTING

In het Bouwbesluit en in de Arbowet is de verplichting om te ventileren geregeld.

BOUWBESLUIT

Het Bouwbesluit stelt een ondergrens aan de ventilatie voor alle gebouwen waar personen verblijven. Het regelt een adequate afvoer van rookgassen van stooktoestellen. Ook staan er in het Bouwbesluit eisen om onnodig energieverlies door bijvoorbeeld overmatig ventileren te beperken.

Voor gebouwen die niet voor bewoning zijn bestemd, stelt het besluit ventilatie-eisen die afhankelijk zijn van de verblijfsduur en de personele bezetting. De waarden liggen tussen 0,5 en 15 dm³ per seconde per m² vloeroppervlak.

Voor de 'industrie' zullen vooral de lage waarden gelden. In de praktijk van industriële processen zijn overigens de eisen van het Bouwbesluit meestal ondergeschikt. De eisen van de Arbowet zijn hier in het algemeen bepalend.

ARBOWET

In artikel 24 van het Veiligheidsbesluit voor Fabrieken en Werkplaatsen (VBF) vindt u de algemene grondslag van de ventilatie-eisen vanuit de Arbowet. Dit artikel biedt de overheid de mogelijkheid om *Algemene Maatregelen van Bestuur* (AMvB) uit te vaardigen: 'ter verzekering van de veiligheid, ter bescherming van de gezondheid en ter bevordering van het welzijn van werknemers'.

LUCHTVERONTREINIGING

In VBF-artikel 182 en de artikelen 52 en 53 in het Veiligheidsbesluit Restgroepen (VBR) vindt u wettelijke eisen ten aanzien van luchtverontreinigende stoffen. In de Praktijkids 'Toxische-stoffenbeleid: opzetten en uitvoeren' worden deze eisen toegelicht. Globaal behelst zo'n beleid:

- 1 bepalen van de risico's
- 2 prioriteren van de verbeteringen die nodig zijn
- 3 kiezen en uitwerken van beheersmaatregelen
- 4 controleren en bijstellen van de maatregelen

THERMISCH KLIMAAT

De VBF-artikelen 79 tot en met 87 stellen wettelijke eisen aan het thermisch klimaat. Als toetsingscriterium wordt hierin de L-index genoemd die we in paragraaf 3.4 verder toelichten. De wet regelt in eerste instantie onveilige situaties bij extreme klimaten. Daarnaast stelt de wet een grens aan al te grote opwarming van de binnenlucht bij hogere buitentemperaturen. De betekenis van deze wetsartikelen voor praktijksituaties is beperkt. Maar er zijn arbo-richtlijnen in ontwikkeling die wellicht van meer betekenis worden, afhankelijk van de status die de wetgever er aan toe zal kennen. Uitgangspunt van deze regelgeving is het beperken van de thermische onbehaaglijkheid. Per bedrijfstak zullen grenzen worden vastgesteld die zijn gebaseerd op de genormeerde klimaatindices PMV (Predicted Mean Vote) en PPD (Predicted Percentage Dissatisfied). Ze leggen een grens bij een aantal ontevreden dat bijvoorbeeld minder dan twintig procent moet zijn gedurende het grootste deel van de arbeidstijd (bijvoorbeeld negentig procent van de werkuren per jaar). Het criterium is te vertalen in een toelaatbare opwarming en is van direct belang bij het ontwerp van de ventilatie.

KLIMAATINDICES**VERDER LEZEN**

Voor een beperkt aantal situaties zijn de ventilatie-eisen uitgewerkt in (concept)praktijkrichtlijnen van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid: de Publikatiebladen, concept-Publikatiebladen en de bladen van de Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen, de zogenaamde CPR-bladen. Overigens schrijft de overheid geen nieuwe praktijkrichtlijnen meer. Deze taak ligt nu bij de brancheorganisaties. Ook in uitgaven van het Nederlands Instituut voor Arbeidsomstandigheden NIA en het Nederlands Normalisatie-Instituut NNI zijn sommige eisen verder uitgewerkt. Daarnaast zijn er installatietechnische handboeken met praktijkvoorbeelden, zoals van het ISSO en het ACGIH. We raden u aan u op deze informatiebronnen te oriënteren, zodat u meer zicht krijgt op de problematiek. U vindt verwijzingen in het literatuuroverzicht in bijlage 4.

KIEZEN VAN MAATREGELEN**ARBEIDSHYGIËNISCHE
STRATEGIE**

Om beheersmaatregelen te kiezen en risico's te beperken biedt de *arbeidshygiënische strategie* een handvat. Deze kent vier niveaus van maatregelen:

- 1 bronbestrijding
- 2 ventilatie
- 3 scheiding van mens en bron
- 4 persoonlijke beschermingsmiddelen

Werkgevers moeten in eerste instantie proberen de bron te bestrijden door bijvoorbeeld schadelijke stoffen door onschadelijke te vervangen. Alleen als een werkgever dat kan verantwoorden (het is technisch, organisatorisch en financieel-economisch onmogelijk) mag hij uitwijken naar een lager niveau van maatregelen. Dit is het *redelijkerwijsbeginsel*.

BRONMAATREGELEN

Ventilatie komt dus volgens de wetgever niet als eerste maatregel in aanmerking. Eerst moet een bedrijf bronmaatregelen treffen, zoals:

- watergedragen verf gebruiken in plaats van oplosmiddelhoudende verf
- polyester producten maken in gesloten mallen en niet in open mallen
- nat schuren of slijpen in plaats van droog schuren of slijpen
- zakken met stuivend stortgoed niet leegschudden maar leegschuiven (nog beter is het om helemaal niet met open stortgoed te werken, maar met bulk dat van aanvoer tot verwerking gesloten wordt getransporteerd)
- omkassen van het bewerkingsgedeelte van een draaibank met een doorzichtige kap

Meer informatie over bronmaatregelen vindt u in de Praktijkgids 'Bronbestrijding: vrijkomen van toxische stoffen beperken'.

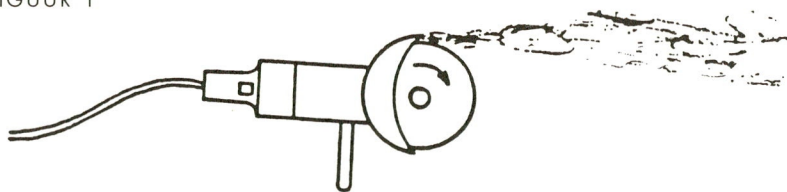
Pas als bronmaatregelen aantoonbaar niet tot voldoende verbetering leiden, komt ventilatie in aanmerking. Ook de ventilatiemaatregelen kennen een voorgeschreven volgorde:

- 1 directe verwijdering van verontreinigingen of warmte door plaatselijke ventilatie; dit is bronafzuiging of sturende luchttoevoer (lokale verdringing), al dan niet in combinatie
- 2 verdunning door ruimtelijke ventilatie

Voor ventilatie mogen we ook alternatieven toepassen die eveneens de overdracht beperken, zoals:

- de leidschoep (kap) aan een slijptol die de bewegingsrichting van stof van de persoon af leidt (zie figuur 1)
- een vast lasscherm tussen een plasmaslaser en het werkstuk, zodat de ademzone buiten de lasrookpluim blijft
- een scherm tussen een hete machine en de werkzone dat de straling reflecteert
- een luchtscherm boven een etsbad
- luchtreiniging

FIGUUR 1



DE BESCHERMKAP VAN EEN SLIJPTOL DOET DIENST ALS LEIDSCHOEP. DE VERONTREINIGINGEN WORDEN ZO VAN DE WERKNEMER WEGGEVOERD EN DE OVERDRACHT VAN GEVAARLIJKE STOFFEN WORDT BEPERKT.

U moet erop letten dat een maatregel andere arbeidsomstandigheden kan beïnvloeden. Grondregel is dat andere arbeidsomstandigheden niet mogen verslechteren. Zo is een ventilatiesysteem dat wel de blootstelling aan verontreinigingen verlaagt, maar veel lawaai maakt of tocht oplevert, uit arbeidshygiënisch oogpunt nog steeds een slechte oplossing.

De overheid vindt het belangrijk dat bedrijven met deze volgorden en uitgangspunten rekening houden. Maar uiteindelijk gaat het haar om het

PRESTATIEVERPLICHTING

effect van de beheersmaatregelen en zijn niet de maatregelen zelf maatgevend. Deze opstelling heeft verstrekkende gevolgen. Het betekent namelijk geen inspanningsverplichting, maar een prestatieverplichting. Anders gezegd: een inspecteur zal er geen genoegen meer mee nemen dat een bedrijf maatregelen heeft getroffen; het is pas goed als de blootstelling afdoende is verminderd.

Bedrijven die de keuze van beheersmaatregelen voornamelijk op de kostprijs baseren, doen er dan ook goed aan dit ter harte te nemen. De prestatiegaranties van toeleveranciers zullen sterk moeten meewegen. Anders zal 'goedkoop is duurkoop' zeker gaan gelden.

De keuze van de juiste maatregelen is primair de verantwoordelijkheid van een werkgever. Hij kan niet op de wetgever terugvallen. Concrete maatregelen schrijft de wetgever immers niet voor, tenzij het bedrijf bij herhaling in gebreke blijft. Van de andere kant laat de wetgever bedrijven zo de nodige ruimte, zodat ze die maatregelen kunnen treffen die het beste bij hen passen. Dit vraagt wel om deskundigheid bij het bedrijf zelf, maar ook bij de toeleveranciers. Deze Praktijkids hoopt in deze behoefte te voorzien.

1.2 HINDER EN PRODUCTIESCHADE BEPERKEN

HINDER BEPERKEN

Niet alleen wettelijke voorschriften, maar ook het beperken van hinder voor werknemers kan een aanleiding zijn om beheersmaatregelen te treffen. Behalve sociale overwegingen spelen hier zakelijke overwegingen een rol: scherpere leveringsgaranties en lagere premies bij minder verzuim en minder productieverlies door een betere motivatie en concentratie op het werk.

KLIMAATPROBLEMEN

Werknemers in de industrie klagen vooral over warmte en tocht op het werk. Daarnaast hebben ze problemen met de luchtvochtigheid. In het algemeen duiden we dit aan als problemen met het (thermisch) klimaat. Deze klachten kunnen aanleiding zijn om de ventilatie te verbeteren, ook al is er niet altijd een wettelijke verplichting.

Ook als werknemers last hebben van dampen en stof (eveneens in de top-tien van meest gehoorde klachten) is verbetering van de ventilatie wenselijk. Overigens worden lang niet alle schadelijke dampen als zodanig herkend. Ze kunnen reukloos en niet-prikkelend zijn. Het tegenovergestelde kan ook het geval zijn. Sterk geurende dampen zijn lang niet altijd schadelijk.

Bij hinder zullen vooral de werknemers behoefte hebben aan maatregelen, of er nu wel of niet sprake is van een gezondheidsrisico. Juist omdat werknemers sommige schadelijke stoffen niet als hinderlijk ervaren en sommige onschadelijke juist wel, kan de behoefte aan ventilatie bij werknemers afwijken van wat de wetgever voorschrijft en de werkgever wenselijk acht. Soms leidt dit tot onbegrip.

PRODUCTIESCHADE BEPERKEN

Voor een goede product- of productiekwaliteit is soms ventilatie nodig. Bijvoorbeeld:

- temperatuurbeheersing in een hal van een groenteveiling
- luchtreinheid bij het maken van microchips
- een juiste luchtvochtigheid bij het bedrukken van textiel

In dergelijke gevallen heeft vooral de werkgever belang bij goede ventilatie of andersoortige maatregelen.

2

VERONTREINIGINGEN

OM TOT DE JUISTE VENTILATIEMAATREGELEN TE KOMEN ZIJN ONTWERPCRITERIA NODIG DIE OP HET BEDRIJF ZIJN TOEGESNEDEN. IN DIT HOOFDSTUK BESCHRIJVEN WE ONTWERPCRITERIA VOOR VENTILATIESYSTEMEN WAARMEE WE DE BLOOTSTELLING AAN VERONTREINIGINGEN WILLEN VOORKOMEN OF BEPERKEN. DE EIGENSCHAPPEN VAN DE BRONNEN VAN VERONTREINIGING VORMEN DE UITGANGSPUNTEN VOOR DEZE ONTWERPCRITERIA.

Een bedrijf zal moeten vaststellen waardoor de blootstelling aan verontreinigingen ontstaat, zodat het weet hoe het deze kan voorkomen of beperken. Zo zal het bedrijf ook moeten onderzoeken hoe problemen met warmte ontstaan om deze te kunnen beperken. Omdat de verspreidingsmechanismen van verontreinigingen en warmte duidelijk verschillen, beschrijven we warmte en verontreinigingen in twee aparte hoofdstukken. Ontwerpcriteria voor ventilatie in calamiteitsituaties bespreken we kort in hoofdstuk 4. Dit betekent overigens niet dat we aparte ventilatiesystemen of beheersmaatregelen nastreven voor verontreinigingen, warmte en calamiteiten. Integendeel, we bevelen aan om deze waar mogelijk tot één systeem te combineren.

Ontwerpcriteria voor maatregelen om de blootstelling aan verontreinigingen te beperken, kunnen we pas opstellen als we meer weten over:

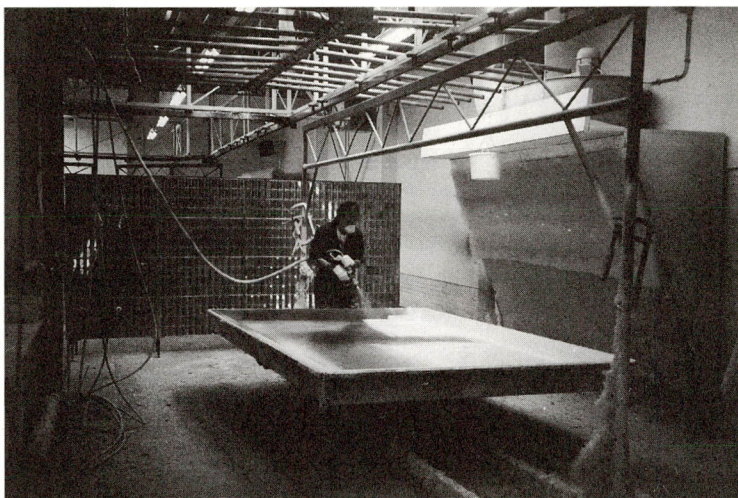
- de bron van verontreiniging (brontypering)
- de invloed van het productieproces en de werkhandelingen
- concentratiepatronen in de ruimte
- de blootstelling van de werknemers
- veilige concentraties en veiligheidsmarges

2.1 BRONTYPERING

Luchtverontreinigende stoffen komen in het algemeen niet gelijkmatig verspreid in een ruimte vrij. Meestal zijn er één of verscheidene bronnen die we meer of minder duidelijk kunnen aanwijzen. Belangrijke eigenschappen van een bron zijn:

- aantal en soorten verontreinigingen (wat is de chemische samenstelling; is de verontreiniging gas- of deeltjesvormig; hoe is de deeltjesgrootteverdeling)
- productie van de verontreinigingen per soort
- grenswaarden voor de blootstelling per soort
- procesfactoren, werkhandelingen en omgevingsfactoren die de productie van verontreinigingen beïnvloeden
- afmetingen en vorm van de bron (een punt-, lijn- of veldbron; vlak of ruimtelijk)
- mobiliteit van de bron (verplaatsingsafstand en verblijfsduur)
- verspreidingsmechanisme (stromingsrichting en verspreidingssnelheid van verontreinigingen met eventuele variatie)
- procesfactoren, werkhandelingen en omgevingsfactoren die dit verspreidingsmechanisme beïnvloeden

Deze factoren bepalen of een bedrijf afzuiging of ventilatie al dan niet als beheersmaatregel kan toepassen en hoe dit ventilatiesysteem er vervolgens uit moet zien.



HET GROTE UITDAMPEND OPPERVAK VAN EEN POLYESTER
SCHUURDAK TIJDENS DE PRODUCTIE IS ALS EEN VELDBRON
TE BESCHOUWEN. FOTO TNO-BOUW

BANDSCHUURMACHINE

Iedere bron beïnvloedt de omgeving op zijn eigen, unieke manier. Bij een bandschuurmachine bijvoorbeeld speelt het volgende een rol:

- Als de korrelgrootte van de schuurband kleiner is, neemt de productie van schuurstof af; maar ook de deeltjesgrootte neemt af en daarom kan het stof makkelijker worden ingeademd.
- Het stof is slecht invangbaar, omdat de verspreidingssnelheden hoog zijn en vanwege de grilligheid van de verspreidingsrichtingen van het stof, wat wordt beïnvloed door de vormen van het werkstuk.
- Een handschuurmachine wordt veel verplaatst en op een bepaalde plek ook maar kort gebruikt; daarom zijn mobiele, lokale ventilatievoorzieningen nodig.

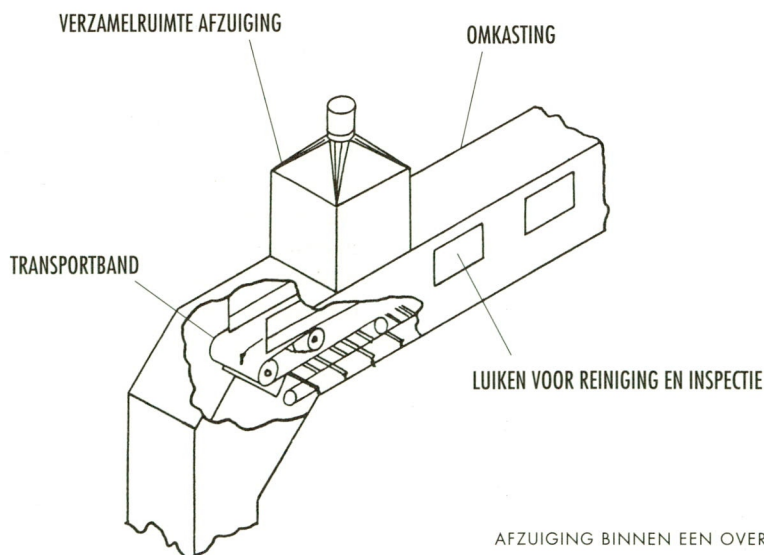
AFVULLIJN

Bij een afvullijn voor spuitbussen met insecticide ligt het accent daarentegen op de lengte van de bron. Het is hier zaak een zo volledig mogelijke overkapping te realiseren in combinatie met een goede lijnafzuiging (zie figuur 2).

GALVANISEREN

Bij een galvanische werkplaats zijn de afmetingen van zowel de etsbaden als de uitdampende werkstukken belangrijk om mee rekening te houden. Hier zijn ventilatievoorzieningen nodig die de stroming in betrekkelijk grote zones kunnen beheersen.

FIGUUR 2



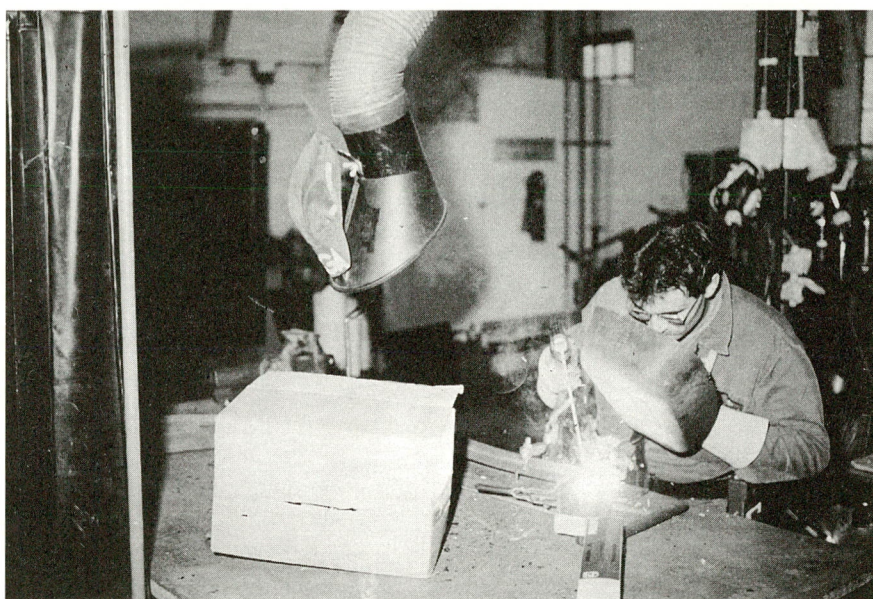
AFZUIGING BINNEN EEN OVERKAPPING

BRONTYPERING: LASSEN

Welke *soorten verontreiniging* bij welke lasprocessen het meest schadelijk zijn, kunnen we alleen door uitvoerig onderzoek vaststellen. Bij lassen komt lasrook vrij, waarin veel soorten verontreiniging kunnen zitten. Vaste (stof)deeltjes (metaaloxiden) zijn vaak de bepalende verontreiniging. De concentratie van deze rookdeeltjes vormt vaak een risico, omdat de concentratie ervan dichterbij de buurt komt van de toegestane grenswaarde, dan voor de geproduceerde gassen, zoals stikstofoxiden en ozon. Lasspatten zijn grove deeltjes; gestolde metaaldamp vormt fijne deeltjes. Deze blijven lang zweven. Bij gelegerde metalen zijn verbindingen van de legeringselementen vaak het schadelijkst. Zo is bij roestvast staal oplosbaar chroom de bepalende verontreiniging.

De *productie van verontreinigingen* wisselt sterk per soort verontreiniging. Ook hangt de productie af van de lasintensiteit. De productie aan inadembare deeltjes ligt bijvoorbeeld in de orde van grootte van één tot twee procent van de hoeveelheid metaal die per tijdseenheid wordt neergesmolten. Grootheden als het lasvermogen en het draad- of elektrodegebruik karakteriseren de productie. Van invloed zijn verder het type elektrode of schermgas, of een lasboog rustig is (geen spatten) en of het basismateriaal schoon is.

Bij lassen zijn de *afmetingen van de bron* beperkt. Lasrook komt vrij uit het smeltbad van een las. De afmeting van het smeltbad zelf (de bron) is klein, ongeveer 1 cm². We spreken van een puntbron. Op enkele decimeters afstand van het smeltbad is de doorsnede van de lasrookpluim toegenomen tot ongeveer 20 dm². Omdat de bron beperkt is, is het aantrekkelijk om de lasrook zo dicht mogelijk bij de bron af te zuigen. Daar is de hoeveelheid lasrook beperkt, maar wel sterk geconcentreerd.



DE LASROOKPLUIM IS BIJ DE LAS SMAL,
MAAR WAAIERT DAARNA SNEL UIT.
FOTO TNO-BOUW

De lasnaad strekt zich uit over een bepaalde lengte. Bovendien komt in een constructie vaak een aantal lasnaden voor. Dit bepaalt de *mobilititeit van de bron*. De verplaatsingsafstand (het werkgebied) varieert van enkele decimeters tot meters. De verblijfsduur (de bewerkingstijd) in een beperkte zone ligt meestal in de orde van grootte van tientallen seconden tot minuten. De verplaatsingsafstand bepaalt het vangbereik en de verplaatsbaarheid van de lokale ventilatievoorziening. De verblijfsduur bepaalt hoe vaak de voorziening opnieuw moet worden gepositioneerd. Als dit vaker is dan

ongeveer zesmaal per uur, dan blijken werknemers handmatige positionering niet meer consequent uit te voeren. Automatisch positioneren wordt dan aanbevolen.

Lasrook *verspreidt* zich aanvankelijk met grote kracht in alle richtingen vanuit het smeltbad van een las. Dit komt door de hoge energiedichtheid die vergelijkbaar is met een explosie waar stukken in alle richtingen wegslingeren. Hierbij lopen de verspreidingssnelheden snel op tot circa 1 m/s. Ook wordt de lasrookpluim snel breed. Op ongeveer 1 tot 2 dm van het smeltbad wordt de stroming geleidelijk opwaarts gericht. Door de hoge temperaturen wordt thermiek (de opstijging van warme lucht) dan overheersend. De verspreidingssnelheden in de lasrookpluim variëren van ongeveer 0,2 m/s aan de rand tot 0,6 m/s in het hart van de pluim. De breedte van de pluim neemt niet sterk meer toe. Op deze verspreidingssnelheden en -afstanden moet het bedrijf de vangsnelheden en vangafstanden van de lokale ventilatievoorzieningen afstemmen.

Door de blootstelling vast te leggen en te analyseren wordt al een aantal broneigenschappen duidelijk. In onder meer de Praktijkgids 'Toxische stoffenbeleid: opzetten en uitvoeren' leest u meer over het karakteriseren van de blootstelling.

AANVULLENDE WAARNEMINGEN

Om te bepalen welke ventilatiemaatregelen nodig zijn, is verder onderzoek nodig:

- met een luchtsnelheidsmeter of anemometer de verspreidingssnelheden nabij de bron meten op karakteristieke blootstellingsmomenten; let op variaties van de snelheid per plaats in de pluim
- met een rookbuisje de lokale verspreidingsrichtingen bepalen
- de afmetingen van de pluim vaststellen
- de mobiliteit van de bron vaststellen door een karakteristieke cyclus van het proces te observeren; neem de afstanden tussen verblijfplaatsen, verblijftijden en eventueel verplaatsingssnelheden op
- de productie van verontreinigingen vaststellen met behulp van de verspreidingssnelheden, de afmetingen van de pluim en de concentraties in de pluim; als u de pluimdoorsnede, verspreidingssnelheden en concentraties in de pluim met elkaar vermenigvuldigt, berekent u de productie ($m^2 \times m/s \times cm^3/m^3 = cm^3/s$) of $m^2 \times m/s \times g/m^3 = g/s$

Om een indruk te geven van verspreidingssnelheden (v_v) die in de praktijk optreden, geven we in schema 1 waarden voor drie situaties waarin we verschillen waarnemen in de beweging van lucht.

SCHEMA 1 VERSPREIDINGSSNELHEDEN v_v

WAARNEMINGEN	VOORBEELDEN	SNELHEID [m/s]
GERINGE SNELHEID EN NIET-BEWEGENDE LUCHT	– GEVERFD OPPERVLAKE – ONTVETTINGSBAD – OPENING VAN EEN TANK	0,25-0,5
MATIGE SNELHEID EN RUSTIG BEWEGENDE LUCHT	– VERFSPUIT – LASDAMP – GALVANISCHE BADEN	0,5-1,5
HOGESNELHEID EN STERKE BEWEGENDE LUCHT	– STAAL STRALEN – SLIJPEN – BANDSCHUURMACHINE	1,5-10

ZWARE DAMP

De soortelijke massa en de temperatuur van de verontreinigde lucht beïnvloeden in principe de verspreidingssnelheden en -richtingen. Bij verontreinigingen met een hoge soortelijke massa streeft een bedrijf nogal eens naar afzuigvoorzieningen bij de vloer onder het motto: *de damp is zwaarder dan de lucht*. Hoewel dit fysisch juist is, is er sprake van een inschattingsfout. Ter illustratie: als de concentratie van een damp die driemaal zo 'zwaar' is als lucht, 100 ppm is (dat wil zeggen 100 delen van de damp per 1.000.000 delen lucht, dus 100 cm³ damp per 1 m³ lucht) dan is de soortelijke massa van het mengsel (de lucht en de damp) slechts 1,0002 x zo groot als dat van de lucht zonder de damp. Zolang er geen sprake is van concentraties van één procent of hoger, is het effect van 'zware' damp in de praktijk daarom geheel te verwaarlozen.

TEMPERATUUR

Een afwijkende temperatuur kan wel een rol spelen. Tien graden temperatuurverschil scheelt al vier procent in soortelijke massa. Daarom is het belangrijk dat u uw waarnemingen in verschillende stadia van warmteproductie of in verschillende seizoenen herhaalt.

2.2 PRODUCTIEPROCES EN WERKHANDELINGEN

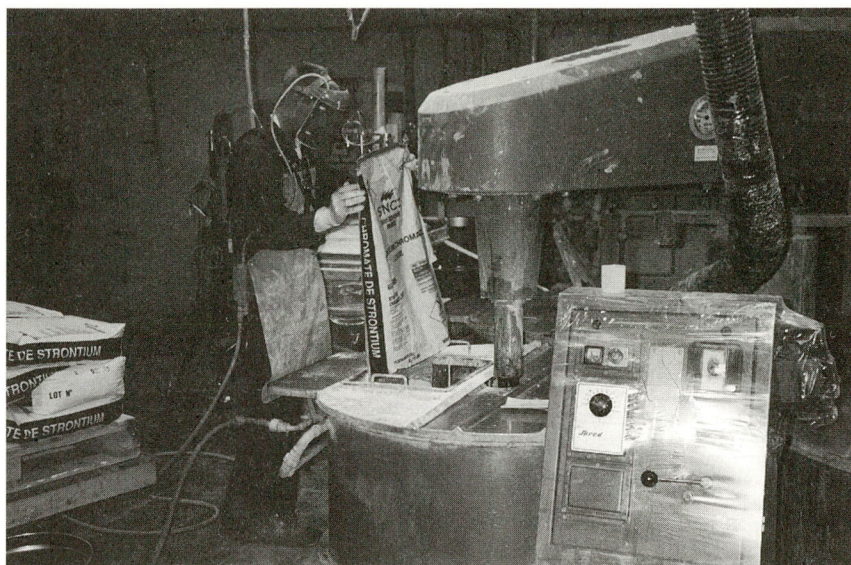
De broneigenschappen variëren vaak met het productieproces en de werkhandelingen. Inzicht in hoe deze eigenschappen variëren, is belangrijk.

DE INVLOED VAN HET PRODUCTIEPROCES BIJ LASSEN

Bij zwaardere lassen met dikkere elektroden of draad en een hogere lasstroom, neemt de lasrookproductie minder dan evenredig toe met de hoeveelheid neergesmolten metaal. Als er bijvoorbeeld tweemaal zoveel metaal wordt neergesmolten, zal de hoeveelheid lasrook dus minder dan twee keer zo groot zijn. Ook de verspreidingssnelheid neemt slechts beperkt toe. De vangsnelheid en capaciteit van bronafzuiging hoeft daarom beperkt toe te nemen. De samenstelling van de lasrook (de onderlinge verhouding tussen de soorten verontreiniging) verandert eveneens, doordat de temperatuuropbouw van de smelt anders is.

INVLOED VAN WERKHANDELINGEN OP EEN STORTPLAATS

Op een stortplaats legen de werknemers zakken in een stortkoker. Het stortgoed gaat stuiven, waardoor de werknemers aan stof worden blootgesteld. Een werknemer die de zakken op de rand van de stortkoker steunt, opent en rustig optrekt, zal aanmerkelijk minder stof in de lucht brengen dan een werknemer die de zakken heen en weer wappert.



HET LEEGSCHUDDEN VAN ZAKKEN MET SCHADELIJKE STOF VERVANGEN DOOR EEN GESLOTEN DOSEERSYSTEEM IS EEN BRONMAATREGEL DIE EERDER DAN VENTILATIE IN AANMERKING KOMT. FOTO TNO-BOUW

De broneigenschappen bij gemiddelde productieomstandigheden zijn representatief voor de blootstelling. Gemiddelde omstandigheden zijn echter niet maatgevend voor de beheersmaatregelen. De maatregelen moeten immers ook bij ongunstige productieomstandigheden nog voldoen. Daarom moet een bedrijf de broneigenschappen bij ongunstige productieomstandigheden en werkhandelingen kennen ('worst case'-situatie).

2.3 CONCENTRATIEPATRONEN

Rondom bronnen kunnen sterk wisselende wolken van verontreiniging ontstaan. Afhankelijk van plaats en tijd variëren de concentraties daarin. De plaats en verblijfsduur van werknemers in zo'n wolk bepalen vaak in hoge mate de blootstelling.

STROMING

De stroming in de ruimte beïnvloedt de concentraties in een wolk van verontreinigingen. Een verhoogde luchtstroming kan voor verdunning zorgen. Anderzijds kan de stroming meer uitstoot veroorzaken. Denk bijvoorbeeld aan een uitdampend oppervlak waarboven de dampspanning door langsstromende lucht lager wordt. Stroming in de ruimte kan ook verontreinigingen naar de werknemers toe- of van de werknemers afstuwen. De stroming bepaalt voorts hoe en waar een wolk van verontreinigingen zich opmengt. Hierdoor verschillen ook de concentraties in de ruimte buiten een wolk van verontreinigingen.

MEERDERE BRONNEN

Vaak is er meer dan één dominante bron van verontreiniging in een ruimte. Als er verscheidene belangrijke bronnen zijn, kunnen ze elkaars concentratiepatronen beïnvloeden. Dit is vooral het geval als de bronnen dicht bij elkaar liggen en min of meer gelijktijdig verontreinigingen uitstoten. Ook als vanuit een ruimte ernaast verontreinigingen toestromen, kunnen we deze beschouwen als een naburige bron.

SIMULATIES

Concentratiepatronen in een ruimte zijn door deze effecten meestal vrij complex en wisselend en het kost dan ook veel tijd en geld om ze te meten. We kunnen ze redelijk voorspellen met computersimulatie, maar ook dat is nog tamelijk kostbaar. Omdat het juist de concentratiepatronen zijn die een bedrijf met ventilatiemaatregelen gunstig wil beïnvloeden, kan het deze simulaties toch overwegen om het effect van ventilatiemaatregelen te voorspellen. Zo kan het dit ventilatiesysteem optimaal afstemmen op de omstandigheden. Zeker als het om ingrijpende, kostbare voorzieningen gaat, is zo'n simulatie de moeite waard. Aanpassingen achteraf kosten namelijk een veelvoud van een afstemmingsonderzoek vooraf.

2.4 BLOOTSTELLING

Als werknemers kort worden blootgesteld aan een hoge concentratie, kunnen ze dezelfde dosis oplopen als bij langdurige blootstelling aan een lage concentratie. Maatregelen moeten zich vooral richten op beheersing van de omstandigheden met de grootste doses. In de praktijk doen werknemers hoge doses op als ze zich dicht bij bronnen bevinden. Daarom ligt het accent van ventilatiemaatregelen vaak op stromingsbeheersing van bronnen.

Als werknemers dicht bij bronnen werken, kan de blootstelling sterk variëren. Er zijn immers meestal sterke gradiënten in concentraties. Een kleine verandering van werkhouding kan de blootstelling dan al aanzien-

lijk veranderen. Bij werknemers die meer mobiel zijn, kunnen de concentraties waaraan ze zijn blootgesteld nog meer variëren.

Een werknemer kan ook door zijn eigen positie de verspreiding van verontreinigingen beïnvloeden of de optimale plaats van bijvoorbeeld een plaatselijke afzuiger bemoeilijken, waardoor het effect beperkt blijft.

METING VAN DE BLOOTSTELLING

Voor de juiste opzet van ventilatiesystemen is inzicht in het verband tussen bron en blootstelling belangrijk. In bestaande situaties kunnen we hieraan vooraf meten. Voor nieuwe situaties kan een testopstelling of pilotopstelling zinvol zijn. We meten aan representatieve werknemers en in representatieve werkzones op karakteristieke tijdstippen. Het gaat dan om de concentraties in:

- de ademzone van verschillende werknemers
- de pluim van verontreiniging die bij de bron vrijkomt
- de werkzone die de directe omgeving van de bron vormt
- de ruimte op de achtergrond
- de ruimte bij de afvoeren

De hoogte van de concentraties in de ademzone bepaalt de noodzaak van maatregelen. Duidelijke verschillen tussen werknemers die vergelijkbaar werk doen, duiden op gedragsinvloeden. Ze gedragen zich verschillend tijdens het werk of in de manier waarin ze omgaan met beschermende voorzieningen, waardoor ze aan verschillende concentraties blootstaan. In dit geval kan de situatie al verbeteren door bewustmaking en training van werknemers. Duidelijke verschillen tussen werknemers die verschillende taken hebben, geven aan dat met taakrotatie de situatie kan verbeteren.

De concentratie in de ademzone is het meest kritiek. Hoe groter het verschil tussen de concentratie in de ademzone en de achtergrond, des te meer zijn plaatselijke ventilatiemaatregelen (dicht bij de bron) nodig. Ook het verschil tussen de concentraties in de ademzone en de pluim en directe werkomgeving is hierbij van belang. Tevens geven grote verschillen aan dat het nut van ruimtelijke ventilatie of filtratie beperkt is.

De verhouding tussen concentraties in de directe werkomgeving en op de achtergrond geeft aan in hoeverre ruimtelijke ventilatie zich op de werkzone moet concentreren. Als de concentratie in de directe werkomgeving veel hoger is dan op de achtergrond, dan is er onvoldoende menging, zodat de verontreiniging blijft hangen. Er is dan behoefte aan verbeterde circulatie van ruimtelucht. Goed 'roeren' zorgt ervoor dat de concentraties overal in de werkruimte ongeveer gelijk zijn. Tevens geeft deze verhouding aan of plaatselijke afscherming nodig is.

Concentratieverschillen tussen de afvoer en de achtergrond geven tenslotte aan of de afvoerplaatsen juist zijn gesitueerd. Is de concentratie in de afvoerlucht relatief hoog, dan is de plaatsing goed en wordt alle verontreinigde lucht vrijwel direct afgevoerd.

2.5 ONTWERPCONCENTRATIES EN VEILIGHEIDSMARGES

Voor het ontwerp van beheersmaatregelen moeten uitgangspunten worden gesteld. Ontwerpers van ventilatiesystemen hebben behoefte aan veilige concentraties, die als ontwerpwaarde kunnen dienen voor de dimensionering van de systemen.

GRENSWAARDE

De wetgever eist dat de blootstelling van personen aan verontreinigingen voldoende en doeltreffend wordt voorkomen. Voldoende betekent dat de concentratie tenminste lager moet zijn dan aanvaarde grenswaarden zoals de MAC-waarden (Maximale Aanvaarde Concentraties) of daarvan afgeleide bedrijfsnormen, die vooral van belang zijn bij meervoudige blootstelling. De MAC-waarde of bedrijfsnorm mag zelfs bij ongunstige productieomstandigheden (worst case) gemiddeld over de werkdag niet worden overschreden. Bij voorkeur echter moet de concentratie waaraan de werknemers zijn blootgesteld, zo laag mogelijk zijn.

Een MAC-waarde is dus te hoog om als ontwerpwaarde voor gebruikelijke omstandigheden te dienen. Wel kan een MAC-waarde als ontwerpwaarde voor *ongunstige omstandigheden* dienen. Daarbij heeft de wetgever echter niet gedefinieerd wat we onder 'ongunstige omstandigheden' moeten verstaan. Anders gezegd: de wetgever geeft niet aan wat de kans op overschrijding van een grenswaarde mag zijn. Dit is essentieel voor de dimensies van te ontwerpen systemen. De praktijk leert dat ventilatievoorzieningen die in doorsnede bevredigen, worden verkregen met het ontwerp-uitgangspunt dat concentraties tenminste 95 procent van de arbeidstijd onder de MAC-waarde of bedrijfsnorm moeten blijven. Hierbij is een kanttekening op zijn plaats. Dit criterium houdt in dat overschrijdingen beperkt en meestal kortstondig kunnen vóórkomen. Zowel de hoogte als de duur van de overschrijding bepaalt dan of dit criterium hanteerbaar is of moet worden aangescherpt. Per situatie moet een bedrijf dit bezien.

VEILIGHEIDSMARGES

Het stuit echter op praktische bezwaren om een uitzonderlijke situatie met ongunstige omstandigheden als ontwerp-uitgangspunt te nemen. Deze doen zich uiteraard weinig voor en bedrijven hebben daar dan ook meestal geen gegevens over (bijvoorbeeld over concentraties en het verspreidingspatroon). Wel kennen ze de (jaar)gemiddelde gegevens van bijvoorbeeld het grondstoffen- of energiegebruik, waarmee ze de productie-intensiteit kunnen karakteriseren.

Daarom vertalen we dit ontwerp-uitgangspunt voor ongunstige omstandigheden met behulp van veiligheidsmarges op de MAC-waarden, bedrijfsnormen of andere grenswaarden naar een ontwerp-uitgangspunt voor gemiddelde situaties. Met dit praktische uitgangspunt hebben we dus voldoende aan gegevens van de gemiddelde situatie.

Om een veiligheidsmarge te kunnen afleiden, moeten we de verdeling over de werktijd kennen van de concentraties waaraan werknemers worden blootgesteld. Dit vraagt om het uitvoeren en analyseren van langdurige en uitgebreide blootstellingsmetingen. Waar dit niet haalbaar is, kan een bedrijf richtwaarden voor deze veiligheidsmarges hanteren. Zie schema 2.

De waarden in dit schema geven een genuanceerdere benadering dan het zogeheten 20-procent-actiecriterium dat de Arbeidsinspectie soms hanteert. Dit criterium veronderstelt in wezen altijd uitschieters van een factor 5, ongeacht de omstandigheden.

Het schema maakt ook duidelijk dat aanpassingen van het proces of van de werkhandelingen de benodigde veiligheidsmarge gunstig kunnen beïnvloeden. Dit kan grote consequenties hebben voor de omvang van het benodigde ventilatiesysteem en we bevelen daarom zulke aanpassingen waar mogelijk aan.

SCHEMA 2 VEILIGHEIDSMARGES OP GRENSWAARDEN

VEILIGHEIDSMARGE M OMSTANDIGHEDEN

M = 1	- STERK GEAUTOMATISEERD PROCES MET CONSTATE PRODUCTIE - WEINIG VERPLAATSING VAN BRON EN PERSONEN - VERZEKERDE GOEDE MENGING IN DE RUIMTELUCHT - STABIELE STROMING
M = 3	- RUIME VARIATIE IN HET PRODUCTIEPROCES - WERKNEMERS WISSELEN NOGAL WAT BETREFT PLAATS EN TIJD - BEPERKTE DOORMENGING IN DE RUIMTELUCHT - STABIELE STROMING
M = 10	- VEEL VARIATIE IN HET PRODUCTIEPROCES - GROTE INVLOED VAN WERKHANDelingen OP HET NIVEAU VAN DE VERONTREINIGINGEN - GROTE RUIMTELIJKE CONCENTRATIEVERSCHILLEN - SLECHTE DOORMENGING - WERKNEMERS ZIJN VEELAL AAN VASTE PLAATSEN GEBONDEN
M = 30	- VEEL VARIATIE IN HET PRODUCTIEPROCES - GROTE INVLOED VAN WERKHANDelingen OP HET NIVEAU VAN DE VERONTREINIGINGEN - STOOTVORMIG EN KRACHTIG VRIJKOMENDE VERONTREINIGINGEN - VERONTREINIGING KOMT DICHT BIJ ADEMZONE VRIJ - WERKNEMERS ZIJN VEELAL AAN VASTE PLAATSEN GEBONDEN

ONTWERPWAARDE = GRENSWAARDE : VEILIGHEIDSMARGE M

EEN VEILIGHEIDSMARGE VAN 3 BETEKENT, DAT HET BEDRIJF STREEFT NAAR 33 PROCENT VAN DE MAC ALS GEMIDDELTE CONCENTRATIE, OMDAT UITSCHIETERS IN CONCENTRATIES EEN FACTOR 3 HOGER KUNNEN LIGGEN. EEN VEILIGHEIDSMARGE VAN 30 BETEKENT STREVEN NAAR 3,3 PROCENT VAN DE MAC, VANWEGE UITSCHIETERS DIE EEN FACTOR 30 HOGER KUNNEN LIGGEN.

3

WARMTE

BIJ VEEL PRODUCTIEPROCESSEN WORDT ENERGIE GEBRUIKT, DIE VRIJKOMT ALS WARMTE. BIJ OVERMATIGE OPWARMING ONTSTAAN KLIMAATPROBLEMEN. WAAR DIT SPEELT IS HET AFVOEREN VAN WARMTE DOOR MIDDEL VAN VENTILATIE (SPUIEN) ÉÉN VAN DE MOGELIJKHEDEN OM DIT TE VOORKOMEN. DIT HOOFDSTUK WERKT TOE NAAR ONTWERPCRITERIA VOOR VENTILATIE OM KLIMAATPROBLEMEN TE BEPERKEN.

3.1 WARMTEPRODUCTIE

Het productieproces, de apparatuur, de verlichting en de aanwezige personen zorgen binnen industriële gebouwen voor overvloedige warmte. Van buitenaf verwarmt de zon het gebouw. Proces- en zonnewarmte zijn bij warmteproblemen vaak het belangrijkste. De volgende voorbeelden maken duidelijk, hoe proces- en zonnewarmte vrijkomen en hoe deze het (thermisch) klimaat beïnvloeden.

BAKKERIJ

In een bakkerij worden de bakovens met gas gestookt. Uit de ovens ontsnapt hete lucht. De hete omkasting staat warmte af aan de omgevende lucht (dit is convectie) en straalt warmte uit naar omgevende vlakken (dit is straling). Verder koelt het warme baksel voor een deel af in de ovenruimte.

Een deel van de verbrandingswarmte komt niet in de ovenruimte vrij. Dit is de warmte die met de rookgassen de schoorsteen uit gaat en de warmte die nog in het baksel aanwezig is als dit naar een andere ruimte gaat.

Niet alleen de verhoging van de ruimtetemperatuur beïnvloedt het klimaat. Ook de directe warmtestraling in de bakkerij naar de werknemers draagt bij aan de klimaatbeleving.

MACHINEFABRIEK

In een machinefabriek worden bewerkingsmachines, zoals draaibanken, freesbanken, pons- en boormachines, elektrisch gevoed. De voedingsenergie komt vrij als warmte bij de motoren en als wrijvingswarmte bij het verspanen. Een deel warmt de werkstukken zelf op en zorgt ook voor opwarming en verdamping van de koelvloeistof. Werkstukken en koelvloeistof geven hun warmte af in de ruimte waar ze verblijven.

Een groot deel van de opgenomen elektrische energie veroorzaakt zo een verhoging van de temperatuur in de bewerkingsruimte. De warmte die voor verdamping van de koelvloeistof wordt opgenomen, veroorzaakt echter geen voelbare temperatuurverhoging. Wel neemt de luchtvochtigheid erdoor toe. Dit beïnvloedt het klimaat ongunstig; in vochtige lucht kunnen de werknemers immers hun lichaamstemperatuur minder makkelijk regelen door zweetafgifte. Het voelt klam en broeierig aan.

Bij een aantal machines heeft het bewerkingsgedeelte een perspex omkasting. Afzuiging vanonder de omkasting voert een deel van de warmte en het vocht direct af naar buiten.

De machinefabriek is rondom in de gevels voorzien van glasstroken en van enkele lichtstraten op het dak. Hierdoor treedt niet alleen daglicht, maar ook zonnewarmte binnen. Het *broeikaseffect* zorgt ervoor dat de naar binnen gestraalde zonnewarmte grotendeels binnen blijft, waardoor de binnentemperatuur verder toeneemt. Ook door directe aanstraling van de werknemers door de zon neemt de warmtebeleving toe.

Overigens komt niet alle zonnewarmte direct vrij in de ruimte. Een aan-

zienlijk deel wordt in de gebouwconstructie opgenomen en komt dan later geleidelijk vrij. De opname door de gebouwconstructie neemt toe met de bouwmassa.

BROEIKASEFFECT

Het zonoppervlak van circa 6000°C straalt warmte uit. Dit is kortgolvlige straling, die vrijwel onbelemmerd door glas kan binnentreden. De warmte wordt op binnenoppervlakken opgevangen. Stel dat deze opwarmen tot ongeveer 50°C. Hierdoor stralen deze vlakken warmte terug. Door de lagere temperatuur is dit nu echter langgolvlige straling geworden die niet meer door het glas terug kan.

De term broeikaseffect wordt tegenwoordig ook veel gebruikt om opwarming van de aardbol aan te duiden. Het ontstaat doordat verontreinigingen in de atmosfeer eenzelfde effect op de straling van de zon naar de aarde hebben als glas op de straling van de zon in een broeikas heeft.

PROCESWARMTE

De vrijkomende proceswarmte beïnvloedt het klimaat. De voorbeelden maken duidelijk dat niet alle proceswarmte in de ruimte vrijkomt en dat er een onderscheid is tussen het voelbare deel van de proceswarmte en de totale proceswarmte.

Het aandeel van de proceswarmte dat het klimaat beïnvloedt, kunnen we dus niet zo maar afleiden uit verbruiksgegevens van energie. De verbruiksgegevens kunnen hooguit een indicatie geven. We moeten dan een redelijke schatting maken van het deel dat in de lucht vrijkomt. Bovendien moeten we rekening houden met variaties in het energiegebruik en met het aandeel voor ruimteverwarming in de winter.

ZONNEWARMTE

De zonnewarmte is wel redelijk in te schatten. We moeten dan vooral de grootte en oriëntatie van de glasvlakken kennen, de soort beglazing en de eventueel toegepaste zonwering. Om de uitdemping door de bouwmassa te schatten moet de soortelijke massa van de bouwconstructie bekend zijn. Indicaties van de warmtelast door de zon geeft schema 3. Handboeken met vuistregels en zonstralingstabellen en zontoetredingsfactoren, zoals van ISSO, kunnen bij een nauwkeuriger bepaling van dienst zijn. U kunt ook hulpprogramma's voor koellastberekening gebruiken.

SCHEMA 3 WARMTELAST DOOR DE ZON VOOR DRIE TYPEN BOUWMASSA

	INDICATIES VAN DE ZONNEWARMTE DIE BINNEN VRIJKOMT PER m ² GLAS WAAR DE ZON VOL OP SCHIJNT IN W/m ²		
	ZWARE STEEN OF BETON	STEEN EN BEPLATING	BEPLATING
ENKEL GLAS	100	300	500
DUBBEL GLAS	90	260	440
GLAS MET ZONWERING BINNEN	50	150	250
GLAS MET ZONWERING BUITEN	20	60	100

TOTALE WARMTEPRODUCTIE

De totaal vrijkomende warmte kunnen we nauwkeuriger bepalen door warmtestromen uit het proces gedetailleerd te meten en bij de zonnewarmte op te tellen. Procesmetingen zijn vrij specialistisch. We gaan er hier verder niet op in.

We kunnen de totaal vrijkomende warmte ook bepalen door de warmteafvoerstromen te meten. We stellen in wezen een warmtebalans op. Hiermee wordt het verband tussen opwarming en warmteproductie gekarakteriseerd. Op deze aanpak gaan we verder in.

De warmteafvoerstromen uit de ruimte moeten we toch nader analyseren om de invloed op de binnentemperatuur vast te stellen. Door de warmteproductie stijgt niet alleen de temperatuur in de ruimte, maar worden ook andere klimaatfactoren beïnvloed, zoals uit de voorbeelden bleek.

- Warmtestraling draagt direct bij aan de klimaatbeleving van personen.
- Warmte wordt gebruikt voor verdamping van vocht; dit leidt niet tot een voelbare temperatuurverhoging, maar door een hogere luchtvochtigheid beïnvloedt het wel de klimaatbeleving.

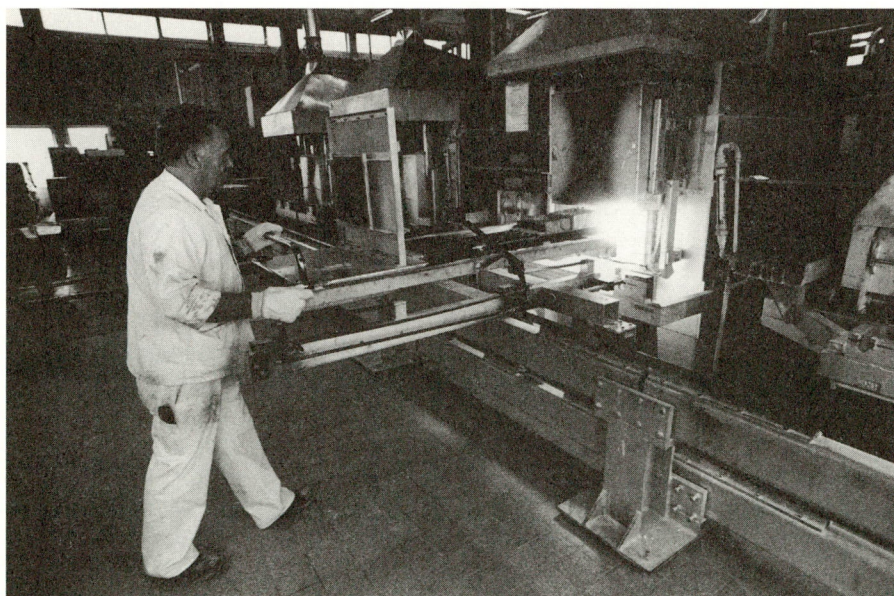
3.2 WARMTEREDUCTIE

Bij warmtereductie gaat het om wering van warmte, de accumulatie van warmte en de afvoer van warmte.

WARMTEWERING

Als zich warmteproblemen voordoen, is het terugdringen van de warmteproductie de eerst aangewezen oplossingsrichting. Mogelijkheden zijn bijvoorbeeld:

- isolatie van warme machinedelen; hierbij moeten we oppassen voor oververhitting van de machine waardoor storing kan optreden met productieverlies als gevolg of waardoor de productkwaliteit achteruit kan gaan
- omkasting met afzuiging van warme delen
- gebruik van straling-afschermende of straling-reflecterende panelen; oververhitting van machines zal minder snel optreden, maar opwarming van de lucht gaan we zo niet tegen
- toepassing van zonwering; buitenzonwering is in dit verband effectiever dan binnenzonwering of reflecterende beglazing (zie schema 3)
- procesaanpassing ten aanzien van energiebeheer (bij een meer planmatige aanpak)
- een gebouwtwerp met meer daglichtopeningen op de noordoriëntatie



WERING VAN WARMTE DOOR VOOR
DE WERKER EEN SCHERM OP DE IN-
VOERSLEDE TE PLAATSEN; TEvens
OOGBESCHERMING. FOTO TNO-BOUW

WARMTEACCUMULATIE

Een deel van de overtollige warmte zal niet continu worden geproduceerd. Denk bijvoorbeeld aan zonnewarmte en productiepieken die niet langer dan enkele uren aanhouden. Zulke pieken in warmteproductie hoeven we niet op hetzelfde moment af te voeren. We kunnen ze ook tijdelijk opslaan.

We noemen dit accumulatie. In de periode erna wordt de opgeslagen warmte geleidelijk weer afgevoerd. Zo kunnen we de momentane capaciteit van de warmteafvoer beperken.

MEDIUM

Voor accumulatie is een medium met warmtecapaciteit nodig. De bouwconstructie is zo'n medium. Een steenachtig gebouw met betonnen vloer en dak dempt warmtepieken beter uit dan een gebouw met een schil van beplating, al dan niet voorzien van isolatie.

Ook andere media komen in aanmerking. In het voorbeeld van de machinefabriek kan dit een centrale tank met koelvloeistof zijn. De warmte die bij de verspanende bewerkingen vrijkomt, wordt hierin opgeslagen. De totale hoeveelheid koelvloeistof is groot genoeg om de vrijkomende warmte van productiepieken uit te dempen.

WARMTEAFVOER

We hoeven niet alle overtollige warmte door ventilatie (spuien) af te voeren. Een deel van de warmte die in een ruimte vrijkomt, gaat door geleiding door de gebouwschil naar buiten. Daar wordt de warmte afgevoerd door afkoeling aan de buitenlucht en door stralingsuitwisseling met omringende vlakken.

TRANSMISSIE

Dit afvoermechanisme noemen we warmtetransport door de constructie, warmtedoorgang of transmissie. De isolatiewaarde van de bouwconstructie bepaalt de grootte van het transmissieaandeel. De huidige gebouwen zijn vrij goed geïsoleerd. Daarom is de rol van transmissie in het algemeen beperkt, vooral in de zomer, als warmteproblemen zich openbaren. Bij warmteproblemen wordt transmissie als afvoermogelijkheid dan ook vaak verwaarloosd.

TUSSEN-MEDIUM

We kunnen overtollige warmte ook met een tussenmedium afvoeren, voordat dit de kans krijgt de omgeving op te warmen. We kunnen bijvoorbeeld een spiraal aanbrenge om de bakovens uit het voorbeeld. Door de (koel-) spiraal pompen we vloeistof die de overtollige warmte opneemt. De warme vloeistof voeren we naar een productieplaats waar warmte nodig is voor bijvoorbeeld het voorverwarmen van de crème die op of tussen koek wordt gebracht.

Als we de opgevangen restwarmte niet (volledig) kunnen hergebruiken, dan kunnen we deze naar een koeltoren pompen. Hier wordt de warmte direct aan de buitenlucht afgegeven. Zo kunnen we oververhitting van de betreffende werkruimte voorkomen of beperken.

VENTILATIE

Na deze mogelijkheden komt verhoging van de ventilatie in aanmerking. Vergroting van de ventilatie kan echter op bezwaren stuiten, bijvoorbeeld als er hoge eisen aan luchtcondities, zoals luchtvochtigheid of luchtreinheid, worden gesteld. In zulke gevallen is luchtkoeling mogelijk een alternatief. Luchtkoeling heeft als bezwaar dat het vaak kostbaar is in gebruik en dat een goede, gelijkmatige verdeling van gekoelde lucht wordt vereist. Ontwerpcriteria voor ventilatie komen in paragraaf 3.5 aan de orde.

3.3 RESULTEREND KLIMAAT

De overtollige warmte die niet kan worden geweerd, gebufferd of afgevoerd, zorgt voor een verhoogde binnentemperatuur. De opwarming is groter naarmate de spui-ventilatie (het lozen van overtollige warmte) van de ruimte minder is.

Het verband tussen opwarming (temperatuurverhoging), vrijkomende warmtestroom en ventilatiestroom kunnen we in bestaande situaties nader bepalen. Dit is een controle waarmee we eerdere schattingen kunnen onderbouwen. We krijgen zo als het ware een ijkpunt.

VENTILATIEWARMTE

TRANSMISSIEWARMTE

We meten dan de temperaturen in de ruimte en erbuiten en alle uitgaande ventilatiestromen met hun temperaturen. Hieruit berekenen we de afgevoerde ventilatiewarmte P_{sui} in (k)W of (kJ)/s.

Uit bouwkundige gegevens van de constructie leiden we met behulp van handboeken eventueel de isolatiewaarden af. Hieruit kunnen we het aandeel van de afgevoerde transmissiewarmte berekenen. Dit is het product van de warmtedoorgangscoefficienten (deze zijn het omgekeerde van de isolatiewaarden), de bijbehorende oppervlakken en de temperatuurverschillen over de betreffende constructiedelen.

WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT

De warmtedoorgangscoefficiënt van een constructiedeel is de hoeveelheid warmte in J die per tijdseenheid s door een oppervlak van 1 m^2 stroomt, als aan de ene zijde van het constructiedeel de luchttemperatuur 1°C afwijkt van de temperatuur aan de andere zijde. Het aantal J/s (of W) is dus een maat voor de warmtestroom door het oppervlak. Een hoge doorgangscoefficiënt betekent een slechte isolatie, een lage een goede isolatie.

De som van transmissie- en ventilatiewarmte is gelijk aan de totaal vrijgekomen warmte. Als we de controlemeting niet in een uitgesproken spuisituatie doen, is het aandeel van transmissie niet altijd te verwaarlozen. Verdisconteren van het transmissieaandeel is dan nodig. In meer zomerse omstandigheden is de invloed van afvoer door transmissie kleiner. Nadat we voor de transmissiewarmte hebben gecorrigeerd, krijgen we bij benadering de warmtestroom die door spuien moet worden afgevoerd, productievataties daargelaten. De spui ventilatie moet voldoende groot zijn om de temperatuurverhoging, met name in de zomer, te beperken. Een ontwerpcriterium hiervoor bespreken we in de volgende paragraaf.

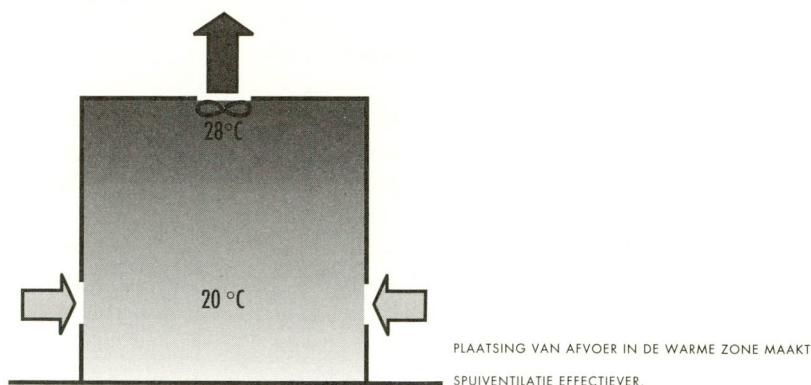
TEMPERATUURGRADIËNT

De resulterende temperatuur zal niet overal in de ruimte hetzelfde zijn, vooral niet in grote ruimten. Door lokale warmteproductie kunnen in een ruimte plaatselijk afwijkende temperaturen optreden. De onderlinge verschillen in temperatuur zijn meestal niet groter dan enkele graden Celsius, als we althans de temperaturen in vrijkomende hete lucht buiten beschouwing laten. De verschillen zijn groter naarmate de lokale warmteproductie groter en de luchtcirculatie minder is.

Daarnaast zal de temperatuur boven in de ruimte hoger zijn, omdat warme lucht opstijgt. De verticale temperatuurgradiënt (het temperatuurverloop met de hoogte) ligt meestal tussen enkele tienden en één graad Celsius per meter hoogte. De waarden zijn hoger bij hogere warmtelast, beperktere luchtcirculatie en betere gebouwisolatie.

Voor de klimaatbeleving is de temperatuur in de verblijfszone van de werknemers van belang. Vanwege de temperatuurverschillen binnen de werkruimte hoeft de temperatuur in de verblijfszone niet overeen te komen met de temperatuur waarmee lucht wordt afgevoerd.

FIGUUR 3



Door de luchtafvoer in een zone met relatief hogere temperatuur te plaatsen, vergroten we de effectiviteit van de spui ventilatie (zie figuur 3) en kunnen we, anders gezegd, de capaciteit van de spui ventilatie beperken. Gunstige afvoerplaatsen zijn boven in de ruimte en dicht bij warmtebronnen.

3.4 ONTWERPCRITERIA

De Arbowet stelt eisen aan het thermisch klimaat. Het toetsingscriterium is de L-index. De L-index is een criterium dat is gecorrigeerd voor de luchtvochtigheid. De warmte die een werknemer produceert, kan hij kwijtraken doordat hij transpireert en doordat dit transpiratievocht vervolgens verdampt. De luchtvochtigheid in de ruimte moet zo zijn, dat zweetverdamping mogelijk is. Om de mogelijkheid van zweetverdamping te karakteriseren gebruiken we de L-index. De L-index vertoont overeenkomst met de Europees genormeerde WBGT-index, die in het buitenland meer gebruikelijk is.

L-INDEX

Bij een relatieve luchtvochtigheid van 100 procent is de L-index gelijk aan de temperatuur. Bij lagere relatieve luchtvochtigheden is de L-index echter lager dan de temperatuur. Als eis geldt een absolute bovengrens $L = 29^{\circ}\text{C}$. In de praktijk komt dit neer op maximaal toegestane temperaturen van:

- $+32^{\circ}\text{C}$ bij een relatieve vochtigheid van 70 procent
- $+40^{\circ}\text{C}$ bij een relatieve vochtigheid van 25 procent

TEMPERATUURVERSCHIL

Voor het ontwerp heeft deze absolute eis weinig betekenis. Belangrijker is een tweede wettelijke eis, dat het verschil tussen L_{binnen} en L_{buiten} in de warme periode niet meer dan 5°C mag bedragen. In de praktijk komt dit erop neer dat bij processen die naast warmte beperkt vocht produceren, het verschil in luchttemperatuur tussen binnen en buiten beperkt moet blijven tot ongeveer 7 tot 10°C . Dit temperatuurverschil mag groter zijn (dus 10°C) naarmate de vochtproductie beperkter is en de lucht dus droger.

AANTAL KLAGERS

Omdat de L-index uit het oogpunt van behaaglijkheid geen betekenis heeft, zijn aparte richtlijnen in ontwikkeling. Deze zijn niet wettelijk verplicht en kunnen per bedrijfstak verschillen. Ze zijn gebaseerd op een bepaald percentage klagers dat niet mag worden overschreden, afgezien van een beperkte periode van bijvoorbeeld uitzonderlijk warme dagen.

De I-SZW overweegt als richtlijn maximaal twintig procent ontevreden gedurende negentig procent van de arbeidsduur na te streven. Voor gemiddelde industriële arbeid betekent dit dat de binnentemperatuur negentig procent van de tijd onder 21°C moet blijven. Nu is het buiten ook ongeveer 90 procent van het aantal dagen per jaar onder 21°C . Daarom betekent deze richtlijn dat het temperatuurverschil tussen binnen en buiten praktisch 0°C moet zijn als het buiten 21°C of meer is. Zo'n richtlijn zal in de praktijk slechts met (zware) koelinstallaties zijn te realiseren. Het is daarom nog allerminst zeker dat de industrie deze zal accepteren.

De richtlijn streeft eigenlijk na, dat men binnen nauwelijks klimaatverschillen ondervindt, ongeacht de buitentemperatuur. Werknemers missen dan echter het 'contact' met de buitentemperatuur; dit voelt onprettig aan.

In de ontwerppraktijk gaan we daarom vaak uit van beperking van het temperatuurverschil tussen binnen en buiten tot 5°C. Dat betekent bijvoorbeeld dat als het buiten 25°C is, de binnentemperatuur mag oplopen tot 30°C. Deze waarde leidt meestal tot aanvaardbare situaties. De ontwerpwaarde houdt globaal het midden tussen voornoemde wettelijke verplichting en de te verwachten aanbeveling van de I-SZW. In deze Praktijkgids houden we verder het criterium van 5°C aan.

3.5 BEPERKING VAN TOCHT

Als we spuien, voeren we niet alleen warme binnenlucht af, maar moeten we ook een gelijke volumestroom buitenlucht toevoeren. Deze intredende lucht kan tocht veroorzaken. Het intreden van koelere (niet echt koude) lucht in verblijfszones zal in de zomer weinig problemen geven. We kunnen bijvoorbeeld gerust de deuren openzetten om het extra te laten 'door-tochten'. De werknemers zullen het zelfs vaak als aangenaam ervaren. Maar ook bij lagere buitentemperaturen kan er behoefte aan ventilatie zijn. Deze zal wel minder worden met het afnemen van de buitentemperatuur, maar kan toch lang aanwezig blijven. Bij productie van verontreinigingen zal er zelfs onafhankelijk van de buitentemperatuur behoefte aan ventilatie zijn. In dergelijke situaties kan te koude intredende lucht tocht veroorzaken. Om dit te beperken, moet aan de volgende voorwaarden zijn voldaan.

VOORWAARDEN OM TOCHT TE BEPERKEN

- 1 De intredende lucht moet zo gelijkmatig mogelijk over de ruimte worden verdeeld. We bereiken dit als volgt:
 - bij natuurlijke ventilatie (onder invloed van natuurlijke krachten zoals wind en thermiek) moeten we meer roosters van kleinere afmetingen over alle gevels plaatsen, in plaats van enkele grote roosters
 - een goede, op de wind afgestemde regeling van de roosterstanden is onontbeerlijk, vooral op de loefzijde (de naar de wind toegekeerde zijde)
 - bij mechanische ventilatie (met behulp van ventilatoren) is toepassing van luchtverdeelsystemen aan te bevelen
- 2 De toevoer moet niet te dicht bij verblijfplaatsen gebeuren. De intredende lucht moet als het ware de kans krijgen in de omgevingslucht op te mengen en daarbij op te warmen en snelheid te verliezen, voordat het personen treft. We bereiken dit als volgt:
 - natuurlijke toevoer (dus zonder ventilator) moeten we in het algemeen niet onder drie meter hoogte in de gevels aanbrengen
 - toevoerroosters plaatsen in weinig gebruikte zones, zoals opslaggedeelten, verdient de voorkeur
 - zowel bij natuurlijke als mechanische systemen zijn de vorm en stand van de roosterlamellen van belang voor een optimale inblaasrichting (schuin omhoog) en opmenging
- 3 De toevoerlucht moet zo mogelijk worden voorverwarmd. We bereiken dit als volgt:
 - bij natuurlijke systemen kan dit door verwarmingslichamen onder de toevoerroosters te plaatsen
 - bij mechanische systemen kunnen verwarmingselementen in het systeem worden ingebouwd

4

CALAMITEITEN

DE VENTILATIE VOOR CALAMITEITEN IS IN WEZEN EEN BIJZONDERE TOEPASSING VAN DE VENTILATIE OM VERONTREINIGINGEN TE VERDUNNEN. HET ONDERSCHIED IS DE FACTOR KANS. NIET HET BEPERKEN, MAAR HET ONTWIJKEN VAN BLOOTSTELLING IS HET DOEL.

Bedrijven gebruiken ventilatie ook bij een aantal calamiteiten, zoals voor rookafvoer bij brand of het verdunnen van ontsnapte dampen tot onder de explosiegrens bij een ongeval.

De ontwerpprocedure vertoont overeenkomsten met die voor het beperken van blootstelling aan verontreinigingen. Het onderscheid zit vooral in de belangrijke rol van de factor kans. Het gaat in dit geval om het ontwijken van blootstelling in plaats van om het beperken van blootstelling.

BEDRIJFSNOODPLAN

In de maatregelensfeer staan persoonlijke veiligheid en beperking van schade voorop. Daarbij spelen bijvoorbeeld de vluchtmogelijkheden en de toegankelijkheid voor hulpverleners een belangrijke rol. Dergelijke zaken worden geregeld in een bedrijfsnoodplan.

Vanwege het bijzondere, specialistische karakter gaan we hier niet in op de specifieke ontwerpeisen, maar we noemen calamiteitenventilatie wel, omdat deze – vaker dan meestal gebeurt – gecombineerd kan worden met permanente ventilatie.

Voorwaarde voor het combineren is, dat we een voorkeursschakeling toepassen. Dat wil zeggen, dat bij calamiteiten het systeem altijd die instellingen aanneemt die voor deze situatie nodig zijn. Zonodig moet dit automatisch gebeuren. Denk bijvoorbeeld aan een brand waarbij de stroom uitvalt. Door een veerbediening toe te passen, eventueel in combinatie met smeltveiligheden, moet ook dan rookafvoer mogelijk zijn.

Zulke aanvullingen zijn toevoegingen op de 'normale' uitvoering van het systeem, waarvan de meest kostbare onderdelen – de roosters – een dubbele functie krijgen.

Ook als we de systemen niet combineren, kunnen calamiteitensituaties eisen stellen aan de 'normale' ventilatie. Een bekend voorbeeld bij grote gebouwen is de hoofdschakelaar die op een centrale plaats aanwezig moet zijn voor de brandweer.

5

PLAATSELIJKE VENTILATIE

IN DE VORIGE HOOFDSTUKKEN HEBBEN WE ONTWERPCRITERIA VOOR VENTILATIESYSTEMEN OPGESTELD AAN DE HAND VAN BRON-EIGENSCHAPPEN. DIT HOOFDSTUK GAAT OVER DE EIGENSCHAPPEN VAN PLAATSELIJKE VENTILATIESYSTEMEN. HET BESCHRIJFT WELK SYSTEEM VOOR WELKE SITUATIE GESCHIKT IS.

Plaatselijke ventilatie noemen we bewust ventilatie om aan te geven dat het systeem moet bestaan uit een toevoer en een afvoer. We beschrijven in dit hoofdstuk eerst de kenmerken van plaatselijke ventilatiesystemen en vervolgens de verschillende soorten: plaatselijke afzuiging, plaatselijke verdringing en zonebeluchting.

5.1 PRIMAIRE EN SECUNDAIRE FUNCTIE

Plaatselijke ventilatie passen we toe als een werknemer zich op korte afstand van een bron bevindt waaruit zich verontreinigingen of warmte in hoge concentraties verspreiden. Met ruimteventilatie kunnen we op de korte afgelegde afstand onvoldoende verdunning realiseren.

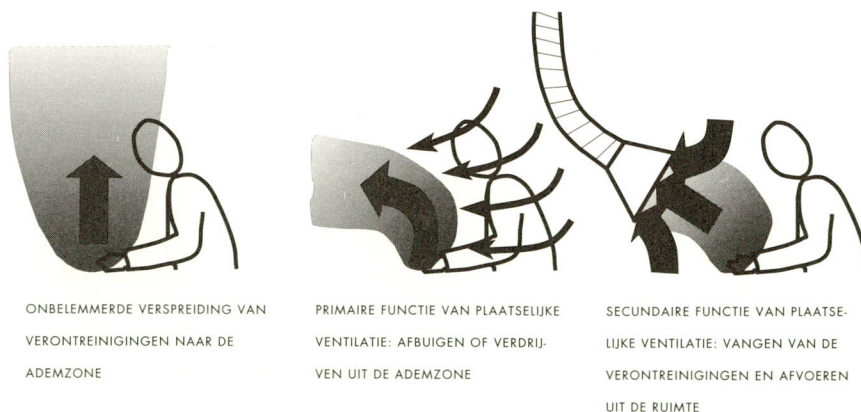
VERDRIJVEN

Plaatselijke ventilatie heeft daarom primair tot doel om verontreinigingen of warmte uit de directe nabijheid van werknemers te verdrijven. Zo wordt directe blootstelling aan hoge concentraties (praktisch onverdunde lucht) voorkomen.

VANGEN EN AFVOEREN

Bij de bron vangen en uit de ruimte afvoeren van vrijkomende, verontreinigde of warme lucht is de secundaire functie van plaatselijke ventilatie. Dit voorkomt indirecte blootstelling via deze verontreinigde of opgewarmde omgevingslucht. Doordat menging optreedt, zullen de concentraties in de omgevingslucht lager zijn dan bij de bron. Zie figuur 4.

FIGUUR 4



DRUKMACHINE MET AFZUIGING

Dit voorbeeld maakt het belang van het onderscheid tussen de primaire en secundaire functie duidelijk. Zie ook figuur 4.

Grote rollen textiel worden in een meer dan manshoge machine bedrukt. Door de machineopening, direct bij de drukrol, komen hoge concentraties oplosmiddel vrij. Direct boven de machineopening worden deze opge-

vangen in een afzuigkap die vrijwel alle uittredende damp opvangt. De concentraties in de omringende ruimte zijn daarom laag. De werknemer bevindt zich echter ook bij de machineopening in de stroming van verontreinigde lucht naar de afzuigkap. Zijn blootstelling blijft daarom ondanks de afzuiging vele malen te hoog. In dit geval wordt de primaire functie van de afzuiging dus onvoldoende vervuld.

REDUCTIEFACTOR EN VANGRENDEMENT

Om beide functies van afzuiging te kwantificeren onderscheiden we de reductiefactor en het vangrendement.

De reductiefactor is het aantal malen dat de blootstelling lager wordt door gebruik van de maatregel. Bij een reductiefactor van bijvoorbeeld 4 is de blootstelling viermaal zo laag geworden. Een reductiefactor 1 betekent geen effect. De reductiefactor kan zelfs kleiner dan 1 zijn. Dan wordt de blootstelling hoger. In het voorbeeld zou dat betekenen dat de afzuigkap de verontreinigingen juist naar de ademzone van de werknemer toetrekt, alvorens ze af te voeren.

Het vangrendement is het percentage van de verontreinigingen- of warmteproductie dat via de afzuiger verdwijnt. Het voorbeeld van de drukmachine maakt duidelijk dat het vangrendement hoog kan zijn, terwijl de reductiefactor klein is. Van de andere kant zijn er ook situaties waar een goede reductiefactor wordt bereikt, terwijl het vangrendement gering is. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van de lasrookverdrijver.

LASROOKVERDRIJVER

De lasrookverdrijver is een draagbaar apparaat, dat lassers die erg mobiel zijn, op de borst dragen. Het blaast een luchtscherm schuin over de lasrookpluim. De pluim wordt daardoor omgedrongen van de lasser af. Zo blijven hoge lasrookconcentraties buiten de ademzone. Vervolgens verspreidt de lasrook zich in de ruimte waar deze zich mengt met ruimtelucht die door ruimteventilatie wordt verdund. Dit mengsel wordt ingeademd. De concentraties zijn dan beduidend verlaagd. Er treedt dus een aanzienlijke reductie op, hoewel de lasrook niet wordt ingevangen.

5.2 AFBUIGING EN INVANGING VAN LUCHT

Vrijkomende verontreinigingen of warmte moeten van de werknemer worden afgebogen en zo mogelijk gevangen. De plaatselijke ventilatievoorziening moet hiervoor krachtig genoeg zijn.

De verontreinigde of warme lucht verspreidt zich met een bepaalde snelheid (v_v) in een bepaalde richting. Zie ook schema 1. Moet de plaatselijke ventilatie nu altijd een hogere (vang- of verdrijf)snelheid maken? Nee, denk bijvoorbeeld aan een auto die door zijwind van zijn baan afwijkt. De wind is niet krachtiger dan de auto, maar werkt alleen in een andere richting. Dit voorbeeld leert ons dat we er naar moeten streven verontreinigingen om te dwingen in plaats van tegen te houden.

Vooraf bij plaatselijke afzuiging is een aanvankelijk beperkte aanzuig-snelheid al voldoende. Dat komt doordat de aanzuigkracht dichterbij de afzuigmond sterk toeneemt en verder van de afzuigmond sterk afneemt. Zie ook figuur 5. Het criterium is dat de verontreiniging dichterbij de afzuigmond wordt gebracht. Daar wordt de aanzuiging en dus ook de afbuiging van de verontreiniging snel sterker, waardoor de verontreiniging niet meer kan ontsnappen. Dit effect treedt niet op als we een verontreiniging met stuurlicht verdrijven. Zie ook paragraaf 5.4.

VANG- EN VERDRIJFSNELHEID

Uit ervaring is vastgesteld welke vang- of verdrijfsnelheid van plaatselijke ventilatie (v_p) nodig is in relatie tot de verspreidingssnelheid (v_v). Deze hangt af van de stand van de afzuigmond ten opzichte van de verspreidingsrichting van de verontreiniging. Zie schema 4. Dit schema geeft een overzicht van de relatieve vang- en verdrijfsnelheden die bij verschillende standen van plaatselijke ventilatie nodig zijn. De stand van de afzuigmond ten opzichte van de bron en de hoek tussen afzuigmond of aanblaasrichting en de verspreidingsrichting zijn van belang voor de relatieve vang- of verdrijfsnelheid. Zie ook schema 4.

SCHEMA 4 RELATIEVE VANG- EN VERDRIJFSNELHEID

STAND	HOEK	RELATIEVE VANG-SNELHEID v_p/v_v	RELATIEVE VERDRIJFS-SNELHEID v_p/v_v
MET DE VERSPREIDING MEE	0°	0,2-0,5	0,5-1,0
DWARS OP DE VERSPREIDING	90°	0,5-1,0	1,0-2,0
TEGEN DE VERSPREIDING IN	180°	1,5-2,0	2,0-4,0

We kunnen nu een waarde uit dit schema aflezen en deze vermenigvuldigen met de verspreidingssnelheid (v_v). Zo krijgen we de vang- of verdrijfsnelheid (v_p) die nodig is en door de plaatselijke ventilatie moet worden gemaakt. De verspreidingssnelheid v_v kunnen we meten of aflezen uit schema 1 (bladzijde 12).

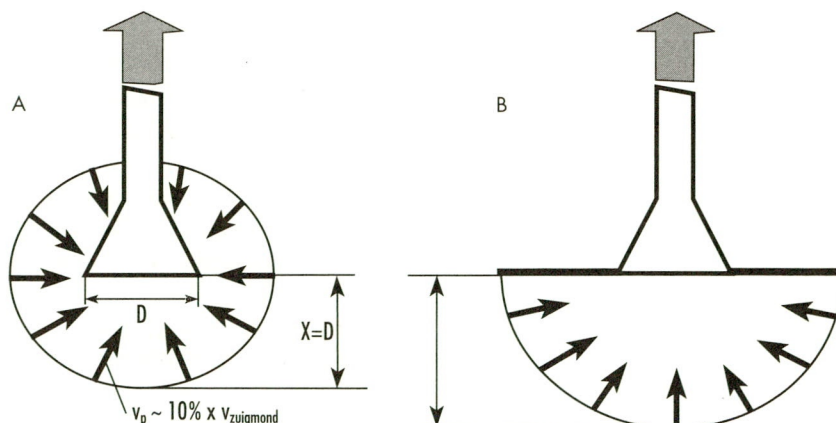
PASSEERAFSTAND

Hoe verder van een plaatselijke ventilatievoorziening af, des te kleiner wordt haar vang- of verdrijfsnelheid. Maar ook de verontreiniging of warmte die het verst vanaf de plaatselijke ventilatievoorziening passeert, moet nog worden gevangen of afgebogen. Deze grootste passeerafstand (X) is dus mede bepalend voor het ontwerp van de plaatselijke ventilatievoorziening. Zowel de vang- of verdrijfsnelheid (v_p) als de passeerafstand (X) zullen we dan ook in ontwerpformules voor plaatselijke ventilatie terugzien.

5.3 PLAATSELIJKE AFZUIGING

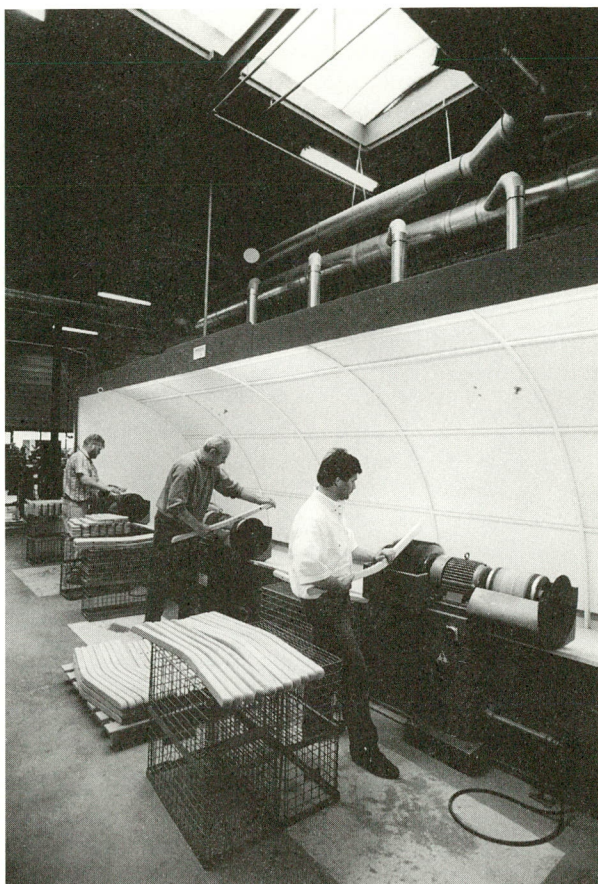
De meest toegepaste en bekendste vorm van plaatselijke ventilatie is afzuiging bij de bron. Aantrekkelijk van plaatselijke afzuiging is dat de

FIGUUR 5



DOOR ALZIJDIGE TOESTROMING VAN LUCHT NEEMT DE AANZIGSNELHEID VAN EEN AFZUIGER SNEL AF. DIT BEPERKT HET VANGBEREIK.

HET VANGBEREIK VAN EEN AFZUIGER KAN WORDEN VERGROOT DOOR EEN FLENS AAN DE ZUIGMOND. LUCHT STROOMT DAN ALLEEN VANUIT HET FRONT TOE.



ILLUSTRATIE VAN VANGENDE AFZUIGKAP, JUIST
GEPLAATST TEGENOVER WERKER EN IN VER-
SPREIDINGSRICHTING VAN VERONTREINIGING.
FOTO CHRIS PENNARTS

primaire en secundaire functie van plaatselijke ventilatie in één apparaat worden verenigd. Met afzuiging bij de bron kunnen we de verspreiding naar de werknemer voorkomen en tegelijk verontreinigingen of warmte vangen en afvoeren.

Het manco van plaatselijke afzuiging is daarentegen het beperkte vangbereik. Dit neemt drastisch af met een beperkte toename van de afstand van de zuigmond tot de bron. We kunnen afleiden dat de vangsnelheid van een puntafzuiger theoretisch met het kwadraat van de vangafstand (X) afneemt. Zie figuur 5A. We berekenen bijvoorbeeld de vangsnelheid op een afstand (X) vanaf de ronde zuigmond die even groot is als de diameter. De vangsnelheid (v_p) is nu al tot minder dan tien procent van de snelheid in de zuigmond gedaald. Het beperkte vangbereik is terug te voeren op een alzijdige toestroming vanuit elk punt in de omtrek van de afzuigmond, of zich dat nu voor of achter de zuigmond bevindt.

We kunnen het beperkte vangbereik voor een deel verbeteren door de zuigmond met een brede flensrand af te schermen. We zorgen er dan als het ware voor, dat de aanzuiging vanachter de zuigmond door de flens wordt afgesneden.

Wil dit effect hebben, dan moeten we een flens toepassen met een oppervlak van tenminste tienmaal het oppervlak van de zuigmond. Bij een ronde afzuigmond betekent dit een flensdiameter van ongeveer driemaal de diameter van de zuigmond. De aanzuigsnelheid blijkt dan in de praktijk op iedere plaats met ongeveer 35 procent toe te nemen. Willen we met de afzuiger met flens evenveel verontreiniging wegvangen als de hoeveelheid die we met de afzuiger zonder flens wegvangen, dan kan de capaciteit van de afzuiger omlaag. De trekkracht van de afzuiger wordt immers groter. Met andere woorden: het aanzuigdebiet van de afzuiger kan tot 75 procent worden beperkt. Zie figuur 5B.

DEBIET

Het debiet is het luchtvolume in m^3 dat per tijdseenheid s wordt aangevoerd of afgevoerd. Het afzuigdebiet is de hoeveelheid m^3/s die wordt afgezogen. Als we vervuilde lucht verdringen, is een toevoerdebiet nodig. Bij ruimtelijke ventilatie hebben we te maken met het ventilatiedebiet: het volume aangevoerde verse lucht per tijdseenheid (in m^3/s). Dit noemen we ook wel de ventilatiestroom. Met het debiet geven we dus de luchtverplaatsing van een afzuiger, ventilator of ventilatiesysteem weer. In elk ventilatiesysteem moet de toe- of afgevoerde lucht worden aangezuiverd met een even groot suppletiedebiet. Strikt genomen heeft elk systeem dus een even groot toe- en afvoerdebiet.

PUNTAFZUIGING

Vanwege het beperkte vangbereik is plaatselijke afzuiging minder geschikt voor grote werkzones. Bij stationaire bronnen (die dus niet van plaats veranderen) met een grootste afmeting van ongeveer één meter boeken we in de praktijk met *puntafzuiging* bevredigende resultaten. Een grootste afmeting van ongeveer één meter wil zeggen: naar weerszijden vanuit het midden een halve meter vangafstand.

Er zijn ook beweegbare puntafzuigers leverbaar. Ze kunnen binnen een bereik van drie tot tien meter betrekkelijk eenvoudig met een mobiele bron mee worden verplaatst. Dit betekent echter extra handelingen voor de werknemer, wat hij als verstoring van het werkritme ervaart. Deze extra handelingen beïnvloeden ook de productiesnelheid negatief. Gevolg is dat de afzuiger niet meer wordt gebruikt. De praktijk leert dat de grens ongeveer ligt bij een frequentie van maximaal één verplaatsing per tien minuten.



MOBIELE PUNTAFZUIGERS IN DE GIPSKAMER VAN EEN ZIEKENHUIS ZORGEN ER VOOR DAT BIJ ELKE PATIËNT DE SCHADELIJKE DAMPEN WORDEN OPGEVANGEN DIE BIJ DE CHEMISCHE REACTIE VAN HET KUNSTGIPS VRIJKOMEN. HET GEBRUIK LAAT ECHTER TE WENSEN OVER. FOTO TNO-BOUW

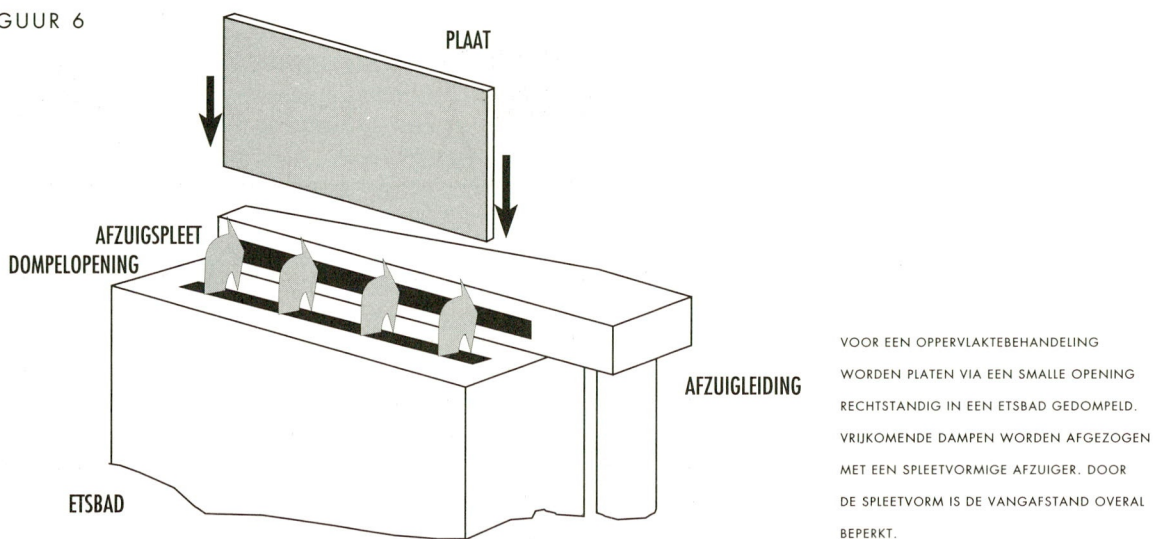
SPLEETAFZUIGING

Behalve puntafzuigers zijn er ook andere vormen afzuigers. Bij een langwerpige bron of lijnbron ligt het voor de hand een afzuiger met een langgerekte spleetvorm toe te passen. Hier blijkt de vangsnelheid (v_p) lineair in plaats van kwadratisch met de afstand van de zuigmond (X) af te nemen. Desondanks is op een afstand (X) gelijk aan eenmaal de spleetbreedte, de vangsnelheid (v_p) al afgenomen tot minder dan twintig procent van de snelheid in de zuigmond. Zie figuur 6.

Enkelvoudige spleetafzuiging blijkt in de praktijk goed te voldoen tot vangafstanden van ongeveer tachtig centimeter. Om bredere werkzones te kunnen bestrijken, kunnen we de afzuiger in het midden van de werkstuk-breedte plaatsen. Als we geen obstakels voor of boven het werkvlak willen, kunnen we langs de twee lange zijden afzuiging plaatsen.

Spleetafzuigers worden nogal eens aan de rand van tafelvlakken of bad-opervlakken toegepast. Ook zien we ze wel boven een verticaal achtervlak. De vlakken hebben dan dezelfde afschermende werking als bij de afzuiger met flens. De vangsnelheid (v_p) blijkt in de praktijk ongeveer 40 procent toe te nemen. Het aanzuigdebiet kan daarom tot zeventig procent worden beperkt.

FIGUUR 6



PLAATS VAN DE AFZUIGING

STROOMAFWAARTS

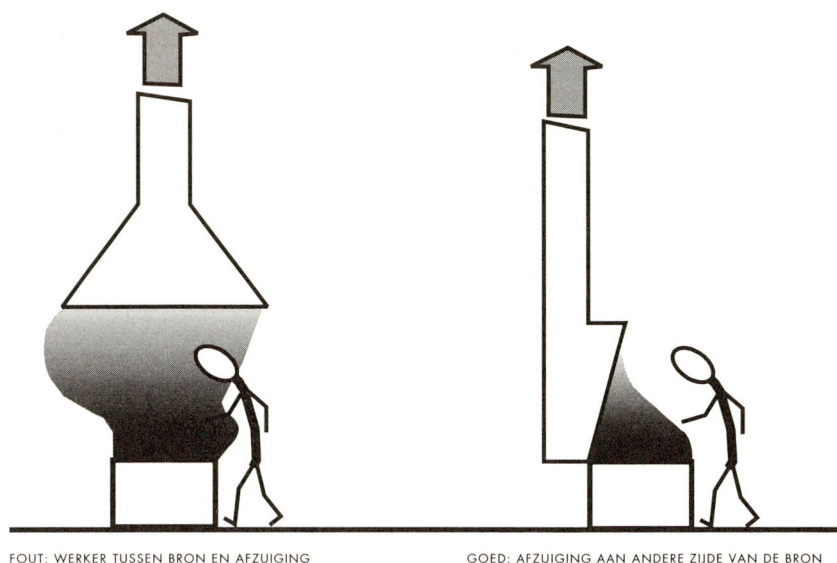
Schema 4 op bladzijde 28 maakt duidelijk dat we een afzuiger het beste stroomafwaarts van een bron kunnen plaatsen, dat wil zeggen op een plaats waar de verontreinigde of warme lucht naartoe gaat. De vangsnelheid kan dan laag blijven en dit beperkt de grootte van de afzuiging. Als zo'n plaatsing het werk echter teveel belemmert, moeten we een minder optimale plaats kiezen.

Als we de afzuiging op een grotere afstand van de bron (moeten) plaatsen, dan bestaat het gevaar dat de werknemer zich tussen bron en afzuiger begeeft en hij alsnog blootgesteld wordt. Als dit het geval is, kunnen we het beste de afzuiger aan de ene kant van de bron plaatsen en de werknemer aan de andere kant. De verontreinigde of warme lucht stroomt dan altijd bij de werknemer vandaan. De consequentie is wel, dat grotere vangsnelheden en dus grotere afzuigvoorzieningen nodig zijn. Zie figuur 7.

Bij alle typen afzuigers blijkt het erg belangrijk te zijn om een beperkte vangafstand aan te houden. Anderzijds moet de afzuigkap het werk niet hinderen door bijvoorbeeld het zicht en de werkhandelingen te belemmeren. Om dit te bereiken wordt de vorm van de afzuiger vaak aan de situatie aangepast. Andere factoren die de vorm, grootte, plaats en uitvoering van afzuigkappen bepalen zijn:

- geleidende werking
- buffering
- afbuiging
- valse trek (thermiek)

FIGUUR 7



Voor het binnengeleiden van verontreinigde of warme lucht moet de afzuigkap vloeiend van vorm zijn. Ideaal zijn hoeken met de aanstromende lucht van niet meer dan twintig graden.

De afmetingen van de kap zijn vooral van belang als we deze stroomafwaarts van de bron plaatsen. De vangsnelheid mag in dat geval laag zijn ten opzichte van de eigen snelheid van de verontreinigde of warme lucht. We vangen immers op in de richting van de stroom. Zie schema 4 op bladzijde 28. Een voorwaarde hiervoor is echter dat de kapafmetingen tenminste twintig procent groter zijn dan de pluimdoorsnede als deze de afzuigkap nadert. Een tweede voorwaarde is dat het afzuigdebiet twintig tot vijftig procent groter moet zijn dan de verontreinigde of warme luchtstroom als deze de afzuigkap nadert.

ZIJ-AFZUIGING Vooral bij zij-afzuiging moet de verontreinigde of warme lucht de kans krijgen geleidelijk af te buigen. Hiervoor dient een bepaalde weglengte in de stromingsrichting van de verontreinigde of warme lucht. Daarom is de beste plaats niet direct vanaf de bron haaks op de stromingsrichting (dus negentig graden), maar onder een hoek van ongeveer zestig graden.

STOOTVORMIG Bij stootvormig vrijkomende verontreinigingen is even sprake van een verhoogde verspreidingssnelheid. Als de vangsnelheid hierop moet worden afgestemd, leidt dit tot een afzuiger die het merendeel van de tijd teveel doet. We kunnen dit voorkomen of beperken. We moeten dan zorgen dat de energie van de stoot onder de afzuigkap in een luchtmassa kan worden opgevangen.

LUCHTBUFFER Het volume van zo'n luchtbuffer moet worden afgestemd op de duur en sterkte van de stoot. De luchtbuffer die nodig is, bepaalt de grootte van de afzuigkap. In voorkomende gevallen wordt dit proefondervindelijk vastgesteld.

Bij het vangen van warme lucht zal ook de afzuigkap warm worden. Een deel van de lucht die we willen afvoeren, blijkt dan langs de buitenkant van de kap weg te stromen. Dit komt door de warmte die wordt afgestaan aan de lucht rondom de kap. De opgewarmde lucht stijgt op en lucht uit de omgeving, maar ook van onder de afzuigkap, wordt hierbij meegetrokken. We kunnen dit voorkomen door sterker te zuigen. Beter is echter de kap te isoleren of een dubbelwandige kap met afzuiging tussen beide wanden toe te passen.

ISOLATIE

Voor een betere werking worden grotere afzuigkappen wel uitgerust met een afgeblind middendeel. De afzuiging vindt dan uitsluitend aan de kap-omtrek plaats. De redenatie hierachter is, dat dit de kritische plaats is voor uittrede van verontreinigde of warme lucht. Hier dienen dus de grootste vangsnelheden te worden gemaakt en vandaar dat de afzuiging op deze plaats(en) wordt geconcentreerd.

5.4 PLAATSELIJKE VERDRINGING

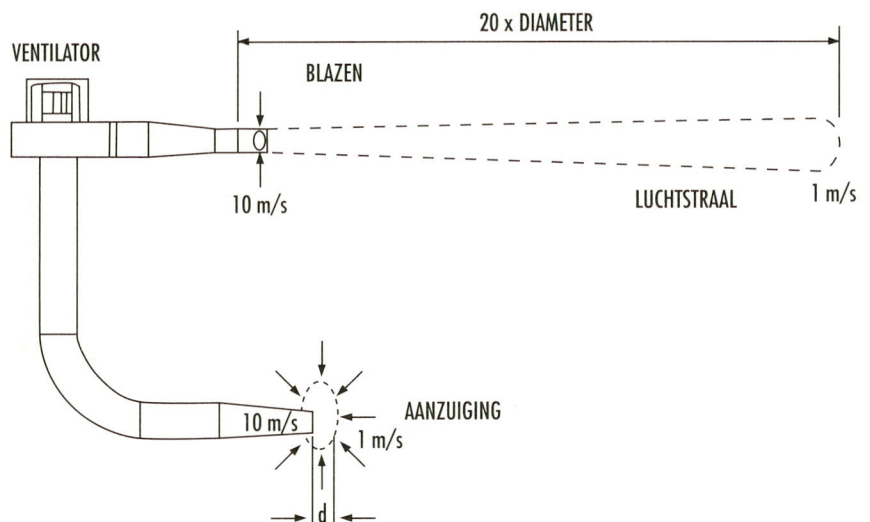
Het zwakke punt van afzuiging is, dat slechts in een kleine zone voldoende hoge snelheden worden gemaakt om verontreinigingen of warmte te verdrijven. Verdrijven gaat veel beter als de verontreinigde of warme lucht wordt weggeblazen. Het volgende voorbeeld maakt dit duidelijk.

BLAZEN IN PLAATS VAN ZUIGEN

Iedereen blaast naar een lucifer om die uit te krijgen. Dat lukt zelfs als we de lucifer op een halve meter afstand houden. Niemand zal proberen een lucifer uit te zuigen. Dat zal ook niet lukken zonder de lippen te branden. Toch zijn de longen bij inademing ongeveer even krachtig als bij uitademing. Hier ligt het dus niet aan.

De verklaring voor dit verschil is eenvoudig. Bij blazen verplaatst alle lucht zich alleen in de uitblaasrichting. Bij zuigen verplaatst de lucht zich vanuit alle richtingen naar de afzuiger. De luchtstraal breidt zich bij blazen veel langzamer uit. De snelheid blijft dus veel langer hoog dan bij zuigen. En vandaar dat we alleen door te blazen een lucifer kunnen doven.

FIGUUR 8



HET VERSCHILLENDE EFFECT VAN BLAZEN EN ZUIGEN OP DE LUCHTBEWEGING IN DE RUIMTE.

Bij een afzuigmond is op een afstand van eenmaal zijn diameter de snelheid al tot minder dan tien procent afgenomen. Bij een uitblaasmond daarentegen is dit pas op een afstand van twintig maal de diameter het geval. In de praktijk kunnen we met stuur lucht (door blazen) gemakkelijk de stroming in een zone van ongeveer tien meter vanaf de toevoer beheersen. Zie figuur 8.

INBLAASSNELHEID

Om het ventilatiesysteem klein te houden zullen we streven naar geringe toevoerdebieten. De investering wordt dan gunstiger en de hanteerbaarheid, indien wenselijk, groter. Om met zo gering mogelijke debieten toe te kunnen, is het aan te bevelen met zo hoog mogelijke aanvangssnelheden in

te blazen. Als we de inblaassnelheid verdubbelen, kunnen we met de helft van het oorspronkelijke debiet volstaan. Het opvoeren van de inblaassnelheid is wel gelimiteerd. Hoge systeemsnelheden veroorzaken namelijk lawaai. De winst moeten we dan voor akoestische maatregelen inleveren. Daarnaast vragen hoge snelheden om andere typen ventilatoren met grotere opvoerhoogten. Deze ventilatoren zijn duurder. In de praktijk liggen optimale inblaassnelheden meestal tussen acht en vijftien meter per seconde.

PUSH-PULL-SYSTEMEN

Als we er in slagen verontreinigde of warme lucht uit de directe omgeving van een werknemer te verdrijven, dan is deze lucht nog niet weg. Afvoer blijft dus noodzakelijk. Het beste kunnen we verontreinigde of warme lucht met de stuur lucht naar een afvoervoorziening drijven. We noemen zulke gecombineerde toe- en afvoersystemen vaak push-pull-systemen.

Door de opgelegde stroming weten we waar de af te voeren lucht terechtkomt en kennen we globaal de juiste plaats van de afzuigvoorziening. Enige flexibiliteit in de systeemuitvoering wordt aanbevolen, zodat we de afzuiging in de praktijk nog kunnen afregelen.

Als we toevoer en afvoer direct voor en na de bron positioneren, hoeft het bijbehorende afzuigdebiet nauwelijks groter te zijn dan de totale productie van verontreinigde of warme lucht. De hoeveelheid lucht (in m^3/s) die we afvoeren, is vrijwel gelijk aan de hoeveelheid verontreinigde lucht (in m^3/s) die van de bron afkomt. We beperken met zo'n opstelling de aanzuiging van 'valse' lucht vanuit de omgeving van de bron.

Als de lucht die we willen afvoeren zich echter langer vrijelijk verplaatst door de ruimte, kan het benodigde afvoerdebiet tot enkele malen groter zijn. We moeten meer afvoeren omdat de verontreinigde lucht zich met de omgevingslucht heeft gemengd.

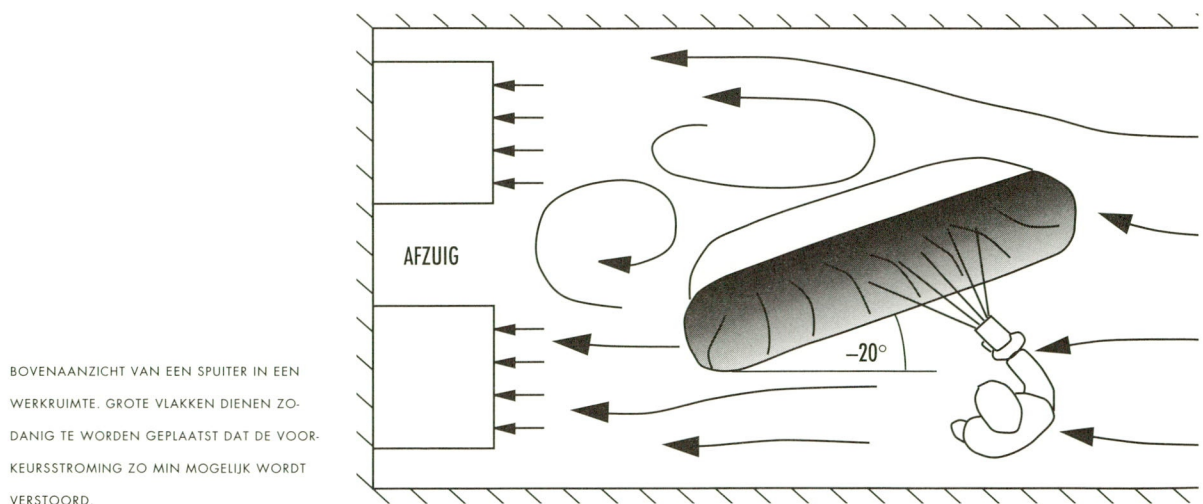
STROMINGSBEHEERSING

De gerichte stroming bij blazen heeft ook een nadeel. We moeten de inblaas goed richten en afstemmen op obstakels. De stroming kan gemakkelijk onvoldoende of verkeerd beïnvloed worden. De verontreinigde of warme lucht kan dan zelfs naar de werknemers toe bewegen, zodat de blootstelling toeneemt.

Voor een goede uitvoering van plaatselijke verdringing zijn de volgende punten van belang:

- We moeten de inblaasvoorzieningen goed kunnen richten. Hierbij kan soms aanpassing aan versturende stromingen of aan de inblaastemperatuur nodig zijn.

FIGUUR 9



- Er mogen zich bij voorkeur geen obstakels of werknemers tussen de toevoervoorziening en de bron bevinden. Luchttoevoer dicht bij de bron wordt dus aanbevolen.
- We moeten zo goed mogelijk op de interactie met het werkstuk en eventuele obstakels inspelen. De vorm en plaatsing van het werkstuk en eventuele obstakels spelen hierbij een grote rol. Stelregel is dat we obstakels gestroomlijnd neerzetten. Zie figuur 9.

SPUITEN VAN SPOILERS VOOR VRACHTWAGENS

In een fabriek werden de spoilers vaak 'scheppend' in de stroming geplaatst met het gevolg dat de stuur lucht er tegenaan botste. Op die manier werd de spuiters blootgesteld aan hoge concentraties spuitnevel. Door de spoilers schuin op de stromingsrichting te plaatsen volgt de stuur stroom de spoi-lervorm. De spuitnevel wordt nu netjes meegevoerd, zonder de spuiters te belasten. Om zo te kunnen werken moest de spuiters zijn werkposities veranderen en moest de ophanging van de slangen worden aangepast.

Lokale toevoer van stuur lucht kan ongunstige effecten hebben op het proces, op de emissie en op tocht. Sommige processen zijn hiervoor gevoelig. Bij lassen bijvoorbeeld kan schermgas worden weggeblazen, waardoor de laskwaliteit minder wordt. Bij lak spuiten kan de lak te snel drogen, waardoor krimp scheurtjes in het oppervlak zichtbaar worden.

De emissie kan hoger worden. Langsstromende lucht verlaagt immers de dampspanning, waardoor de verdamping toeneemt. De verhoogde emissie is zowel voor de belasting van de werknemers (het binnenmilieu) als de omgeving (het buitenmilieu) ongunstig.

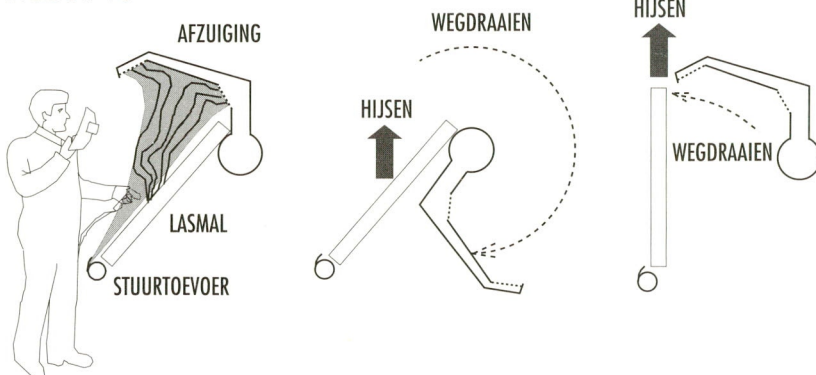
Door de verhoogde lucht beweging kan ook tocht ontstaan, vooral bij een minder goede stromings beheersing.

SUCCESVOLLE TOEPASSINGEN

Door de juiste zorg aan een goed ontwerp te besteden kunnen we de nadelige gevolgen van stuur lucht meestal afdoende beperken of voorkomen. Lokale verdringing biedt dan grote voordelen boven uitsluitend afzuiging of ruimtelijke ventilatie. Enkele voorbeelden van succesvolle toepassingen zijn:

- De lasrookverdringer (zie paragraaf 5.1). Door de effectiviteit van het blazen kan dit apparaatje compact blijven. Hierdoor kan de voorziening draagbaar worden uitgevoerd. Dit komt maximaal tegemoet aan de gewenste mobiliteit bij het lassen van constructies.
- De fabricage van hekken. Voor het lassen van lange hekken op mallen bleek alleen afzuiging, vast of beweegbaar, niet geschikt. De werkzone is te groot en de lasduur per plaats is maar kort. Stuur lucht over de hekken blazen is een goede verbetering. De bestaande ventilatie is nu zelfs toereikend. Zie figuur 10.

FIGUUR 10



BIJ HET LASSEN VAN LANGE HEKKEN WORDT HET VANGBEREIK VERGROOT DOOR TOEPASSING VAN STUURLUCHT. VOOR HET MAKELIJK AFNEMEN VAN DE HEKKEN IS DE AFZUIGKAP WEG TE DRAAIEN (MIDDEN) OF KAN HET HEK WORDEN WEGGEDRAAI'D (RECHTS).

- Etsbaden. Bij etsbaden is de toepassing van stuurlicht in combinatie met afzuiging inmiddels een routineoplossing. De opsluiting die het bad zelf aan één zijde vormt, beperkt zowel het benodigde toevoer- als afzuigdebiet.
- Het spuiten van polyester onderdelen voor kettingfabricage. De bestaande wandafzuiging bleek slechts tot op één meter afstand afdoende te vangen. De producten zijn echter groter. Door neerwaarts en zijwaarts stuurlicht te injecteren, wordt nu vrij eenvoudig stromingsbeheersing in de gehele werkzone verkregen. De blootstelling is nu veel lager zonder verdere aanpassing aan de afvoer of de totale ventilatie.

5.5 ZONEBELUCHTING EN CABINES

Soms zijn er werkzones waarin we noch de bronnen, noch de werkplekken duidelijk kunnen definiëren. Gericht plaatselijke ventilatie is dan moeilijk. Toch kan de emissie van warmte of verontreinigingen in zo'n zone wel duidelijk verhoogd zijn en is het aan te bevelen de ventilatie hierop te concentreren. We spreken dan van *zonebeluchting*.

Het verdient aanbeveling zulke productiezones zo goed mogelijk van de rest van de ruimte af te schermen. Dit kan met vaste wanden. We spreken dan van cabines. We kunnen de ruimte ook afschermen met verplaatsbare panelen of gordijnen. Voor de toegangsopeningen van afgezonderde productiezones zijn automatisch sluitende en openende deuren het beste. Waar het productieproces permanente toegankelijkheid vereist, zijn lichtgordijnen een goede oplossing.

Goede zonebeluchting zorgt ervoor dat:

- werknemers met schone toevoerlucht worden omspoeld (specifieke voorzieningen hiervoor staan bekend als *luchtdouches*)
- verontreinigingen zoveel mogelijk van de werknemers af worden verdreven
- niet verdreven verontreinigingen aanvullend worden verdund
- verspreiding naar de rest van de ruimte wordt voorkomen
- verontreinigingen in de nabijheid van de bron worden afgevoerd

STROOMSNELHEID

De stroomsnelheden in een beluchte zone moeten hoog genoeg zijn om verontreinigingen te verdrijven. Anderzijds mogen werknemers geen last krijgen van tocht. In de praktijk liggen aanbevolen luchtsnelheden tussen 0,3 en 0,5 m/s. Om tocht te voorkomen moet de temperatuur van deze luchtstroom in de werkzone circa 18°C bedragen. Ingeblazen lucht kan nog opwarmen of afkoelen in de omgeving. Het is dus niet voldoende om de thermostaat bij de inblaasroosters op 18°C af te stellen. Deze moet zo hoog staan dat het effect in de werkzone 18°C is.

De transportsnelheid van de lucht moet in de hele zonedoorsnede aanwezig zijn. Als de zone afmetingen van enige betekenis heeft, leidt dit tot grote debieten. Daarom is het toepassingsgebied van zonebeluchting in de praktijk begrensd tot zones met een doorsnede van ongeveer drie tot vijf meter breed en drie meter hoog. Bij grotere zones werken we nog wel met verhoogde, gerichte circulatie. De hoofdstroming creëren we door lucht rond te pompen met 'luchtinjectors' of 'tunnelventilatoren'. We pompen dus geen verse lucht rond. In deze lucht wordt dan weliswaar een zekere mengconcentratie opgebouwd, maar we kunnen de stromingsrichting van verontreinigingen ten opzichte van de werknemer toch beheersen. Zo voorkomen we directe blootstelling aan de hoge concentraties die dicht bij de bron optreden.

STROMINGSRICHTING

Zoneverdringing werkt goed als de stroming vanaf de werknemers via de bron naar de afzuiging gaat. Zo beperken we het risico dat verontreinigingen van de bron naar de werknemers worden gevoerd. De posities van bronnen en werknemers, zowel ten opzichte van de hoofdstroming als onderling, zijn echter niet steeds van tevoren bekend. Daarom is bij zonebeluchting het blootstellingsrisico groter dan bij plaatselijke afzuiging of verdringing. De verdunning door de grote ventilatiestromen begrenst echter wel de blootstelling. Voorwaarde is, dat de weg die de lucht aflegt van de bron naar de werknemer voldoende is voor opmenging.

Willekeurige posities van obstakels, zoals de werkstukken en de werknemers, vergroten de kans op een ongewenste verstoring van de hoofdstroming. Ook dit kan de blootstelling ongunstig beïnvloeden.

GEbruikersINSTRUCTIE

De goede werking van zonebeluchting hangt in sterke mate af van een juist gebruik. Een goede gebruikersinstructie is daarom noodzakelijk. Deze kan verstoringen van de werking beperken, maar niet geheel voorkomen.

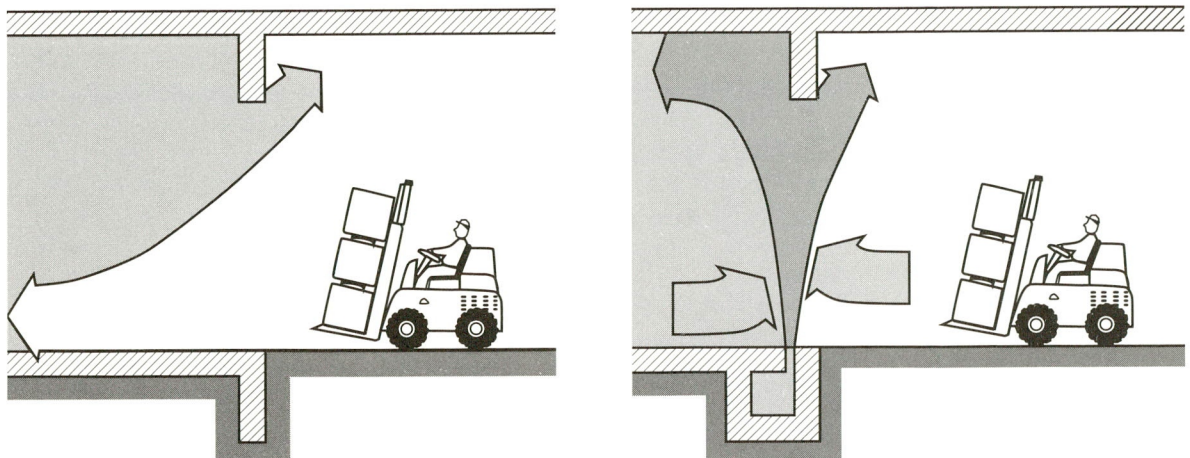
MINIMALE TOESTROOMSNELHEID

De afgewerkte lucht die we in de beluchte zone afzuigen, moet worden aangevuld. Dit gebeurt door lucht over te laten stromen vanuit de omringende ruimte. Hierdoor beperken we ongewenste verspreiding van de vuile zonelucht naar de omringende schone ruimte. Een minimale toestroom is hiervoor nodig.

Als er (langdurig) relatief grote openingen in de omhulling van de zone zijn, kan de toestroomsnelheid echter te beperkt zijn. Er is dan te weinig drukverschil tussen de omringende ruimte en de zone. Het gevolg is dat door de openingen niet alleen lucht toestroomt, maar ook afstroomt en de omringende ruimte vervuult raakt. We moeten dan de openingen verkleinen of de afzuiging in de zone sterker maken. Een indicatie hiervoor is, dat het afzuigdebiet (in m^3/s) gedeeld door een overstroomsnelheid van 0,3 m/s groter moet zijn dan de totale grootte (in m^2) van de opening.

Ook kan de toestroomsnelheid te beperkt zijn als de openingen hoog zijn en er warmteproductie van betekenis is. Er kunnen dan gemiddelde overstroomsnelheden nodig zijn tot enkele meters per seconde om de overstroom te handhaven. In deze gevallen kunnen we de afscherming verbeteren door het gebruik van luchtgordijnen. Als er bijvoorbeeld warmte wordt geproduceerd, moeten de luchtgordijnen van boven voor de openingen langs blazen. Zo voorkomen we dat de lucht aan de bovenkant van de openingen ontsnapt.

FIGUUR 11

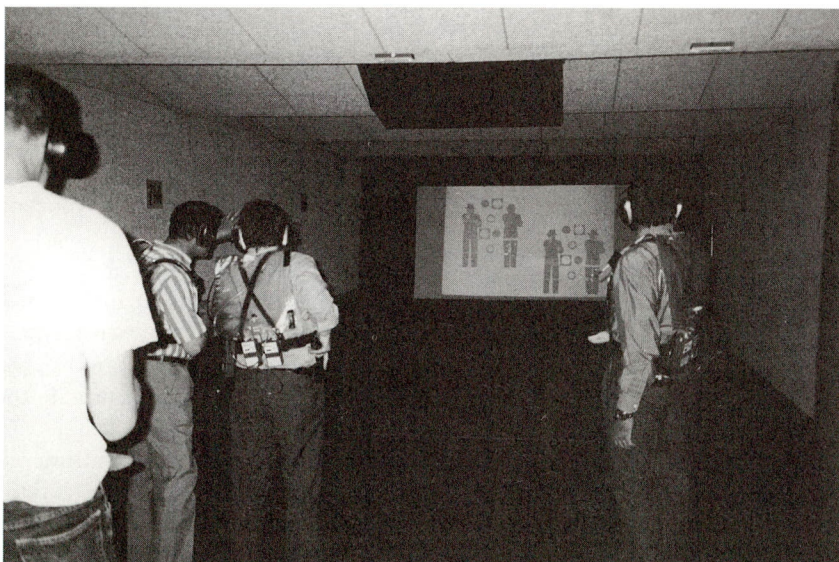


ONBELEMMERDE LUCHTUITWISSELING...

... KAN WORDEN BEPERKT DOOR EEN LUCHTGORDIJN.

ENKELE TOEPASSINGEN

Een voorbeeld van zonebeluchting vinden we in de *schietbioscoop*. Voor schietoefeningen van politie of militairen worden zogenaamde schietbioscopen of -theaters gebruikt. Deze ruimten zijn vaak langgerekt. Er wordt hier geoefend in nagebootste scènes. Zowel de scènes als de oefenaars nemen wisselende posities in. Bij het schieten komen schadelijke dampen vrij, zoals looddamp. De *langsstroming* moet de blootstelling beperken. De Rijksgebouwendienst geeft hiervoor specifieke richtlijnen (zie de literatuurlijst).



IN EEN SCHIETBIOSCOOP ZORGT EEN HOOFDSTROMING VAN ACHTER DE SCHUTTERS NAAR HET SCHERM TOE DAT KRUIDAMP NIET NAAR DE ADEMZONE KAN BEWEGEN. FOTO TNO-BOUW

Een ander voorbeeld vinden we in *sputcabines*, die vaak gebruikt worden bij het verf spuiten. De spuiters zetten de werkstukken op willekeurige plaatsen en loopt er omheen. Vroeger werd hier dwarsstroming toegepast. De stroming van verontreinigingen is dan niet altijd van de werknemer af. Daarom wordt tegenwoordig vaak lucht van bovenaf toegevoerd en via de vloer afgezogen. De spuiters werken immers voornamelijk 'onder de hand'. Meer aanwijzingen vindt u in handboeken, zoals van de ISSO of de ACGIH (zie de literatuurlijst).

6

RUIMTELIJKE VENTILATIE

DIT HOOFDSTUK GAAT OVER RUIMTELIJKE VENTILATIE. WE BESPREKEN EERST DE KENMERKEN, VERGELIJKEN VERVOLGENS VENTILATIE MET FILTRATIE EN BEHANDELEN TOT SLOT NATUURLIJKE EN MECHANISCHE VENTILATIE.

Waar dat mogelijk is, moeten we de stroming van verontreinigde of warme lucht beheersen. Waar dit niet kan, kan verdunning de blootstelling beperken. Ruimteventilatie, die zowel op mechanische als op natuurlijke wijze plaatsvindt, is meestal op dit principe gebaseerd. Belangrijke aspecten voor een goede verdunning zijn:

- de menging van lucht
- de hoeveelheid lucht die we ventileren
- de wijze van toevoer en afvoer
- de circulatie van aanwezige lucht
- mogelijkheden voor hergebruik van lucht na filtratie

6.1 MENGING

Met verdringingsventilatie kunnen we in grote ruimten de verontreinigingen of warmte praktisch niet meer beheersen. Daar gebruiken we dan ook uitsluitend mengventilatie.

Bij mengventilatie worden de concentraties door verdunning beperkt. Mengventilatie kan echter verontreinigingen op een korte afstand tussen een werknemer en een bron niet afdoende verdunnen. Daarom komt mengventilatie pas na plaatselijke ventilatie in aanmerking.

VERDUNNING

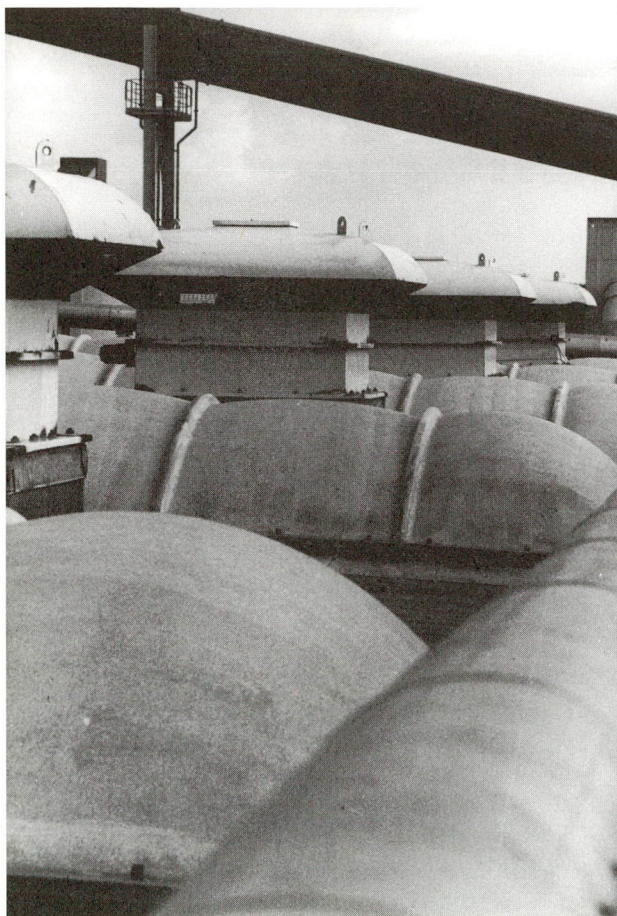
Het proces van verdunning kunnen we met het volgende voorbeeld verduidelijken. Stel u een vol glas met siroop voor als een sterk verontreinigde ruimte. We gieten hier nu een evengroot glas water in. Dit is de toevoer van een hoeveelheid verse lucht die even groot is als de inhoud van de ruimte (de ruimte-inhoud). Terwijl we schenken, zal het glas siroop overlopen. Dit stelt de afvoerlucht voor. Als het glas water leeg is, is er nog steeds siroop in het andere glas. Dit komt doordat de siroop zich met het bijgevoegde water mengt voordat het overstroomt. Er stroomt dus niet continu honderd procent siroop over. Als we eenmaal de inhoud van het glas op deze wijze toevoegen, is dat klaarblijkelijk niet genoeg om de oude inhoud volledig te vervangen of te verversen.

Hoewel we dus niet alle siroop hebben vervangen, is gemiddeld wel meer siroop dan water uit het glas overgelopen. De concentratie in het glas blijkt nu nog 37 procent te zijn. Als we daarna nog een tweede schoon glas water in het glas met siroop schenken, wordt de concentratie 14 procent en na een derde glas vijf procent.

Met andere woorden: om de concentratie in een vervuilde ruimte tot vijf procent te verlagen, moeten we dus een hoeveelheid verversingslucht van driemaal de ruimte-inhoud ventileren.

VENTILATIEVOUD

Het concentratieverloop bij verversing van een ruimte laat zich beschrijven door een zogenaamde *zuivere e-macht*. Een maat voor dit verloop is het *ventilatievoud*. Dit is de verse-luchtstroom gedeeld door het ruimtevolumen. In het voorbeeld zou het ventilatievoud het aantal bekertjes water zijn dat in een



AFZUIGINSTALLATIE
FOTO CHRIS PENNARTS

bepaalde tijd wordt toegevoegd aan de siroop. De inhoud van de waterbeker en de siroopbeker zijn in dit voorbeeld immers gelijk.

Een ventilatievoud van drie luchtwisselingen per uur betekent, dat we per uur driemaal het ruimtevolumen uitwisselen. Eenzelfde ventilatievoud in een ruimte die tweemaal zo klein is, betekent dat de hoeveelheid die uitgewisseld wordt tweemaal zo klein is. Het gaat dus bij ventilatievoud om een maat die gerelateerd is aan het volume van de ruimte waarin we ventileren.

VENTILATIESTROOM

In de praktijk worden in een ruimte verontreinigingen of warmte geproduceerd terwijl men ventileert. De concentratie zal dan nooit nul worden. Na voldoende lange tijd zal hooguit een bepaalde evenwichtsconcentratie ontstaan. Deze is vaak maatgevend voor de blootstelling.

De evenwichtsconcentratie (in ppm of cm^3/m^3) kunnen we uitrekenen door de verontreinigingsproductie (cm^3/s) te delen door de hoeveelheid verse lucht per tijdseenheid (m^3/s) die we toevoeren. Als we dus een bepaalde evenwichtsconcentratie willen bereiken, moeten we zorgen voor een bepaalde hoeveelheid verse lucht per tijdseenheid: de ventilatiestroom. Ook als dezelfde vervuilsbron in een tweemaal zo kleine ruimte staat, is deze ventilatiestroom nodig voor de juiste verdunning. Niet het ventilatievoud maar de ventilatiestroom is dus van belang. In de volgende paragraaf gaan we hier nader op in.

VENTILATIE-EFFICIËNTIE

Tot nu hebben we gesuggereerd dat er één uniforme mengconcentratie in de hele ruimte is. Dit treedt echter alleen op als alle verontreinigingen of warmte zich volledig mengen met de aanwezige lucht. Dit kunnen we

praktisch nooit realiseren. Er blijven altijd concentratie- of temperatuurverschillen. We karakteriseren dit met de index *ventilatie-efficiëntie* of met vergelijkbare indices die de ruimtelijke verdeling van de ventilatielucht kwantificeren. Bij ventilatie-efficiëntie gaat het bijvoorbeeld om de verhouding tussen de lokale concentratie bij de bron en de concentratie in de afvoer. Een efficiënte ventilatie zorgt ervoor dat de concentratie waarin wordt gewerkt, lager is dan de concentratie van de afvoerlucht.

Daarnaast bestaan er indices die de verwijdering van verontreinigingen kwantificeren, zoals de *pollutant-removal-coëfficiënt*. In dat geval spelen ook de karakteristieken van de bronnen van verontreinigingen een rol.

VEILIGHEIDSMARGE

De concentratieverschillen in ruimten zijn aanleiding om bij het ontwerp van ruimteventilatiesystemen de veiligheidsmarges (M) aan te houden. U vindt deze in schema 2 op bladzijde 17.

We kunnen de concentratieverschillen die in bestaande situaties optreden, ook meten om zo de veiligheidsmarge (M) nauwkeuriger te bepalen. De veiligheidsmarge is de verhouding tussen de hoogste concentratie op de werkplek en de gemiddelde concentratie. Deze laatste is vaak vergelijkbaar met de concentratie in de afvoerlucht. Als uitschieters in de concentratie een factor drie hoger zijn dan de gemiddelde concentratie, betekent dit dat we een veiligheidsmarge van drie moeten aanhouden.

Voor ontwerp situaties kunnen we voorspellingstechnieken gebruiken, bijvoorbeeld op basis van stromingssimulatie met een computerprogramma. Goedkope, eenvoudige voorspellingstechnieken hiervoor ontbreken nog.

6.2 VENTILATIESTROOM EN VENTILATIEVOUD

De ventilatiestroom, die we ook wel het ventilatiedebiet noemen, is de hoeveelheid toegevoerde verse lucht per tijdseenheid. Het ventilatievoud hebben we omschreven als de ventilatiestroom gedeeld door het ruimtevolumen.

Het ventilatievoud is een populaire term om de grootte van de ventilatie uit te drukken. De wetgever stelt soms eisen in de vorm van ventilatievouden met de bedoeling om de blootstelling te begrenzen, uitgaande van een bron die qua sterkte niet verandert. Hanteren van het ventilatievoud is dan echter niet juist. Het volgende voorbeeld verduidelijkt dit.

VENTILATIEVOUD ALS EIS

Voor foto-ontwikkellaboratoria zonder lokale afzuigvoorzieningen wordt een ventilatievoud van tien luchtwisselingen per uur geëist. We vergelijken nu twee situaties met precies dezelfde opstelling van ontwikkelbad. Deze produceren in beide situaties evenveel verontreinigingen. De ene situatie bevindt zich in een grote, professioneel opgezette ruimte van 300 m³ en de andere in een omgebouwde wasruimte van 30 m³. In het ene geval is de vereiste ventilatiestroom (q_v) dus:

$$q_v = 10 \times 300 \text{ m}^3/\text{h} = 3000 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ofwel } 830 \text{ dm}^3/\text{s}$$

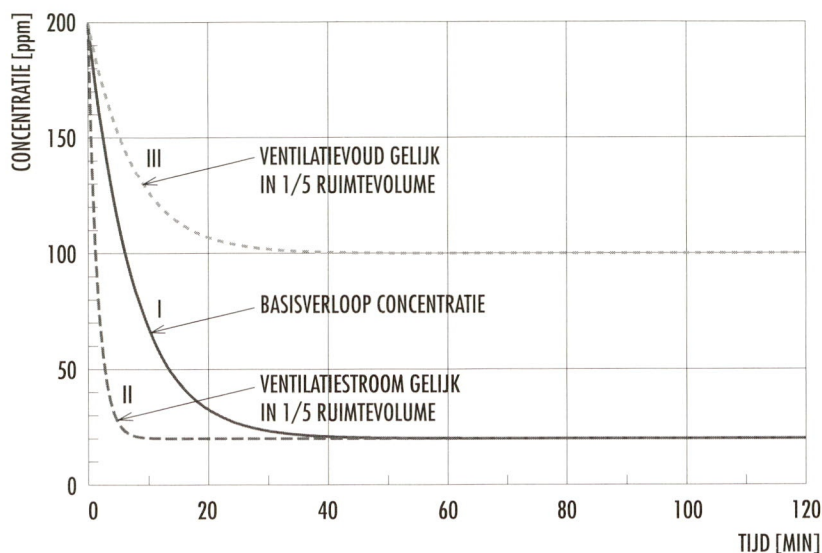
In het andere geval is dit:

$$q_v = 10 \times 30 \text{ m}^3/\text{h} = 300 \text{ m}^3/\text{h} \text{ ofwel } 83 \text{ dm}^3/\text{s}$$

In beide gevallen is er sprake van dezelfde verontreinigingenproductie (p_v). De evenwichtsconcentratie (in ppm of cm³/m³) vinden we door de verontreinigingenproductie (in cm³/s) te delen door deze ventilatiestromen (m³/s). De concentratie en dus de blootstelling is in de grote ruimte dus tienmaal zo laag als in de kleine ruimte.

Het is duidelijk dat de eis van een ventilatievoud in dit voorbeeld inconsequent is. De eis nodigt zelfs uit de ongunstige opstelling in de kleine ruimte te verkiezen, omdat de investering in ventilatievoorzieningen dan beperkt kan blijven. Om dit te voorkomen moeten we voor ventilatie-eisen dus de ventilatiestroom gebruiken en niet het ventilatievoud. Ook figuur 12 verduidelijkt dit.

FIGUUR 12



VERANDERING IN DE CONCENTRATIES PER RUIMTE DOOR VENTILATIESTROOM EN VENTILATIEVOUD

TOELICHTING BIJ FIGUUR 12

In figuur 12 zien we drie situaties. In alle situaties is de bron even groot. Deze levert een beginconcentratie van 200 ppm. Situatie I is een vijfmaal zo grote ruimte als situatie II en III.

Met ventileren bereiken we in situatie I na ongeveer veertig minuten een gewenste evenwichtsconcentratie van 20 ppm. Daarvoor is een bepaalde ventilatiestroom (in m^3/s) nodig. Deze ventilatiestroom betekent ook een bepaald ventilatievoud: het ruimtevolumen wordt een bepaald aantal keren per uur gewisseld.

Handhaven we de *ventilatiestroom* in de vijfmaal zo kleine ruimte II, dan bereiken we sneller dezelfde evenwichtsconcentratie. De ruimte is immers kleiner en met onze ventilatiestroom hebben we de lucht in de ruimte sneller ververs.

In situatie III handhaven we het *ventilatievoud* dat we in de grote ruimte hadden. Nu wordt de ventilatiestroom vijfmaal zo klein. Om per uur hetzelfde aantal keren het ruimtevolumen te wisselen hebben we immers een vijfmaal zo kleine hoeveelheid lucht nodig. Dit heeft ernstige gevolgen voor de evenwichtsconcentratie en dus de blootstelling. Deze wordt vijfmaal zo groot, omdat de productie immers gelijk blijft en de stroom vijfmaal zo klein.

De conclusie is dat we alleen met dezelfde ventilatiestroom de gewenste evenwichtsconcentratie kunnen bereiken. Handhaven van het ventilatievoud betekent dus: ventilatie fout!

Het ventilatievoud geeft aan hoe snel een ruimte wordt ververs, ofwel hoe snel een concentratie op- of afloopt. In kleine ruimten kunnen gemakke-

lijk ventilatievouden van vijftig tot honderd luchtwisselingen per uur optreden. Inschakeling van de ventilatie kan dan in enkele minuten de concentratie in de ruimte drastisch doen dalen.

In hele grote ruimten, zoals veilinghallen of hangars, treden vaak maar geringe ventilatievouden op, in de orde van 0,01 tot 0,1 per uur. Desondanks zijn de ventilatiedebieten (of ventilatiestromen) groot genoeg om de geproduceerde verontreinigingen te verdunnen. In zulke situaties duurt het wel dagen voordat de verontreiniging grotendeels is verwijderd.

Bij heel lage ventilatievouden is vooral de luchtbuffer – gevormd door het ruimtevolume – belangrijk voor het opnemen van de verontreinigingen. Bij heel hoge ventilatievouden is voornamelijk de ventilatiestroom van belang.

VENTILATIESYSTEEM

SCHAKELEN Bij een hoog of laag ventilatievoud verschilt het ventilatiesysteem enigszins, vooral wat betreft de wijze van schakelen.

In ruimten met een *hoog ventilatievoud* zal de concentratie snel dalen als de verontreinigingenproductie stopt of als deze wordt verlaagd. De ventilatie kan dan dus na korte tijd uit of op laagstand. De hoogstand van de ventilatie moeten we afstemmen op de maximale verontreinigingenproductie. In ruimten met een laag ventilatievoud heeft zo'n schakeling geen zin. Daar moeten we de ventilatie aanlaten. Als de concentratie eenmaal te hoog is opgelopen, duurt het namelijk veel te lang voordat dit met ventilatie is teruggebracht.

In ruimten met een *laag ventilatievoud* hebben van de andere kant kortdurende pieken in verontreinigingenproductie nauwelijks invloed op de mengconcentratie in de ruimte. De benodigde ventilatiestroom kunnen we dus afstemmen op de gemiddelde verontreinigingenproductie.

SPUIGEDRAG Bij een *heel laag ventilatievoud* is ook het spuigedrag van invloed op het ventilatiesysteem. Neem bijvoorbeeld een hangar waar een vliegtuig moet worden in- of uitgereden. Er wordt dan praktisch een hele zijwand verwijderd. In zo'n situatie wordt in enkele tientallen minuten een hoeveelheid lucht ververst waar het ventilatiesysteem dagen voor nodig heeft. Als dit elke dag gebeurt, kan zo'n hangar dus zelfs zonder ruimteventilatiesysteem!

6.3 CIRCULATIE

Als het ventilatievoud niet zo hoog is, speelt de snelheid van de opmenging een rol bij het omlaagbrengen van plaatselijk verhoogde concentraties. Als we de beweging van de aanwezige lucht ter plaatse verhogen, kunnen we de opmenging versnellen. We spreken dan van verhogen van de circulatie.

CIRCULATIEVOUD In parallel met het ventilatievoud noemen we het aantal malen dat het ruimtevolume per uur wordt rondgepompt het *circulatievoud*.

Plaatselijk verhoogde concentraties verlagen door aanvullende circulatie biedt voor- en nadelen. Nadelen zijn:

- Circulatie is evenals ruimtelijke ventilatie minder effectief dan lokale ventilatie.
- Circulatie kan de benodigde ventilatie nooit vervangen, maar hooguit verminderen door deze efficiënter te maken.
- Circulatie kan de blootstelling nadelig beïnvloeden, doordat verontreinigingen of warmte van boven uit de ruimte terug worden gevoerd naar de verblijfszone van personen.

Voordelen van circulatie zijn:

- Circulatievoorzieningen zijn doorgaans goedkoper dan ventilatievoorzieningen.
- 's Winters kan minder worden gestookt, omdat minder verwarmde lucht naar buiten verdwijnt en omdat de temperatuur onder het dak lager wordt.
- Het tocht risico is kleiner dan bij toevoer van buitenlucht, omdat de inblaaslucht al de ruimtetemperatuur heeft.
- De eventuele geluidsbelasting voor de omgeving is minder, omdat de circulatievoorzieningen geheel binnen zijn aangebracht.
- Combinatie met luchtreiniging is met name bij hoge stofbelasting goed mogelijk.
- Slecht doorspoelde zones van de ruimte kunnen worden voorkomen. (Deze *dode hoeken* ontstaan daar waar geen gevels zijn om ventilatievoorzieningen op aan te brengen. Het alternatief zou kostbare luchttransport- en verdeelleidingen naar deze zones zijn.)

6.4 TOEVOER EN AFVOER

Als we ventilatie- of circulatiesystemen opzetten, moeten we rekening houden met de optredende concentratieverschillen in een ruimte. Een goede systeemuitlevering kan de ventilatie efficiënter maken.

Het is gunstig af te voeren op plaatsen in de ruimte waar de concentraties of temperaturen hoog zijn. Vanwege zijn beperkte vangbereik zal de afvoer de stroming in de verblijfszone nauwelijks beïnvloeden.

Verse lucht moeten we toevoeren waar deze gewenst is, dus dicht bij de verblijfszones van personen of kritische processen.

WORP Bij toevoer is behalve de plaats ook de juiste worp van belang om tocht te voorkomen. De worp kunnen we omschrijven als de weg of de baan die de lucht aflegt en die nog merkbaar is. We 'werpen' toegevoerde lucht met een bepaalde snelheid in de niet bewegende lucht in een ruimte. Totdat de snelheid van de worp tot ongeveer 0,2 m/s is afgenomen, kunnen we deze onderscheiden. De grootte en vorm van de worp wordt bepaald door:

- de inblaassnelheid
- de afmetingen en vorm van de inblaasroosters
- de inblaasrichting(en)
- de spreiding van de ingeblazen lucht door het rooster
- het temperatuurverschil tussen toevoer- en ruimtelucht

Een juiste roosterkeuze en -dimensionering is daarom vooral voor de toevoer van belang.

KORTSLUITING De toe- en afvoer moeten we onderling zo situeren dat geen kortsluiting kan ontstaan. Kortsluiting wil in dit verband zeggen dat toevoerlucht direct weer ongebruikt in de afvoeropeningen verdwijnt. We voorkomen dit door de afvoerroosters niet precies in de inblaasstraal van de toevoer te plaatsen.

Overigens nemen we dergelijke kortsluit-effecten in de praktijk weinig waar. Niet dat het is aan te bevelen, maar we kunnen een afvoerrooster bij wijze van spreken op eenmaal de roosterbreedte naast een toevoerrooster aanbrengen zonder noemenswaardige kortsluiting.

Een andere vorm van kortsluiting, namelijk bovendaks, verdient meer aandacht. Deze treedt op als de uitgestoten lucht buiten weer wordt aangezogen voor de verse-luchttoevoer. Als zowel de uitmondingshoogte te gering is, als de opwaartse beweging beperkt, blijft de afgevoerde lucht in

een onderdrukwerfel rond het gebouw hangen. Ondanks een aanzienlijke onderlinge afstand tussen uitmonding en aanzuigopening kan het aandeel van afvoerlucht in de toevoer dan wel tot tien procent oplopen.

BALANS TUSSEN TOE- EN AFVOER

Het benodigde ventilatiedebiet moeten we zowel toevoeren als afvoeren. Wat de ruimte wordt ingebracht, moet er immers ook weer uit kunnen. De plaatselijk en ruimtelijk toegevoerde en afgevoerde ventilatielucht moeten met elkaar in balans zijn. Een dergelijke opmerking mag onbenullig lijken. Toch benadrukken we dit, omdat het de meest optredende ontwerpfout van ventilatiesystemen blijkt te zijn.

INFILTRATIE De bijdrage door *infiltratie* (dit is de luchtstroom door kieren en naden van het gebouw) mogen we verdisconteren. In paragraaf 6.6 gaan we hier verder op in.

ONBALANS Soms kan het aanbrengen van onbalans in de toe- en afvoer via het ventilatiesysteem een bewuste ontwerpkeuze zijn. Dit doet zich voor als we de stroming van verontreinigde lucht van of naar omringende ruimten of naar buiten willen beheersen. In een bedrijfskeuken willen we bijvoorbeeld een lagere druk (onderdruk) dan in de gang er naartoe om te voorkomen dat etensgeuren zich in de gang verspreiden. In een ruimte waar we microchips maken willen we juist een hogere druk (overdruk) dan in de omringende ruimte om te voorkomen dat stoffige lucht de ruimte binnen-dringt.

ONTWERPPROCEDURE

Om een onderdruk of overdruk te creëren passen we de volgende ontwerp-procedure toe. We stellen eerst vast wat het *lekoppervlak* van de te ventileren ruimte is. Eventueel doen we hiervoor een lectest, een zogenaamde opblaasproef. Dit lekoppervlak kan al dan niet bewust zijn aangebracht; ook permanent geopende deuren kunnen er deel van uitmaken.

Vervolgens stellen we een gewenst *drukverschil* over de lekken vast. Meestal ligt dit in de orde van 2-5 Pa. Met dit drukverschil ontstaat een stroom-snelheid van 2 tot 3 m/s in de lekken. Deze stroomsnelheid varieert met de wortel uit de druk.

Willen we dit drukverschil handhaven, dan moeten we ervoor zorgen dat er een verschil is in toe- en afgevoerde ventilatiestroom: een onbalans. Dit verschil (in m³/s) is gelijk aan het lekoppervlak (in m²) maal de stroom-snelheid (in m/s).

6.5 FILTRATIE ALS ALTERNATIEF

De toepassing van luchtreiniging of filtratie vormt soms een alternatief voor ventilatie, zie figuur 13. De steeds zwaarder wordende milieueisen maken reiniging van de afgevoerde lucht toch al noodzakelijk. Terugvoeren van gefiltreerde lucht ligt dan voor de hand. Zo bezien lijkt het recirculeren van lucht na filtratie ideaal. In de praktijk ligt dit echter anders.

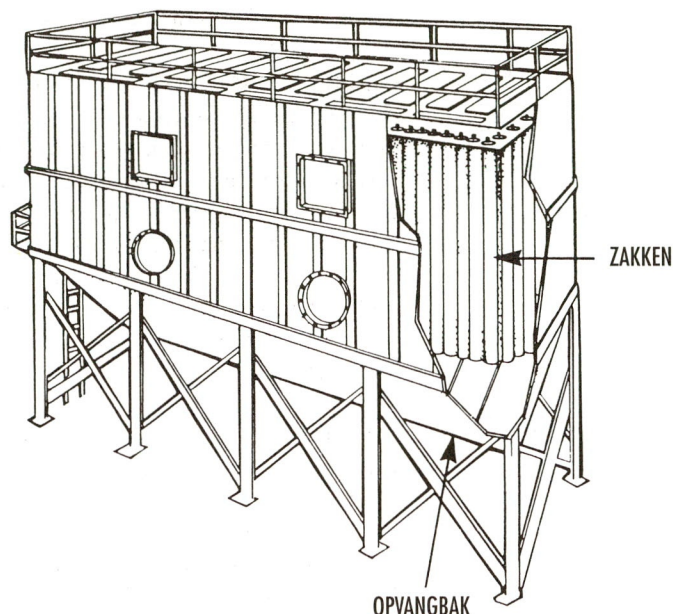
NADELEN

In de eerste plaats zijn de eisen aan de zuiverheid van de lucht die we gereinigd weer naar binnen willen terugvoeren, beduidend hoger dan voor de lucht die we naar buiten afvoeren. Het volgende voorbeeld illustreert hoe dit vaak wordt onderschat.

RECIRCULATIE BIJ HOUTBEWERKING

In timmer- en meubelbedrijven wordt houtmot bij de bewerkingsmachines afgezogen. De afzuiglucht wordt gereinigd en de kwaliteit is dan afdoende om de lucht naar buiten af te voeren.

FIGUUR 13



DOEFILTERS ZIJN HET MEEST TOEGEPAST. HIER ZIET U EEN ZOGENAAMD 'ZAKKENFILTER'. VUILE LUCHT WORDT ROND DE ZAKKEN BINNENGELATEN. DE LUCHT KAN ALLEEN DOOR DE ZAKKEN WEG, WAARBIJ HET VUIL IN HET VEZELMATERIAAL ACHTERBLIJFT. HET VUIL WORDT PERIODIEK VAN DE ZAKKEN GEKLOPT OF GETRIJD, WAARBIJ HET ZICH IN DE OPVANGBAK VERZAMELT.

Om grote onderdruk in de ruimte te voorkomen wordt de lucht echter na reiniging grotendeels weer teruggevoerd. Hoewel dit nauwelijks zichtbaar is, bevat de lucht dan vaak nog te veel fijn stof. Een fijnfilter moet worden toegevoegd, doch dit vergt tevens een zwaardere ventilator om de extra weerstand te overwinnen. In de praktijk worden deze voorzieningen zelden getroffen en zijn hoge blootstellingen het gevolg.

Op de tweede plaats is naast de onderschatting van de filter- en ventilatorspecificaties de onderhoudsgevoeligheid een minpunt van filtratie. Dit is door de milieuwetgeving extra actueel geworden, omdat het reinigen van filters en het afvoeren van gefilterd materiaal aan steeds strengere regels wordt gebonden. Hierdoor worden filters vaak niet op tijd gereinigd of vervangen. Het systeem geeft dan nog nauwelijks bescherming zonder dat men het zich realiseert. De I-SZW eist daarom een signaleringssysteem en een goede organisatie van het onderhoud.

Op de derde plaats is de beperkte beschikbaarheid van goede reinigingstechnieken een nadeel van filtratie. Dit geldt vooral voor gasvormige verontreinigingen zoals verbrandingsproducten (CO , CO_2 , NO_x en SO_2) of oplosmiddelen. Zulke gassen worden bij veel productieprocessen gevormd. Denk bijvoorbeeld aan de bereiding van chemische producten, lassen en snijden, lijmen, verven en de vervaardiging van polyester of andere kunststofproducten. Het is wel bemoedigend dat de reinigingstechnieken sterk in ontwikkeling zijn.

VOORDELEN

Ondanks de nadelen kan reiniging van stofhoudende lucht een aantrekkelijke optie zijn. Met het binnenhouden van de lucht houden we namelijk ook de warmte binnen. De besparing op energie kan opwegen tegen de hoge eisen aan filter en ventilator en de regelmatig terugkerende kosten voor het schoonmaken of vervangen van de filters.

Beperkt effectieve filtratie kan dan ook soms toch een oplossing zijn in combinatie met ventilatie. De reductie door filtratie vullen we dan door ventilatie tot een verantwoord niveau aan.

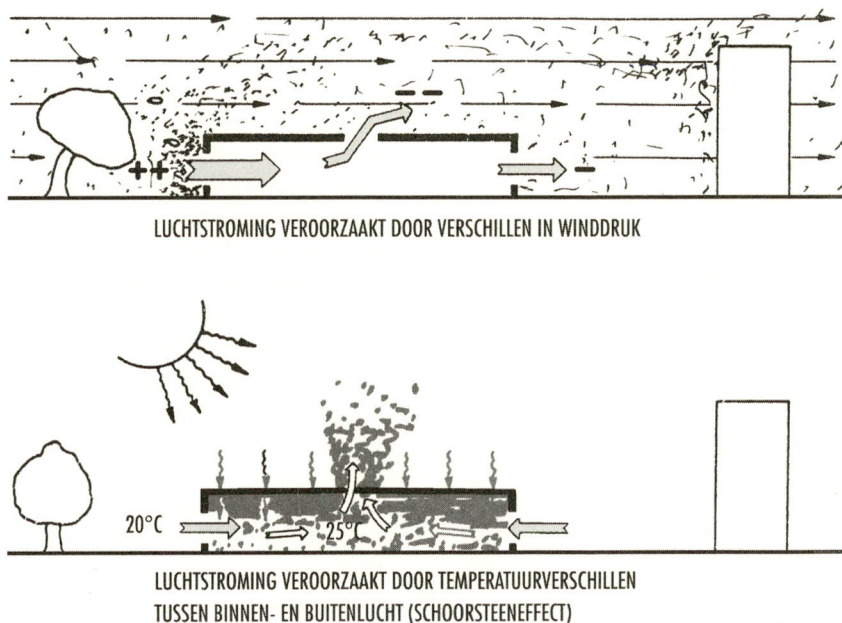
6.6 NATUURLIJKE VENTILATIE

Bij natuurlijke ventilatie zijn wind en thermiek de drijvende krachten. Hoe dit in zijn werk gaat, verduidelijkt figuur 14.

NATUURLIJKE VENTILATIE DOOR DE WIND

De wind botst tegen de gevel die naar de wind is gekeerd. Dit veroorzaakt een overdruk op deze gevel. We noemen dit de *loefzijde*. De stroming wordt afgebogen doordat ze tegen de loefzijde botst. Hierdoor wijkt de stroming van de lucht langs de zijgevels, het dak en de achtergevel. Doordat de stroming van deze gevels wegtrekt, ontstaat hier een onderdruk. We noemen dit de *lijzijde*.

FIGUUR 14



HET ONTSTAAN VAN NATUURLIJKE VENTILATIE

De overdruk aan loefzijde perst lucht door aanwezige openingen naar binnen (toevoer). De onderdruk aan lijzijde zuigt lucht door openingen naar buiten (afvoer). De luchtstromen door natuurlijke ventilatie veranderen afhankelijk van de volgende factoren:

- Als het harder waait, worden de over- en onderdrukken groter en dus ook de ventilatiestromen. Globaal is het ventilatiedebiet evenredig met de windsnelheid.
- Als de wind draait, verandert de stroom. Lucht die schuin tegen een gevel botst, kan er makkelijker langs. De overdruk neemt dus af. Ook de onderdruk aan lijzijde wordt minder. De kleinere drukverschillen veroorzaken minder ventilatie.
- Een gebouw wordt beschut door andere gebouwen, bomen of obstakels. Ook hierdoor worden drukverschillen kleiner en de ventilatie dus minder.

Deze verschillende invloeden op de druk aan de verschillende kanten van een gebouw kunnen we nauwkeurig meten aan een gebouwmodel in een

windtunnel of globaal berekenen uit de hoofdmaten van gebouwen en obstakels. In de praktijk komt meting vrijwel niet voor omdat deze te lang duurt en uitvoerig is.

NATUURLIJKE VENTILATIE DOOR THERMIEK

Een hete-luchtballon stijgt op als we de lucht in de ballon verwarmen. Dit komt doordat de warme lucht in de ballon een lagere soortelijke massa heeft (lichter is) dan de koude lucht er omheen. De warme lucht oefent bovenin de ballon dus een opwaartse druk uit. De druk en dus ook de stijgkracht worden evenredig groter, naarmate de warme-luchtkolom in de ballon hoger is of het temperatuurverschil met de omgeving groter.

In een ruimte met warme lucht doet zich hetzelfde voor. Zie figuur 14. De warme binnenlucht drukt tegen het dak. Is er een ventilatieopening in het dak, dan zal de lucht hierdoor opstijgen naar buiten toe. Er dreigt dan een 'tekort' aan lucht binnen te ontstaan, maar dit wordt aangevuld doordat buitenlucht via laaggelegen openingen toetreedt. Hiervoor wordt een deel van de opgebouwde thermische druk gebruikt.

De thermische druk neemt evenredig toe met de hoogte van de warme-luchtkolom. Bepalend is het hoogteverschil tussen de laaggelegen toevoeropeningen en de hooggelegen afvoeropeningen. De druk neemt tevens toe met het temperatuurverschil tussen in- en uittredende lucht.

BEREKENEN VAN HET EFFECT

Het gecombineerde effect van wind en thermiek op elke roosteroriëntatie berekenen we door de resulterende drukken bij elkaar op te tellen. De stroomsnelheid (m/s) die door een drukverschil wordt veroorzaakt, varieert met de wortel uit het drukverschil. Ook de ventilatiestromen (m³/s) zijn evenredig met de wortel hieruit.

Met speciale rekenprogramma's kunnen we de natuurlijke ventilatie bepalen. Deze programma's berekenen dit voor elke nieuwe situatie: verschillende roosterstanden, temperaturen, windsnelheden, windrichtingen en eventuele aanwezige ventilatoren.

Enkele ventilatie-rekenprogramma's zijn vrij beschikbaar. Desondanks is het werken ermee nog geen gemeengoed. De benodigde invoer vraagt immers nog specialistische kennis van vooral roosterweerstand en optredende winddrukken.

TOEPASSING VAN NATUURLIJKE VENTILATIE

Natuurlijke ventilatie blijkt van veel factoren afhankelijk te zijn. Vooral de factor wind is slecht voorspelbaar en waarneembaar. Hierdoor heeft natuurlijke ventilatie de naam grillig te zijn. Dan weer is de ventilatie te groot, dan weer te klein. Dan is de stroming in een bepaalde zone te sterk, dan weer te gering. Aanpassing van de roosterstanden heeft zelden het gewenste resultaat. In de praktijk passen we natuurlijke ventilatie daarom toe waar variaties in het debiet niet erg kritisch zijn. Een recent ontwikkelde automatische regeling die de windeffecten compenseert, kan hierin overigens drastisch verandering brengen.

ROOSTERPOSITIE

Om natuurlijke ventilatie toe te kunnen passen moeten we over tenminste twee, doch bij voorkeur meer geveloriëntaties en bij voorkeur het dak beschikken om voorzieningen aan te kunnen brengen. De voorzieningen moeten bovendien voldoende over het gebouw zijn verspreid.

Om tocht te beperken moeten we gevelroosters niet lager dan drie meter aanbrengen. Anderzijds moeten we een zo groot mogelijk hoogteverschil tussen gevelroosters en dakroosters aanhouden om de thermische drijvende krachten optimaal te gebruiken.

ROOSTERGROOTTE

De grootte van de natuurlijke ventilatievoorzieningen moet zo zijn, dat de ontwerpdebieten al bij betrekkelijk geringe drijvende krachten kunnen worden bereikt. Anders treden te vaak situaties op met te weinig ventilatie en wordt de kans op te hoge blootstellingen te groot.

Hoewel de natuurlijke situatie zeer variabel is, kunnen we er toch aan rekenen om de juiste roostermaat te bepalen.

We gaan dan uit van een gemiddelde windsnelheid van 2 m/s. Op de plaats van de roosters levert dat een stroomsnelheid van ongeveer 0,8 m/s. Het netto roosteroppervlak in m² voor de toevoer moet nu ongeveer gelijk zijn aan het benodigde debiet in m³/s gedeeld door de stroomsnelheid (dus m² = m³/s : 0,8 m/s). Voor de afvoerroosters hebben we tenminste een even groot oppervlak nodig. We moeten de uitkomst dus met twee vermenigvuldigen. We kunnen dit ook anders stellen:

$$\text{totale netto oppervlak in m}^2 \approx 2,5 \times \text{benodigde debiet in m}^3/\text{s}$$

Als we dit oppervlak aanhouden, hebben we een ventilatie die bij een optimale plaatsing van roosters in tenminste 95 procent van de situaties voldoet.

ANETTO EN AINBOUW

Onder het netto roosteroppervlak (A_{netto}) verstaan we het zuivere doorstroomoppervlak van natuurlijke ventilatievoorzieningen in de kleinste doorsnede na aftrek van belemmerende delen. Het inbouwoppervlak van roosters of ramen (A_{inbouw}) kan wel enkele malen groter zijn dan het benodigde netto oppervlak. In schema 5 vindt u globaal geldende verhoudingen tussen inbouwmaat en netto oppervlak ($A_{\text{inbouw}}/A_{\text{netto}}$) van verschillende typen ventilatievoorzieningen. Een factor 2 bijvoorbeeld betekent dat de inbouwmaat tweemaal zo groot moet zijn als het gewenste netto oppervlak.

SCHEMA 5 VERHOUDING TUSSEN AINBOUW EN ANETTO

SCHUIFRAAM, VOLLEDIG TE OPENEN	1,5
KLAPRAAM MET VERTICALE SCHARNIERLIJN	1,5
EVENTUELE MEETELLENDEN DEUREN	1,5
HORIZONTALE GEVELROOSTERS	2
SCHARNIERENDE RAMEN	2
DAKROOSTERS	3
REGENINSLAGVRIJE ROOSTERS	3
GELUID-GEDEMPTE ROOSTERS	5

Van de benodigde netto roosteroppervlakken mag u een bijdrage door lekken in het gebouw aftrekken. Deze bijdrage ligt veelal in de orde van 0,1 tot 1 m² en is afhankelijk van de gebouwconstructie. Globaal gelden de richtwaarden van schema 6.

SCHEMA 6 RICHTWAARDEN VOOR DE NETTOGROOTTE VAN LUCHTLEKKEN

METSELWERK, BETON	0,5 cm ² /m ² WANDOPPERVLAK
STAALCONSTRUCTIE MET METSELWERK	4,0 cm ² /m ² WANDOPPERVLAK
STAALCONSTRUCTIE MET BEPLATING	20,0 cm ² /m ² WANDOPPERVLAK

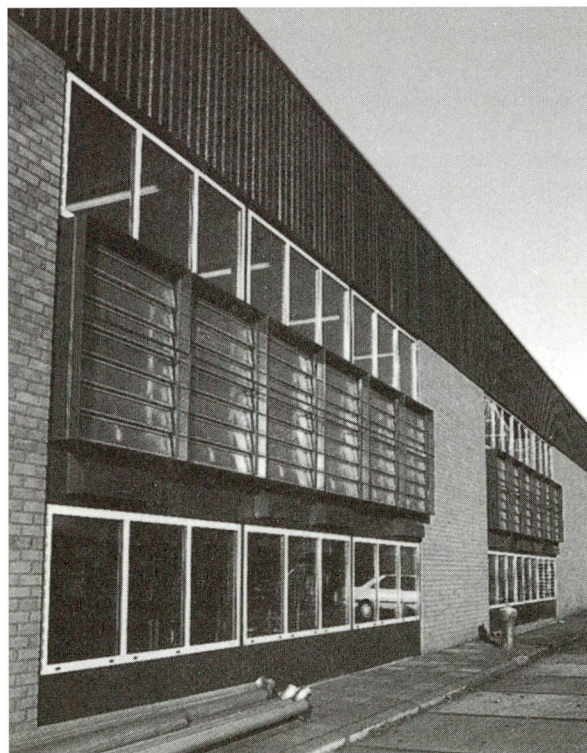
Bij een ontwerp voor permanente, natuurlijke ventilatie wordt de bijdrage door deuropeningen in het algemeen niet meegerekend. Er ontstaat

immers snel tocht, doordat de lucht laag in de verblijfszone wordt ingebracht. We kunnen een uitzondering maken voor het spuien van warmte in de zomer. We kunnen de deuren dan wel meetellen, op voorwaarde natuurlijk dat dit geen veiligheidsrisico's met zich meebrengt. De ruimte moet afgesloten zijn voor onbevoegden en er mag geen risico van diefstal zijn. Ook de mogelijk verhoogde geluidsbelasting voor de omgeving mag niet tot problemen leiden.

REGELING VAN DE ROOSTERS

Zonder regeling van de ventilatieroosters zal de natuurlijke ventilatie gemakkelijk een factor 4 in debiet kunnen variëren. Dat komt doordat de wind variabel is. We gingen eerder uit van een gemiddelde van 2 m/s, maar de snelheid kan bij harde wind ook 10 m/s zijn. De stroomsnelheid in de roosters en dus het ventilatiedebiet nemen dan toe met een factor 4.

Om dit te voorkomen moeten er instelmogelijkheden zijn. De gebruiker moet er tevens naar behoefte een lagere of hogere ventilatie dan de ontwerpwaarde mee in kunnen stellen. Instelmogelijkheden op tenminste 0, 10, 35 en 100 procent van de maximale doorlaat worden aanbevolen. (Zie foto).



VENTILATIEROOSTERS MOETEN AAN EEN GROOT AANTAL EISEN VOLDOEN, WAARONDER GOEDE INSTELBAARHEID. FOTO TNO-BOUW

Bij een ventilatiesysteem dat vooral voor temperatuurbeheersing is bedoeld, regelen we de ventilatie automatisch op de binnentemperatuur. Natuurlijke ventilatie heeft in zulke situaties het voordeel dat deze zichzelf enigszins regelt. Met de temperatuurverhoging neemt de drijvende kracht namelijk toe.

In navolging van de woningbouw is ook zelf-regelende industriële ventilatie in ontwikkeling. Deze reageert dan niet alleen op de wisselende temperatuur, maar ook op de variërende wind. In veel gevallen is dit namelijk de belangrijkste variabele. Zo kunnen we de ventilatiestromen zelfs beter beheersen dan met een systeem met mechanische afzuiging. De debieten zijn namelijk per rooster instelbaar en we kunnen zo per zone in de ruimte een gewenste doorstroming creëren.

EISEN AAN VENTILATIEROOSTERS

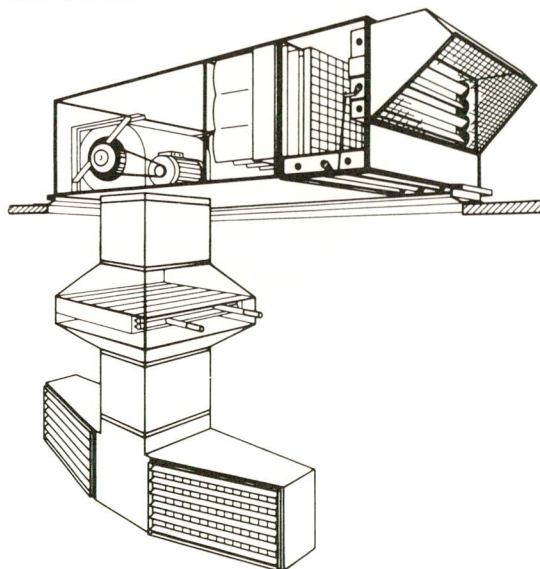
Ventilatioeroosters moeten beschermen tegen ongewenste invloeden van buiten. Ze moeten:

- sterk zijn; een rooster wordt immers blootgesteld aan windkracht, maar kan ook onderdeel zijn van de gebouwconstructie
- inbraak-bestendig zijn; niet alleen de sterkte, maar ook de maat van de openingen is van belang
- duurzaam zijn; weersinvloeden mogen de functionaliteit niet aantasten
- regeninslagvrij zijn; hiervoor bestaan omschreven testprocedures
- de toegang van insecten en ongedierte belemmeren; hiervoor worden gazen gebruikt
- geluid weren; het gaat hier om eisen aan het doorlaten van geluid en aan de eigen geluidsproductie, zoals klapperen van lamellen, fluiten van de wind, tikken van regen
- afsluitbaar zijn; ook bij storm moet in gesloten toestand de doorlaat beperkt blijven
- werkzaam bij sneeuw; vooral dakroosters moeten door een laag sneeuw niet in hun functie worden belemmerd
- doorzicht mogelijk maken en licht doorlaten; er mag geen ongewenste inkijk zijn, maar doorlating van daglicht door roosters kan wel gewenst zijn

6.7 MECHANISCHE VENTILATIE

Mechanische ventilatie is lucht verplaatsen met behulp van ventilatoren, al of niet via een kanaalsysteem. De drijvende kracht van de ventilator is in het algemeen dominant. Dit betekent dat de natuurlijke krachten de ventilatie maar beperkt beïnvloeden, behalve in uitzonderlijke situaties, zoals bij storm. Variaties van het debiet liggen gemiddeld tussen de vijf en twintig procent. Mechanische ventilatie heeft daarom de naam betrouwbaar te zijn.

FIGUUR 15



BIJ MECHANISCHE VENTILATIE ZORGT EEN VENTILATOR DAT LUCHT DOOR HET SYSTEEM WORDT GETRANSPORTEERD.

VOORDELEN

Motoren van ventilatoren zijn verkrijgbaar met een regeling in standen of zelfs traploos. Zo kunnen we het debiet al naar gelang de ventilatie-behoefte goed bijstellen.

We kunnen mechanische ventilatie goed met verschillende componenten

combineren, mits we hiermee in het ontwerp rekening houden. Combinaties zijn mogelijk met:

- een luchtverdeelsysteem
- luchtconditionering, zoals verwarming, koeling, bevochtiging, ontvochtiging of reiniging
- warmteterugwinning

LUCHTVERDEELSYSTEEM	Het luchtverdeelsysteem maakt ventilatie van moeilijk bereikbare ruimtedelen mogelijk. Denk bijvoorbeeld aan ingebouwde hallen, waarin geen plaats is voor natuurlijke ventilatieroosters.
LUCHTCONDITIONERING	De luchtconditionering maakt optimale klimaatcondities voor werknemer en proces mogelijk.
WARMTETERUGWINNING	Met reiniging en warmteterugwinning kunnen we bijdragen aan de bescherming van het milieu. Warmteterugwinning kan bovendien de energiekosten terugdringen. Voor industriële installaties zijn al acceptabele terugverdiertijden haalbaar.

NADELEN

Mechanische ventilatie heeft ten opzichte van natuurlijke ventilatie ook nadelen.

- De kostprijs is hoger. Zelfs eenvoudige mechanische ventilatiesystemen, zonder allerlei bijzondere opties, zijn in het algemeen duurder in aanschaf.
- Het energiegebruik is groter. De motoren bij mechanische ventilatie gebruiken (elektrische) energie, terwijl bij natuurlijke ventilatie de aandrijving gratis is. Dit speelt vooral een rol bij systemen met grote luchtverplaatsingen, zoals bijvoorbeeld nodig voor het spuien van warmte. Bij systemen die een bepaalde basisventilatie moeten verzorgen, speelt dit overigens minder. De energie die nodig is om de ventilatielucht te verwarmen, is dan veel meer bepalend.
- Er is geen overcapaciteit. Natuurlijke ventilatie wordt op tamelijk minimale drijvende krachten ontworpen. In gemiddelde omstandigheden heeft zo'n systeem dus over. Mechanische ventilatie heeft geen mogelijkheid voor ruime variatie van het debiet boven de ontwerpwaarde.
- De eigen geluidsproductie is hoger. Voor de werknemers is dit overigens niet vaak een probleem gezien de geluidsbelasting bij veel industriële processen. Voor de omgeving kan het wel hinderlijk zijn. Tegen meerkosten kan de hinder voor de omgeving worden beperkt. Ook de geluidshinder van het proces voor de omgeving speelt vaak een rol. Voor zulke situaties kunnen zowel mechanische als natuurlijke ventilatiesystemen geluid-gedempt worden uitgevoerd.
- Het uitvalrisico is groter. Bij calamiteiten, zoals brand, bestaat een groot risico voor uitval van de mechanische aandrijving door het doorsmelten van voedingskabels of door kortsluiting. Juist dan moet bijvoorbeeld een rookafvoersysteem zijn werk doen. Automatisch openende natuurlijke afvoersystemen zijn dan betrouwbaarder.

SICK-BUILDING

Mechanische ventilatiesystemen met klimatisering worden nogal eens in verband gebracht met zogenaamde sick-building-problemen: het probleem van ziekmakende gebouwen. Veel klachten kunnen worden teruggevoerd op zaken als een verkeerde keuze van systeemcomponenten, slechte inregeling, verkeerd gebruik, onvoldoende instelmogelijkheden en achterstallig onderhoud. Dit type problematiek speelt vooral in de 'schone' industrie en nauwelijks in de industriële werkomgeving.

7

UITVOERING VAN VENTILATIESYSTEMEN

DIT HOOFDSTUK SLUIT DIRECT AAN BIJ DE VORIGE PARAGRAFEN OVER NATUURLIJKE EN MECHANISCHE VENTILATIE. WE BESCHRIJVEN HIER EEN AANTAL UITVOERINGSASPECTEN VAN VENTILATIESYSTEMEN.

7.1 KANAALSYSTEMEN

Voor kanaalsystemen is het beperken van de weerstand van belang. We moeten onderdelen proberen te vermijden die scherpe kanten hebben, de stroming sterk afbuigen of plotselinge vernauwing of verwijding van het doorstroomoppervlak veroorzaken. Bekende boosdoeners zijn flexibele slangen, veel en scherpe bochten en abrupt eindigende in- en uitstroomopeningen.

TRANSPORTSNELHEID

De weerstand van kanalen bepaalt voor een belangrijk deel de transportsnelheid en de geluidsproductie. Lage transportsnelheden leiden tot grote afmetingen en een hoge kostprijs. Daar staat tegenover dat de bedrijfskosten (transportenergie) beperkt kunnen blijven. Een optimum voor transportsnelheden ligt globaal rond 8 m/s. Lagere waarden van ongeveer 4 m/s houden we aan voor systemen met veel bochten of andere appendages en voor leidinggedeelten vlak bij relatief stille werkplekken.

Door de gewenste ventilatiestroom (m^3/s) te delen door deze snelheden (m/s) berekenen we de optimale kanaaldoorsneden (m^2). We kunnen dan controleren of een aangeboden ontwerp hier al dan niet sterk van afwijkt. Overigens zijn er situaties waar we beduidend hogere transportsnelheden hanteren om bijvoorbeeld verstopping te voorkomen. Schema 7 geeft hiervan een overzicht.

SCHEMA 7 AANBEVOLEN TRANSPORTSNELHEDEN IN LEIDINGEN

GASSEN, DAMPEN EN ROOKGASSEN	5-6 m/s
METAALDAMP	6-10 m/s
FIJN STOF EN POEDER	10-15 m/s
RUBBER-, LEER- EN HOUTSTOF EN HOUTMOT	15-20 m/s
METAALSTOF EN SLIJPEL	20-25 m/s

Aan luchtkanalen kunnen we voorts eisen stellen in verband met chemische bestendigheid, reactiviteit, sterkte, slijtvastheid, geluidsdemping, brandbaarheid, luchtdichtheid en statische elektriciteit. De vereniging van luchtkanaalfabrikanten (LUKA) heeft voor al deze eigenschappen normen opgesteld. Zie bijlage 4. Dit zijn eisen voor verschillende kwaliteitsniveaus. Het is aan te bevelen om de normen voor de eigenschappen die van belang zijn op te nemen in de specificaties van de ventilatiesystemen.

7.2 ROOSTERS

Voor de toe- en afvoer van lucht worden roosters gebruikt. Het rooster moet zorgen voor een in- of uitstroming zonder al te veel weerstand, lawaai of tocht.

TOCHTBEPERKING

Tochtbeperking speelt uitsluitend bij toevoerroosters. De worpeigenschappen zijn hiervoor van belang. De roosteruitvoering is bepalend voor de worp. Het voert te ver om hier de grote verscheidenheid aan roosteruitvoeringen en -eigenschappen te behandelen.

U kunt volstaan door in de specificaties een tochtvrije toevoer bij omschreven omstandigheden te eisen. Het is belangrijk dat u de omstandigheden omschrijft, omdat variaties van inblaastemperatuur en -debiet wenselijk kunnen zijn om verschillen in warmtelast en luchtbehoefte op te vangen. Er treden dan verschillen in inblaascondities op.

Voor tocht is in het algemeen de inblaas van grote ventilatiestromen met een lage temperatuur van belang. Dit treedt meestal op bij hoge interne warmteproductie in voor- of najaar.

Om de worpeigenschappen in te stellen kunnen we de lamelstanden van roosters aanpassen. Dit kan met de hand. Voor het compenseren van seizoensinvloeden kan dat voldoen, maar als de stand regelmatig aangepast moet worden, is een automatische verstelling wenselijk.

SMOORKLEPPEN

Drukverschillen over diverse roosters op eenzelfde kanaal kunnen sterk verschillen. Om toch een juiste luchtverdeling te krijgen worden roosters meer of minder sterk *gesmoord*. Wisselende worpeigenschappen per rooster zijn dan het gevolg.

Voor een juiste luchtverdeling moeten we in de eerste plaats het verloop van de kanaaldoorlaten op de te transporteren luchtstromen berekenen. Resterende drukverschillen moeten door aparte smoorkleppen worden gecompenseerd. Zo kan over elk rooster de juiste drukval voor optimale inblaascondities worden bereikt.

8

KEUZE EN ONTWERP

IN DIT HOOFDSTUK BESCHRIJVEN WE EEN PROCEDURE VOOR DE KEUZE VAN EEN VENTILATIESYSTEEM. HIERIN HOUDEN WE REKENING MET DEZELFDE EISEN WAARAAN OOK ARBEIDSHYGIËNISCHE MAATREGELEN MOETEN VOLDOEN. HET BEVAT EEN OPSOMMING VAN DE SYSTEEMSPECIFICATIES DIE NODIG ZIJN OM EEN PROGRAMMA VAN EISEN OP TE STELLEN.

De belangrijkste criteria voor een arbeidshygiënische maatregel zijn vermindering van de blootstelling, hanteerbaarheid in de werksituatie en de kosten.

Ook bij een industrieel ventilatiesysteem moeten vooral deze drie factoren de keuze en het ontwerp bepalen. Het hieronder beschreven stappenplan leidt tot een programma van eisen dat de belangrijke systeemspecificaties bevat die duidelijk maken:

- wat een bedrijf (opdrachtgever) van het systeem verwacht
- in hoeverre een installateur (aanbieder) hieraan tegemoetkomt

Het verdient aanbeveling dat bedrijfsvertegenwoordigers de procedure samen met arbeidshygiënische en installatietechnische vertegenwoordigers doorlopen. Voor een goed ontwerp moeten arbeidshygiënische en bedrijfs-technische doelen immers worden vertaald in installatie-eisen, -wensen en -beperkingen. Hoofdzaak is dat de procedure leidt tot onderlinge overeenstemming over de keuze van het systeem. Dit voorkomt misverstanden achteraf.

Begrippen die we in deze procedure noemen, verklaren we kort. De voorafgaande hoofdstukken geven een uitgebreidere uitleg.

8.1 HERLEIDEN VAN BASISEISEN

Stap 1 is het beschrijven van de basiseisen die we aan de maatregelen stellen. De aanleiding voor het treffen van beheersmaatregelen kan liggen in:

- overheidseisen, bijvoorbeeld na een inspectie
- gesignaleerde knelpunten bij een risico-inventarisatie
- klachten van werknemers
- een procesaanpassing of een gebouwaanpassing

We kunnen nu drie niveaus onderscheiden die tot een aantal basiseisen leiden:

- wettelijke verplichting
- de stand der techniek
- de 'beste werkpraktijk'

WETTELIJKE VERPLICHTING

In de Arbowet, de Wet Milieubeheer, het Bouwbesluit en de bijbehorende Algemene Maatregelen van Bestuur (AMvB) of andere documenten van de overheid zoekt u kwantificeerbare eisen met toetsingscriteria. U legt deze vast als absolute minimumeisen aan de maatregelen. Let ook op de neven-eisen die de overheid aan mogelijke bijeffecten stelt.

STAND DER TECHNIEK

In praktijkrichtlijnen, normen of andere breed gedragen documenten zoekt u aanbevelingen van overheidsinstanties die boven het wettelijke minimum uitgaan. Deze zijn als *stand-der-techniek-maatregelen* aan te merken en markeren het niveau dat *redelijkerwijs haalbaar* is. U legt deze vast als referentie. Bij nieuwbouw of grote aanpassingen moet u voor deze of gelijkwaardige maatregelen kiezen.

'BESTE WERKPRAKTIJK'

Maatregelen kunnen wenselijk zijn om de productie te verbeteren of hinder te beperken zonder dat direct sprake is van eisen ter beperking van een gezondheidsrisico. U omschrijft wat u nastreeft, zoals bijvoorbeeld het maximaal toegestane percentage klachten of het percentage productieuitval. U herleidt, als dat kan, de bijbehorende kostenbesparing om de investeringsruimte te bepalen.

8.2 VERZAMELEN VAN GEGEVENS

Voor een verdere uitwerking van de maatregelen heeft u gegevens nodig van de bronnen van verontreiniging of warmte. Het verzamelen hiervan is stap 2. Waar u die gegevens haalt, is afhankelijk van de beschikbaarheid van informatie over het proces en de invloed ervan op de omgeving.

HERKOMST VAN GEGEVENS

De herkomst van gegevens is afhankelijk van de kennis die u hebt van het proces en het gebouwtype. In onderstaande situaties kunt u de volgende gegevens verzamelen:

- bestaand proces en gebouwtype
 - documentatie en metingen van de bestaande situatie
- aan te passen proces en gebouwtype
 - gegevens van de bestaande situatie in combinatie met schattingen, berekeningen of proeven naar de invloed van de variabele die u wilt aanpassen
- proces en gebouwtype bij bedrijf onbekend
 - informatie van verwante bedrijven, branchevereniging en adviseurs
- proces en gebouwtype geheel onbekend
 - overeenkomsten met bestaand vergelijkbaar proces
 - nabootsing in een proefopstelling
 - simulatie met fysisch of chemisch beschrijvende (computer)modellen

8.3 ARBEIDSHYGIËNISCHE ANALYSE

De arbeidshygiënische analyse – stap 3 – dient om eisen in termen van blootstellingsreductie te formuleren. Omdat dit het normale werkterrein van de arbeidshygiënist betreft, beschrijven we dit hier slechts summier.

ANALYSE VAN DE GEGEVENS OVER VERONTREINIGINGEN

We kunnen onderstaande gegevens gebruiken om het volgende af te leiden:

- grondstoffen en omzettingsproces
 - soort en aantal stoffen dat de blootstelling bepaalt
- vrijkomende hoeveelheden en grenswaarden
 - de bedrijfsnorm (gecombineerde grenswaarde)
- blootstellingsmetingen
 - de benodigde reductiefactor die de maatregelen moeten bewerkstelligen

- variatie van concentraties
 - de omstandigheden die deze variatie veroorzaken
 - mogelijke verbeteringen door beheersing van de variabelen
 - de veiligheidsmarge M voor de ontwerpconcentratie (via meetgegevens of via schema 2)

ANALYSE VAN DE GEGEVENS OVER WARMTE

U kunt onderstaande gegevens gebruiken om het volgende af te leiden:

- energiegebruik en verdeling van de energietoevoer
 - de globale warmteproductie P_w in kW of J/s
 - de belangrijkste bijdragen aan het warmteprobleem
- klimaatmetingen
 - warmteblootstellingen en de bijdragen van convectie en straling
 - de maximale opwarming δt in °C
 - de benodigde reductie
- variatie in temperaturen
 - de productie- en weersomstandigheden die dit bepalen
- warmteafvoerstromen
 - de mogelijkheden van verschillende typen beheersmaatregelen, waaronder de invloed van spuiventilatie

8.4 KEUZE VAN DE MAATREGELEN

U kunt het meest geschikte type maatregel op een bepaalde plaats kiezen als u informatie hebt over concentratiemetingen en bronkarakteristieken. Het bepalen van uw keuze is stap 4.

CONCENTRATIEMETINGEN

U moet beschikken over resultaten van concentratiemetingen in:

- de ademzone $C_{ademzone}$; deze wordt gemeten via persoonlijke monstername
- de 'bronzone' $C_{bronzone}$; deze wordt gemeten in het midden van het verblijfsgebied van een werknemer die binnen een straal van enkele meters van de bron werkt (bijvoorbeeld bij een bedieningsman van een machine in het midden van de ruimte waarin deze zich beweegt)
- de achtergrond $C_{achtergrond}$; deze wordt gemeten op ruime afstand van de bronzones in de ruimte
- de afvoerlucht C_{afvoer} ; deze wordt gemeten bij de aanzuigopening van de afvoer

AANBEVELINGEN VANUIT DE CONCENTRATIEMETINGEN

Uit de concentratiemetingen volgt een aantal aanbevelingen voor de:

WERKORGANISATIE

- als de $C_{ademzone\ 1} > 2 \times C_{ademzone\ 2}$ (dus als bij werknemer 1 de concentratie tweemaal zo hoog is als bij werknemer 2), dan is gedragsbeïnvloeding zinvol als beiden dezelfde taak hebben, of taakroulatie als beiden een verschillende taak hebben

OPZET VAN HET VENTILATIESYSTEEM

- als $C_{bronzone} > 2 \times C_{achtergrond}$, dan moet de ruimteventilatie dichterbij de werkzone worden geplaatst of de luchtcirculatie worden verbeterd
- als $C_{bronzone} > 5 \times C_{achtergrond}$, dan moet u de bronzone afschermen van de overige werkruimten en is aparte zonebeluchting nodig

LOCATIE VAN HET VENTILATIESYSTEEM

- als $C_{\text{ademzone}} > 2 \times C_{\text{bronzone}}$, dan worden plaatselijke voorzieningen aanbevolen
- als $C_{\text{ademzone}} > 5 \times C_{\text{bronzone}}$, dan zijn plaatselijke voorzieningen noodzakelijk

LOCATIE VAN DE AFVOER

- als $C_{\text{afvoer}} < 1 \times C_{\text{achtergrond}}$, dan moet de afvoer dicht bij de bron worden geplaatst
- als $C_{\text{afvoer}} > 1 \times C_{\text{achtergrond}}$, dan moet u overwegen de positie van de afvoer aan te passen
- als $C_{\text{afvoer}} > 2 \times C_{\text{achtergrond}}$, dan is de positie van de afvoer correct

BRONKARAKTERISTIEKEN

Van de belangrijke bronnen moet u een aantal eigenschappen meten of bepalen:

- de mobiliteit van de bron; de afstand waarover deze wordt verplaatst en de tijd dat werknemers bij de bron verblijven
- de aard van de verontreinigingen; gasvormig of deeltjes
- de gemiddelde concentratie in de pluim van vrijkomende verontreinigingen C_{pluim} in mg/m^3
- de doorsnede van de pluim A_{pluim} in m^2 (de brongeometrie)
- de gemiddelde verspreidingssnelheid in de pluim v_v in m/s (zie ook schema 1 op bladzijde 12)
- de productie van de verontreiniging p_v in mg/s ,
te bereken door $p_v = C_{\text{pluim}} \times A_{\text{pluim}} \times v_v$
- de (gewogen) bijdrage van iedere bron aan de totale verontreinigingenproductie in de werkruimte p_{rel} ,
te berekenen door eerst voor iedere bron de verontreinigingenproductie p_v te delen door de grenswaarde MAC van deze verontreiniging:
 p_v/MAC
tel de quotiënten van alle bronnen bij elkaar op: $\sum(p_v/\text{MAC})$
nu is p_{rel} per bron te berekenen: $p_{\text{rel}} = p_v/\text{MAC} : \sum(p_v/\text{MAC})$

N.B. De concentratie wordt ook wel weergegeven in ppm of cm^3/m^3

AANBEVELINGEN VANUIT DE BRONKARAKTERISTIEK

Uit de bronkarakteristieken volgt een aantal aanbevelingen voor:

BRONVENTILATIE

- als $p_{\text{rel}} < 0,1$, dan is ruimtelijke ventilatie of filtratie veelal afdoende
- als $0,1 < p_{\text{rel}} < 0,3$, dan wordt lokale ventilatie bij de bron aanbevolen
- als $p_{\text{rel}} > 0,3$, dan is lokale ventilatie noodzakelijk

BRONAFSCHERMING

- bij een onderhoudsfrequentie van de machinerie van minder dan eenmaal per dag wordt volledige omkasting aanbevolen
- bij een onderhoudsfrequentie van meer dan eenmaal per dag is gedeeltelijke omkasting en een luchtscherm praktischer

TYPE VENTILATIESYSTEEM

- als de pluimbreedte $< 1 \text{ m}$, pas dan uitsluitend lokale afzuiging toe
- als de pluimbreedte $< 5 \text{ m}$, pas dan lokale verdringing en afzuiging toe
- als pluimbreedte $> 5 \text{ m}$, pas dan zoneverdringing en -afzuiging toe

MOBILITEIT VAN DE VENTILATIEVOORZIENING

- als de verplaatsing minder dan 1 m is, pas dan een vaste ventilatievoorziening toe
- als de verplaatsing tussen de 1 en 10 m is, pas dan beweegbare voorziening vanuit een vast punt toe
- als de verplaatsing meer dan 10 m is, pas dan een volledig beweegbare voorziening toe
- als het verblijf meer dan 10 minuten duurt, pas dan een handmatig verstelbare voorziening toe
- als het verblijf minder dan 10 minuten duurt, pas dan een automatisch verstelbare voorziening toe die bij voorkeur is gekoppeld aan de positie van bron of werknemer

TYPE LOKALE VENTILATIEVOORZIENING

- als $v_v < 5$ m/s, dan is uitsluitend afzuiging mogelijk
- als $5 \text{ m/s} < v_v < 15 \text{ m/s}$, dan moet sturende luchttoevoer worden toegevoegd
- als $v_v > 15 \text{ m/s}$, dan zijn leidschoepen nodig

FILTRATIE

- bij gasvormig verontreinigen zijn de mogelijkheden van filtratie beperkt
- bij verontreinigingen in de vorm van – vooral grovere – deeltjes zijn er goede filtratiemogelijkheden

8.5 DIMENSIONERING VAN PLAATSELIJKE VENTILATIE

Behalve het type maatregel is de grootte ervan een belangrijke specificatie. In stap 5 bepaalt u deze met de onderstaande formules. Het gaat hier om richtwaarden voor offertes.

DIMENSIONERING VAN PLAATSELIJKE AFZUIGING

puntafzuiging	$q_{va} = v_p \times (10 \times X^2 + A)$
puntafzuiging met flens *)	$q_{va} = v_p \times (10 \times X^2 + A) \times 0,75$
spleetafzuiging	$q_{va} = v_p \times L \times X \times 3,7$
spleetafzuiging met flens *)	$q_{va} = v_p \times L \times X \times 2,6$
afzuigkap	$q_{va} = v_p \times O \times H \times 1,4$

*) alleen als $A_{flens} > 10 \times A$

VERKLARING VAN DE AFKORTINGEN

q_{va}	afgevoerde luchtstroom of afzuigdebiet in m^3/s
v_p	vangsnelheid in m/s (het product van de verspreidingssnelheid v_v en de factor v_p/v_v uit schema 4 op bladzijde 28)
X	vangafstand in m
A	oppervlak van de zuigmond in m^2
A_{flens}	oppervlak van de flens in m^2
L	spleetlengte in m
O	omtrek van de afzuigkap = $2 \times (L + B)$ in m
H	hoogte afzuigkap boven werkplek in m

DIMENSIONERING VAN LOKALE VERDRINGING

spleetuitblaas
(geldt ook voor een rij kleine
gaten of sleuven)

$$q_{vt} = 0,35 \times (L + 0,35 X) \times X \times v_p^2 : v_u$$

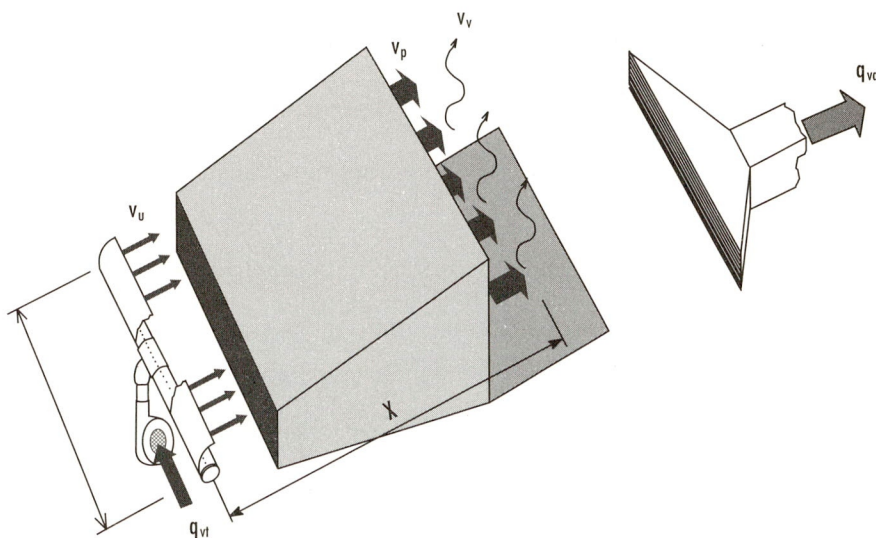
ronde uitblaas

$$q_{vt} = 0,8 \times (D + 0,35 X)^2 \times v_p^2 : v_u$$

lokale afvoer
(geldt voor beide typen uitblaas)

$$q_{va} = q_{vt} \times v_u : v_p$$

FIGUUR 16



LOKALE VERDRINGING EN AFVOER

VERKLARING VAN DE AFKORTINGEN

- q_{vt} toegevoerde luchtstroom of toevoerdebiet in m^3/s
- q_{va} afgevoerde luchtstroom of afzuigdebiet in m^3/s
- v_p verdrijfsnelheid in m/s (het product van de verspreidingssnelheid v_v en de factor v_p/v_v uit schema 4 van bladzijde 28)
- v_u uitblaassnelheid in m/s (deze is afhankelijk van de systeemuitvoering; gebruikelijk zijn snelheden tussen 8 en 15 m/s)
- X verdrijfafstand (de afstand van uitblaas tot bron) in m
- L lengte uitblaasspleet in m
- D diameter uitblaasmond in m

DIMENSIONERING VAN ZONEBELUCHTING

zonebeluchting

$$q_{vz} = A_z \times v_z$$

VERKLARING VAN DE AFKORTINGEN

- q_{vz} de benodigde luchtstroom voor zonebeluchting in m^3/s
- A_z de doorsnede A_z van de zone waarin de stroming moet worden beheerst (afgeleid uit de afmetingen van de zone)
- v_z stroomsnelheid; deze is 0,3 tot 0,5 m/s (exact te bepalen door af te stemmen op de aard van de stroming vanaf de bron en op de bewegingen van bron of obstakels)

N.B. Om verspreiding naar de omgeving te beperken moet het totale doorlaatoppervlak van benodigde toestroomopeningen in de zone-omhulling (cabine) in m^2 gelijk zijn aan q_{vz} in m^3/s .

8.6 DIMENSIONERING VAN DE RUIMTELIJKE VENTILATIE

RUIMTEVENTILATIE BIJ VERONTREINIGINGEN

De gewenste luchtstroom bij ruimteventilatie bij verontreinigingen berekenen we als volgt:

- bepaal per bron de verontreinigingenproductie p_v
- meet de concentratie in de afvoer C_{af}
- bepaal het aandeel dat direct met plaatselijke ventilatie bij de bron wordt afgevoerd (in de praktijk is dat meestal tussen vijftig en negentig procent)
- $P_{v,af} = C_{af} \times Q_{va}$
- verminder de productie p_v met $P_{v,af}$
- tel de (rest)productie van alle bronnen op die gelijktijdig emitteren naar de ruimte; dit is p_{vr}
- bereken de gewenste concentratie $C_{ontwerp}$ in mg/m^3 door de bedrijfsnorm te delen door de veiligheidsmarge (zie schema 2 op bladzijde 17)
- bereken nu de gewenste luchtstroom
- $Q_{vr} = P_{vr} : C_{ontwerp}$
- de luchtstroom die we naar de ruimte moeten toevoeren, dient tevens ter aanvulling van plaatselijk of in zones afgevoerde lucht; de luchtstroom die door filtratie is gereinigd, mogen we in mindering brengen. De luchtstroom die naar de ruimte toegevoerd moet worden, berekenen we door
- $Q_{rt} = Q_{vr} - Q_{vf}$
- de luchtstroom die we moeten afvoeren, bepaalt u door de gewenste luchtstroom te verminderen met de luchtstromen die door plaatselijke ventilatie of zonebeluchting uit de ruimte worden afgevoerd en met het deel dat door filtratie (afdoende) is gereinigd
- $Q_{ra} = Q_{vr} - Q_{va} - Q_{vz} - Q_{vf}$
- als Q_{ra} lager is dan 0, dan is ruimtelijke afvoer niet nodig

VERKLARING VAN DE AFKORTINGEN

P_{vr}	productie van verontreinigingen in de ruimte in mg/s
Q_{ra}	uit de ruimte af te voeren (rest)luchtstroom in m^3/s
Q_{rt}	naar de ruimte toe te voeren luchtstroom in m^3/s
Q_{vr}	benodigde luchtstroom voor ruimteventilatie in m^3/s
Q_{va}	plaatselijk afgevoerde luchtstroom in m^3/s
Q_{vz}	door zonebeluchting of cabines afgevoerde luchtstroom in m^3/s
Q_{vf}	door filtratie (afdoende) gereinigde luchtstroom in m^3/s

RUIMTEVENTILATIE OM WARMTE AF TE VOEREN

De gewenste luchtstroom om warmte af te voeren berekenen we als volgt:

- bepaal via een warmtebalans de warmteproductie P_w die we door spuien moeten afvoeren
- meet de temperatuurtoename δt_{af} in de afvoer ten opzichte van de ruimte
- bereken nu de warmte die direct door eventuele plaatselijke ventilatiemaatregelen wordt afgevoerd
- $P_{w,af} = 1,2 \times \delta t_{af} \times Q_{va}$
- breng deze warmteafvoer in mindering en bereken de warmte die we door spuien moeten afvoeren uit de ruimte
- $P_s = P_w - P_{w,af}$
- bereken nu de benodigde luchtstroom voor spuien
- $Q_{rs} = P_s : 6$

N.B. De factor 1,2 is afgeleid uit het product van soortelijke massa s_m en soortelijke warmte s_w van lucht en is dus $1,2 \text{ kJ/m}^3\text{°C}$.

De factor 6 is afgeleid van het product van de factor $1,2 \text{ kJ/m}^3\text{°C}$ en 5°C (dit is de opwarming die is toegestaan).

VERKLARING VAN DE AFKORTINGEN

- $P_{w,af}$ plaatselijk afgevoerde warmtestroom in kW of J/s
 δt_{af} temperatuurverschil tussen afvoer- en ruimtelucht in °C
 q_{va} plaatselijk afgevoerde luchtstroom in m^3/s
 q_{rs} benodigde luchtstroom voor spuiventilatie van de ruimte in m^3/s
 P_s door spuien af te voeren warmtestroom in kW of J/s

VOLLEDIG MECHANISCHE RUIMTEVENTILATIE

Als we volledig mechanische ruimteventilatie toepassen en we nemen de verontreinigingsproductie als uitgangspunt dan is:

- de mechanische afvoer q_{ra}
- de mechanische toevoer q_{rt}

We kunnen q_{rs} als ontwerpwaarde voor zowel toe- als afvoer aanhouden als deze beperkt groter is. Warmteafvoer is dan het uitgangspunt.

MECHANISCHE AFVOER MET NATUURLIJKE TOEVOER

Als we mechanische ruimteventilatie toepassen met natuurlijke toevoer, dan is:

- de mechanische afvoer uit de ruimte q_{ra}
- de mechanische afvoer uit de ruimte is q_{rs} als deze waarde beperkt groter is

Het netto doorlaatoppervlak in m^2 voor natuurlijke toevoer A_{nt} berekenen we door:

$$A_{nt} = q_{rt} : 2 \text{ m/s}$$

De snelheid van 2 m/s is de gemiddelde stroomsnelheid bij mechanische afvoer.

Als u q_{rs} voor de afvoer uit de ruimte aanhoudt in plaats van q_{ra} , moet u in plaats van q_{rt} eveneens q_{rs} invullen.

Van het doorlaatoppervlak A_{nt} mag een lekoppervlak van 0,1 tot 1,0 m^2 worden afgetrokken. Nadere bepaling van het lekoppervlak kan met behulp van schema 6 (bladzijde 49) of uit meetgegevens.

Om het resterende doorlaatoppervlak om te rekenen naar in te bouwen roosteroppervlakken kunnen we specificaties van de roosters of de factoren uit schema 5 (bladzijde 49) hanteren.

VOLLEDIG NATUURLIJKE RUIMTEVENTILATIE

- De natuurlijke ventilatie van de ruimte ten behoeve van verdunning van verontreinigingen is gelijk aan q_{ra} .
- Voor het spuien van warmte is de ruimteventilatie q_{rs} .
- Kies van beide waarden de grootste voor de verdere berekening.
- Als u met q_{ra} doorrekent en $q_{ra} > q_{rt}$ (de afvoer is groter dan de toevoer), kan het verschil ($q_{ra} - q_{rt}$) zowel mechanisch als natuurlijk worden toegevoerd. In dit geval bepalen we het bij ($q_{ra} - q_{rt}$) behorende toevoeroppervlak zoals hierboven.
- Het overige doorlaatoppervlak voor volledige natuurlijke ventilatie A_n in m^2 wordt bepaald uit:

$$A_n = q_{ra} : 0,4 \text{ m/s}$$

De snelheid 0,4 m/s is de gemiddelde snelheid bij volledig natuurlijke ventilatie.

- Indien q_{rs} bepalend is, moet u deze in plaats van q_{ra} invullen.
- Van het doorlaatoppervlak A_n mag u een lekoppervlak van 0,1 tot 1,0 m² aftrekken. Nadere bepaling van het lekoppervlak kan met behulp van schema 6 of uit meetgegevens.
- Voor omrekening van het resterende doorlaatoppervlak naar in te bouwen roosteroppervlakken kunnen specificaties van de roosters of de factoren uit schema 5 worden gehanteerd.
- Ongeveer één derde deel van het totale doorlaatoppervlak moet u in het dak aanbrengen. De rest van de roosters verdeelt u gelijkmatig over ten minste twee verschillende, doch bij voorkeur alle gevels. Als slechts via één gevel in combinatie met het dak kan worden geventileerd, moet globaal het dubbele roosteroppervlak worden aangebracht.
- U moet de gevelroosters bij voorkeur op drie tot vier meter hoogte aanbrengen.
- Al naar gelang de bedrijfsomstandigheden moet u een handmatige of automatische regeling van de roosters kiezen.

9

AANSCHAF EN INSTALLATIE

ALS EEN BEDRIJF VENTILATIEVOORZIENINGEN AANSCHAFT, KAN HET VOOR TELEURSTELLINGEN KOMEN TE STAAN. MET DUIDELIJKE SPECIFICATIES KUNNEN VEEL PROBLEMEN WORDEN VOORKOMEN. OOK MOET HET BEDRIJF MET DE LEVERANCIER GOEDE AFSPRAKEN MAKEN OVER DE OPLEVERING, DE INSTALLATIE EN HET ONDERHOUD.

Met de informatie uit de vorige hoofdstukken kan een bedrijf vaststellen welke ventilatievoorzieningen voor bepaalde werksituaties geschikt zijn. Eventueel is daar ook nog specifieke deskundigheid voor nodig. Het bedrijf kan nu de voorzieningen aanschaffen en verwacht dan natuurlijk dat alles goed werkt. Jammer genoeg is dit niet altijd zo. Voorkomende knelpunten zijn:

- De voorzieningen werken anders dan het bedrijf had verwacht. Vaak is er vooraf dan geen duidelijk programma van eisen en wensen opgesteld.
- Het aangebrachte systeem wijkt af van het aangeboden systeem. Helaas komt dit onder prijsdruk nog voor.
- Voorzieningen zijn niet goed in bedrijf gesteld of ingeregeld.
- De bediening is te ingewikkeld.
- Er blijkt achteraf veel onderhoud nodig te zijn.

Om dit soort problemen te beperken doen we hier een aantal aanbevelingen. Deze zijn van invloed op de offerteaanvraag en lopen vooruit op normering die op dit gebied in ontwikkeling is, zowel in Nederland als in het buitenland (bijvoorbeeld ASHRAE in de Verenigde Staten en BSRIA in Groot-Brittannië).

In Nederland hebben de inspanningen van een studiegroep van de Stichting Bouwresearch (SBR) inmiddels geleid tot een *Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties*. Dit model is een goede aanvulling vanwege zijn uitgebreide overzicht van aandachtspunten vanaf het initiatiefstadium tot in de beheersfase.

9.1 OFFERTE

Het is belangrijk dat de toeleveranciers en een installateur of bouwer weten wat een bedrijf van hen verwacht. Andersom moeten zij aangeven wat het bedrijf kan verwachten van de voorzieningen die zij leveren. Om misverstanden te voorkomen zijn een goed programma van eisen en duidelijke specificaties in de offertes nodig.

SPECIFICATIES

Specificaties moeten ondubbelzinnig zijn. Kreten als: 'het systeem zal zorgen voor een uitstekende luchtkwaliteit' zijn veelbelovend, maar niets waard als het erop aankomt.

MEETBAAR EN
CONTROLEERBAAR

Specificaties moeten we uitdrukken in meetbare en controleerbare getallen. Vermijd onduidelijkheid over toegestane afwijkingen in specificaties. Accepteer bijvoorbeeld geen *circa*-omschrijvingen. Bij conflicten kan een aanbieder namelijk zeggen dat hij hiermee een variatie van ongeveer honderd procent bedoelde, terwijl de afnemer misschien dacht aan ongeveer vijf procent.

VOORBEELD-SPECIFICATIE

Een voorbeeld-specificatie voor een basisventilatiesysteem is:

Het systeem voorkomt overschrijding van de grenswaarde van ... ppm (= concentratie) ... (= stof) bij een productie-intensiteit van ... stuks ... (= type product). Om tocht en koude te beperken zal het systeem zorgen dat nergens in de verblijfszone van werknemers hogere lichtsnelheden dan 0,3 m/s en lagere temperaturen dan 15°C optreden.

Een voorbeeld-specificatie voor een spui-ventilatiesysteem is:

Het systeem beperkt de toename van de binnentemperatuur ten opzichte van de buitentemperatuur tot maximaal 5,0°C, uitgaande van de huidige warmtebelasting. Uitgangspunt voor de huidige warmtebelasting is:

- de warmteproductie bij een productie-intensiteit van ... stuks ... (= type product)
- uitgeschakeld verwarmingssysteem
- inschakeling van ... W aan verlichting
- bezonning van ... m² gevel waarvan ... % is afgeschermd door zonwering van het type ...

PRESTATIE Deze voorbeeld-specificaties leggen de *prestatie* van een systeem vast bij bepaalde voorwaarden. Het verbinden van voorwaarden aan de prestatie is logisch. De aanbieder kan uiteraard geen verantwoordelijkheid nemen voor onvoorziene, verzwarende omstandigheden.

CAPACITEIT Bij aanbieders leeft de opvatting dat zij geen prestaties hoeven te specificeren, maar wel de capaciteiten van systemen. Zij zeggen dus bijvoorbeeld wel welke luchtstroom het aangeboden ventilatiesysteem verplaatst, maar niet of dit tot een voldoende luchtkwaliteit en een tochtvrij klimaat leidt. Een afnemer kan dit accepteren. In zulke gevallen moeten afnemer en aanbieder op basis van vorige hoofdstukken in overeenstemming goed hebben vastgesteld welke luchtstroom nodig is. Tevens moeten ze hebben gecontroleerd of aan de voorwaarden voor tochtvrije inblaas is voldaan. Deskundige ondersteuning kan hierbij raadzaam zijn, al is het maar in de vorm van een offertebeoordeling door een onafhankelijke derde. Bij mechanische ventilatiesystemen wordt vaak de luchtstroom door de ventilator als specificatie gebruikt en hiermee wordt vaak de luchtstroom bij vrij uitblazen bedoeld. Bepalend is echter de ventilatiestroom bij de tegendruk die nodig is om de weerstand van het aanwezige ventilatiesysteem te overwinnen, zoals van kanalen en andere componenten. In specificaties moet dus uitdrukkelijk de eis staan dat de vereiste debieten in samengebouwde toestand van het ventilatiesysteem worden behaald.

GARANTIES

Verlang als afnemer garanties. Leg deze garanties evenals de specificaties vast in de offerte. Bij het in gebreke blijven moet de aanbieder zich verplichten zonder verdere kosten de tekortkomingen te verhelpen. Regel in de voorwaarden een onafhankelijke en bindende arbitrage bij onenigheid over het presteren van de aanbieder.

Spreek als afnemer bij de onderhandeling ook duidelijk af dat na installatie een onafhankelijke derde de specificaties zal controleren en dat zijn bevindingen bindend zullen zijn. Neem dit ook in het contract op. Een aanbieder die voor zijn product instaat, onderscheidt zich dan vanzelf. De afnemer kan uiteraard zelf bepalen of en wanneer hij dit zal gebruiken. Het zal in ieder geval raadzaam zijn, zodra twijfels over de werking van de installatie bestaan.

KOSTEN

De kosten van aanschaf van een systeem zullen voor een afnemer het belangrijkste onderdeel van de offerte zijn. Kosten moeten we echter altijd afwegen tegen:

- de prestatie van het systeem; ofwel hoe goed verbeteren de arbeidsomstandigheden? Neveneffecten tellen mee: tevreden personeel betekent minder vaak onaangenaam verrast worden door ziekmeldingen en minder gezeur. Geen stank of geluidsoverlast doen het ook goed in de beleving van omwonenden en bezoekende klanten.
- de kosten om het systeem in bedrijf te houden: energiekosten, onderhoudskosten en afschrijvingskosten (hoe lang gaat een investering in een systeem mee?)
- de betrouwbaarheid van het systeem; vaak optreden van storingen geeft productieverlies, veel rompslomp en is bovendien hinderlijk

Een goede aanbieder zal daarom de afnemer informeren over deze aspecten. De goedkoopste aanbieding zal dan vaak niet de beste keus blijken te zijn.

9.2 OPLEVERING

Zorg als afnemer dat u een werkend totaal-systeem koopt. Dit lijkt logisch. Er ontstaan echter nogal eens problemen.

INSTALLEREN

Het kan zijn dat bepaalde delen van het systeem door anderen worden geleverd. De aannemer kan bijvoorbeeld ventilatiestroosters plaatsen, terwijl een installateur ventilatoren aanbrengt. Ook kunnen bestaande onderdelen in het nieuwe systeem worden opgenomen. De onderlinge afstemming van de voorzieningen blijkt dan nogal eens niet te kloppen. Geen van de toeleveranciers weet zich dan verantwoordelijk voor het totaal.

Het is dus raadzaam één hoofdaannemer te nemen die anderen zonodig inhuurt. Deze hoofdaannemer dient voor de prestatie van het totale systeem in te staan.

INSTELLEN

Nadat een systeem is geïnstalleerd, moet het vaak nog worden ingesteld. Het stadium van de inregeling stelt de installateur in staat zelf de voorziening te controleren en zonodig nog aan te passen.

Instelling is vooral nodig voor mechanische ventilatie met roosters op verdeelkanalen. De inregeling betreft bijvoorbeeld het instellen van:

- de luchtverdeling over de roosters
- lamelstanden van roosters voor een juiste werp van de ingeblazen lucht
- de voedingsstroom naar eventueel aanwezige elementen die de lucht verwarmen, koelen of anderszins behandelen

Daarnaast moeten bij alle typen ventilatiesystemen meestal de regelstanden (hoog-, laag- en tussenstanden) worden ingesteld. In de praktijk komt het te vaak voor dat de verschillende regelstanden zich nauwelijks onderscheiden.

OPLEVERING

De volgende stap is de eigenlijke oplevering van het ventilatiesysteem. De installateur verklaart daarbij dat zijn werk klaar is en dat het ventilatiesysteem zijns inziens volgens specificaties functioneert. In verband met de aansprakelijkheid moet deze verklaring schriftelijk geschieden. Bij meer complexe systemen wordt aanbevolen dat de installateur daarbij een rap-

port overlegt met gegevens over de inregeling en verrichte aanpassingen. De installateur overlegt tevens een map met technische gegevens. Hierin vindt de afnemer bijvoorbeeld aansluitgegevens en karakteristieke technische gegevens van onderdelen. Deze heeft hij later nodig als bijvoorbeeld onderdelen moeten worden vervangen of als aanpassingen moeten worden verricht.

INSTRUCTIE EN CONTROLE

Bij de oplevering hoort ook een instructie over juist gebruik en bediening van het ventilatiesysteem. Deze instructie moet aan alle betrokken personeelsleden worden gegeven. Bij meer complexe systemen moet er een duidelijke, schriftelijke gebruiksaanwijzing zijn.

Aansluitend aan de oplevering vindt desgewenst de controle plaats. Deze wordt in principe door een onafhankelijke derde uitgevoerd. Zowel de opdrachtgever als de installateur moet in staat worden gesteld hierbij aanwezig te zijn.

9.3 ONDERHOUD EN BEDRIJFSVOERING

De installateur moet aangeven wat nodig is om de installatie zo lang en zo goed mogelijk in bedrijf te houden. Vraag als afnemer naar tips en voorschriften voor onderhoud en periodieke inspectie. De installateur moet vertellen waar veelgebruikte reserveonderdelen, zoals bijvoorbeeld filters, verkrijgbaar zijn. Laat hem aan de uitvoerenden in het bedrijf ook uitleggen hoe ze bepaalde onderhoudshandelingen moeten verrichten en waarop ze daarbij moeten letten.

Van sommige apparaten is het onderhoud nogal ingewikkeld. Het is raadzaam dit onderhoud uit te besteden. Veel installateurs bieden hiervoor een onderhoudscontract aan. Ze houden dan in de gaten dat op gezette tijden onderhoudswerk wordt uitgevoerd. Ze inspecteren tevens of onderdelen nog redelijk betrouwbaar zijn. Kleine storingen worden direct verholpen.

BIJLAGE 1 WOORDENLIJST

AFBUIGEN	Door plaatselijke ventilatie afbuigen van de vrijkomende warmte- of verontreinigingsstroom. Dit kan door afzuiging of door verdringing met sturlucht.
BEDRIJFSNORM	De door een bedrijf vastgestelde maximale concentratie van een stof in de lucht op de werkplek. Deze mag geen gezondheidsrisico opleveren in de omstandigheden bij het bedrijf.
BROEIKASEFFECT	Opwarming die het gevolg is van het feit dat de hete warmtestralen van de zon kortgolvig zijn en door glas heen een ruimte kunnen binnendringen. De zon warmt de voorwerpen in deze ruimte op en deze stralen warmtestralen terug. Deze zijn langgolvig, omdat de voorwerpen minder warm worden en ze kunnen niet door het glas heen naar buiten. Hierdoor warmt de ruimte op. De term wordt ook gebruikt voor de opwarming van de aarde. De dampkring heeft eenzelfde effect op de zonnestraling als glas.
BRONAFZUIGING (PUNT-, SPLEET-)	Directe verwijdering van verontreinigingen door plaatselijke ventilatie.
CABINES	Zie zonebeluchting.
CIRCULATIE	Verdunning van warmte of verontreinigingen door beweging van de aanwezige lucht. Kan een onderdeel zijn van mengventilatie.
CIRCULATIEVOUD	Maat voor circulatie van lucht: het aantal malen dat het ruimtevolume (de lucht in de ruimte) per uur wordt rondgepompt.
DEBIET	Het volume lucht dat per tijdseenheid wordt af- of aangevoerd (in m ³ /s). Het afzuigdebiet is de volumestroom bij plaatselijke afzuiging. Bij lokale verdringing definieert men een toevoerdebiet. Het ventilatiedebiet is de hoeveelheid aangevoerde, verse lucht bij ruimteventilatie. In plaats van debiet spreekt men ook van stroom. Alle toe- of afgevoerde volumestromen moeten worden aangezuiverd met een groot suppletiedebiet, zodat altijd even veel wordt toegevoerd als afgevoerd.
FILTRATIE	Luchtreiniging.
INFILTRATIE	De luchtstroom door kieren en naden in een gebouw.
KLIMAATINDEX	Criterium voor de toelaatbare opwarming van personen in een ruimte. Is bijvoorbeeld gebaseerd op een aantal klagers van minder dan twintig procent gedurende negentig procent van de werktijd.
L-INDEX	Dit is een criterium voor toelaatbare opwarming. Deze index is gecorrigeerd voor de luchtvochtigheid. Bij een relatieve hogere luchtvochtigheid is de L-index hoger dan bij een lagere. Op deze manier wordt ermee rekening gehouden dat de mogelijkheid tot zweetverdamping bij hoge luchtvochtigheid lager is, waardoor iemand zijn lichaamswarmte minder makkelijk kwijt kan. De absolute bovengrens is 29°C bij een luchtvochtigheid van honderd procent.
LUCHTBUFFER	Deze luchtmassa onder de afzuigkap zorgt ervoor dat bij stootvormig uitgestoten verontreinigingen de energie van de stoot wordt opgevangen. De afzuiging hoeft dan niet voortdurend op vol vermogen te draaien.

LUCHTCONDITIONERING	Mechanische ventilatie waarbij de lucht wordt verwarmd, gekoeld, bevochtigd, ontvochtigd of gereinigd.
MAC-WAARDE	De maximale aanvaarde concentratie van een gas, damp of stof in de lucht op de werkplek, bij blootstelling gedurende acht uur per dag, een arbeidsleven lang.
MENGVENTILATIE	In grote ruimten worden verontreinigingen of warmte beheerst door ze te vermengen met verse lucht; dus niet door verdringen of verplaatsen maar door verdunnen. Dit duiden we ook aan met de term ruimtelijke ventilatie. Deze kan op zowel mechanische (met ventilatoren) als natuurlijke wijze (onder invloed van wind en thermiek) plaatsvinden.
ONTWERPCONCENTRATIE	Het ventilatiesysteem brengt de verontreinigingenconcentratie terug tot maximaal dit niveau. Deze ontwerpconcentratie is gebaseerd op de MAC-waarde of een andere grenswaarde gedeeld door een veiligheidsmarge.
ppm	Parts pro million: 1 cm ³ gas of damp per 1 m ³ lucht
PUSH-PULL-SYSTEEM	Plaatselijke ventilatie waarbij afzuiging en verdringing gecombineerd worden. Met stuurlicht wordt de af te voeren lucht naar een afvoersysteem geblazen.
REDUCTIEFACTOR	Het aantal malen dat de blootstelling aan warmte of verontreinigingen minder moet worden door het nemen van maatregelen. Zie ook vangrendement.
SMOREN	Door een grotere of kleinere weerstand worden de doorlaten van de roosters in een ventilatiekanaal meer of minder aangepast. Zo wordt de doorlaat aangepast aan het drukverschil over alle roosters in een kanaal en stroomt door alle een gewenste hoeveelheid lucht.
SPIUVENTILATIE	Afvoeren van warmte middels ruimteventilatie, ook spuien genoemd. De warmte die zo verdwijnt is de ventilatiewarmte.
STROOMSNELHEID	Algemeen: de snelheid waarmee lucht beweegt. In het bijzonder: de snelheid waarmee lucht vanuit de ene ruimte de andere binnenstroomt, of waarmee lucht van buiten naar binnen stroomt of omgekeerd. We spreken van overstroom-, instroom- en uitstroomsnelheid. Een te hoge stroomsnelheid veroorzaakt tocht.
THERMIEK	Het opstijgen van warme lucht. Dit veroorzaakt een natuurlijke ventilatie. Tevens ontstaat temperatuurverloop (of -gradiënt) met de hoogte.
TRANSMISSIEWARMTE	Zie warmteafvoer.
VANGRENDEMENT	Het percentage verontreiniging of warmte dat via de afzuiging verdwijnt.
VANGSNELHEID	De stroomsnelheid die nodig is om met plaatselijke afzuiging verontreinigingen te vangen. Deze is afhankelijk van de stand van de afzuigmond en de verspreidingsrichting van de verontreiniging. Het vangbereik neemt snel af met de afstand tot de zuigmond.
VEILIGHEIDSMARGE	Is gebaseerd op de gemiddelde verontreinigingenconcentratie in de ruimte en uitschieters daarin en speelt een rol bij het bepalen van de ontwerpconcentratie. Als uitschieters bijvoorbeeld tienmaal hoger zijn dan de gemiddelde concentratie, dan is de veiligheidsmarge 10 en zal het bedrijf ernaar streven om met ventilatie een concentratie te bereiken van tien procent van de MAC-waarde (of een andere grenswaarde).

VENTILATIE-EFFICIËNTIE-INDEX	Een maat om de effectiviteit van de ventilatie weer te geven. Bijvoorbeeld de verhouding tussen de lokale concentratie bij de bron en de concentratie in de afvoer. Een efficiënte ventilatie zorgt voor een relatief lage concentratie of warmtebelasting in de werkzone.
VENTILATIESTROOM	Een maat voor mengventilatie of ruimtelijke ventilatie: het volume doorgevoerde verse lucht per tijdseenheid (m^3/s). Wordt ook wel ventilatie-debiet genoemd. Het gaat hier om een concrete hoeveelheid lucht; zie ook ventilatievoud.
VENTILATIEVOUD	Een maat voor mengventilatie of ruimtelijke ventilatie: de verse-luchtstroom per uur gedeeld door het ruimtevolumen. Een ventilatievoud van drie luchtwisselingen per uur betekent dat we per uur driemaal het ruimtevolumen uitwisselen. Eenzelfde ventilatievoud in een ruimte die tweemaal zo klein is, betekent dat de hoeveelheid die uitgewisseld wordt tweemaal zo klein is. Het is een maat die gerelateerd is aan het volume van de ruimte waarin wordt geventileerd.
VENTILATIEWARMTE	De warmtestroom in J/s of W die gespuid of geventileerd wordt.
VERDRIJFSNELHEID	De stroomsnelheid die nodig is om met plaatselijke ventilatie verontreinigingen te verdrijven. Deze is afhankelijk van de stand van de aanblaasmond en de verspreidingsrichting en -snelheid van de verontreiniging.
VERDRINGING	Directe verwijdering van verontreinigingen door een sturende luchttoevoer. Het toevoerdebiet is de hoeveelheid lucht die daar per tijdseenheid voor nodig is (in m^3/s). Wordt ook als verdrijven aangeduid.
VERDUNNING	Verdunning van de verontreinigingenconcentratie door ruimtelijke ventilatie. Ook wel menging genoemd.
VERONTREINIGINGENPRODUCTIE	De hoeveelheid verontreiniging die per seconde geproduceerd wordt. Wordt weergegeven in cm^3/s of mg/s .
VERSPREIDINGSSNELHEID	De snelheid waarmee een verontreiniging zich in de ruimte verspreidt. Deze kan variëren van 0,25 tot 10 m/s afhankelijk van het proces van de werkhandelingen. Ook wel stromingssnelheid genoemd.
WARMTEACCUMULATIE	Opvangen van de geproduceerde warmte in een medium, bijvoorbeeld de bouwmasa of een tank met koelvloeistof.
WARMTEAFVOER	Algemeen: alle vormen van warmteafvoer. Hier specifiek: de overtollige warmte die via geleiding door het gebouw naar buiten gaat en daar wordt afgevoerd; ook wel warmtetransport, warmtedoorgang of transmissie genoemd. De warmte die zo verdwijnt is de transmissiewarmte.
WARMTECAPACITEIT	De hoeveelheid warmte die 1 kg van een stof kan bevatten als die 1°C (of 1 graad Kelvin) wordt opgewarmd. Wordt uitgedrukt in J/kg.K. Een stof met een hoge warmtecapaciteit wordt minder snel warm dan een stof met een lage warmtecapaciteit.
WARMTEDOORGANGS-COËFFICIËNT	Een maat voor de warmtestroom door een constructie: de hoeveelheid warmte in J die per tijdseenheid s over 1 m^2 wordt uitgewisseld met de omgeving als voor de constructie 1°C temperatuurverschil aanwezig is. Een hoge doorgangscoefficiënt betekent een slechte isolatie, een lage een goede isolatie.

WARMTELAST	Algemeen: de warmte die in een gebouw vrijkomt. Specifiek: de zonne-warmte die in een gebouw vrijkomt per m^2 glas waar de zon vol op schijnt in W/m^2 of $\text{J}/\text{s m}^2$. Deze is afhankelijk van het type gebouw (beton, steen, beplating).
WARMTEPRODUCTIE	Productie van warmte per tijdseenheid door de zon, het productieproces, de aanwezige werknemers et cetera, waardoor een industriële ruimte op-warmt (in J/s of W).
WARMTEWERING	Terugdringing van de warmteoverdracht naar personen, bijvoorbeeld door isolatie van machines of door afzuiging.
WORP	De weg of baan van ingeblazen of aangezogen lucht die nog merkbaar is. Voordat deze lucht de temperatuur van de binnenlucht heeft aangenomen en voordat de stroomsnelheid is afgenomen tot zo'n $0,2 \text{ m/s}$, is ze nog merkbaar.
ZONEBELUCHTING	Een vorm van plaatselijke ventilatie op plaatsen waar geen duidelijke bron-nen en werkplekken te onderscheiden zijn. Zo'n productiezone wordt afge-schermd en in haar geheel geventileerd. Bij afscherming met vaste wanden spreken we van cabines.

BIJLAGE 2 INDEX

- AFBUIGEN VAN LUCHT 27
 AFZUIGING 7, 28
 ARBEIDSHYGIËNISCHE STRATEGIE 6
 ARBOWET 6
- BEDRIJFSNOODPLAN 25
 BLOOTSTELLINGSMETING 15
 BOUWBESLUIT 5
 BROEIKASEFFECT 19
 BRONMOBILITEIT 11
 BRONAFMETINGEN 11
 BRONAFSCHERMING 58
 BRONAFZUIGING 7, 28
 BRONEIGENSCHAPPEN 9, 58
 BRONMAATREGELEN 7
- CABINES 36
 CALAMITEITEN 25
 CIRCULATIE 43
 CIRCULATIEVOUD 43
 CONCENTRATIEPATROON 14
- DEBIET 30
 DIMENSIONERING
 – AFZUIGING 59
 – RUIMTEVENTILATIE 62
 – VERDRINGING 60
 – ZONEBELUCHTING 60
 DRUKVERSCHIL 45
- FLENS 29
 FILTRATIE 45
- GRENSWAARDE 16
- INBLAASSNELHEID 33
 INFILTRATIE 45
 INSTELLEN 66
 INSTRUCTIE 37, 67
 INVANGEN 27
 ISOLATIE 20, 32
- KANAALDOORSNEDE 53
 KANAALSYSTEMEN 53
 KLIMAATINDEX 6, 23
 KORTSLUITING 44
- LASSEN 7, 11, 13, 27
 LEKOPPERVLAK 45, 49
 LUCHTBUFFER 32
 LUCHTCONDITIONERING 52
 LUCHTVERDEELSYSTEEM 52
- MENGVENTILATIE 39, 61
- ONTWERPCONCENTRATIE 15
 OVERSTROOMSNELHEID 37
- PASSEERAFSTAND 28
 PRESTATIEVERPLICHTING 8
 PROCESWARMTE 19
 PUNTAZFUIGING 30
 PUSH-PULL-SYSTEEM 34
- RECIRCULATIE 45
 REDELIJKERWIJSBEGINSEL 7
 REDUCTIEFACTOR 27
 ROOSTEROPPERVLAK 49
 ROOSTERPOSITIE 48
- SICK-BUILDING-SYNDROOM 52
 SMOORKLEPPEN 54
 SPLEETAZFUIGING 30
 SPUIVENTILATIE 22, 61
 STROMINGSBEHEERSING 34
 STROOMSNELHEID 36, 37
- TEMPERATUURGRADIËNT 22
 THERMIEK 48
 THERMISCH KLIMAAT 6, 22
 TOCHT 24
 TOCHTBEPERKING 24
 TOXISCHE-STOFFENBELEID 6
 TRANSMISSIEWARMTE 22
 TRANSPORTSNELHEID IN KANALEN 53
- VANGBEREIK 29
 VANGRENDEMENT 27
 VANGSNELHEID 28
 VEILIGHEIDSMARGE 16, 41
 VENTILATIE
 – BASISEISEN 55
 – MECHANISCHE 51, 62
 – NATUURLIJKE 47, 62
 VENTILATIE-EFFICIËNTIE 40
 VENTILATIEPRESTATIE 65
 VENTILATIEBEHOEFTE 5
 VENTILATIECAPACITEIT 65
 VENTILATIEROOSTERS 51
 VENTILATIESTROOM 40, 42
 VENTILATIESYSTEEM
 – AANSCHAF 64
 – CONTROLE 67
 – GARANTIES 65
 – INSTALLATIE 66
- MOBILITEIT 59
 – OFFERTE 64
 – ONDERHOUD 67
 – OPLEVERING 66
 – SPECIFICATIES 64
 VENTILATIEVERPLICHTING 5
 VENTILATIEVOUD 39, 42
 VERDRIJFSNELHEID 28
 VERDRIJVEN 26
 VERDRINGEN 33
 VERDUNNEN 39
 VERONTREINIGING
 – CONCENTRATIE 57
 – PRODUCTIE 11
 – SOORTEN 1
 VERSPREIDINGSSNELHEID 12
- WARMTEACCUMULATIE 20
 WARMTEAFVOERSTROOM 19
 WARMTECAPACITEIT 21
 WARMTELAST 19
 WARMTEPRODUCTIE 18
 WARMTEREDUCTIE 20
 WARMTETERUGWINNING 52
 WARMTEWERING 20
 WERKORGANISATIE 57
 WIND 47
 WORP 44
- ZONEBELUCHTING 36
 ZONNEWARMTE 19
 ZWARE DAMP 13

BIJLAGE 3 AFKORTINGEN

ACGIH	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
AMvB	Algemene Maatregel van Bestuur
CP-BLAD	Concept-Publikatieblad
CPR-BLAD	Uitgave van de Commissie Preventie van Rampen door gevaarlijke stoffen
I-SZW	Inspectiedienst van het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, waaronder de vroegere Arbeidsinspectie Instituut voor Stimulering van Studie en Onderzoek ISSO
L-INDEX	Klimaatcriterium of criterium voor warmtebeleving
MAC	Maximale Aanvaarde Concentratie
NNI	Nederlands Normalisatie Instituut
P-BLAD	Publikatieblad van de I-SZW waarin wetten en regelingen worden toegelicht
PMV	Predicted Mean Vote: te verwachten klimaatoordeel
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied: voorspelde percentage ontevreden met het klimaat
VBF	Veiligheidsbesluit Fabrieken en Werkplaatsen
VBR	Veiligheidsbesluit Restgroepen

FYSISCHE FACTOREN

A	Doorsnede of oppervlakte, bijvoorbeeld van de zuigmond, in m^2
A _{flens}	Oppervlak van de flens in m^2
A _{nt}	Doorlaattooppervlak voor natuurlijke toevoer in m^2
A _n	Doorlaattooppervlak voor natuurlijke ventilatie in m^2
A _{netto}	Netto roosteroppervlak
A _{inbouw}	Inbouwoppervlak van een rooster
A _z	De doorsnede A _z van de zone bij zonebeluchting in m^2
C	Concentratie in ppm of mg/m^3
C _{af}	Concentratie van verontreinigingen in de afvoer in mg/m^3
D	Diameter, bijvoorbeeld van uitblaasmond, in m
δ _t	Temperatuuroptoe name of opwarming in °C
δ _{t_{af}}	Temperatuurverschil tussen afvoer- en ruimtelucht in °C
H	Hoogte, bijvoorbeeld van de afzuigkap boven werkplek, in m
L	Lengte, bijvoorbeeld van de uitblaasspleet, in m
O	Omtrek, bijvoorbeeld van de afzuigkap, is $2 \times (L + B)$ in m
ppm	Parts pro million: 1 cm^3 van een gas of damp in 1 m^3 lucht
P _{rel}	Gewogen (of relatieve) bijdrage aan de totale verontreinigingenproductie
P _a	Pascal, maat om druk en dampspanning weer te geven = N/m^2
P _s	Door spuien af te voeren warmtestroom in kW (ook P _{spui} genoemd)
P _w	Warmteproductie in Watt of J/s
P _{w, af}	Plaatselijk afgevoerde warmtestroom in kW of J/s
p _v	Verontreinigingenproductie van één bron in mg/s
p _{vr}	Productie van alle verontreinigingen in de ruimte in mg/s
q _{ra}	Uit de ruimte af te voeren (rest)luchtstroom in m^3/s
q _{rs}	Benodigde luchtstroom voor spuiventilatie uit de ruimte in m^3/s
q _{rt}	Naar de ruimte toe te voeren luchtstroom in m^3/s
q _v	Luchtvolumestroom of debiet in m^3/s
q _{va}	Afgevoerde luchtstroom of afzuigdebiel in m^3/s
q _{vf}	Door filtratie (afdoende) gereinigde luchtstroom in m^3/s
q _{vr}	Benodigde luchtstroom voor ruimteventilatie in m^3/s (ook wel q _v)
q _{vt}	Toegevoerde luchtstroom of toevoerdebiet in m^3/s
q _{vz}	De benodigde luchtstroom voor zonebeluchting in m^3/s
v _p	Vangsnelheid of verdrijfsnelheid van plaatselijke ventilatie in m/s
v _u	Uitblaassnelheid in m/s

- v_v Verspreidingssnelheid van verontreinigingen in m/s
- v_z Stroomsnelheid in de zone
- x Maximale passeerafstand (verdrijfafstand/vangafstand) in m

BIJLAGE **4** LITERATUUR EN NUTTIGE ADRESSEN

Arbowet met verwijzingen naar VBF en VBR. SDU uitgeverij, 's-Gravenhage. Tevens: Ministerie SZW, dienst Voorlichting, postbus 90804, 2509 LV 's-Gravenhage, tel. 070-3334444.

Boleij J. e.a. Karakterisering van blootstelling aan chemische stoffen in de werkomgeving. PUDOC, Wageningen, 1987.

Bouwbesluit. Eisen voor niet-tot-bewoning-bestemde gebouwen. Ministerie VROM, 's-Gravenhage, 1995.

Industrial Ventilation. A Manual of Recommended Practice. ACGIH, 1984, Cincinnati (OH) USA. Dit boek geeft praktische uitwerkingen van ventilatievoorzieningen voor veel verschillende arbeidssituaties.

ISSO-8. Berekening van het thermisch gedrag van gebouwen bij zomerontwerpcondities. ISSO, Rotterdam, 1985. Een andere ISSO publicatie is het Handboek Installatietechniek, 1994. Dit behandelt uitvoerig de basisbeginselen van de installatietechniek. De ISSO geeft voorts publicaties uit over specifieke installatietechnische onderwerpen. Voor vragen: postbus 1819, 3000 BV Rotterdam, tel. 010-4146022 of fax 010-2130384.

Kwaliteitshandboek Luchtkanalen, Kwaliteitsnormen voor Luchtkanalen. Nederlandse Vereniging van Luchtkanalenfabrikanten, Eindhoven, 1989.

Marquart J., Geuskens R.B.M. Risico-inventarisatie en -evaluatie van toxische stoffen. Praktijkgids Arbeidshygiëne, NIA, Amsterdam, maart 1996.

Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties. Stichting Bouwresearch, Rotterdam, 1995.

NEN-ISO 7730. Gematigde thermische klimaatomstandigheden. Bepaling van de indices PMV en PPD en omschrijving van de voorwaarden voor thermisch comfort. NNI, Delft, 1989.

NNI. Het Nederlands Normalisatie Instituut heeft een helpdesk die voor u informatie kan zoeken over Nederlandse en Europese normen en richtlijnen. Deze bestrijken onder meer de terreinen veiligheid en gezondheid. Ook voor de arbeidshygiëne vindt u hier nuttige informatie. U kunt ook zelf (gratis) informatie zoeken als u NNI bezoekt. Geselecteerde documentatie kan direct (mits voorradig) tegen vergoeding worden meegenomen. Informatie: NNI, Kalfjeslaan 2, Delft, postbus 5059, 2600 GB Delft, tel. 015-2690390 of fax 015-2690190.

P-bladen Inspectiedienst SZW. Onder meer P 30: Bouw en inrichting van bedrijfsruimten, maar ook veel specifieke onderwerpen. Overzichtslijst en specifieke bladen bij SDU uitgeverij, postbus 20014, 2500 EA 's-Gravenhage, tel. 070-3789880 of fax 070-3789783.

Richtlijnen voor de bouw, de inrichting en de schietveiligheid van binnenschietbanen voor politiedoeleinden. Rijksgebouwendienst, 's-Gravenhage, 1985.

TNO Centrum voor Arbeid. Voor onderzoeksvragen en niet-standaard maatregelen op het gebied van Arbeidsomstandigheden. Inlichtingen: postbus 2215, 2301 CE Leiden, tel. 071-5181700 of fax 071-5176382.

TVVL cursusmateriaal onder meer 'Luchtbehandelingstechniek', 'Klimaattechniek voor Arbodeskundigen' en 'Milieuzorg en Installatietechniek'. Inlichtingen cursussen tel. 033-4634388. Verenigingsbureau tel. 033-4617496 of fax 033-4637050.

VABI-programmatuur. De VABI verzorgt computerprogrammatuur voor installatieontwerpen. Inlichtingen: Bureau VABI, postbus 29, 2600 AA Delft, tel. 015-2608500 of fax 015-2608501.

Westenend A., Stevens T. Toxische-stoffenbeleid: opzetten en uitvoeren. Praktijkids Arbeidshygiëne, NIA, Amsterdam, april 1995.

Zwaard, A.W., Heesen Th.J. Bronbestrijding: vrijkomen van toxische stoffen beperken. Praktijkids Arbeidshygiëne, NIA, Amsterdam, juni 1994.

De 'Praktijkgidsen Arbeidshygiëne' informeren over actuele thema's op het gebied van het werken met toxische stoffen en andere arbeidshygiënische thema's. Centraal staat de toepasbaarheid van de informatie in de dagelijkse bedrijfspraktijk. Op die wijze bieden de Praktijkgidsen ondersteuning bij het treffen van maatregelen. Een redactieraad van deskundigen bewaakt de kwaliteit van de Praktijkgidsen.

REDACTIERAAD 'PRAKTIJKGIDSEN ARBEIDSHYGIËNE'
drs. J. Bus (eindredacteur, NIA), dr. ir. D. Heederik RAH (arbeidshygiënist, LU Wageningen,), ir. Th.J. Heesen RAH (arbeidshygiënist, Chemiewinkel UvA), ing. P. Iping, drs. M. Koene (toxicoloog, NIA), drs. G. van der Laan (bedrijfsarts, Nederlands Centrum voor Beroepsziekten), ing. H. van Marle RAH, ir. J. Marquart RAH (arbeidshygiënist, TNO Centrum voor Arbeid), dr. T. Spee RAH (arbeidshygiënist, stichting Arbouw), drs. T. Stevens (arbeidshygiënist, NIA), drs. H. Tönissen (chemicus, NIA), drs. M. Wilders (medisch bioloog), dr. W. Zwaard (veiligheidkundige, RU Leiden).

OVERZICHT 'PRAKTIJKGIDSEN ARBEIDSHYGIËNE'

- Opsporen en beoordelen van informatie over toxische stoffen (april 1994).
- Toxische-stoffenbeleid: opzetten en uitvoeren (juni 1994, herzien april 1995).
- Bronbestrijding: vrijkomen van toxische stoffen beperken (juni 1994).
- Toxische stoffen en werkende mens effectief scheiden (juni 1994).
- Asbest: een handleiding voor opsporing en integrale aanpak (november 1994).
- Micro-organismen, plantaardige en dierlijke stoffen op het werk (juli 1995).
- Infectierisico's door besmet bloed (december 1995).
- Risico-inventarisatie en -evaluatie van toxische stoffen (maart 1996).
- Ventilatie en afzuiging van toxische stoffen en warmte (augustus 1996).

Zodra daar aanleiding toe is, wordt de inhoud van de Praktijkgidsen aangepast aan nieuwe ontwikkelingen. Let daarom op de datum en vraag zonodig na of recentere versies voorradig zijn.

BESTELLEN

De prijs wordt bepaald door het aantal pagina's. Een abonnement op de 'Praktijkgidsen Arbeidshygiëne' is het voordeligst: de abonnee betaalt minder per pagina (in 1996 f 0,60 excl. BTW) en ontvangt automatisch de nieuwe Praktijkgidsen Arbeidshygiëne. Een abonnement kan elk moment ingaan en schriftelijk weer opgezegd worden. De Praktijkgidsen kunnen ook ieder afzonderlijk besteld worden (in 1996 f 0,95 excl. BTW per pagina).

INFORMATIE

Verdere informatie over de 'Praktijkgidsen Arbeidshygiëne' en andere uitgaven bij:

NIA Klantenservice

Postbus 75665, 1070 AR Amsterdam

fax (020) 64 43 102,

telefoon (020) 54 98 404

The logo for NIA (Nederlandsche Instituut voor Arbeidshygiëne) is located in the bottom right corner. It consists of the letters 'NIA' in a bold, stylized font. The 'N' and 'I' are connected, and the 'A' is separate. The letters are black with a white outline.