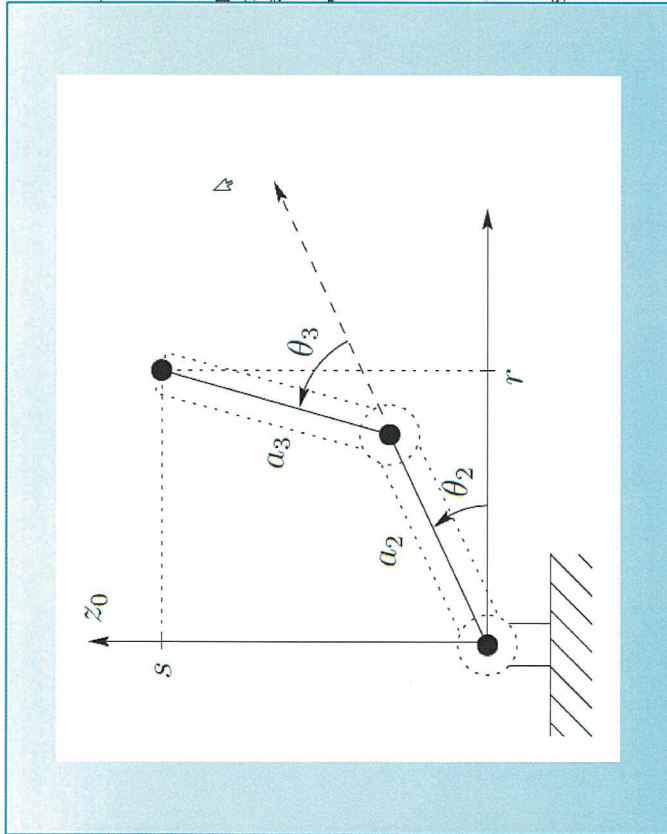


"Beskrivelse" af robot bevægelse



TEKNOLOGISK
INSTITUT



$$\dot{q}_2 = \frac{1}{2a_1 a_2} \frac{1}{\sqrt{(2a_1 a_2)^2 - (w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - a_2^2)^2}} \quad (18)$$

$$\times \frac{2w_1 \dot{w}_1 + 2w_2 \dot{w}_2}{2a_1 a_2} \quad (19)$$

$$\dot{q}_2 = \frac{2(w_1 \dot{w}_1 + w_2 \dot{w}_2)}{2 \left[(2a_1 a_2)^2 - (w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - a_2^2)^2 \right]^{1/2}} \quad (20)$$

$$\dot{q}_2 = \mp \frac{2(w_1 \dot{w}_1 + w_2 \dot{w}_2)}{\sqrt{(2a_1 a_2)^2 - (w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - a_2^2)^2}} \quad (21)$$

Computation of Base Rate \dot{q}_1

It is the rate at which the base joint is driven or moves and is directly α^d to the output speed of base motor [12]. It involves more number of computations and depends on intermediate variables b_1 and b_2 . Note that in this paper, the rate at which the base joint should be driven is expressed in terms of b_1 , b_2 and its derivatives [1].

$$\dot{q}_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(a_1 + a_2 C_2)w_2 + (a_2 S_2)w_1}{(a_1 + a_2 C_2)w_1 - (a_2 S_2)w_2} \right\} \quad (22)$$

$$= \tan^{-1} \left\{ \frac{b_2}{b_1} \right\}; \quad (23)$$

Differentiating this equation q_1 w.r.t. b , we get,

$$\dot{b}_1 = (a_1 + a_2 C_2) \dot{w}_1 - (a_2 S_2) \dot{w}_2 \quad (24)$$

$$\dot{b}_2 = (a_1 + a_2 C_2) \dot{w}_1 + w_1 (-a_2 S_2 \dot{q}_2) - a_2 S_2 \dot{w}_2 - a_2 w_2 C_2 \dot{q}_2 \quad (25)$$

$$= (a_1 + a_2 C_2) \dot{w}_1 - a_2 S_2 \dot{w}_2 - a_2 (S_2 w_1 + C_2 w_2) \dot{q}_2 \quad (26)$$

$$= (a_1 + a_2 C_2) \dot{w}_2 + (a_2 S_2) w_1 \quad (27)$$

$$\dot{b}_2 = (a_1 + a_2 C_2) \dot{w}_2 - a_2 S_2 w_2 \dot{q}_2 + a_2 S_2 \dot{w}_1 + a_2 C_2 w_1 \dot{q}_2 \quad (28)$$

$$= (a_1 + a_2 C_2) \dot{w}_2 + a_2 S_2 \dot{w}_1 + a_2 (C_2 w_1 - S_2 w_2) \dot{q}_2 \quad (29)$$

$$\dot{q}_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{\dot{b}_2}{b_1} \right\} \quad (30)$$

$$\dot{q}_1 = \frac{d}{dw} \left(\tan^{-1} \left\{ \frac{b_2}{b_1} \right\} \right) \quad (31)$$

ven by

l b_2 . These
he coupling
e., the rate at

ms :

$S_1 S_2$)

S_2)

$$w_6 = -\exp\left(\frac{q_4}{\pi}\right)$$

The rate at which the joints are driven can be found out by differentiating the expressions for joint angles from equations (3) to (7).

Computation of Elbow Rate \dot{q}_2

It is the rate at which the elbow joint is driven and depends on b_1 , b_2 and its derivatives and is directly α^d to the output speed of elbow motor [1].

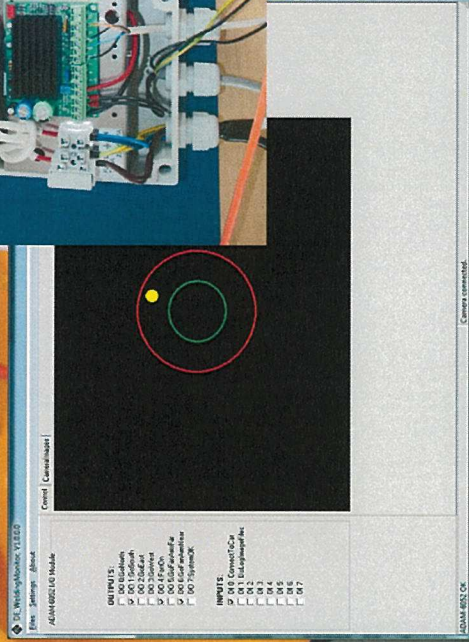
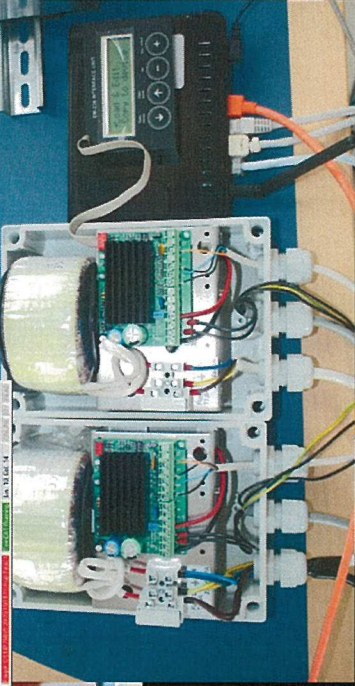
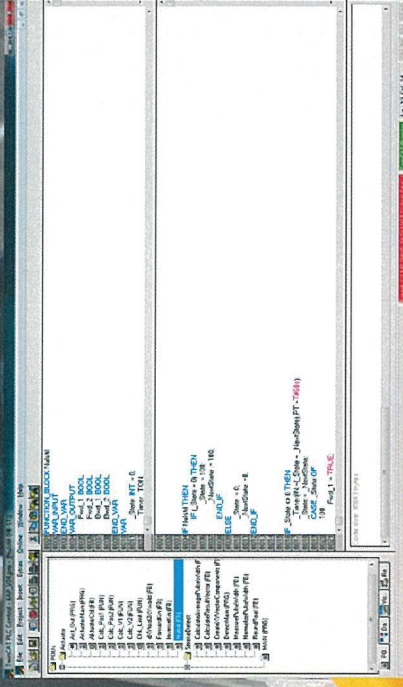
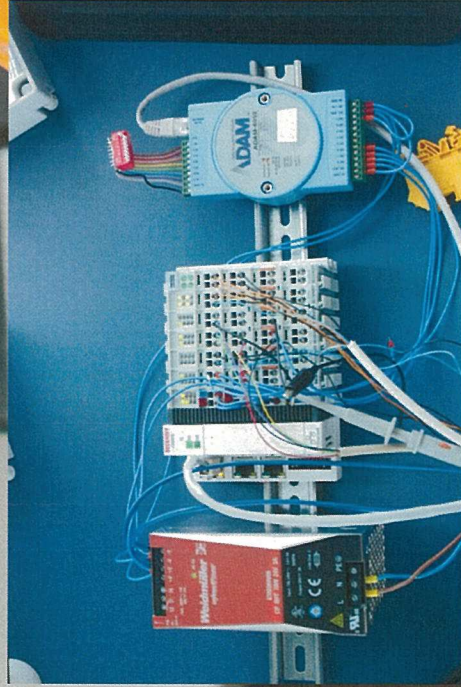
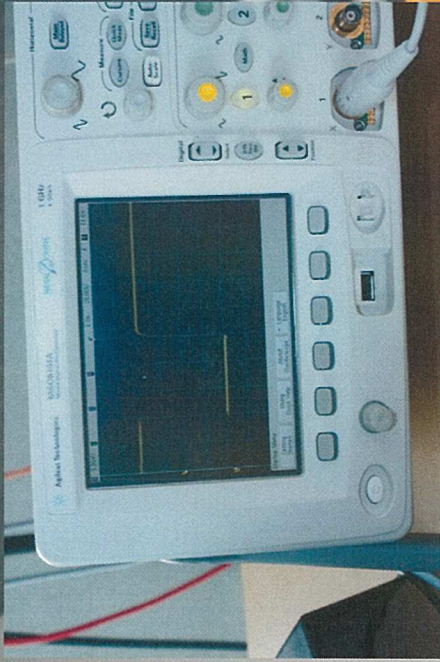
$$q_2 = \pm \cos^{-1} \left\{ \frac{w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1 a_2} \right\} \quad (15)$$

Differentiating the expression for q_2 expression w.r.t. w , we get,

$$\dot{q}_2 = \frac{d}{dw} (q_2) = \frac{1}{\sqrt{(2a_1 a_2)^2 - (w_1^2 + w_2^2 - a_1^2 - a_2^2)^2}}$$

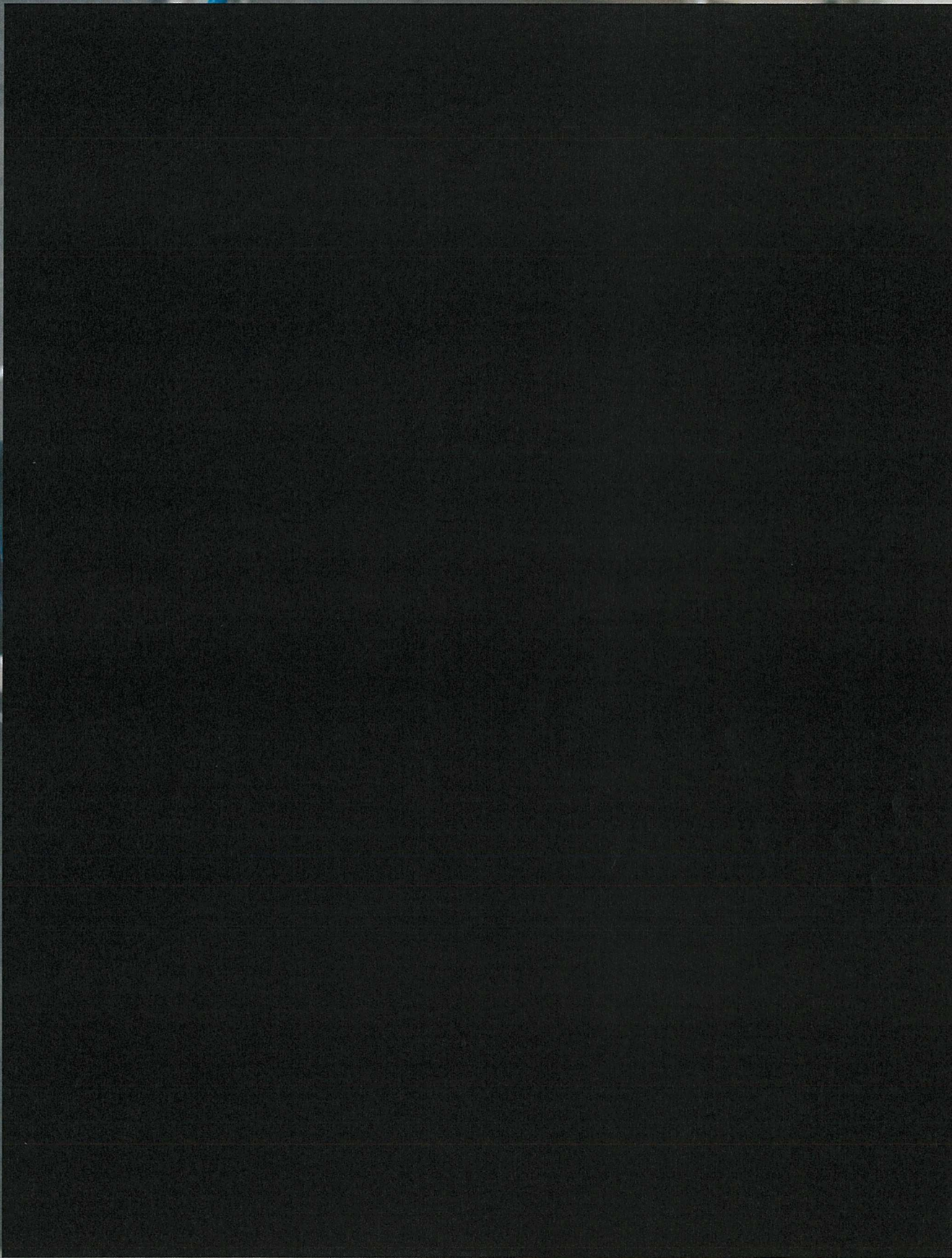


Idéen er, at gøre punktudsug bevægelige ved brug af automatik- og robotteknologi og med en intelligent styring og sensorteknik. Således bliver sugehoven bevægelig i sig selv og kan automatisk følge bearbejdningsarbejdet og forureningskilden.




**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Signaler fra sensorer behandles af PLC styring der positionere sugearmen via aktuatorer.





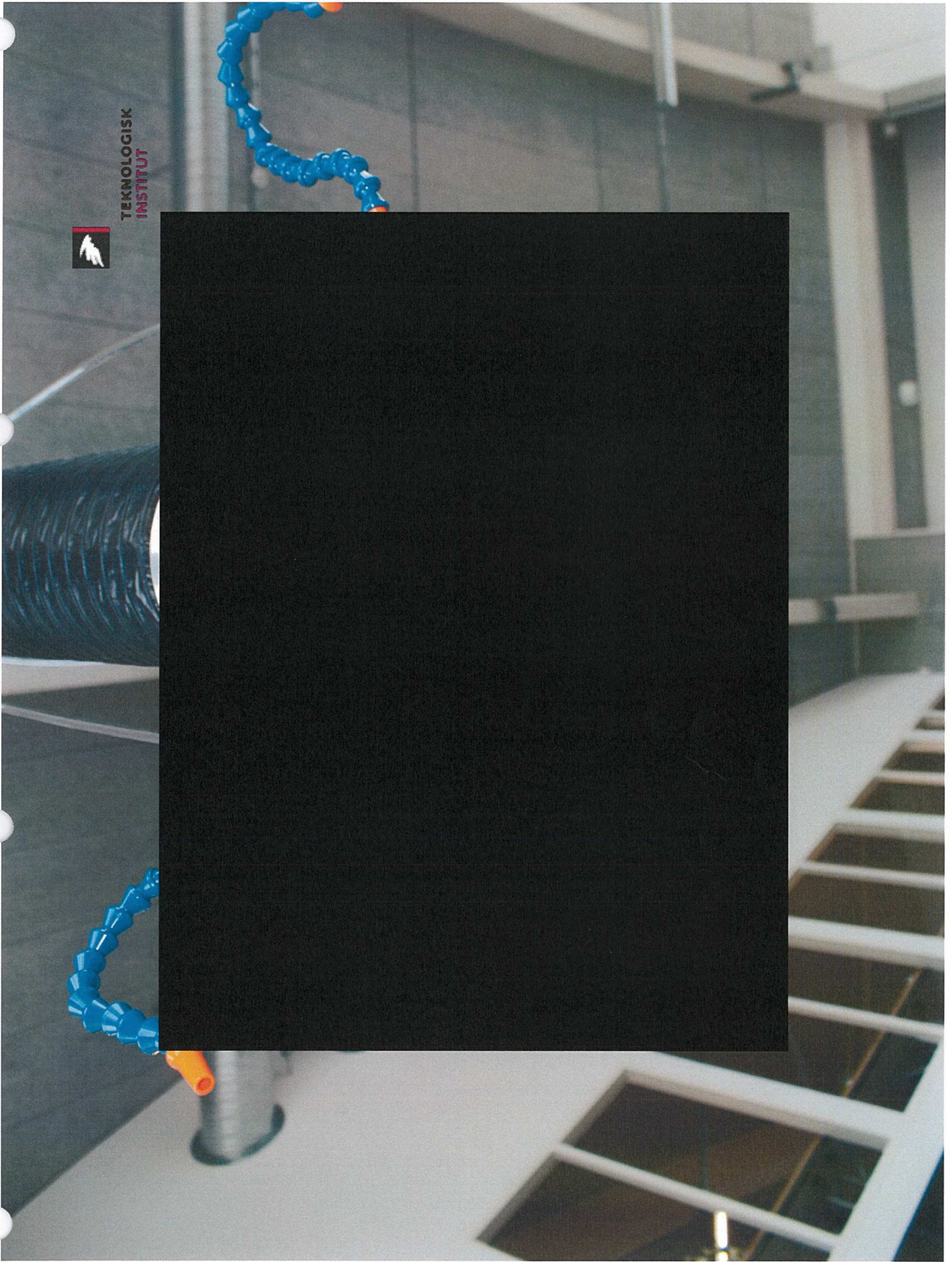
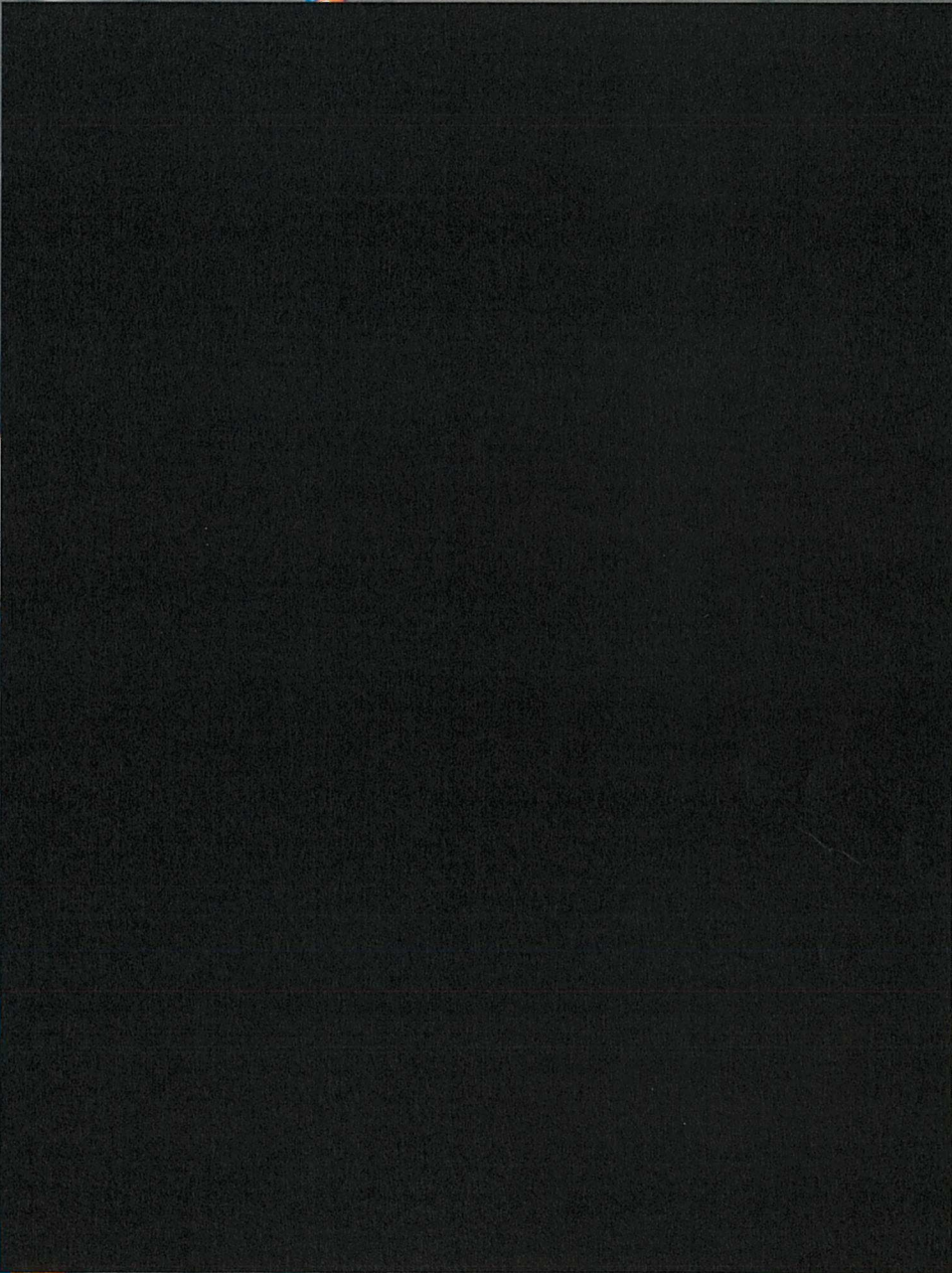
TEKNOLOGISK
INSTITUT



Anvendelse af vision teknologi



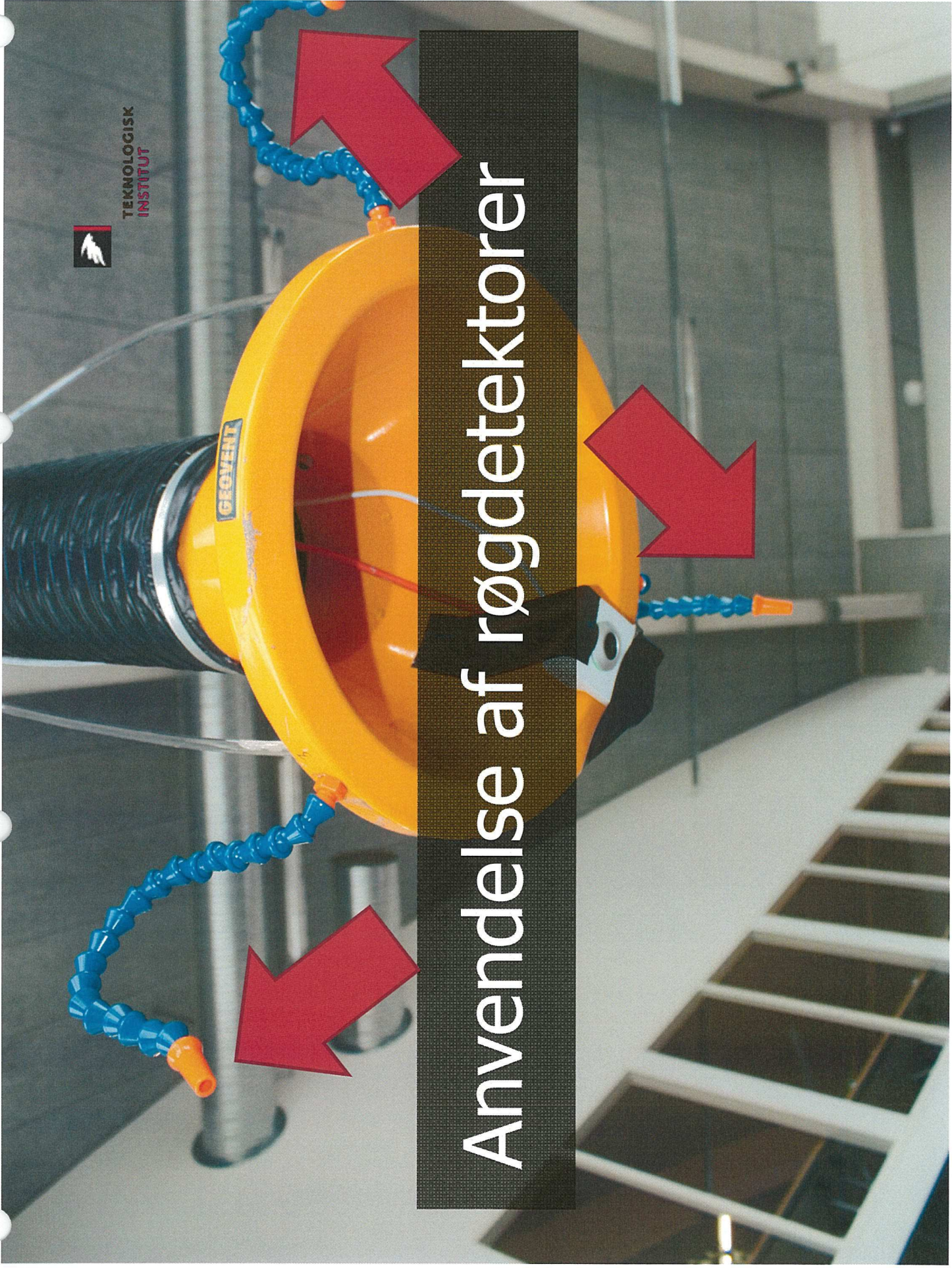
TEKNOLOGISK
INSTITUT





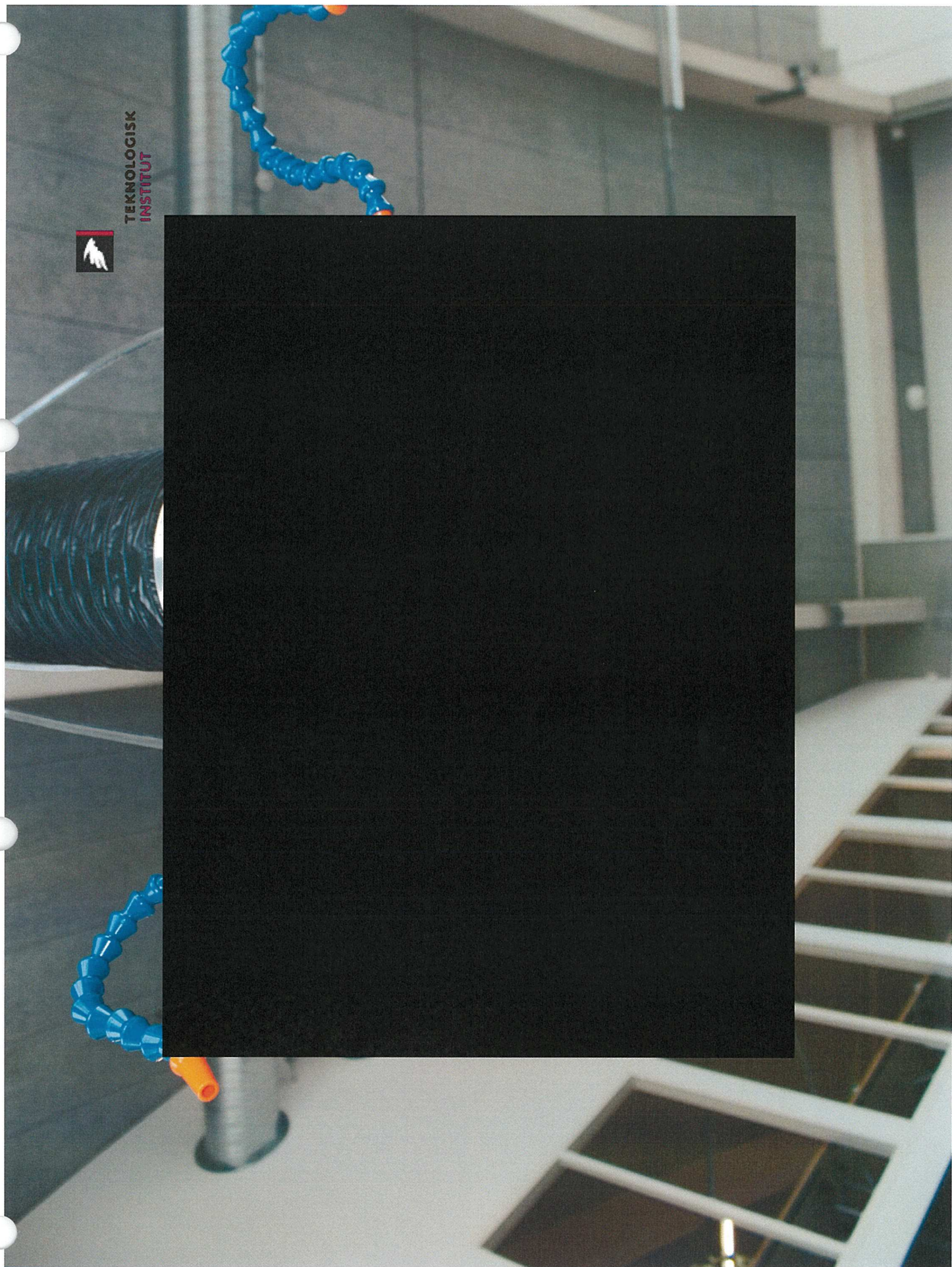
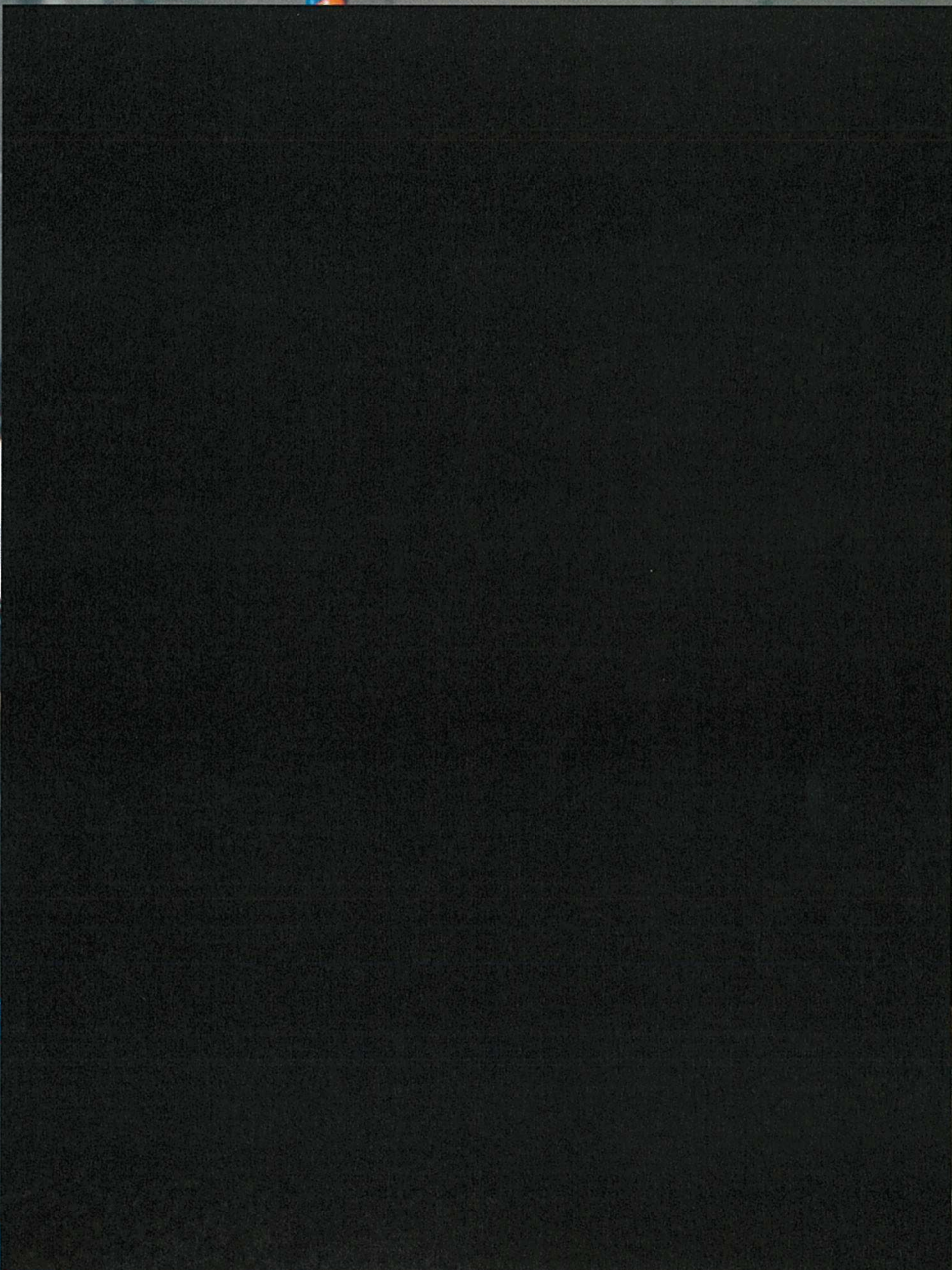
TEKNOLOGISK
INSTITUT

Anvendelse af røgdetektorer





TEKNOLOGISK
INSTITUT





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Kameraløsning erstattes af et simple lysensor-system. I stedet for webkamera anvendes løsning, som er opbygget af blot 4 lysfølere, der kobles direkte til controller. Lysfølere placeres på kanten af procesudsuget.



Røgdetektor placeres direkte inde i procesudsuget. I stedet princippet med sensorer placeret i vakuumbeholder, monteres røgsensorer nu direkte indvendig i procesudsuget.



Projekt partnere



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Teknologisk Institut - Energieffektivisering og Ventilation samt Robotteknologi.

Geovent A/S – Fremstiller og sælger udsugningskomponenter

Mercantec – Underviser/uddanner i teknisk faglige uddannelser

Linak Danmark A/S – Udvikler, fremstiller og sælger lineære aktuatorer.

Strøh Automation A/S – automation og industri-installationer

Daugaard Elektronik ApS – Intelligente visionkamera løsninger

SICK A/S – Industrielle sensorer, kamera og sikkerhedssystemer



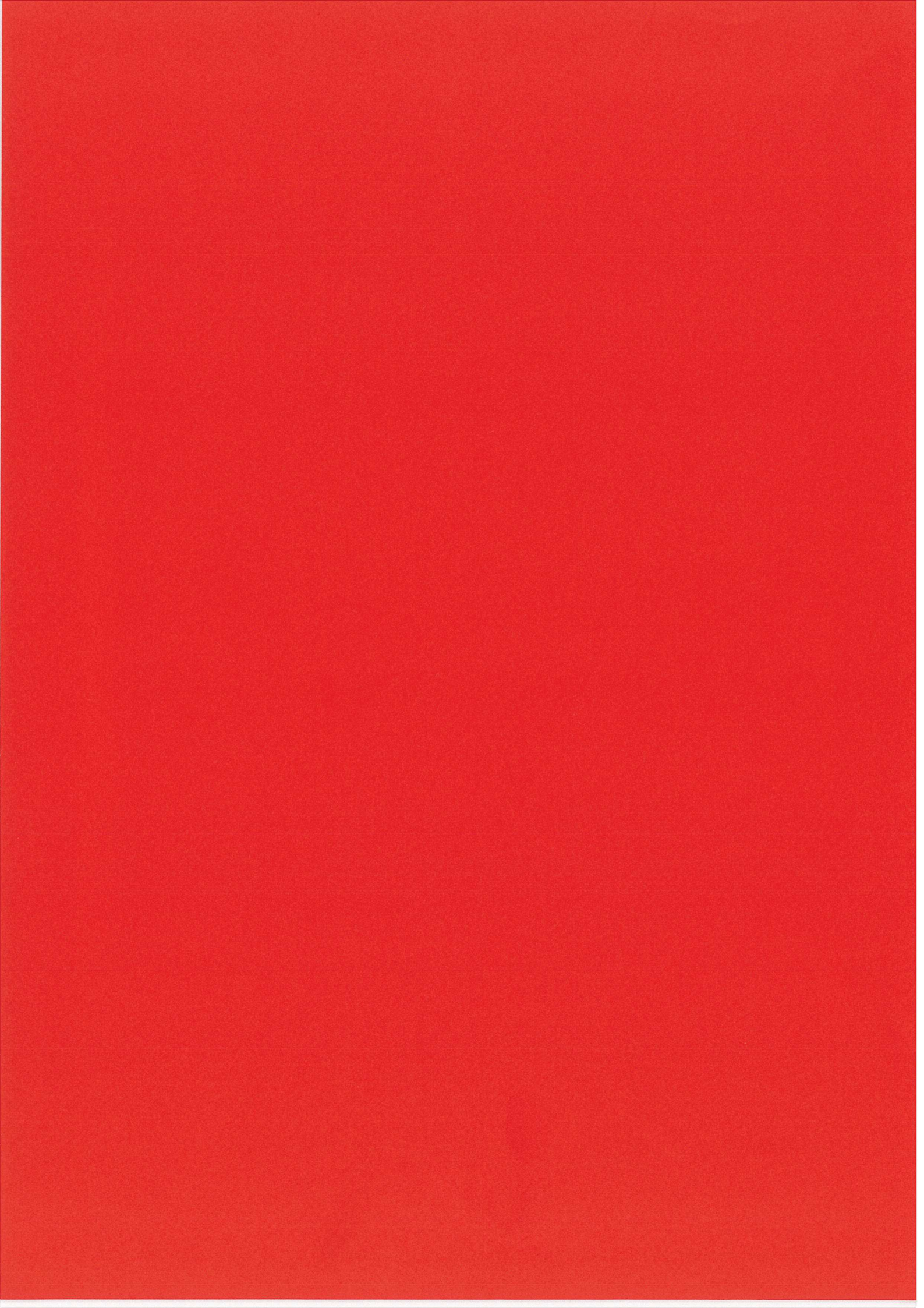
Energiteknologisk udvikling og demonstration





TEKNOLOGISK
INSTITUT

Tak for opmærksomheden



**BILAG 20: Nordtestmetode NT VVS 088 – Måling af
udsugningseffektivitet**

BUILDINGS: LARGE SCALE KITCHEN RANGE HOODS - HOOD EFFICIENCY AND PRESSURE DROP

UDC 643.3

Key words: Hood efficiency, pressure drop, tracer gas, large scale kitchen range hoods, test method

1 SCOPE

This test provides a method of measuring hood efficiency and pressure drop for large scale kitchen range hoods.

2 FIELD OF APPLICATION

The method is to be used under well defined laboratory testing conditions, with regard to:

- Where and how the air enters and leaves the test space.
- Internal heat sources (surface temperature, energy consumption etc).
- The size and interior design of the test space.

3 REFERENCES

1.SS ISO 5221 Guide to methods of measuring air flow rate in an air handling duct.

4 DEFINITIONS

Hood efficiency, η

The hood efficiency is in this test defined as

$$\eta = \frac{m_{ex}}{m_{pr}} \quad [\%]$$

where m_{pr} is the total mass of contamination (tracer gas) produced on a hot surface under the hood for a test period of 25 minutes.

m_{ex} is the mass of the contamination which has been extracted through the hood by the end of the test period.

Equivalent diameter, D_e

$$D_e = \frac{4 * \text{nominal area}}{\pi}$$

where the nominal area is equal to the area of the connecting duct.

5 SAMPLING

Samples shall be taken for at least three different exhaust airflows; 50 %, 100 % and 150 % of a nominal exhaust airflow.

The sampling time interval shall be less than 60 s.

6 METHOD OF TEST

6.1 Principle

The hood shall be mounted in the test space as defined in 6.2.2 and according to the manufacturer's instructions. Under the hood there are to be heat sources which in size and surface temperature simulate the effects of equipment used in an ordinary large scale kitchen. To simulate the movements of someone working in the kitchen there is also a disturbance introduced, consisting of a plate that moves from side to side.

For each airflow the temperatures shall have reached steady state conditions before the test can be carried out.

The test is then accomplished by injecting tracer gas into the test space through a spreader which is placed on a hot surface under the hood. The injection of gas is to continue for 25 minutes. The test space is then shut off from the surrounding area and the tracer gas concentration made homogeneous before being measured. The hood efficiency is then calculated by the use of a simple formula.

The pressure drop as a function of the exhaust airflow can be measured before, during or after this test of the hood efficiency.

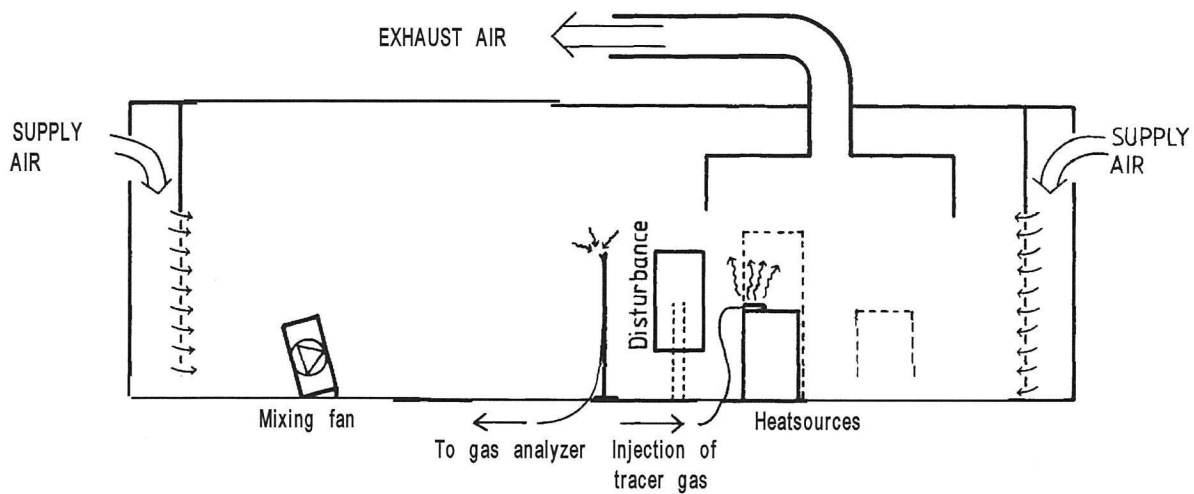


Figure 1 Principle arrangement of test

6.2 Apparatus

6.2.1 Equipment

- a) A cylinder with tracer gas (100 % N₂O). The purity of the gas shall be > 99 %. The cylinder shall be provided with a reduction valve and a manometer.
- b) A flowmeter, to provide a constant injection of tracer gas into the test space.
- c) A spreader, through which the tracer gas is released into the test space.
- d) Supply and exhaust air installations (ducts, fans, dampers etc).
- e) A gas analyzer, for measuring the tracer gas concentration (e.g. an infrared analyzer). The analyzer shall if necessary be provided with a vapour filter.
- f) A pump, to suck air into the analyzer.
- g) Tubing of non absorbing material (e.g. nylon or polyethylene) for suction and injection of gas.
- h) Heat sources to simulate equipment used in an ordinary large scale kitchen.
- i) Equipment for measuring the energy input to the heat sources.
- j) Equipment for measuring temperatures (e.g. thermocouples or platinum resistance sensors).
- k) Equipment for measuring the exhaust airflow (e.g. according to SS ISO 5221).
- l) Equipment for measuring pressure differences (e.g. liquid manometers).
- m) A source of disturbance, consisting of a plate which is made to operate from side to side with a fixed velocity and frequency.
- n) A stopwatch, for measuring the time of gas injection, and also to check the movements of the disturbing source.

- o) A propeller (mixing) fan, to provide a homogeneous concentration of tracer gas in the test space.

6.2.2 Specification of the test space

The test space shall have a volume of $160 \pm 50 \text{ m}^3$. The height of the test space shall be $3.0 \pm 0.2 \text{ m}$, and the floor rectangular with the dimensions $9.0 \times 6.0 (\pm 1.0 \text{ m})$.

All supply air (with the possible exception of air injected internally in the hood) shall be distributed into the test space in such a way that most of the contaminated air not taken care of by the hood will remain at the ceiling. For this purpose there shall in two or four of the corners be a 0.7 m wide and 1.9 m high plate with a perforation-ratio of about 1:5. It shall form an angle of 45° to the walls and the remaining part up to the ceiling must be covered with unperforated plates. The flow shall be equally distributed amongst the inlets.

All exhaust air must leave the test space through the hood.

Both the supply air inlets and the exhaust air outlet must be provided with dampers to ensure that the test space can be completely shut off from the surroundings.

The leak into the test space (when all dampers are closed) shall at an underpressure of 50 Pa be less than $1.9 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$.

The main heat sources shall be two tables, each 0.9 m high and with a $0.56 \times 0.72 \text{ (m)}$ iron surface heated with an input of 4 kW electrical energy (providing a temperature of about $340 \dots 380 \text{ }^\circ\text{C}$ in the middle of the surface). The tables shall be covered with plates on all sides all the way down to the floor. A third heatsource shall be made of metal plates 1.7 m high, with both sides 0.6 m and given an input of 0.3 kW , evenly distributed over its surface.

The spreader shall be placed at the outer corner of one of the tables. Its design is described in Figure 2.

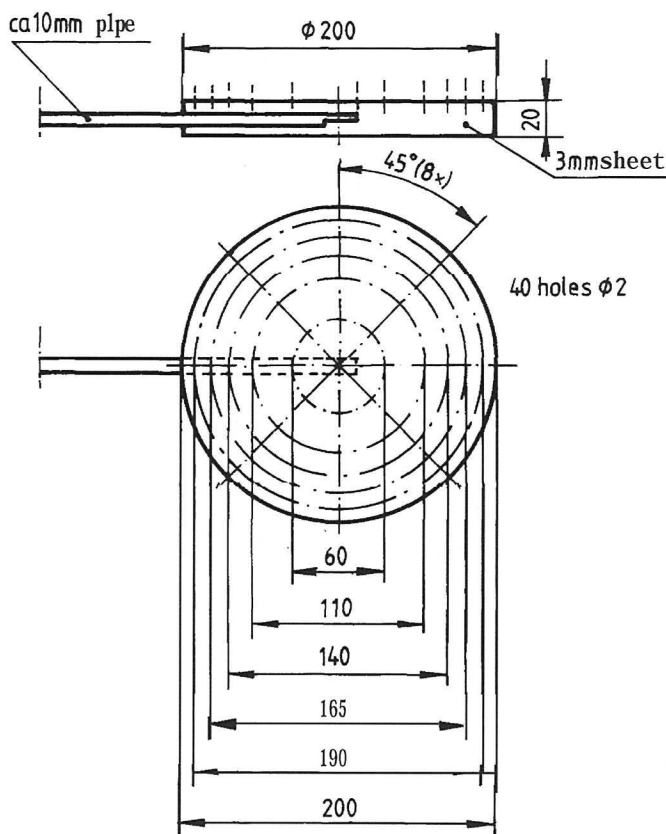


Figure 2 Design of the spreader

The disturbing source shall consist of a 0.5 m wide and 1.0 m high plate with its centre 1.0 m above the floor. It shall operate from one end position to the other (a distance of 1.0 m) every 4th second with a constant velocity of 0.5 m/s, except for acceleration and retardation within 0.2 m from the end positions. Its centre shall be 0.65 m out from the centre of the long side of the table on which the spreader is placed.

The minimum distance between the floor and the hood is to be 1.9 m.

a) Centre mounted hood:

The centre of the hood shall be at a distance of 2.5 ± 0.2 m out from the middle of one of the short sides of the test space. The

hood is not to be closer to any of the test space walls than 1.1 m.

The two tables shall be placed in opposite corners and with their sides 0.4 m inside the rectangle made from the vertical projection of the hood outline. The third heat source shall be placed in one of the remaining corners, also with its sides 0.4 m inside the hood outline.

Supply air inlets shall be mounted in all four corners.

The specified positions of heat sources, spreaders etc are illustrated for a centre mounted hood in Figure 3.

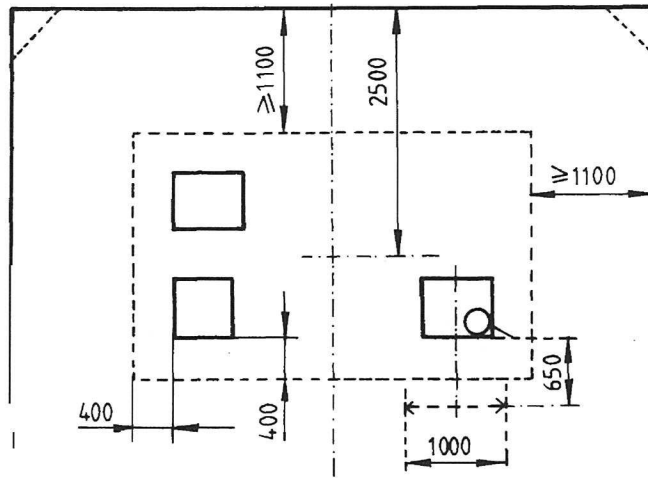


Figure 3 Centre mounted hood

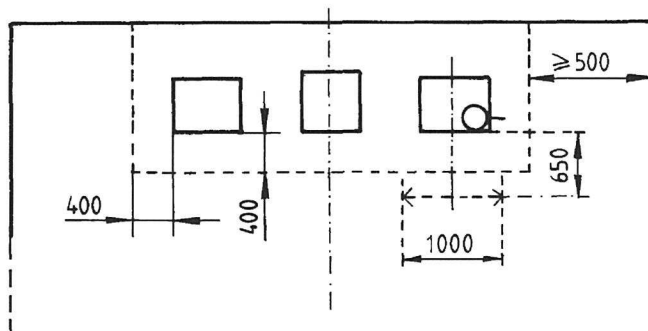


Figure 4 Wall mounted hood

b) Wall mounted hood:

The hood shall be mounted at the middle of one of the short sides of the test space.

The sides of the hood are not to be closer than 0.5 m to the test space walls.

The tables shall be placed with their sides 0.4 m inside the two corners made from the vertical projection of the hood outline. The third heat source shall be placed in the middle between the tables and also with its side 0.4 m inside the hood outline.

Supply air inlets shall be mounted in the two corners at the opposite short side from the one on which the hood is mounted.

The specified positions of heat sources, spreaders etc are illustrated for a wall mounted hood in Figure 4.

6.3 Preparation of test samples

The temperature (both in the air and on the surfaces in the test space) must have reached steady state conditions before the tracer gas is injected. To achieve steady state conditions the heat sources must be switched on a couple of hours before the test. Steady state conditions have been reached when the measured temperature of the exhaust air has been within $\pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ for 25 minutes at the airflow for which the samples are to be taken. The measured surface temperatures of the heat sources shall be within $\pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ during this period.

The temperature sensors must be shielded from the heat radiation coming from the heat sources.

The incoming air is to have a temperature of $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ and must not be allowed to be contaminated with tracer gas before it enters the test space.

Any background level of tracer gas concentration measured in the supply air must be constant (± 2 ppm) during the time of the test and subtracted from the values measured in the test space.

To ensure that the gas analyzer has reached its working temperature, it shall be switched on a few hours before the test.

The analyzer shall be calibrated (e.g. with the aid of calibration gas) within ± 2 ppm, both at zero concentration and at an estimated maximum concentration (about 100 ... 300 ppm).

The propeller fan shall be directed in such a way that the air from the floor level will be thoroughly mixed with the air at the ceiling. The fan must be large enough to ensure that homogeneous concentration can be reached within 5 minutes.

The air which is extracted from the test space and into the gas analyzer shall be recirculated back into the test space.

6.4 Procedure

- a) Set the exhaust airflow (q_{exh}) and wait for the temperatures to reach steady state conditions, which may take about half an hour. Air temperatures shall be measured in all supply air inlets, in the middle of the test space and in the exhaust air outlet. Temperatures shall be measured at the centre of the top surface of each heat source.

In the case of internal injection of supply air, also this airflow (q_{inj}) must be set and measured.

- b) Measure the pressure drop (dp_{hood}). This is the pressure difference between the static pressure in the centre of the test space and the static pressure of the exhaust air, measured $1.5 D_e$ upstream from where the duct is mounted to the hood. The result shall be converted into standard air conditions ($\rho_{air} = 1.2 \text{ kg/m}^3$).

This measurement can also be made separately before or after the other measurements of the procedure.

- c) Measure the background level of tracer gas concentration (C_b).
- d) Inject tracer gas through the spreader and into the test space for 25 minutes (1500 s). The mass flow must be held constant at $2.2 \cdot 10^{-4} \text{ kg/s}$ during the whole time of injection.
- e) At the same time as the gas liberation is stopped, the test space is shut off from the surrounding area (i.e. all fans stopped and all dampers closed). The heat sources shall remain on.
- f) Start the mixing fan and allow the tracer gas concentration in the test space to become homogeneous. To determine when homogeneous conditions have been

reached, the tracer gas concentration in the test space shall be monitored during the whole time of mixing. Homogeneous concentration can be assumed to have taken place when 2 minutes of sampling has given the same result (± 1 ppm).

- g) Measure the tracer gas concentration (C_a) and the air temperature (t) in the centre of the test space for 5 minutes. The concentration samples shall then be almost constant and any tendency to increase or decrease shall be extrapolated back to the point of time when the gas injection was stopped. The increase of temperature (due to the heat sources) shall also be extrapolated back in the same manner.
- h) If measurements at another airflow are to follow, the test space shall be thoroughly ventilated from tracer gas before starting at a) again. The room shall be ventilated until the background tracer gas level is back to what was measured at c) (± 2 ppm). (To minimize the necessary time of ventilating, it is a good idea to start with the largest flow first.)

6.5 Expression of results

Airflows (q) shall be converted into the volume flow corresponding to standard air conditions ($\rho_{air} = 1.2 \text{ kg/m}^3$) and given in m^3/s .

Hood efficiency (η) is calculated by formula:

$$\eta = 100 - \frac{\rho \cdot C \cdot V}{q_m \cdot \tau} \cdot 10^{-4} \quad [\%]$$

where ρ is the density of the gas calculated by the formula:

$$\rho = 1.872 \cdot \frac{P_{atm}}{101.3} \cdot \frac{288}{273+t} \quad [\text{kg/m}^3]$$

where P_{atm} is the atmospheric pressure in kPa and t is the air temperature in $^{\circ}\text{C}$, measured in 6.4 g.

$$C = C_a - C_b \quad [\text{ppm}]$$

where C_a = the tracer gas concentration measured in 6.4 g and C_b is the background level measured in 6.4 c.

C_b = the background level measured in 6.4.c.

V = the volume of the test space given in m^3 . It is defined as its height x length x width (m). The volume of the hood, heat sources, supply air inlets etc is not to be taken into account.

q_m = the mass flow of liberated tracer gas given in kg/s .

τ = the time of gas liberation given in s.

6.6 Uncertainty

The uncertainty of the hood efficiency is calculated by the formula:

$$\Delta\eta = \frac{\rho \cdot C \cdot V}{q_m \cdot \tau} \cdot 10^{-4} \sqrt{\left(\frac{\Delta\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2 + \left(\frac{\Delta q_m}{q_m}\right)^2 + \left(\frac{\Delta\tau}{\tau}\right)^2}$$

where

- $\Delta\rho$ = the uncertainty for the density of ρ
($< 0.05 \text{ kg/m}^3$)
- ΔC = the uncertainty for the concentration C
($< 20 \text{ ppm}$)
- ΔV = the uncertainty for the volume V
($< 5 \text{ m}^3$)
- Δq_m = the uncertainty for the mass flow q_m
($< 5 \cdot 10^{-6} \text{ kg/s}$)
- $\Delta\tau$ = the uncertainty for the time t
($< 30 \text{ s}$)

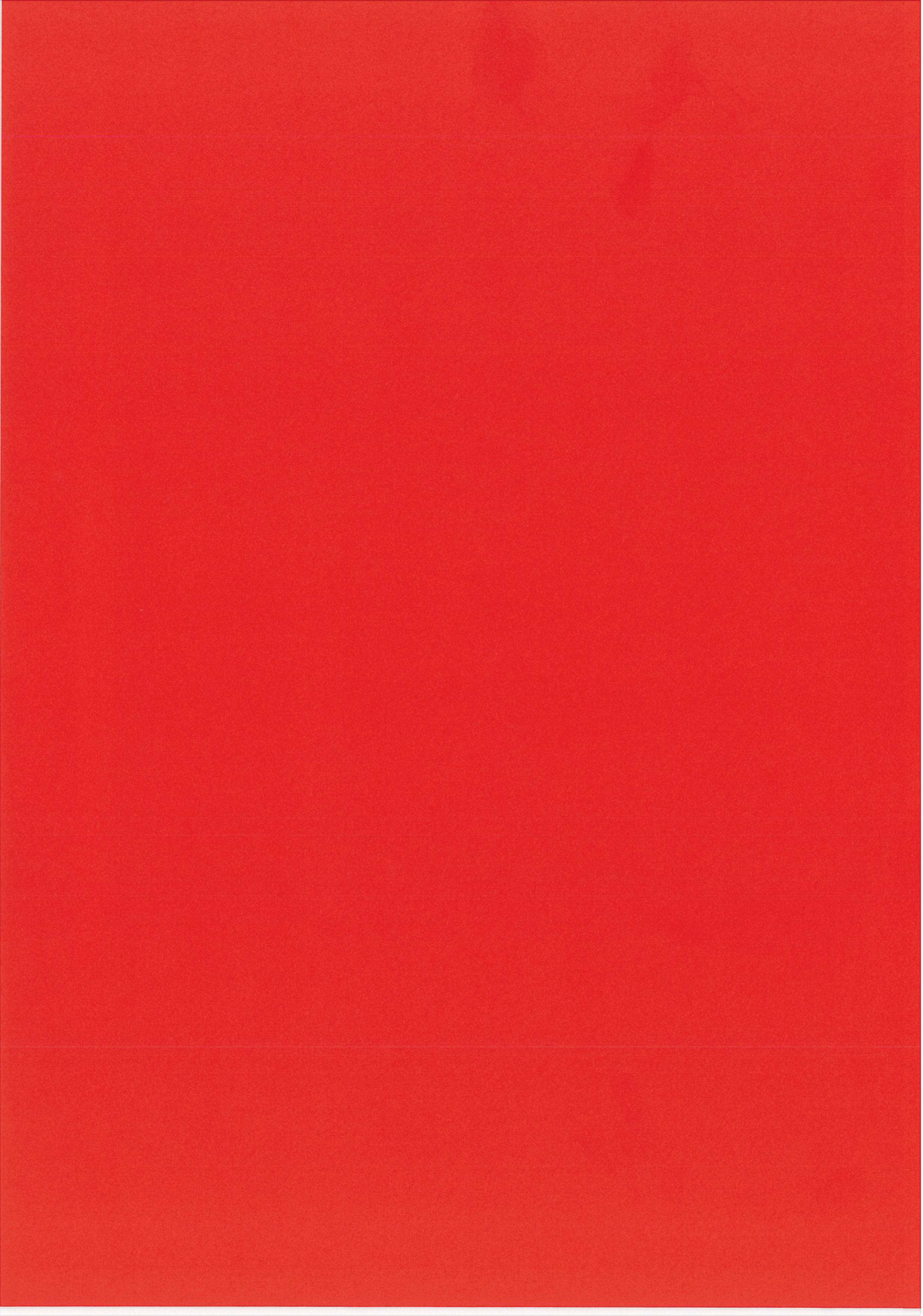
Other measurements shall be made within the following limits of uncertainty.

Airflow	$\pm 3 \%$
Atmospheric pressure	$\pm 0.5 \text{ kPa}$
Pressure drop	$\pm 2 \text{ Pa}$
Energy consumption	$\pm 1 \%$
Surface temperature	$\pm 5 \text{ K}$
Air temperature	$\pm 0.2 \text{ K}$

6.7 Test Report

The test report shall include the following information, if relevant:

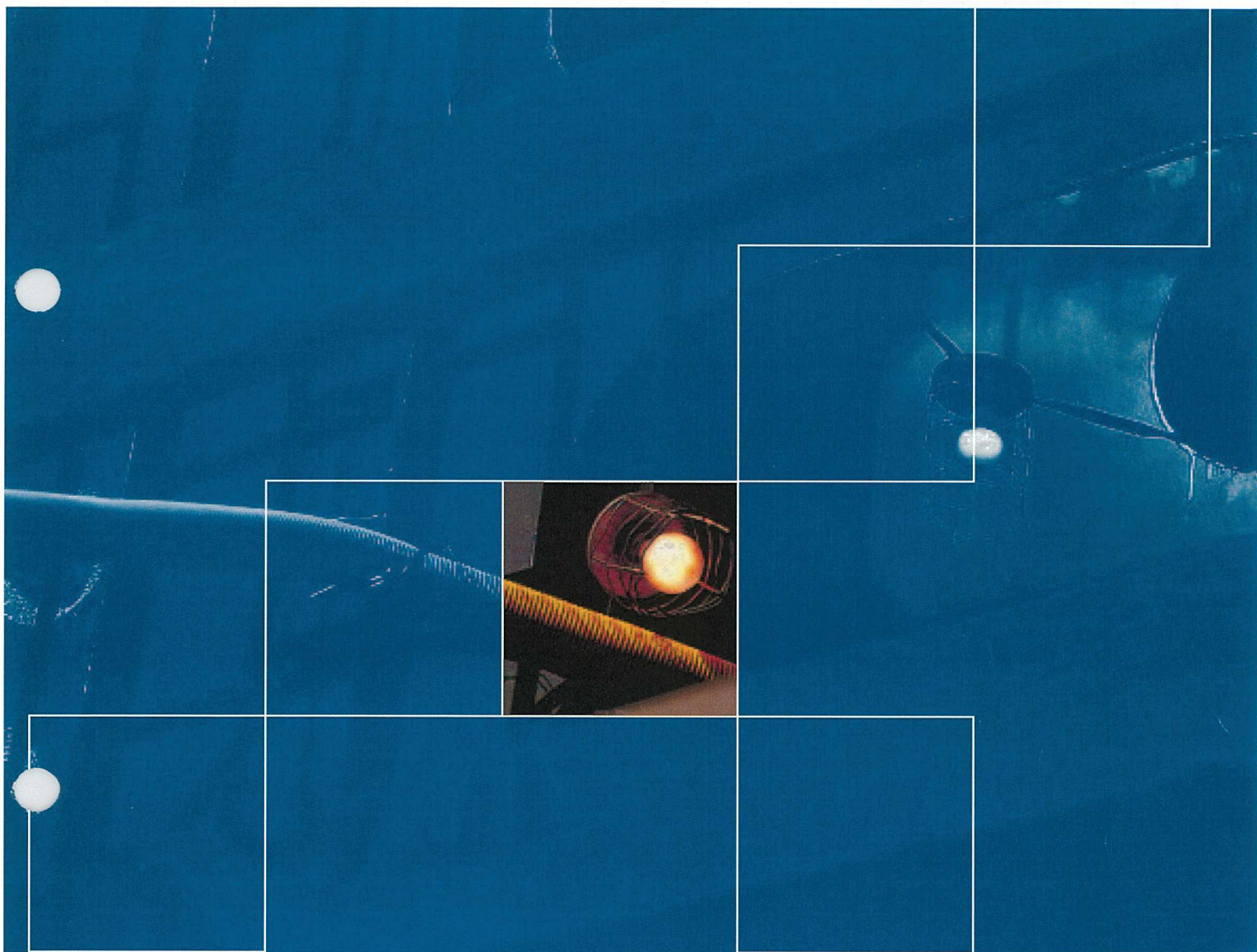
- a) Name and address of the testing laboratory
- b) Identification number of the test report
- c) Name and address of the organization or the person who ordered the test
- d) Purpose of the test
- e) Method of sampling and other circumstances (date and person responsible for the sampling)
- f) Name or other identification marks of the tested object
- h) Description of the tested object
- i) Date of supply of the tested object
- j) Date of the test
- k) Test method
- l) Conditioning of the test specimens, environmental data during the test (temperature, pressure, RH, etc)
- m) Identification of the test equipment and instruments used
- n) Any deviations from the test method
- o) Test results (use SI units)
- p) Inaccuracy or uncertainty of the test result
- q) Date and signature



BILAG 21: AT Vejledning A.1.1. – Arbejdsstedets indretning

At-VEJLEDNING

ARBEJDSSTEDETS INDRETNING - A.1.1



Ventilation på faste arbejdssteder

Vejledning om krav til procesventilation

Maj 2001 - Erstatte At-meddelelse nr. 1.01.8 af september 1999 – 2. udgave, august 2007



Hvad er en At-vejledning?

At-vejledninger vejleder om, hvordan reglerne i arbejdsmiljølovgivningen skal fortolkes. At-vejledninger bruges til at

- uddybe og forklare ord og formuleringer i reglerne (lov og bekendtgørelser)
- forklare, hvordan kravene i reglerne kan efterkommes efter Arbejdstilsynets praksis
- oplyse om Arbejdstilsynets praksis i øvrigt på baggrund af bl.a. afgørelser og domme
- forklare arbejdsmiljølovgivningens områder og sammenhæng mv.

Tal i parentes henviser til listen over relevante At-vejledninger/-anvisninger/-meddelelser på bagsiden af At-vejledningen.

Er en At-vejledning bindende?

At-vejledninger er ikke bindende for virksomhederne, sikkerhedsorganisationerne eller andre, men vejledninger bygger på regler (lov og bekendtgørelser), der er bindende. Arbejdstilsynet vil ikke foretage sig mere i de situationer, hvor fx en virksomhed har fulgt en At-vejledning.

Virksomhederne kan vælge andre fremgangsmåder mv., men Arbejdstilsynet vil i så fald vurdere, om den valgte fremgangsmåde er lige så god og i overensstemmelse med reglerne.

Når en At-vejledning gengiver bindende metodekrav mv. fra lov eller bekendtgørelser, skal virksomhederne følge de pågældende metoder. Det vil altid fremgå tydeligt af en At-vejledning, når der gives bindende metodekrav mv.

Hvor findes information om At-vejledningerne?

Et emne kan være beskrevet i mere end én At-vejledning. Derfor er det en god idé at orientere sig på Arbejdstilsynets hjemmeside på Internettet på adressen www.at.dk.

I en overgangsperiode vil der stadig findes "gamle" At-meddelelser og At-anvisninger, der ligesom At-vejledningerne beskriver, hvordan arbejdsmiljølovgivningen kan overholdes. Med tiden vil alle At-meddelelser og At-anvisninger udgå, efterhånden som de afløses af At-vejledninger. Også her kan der hentes hjælp på Arbejdstilsynets hjemmeside.

At-vejledningen oplyser om krav til procesventilation og vejleder om, hvordan kravene kan opfyldes.

Unødig påvirkning fra stoffer og materialer skal undgås, og påvirkning fra stoffer og materialer skal nedbringes så meget, som det er rimeligt under hensyntagen til den tekniske udvikling. Udgangspunktet er, at stoffer og materialer, der kan være farlige for – eller i øvrigt forringe – sikkerhed eller sundhed, skal erstattes af noget, der er ufarligt, mindre farligt eller mindre generende, i det omfang det er muligt. Det vil sige substitution.

Er det ikke muligt at substituere, skal påvirkningen fjernes på anden måde, fx ved ventilation.

Regler om faste arbejdssteders indretning angiver, at der skal etableres en mekanisk udsugning ved arbejdsprocesser, der udvikler luftarter, støv e.l., som er sundhedsskadelige eller eksplosive, eller udvikler røg, mikroorganismer, aerosoler, ildelugt eller anden generende luftforurening. Udsugningen skal så vidt muligt fjerne forureningen på det sted, hvor den udvikles, og samtidig tilføre frisk erstatningsluft af passende temperatur (procesventilation).

Arbejds miljølovgivningen fastsætter desuden, at ethvert arbejdsrum skal have tilstrækkelig tilførsel af frisk luft uden generende træk. Bestemmelsen dækker som udgangspunkt over et komfortkrav og har – foruden at sikre frisk luft i arbejdsrum – også til formål at fjerne fx mindre, spredte forureninger fra mennesker og materialer i rummet. (1)

Beredskabsstyrelsen har udarbejdet særlige forskrifter om forebyggelse af brand og eksplosion. Forskrifterne er relevante for virksomheder, der opbevarer, anvender eller fremstiller faste, flydende eller luftformige brandfarlige eller eksplosive stoffer. (2)

Bygningsreglementets bestemmelser er minimumskrav. Det gælder også bestemmelserne om ventilation.

1. Procesventilation

Procesventilation er en mekanisk ventilation, der består af en udsugning – der så vidt muligt fjerner forureningen på udviklingsstedet – og af en tilførsel af frisk luft af passende temperatur. Den tilførte luft må ikke give anledning til træk.

Der er krav om procesventilation, når der under en arbejdsproces udvikles luftarter, støv e.l., der er sundhedsskadelige eller eksplosive. Det gælder også, hvis der udvikles røg, mikroorganismer, aerosoler, ildelugt eller anden generende luftforurening.

Procesventilation kræves, selv om den forurenende arbejdsproces ikke forekommer hele tiden. Det er nok, at den er jævnlige gentaget og af en vis varighed, fx ved afvaskning af grafiske trykvalser, arbejde med anæstesisgas og reparations svejsning.

Bestemmelserne gælder enhver forurening, der har sammenhæng med en arbejdsproces, herunder også forurening i forbindelse med for- og efterbehandling, fx klargøring og tørring.

Procesventilationen skal indrettes, så den nedbringer luftforureningen effektivt. Det er ikke tilstrækkeligt at nedbringe forureningen til en eventuel grænseværdi, hvis det er muligt og rimeligt under hensyntagen til den tekniske udvikling at fjerne luftforureningen yderligere. En grænseværdi er ikke udtryk for en projekteringsnorm. (3)

Procesventilation skal så vidt muligt etableres med procesudsugningen i direkte tilknytning til den forurenende arbejdsproces – det vil sige punktudsugning.

Selv om punktudsugningen er så effektiv som muligt i forhold til arbejdsprocessen, kan forureningen måske alligevel, på grund af sin eller arbejdsprocessens art, slippe forbi punktudsugningen og spredes til rummet. Det kan fx være tilfældet ved svejsning. I de tilfælde vil der normalt være behov for at etablere rumventilation som supplement til punktudsugningen.

Endvidere kan der i mange situationer forekomme små, spredte forureningskilder, hvor det ikke vil være muligt eller rimeligt at etablere punktudsugning ved hver enkelt arbejdsproces. I de tilfælde skal der etableres en procesventilation, der består af rumventilation.

Afkastningsluften fra udsugningen skal i flere tilfælde også filtreres og eventuelt opsamles mv. inden afkast til det fri efter regler i miljølovgivningen.

2. Tilførsel af erstatningsluft

Ventilationsanlæg skal normalt indrettes med afbalancerede luftmængder. Det betyder, at der tilføres frisk luft i en mængde, der svarer til den udsugede mængde. Dog kan der holdes overtryk i arbejdsrum, der ikke ønskes forurenet fra omgivelserne. Det vil sige, at der indblæses mere luft i rummet, end der suges ud.

Tilførslen skal sikre en effektiv erstatning af den udsugede luft. Den tilførte luft skal være frisk og have en passende temperatur og må ikke give træk på steder, hvor de ansatte opholder sig – herefter benævnt opholdszonen.

Ved frisk luft forstås den bedst mulige udeluft fra området. Det vil sige udeluft fra omgivelserne, der tages ind, så den er mindst muligt forurenet fra nærliggende skorstene, trafikmidler, naboindustrier og fra egne afkast af udsuget

luft. Hvis udeluftindtagene og afkastene er uheldigt placerede i forhold til hinanden, kan der opstå risiko for, at den forurenede luft føres tilbage til arbejdsrummet. Vær ligeledes opmærksom på temperaturforhold ved placeringen af udeluftindtag, så luften ikke opvarmes unødigt af solen, sorte tage eller solopvarmede facader.

Erstatningsluftens temperatur og hastighed har betydning for risikoen for træk. Derfor skal erstatningsluften opvarmes i fornødent omfang, og lufthastigheden i opholdszonen bør ikke overstige 0,15 m/s ved stillesiddende arbejde og 0,4 m/s ved fysisk arbejde.

En omhyggelig projektering af en mekanisk tilførsel af erstatningsluft vil normalt kunne sikre, at ventilationen er velfungerende, og at den tilførte luft er tempereret og trækfri.

Tilførsel af erstatningsluft gennem fx en dør, en port eller et vindue, der åbnes og lukkes flere gange i løbet af dagen, sikrer normalt ikke en velfungerende ventilation.

Ved industrielle forhold vil det oftest være nødvendigt med en mekanisk tilførsel af erstatningsluft. Her er der tit tale om større udsugede luftmængder.

Tilførsel af erstatningsluft kan ske naturligt gennem fx ventiler og spjæld eller fra et tilstødende arbejdsrum i de tilfælde, hvor den udsugede luftmængde er relativt lille. Forudsætningen er, at der ikke forekommer forureningskilder i arbejdsrummet.

3. Forbud mod recirkulation

Luft, der suges ud ved procesventilation – det vil sige punktudsugning og rumventilation – må ikke føres tilbage til arbejdsrummet eller til andre lokaler. Det betyder, at luften ikke må recirkuleres, men skal føres ud i det fri.

Forbudet mod recirkulation har undtagelser. Fx er recirkulation af udsuget luft, der stammer fra sandblæsning, tilladt under visse forudsætninger. (4)

For lukkede ventilationssystemer gælder særlige regler. (4)

4. Kabiner, mv.

Hvis forureningen ikke kan fjernes effektivt på arbejdsstedet, skal arbejdsprocessen foregå i et særligt rum, kabine e.l., hvor der ikke udføres andet arbejde. Rummet skal være udstyret med tilstrækkelig mekanisk ventilation.

Når der arbejdes med fx malevarer, lime, udfyldningsmidler, tryk- og serigrafifarver, fortyndingsmidler, klargøringsmidler, kræftfremkaldende stoffer og materialer, er der særlige krav til ventilation. Det følger bl.a. af regler om arbejde med kodenummererede produkter og regler om foranstaltninger til forebyggelse af kræftrisikoen ved arbejde med stoffer og materialer.

I visse tilfælde er det ikke muligt at fjerne forureningen effektivt i særlige rum og kabiner. I så fald skal der bruges egnede personlige værnemidler under arbejdet.

5. Kontrolanordning

Procesventilationsanlæggets enkelte udsugninger skal være forsynet med en kontrolanordning, der angiver, hvis ventilationsanlæggets funktion er utilstrækkelig. Utilstrækkelig funktion betyder, at mængden af udsuget luft falder til et niveau, der ligger under den projekterede luftmængde.

En kontrolanordning på procesventilationsanlæggets hovedstreng er tilstrækkelig, hvis den enkelte udsugning ikke er selvstændigt mekanisk drevet, og hvis ventilationsanlægget holdes i funktionsdygtig stand ved leverandøren eller anden sagkyndig.

Kontrolanordningen kan i de tilfælde placeres på den del af ventilationskanalen, hvor alle enkelte udsugninger er sammenført.

Spjældet til den enkelte udsugning kan forsynes med en kontakt, så det sikres, at

- spjældet er åbent, når der arbejdes
- maskinen kun kan startes, når spjældet er åbent.

Kontrolanordningen skal udløse en alarm i form af et lys- og/eller lydssignal, hvis den utilstrækkelige funktion kan medføre en påvirkning af luftarter, støv eller lignende, der er sundhedsskadelige eller eksplosive. Det fremgår af regler om sikkerhedsskiltning og anden form for signalgivning.

De ansatte skal nemt kunne forbinde en alarm med den enkelte udsugning i de tilfælde, hvor hver enkelt udsugning skal være forsynet med en kontrolanordning. Alarmen skal også nemt kunne sættes i relation til en hovedstreng i de tilfælde, hvor den enkelte udsugning ikke er selvstændigt mekanisk drevet. Alarmen skal placeres i arbejdslokalet på et sted, hvor den tydeligt kan ses eller høres af de ansatte, som vil blive berørt, hvis ventilationsanlægget ikke fungerer, som det skal. Fx skal en utilstrækkelig funktion i en hovedstreng udløse alarm i de arbejdslokaler, hvor ansatte vil kunne blive berørt.

Ved luftforureninger, som ikke er sundhedsskadelige eller eksplosive – fx il-delugt eller anden generende luftforurening – er der ikke krav om, at kontrol-

anordningen skal udløse en alarm. Kontrolanordningen skal vise de ansatte utilstrækkelig funktion af ventilationsanlægget.

De ansatte skal instrueres i funktionen af kontrolanordningen og alarmer. De ansatte skal kende de forholdsregler, der skal træffes, når alarmeren udløses.

Alarmeren skal være tilsluttet to uafhængige energikilder, medmindre den sundhedsskadelige påvirkning ophører, samtidig med at energitilførslen afbrydes.

Kontrolanordninger og alarmer skal afprøves med regelmæssige mellemrum.

6. Varmegenvinding

Ved varmegenvinding i forbindelse med procesventilation skal det sikres, at den friske indblæsningsluft ikke bliver forurenset af udsugningsluften/afkastluften i varmeveksleren. Det betyder fx, at roterende varmevekslere ikke bør bruges ved procesventilation.

7. Procesventilationens udformning

Udformningen af procesventilationen er afhængig af forureningen og arbejdsprocessen. Et eksempel på udformning af en punktudsugning er udsugning fra en indkapslet proces, se fig. 1. Et andet eksempel er udsugning, der fjerner forureningen på det sted, hvor den udvikles. Se fig. 2 og 3.

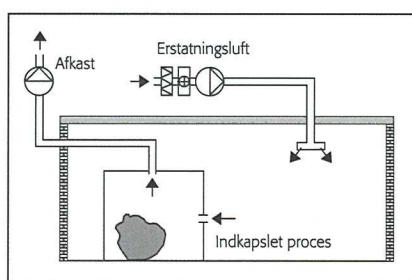


Fig. 1

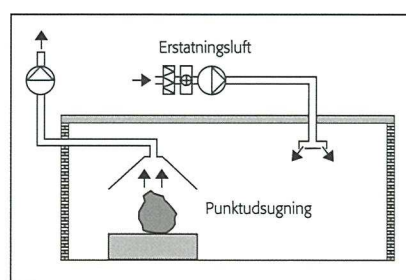


Fig. 2

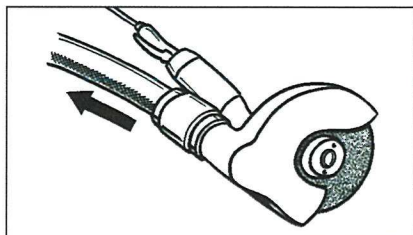


Fig. 3

Den luftmængde, der er nødvendig for at suge forureningen bort, afhænger af, hvor tæt på og hvor i forhold til forureningskilden udsugningsåbningen placeres, og hvordan selve udsugningsåbningen udformes. Se fig. 4. Ved varme forureningskilder placeres udsugningsåbningen normalt over kilden, så den udnytter den opadstigende luftstrøm.

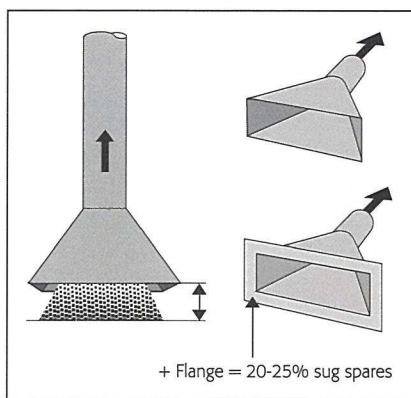


Fig. 4

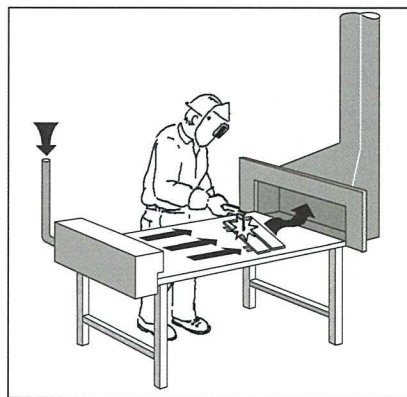


Fig. 5

Det er vigtigt at huske, at jo længere væk fra forureningskilden punktudsugningen placeres, desto dårligere er udsugningsevnen. Derimod har en indblæsning virkning i en ret lang afstand fra indblæsningsåbningen. Virkningen af en indblæsning kan bruges til at "styre" forureningen hen mod en udsugning. Se fig. 5.

I arbejdsrummet skal indblæsning og udsugning placeres hensigtsmæssigt i forhold til aktiviteterne. Luften bør indblæses, så den går fra de rene områder til de mindre rene områder, hvor udsugningen skal være placeret.

Indblæsningsåbningens placering og udformning har betydning for risikoen for træk, ligesom indblæsningsluftens temperatur og hastighed har betydning. Udsugningens placering har derimod ringe betydning.

Ved udformningen skal det sikres, at punktudsugningen generer arbejdsoperationerne mindst muligt.

Vær opmærksom på, at ukontrollerede luftstrømme i arbejdsrummet kan betyde en utilsigtet spredning af luftforureningen. Luftstrømninger opstår på grund af

- indblæsning af luft
- temperaturforskelle – fx ved varme processer eller i direkte forbundne lokaler
- maskiner med bevægelige dele
- personer, der bevæger sig.

Luftstrømme i arbejdsrummet bør undersøges efter en ny installation eller ved væsentlig ændring af produktionsforholdene. Luftstrømme kan ses ved at sprede røg i rummet, fx med en røgpistol. Stinkskaibes udsugningseffektivitet måles ved sporgasanalyse.

8. Ventilation anlæggets kanaler

Kanalsystemer skal være udformet, så der kan skabes en tilstrækkelig stor luft-hastighed til at transportere luftforureningen gennem hele kanalsystemet. De skal være indrettet på en måde, så forureningen ikke aflejres i kanalerne og efterhånden blokerer for luftgennemstrømningen.

Fx skal udfældning forebygges effektivt i kanalsystemer til udsugning, hvor der findes brandbart støv i væsentlige mængder.

Kanalsystemet skal være udformet og placeret, så det kan renses og rengøres. Rense- og rengøringsmuligheden skal sikres ved at anbringe det nødvendige antal renselemme, aftagelige kanalstykker e.l.

Kanalsystemet skal udformes og placeres, så der tages hensyn til bygningens opdeling i brandceller og brandsektioner. Sikring mod brand- og røgspredning i kanalsystemet fremgår af DS 428 om brandtekniske foranstaltninger ved ventilationsanlæg og Beredskabsstyrelsens tekniske forskrifter.

Sammenføring af udsugninger er ikke tilladt, hvis det kan betyde brandspredning eller eksplosion, herunder støvekspllosion. Ventilationskanaler fra områder, hvor der er mulighed for gnistdannelse eller andre mulige tændkilder, må derfor ikke tilsluttes ventilationskanaler, der er klassificerede som eksplosionsfarlige områder.

Sammenføring af ventilationskanaler kan fx ikke tillades ved

- sammenblanding af gnistgivende stoffer og materialer med opløsningsmiddel-dampe
- sammenblanding af stoffer og materialer, der kan medføre brand eller eksplosion
- fare for spredning af udsugede forureninger til andre sugesteder/arbejdssteder.

På autoværksteder er der en praksis for, hvordan udsugningskanaler fra de enkelte arbejdsprocesser må sammenføres.

Bemærk, at ventilationsanlæg skal indrettes, så de opfylder de særlige krav i fx Boligministeriets stærkstrømsbekendtgørelse, Miljø- og Energiministeriets autoværkstedsbekendtgørelse, Bygge- og Boligstyrelsens bygningsreglement, Dansk Gasmateriel Prøvnings gasreglement og Arbejdstilsynets bekendtgørelser om indretning af tekniske hjælpemidler til anvendelse i eksplosionsfarlig atmosfære, om arbejde med kodenummererede produkter og om indretning af faste arbejdssteder.

Efter brandmyndighedernes regler bliver en stofpose i en længde over to meter betraget som en kanal. Brandmyndighederne har også regler om, hvornår stofposer ikke må bruges.

9. Støj fra ventilationsanlæg

Ventilationsanlæg skal være indrettet og placeret, så unødigt støj undgås. Støjen fra ventilationsanlæg bør ikke bidrage til støjbelastningen i rummet. Støjen fra ventilationsanlæg bør være mindst 10 dB(A) lavere end baggrundsstøjen i arbejdsrummet, hvor anlægget skal placeres. Er baggrundsstøjen i arbejdsrummet meget lav, er dette ikke muligt. Støjen fra ventilationsanlæg skal dog altid holdes så lav, som det er teknisk muligt og rimeligt.

Støj kan modvirkes ved at

- bruge runde kanaler
- adskille kanaler fra bygningselementer og maskiner ved fx brug af gummimellemlæg
- undgå at bruge højere lufthastigheder end nødvendigt
- isolere ventilatorer mv.
- undgå at anbringe motorer til ventilatorer i arbejdsrummet
- udforme armaturer til indblæsning og udsugning på en hensigtsmæssig måde
- etablere lyddæmpere i kanalerne.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at lyd kan føres via kanalsystemet til arbejdsstedet eller andre rum. Det kan være årsagen til generende støj og skal i videst muligt omfang undgås.

10. Vedligeholdelse og rengøring

Leverandøren skal levere en fyldestgørende brugsanvisning sammen med ventilationsanlæg. Til det hører bl.a. de nødvendige angivelser for drift og vedligeholdelse samt et sæt hovedtegninger.

Inden ventilationsanlægget tages i brug, bør det sikres, at anlægget leveres indkørt med måleresultater, der dokumenterer, at anlægget fungerer effektivt. Det gælder også ved enhver væsentlig ændring af anlægget.

Alle ventilationsanlæg skal kontrolleres – eventuelt justeres – regelmæssigt og holdes forsvarligt rene af personale med særligt kendskab til ventilationsanlæggets funktion og formål.

Rengøring af anlægget, herunder kanaler indvendigt, er navnlig påkrævet, hvis

- anlægget er tilstoppet
- anlæggets funktion i øvrigt er forringet

- der i anlægget kan dannes sundhedsskadelige stoffer og materialer, fx mikroorganismer. De kan dannes, hvis der udsuges biologisk aktivt støv/materiale.

Ved indvendig rengøring eller reparation af kanaler o.l., hvor der forekommer skadelige stoffer og materialer, skal der benyttes egnet åndedrætsværn og eventuelt støvafvisende tøj.

Jens Jensen

Regler:

Bekendtgørelse nr. 96 af 13. februar 2001 om faste arbejdssteders indretning.

Læs også Arbejdstilsynets vejledninger om:

- (1) Indeklima
- (2) Brand og eksplosionsfare ved arbejde med brandfarlige væsker
- (3) Grænseværdier for stoffer og materialer
- (4) Recirkulation.

Læs også branchearbejdsmiljørådenes vejledninger mv.:

Branchearbejdsmiljørådenes vejledninger kan findes på de enkelte branchearbejdsmiljøråds hjemmesider. Der er link til disse hjemmesider på Arbejdstilsynets hjemmeside www.at.dk

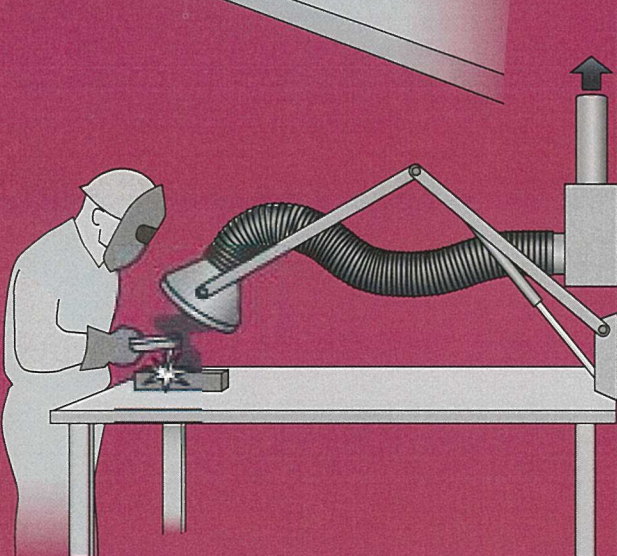
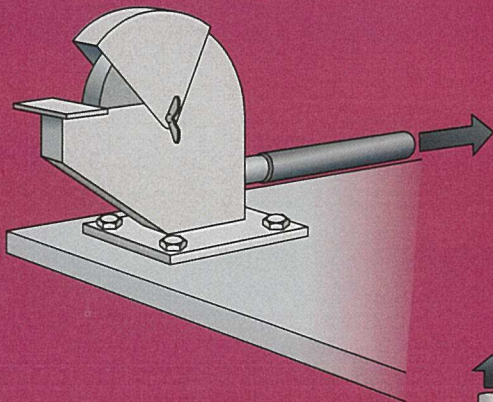
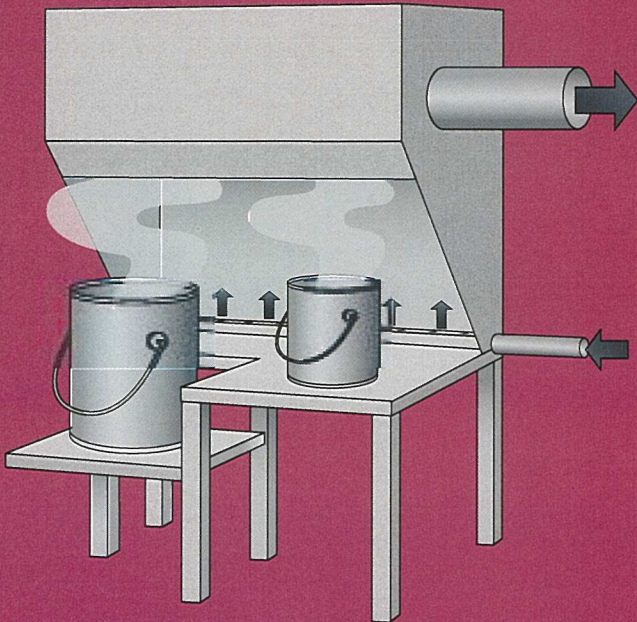
Arbejdstilsynet
Postboks 1228
0900 København C
Telefon 70 12 12 88
Telefax 70 12 12 89
e-post at@at.dk
www.at.dk

Prepress: HellasGrafisk A/S – Tryk: Scanprint A/S



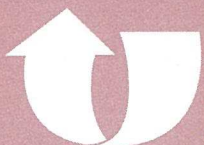
**BILAG 22: Branchevejledning 2 – Lokaludsugning,
Søfartens Arbejdsmiljøråd**

• LOKALUDSUGNING

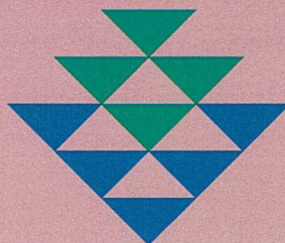


Malersshop
Maskinrum
Værksted

Branchevejledning nr. 2



Flip for
English
version



Søfartens
Arbejds miljø råd

Branchevejledning nr. 2

LOKAL- UDSUGNING

Malershop
Maskinrum
Værksted



Søfartens Arbejdsmiljøråd
2001

© Søfartens Arbejdsmiljøråd
ISBN nummer: 87-986883-8-3
Tryk: JBK Offset ApS, Ishøj

Tekst: Jens Voxtrup Petersen, CASA, og Bjarne Pless, BST Aarhus
Tegninger: Pelle Søeborg
Sats: Tegneriet ApS, København
Oversættelse: Joanna Thompson

Udgivet af



Søfartens Arbejdsmiljøråd
The Danish Maritime Occupational Health Service
Amaliegade 33 B
DK-1256 København K
Tel. +45 3311 1833
Fax. +45 3311 1460
www.seahealth.dk
E-post: info@seahealth.dk

Salg og distribution fra



Iver C. Weilbach & Co. A/S
Toldbodgade 35
1253 København K
Tel +45 33 13 59 27
Fax +45 33 93 59 27
E-post: nautical@weilbach.dk

Hvorfor udgive en branchevejledning om lokaludsugning?

Luftforurening er en uønsket, men uundgåelig konsekvens af menneskeskabt aktivitet. Hvis man i sit arbejde indånder eller kommer i kontakt med skadelig røg eller giftige dampe fra kemikalier, kan det skade sundheden. Forureningen kan påvirke slimhinder, hud og åndedræt. Det kan give anledning til såvel akutte påvirkninger som mere kroniske skader. Åndenød og besvimelse er eksempler på akutte skader, mens astma, kronisk bronkitis og kræft kan være resultat af en mere vedvarende påvirkning.

Lovgivningen kræver som udgangspunkt at arbejdet om bord i et handelsskib udføres sikkerheds-

og sundhedsmæssigt fuldt forsvarligt. Det betyder, at personel ikke må/bør udsættes for unødige påvirkninger, der på kort eller langt sigt kan forringe deres helbred.

Derfor er repræsentanter for søfartserhvervet gået sammen for at udarbejde denne branchevejledning. Formålet har været at fastlægge en god praksis, når det drejer sig om at fjerne luftforurening ved hjælp af lokaludsugning.

Vejledningen har været til høring i Søfartsstyrelsen, hvis bemærkninger er indarbejdet i teksten.

Lovgivning

Vejledningen tager udgangspunkt i følgende:

Lovbekendtgørelse nr. 554 af 21. juni 2000 om sikkerhed til søs, med senere ændringer.

Meddelelser fra Søfartsstyrelsen B. Skibes bygning og udstyr m.v. Kapitel B II-4 Arbejdsrum og arbejdssteders indretning og udstyr, 1. januar 2001.

Søfartsstyrelsens tekniske forskrift Nr. 6 af 3 juli 1997: Om mekanisk udsugning fra rum til at håndtere maling etc. og arbejdspladser i skibe.

Forebyggelse med lokaludsugning og ventilation

Den bedste forebyggelse er selvfølgelig at undgå luftforureningen, fx ved at ændre arbejdsprocessen eller skifte til andre produkter, der ikke forurener. En god forebyggelse kan også opnås ved at fjerne forurening med mekanisk lokaludsugning. I visse tilfælde er det ikke muligt at fjerne forureningen tilstrækkeligt effektivt. Her må sundhedsskader forebygges ved at bruge egnede personlige værnemidler.

Hvornår skal der være lokaludsugning og rumventilation?

Mekanisk lokaludsugningen skal indrettes, så den nedbringer luftforureningen effektivt. Det er ikke tilstrækkeligt at nedbringe forureningen til en eventuel grænseværdi, hvis der er tale om en unødigt forurening. Udsugningen etableres så vidt muligt i direkte tilknytning til den forurenende arbejdsproces.

Selv om udsugningen er effektiv, kan en forurening, på grund af sin art eller arbejdsprocessens art,

undslippe udsugningen og derved spredes til rummet. Dette kan fx være tilfældet ved svejsning. I sådanne tilfælde skal udsugningen suppleres med ventilation i rummet.

Endvidere vil der i mange situationer forekomme små spredte forureningskilder, hvor det ikke vil være muligt eller rimeligt at etablere udsugning ved hver enkelt arbejdsproces. I sådanne tilfælde skal der også etableres rumventilation.

Luft ud og luft ind

Ventilationsanlæg skal normalt indrettes med afbalancerede luftmængder, dvs. at der tilføres frisk luft i en mængde, der svarer til den udsugede mængde. Dog kan man i arbejdsrum, der ikke ønskes forurenet fra omgivelserne, holde overtryk, dvs. at der indblæses mere luft i rummet, end der suges ud.

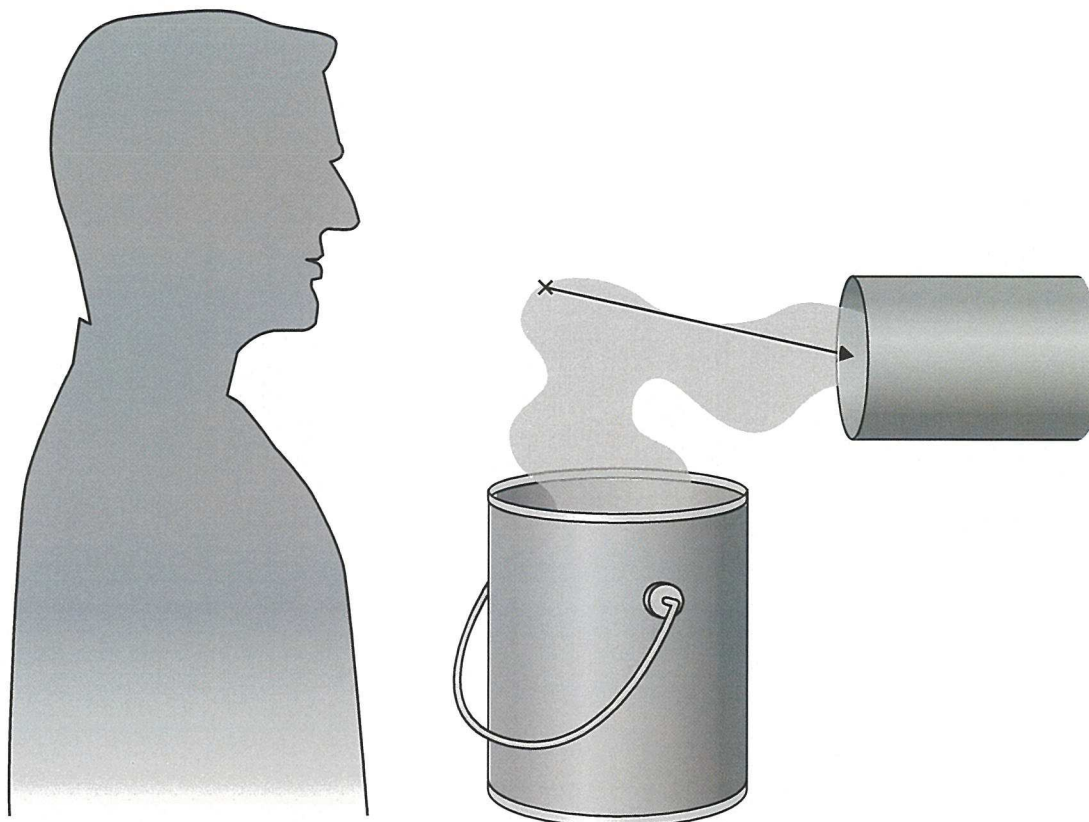
Tilførslen skal sikre en effektiv erstatning af den udsugede luft. Den tilførte luft bør være frisk og have en passende temperatur, og det vil være ideelt, at den ikke giver træk på steder, hvor der opholder sig ansatte (opholdszonen).

Ved frisk luft forstås den bedst mulige udeluft fra området. Luften tages ind på en sådan måde, at der ikke er risiko for kortslutning. Kortslutning betyder, at indblæsningsluften (erstatningsluften) forurenes med luft fra andre afkast, fx en nærliggende skorsten.

Ordforklaring

Vejledningen anvender en række begreber, som også anvendes i lovgivningen:

- Arbejdsrum: Ethvert rum i skibet, hvor der udføres et arbejde - såsom broen, maskinrum, kabysser, kontrolrum, værksteder, malershop, kontorer og lignende.
- Fast arbejdssted: Det sted i et arbejdsrum eller andre steder, hvor der regelmæssigt udføres et arbejde, såsom ved arbejdsborde, maskiner, rensekar, trykprøvningsstande, kogesteder og steder, hvor maling blandes og tilhørende arbejdsredskaber rengøres mv.
- Separat mekanisk udsugning: Mekanisk udsugningssystem, der ikke har forbindelse til andre ventilationssystemer.
- Mekanisk lokaludsugning: Udsugning der fjerner luftbårne partikler, dampe og gasser, aerosoler og lignende så tæt ved forureningskilden som muligt.
- Unødigt påvirkning: En påvirkning, der kan reduceres væsentligt i niveau, og som det forekommer rimeligt at gennemføre forebyggende foranstaltninger mod.
- Frit dæk: Et dæk, som er helt åbent for oven og på mindst to af siderne.



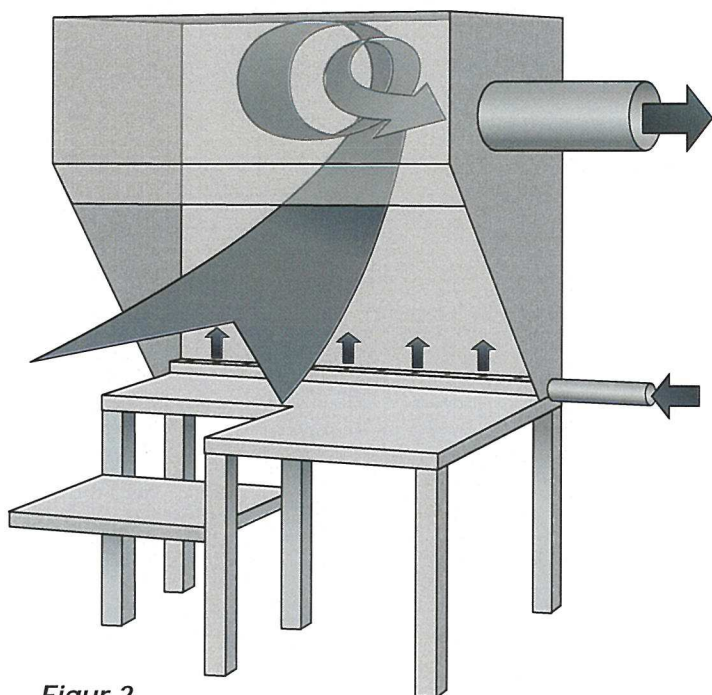
Figur 1

Lokaludsugningen skal give luften en passende hastighed, så forureningen gribes og føres væk fra personen (gribehastighed).

Krav til mekanisk udsugning

- Hvis der ved en arbejdsproces på et fast arbejdssted sker udvikling af, støv, dampe, gasser, aerosoler og lignende, der er unødige, sundhedsskadelige, eksplosive eller generende, skal der etableres en fast installeret mekanisk lokaludsugning. Rummet skal have tilgang af luft fra frit dæk (erstatningsluft).
- Der skal således etableres lokaludsugning ved svejseborde, trykprøvestande, rensekar til afvaskning af maskindele, stegepladser i kabys, større opvaskemaskiner og lignende faste arbejdssteder, hvor stoffer og materialer håndteres og tilhørende arbejdsredskaber rengøres m.v.
- Lokaludsugningen skal have en passende gribehastighed (væk fra personen, se figur 1), som afhænger af forureningens art. Som eksempler kan nævnes: Svejsning 0,5-1,0 meter pr. sekund, rensekar (opvarmede og uopvarmede) 0,2-0,5 m/s, blande-/afrensningsplads i malershop 0,2-0,5 m/s.
- Ved arbejdssteder, der ikke kan betragtes som faste, og hvor de samme påvirkninger som nævnt under det første punkt kan forekomme, skal der anvendes transportabelt udsugningsudstyr og/eller egnede personlige værnemidler.
- Den udsugede luft skal føres til frit dæk og må ikke kunne føres tilbage til arbejdsrummet eller andre rum i skibet via ventilationssystemerne (recirkulation).
- Alle udsugningssystemer skal ved det faste arbejdssted være forsynet med en driftsindikering for utilstrækkelig funktion.

Hvordan kan man lave en lokaludsugning?



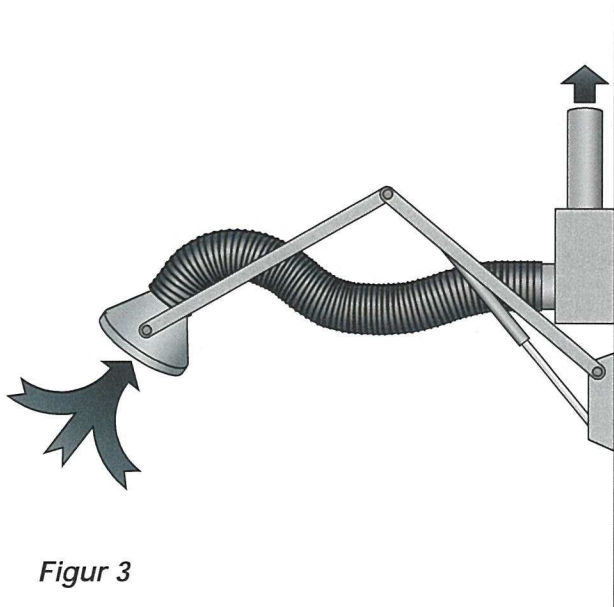
Figur 2

Tornado

Tornadoen består af en specielt udformet hætte. Ved hjælp af udsugningens placering og ved hjælp af en styreluft skabes en vandret hvirvelbevægelse, der er meget stabil. Når tornadohætten er dimensioneret rigtigt, dækker arbejdsbordet og er tændt, vil der være den nødvendige lufthastighed og luftretning. Det gælder, uanset hvad medarbejderen laver, om processen udvikler varme eller ej, og hvor på bordet medarbejderen udfører processen.

Da tornadoen består af en hætte med en bagplade og nogle sideplader, bliver der en vis beskyttelse mod tværgående luftbevægelser, fx fra åbentstående døre, indblæsning af erstatningsluft mv. Men man skal stadig tage hensyn til tværstrømme, når tornadoen placeres.

Fra en tornadohætte, der er 1 meter bred, skal der udsuges ca. 1.000 m³/h for at skabe en gribehastighed på ca. 0,25 m/s.



Figur 3

Sugetragt på mobil svingarm

En sugetragt (sugehov) kan fjerne forureninger i umiddelbar nærhed af tragtens åbning. Det betyder, at den skal placeres ret nøjagtigt i forhold til forureningen. Man skal samtidig tage hensyn til, om processen udvikler varme eller ej.

Luftmængden, der skal udsuges fra sugetragten, afhænger af tragtens størrelse og afstanden til forureningskilden. For at kunne fjerne forureningerne fra en svejsning i en afstand af 30-40 cm eller ved et blandebord, skal sugetragtens slangetilslutning være ca. 160 mm, og udsugningsmængden skal være ca. 1.000 m³/h. Kan sugetragten holdes ca. 10 cm fra en svejsning, kan man nøjes med en 50 mm slange, en lille sugetragt og en luftmængde på 200-400 m³/h.

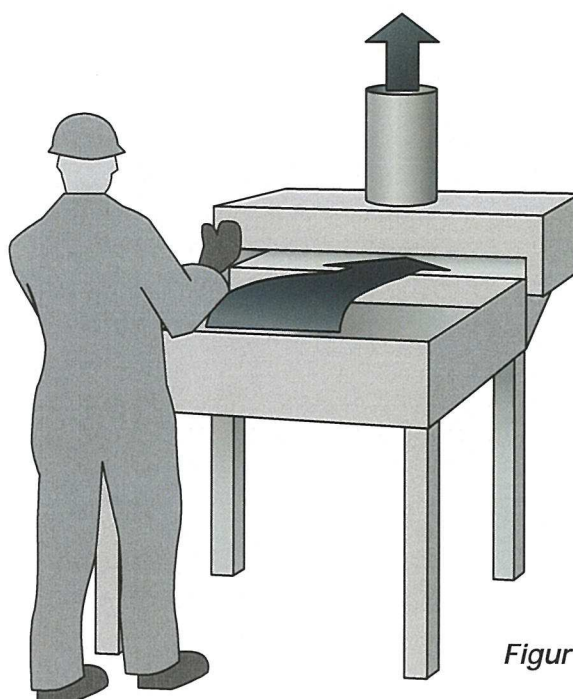
Bagkantudsugning (spalteudsug)

Ved et fast arbejdsbord kan forureninger fjernes ved hjælp af en sugespalte, placeret ved bagkan-

ten af bordet. Et sådant spalteudsug skal dimensioneres nøjagtigt for at have den ønskede effekt. Gribehastigheden er størst lige over bordet og aftager ret hurtigt med højden.

Denne metode kan være udmærket til at fange "kolde" forureninger, som fx dampe fra kolde rensekar. Metoden kan ikke anvendes, hvis der er opvarmning i forbindelse med processen. Den er heller ikke velegnet, hvis forureningerne opstår et stykke over bordet, som fx ved oprøring af maling i de store malerbøtter. Metoden er meget følsom over for tværstrømninger.

Den nødvendige udsugningsluftmængde er afhængig af spaltens længde og af afstanden mellem processen og spalten, men der skal typisk anvendes mellem 1.000 og 2.000 m³/h pr. meter spalte.

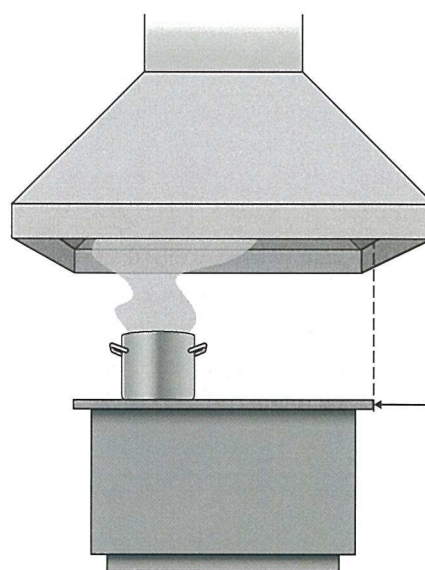


Figur 4

Emhætte

Når der er opvarmning i forbindelse med en forurening, fx ved komfuret i køkkenet, kan der anvendes en emhætte. Emhætten skal placeres, så afstanden mellem komfurets overkant og hættens underkant er mindst mulig, og skal række ca. 25 cm ud fra komfuret på alle frie sider.

Den nødvendige udsugningsmængde afhænger af varmetilførslen til fx komfuret. For hver kilowatt, der tilføres et almindeligt komfur, skal der udsuges ca. 35 liter pr. sekund, svarende til ca. 125 m³/h pr. kW. I lighed med andre lokaludsugninger er emhætter meget følsomme over for tværstrømninger.



Figur 5

Vigtige huskeregler:

Det er vigtigt at gøre sig klart, hvilken form for forurening der skal fanges med en lokaludsugning. Er det varm svejserøg, skal lokaludsugningen være placeret højere end svejsestedet. Er det derimod dampe fra oprøring eller blanding af maling, er der ingen varme i forbindelse med processen, og det nytter derfor ikke at forsøge at fjerne forureningen længere oppe ved hjælp af en emhætte.

I mange maskinrum og værksteder er der en meget kraftig indblæsning af luft (turbulens). Det bevirker, at forureningerne bliver spredt, hvad enten de er varme eller kolde. Rolige luftbevægelser er en forudsætning for, at en lokaludsugning kan fungere effektivt, og det kan vurderes i forbindelse med arbejdspladsvurderingen (APV). Dette kan eventuelt løses ved hjælp af afskærmning.

Hvordan kan man lave en lokaludsugning?

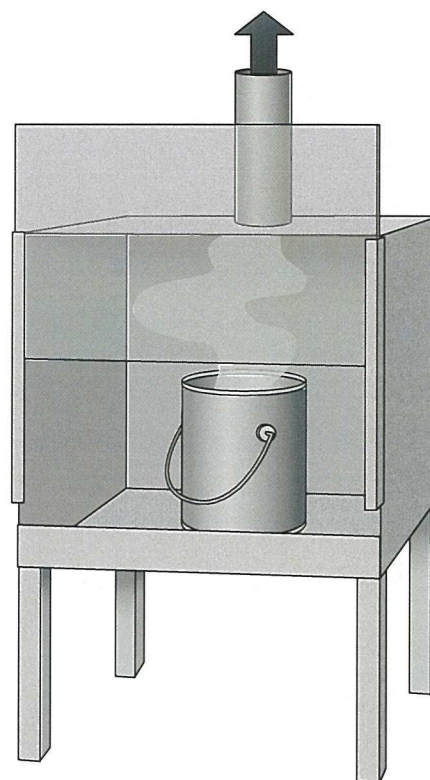
Indkapsling

Den mest effektive form for lokaludsugning er at indkapsle processen og sørge for et undertryk i indkapslingen. Jo bedre indkapslingen er, jo mindre luft er det nødvendigt at udsuge.

Recirkulering

Generelt skal al luft, der udsuges ved en forurenende proces, ledes til det fri, og der må ikke kunne ske kortslutning, så den forurenede luft trækkes ind via åbninger, indblæsningsanlæg mv. Det vil i mange tilfælde sige, at luften fra maskinrum skal ledes op gennem casingen.

Det kan i enkelte tilfælde (fx ved brændstofsventilafprøvning) tillades, at luften renses og igen ledes til rummet (recirkuleres). Det kan også i specielle tilfælde tillades, at den forurenede luft kun ledes et stykke op i casingen, men det kræver dispensation fra Søfartsstyrelsen.



Figur 6

Forslag til lokaludsugning i malershop

I en malershop skal der etableres en effektiv lokaludsugning ved arbejdsstedet. Dette kan gøres ved hjælp af:

- tornado
- sugetragt
- bagkantudsugning

Tornadoprincippet er det mest effektive. Når tornadohætten er placeret over arbejdsbordet og er tændt, vil der være den nødvendige lufthastighed og luftretning, uanset om det drejer sig om op-røring, blanding eller overhældning fra en bøtte til

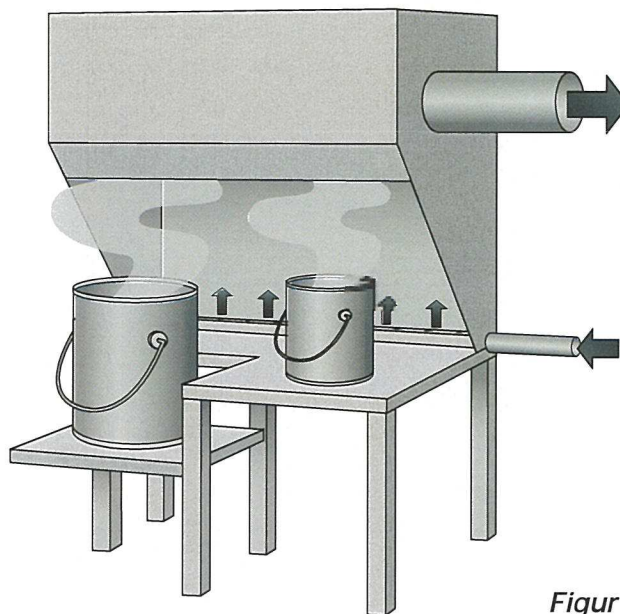
en anden. Ved at anvende et arbejdsbord, der er indrettet i to højder, kan både udsugningen og ergonomien (arbejdsstillingerne) forbedres.

En sugetragt kan skabe den nødvendige gribe-hastighed i en radius af 30-40 cm. Det bevirker, at tragten skal anbringes tæt på malerbøtten og skal flyttes med ved overhældning fra en bøtte til en anden. Da dette i praksis ikke er nemt for én person, bliver det ikke gjort, og effektiviteten bliver derfor lav.

Bagkantudsugning kan anvendes til formålet, men er i mange tilfælde ikke tilstrækkelig, da forureningerne for det meste ikke opstår i bordhøjde, men et stykke over bordet.

Udsugningsluftmængderne ved alle tre metoder vil normalt blive over ca. 1.000 m³/h, hvilket i langt de fleste tilfælde vil opfylde Søfartsstyrelsens krav om, at luften i malershoppen udskiftes mindst seks gange i timen.

Da der kan opstå eksplosionsrisiko, skal elektrisk udstyr, der anbringes i malershoppen, være eksplosionssikkert. Samtidig skal ventilationen kunne standses uden for rummet. Stopknappen anbringes i forbindelse med udløserstedet for det krævede brandslukningsanlæg.



Figur 7

Krav til malershop og storesrum

En malershop er et rum, hvor maling, organiske opløsningsmidler og ikke-brandfarlige væsker håndteres, og hvor beholdere, der er taget i brug, opbevares. Rummet er med hensyn til gulvplads stort nok til en person.

Ved en konkret vurdering af rummet vil der endvidere blive lagt vægt på forbruget af maling, arten af maling, og om der er tale om småreparation. Kravene i lovgivningen er bl.a.:

- Rummet skal have adgang fra frit dæk eller et ro/ro-dæk med forskriftsmæssig ventilation og være hensigtsmæssigt indrettet herunder have et frit dørkareal på mindst 4 m² (For nye skib bygget efter 1. januar 2001).
- Arbejdsrum til håndtering af maling mv. skal være forsynet med mekanisk lokaludsugning ved arbejdsstedet. Størrelsen af luftfornyelsen (luftskiftet) i rummet skal være på mindst 6 gange i timen.
- Lokaludsugningen skal have en passende gribehastighed ved blande- og afrensingsplads på 0,2-0,5 m/s.
- Storesrum, der kun anvendes til opbevaring af maling, organiske opløsningsmidler, brændbare væsker mv., skal forsynes med rumudsugning, der skal skifte luften mindst 6 gange i timen.

Forslag til udsugning i maskinrum og værksteder

Svejsning på fast arbejdsplads

Kravet til udsugning fra en svejsning er, at der skal skabes en effektiv luftbevægelse væk fra medarbejderen mod udsugningen. Ved arbejdsprocessen udvikles en kraftig varme. Det betyder, at udsugningen skal foregå på den modsatte side af svejse-emnet i forhold til medarbejderen og lidt op over svejsestedet. Dette kan gøres med en tornado eller med sugetragt.

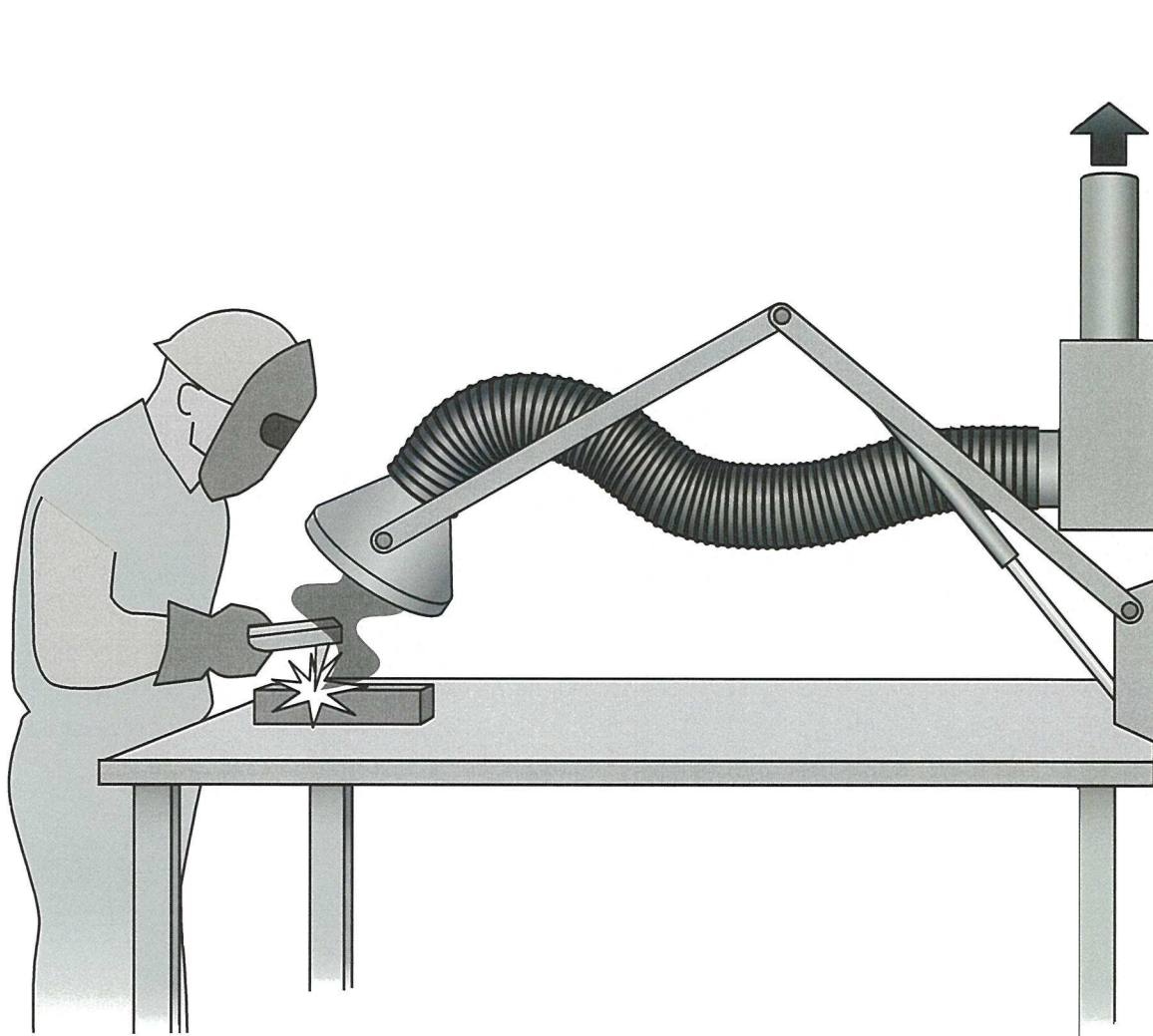
Tornadoprincippet er netop udviklet til dette formål. Med dette princip skal medarbejderen ikke flytte lokaludsugningen, samtidig med at han svejser – så længe svejsningen foregår på den del af arbejdsbordet, som tornadohætten dækker.

Sugetragt

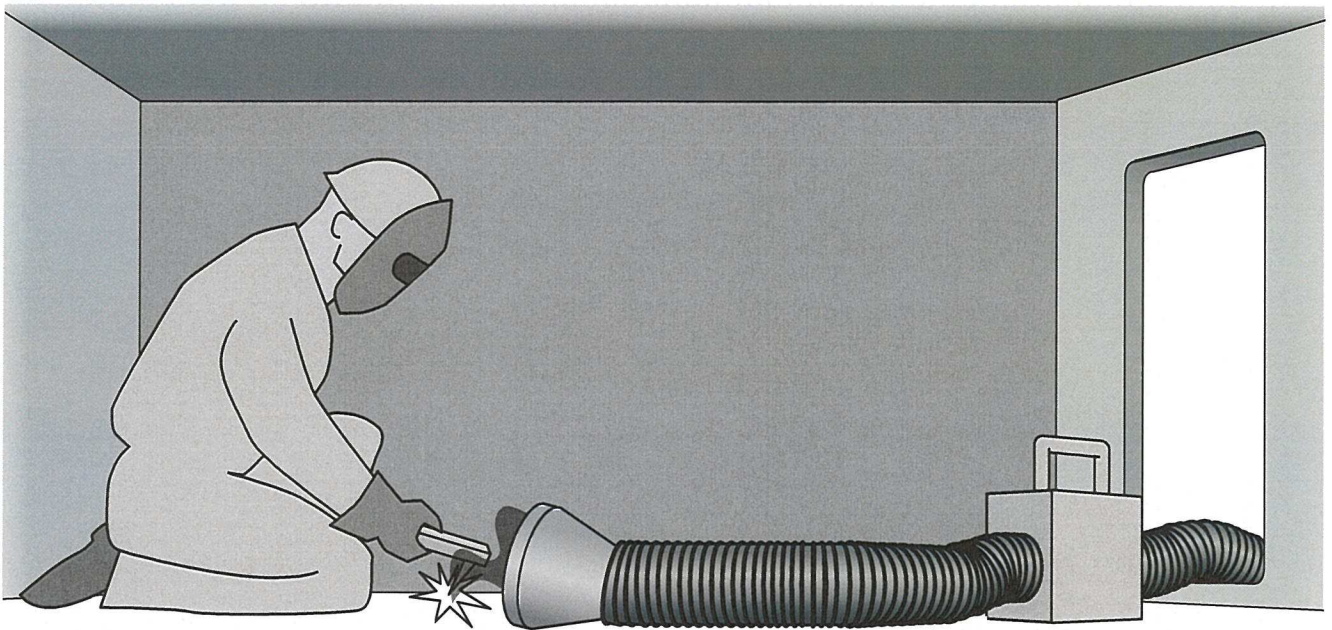
Sugetragten kan være anbragt på en svingarm eller fastgøres ved hjælp af magneter. Tragten kan alt efter størrelsen fjerne forureningen fra svejsningen i en afstand af mellem 10 cm (lille tragt) og 30-40 cm (stor tragt), hvis den anbringes rigtigt. Det vil i de fleste situationer kunne dække behovet. Er der tale om længere svejseømme, skal der tages højde for problemer med at få flyttet sugetragten i takt med svejsningen.

Svejsning på ikke faste arbejdspladser

Ved svejseopgaver rundt omkring på skibe (i lukkede rum eller hvor luften er stillestående) er kravet til udsugningen den samme som nævnt ovenfor.



Figur 8



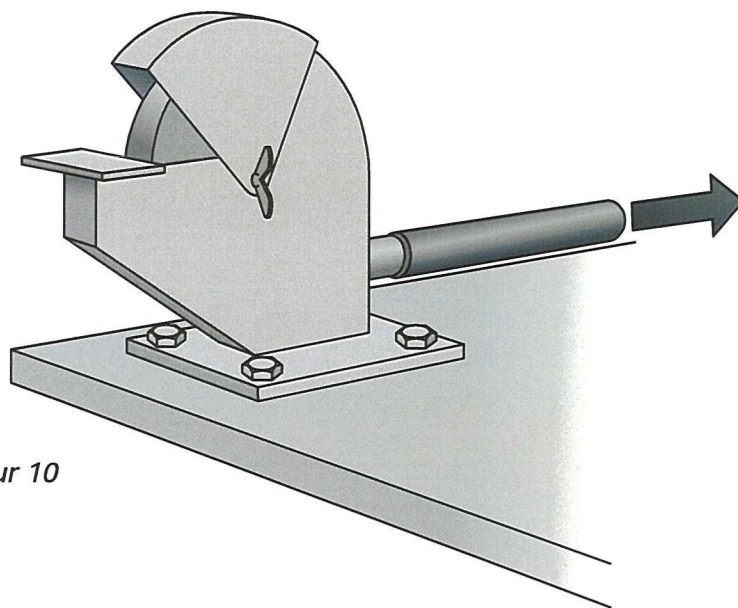
Figur 9

Mobilt sug

Den eneste mulighed for at fjerne forureningerne er at anvende en mobil ventilator med fleksible slanger og en passende sugetragt. Der findes ventilatorer, der kan udsuge en lille luftmængde ved et højt tryk. Her kan de små sugetragter anvendes.

Der findes også ventilatorer, der kan klare en større luftmængde med et mindre tryk, hvilket gør, at større sugetragte kan anvendes. Fordelen ved de store sugetragte er, at de kan fange forureningerne i en større afstand.

Forslag til udsugning i maskinrum og værksteder



Figur 10

Slibning

Ved anvendelse af vinkelslibere opstår der en del forurening i form af skære-/slibestøv og eventuelle gasser fra overfladebehandlingen. Denne forurening bør fjernes ved hjælp af lokaludsugning.

Det er muligt at montere diverse sugetragte direkte på vinkelsliberen, men de har kun positiv effekt, hvis der slibes på plane flader. På kanter, og når der skæres, har de næsten ingen effekt ud over at være i vejen.

Det er nødvendigt at anvende de under svejsning nævnte sugetragte eller tornadoprincippet på den faste arbejdsplads. Der er dog ingen af disse muligheder, der kan fjerne forureningen fuldstændig. Anvend derfor altid åndedrætsværn ved disse processer.

I maskinrummet eller i værkstedet er der ofte anbragt en båndsliber eller en slibemaskine. Disse skal være udstyret med en udsugning, der

bør være forsynet med et filter, der forhindrer, at slibestøvet ledes ud i kanalerne med risiko for tilstopning af kanaler og ventilator.

Indkapsling af slibesten

Slibestenen/maskinen skal indkapsles mest muligt for at udsugningen bliver effektiv. Mange af maskinerne på markedet er indkapslet og forsynet med en sugestuds. I mange tilfælde kan indkapslingen nemt forbedres.

Den nødvendige luftmængde fra en båndsliber eller slibemaskine vil ligge mellem 400 og 1.000 m³/h, afhængig af bredden og indkapslingen.

Afprøvning af brændstofsventil

Ved afprøvningen af brændstofsventiler opstår der en lille mængde meget fint forstøvet olietåge. Denne skal fanges, inden den når medarbejdernes åndedrætszone.

Da processen ikke behøver at foregå frit i lokalet, men kan indkapsles, er dette den eneste rigtige metode.

Ved at udføre en indkapsling, der er nogenlunde tæt, vil det kun være nødvendigt at fjerne en meget lille luftmængde. For det meste vil det være under 100 m³/h. Denne luftmængde skal ledes til det fri.

En mulighed er at anvende en ejektorpumpe og et oliefilter (samme type som anvendes til åndedrætsværnene) og derefter lede den meget lille luftmængde tilbage til rummet. Dette udstyr findes på markedet i flere fabrikater, der i princippet er accepteret af Søfartsstyrelsen.

Andre forurenende arbejdsprocesser

Der kan være andre arbejdsprocesser, som bør vurderes med hensyn til forurening. Et eksempel er udskiftning af brændoliefiltere, hvor der ved åbning af filtret kan stige en del olieaerosoler op i medarbejdernes åndedrætszone. Det samme kan gøre sig gældende ved eftersyn af fx rotor-caps og varme motorer.

En mulig løsning er at anvende en mobil ventilator (den samme som anvendes ved svejsning) og lede luften fra denne til en fast udsugningskanal. Det er ikke tilladt at recirkulere udsugningsluften, selv om den eventuelt er rensat gennem et filter.

Generel rumudsugning

Da en lokaludsugning ikke kan fange al forurening ved en proces, er det altid hensigtsmæssigt, at der er generel udsugning i alle værksteder, testrum mv. Hvor store luftmængder, der skal udsuges, kan ikke fastsættes generelt. Det vil bl.a. afhænge af processen og medarbejdernes brug af lokaludsugning.

Forslag til udsugning ved rensning

På et skib vil der altid være en del maskindele mv., der med jævne mellemrum skal renses, og det kan gøres på mange måder.

Vaskemaskiner og ultralydskar

Den mest hensigtsmæssige måde at få rensede maskindele mv. på er at anvende lukkede vaskemaskiner, hvor der er etableret en udsugning, der tømmer maskinen for vanddamp, inden den åbnes.

En mulighed, der er ved at vinde udbredelse, er anvendelse af ultralydskar. Rensevæsken i disse kar er ikke så sundhedsskadelig, som de tidligere anvendte olieprodukter, og hvis temperaturen i karret holdes nede på 35-40°C, skulle der ikke opstå gener.

Hvis temperaturen derimod hæves til fx 80°C, som det ofte ses, vil vanddampene fra karret kunne give væsentlige slimhindegener, og det betyder, at der skal etableres lokaludsugning.

Da det netop er varmen fra det opvarmede kar, der er problemet, er der kun mulighed for at fjerne dampene ved hjælp af en emhætte, eller endnu bedre en tornadohætte.

Tornadohætten kan udføres med en relativ bred slids, så en eventuel krankrog stadig kan komme ind over karret.

En almindelig emhætte kan også anvendes, men er mere følsom overfor tværstrømme og bør derfor forsynes med plader ned til karret, helst på de tre af siderne.

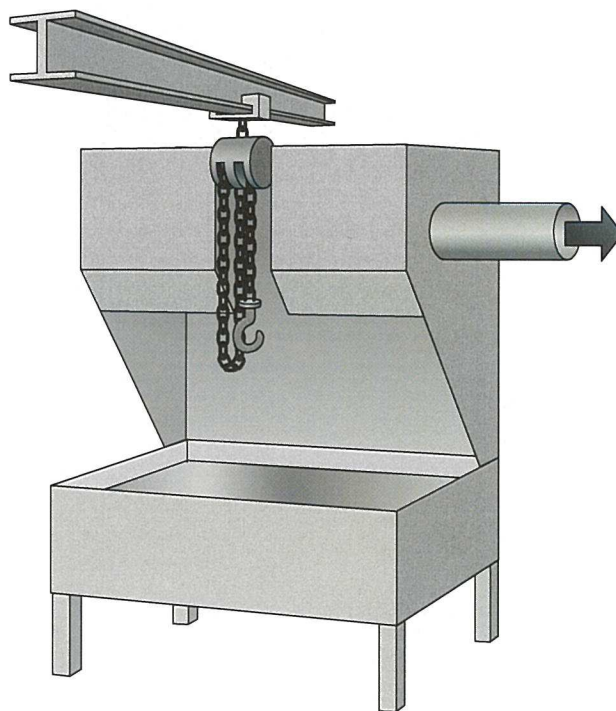
Brugen af trykluft i forbindelse med renseprocessen bør begrænses mest muligt, da en normal lokaludsugning sjældent er kraftig nok til at fange de herved dannede aerosoler.

Almindelige renskar

Fra de "almindelige" renskar, hvorfra der kommer dampe, skal der etableres lokaludsugning. Da rensvæsken ikke er opvarmet, kan dette udføres på flere måder:

- tornado
- bagkantudsugning (spalteudsugning)
- sugetragt

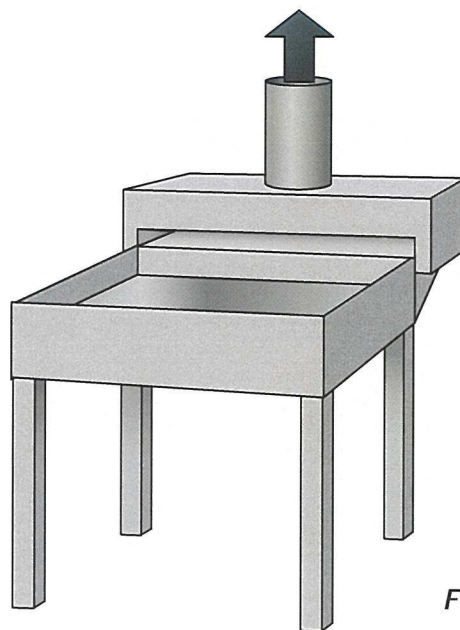
Tornadoprincippet er det mest effektive. Når tornadohætten er placeret over karret og er tændt, vil der være den nødvendige lufthastighed og luftretning, og den kan forsynes med slidse i for- og topplade, der tillader en krankrog at komme ind over karret.



Figur 11

Et bagkantudsug kan også anvendes, men er mere følsomt over for eventuelle tværstrømme. Samtidig skal der nok anvendes en større luftmængde ved et bagkantudsug end ved tornadoløsningen, hvis afstanden fra bagvæggen til karrets forkant er relativ stor.

Ved meget små rensekar er det muligt at anvende en sugetragt, placeret på en svingarm eller med magneter.



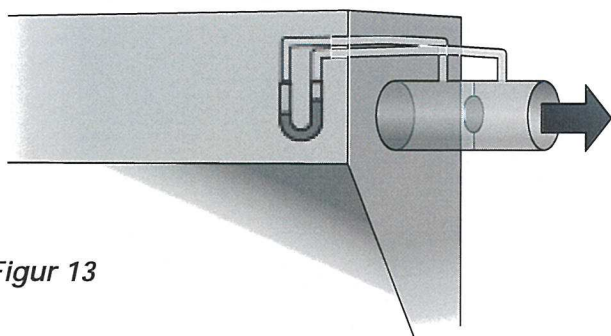
Figur 12

Forslag til udsugning i kabys

I kabysen er det nødvendigt at etablere lokaludsugning i form af en emhætte over komfur, stegeplade, ovn mv. Se figur 5 og eksempel side 20. Luftmængden skal tilpasses det aktuelle effektforbrug. Det vil ikke være ualmindeligt, at der fra en lille kabys skal fjernes ca. 1.000 m³/h. I et lille rum kan det være et problem at få tilført erstatningsluft, uden at det trækker på medarbejderne, og uden at udsugningseffekten ødelægges af tværstrømninger.

Kontrol af funktion og instruktion

Alle udsugningssystemer skal være forsynet med driftsindikering for utilstrækkelig funktion. Det betyder, at medarbejderne skal kunne se, om udsugningen er i gang, og at den suger det, den skal, for at fjerne forureningerne.

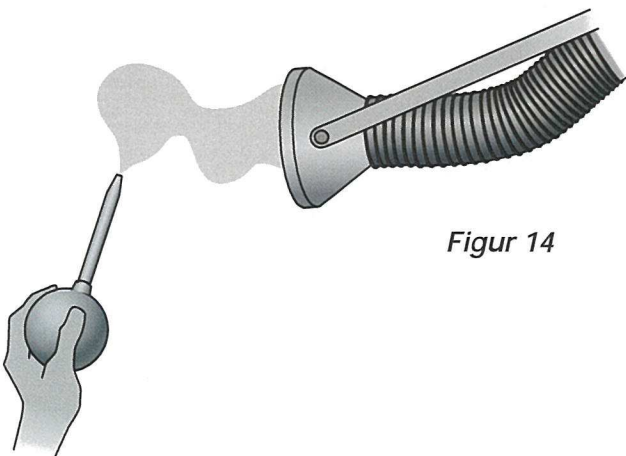


Figur 13

Den nemmeste og billigste måde at etablere en driftsindikering på er at anvende et U-rørsmanometer, der kan vise undertrykket i kanalsystemet.

Hvor der kan opstå tilstopning ved selve udsugningsstedet, fx emhætter, er dette ikke tilstrækkeligt. Her er det nødvendigt at anbringe en måleblande i kanalsystemet med tilhørende U-rørsmanometer.

Medarbejderne skal instrueres i, hvorledes disse driftsindikeringer virker, og hvad der skal gøres, hvis udsugningen ikke er tilstrækkelig.



Figur 14

Røgpipetter/røgrør anbefales til afprøvning af udsugningens effektivitet. Den "kolde" røg pustes ud på et typisk forureningssted, og røgens bevægelse følges.

Vedligeholdelse

En mekanisk lokaludsugning skal vedligeholdes og rengøres jævnligt. Det anbefales, at der opbevares en tegning af udsugningen med data for luftmængder og eftersynsrunder.

En leverandør skal levere en fyldestgørende brugsanvisning med et ventilationsanlæg. Hertil hører bl.a. nødvendige angivelser for drift og vedligeholdelse og et sæt hovedtegninger.

Når større anlæg bestilles, bør det sikres, at anlægget leveres indkørt med måleresultater, der godtgør, at anlægget fungerer effektivt. Dette kontrolleres inden ibrugtagning.

Ved indvendig rengøring eller reparationer af kanaler o.lign., hvor der forekommer skadelige stoffer og materialer, skal der benyttes egnet åndedrætsværn.

Læs mere

- Lovbekendtgørelse nr. 554 af 21. juni 2000 med senere ændringer.
- Meddelelser fra Søfartsstyrelsen A. Teknisk forskrift for arbejdsmiljø i skibe.
- Meddelelser fra Søfartsstyrelsen B. Teknisk forskrift for skibes bygning og udstyr m.v., kapitel II-4, Arbejdsrum og arbejdssteders indretning og udstyr.
- Meddelelser fra Søfartsstyrelsen B. Teknisk forskrift for skibes bygning og udstyr m.v., kapitel II-1, Konstruktion - bygning, inddeling og stabilitet, maskineri og elektriske anlæg, samt kapitel II-2, Konstruktion - brandsikring, opdagelse og slukning af brand.
- Teknisk forskrift nr. 6 af 3. juli 1997 om mekanisk udsugning fra rum til håndtering af maling m.v. og fra arbejdssteder i skibe.

Hjemmesider:

- Søfartsstyrelsen: www.sofartsstyrelsen.dk
- Søfartens Arbejdsmiljøråd: www.seahealth.dk

Eksempler



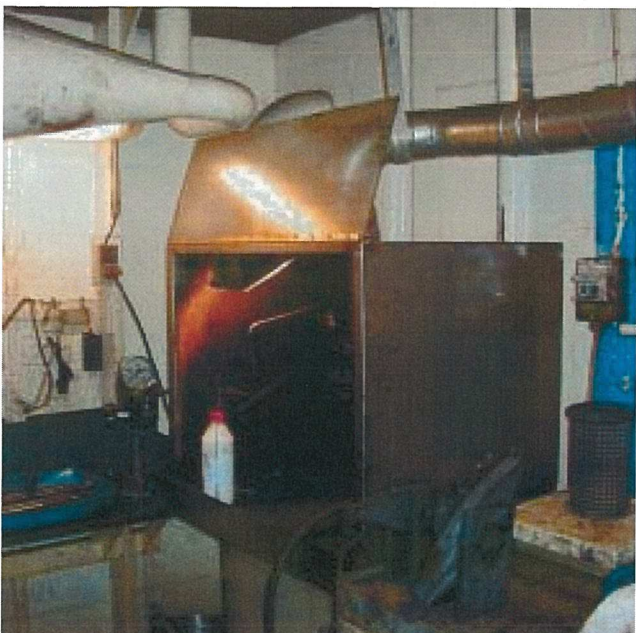
Eksempel 1 - Vaskemaskine

Vaskemaskinen er forsynet med udsugning i toppen. Den står i et maskinværksted på et dansk passagerskib bygget i 1978. Emnet placeres i kurven, som skydes ind i maskinen. Ved hjælp af løbekat kan store maskindele anbringes i vaskemaskinen uden tunge løft.



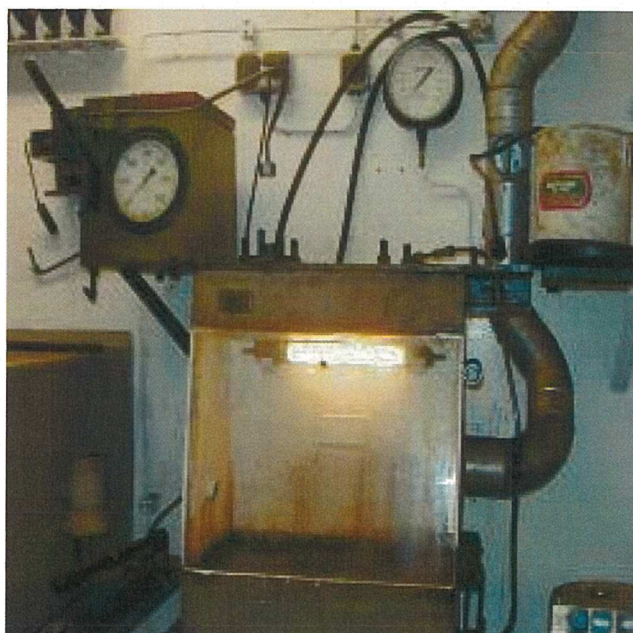
Eksempel 3 - Indkapslet rensekar

På dette rensekar er der også monteret udsugning i toppen af indkapslingen. Rensekarret bruges til afrensning af mindre maskindele i maskinværkstedet. Plexiglaspladen lukkes ned, således at man undgår afdampning i rummet. Denne løsning er ligeledes særdeles velegnet til områder med store tværgående luftbevægelser.



Eksempel 2 - Indkapslet rensekar

På et rensekar er monteret udsugning i toppen af indkapslingen. Rensekarret bruges til afrensning af mindre maskindele. Det er placeret i maskinværkstedet. Ved afrensning i karret lukkes plexiglas-pladen ned, således at man undgår afdampning i rummet. Denne løsning er særdeles velegnet til områder med store tværgående luftbevægelser.



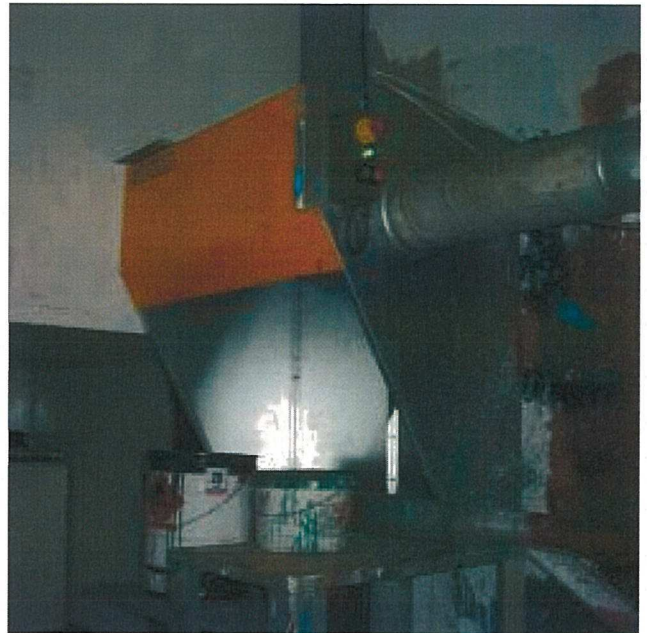
Eksempel 4 - Trykprøvestand

Der er monteret udsugning i højre side af trykprøvestanden, der bruges til afprøvning af brændstofventiler. Standen er placeret i maskinværkstedet. Ventilen monteres i toppen af standen. Under afprøvning kan man gennem plexiglaspladen se forstøvningen.



Eksempel 5 - Mobil lokaludsugning

Mobil lokaludsugning kan anvendes i forbindelse med arbejdsopgaver rundt omkring på skibet. Den er særdeles velegnet ved svejseopgaver uden for svejseværkstedet, hvor man ikke har en permanent lokaludsugning. Den kan desuden bruges til ventilering af tanke før entring.



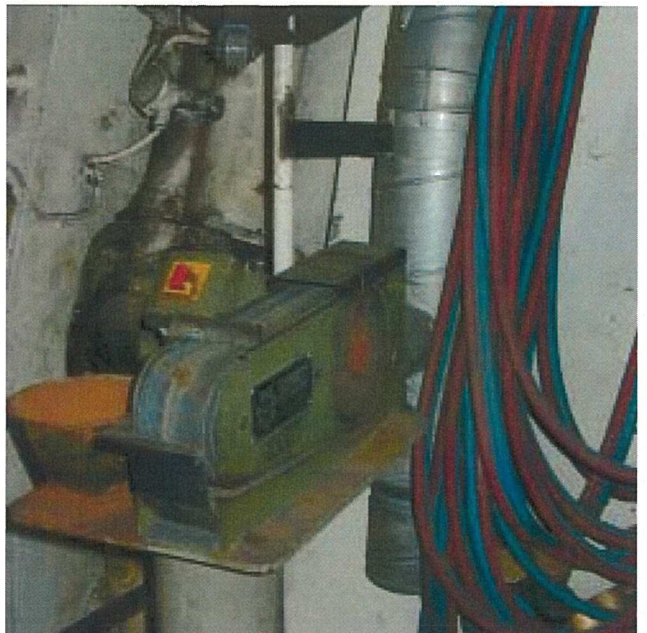
Eksempel 7 - Tornado

En tornado er opstillet i malershop. Den ene halvdel af blændbordet kan indstilles i højden, således at overkanten af malerspanden kan komme i samme niveau, uanset om man skal arbejde med 20 liters eller 5 liters spande. Styreluftens tag direkte fra rummet, mens udsugningen føres til det fri. Tornadoskærmen er forsynet med et U-rørsmanometer, således at brugeren kan kontrollere effektiviteten af udsugningen.



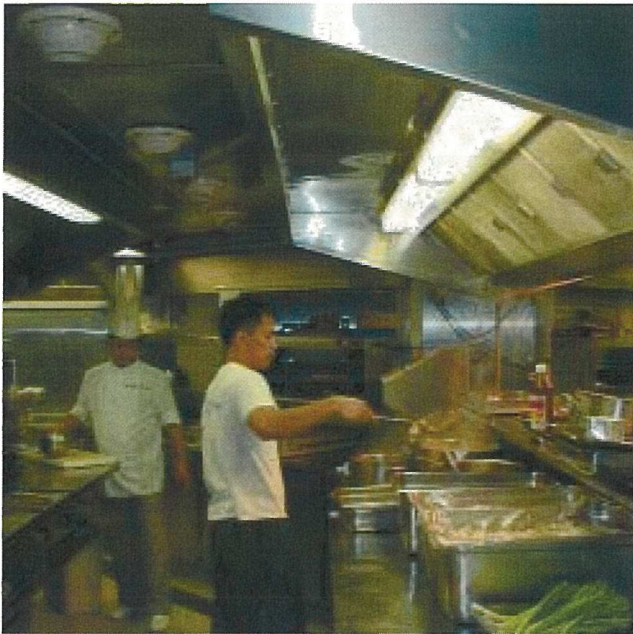
Eksempel 6 - Svingarmssug med sugetragt

Svingarm med sugetragt er etableret i et svejseværksted. Ved svejsning kan suget placeres optimalt i forhold til svejserøgen.



Eksempel 8 - Båndsliber med sug

Båndsliber opstillet i maskinværksted. Bag på båndsliberen er der monteret et sug, således at en del af forureningen fjernes fra brugeren. Man kan med fordel benytte samme princip på andre tilsvarende maskiner. Ved at indkapsle båndet/maskinen mest muligt opnår man størst effekt af udsugningen.



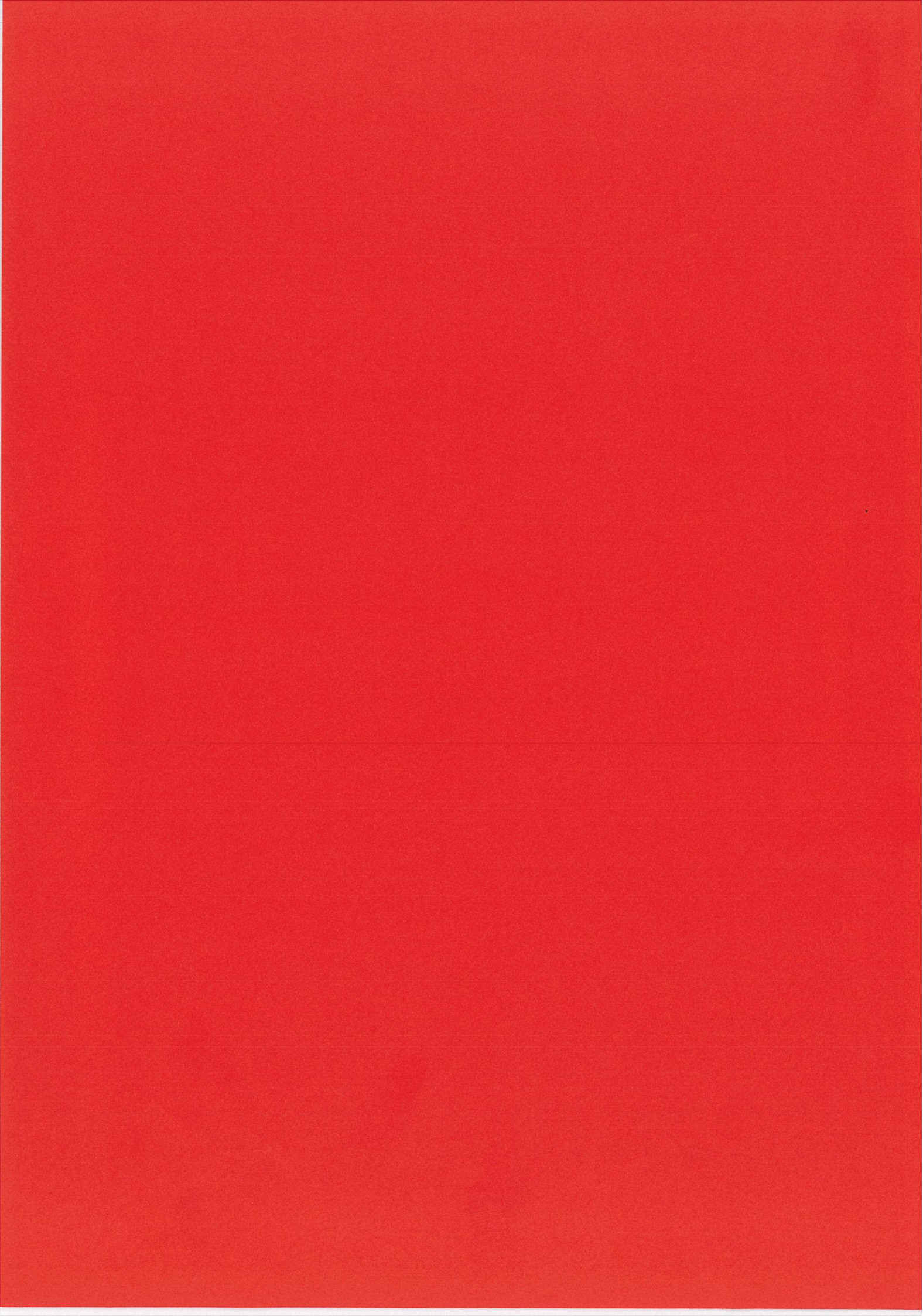
Eksempel 9 - Kabysudsugning

Der er monteret emhætte over komfuret i kabysen. Emhætten rager ca. 20 cm udover komfuret, således at man effektivt opfanger forurening.



Eksempel 10 - Bagkantsudsugning

Dette rensekar er placeret ude i maskinrummet. For at have plads til at nedsænke større maskindele i karret har man monteret en bagkantsudsugning på karret, som sikrer, at forureningen suges bort fra personen, der arbejder ved karret.



BILAG 23: Diverse udvalgte referencer

Solution of Inverse Kinematics for SCARA Manipulator Using Adaptive Neuro-Fuzzy Network

Wesam Mohammed Jasim

College of Computer, University of Anbar, Iraq
wmj_r@yahoo.com

ABSTRACT

Solution of inverse kinematic equations is complex problem, the complexity comes from the nonlinearity of joint space and Cartesian space mapping and having multiple solution. In this work, four adaptive neuro-fuzzy networks ANFIS are implemented to solve the inverse kinematics of 4-DOF SCARA manipulator. The implementation of ANFIS is easy, and the simulation of it shows that it is very fast and give acceptable error.

KEYWORDS

Inverse Kinematics, Adaptive Neuro-Fuzzy, SCARA Manipulator.

1.INTRODUCTION

A robot manipulator is consisted of a set of links connected together by joints. The joints can either be very simple , such as a revolute joint or a prismatic joint, or they can be more complex, such as a ball and socket joint. A revolute joint is similar to a hinge and allows a relative rotation about a single axis, and a prismatic joint permits a linear motion a long a single axis, namely an extension or retraction. The difference between the two situations is that, in the first evidence, the joint has only a single degree-of-freedom of motion; the angle of rotation in the case of a revolute joint, and the value of linear displacement in the case of a prismatic joint. In contrast, a ball and socket joint has two degree-of-freedom.

A robot manipulator with n joints have n+1 links, since each joint connects two links. The joints are numbered from 1 to n, and links from 0 to n, starting from the base. By this convection, joint i connects link i-1 to link i. With the ith joint, a joint variable denoted by q_i . In the case of a revolute joint, q_i is the angle of rotation, and in the case of a prismatic joint, q_i is the joint displacement:

$$q_i = \begin{cases} \theta_i & \text{if joint is revolute} \\ d_i & \text{if joint is prismatic} \end{cases}$$

Design, Analysis, Simulation, and Virtual-Reality-Verified Intelligent Controller for Industrial-Application SCARA Robot

Yousif Al Mashhadany (SMIEEE, MIIE)

Electrical Engineering Department, Engineering College, University of Anbar, Baghdad, Iraq

yousif.almashhadany@uoanbar.edu.iq / +9647814143764

ABSTRACT

Robot manipulators are designed to execute required movements. Their controller design is equally important. Selective Compliant Assembly Robot Arm (SCARA) has four degrees of freedom (DOFs), with three (shoulder, elbow, wrist) controlled by servo motors and one by pneumatics. Presented here is the development of a complete mathematical model of an industrial-application SCARA robot including the servomotor dynamics and simulation of the dynamics, also the analytical inverse kinematic problem (IKP) and the forward kinematic solution by D-H parameters. The DC servomotor driving each of the robot-arm joint is studied and modeled. The robot arm is built for trajectories of drilling, manufacture, assembly, etc. It is realized by a 3D virtual reality (VR) model, which builds and receives commands through a MATLAB/Simulink link for the design's simulation on MATLAB Version R2012a. The control scheme is Adaptive Neuro Fuzzy Inference Strategy (ANFIS). A neural network with fuzzy logic controller (FLC) selects the proper rule base through back propagation algorithm. The integrated approach improves system performance, cost-effectiveness, efficiency, dynamism, and controller reliability. The method is effective, and the response (settling) is fast. The SCARA here is VR-verified. Real-time application is possible through interface cards.

Keywords: SCARA robot, mathematical modeling, kinematic solutions,

1. INTRODUCTION

SCARA manipulators frequently perform tasks such as defect removal, pick-and-place, brushing, hole pegging, circuit board assembly, and mechanical assembly, all which require accurate tracking and high-speed

maneuvering of the end-effector. Some tasks involve large payloads (10kg-20kg) and high speeds. Conventional high-speed robots cannot handle large payloads, whereas robots handling large payloads cannot reach high speeds. Vibration, too, can be an issue. Servo hydraulics make high speeds with high payloads possible. High speeds or torques usually can be obtained only from large electric motors, which have high inertia, limiting the performance of the robot. Parallel kinematic mechanisms with stationary actuators often produce the high speeds. They are very accurate and very stiff [1]. Some can reach accelerations of up to 785 ms^{-2} (almost 80 times the gravitational acceleration), but unusable with large payloads. Their operating envelope is limited, and they do not suit planar operations. To overcome the problem of inertia, belt drives isolate the drive system components including the actuator and the power transmission components, from the moving parts. This, however, introduces backlash and friction to the system. Some studies propose options such as the wire-driven FALCON (FAst Load CONveyance) robot. 3-DOF M.I.T. direct-drive manipulator was proposed by Toumi and Kuo. Its tracking speed is 3m/s, and it can accelerate to up to 3.8 times the gravitational acceleration (accurate to between 0.05mm and 0.1mm). There is yet to be any study on a hydraulic solution to the high-speed high-payload problem [2 – 5].

Planar operations extensively use SCARA manipulators. Conventional commercial SCARA manipulators are driven by brushless DC motors, which can produce very high torques but also add to system inertia. Overcoming the problem are revolutes joints coupled by gears or belt drives, however introducing the problems of delay, slip, and friction. At very high speeds, large-payload handling in electric-motor-driven SCARA becomes impossible. Studies on servo-hydraulics systems have been on high-torque/force-related applications only. A few have used servo-hydraulic actuators to drive serial manipulators. Some used linear actuators to drive revolutes

Detailed Analysis of SCARA-Type Serial Manipulator on a Moving Base with LabView

Regular Paper

Alırıza Kaleli^{1,*}, Ahmet Dumlu¹, M. Fatih Çorapsız¹ and Köksal Erentürk¹

¹ Department of Electrical and Electronics Engineering, University of Ataturk, Turkey
* Corresponding author E-mail: arizakaleli@gmail.com

Received 24 Sep 2012; Accepted 19 Feb 2013

DOI: 10.5772/56178

© 2013 Kaleli et al.; licensee InTech. This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract Robotic manipulators on a moving base are used in many industrial and transportation applications. In this study, the modelling of a RRP SCARA-type serial manipulator on a moving base is presented. A Lagrange-Euler approach is used to obtain the complete dynamic model of the moving-base manipulator. Hence, the dynamic model of the manipulator and the mobile base are expressed separately. In addition, Virtual Instrumentation (VI) is developed for kinematics, dynamics simulation and animation of the manipulator combined with the moving-base system. Using the designed VI in LabView, the relationship between frequency of disturbances of the moving base and joint torques is investigated. The obtained results are presented in graphs.

Keywords RRP Manipulator, Mobile Base, Dynamic Model, Labview, Simulation

1. Introduction

Robotic manipulators utilized in many industrial and transportation applications, such as in underwater

vehicles, space vehicles and surface ships, can be attached to moving bases. These manipulators are affected by disturbances of the moving base. For example, manipulators attached to the surface of a ship are affected by the motion of the sea. Underwater vehicles are placed under additional forces produced by flow dynamics and frictional effects. The manipulators used in space research are affected by variable gravitational forces. These undesirable disturbances have an important effect on motion and make it difficult to control the manipulator [1, 2].

It is necessary to develop a complete dynamic model for robotic manipulators attached to a moving base in order to increase the quality of control. For some applications, such as spray painting, it is necessary to move the end effector of the manipulator along some desired paths with prescribed speed. To achieve this goal, certain dynamical equations must be determined including the parameters from the fixed base to the end effector. These equations are applicable for fixed-base manipulators, but we are obliged to adopt these equations for moving-base manipulators, too, in order to avoid target tracking errors in the end effector. Therefore, the motion of the

Trajectory Planning Design Equations and Control of a 4 - axes Stationary Robotic Arm

T.C. Manjunath, *Student Member IEEE, SPIE, IOP, Life Member ISSS, ISOI, SSI, ISTE.*

Abstract — This paper features the trajectory planning design of an indigenously developed 4-Axis SCARA robot which is used for doing successful robotic manipulation task in the laboratory. Once, a trajectory is being designed and given as input to the robot, the robot's gripper tip moves along that specified trajectory. Trajectories have to be designed in the work space only. The main idea of this paper is to design a continuous path trajectory model for the indigenously developed SCARA robot arm during its maneuvering from one point to another point (during pick and place operations) in a workspace avoiding all the obstacles in its path of motion.

Keywords — SCARA, Trajectory, Planning.

I. INTRODUCTION

DIRECT kinematics gives the position and orientation of the robot arm in the 3DE space. Inverse Kinematics gives the sets of joint variables that will satisfy the same manipulator position and orientation. In between these two problems, robot motion comes into the picture. This robot motion consists of paths and trajectories. These paths and trajectories are nothing but the various possible routes that are taken by the robot to move from the source (pick point) to the goal / destination (place point) and traversed in a specified amount of time. We use this direct kinematics and inverse kinematics problem to solve a higher-level problem, i.e., to plan trajectories in the tool configuration space. Trajectory planning schemes helps us to interpolate / approximate between the points using a smooth motion.

Trajectory planning schemes generally interpolate or approximate the desired path by a class of polynomial functions and generate a sequence of time based control set points for the control of the manipulator from the initial location to the destination. Path end points can be specified either in joint coordinates or in Cartesian coordinates. However, they are usually specified in Cartesian coordinates, because it is easier to visualize the correct end effector configurations in Cartesian coordinates rather than in joint coordinates. Furthermore, joint coordinates are not suitable as a working coordinate system, because the joint axes of most

of the robots are not orthogonal. Further, trajectory planning involves how to design and plan an obstacle collision free trajectory from the pick point to the place point in the work space of the robot. There exists an 'n' number of trajectories between the two given end - points, i.e., the source and the destination (goal), since the space is 3D in nature.

The main goal of trajectory planning is to describe the motion of the robot arm as a time sequence of joint or end-effector locations and its derivatives of the joints or end-effector locations, which are generated by interpolating or approximating the desired path by polynomial functions and to achieve a smooth motion of the end-effector. If temporal information or time information is added to the tool path by specifying the times at where the tool / gripper should be at various points along the path; then, the path gets converted into a trajectory. Hence, a trajectory is defined as a path with time information or temporal information, i.e., trajectory is both spatial as well as temporal as shown in Fig. 1.

In this, work the mathematical modelling of the trajectory design is done for a unique 4 axes system, which was designed and fabricated with indigenous components starting from scratch. The kinematically modeled and designed robot is used for some PNP operations and was named as a Selective Compliance Assembly Robot Arm (SCARA). The primary motive behind this work was to develop a modular educational robotic system, the CRUST 2002 (Computerized Robotic Unit with Selective Tractability system) with the help of locally available components and sub-systems.

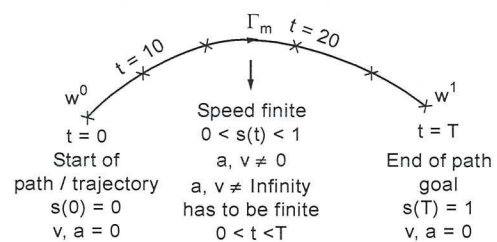


Fig. 1 Trajectory description

The paper is organized as follows. In Section 2, a brief introduction about the constructed robot is given. Next the mathematical model of the trajectory planning is presented. Simulations results are presented next followed by the conclusions and the references.

Mr. T.C. Manjunath is a Research Scholar, IEEE (No. 41561947) / ISSS / SPIE / IOP / SSI / ISOI / ISTE member, Interdisciplinary Programme in Systems and Control Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Powai, Mumbai-400076, Maharashtra, India. (Corresponding author phone : +91 22 25780263 / 25767884 / +91 080 23301316 ; Fax: +91 22 25720057 ; Mobile : 09869263824 E-mail: tmanju@sc.iitb.ac.in, tmanjunath@rediffmail.com, http://www.sc.iitb.ac.in/~tmanju)

Chapter 4

INVERSE KINEMATICS

In the previous chapter we showed how to determine the end-effector position and orientation in terms of the joint variables. This chapter is concerned with the inverse problem of finding the joint variables in terms of the end-effector position and orientation. This is the problem of **inverse kinematics**, and it is, in general, more difficult than the forward kinematics problem.

In this chapter, we begin by formulating the general inverse kinematics problem. Following this, we describe the principle of kinematic decoupling and how it can be used to simplify the inverse kinematics of most modern manipulators. Using kinematic decoupling, we can consider the position and orientation problems independently. We describe a geometric approach for solving the positioning problem, while we exploit the Euler angle parameterization to solve the orientation problem.

4.1 The General Inverse Kinematics Problem

The general problem of inverse kinematics can be stated as follows. Given a 4×4 homogeneous transformation

$$H = \begin{bmatrix} R & O \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \in SE(3) \quad (4.1)$$

with $R \in SO(3)$, find (one or all) solutions of the equation

$$T_n^0(q_1, \dots, q_n) = H \quad (4.2)$$

where

$$T_n^0(q_1, \dots, q_n) = A_1(q_1) \cdots A_n(q_n). \quad (4.3)$$

Experimental Study on Response Sensitivity of Smoke Detectors in High Flow Velocity

QIYUAN XIE¹, GUOFENG SU², HONGYONG YUAN², and YONGMING ZHANG¹

¹ State Key Laboratory of Fire Science
University of Science and Technology of China
Hefei, 230027, P.R. China

² China Center for Public Safety Research, Tsinghua University
Beijing, 100084, P.R. China

ABSTRACT

The objective of this work was to investigate preliminary design criteria of automatic fire alarm systems for some places with high flow velocity, e.g., exits of large underground car parks, the air outlets of large air conditioner etc. In addition, another main motivation of this research is to evaluate the appropriateness of Chinese standard which states that photoelectrics should be used in high flow locations. Two corresponding series of experiments were designed to analyze the response sensitivity of photoelectric and ionization smoke detectors under the conditions of different flow velocities in the Fire Emulator/Detector Evaluator (FE/DE), using smoldering cottons as the smoke source. The combining analysis of results of the two series of experiments indicated that generally speaking, ionization smoke detectors showed better response sensitivity than photoelectric smoke detectors in environments with high flow velocity. Preliminary analysis suggested that the influence of flow velocity on size distribution of the smoke particles generated is the main reason for the results.

KEYWORDS: flow velocity, smoke detectors, smoke aerosol, size distribution

INTRODUCTION

The smoke aerosol is motivated by the buoyancy force when fires happen in common places with small air velocity [1,2]. Therefore, the fire detectors mounted there are required to have good smoke sensitivity under the condition of low flow velocity. However, in some special places, such as exits of large underground car parks, and the air outlets of large air conditioner, the flow velocity may be much higher. When a fire happens in such places, its combustion behavior and the induced characteristics (e.g., size distribution, color, etc.) of smoke particles generated would be quite different from those generated under the conditions of low air velocity. Accordingly, it is required that the fire detectors mounted there should have good smoke sensitivity in the environments with high flow velocity. In this case, the response sensitivity of smoke detectors is influenced by not only the smoke density around them, but also the size distribution of particles, as well as smoke particles' entry into the smoke-sensing-chamber of detector in high flow velocity. After investigating and analyzing the scenarios with high flow velocities, it is found that the influence of high flow velocity on the response sensitivity of smoke detectors falls into two types. First, due to the high flow velocity around detectors, the smoke particles pass by fire detectors with a high velocity. Therefore, in fact, the affects of flow velocity here include the dilution of smoke density around detectors, and smoke particles' entry into the smoke-sensing-chamber of detectors. Accordingly, experiments should be conducted to investigate the response sensitivity of

smoke detectors using same smoke particles with different flow velocity around detectors. Secondly, the flow velocity not only around detectors but also around smoke source may be high. In this case, since the smoke generation is effected by the flow velocity around burning material, the characteristics, e.g., size distribution, of smoke particles generated are strongly related to the flow velocity. Additionally, the response sensitivities of various kinds of smoke detectors, e.g., photoelectric and ionization smoke detectors, to the smoke aerosol with different characteristics are different. Thomas Cleary [3] and Keski Rahkonen [4] had studied time-lag models of smoke detectors under the conditions of low velocity. But the response sensitivity of smoke detectors in high flow velocity was few involved in literatures.

In accordance with the two aspects of influence of flow velocity on the response sensitivity of smoke detectors, two series of corresponding experiments were designed to analyze the two kinds of most widely used smoke detectors, i.e., photoelectric and ionization smoke detectors, in various flow velocities through the Fire Emulator/Detector Evaluator (FE/DE). The basic aim of the present work is to give preliminary design criteria of automatic fire alarm systems in those places with high flow velocity. In addition, it is useful to evaluate whether it is appropriate to choose the photoelectric smoke detectors in high flow locations, as stated in Chinese standard [5].

EXPERIMENTAL APPARATUS

All the experiments were conducted in the FE/DE, which was developed by State Key Laboratory of Fire Science (SKLFS) in University of Science and Technology of China (USTC). The FE/DE is for emulating a wide range of fire and non-fire scenario to which a spot-type fire detector could be exposed. The concept of FE/DE is first introduced by Grosshandler [6]. The FE/DE in the SKLFS is a 0.4 m high by 0.4 m wide cross-section flow tunnel designed to reproduce the time-varying temperature, speed and concentration (gas and particulate) expected at detector locations in the early stages of fire (Fig. 1a). The inside and outside walls of the tunnel are made of stainless steel, and the interlayer is the asbestos, which is heat insulating. The FE/DE employs a variable speed blower to control velocities ranging from 0.02 m/s to greater than 5 m/s. The blower is controlled by the transducer with a feed-back velocity. Water mist produced by the centripetal humidifier may be sprayed into the flow after the heater section to fix the humidity between the ambient room and saturation conditions depending on the spray flow. CO, CO₂ or other gas blends may be introduced into the flow via electronic mass controllers. Not only the fire scenario but also the nuisance alarm scenario can be emulated in the FE/DE. The dust with different diameters may be metered into the flow. As is shown in Fig. 1a, near the entrance of the flow tunnel, there is a relatively hermetic box for smoke-generating. Figure 1a also shows that the apparatus can work at either open-style or circle-style by merely changing the states of the three valves. In this paper, the open-style work-mode is selected during all the experiments. In this case, smoke aerosol can be generated through the box with smoke source inside the box, as the location A indicated in the Fig. 1a. Alternatively, the smoke can be generated openly at the entrance of the flow tunnel with smoke source at the location B in Fig. 1a. Two series of experiments were designed in terms of the two locations of smoke source, which will be further described later. As is mentioned above, the FE/DE at SKLFS can be operated in the open-style and circle-style work-modes, which can be easily switched to each other. Here lies the most distinct difference between the FE/DE at the SKLFS and the one at

NIST [7,8]. The adding of a circle-style work-mode in the SKLFS has made it easier to simulate the processes of increasing of some fire signals (smoke or gas concentration, temperature etc.) in a wider range.

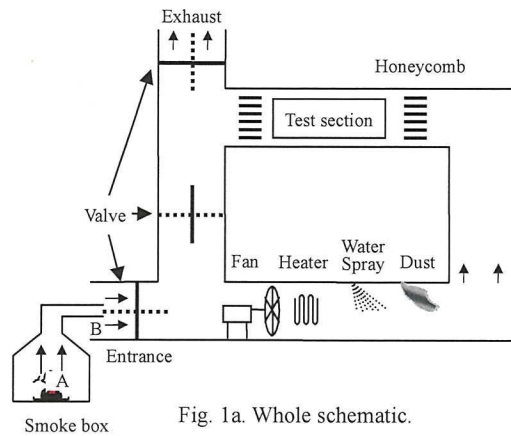


Fig. 1a. Whole schematic.

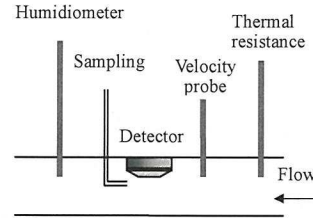


Fig. 1b. Side view of test section.

Fig. 1. The schematic of Fire Emulator/Detector Evaluator. Valves located at the dashed line state: open-style work-mode. Valves located at the real line state: circle-style work-mode.

The spot-type fire detectors to be evaluated, as well as the measurement instruments, were mounted at the test section (see Fig. 1b). Here commercially available digital addressable point smoke detectors were used, including forward scattering photoelectric detectors and ionization detectors. The digital output value of a detector ranges from 0 to a maximum of 255, relatively corresponding to the intensity of scattered light in the forward angle, i.e., the smoke density. A mapping transformation between the digital outputs and the real smoke density is defined by the manufacture. The detector manufacturer's instruction book recommended that a threshold level of 115 units for photoelectric and 170 units for ionization would be appropriate fire alarm triggers with common sensitivity, respectively. The real-time outputs of the smoke detectors were displayed and recorded through the communication between the control panel and the personal computer using a terminal program. Air temperature, humidity and velocity were recorded at the test section by thermal resistances, humidimeter and thermo-anemometer, respectively. For more information about this experimental apparatus, please refer to references [9,10,11].

EXPERIMENTS DESCRIPTION

As is introduced above, the process of smoke generating, and the induced characteristics of smoke aerosol, may be differently influenced by the flow velocity under different environmental conditions. Experiments should be respectively designed to investigate the two types of effects of flow velocity on the response sensitivity of smoke detectors. Therefore, here two series of experiments were conducted to analyze the response sensitivity of photoelectric and ionization smoke detectors under different flow

velocities. Additionally, further comparison of the response sensitivity of the two kinds of smoke detectors was also made when the flow velocity was as high as 5.0 m/s. The results would be preliminary criteria for the design of automatic fire alarm systems for some places with high flow velocity. In terms of this idea, two series of experiments were designed respectively as the follows (a) and (b).

- (a) 60 smoldering standard cottons [12] were set at location A, i.e., in the smoke-generating-box, as indicated in Fig. 1a. The same smoke aerosol would be generated in the box and then released into flow tunnel, acting as the smoke source under the conditions of different flow velocities. The smoldering cottons were taken away after burning in the box for about 5 minutes. In this case, 11 sets of experiments were carried out with the flow velocity in the tunnel 0.5 m/s, 1.0 m/s, ..., 5.5m/s, respectively.
- (b) 60 smoldering standard cottons were put at location B, as indicated in Fig. 1a. The smoke aerosol was openly generated at the entrance of the FE/DE. The same with (a), the smoldering cottons were taken away after they had burnt at the entrance of the FE/DE for about 5 minutes. Also, 11 sets of experiments were carried out with the flow velocity in the tunnel 0.5 m/s, 1.0 m/s, ..., 5.5 m/s, respectively.

All the experiments above were carried out at the open-style work-mode of the FE/DE. The only difference of experimental conditions among the 11 sets of experiments for (a) or (b) lies in the flow velocity in the tunnel. Therefore, the first step of each set of experiment is to alter the rotate speed of the fan, for adjusting the flow velocity in the test section of the FE/DE. Here, altogether 22 sets of experiments should be conducted for the two series of experiments. For each set of experiment two runs were performed under the same experimental conditions, and the experiment reproducibility was verified by reasonable agreement between the two obtained curves of outputs of corresponding detectors.

With regards to experiment series (a), there was no difference in the characteristics of the smoke aerosol generated among the 11 sets of experiments with different flow velocity in the tunnel. The reason is that smoke aerosol was generated inside the relatively hermetic box and the flow velocity in the tunnel would not affect the process of smoke generating. However, for the experiment series (b), since the smoldering cottons were openly put at the entrance of the FE/DE, the process of smoke generation was influenced by the flow velocity in the tunnel. Therefore, the characteristics, for example the size distribution, of smoke aerosol here were somewhat different among the 11 sets of experiments with different flow velocity.

RESULTS AND DISCUSSION

For the experiment series (a), Figs. 2-4 give the outputs of photoelectric and ionization smoke detectors with the flow velocity in the test section of 1.0 m/s, 2.0 m/s, and 3.0 m/s, respectively.

Figures 2-4 show that both peak outputs of two kinds of smoke detectors decreased while the flow velocity in the tunnel increasing from 1.0 m/s to 3.0 m/s. That is to say, the corresponding increments of outputs decreased. Here, the maximum output minus the minimum output yields the 'increment of output' of a smoke detector under a certain experimental condition. The peaking of the curves in these figures is a result of the flow of a finite amount of smoke past the detectors. The response sensitivity of fire detectors depends on their changes of outputs and the corresponding fire alarm algorithms. Therefore, the increments of outputs could represent the response sensitivity of detectors to some degree. For experiments series (a), Fig. 5 showed the increments of outputs of photoelectric and ionization smoke detectors with the flow velocity 0.5 m/s, 1.0 m/s, ..., 5.5 m/s, respectively. As can be seen from Fig. 5, it was more clearly that increments of outputs of both the two kinds of smoke detectors fell down with the flow velocities increasing. The reason for the above results can be qualitatively analyzed as follows. Not only the amount, but also the characteristics, e.g., size distribution etc, of smoke particles was the same among the 11 sets of experiments with different flow velocities. The main influence of flow velocity here is the dilution of smoke density in the tunnel. In fact, the higher flow velocity in the tunnel, the smaller corresponding smoke density. Additionally, there also exists the affect of flow velocity on the particles entry of smoke detectors. But this affect is too weak to be compared with the dilution on smoke density. Consequently, the increments of outputs of two kinds of smoke detectors decreased with the flow velocities increasing, namely, the corresponding response sensitivity decreased.

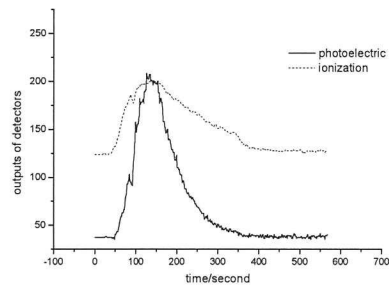


Fig. 2. Outputs of detectors (1.0m/s, box).

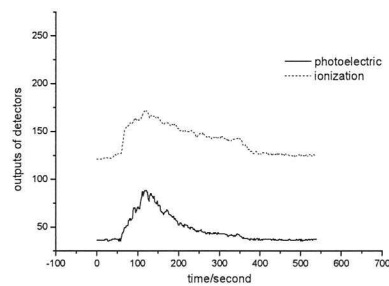


Fig. 3. Outputs of detectors (2.0m/s, box).

For the experiment series (b), Figs. 6-8 show the outputs of photoelectric and ionization smoke detectors under the condition of the flow velocity in test section 1.0 m/s, 2.0 m/s, and 3.0 m/s, respectively.

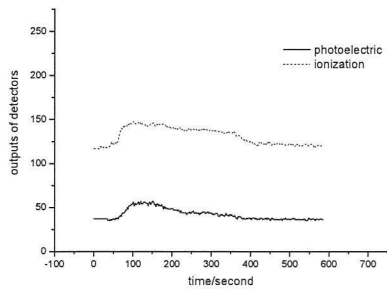


Fig. 4. Outputs of detectors (3.0m/s, box).

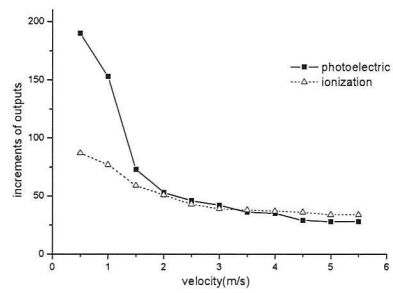


Fig. 5. Increments of outputs (box).

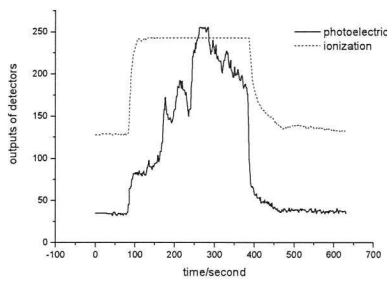


Fig. 6. Outputs of detectors (1.0 m/s, entrance).

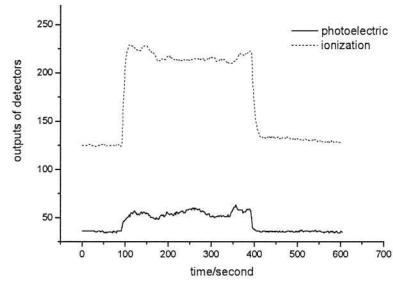


Fig. 7. Outputs of detectors (2.0m/s, entrance).

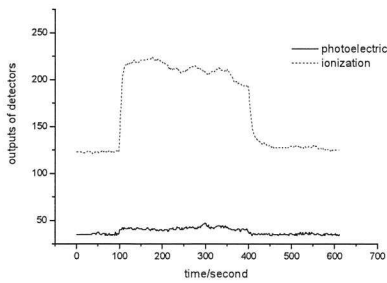


Fig. 8. Outputs of detectors (3.0m/s, entrance).

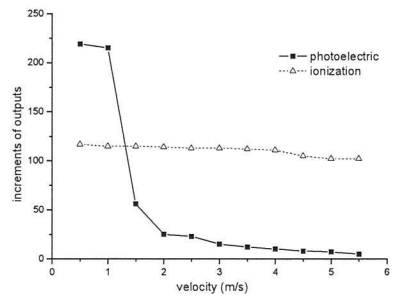


Fig. 9. Increments of outputs (entrance).

As can be seen from Figs. 6-8, the experiment results here were considerably different from those in experiment series (a). The corresponding 'increments of outputs' of both photoelectric and ionization smoke detectors decreased with the flow velocity increasing in series (a). However, in experiments series (b), as shown in Figs. 6-8, only the 'increments of the outputs' of photoelectric smoke detectors decreased sharply when the flow velocities increased. The corresponding increments of outputs of ionization detectors hardly decreased. First, let's compare and analyze the three output-curves of photoelectric smoke detectors in Figs. 6-8, with the flow velocity of 1.0 m/s, 2.0 m/s and 3.0 m/s, respectively. As shown in Fig. 6, the outputs of photoelectric smoke detectors increased steeply after the smoldering cottons being put in, with the flow velocity 1.0 m/s. But the corresponding curve of photoelectric detectors in Fig. 7 seemed to be much flatter with the flow velocity 2.0 m/s. Furthermore, the increase of the outputs of photoelectric smoke detectors can be hardly noticed with the flow velocity 3.0 m/s in Fig. 8. After the comparison of the three curves for photoelectric smoke detectors, let's turn to analyze the other three curves of ionization smoke detectors in Figs. 6-8. It is obvious that the corresponding outputs increased sharply as soon as the smoldering cottons were set at the entrance of the FE/DE in all the three curves. The increments of outputs of ionization smoke detectors seemed to be slightly influenced by the flow velocity in the tunnel under this condition. The different variation of the increments of outputs between the photoelectric and ionization smoke detectors can be observed more clearly in Fig. 9. Here, it should be particularly pointed out that the ionization smoke detectors still responded sensitively while the photoelectric smoke detectors responded little with the flow velocity as high as 5.5 m/s.

The reasons for the results of experiment series (b) could be analyzed as follows. Since the smoldering cottons were put openly at the entrance of the FE/DE, the process of smoke generating was influenced by the flow velocity around. First, the burning rate of the smoldering cottons was affected by the flow velocity in the tunnel. The burning rate of the smoldering cottons would become larger when the flow velocity around increased. Namely, the more smoke particles would be generated per unit time. Secondly, the combustion behavior of smoldering cottons was also influenced by the flow velocity around. Increasing the flow velocity in the vicinity of smoldering cottons decreased particles size. The reason is that it decreases the residence time for particles to grow by coagulation [13]. So the size distribution of smoke particles generated would shift towards the smaller side with the flow velocity increasing. Therefore, the mean diameter of smoke particles decreased. Additionally, with different flow velocities, the dilution effect on the smoke density in the tunnel was also different. The influence of flow velocity on the size distribution of smoke particles generated was the key reason for the results in experiment series (b). It is also important to point out that ionization smoke detectors generally responded much more sensitively to smaller smoke particles than photoelectric smoke detectors [14,15,16]. So the experiment series (b) suggested that the ionization smoke detectors showed better response sensitivity than photoelectric smoke detectors under the condition of high flow velocity. However, the size distributions of smoke particles generated from different fuels vary distinctly. For example, the Mass Median Aerodynamic Diameter (MMAD) of cotton Lamp Wick is 0.31 μm , other fuels such as Beech Wood and Heptane present pretty larger particle size with the MMAD of 1.5 μm and 6.4 μm , respectively [17]. In this case, the measurement of the size

distribution of particles at detector location with different flow velocity will be an important topic of future work.

The above preliminary experiments suggest that the ionization smoke detectors showed better response sensitivity than photoelectric smoke detectors in high flow velocity with the smoke particles generated by smoldering cottons. However, the use of radioactive material for ionization smoke detectors has been more regulatory controlled and restricted for its use and handling as years go by. Photoelectric smoke detectors are currently taking over the place once ionization smoke detectors held in the market. Therefore, it is necessary to do further research on the interaction between smoke particles and light, for the aim of improving the response sensitivity of photoelectric smoke detectors in some special environments.

CONCLUSION

In this paper, effect of flow velocity on response sensitivity of photoelectric and ionization smoke detectors has been analyzed with two series of experiments. Based on analysis for results of the two series of experiments with smoke particles generated by smoldering cottons in this paper, it preliminarily suggests that ionization smoke detectors responded generally more sensitively than the photoelectric smoke detectors under the condition of high flow velocity. But the code for design of automatic fire alarm system (GB50116-98, Chinese standard code) recommends that photoelectric smoke detectors should be chosen in the places with air velocity exceeding 5.0 m/s [5]. Namely, the experimental results in this article were surprisingly different to the code. Since the particles characteristics (number, size and distribution) are important factors influencing the response sensitivity of smoke detectors, additional measurement of particle characteristics at detector location with different flow velocity will be done in the future work. The other different fuels such as Heptane or wood and more smoke detectors produced by other companies should also be considered.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is supported by the China NKBRSF (973) project (No: 2001CB409608) and the National Natural Science Foundation of China (Grant No.50476023). The authors deeply appreciate their support.

REFERENCES

- [1] Chow, W.K, and Yin, R., "Free Boundary Conditions for Simulating Air Movement in a Big Hall Induced by a "Bare Cabin" Fire," *Journal of Fire Sciences*, 17: 111-147, 1999.
- [2] Cooper, L.Y., "Calculating Combined Buoyancy - and Pressure-driven Flow Through a Shallow, Horizontal, Circular Vent: Application to a Problem of Steady Burning in a Ceiling-vented Enclosure," *Fire Safety Journal*, 27: 23-35, 1996.
- [3] Cleary, T. G., Chernovsky, A., Grosshandler, W. L. and Anderson, M., "Particulate Entry Lag in Spot-Type Smoke Detectors," *Proceedings of 6th International Symposium, IAFSS*, 2000, pp. 779-790.

- [4] Keski Rahkonen, O., "Revisiting Modelling of Fluid Penetration in to Smoke Detectors Revisited for Low Speed Ceiling Jets," *Proceedings of the 12th International Conference on Automatic Fire Detection "AUBE '01,"* National Institute of Standards and Technology, 2001, pp. 506-516.
- [5] GB50116-98 Standard of the Design of Automatic Fire Alarming Systems[S], 1998.
- [6] Grosshandler, W.L., "Towards the Development of a Universal Fire Emulator/Detector Evaluator," *Fire Safety Journal*, 29, 113-128, 1997.
- [7] Cleary, T., and Donnelly, M., and Grosshandler, W., "The Fire Emulator/Detector Evaluator: Design, Operation, and Performance," *Proceedings of the 12th International Conference on Automatic Fire Detection "AUBE '01,"* National Institute of Standards and Technology, pp. 312-323, 2001.
- [8] Cleary, T., Grosshandler, W., and Chernovsky, A., "Smoke Detector Response to Nuisance Aerosols," *Proceeding of the 11th International Conference on Automatic Fire Detection "AUBE '99,"* Gerhard Mercator University, pp. 32-41, 1999.
- [9] Yuan Hongyong, Xie Qiyuan, Su Guofeng, Zhan Furu, Zhao Jianhua, and Fan Weicheng, "A Kind of Fire Emulator/Detector Evaluator," Chinese patent: ZL 02219803.2, 2003.
- [10] Xie Qiyuan, Zhan Furu, Su Guofeng, Yuan Hongyong, and Zhao Jianhua, "Universal Simulated Platform for Fire Detection," *Fire Safety Science*, 11(2): 98-102 (2002).
- [11] Xie Qiyuan, Yuan Hongyong, and Guo Huiliang, "Experimental Analysis on False Alarms of Fire Detectors by Cooking Fumes," *Journal of Fire Sciences*, 22, 4, 325-338, 2004.
- [12] EN54: Compartments of Automatic Fire Detection Systems, European committee for standardization, 1987.
- [13] Lee, T.G.K. and Mulholland, G., "Physical properties of Smoke Pertinent to Smoke Detector Technology," *NBSIR*, pp. 77, 1977.
- [14] Fleming, J., "Photoelectric vs. Ionization Detectors – A Review of the Literature," *Proceedings Fire Suppression and Detection Research Application Symposium*, Natl. Fire Protection Association, pp. 18-59, 1998.
- [15] Qualey, J., Desmarais, L., and Pratt, J., "Fire Test Comparisons of Ion and Photoelectric Smoke Detector Response Times," *Fire Suppression and Detection Research Application Symposium*, 2001, Orlando, FL.
- [16] Muholland, G., "Smoke Production and Properties," *The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering (2nd Ed)*, DiNenno P.J. (ed.), National Fire Protection Association, Quincy, MA 02269, P.2/221-222, 1995.

- [17] Weinert D.W., Cleary T.G., Mullolland, G.W., and Beever, P.F., "Light Scattering Characteristics and Size Distribution of Smoke and Nuisance Aerosols," *Fire Safety Science Proceedings, Seventh International Symposium, International Association for Fire Safety Science (IAFSS)*, Worcester, MA, pp.209-220, 2003.