



TEKNOLOGISK  
INSTITUT

# ENERGIOPTIMERING AF PROCESVENTILATION OG UDVIKLING AF FLEKSIBLE PROCESUDSUG TIL STORE INDUSTRIELLE EMNER



Juni 2013

**Christian Drivsholm  
Hans Olsen / Per Tage Jespersen  
Claus Martin Hvenegaard / Søren Draborg**

**Energi og Klima  
Energieffektivisering  
og ventilation**

## Indholdsfortegnelse

	<b>Side</b>
1 Sammenfatning	4
2 Formål og baggrund	4
3 Industriel procesventilation og – udsugning	5
3.1 Definition	5
3.2 Opdeling i kildetyper	5
3.3 Kildekarakteristika	7
3.3.1 Spredning af forurening	7
3.3.2 Kildetyper	7
3.3.3 Partikler	7
3.3.4 Fugt	8
3.3.5 Gasser	9
4 Behovsanalyse i forskellige brancher	9
4.1 Træindustri	9
4.1.1 Fræsning	10
4.1.2 Pudsning	10
4.1.3 Lakering	11
4.1.4 Limning	11
4.2 Jern- og metalindustri	12
4.2.1 Smeltning	12
4.2.2 Støbning	13
4.2.3 Udglødning, normalisering og hærdning	14
4.2.4 Overfladebehandling	15
4.2.5 Tørring	16
4.3 Papir- og grafisk industri	17
4.4 Kemisk industri	20
4.4.1 Farve- og lakfabrikker	20
4.4.2 Medicinalfabrikker	21
5 Nyere forskningsresultater	21
6 Dimensioneringsgrundlag	22
6.1 Generelle anvisninger og definitioner	22
6.1.1 Procesventilation	22
6.1.2 Konventionel opblanding	23
6.1.3 Fuldstændig opblanding	23

6.1.4	Passiv termisk fortrængning	24
6.1.5	Aktiv termisk fortrængning	25
6.1.6	Stempelfortrængning	26
6.1.7	Procesudsugning	26
6.2	Procesventilation	29
6.2.1	Varme processer	30
6.2.2	Kolde processer	32
6.2.3	Beregning af almen ventilation	34
6.2.4	Varmekilder (punkt- og linjekilder)	35
6.3	Procesudsugning	37
6.3.1	Personplacering i forhold til udsug og forureningseksposering	39
6.3.2	Udsugning efter omslutningsprincippet	43
6.3.3	Udsugning efter modtagerprincippet	53
6.3.4	Udsugning efter gribepincippet	61
7	Cases	74
7.1	Virksomheder	74
7.1.1	Fertin Pharma	74
7.1.2	Haldor Topsøe	75
7.1.3	Junckers	82
	Referencer	85

## 1 Sammenfatning

Nærværende projekt har til formål at sikre et bedre dimensioneringsgrundlag for store procesudsugningsanlæg, herunder at udvikle et værktøj til ventilationsbranchen som kan anvendes ved dimensioneringen. Projektet har taget udgangspunkt i allerede kendte og afprøvede ventilationstekniske løsninger fra små- og mindre industrielle processer ved udviklingen af løsninger til større industrielle processer (emner). Fokus i projektet har været rettet på følgende industrielle segmenter: maling af emner (kold proces), slibning og fræsning (kold proces), svejsning og laserskæring (varme processer) samt tørring (kold/varm proces).

I tilknytning til projektet er der udviklet et dimensionerings- og beregningsværktøj, som kan assistere brugeren med at vælge den mest velegnede og energioptimale udsugningsløsning samtidig med at luftmængderne i såvel selve udsugningen og til rumventilation beregnes.

I projektet er der desuden gennemført en række optimeringsprojekter hos virksomheder, som har eksisterende udsugningsprocesser fra større processer eller i forbindelse med store emner.

Endelig danner projektet grundlag for udarbejdelsen af "en lille blå" om procesudsugning som supplement til den allerede eksisterende pjece om ventilation.

Projektet er finansieret af Elforsk programmet med projektnr. 343-019.

## 2 Baggrund

Der er tidligere udarbejdet guidelines for procesudsugning fra små industrielle processer, som er målrettet f.eks. svejsning og andre punktudsugningsprocesser samt guidelines for sugekasser og stinkske. Hidtil har der ikke været egentlige guidelines for udsugningsprocesser fra større processer eller fra store emner, så på dette område er udsugningerne hidtil blevet udført efter den enkeltes erfaring.

Procesventilation i industrien har til formål at fjerne skadelige gasser, aerosoler og større støvpartikler. Her spiller udsugningseffektiviteten en afgørende rolle for størrelsen af ventilationssystemet, da udsugningsenhederne er den første komponent i systemet. Hvis der er dårlig udsugningseffektivitet medfører det større luftmængder, større ventilationssystem og hermed et større energiforbrug til ventilatorer, forvarmning af erstatningsluft og filtreringssystem. Derfor kan der være et betydeligt energiforbrug i tilfælde af behov for termisk forbrænding af organiske opløsningsmidler.

I mangel af bedre dimensioneringsgrundlag stiller Arbejdstilsynet strenge krav til ventilering i lokaler ved visse typer bearbejdning af store emner, idet der i hele lokalet skal være en nedadgående laminar lufthastighed på mindst 0,2 m/s, hvilket resulterer i voldsomme investerings- og driftsudgifter til ventilering. Arbejdstilsynet vil gerne give dispensation fra kravet om lodret indblæsning på 0,2 m/s, hvis der kan findes bedre tekniske løsninger med hensyn til personalets totale eksponering for de anvendte stoffer. Der er derfor et væsentligt behov for et godt, veldokumenteret dimensioneringsgrundlag for store procesudsugningsanlæg.

## 3 Industriel procesventilation og – udsugning

### 3.1 Definition

Den korte definition på industriel procesventilation og –udsugning er ”luftudskiftning der styrer arbejdsmiljø og emissioner”. En længere og mere udtømmende definition er tredelt som følger.

- 1) Luftudskiftning for at sikre et sikkert, sundt, produktivt og behageligt indeklima både i forhold til mennesker, maskiner og produktionsprocesser
- 2) Procesluft som anvendes til tørring eller materialetransport
- 3) Luftudskiftning for at sikre mod ulykker som følge af brand, eksplosioner etc..

Det er desuden almindelig for industriel procesventilation og –udsugning at der i samme område (f.eks. ved en maskine) er behov for ventilation/afsug flere steder og med vidt forskelligt behov. Behovet for procesventilation bestemmes ud fra et område eller efter de forskellige lokale kilder. Ofte vil der være en række zoner med særlige (høje) behov for procesventilation og et større område der udelukkende har behov for luftudskiftning for at sikre tilfredsstillende arbejdsmiljø. I forbindelse med procesventilation kan der være krav til renheden af både den tilførte luft samt den udsugede luft.

Procesventilation og –udsugning bliver i mange tilfælde udført med rensningsforanstaltninger som cykloner, filtre, scrubbere, incineratorer etc. for at beskytte omgivelserne mod afkast, der indeholder støv eller dampe.

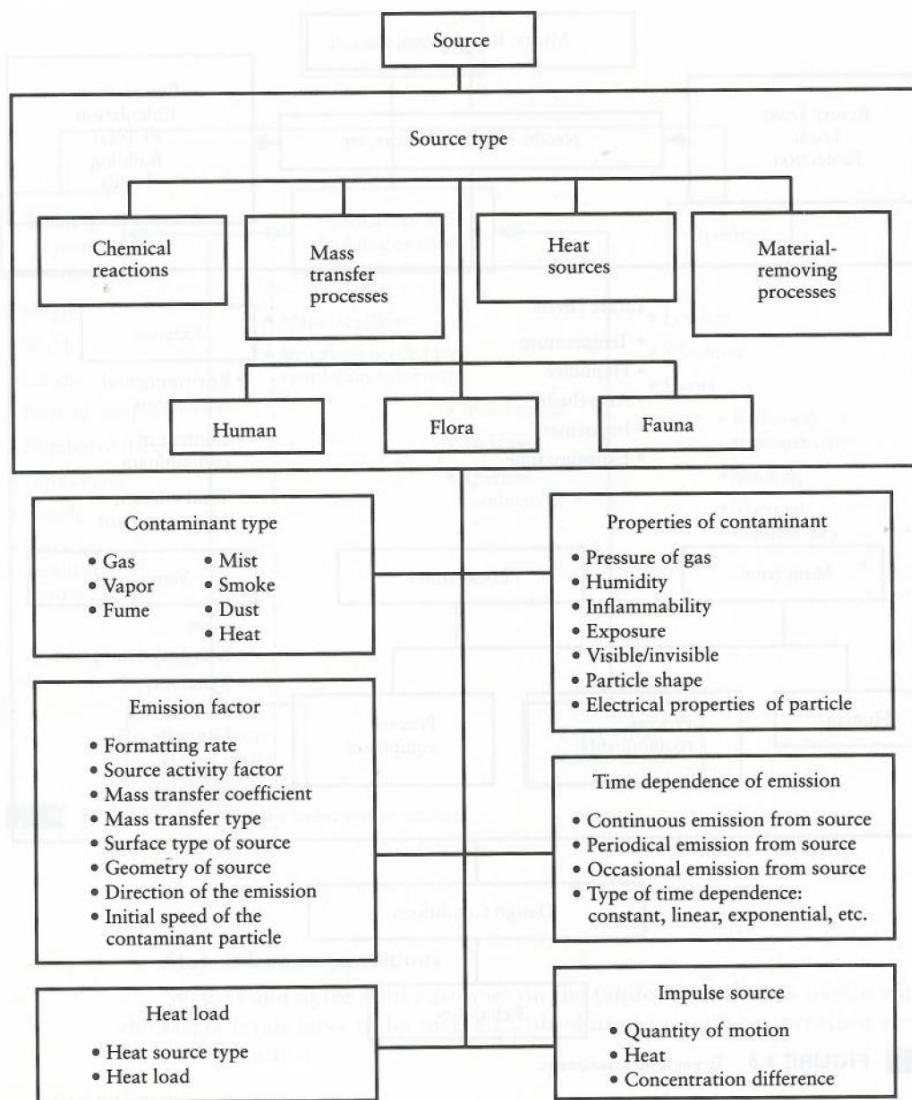
Kravene til procesventilation og udsugning er ofte fastsat af Arbejdstilsynet, Miljøstyrelsen og andre offentlige myndigheder, der har til opgave af sikre internt og eksternt miljø samt sikkerhed.

### 3.2 Opdeling i kildetyper

Procesventilation og –udsugning kan overordnet set inddeles i nedenstående fire kategorier efter den forureningskilde, som ventilationen kan behandle.

- 1) Kemiske reaktioner
- 2) Masseoverførende processer
- 3) Varmekilder
- 4) Materialefjernelse

Indenfor hver kategori kan der foretages en underopdeling som vist med figur 3.1.



Figur 3.1 Opdeling af procesventilation/-udsugning efter kildetype.

I nedenstående tabel 3.1 er der nævnt en række eksemplarer på større danske virksomheder med procesventilation eller udsugning for at illustrere opdelingen i kildetyper.

	Kemiske reaktioner	Masseoverførende processer	Varmekilder	Materialefjernelse
Gasser	SunChemical Cheminova Haldor Topsøe			
Dampe/røg		LM Glasfiber Dyrup DS Semaco		
Varme			Dania støberi Dansteel Isover	
Partikler				Junckers Dania støberi DS Semaco

Tabel 3.1 Eksempler på virksomheder med procesventilation/-udsugning efter kildetype.

Som det ses har nogle af virksomhederne processer med forureningskilder, der falder ind under mere end én kategori. Nogle gange har virksomhederne forskellige processer med hver sin kildetype, og i andre tilfælde er der tale om en sammensat kildetype. Det sidste er tilfældet ved afsug fra en smelteovn, hvor der samtidig både fjernes varme og partikler.

### 3.3 Kildekarakteristika

#### 3.3.1 Spredning af forurening

I det følgende ses der nærmere på hvordan forskellige kilder til forurening spredes. Overordnet set kan spredning af forurening i luft inddeles i følgende:

1. Ikke-buoyante kilder (diffusionskilder)
2. Buoyante kilder (varmekilder)
3. Dynamiske kilder

Ikke-buoyante kilder er karakteriseret ved at forureningen spredes ved diffusion i den omgivende luft i alle retninger som følge gradienten i luftforurening, f.eks. dampe fra en maleproces. Spredningen af forureningen afhænger i meget betydelig grad af hastigheden og turbulensen af den omgivende luft. Spredningen af forureningen fra buoyante kilder, dvs. varme fra varme overflader, sker primært som følge af den termiske opdrift der skabes af temperaturforskelle mellem den opvarmede og den omgivende luft. Den sidste om tredje kilde til forurening er karakteriseret ved at forureningen indeholder en betydelig dynamisk energi, f.eks. spåner fra et roterende værktøj. I nogle tilfælde kan en kilde til forurening være en kombination af ovennævnte.

#### 3.3.2 Kildetyper

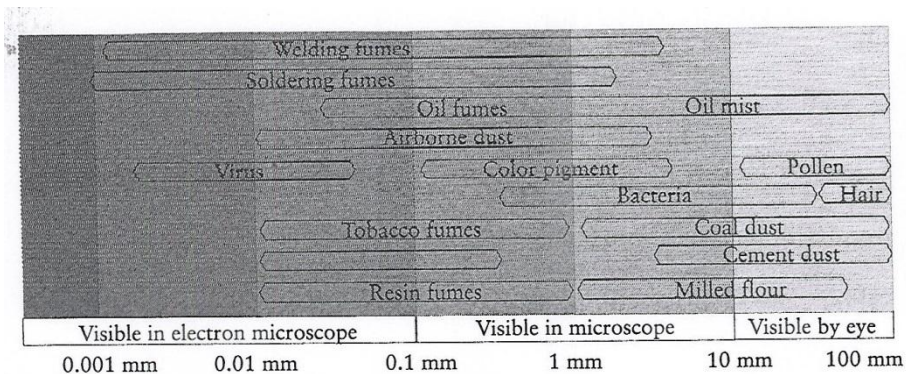
Kilderne til forurening kan opdeles i følgende typer: partikler, fugt og gasser. I det følgende er der beskrevet en række karakteristika for hver af de nævnte kildetyper.

#### 3.3.3 Partikler

Industrier i mange brancher har produktionsprocesser der generer partikler. Det gælder f.eks. i kemisk industri, metalindustri, grafisk industri og andre brancher, der benytter knusning, materialetransport ved blæsning, svejsning, slibning og andre processer der medfører dannelse af partikler. Desuden afgives der partikler fra bygningskonstruktioner, fra personer, i forbindelse med rengøring etc. og der tilføres partikler fra det fri gennem ventilationsanlæg, vinduer og andre åbninger. Partiklerne er meget forskellige både i størrelse, form, vægt og ikke mindst i farlighed for omgivelserne og de personer der måtte opholde sig i støvfylde omgivelser. Partiklernes karakteristika er bestemmende for hvordan de spredes og dermed også for hvordan spredning undgås gennem opsamling.

Partikler der er mindre end ca.  $0,1 \mu\text{m}$  opfører sig fuldstændig som gaspartikler, og partikler op til  $1 \mu\text{m}$  har i praksis ingen faldhastighed og vil bevæge sig med luftstrømningerne i lokalet. Partikler mellem  $1-10 \mu\text{m}$  vil sedimentere hvis der ikke er luftbevægelse, men blot en mindre lufthastighed vil kunne holde partiklerne svævende. I praksis kan partikler på op til ca.  $10 \mu\text{m}$  regnes for at opføre sig som gasser. Større partikler over ca.  $10 \mu\text{m}$  normalt sedimentere med mindre der er betydelig luftbevægelse.

Respirable partikler har en størrelse på mindre end 1  $\mu\text{m}$  og op til 10  $\mu\text{m}$ . Det betyder, at de lungeskadelige partikler har en størrelse der kan holdes svævende ved ingen eller let luftbevægelse, som f.eks. svejserøg, olietåge og farvepigmenter.



Figur 3.2 Størrelsesfordeling af forskellige partikelkilder.

Partikler, der stammer fra polering, slibning, fræsning og andre bearbejdningsprocesser, er i bevægelse og kan betragtes som dynamiske kilder. En partikel der emitteres ud i den omgivende luft vil bevæge sig et vist stykke før den er bremsed ned som følge af luftmodstanden (stoptlængde). Luftmodstanden har meget stor effekt, - på især små partikler. Partikler i størrelser der er lungeskadelige er så små at de standses hurtigt i den omgivende luft, og kan let opsuges uanset partiklernes bevægelsesretning fra kilden. Større, tungere partikler kan bevæge sig op til ca. 1 meter fra kilden som følge af starthastigheden, og afsug for disse partikler skal derfor indrettes så der tages hensyn til partiklernes bevægelsesretning.

Visse typer materialer afgiver partikler som i større koncentrationer kan være eksplosive. Der er tale om både organisk støv (f.eks. kul, koks, tjære, mel og træ) og uorganisk støv (f.eks. aluminium, magnesium og kaliumnitrat). Det stilles helt særlige krav til procesventilation og udsugningssystemer i industrivirksomheder der håndterer eksplosionsfarligt støv.

### 3.3.4 Fugt

I mange industrivirksomheder er der emission af fugt (vanddamp) i sådan omfang at det er nødvendigt med procesventilation eller -udsugning for at holde luften fugtindhold på et passende niveau af hensyn til personer og/eller processer.

Typiske fugtkilder er f.eks.:

- Fordampning fra våde overflader og åbne tanke
- Damp fra dampsystemer
- Fugtafgivelse fra fugtige produkter
- Personer

Fugtkontrol er vigtig for at undgå problemer med arbejdsmiljøet som følge af f.eks. skimmelvækst forårsaget af høj fugtighed. For høj fugtighed kan desuden bevirke at bygningskonstruktionerne vil nedbrydes. Endelig stiller flere produktionsprocesser krav til luftens fugtindhold holdes i et bestemt interval (f.eks. pharmaceutisk industri) eller holdes helt præcis som f.eks. i trykkerbranchen.



Fugtmissioner er relativt nemme og uproblematisk at fjerne. Vanddamp har en meget ringe partikelstørrelse, normalt ingen starthastighed og er lettere end luft og stiger dermed til vejrs. Og med mindre fugtkoncentrationen er meget stor sker der normalt ikke påvirkning af systemerne til procesventilation og udsugning.

### **3.3.5 Gasser**

Gasser opstår typisk i forbindelse med industrielle processer, hvor der anvendes eller håndteres produkter der indeholder opløsningsmidler. Det sker f.eks. ved lakering, maling og trykning, hvor der anvendes produkter der indeholder opløsningsmidler som fjernes som led i produktionsprocessen. I dele af industrien, f.eks. i farve-/lakindustrien og spritfabrikkerne, håndteres produkter der indeholder opløsningsmidler. Endelig håndterer olieindustrien produkter der afgiver gasser.

Mange gasarter udgør et sundhedsmæssigt problem og visse af dem udgør tillige sammen med luft eksplosionsfare. Der er f.eks. tale om metanol, etanol, acetone, ammoniak, benzen, butan og en lang række andre gasser.

Gasser blander sig med den omgivende luft og skal derfor fjernes så tæt på kilden som muligt for at undgå spredning og for at minimere den udsugede luftmængde. Til gengæld er gasser lette at bortsuge da de uden videre bevæger med udsugningsluften. Ved etablering af procesventilation/-udsugning kan der for mange gasser ske antændelse, hvis udsugningsluften udsættes for en lysbue, gnist eller en varm overflade. Derfor stilles der helt særlige krav til komponenter der anvendes ifm. anlæg, hvor der kan forekomme eksplosive gasser.

## **4 Behovsanalyse i forskellige brancher**

I dette kapitel er der en introduktion til en række brancher, hvor der er et væsentligt behov for procesventilation og/eller – udsugning af hensyn til arbejdsmiljøet eller af proceshensyn. Gennemgangen er opdelt på brancher og for hver branche skitseres de væsentligste problemstillinger i forbindelse med den procesventilation der foretages, idet både de sundhedsmæssige og ventilationstekniske udfordringer beskrives.

I forbindelse med projektet "Energoptimering af sugehøve – udvikling af dimensioneringsregler samt flage- reflektorløsninger" /1/ er der beskrevet en række brancher, hvor der anvendes procesafsug. Der henvises til dette projekt for brancher hvor der som regel anvendes mindre procesafsug og punktudsug, f.eks. gummi- og plastindustrien, metalvareindustrien og elektronikindustrien. Dette projekt fokuserer på brancher hvor der er behov for afsug fra større og ofte irregulære emner og processer/maskiner med flere kilder.

De beskrevne brancher repræsenterer kun et mindre udsnit af den del af dansk industri, hvor der anvendes procesventilation og –udsugning. Der kunne være valgt flere, som f.eks. fremstilling af fødevarer og fremstilling af mineralske produkter.

### **4.1 Træindustri**

De mest anvendte processer i træindustrien er:

- 1) Spåntagning, f.eks. fræsning og savning

- 2) Slibning og pudsnings
- 3) Overfladebehandling, f.eks. maling og lakering
- 4) Limning

I det følgende beskrives en række af ovenstående processer og de ventilationsmæssige problemstillinger de giver anledning til.

#### **4.1.1 Fræsning**

Fræsning er en spåntagende proces, hvor træbearbejdningen foretages med forskellige roterende værktøjer afpasset til de enkelte opgaver. Skærehastighederne ligger mellem 35–80 m/s, og spånerne vil dermed forlade skæret ved denne hastighed. Retningen af spånerne vil primært svare til, at de forlader det roterende værktøj på den første fjerdedel af rundingen, efter fræseren har bearbejdet træet. Spåntykkelsen afhænger af fræserens periferihastighed og fremføringshastighed, hvilket bestemmes ud fra træets hårdhed (hårdt træ-små spåner, blødt træ-større spåner). Træspånerne vil normalt være op til ca. 4 mm., når der fræses i massivt træ.

Følgende maskiner anvendes til de enkelte opgaver:

- Kehler-maskine, benyttes eksempelvis til høvle- og profilmaskinering af massivt træ
- Dobbelttapper anvendes eksempelvis til udfræsning for tappe og formatbearbejdning
- CNC-overfræser, anvendes eksempelvis til udfræsning og profilering af kanter, eventuelt til dekorationer, hængsler og beslag

Fræsningen kan foregå i forskellige materialer såsom:

- Massivt træ, hvor der er hårde og bløde sorter. Bearbejdningen af disse træsorter udvikler store partikler (spåner)
- Pladematerialer består eksempelvis af spånplade, krydsfiner og MDF-plade. Bearbejdning i plader danner partikelstørrelser, der ofte er under 10 µm.

I forbindelse med fræsning udvikles der støv og dampe/gasser. Hvad der udvikles er afhængigt af de materialer der bearbejdes. Ved massivt træ udvikles der støv og spåner, mens der ved fræsning af plader også kan udvikles formaldehyd- og ammoniakdampe, som stammer fra de limstoffer der er anvendt.

De fleste fræsemaskiner i træindustrien er bemandede konstant. En arbejdsopgave kan være fremføring af træet til fræsehovedet. Der findes dog hel- eller fuldautomatiske CNC-fræsere. Nogle fræsemaskiner kan være indkapslede, hvilket medfører at emissioner optages af punktudsug eller lægger sig i umiddelbar nærhed af denne.

#### **4.1.2 Pudsnings**

Pudsnings er en proces, der skal fjerne den komprimerede overflade som eksempelvis kutter-slag samt andre bearbejdningsskrifter. Desuden pudses overfladen på spån- og MDF-plader så de kan males. Overfladen pudses ned til det niveau, som overfladebehandlingen kræver. Båndet der typisk benyttes i forbindelse med pudsnings har normalt en hastighed mellem 20 og 30 m/s. Kornstørrelsen på slibebåndene er normalt 40–400 og efterlader oftest partikler under 10 µm.

Følgende maskiner anvendes i forbindelse med pudsnings:

- Bredbåndspudser, der dels kan benyttes i forbindelse med en pudseproces, hvor der foretages en grov-, mellem- og finpudsning i samme proces, eller som en enkelt pudseproces
- Båndpudseren er den ældste type af pudsemaskiner. Her bevæges pudsebåndet mellem to hjul, og pudseprocessen foretages ved at trykke båndet med en klods ned mod pudsestedet. Bordet, hvor materialet ligger, kan bevæges i en tværgående retning. Pudsepartiklerne vil oftest lægge sig i en kort afstand fra pudsestedet, og må derfor oftest fjernes med udsug eller trykluft. De partikler der rives med af båndet, udsuges med punktudsug ved rullerne
- Tallerkenskivepudser benyttes i forbindelse med kantpudsning
- Luftpudepudseren er cirkulær og pudsebåndet er lagt uden på en pude. Denne type anvendes, hvor man blandt andet ønsker at pudse afrundede kanter
- Børstepudseren er cirkulær og består af en række pudsebånd, hvilket gør den anvendelig til eksempelvis pudsning af profilerede kanter. Pudsepartiklerne vil dels falde mod gulv og dels medrives af båndet til punktudsug.

Pudsemaskinerne som benyttes i træindustrien er, ved drift, bemandedt konstant.

#### 4.1.3 Lakering

Lakering er en proces hvor træet påføres en beskyttende overflade. Ved valselakering påføres lakken af én eller flere overliggende påføringsvalser, som emnet passerer i et automatisk gennemløb. Valselakmaskinen kan påføre relativt små mængder lak/m<sup>2</sup> (fra ca. 5 til ca. 80 g/m<sup>2</sup>). Valselakering kan kun anvendes til næsten plane og plane emner. Processen udmærker sig ved høj udnyttelse af lak/maling, normalt udgør spildet under 5%. Normalt er der opløsningsmidler i under 50% af lakforbruget. Ved enkelte UV-lakker helt ned til 0%.

Ved rengøring af en lakvalse dannes flydende affald i form af brugt renevæske/opløsningsmiddel.

Valselakering er en af de arbejdsmiljømæssigt mindst belastende metoder, da denne metode ikke udvikler sprøjtetøv, og samtidig anvendes til påføring af opløsningsmiddelfattige lakker. God afskærmning og indkapsling er en forudsætning for effektivt at kunne bortsuge opløsningsmiddeldampe.

Sprøjtelakering er en proces med stor udbredelse. Under højt tryk - mere end 100 bar - presses lak/maling gennem en dyse. Dysen/pistolens rettes mod et emne, hvorved forstøvet lak rammer dette. Forbisprøjt udgør normalt mere end 30% af det samlede lakforbrug. Metoden kræver et tørstofindhold under 50% i malingen/lakken. Arbejdsmiljømæssigt belastes processen væsentligst af opløsningsmiddeldampe og sprøjtetøv. Opløsningsmidlerne udgør normalt mere end 50% af lakforbruget, og sprøjtetøv udgør normalt mere end 30% af lakkens tørstofindhold.

#### 4.1.4 Limning

Limning er en proces hvor træet sammenføjes. Nedenfor gives et eksempel på en limningsproces og det dertil hørende udstyr. Fremstilling af limtræ foregår ved, at massive træstave sammenlimes kant mod kant. Denne proces kaldes kantvis laminering. Kantvis laminering kan foretages enten som kold- eller varmspænd eller ved hjælp af højfrekvens. Ved varmspænd forekommer der dampe fra limen. Ved anlæg der anvender varmspænd kan udsugning af dampe og overskydende varme give problemer.

Støv synes at være en væsentlig eksponeringskilde indenfor branchen. De mest støvende processer vurderes at være pudning og fræsning. Støv kan også omfatte aerosoler, der forekommer ved blandt andet sprøjtemaling. Formaldehyd er en naturlig forekommende bestanddel af træ og anvendes ligeledes ved overfladebehandling. Formaldehyd indgår desuden blandt andet i lim og i syrehærdende lakker hvorfra det frigives ved hærkning. Organiske opløsningsmidler, såsom xylener, butylacetat samt aromatiske og alifatiske kulbrinter, indgår i både lakker og hærdere, lime, malinger, træbekyttelses- og træimprægneringsmidler.

## 4.2 Jern- og metalindustri

De mest anvendte processer i forbindelse med fremstilling og bearbejdning af metal er:

- 1) Smeltning
- 2) Støbning
- 3) Udglødning og hærkning
- 4) Slibning, f.eks. båndslibning
- 5) Spåntagning, f.eks. drejning, fræsning, savning, gnistning og kemisk materialefjernelse
- 6) Svejsning (smeltesvejsning)
- 7) Grafisk tryk på emner
- 8) Montage, lodning og afrensning
- 9) Overfladebehandling
- 10) Tørring

I det følgende beskrives en række af ovenstående processer og de ventilationsmæssige problemstillinger de giver anledning til, idet der i forbindelse med pkt. 4-8 henvises til projektet "Energoptimering af sugehove"/1/ da disse processer normalt betjenes af punktafsug eller mindre sugehove.

### 4.2.1 Smeltning

I Danmark anvendes der udelukkende lysbue- og induktionsovne i industriel sammenhæng, idet lysbueovne anvendes til jern- og stålproduktion, og induktionsovne anvendes til smeltning af alle typer metaller i små og mellemstore volumener.

#### Lysbueovne

Lysbueovne anvendes i forbindelse med stålproduktionen i store volumener. I en lysbueovn (elektroovn) nedsmeltes metallet af lysbuer skabt med grafitelektroder, der eventuelt er suppleret med enten naturgas- eller olietilsatsfyring. Ovnene er udført som et stålchassis der er udmuret. Udmuringen dækker enten kun den nederste del af ovnen op til lige over slaggelinien eller hele ovnvæggen. Ved delvist udmurede ovne er den øverste del er udført som rørvæg (paneler) med vandfyldte rør for køling. Ovnlåget er helt eller delvist udmuret, og låget er vandkølet hvis det kun er delvist udmuret. Naturgas- og oliefyringen anvendes ved nedsmeltningen til at eliminere "cold spots", hvilket vil sige de områder, elektroderne har svært ved at dække. Når der foretages nedsmeltning smelter elektroderne først et hul ned gennem materialet i ovnen, hvorefter elektroderne bevæges langsomt op efter efterhånden som metallet smelter. Råmaterialet til en lysbueovn kan være skrotjern (Sula Steel, tidl. Det Danske Stålvalseværk) eller jernmalm (Haldor Topsøe). Lysbueovne findes fra helt små størrelser til få tons af gangen op til store ovne der kan håndtere over hundrede tons. Emissionerne fra ovnene er varme, metallurgisk røg og støv (og støj) der opstår under charging og tømning af ovnen. Som følge af de lege-

ringsmaterialer der anvendes kan støvet fra ovnen være problematisk, f.eks. kan mangan medføre hjerneskader. Der er normalt etableret afsug fra ovnlåget og omkring ovnen. Desuden kan det være nødvendigt at operatørerne anvender åndedrætsværn.

### **Induktionsovne**

En induktionsovn består af en ildfast digle, der er omviklet med en vandkølet kobberspiral. Når der sendes en højfrekvent vekselstrøm gennem kobberspiralen opstår der en hvirvelstrøm i det stål der er i diglen og den elektriske modstand i stålet vil opvarme og smelte stålet. Der kan opnås meget høje temperaturer i en induktionsovn, og det er holdbarheden af den ildfaste digle der sætter grænsen. Den høje temperatur gør induktionsovnen velegnet til at lave stål med legeringsstoffer der har et meget højt smeltepunkt, og hvirvelstrømmene sikrer samtidig en effektiv omrøring af eventuelle legeringsstoffer så de fordeles jævnt. Induktionsovnen er meget økonomisk og har en fin temperaturkontrol, den er velegnet til at fremstille alle former for højt legeret stål, f.eks. værktøjsstål. Induktionsovne findes i størrelser der kan behandle op til 20 ton stål ad gangen. Emissionerne fra en induktionsovn er varme, metallurgisk røg og støv, der fjernes ved afsug etableret omkring ovnen.

#### **4.2.2 Støbning**

Støbeprocessens grundprincip er at smeltet metal støbes i en form. Når metallet er størknet og "tilstrækkelig" afkølet, kan støbegods og form adskilles. Formene kan enten være "engangsforme", som destrueres ved adskillelsen, eller "flergangsforme", som kan genanvendes. Nedenfor er der beskrevet en række forskellige støbeprocesser.

#### **Sandstøbning**

Fremstilling af sandstøbte jern-, stål- og metalemner sker principielt ved at smelte metalmaterialet, behandle smelten (almindeligvis under overophedning) og støbe smelten i sandform (med eventuelt tilhørende sandkerner), hvor den størkner til den - af formhulrummet - afgrænsede geometri. Fra smelte-, støbe- og formeprocesserne opstår miljøbelastende emissioner, og det samme er gældende for adskillelses-, rensnings- og regenereringsprocesserne. Der dannes store mængder støv og gasser ved nogle af processerne. Specielt i forbindelse med udstøbningen udvikles der gasser og pyrolyseprodukter fra formesandet samt metallurgisk røg. Ved udstøbning af aluminium er der ingen nævneværdig emission af gasser og pyrolyseprodukter. Ved form- og kernefremstillingsprocesserne kan der udvikles en del støv, røg og frigives dampe fra bindemidlerne.

#### **Kokillestøbning**

Støbningen foregår i permanente forme (synonymet dækker også trykstøbning). Forskellen mellem kokillestøbning og sandstøbning er, at der ved kokillestøbning anvendes en form af stål - kokiller - og ved sandstøbning - en form af sand.

Sandformen kan kun bruges én gang, mens kokillen kan bruges fra 1.000-10.000 gange. Kokillestøbning anvendes f.eks. ved udstøbning af knipler, som efterfølgende anvendes til produktion af stangstål. Emissionerne ved kokillestøbning er begrænset til varme og vanddamp fra støbningen.

#### **Tryk- og præcisionsstøbning**

Der henvises til rapporten "Energoptimering af sugehove"/1/.

### 4.2.3 Udglødning, normalisering og hærkning

#### Udglødning og normalisering

Når et metal været udsat for kolddeformation, som følge af f.eks. koldvalsning af en plade, dybtrækning eller trådtrækning er der opstået mange slip og slipplaner, dannet mange krydssende dislokationslinier samt kommet mange uregelmæssigheder i krystalgitteret og dannet nye kim. Ved opvarmning kommer atomerne i svingninger, og når svingningerne er store nok vil atomerne bevæge sig og danne nye fejlfri gitre med kimene som udgangspunkt. En stor deformationsgrad giver mange nye kim og et finkornet materiale, og en lille deformationsgrad giver få nye kim og grovkornet materiale. Materialet vil efter udglødningen have sin oprindelige trækstyrke og sejhed. Udglødningen foretages i en ovn, og udglødningstemperaturen for f.eks. jern er ca. 450°C.

Normalisering foretages f.eks. af varmvalsede stålplader for at give pladerne en mere finkornet struktur. Normaliseringen af stål foretages ved at opvarme stålet til ca. 850°C. Her omdannes stålets strukturer (ferrit, perlit m.m.) til finkornet austenit. Ved langsom afkøling i luft omdannes det finkornede austenit til finkornet ferrit og perlit. Normalisering kan anvendes på almindeligste varmvalsede stål. Efter en normalisering er de oprindelige spændinger fjernet fra stålet. For at undgå nye spændinger under afkølingen må den kontrolleres nøje.

Der er ingen emissioner fra processerne udover varmetab fra ovnene.

#### Hærkning

Hærkning karakteriseres i denne sammenhæng ved, at emner, primært stål - men også støbejern og aluminium, underkastes et termisk procesforløb uden tilførsel af stoffer udefra. Herved opnås ændringer i materialets mikrostruktur, som medfører udtalte ændringer i materialets mekaniske egenskaber, som hårdhed og styrke. Egenskabsændringerne er afhængig af en for materialet tilstrækkelig hurtig afkøling. Processen foregår i en hærdeovn.

#### Hærkning i olie

Processen er karakteriseret ved, at emnerne opvarmes til en hærdetemperatur på ca. 850°C afhængigt af stålkvaliteten. Den efterfølgende holdetid sikrer gennemvarmning og homogenisering. Under det sidste procestrin bratkøles emnerne i olie, hvorunder hærdestrukturen dannes. Der er ingen emissioner på arbejdsstedet.

#### Saltbadshærkning

Processen er karakteriseret ved at emnerne der opvarmes til hærdetemperatur, som afhængig af stålkvalitet er 850°C - 1150°C, sker ved at anbringe emnerne i forskellige saltbade, hver med deres arbejdstemperatur eller temperaturområde. Afsugning over badene er påkrævet af hensyn til det interne miljø.

#### Induktionshærkning

Overfladen på jernbaseret materiale opvarmes ved at emnet anbringes som kernen i en spole, hvori der genereres højfrekvent vekselstrøm. Der er ingen emissioner på arbejdsstedet.

#### Anløbning

Normalt følger anløbningen direkte efter hærdeprocessen. Anløbningsovnene er oftest en kammerovn eller varmluftovn med maksimal temperatur på ca. 600°C. Ovnen kan være integreret i en produktionslinie, men ofte betjenes ovnen manuelt. Der er ingen emissioner på arbejdsstedet.

### Indsætning

Indsætning af kulstof i stål foregår i en opvarmet, lukket ovn med cirkulerende gas. Temperaturen ved behandlingen er 850-950°C, afhængig af ståltypen. Processen kan foregå kontinuert eller i batch. Kulstofpotentialet kan varieres under behandlingen og behandlingstiden er 0,5-20 timer. Uforbrændte gasser fra processen er giftige (CO), hvis de slipper ud i lokalet.

## **4.2.4 Overfladebehandling**

### **Elektrolytisk overfladebehandling**

En elektrolytisk belægningsproces er kendetegnet ved et i reglen vandigt bad, hvori der er opløst metalsalte. I badet er neddyppet to elektroder: en anode og emnet, som udgør katoden. Ved strømgennemgang sker der udfældning (reduktion) af metal fra opløsningen på katoden, det vil sige på emnet. Samtidig kan der ved reduktionsprocessen ske udvikling af hydrogen (brint). Ved anoden sker der samtidigt en oxidationsproces, hvilket vil sige opløsning af metaller fra anoden og/eller dannelse af oxygen (ilt). Nedenfor ses en række af de mest anvendte elektrolytiske overfladebehandlingsprocesser.

### Elforzinkning

Zink udfældet fra et alkalisk cyanidholdigt bad, hvori der er neddyppet en zinkanode, inert jernanode og emnet (katoden). Ved jernanoderne udvikles oxygen og ved emnet udvikles hydrogen med middelstor intensitet. Procestemperaturen er typisk 25-30°C. Der dannes giftige og ætsende aerosoler som følge af gasudviklingen. En stor del af aerosolerne opfanges af skumdannelsen på badets overflade. Gas og aerosoler fra badet må ikke spredes og skal bortskaffes effektivt. Der bør benyttes ventileret indkapsling. Karret kan f.eks. skjermes af et låg, som monteres omkring strømfophængen med udsugning langs karkanten.

### Forkromning og fornikling

Forkromning sker i et hårdkrombad, hvori der er anbragt en blyanode og et emne (katode). Ved emnet udvikles hydrogen med meget stor intensitet og ved anoden udvikles oxygen med meget stor intensitet. Procestemperaturen er typisk 55°C. Der dannes aerosoler som følge af gasudvikling ved elektroderne. Langt størsteparten af aerosolerne optages i et skumtæppe, som dannes over badet ved tilsætning af fluortensider. Disse forbruges, hvorfor dannelsen af skumtæppet må holdes under opsyn. Dette gælder også i perioder hvor badet ikke anvendes (f.eks. i weekenden), så der sker oxidation af overskydende krom(III) til krom(VI). De dannede gasser (hydrogen/oxygen) og ikke opfangede aerosoler skal fjernes ved effektiv lokaludsugning, da krom(III) er giftigt og kræftfremkaldende.

Fornikling sker i et nikkelbad, hvori der er anbragt en nikkelanode og et emne (katoden). Der er ingen gasudvikling fra badet. Badet er surt og procestemperaturen er typisk 50°C. Badet afgiver i sig selv hverken gasser eller aerosoler, men der kan dannes aerosoler, hvis der benyttes luftgennemblæsning til badomrøring.

### **Maling og lakering**

Ved maling og lakering påføres metallet primært en beskyttende overflade. Nedenfor ses eksempler på male- og lakeringsprocesser.

### Pneumatisk sprøjtning

Denne form for maling kaldes også sprøjtning med luftforstøvning eller lavtrykssprøjtning. Pneumatisk sprøjtning er en proces, hvor flydende maling ved hjælp af luft forstøves via en dyse for derefter at påføres et emne. Anlæggene består af en luftkilde, en kompressor og en

sprøjtepistol. Sprøjtning skal foregå i en sprøjteboks, idet processen emitterer opløsningsmidler og i mindre omfang støv. Under manuel sprøjtning bæres åndedrætsværn. Omfanget af ventilation af sprøjtebokse fastsættes af Brandinspektionen og sikrer normalt, at grænseværdierne for arbejdslokalet kan overholdes. I lukkede sprøjtebokse bæres friskluftmasker.

#### Hydraulisk sprøjtning

Denne form for maling kaldes endvidere luftløs sprøjtning, højtrykssprøjtning eller airless sprøjtning. Hydraulisk sprøjtning er en proces der ved trykforstøvning påfører flydende maling på et emne. Forstøvningen sker med en sprøjtepistol monteret med en speciel dyse, og forstøvningen skyldes kombinationen af højt tryk og dysens konstruktion. Sprøjtetrykket er typisk 100 bar, men kan variere i området 50-300 bar. Malingen har normal værkstedstemperatur, men ved varmsprøjtning forekommer dog temperaturer op til 80°C. Processen emitterer opløsningsmidler og i mindre omfang støv. Under manuel sprøjtning skal der bæres åndedrætsværn. Omfanget af ventilation i sprøjtebokse fastsættes af Brandinspektionen og sikrer normalt, at grænseværdierne for arbejdslokalet kan overholdes. I lukkede sprøjtebokse bæres friskluftmasker.

#### Pulversprøjtning

Denne form for maling kaldes også elektrostatisk sprøjtning, triboelektrisk sprøjtning, elektrokinetisk sprøjtning, friktionssprøjtning eller Corona-sprøjtning. Som de forskellige navne antyder, sker pulversprøjtning efter forskellige principper.

Ved elektrostatisk pulversprøjtning føres pulveret frem til pistolen ved hjælp af trykluft. Når pulverpartiklerne passerer en elektrode ved pistolmundingen bliver de elektrostatisk opladet. Spændingen i sprøjtepistolen kan normalt varieres i intervallet 3- 20 kV. Det elektrisk opladede pulver transporteres ved hjælp af en kombination af elektrostatiske kræfter og trykluft til det jordede emne, som skal belægges. Rundt om det jordede emne opbygges et elektrisk felt. De opladede pulverpartikler følger de elektriske kraftlinier, og man opnår en "rundslags-effekt". Normalt sprøjtes pulvermalinger på kolde emner, men ønskes større lagtykkelse, kan emnet forvarmes.

Ved triboelektrisk sprøjtning oplades pulveret ikke af elektroder, men ved friktion mellem pulverpartikler og pistolløbet. Et pulver, der bringes i kontakt med en overflade og ledes hen over denne, oplades. Arbejdet med termohærdende pulvermaling indebærer en risiko, såvel for forurening af omgivelserne, som for at de beskæftigede personer. De ricisi, der er mest relevante ved håndtering af pulver, er hudkontakt og indånding. God ventilation er påkrævet ved anvendelse af pulver, og processerne skal foregå i sprøjtebokse.

#### Manuel påføring

Pensel og rullepåføring foretages normalt kun ved reparationsarbejde eller udstikning før sprøjtepåføring. Processerne emitterer opløsningsmidler fra den malede overflade. Operatøren skal bære personlig værnemidler der svarer til den aktuelle maling.

### **4.2.5 Tørring**

Tørreanlæg i jern- og metalindustrien anvendes f.eks. i forbindelse med tørring af malede eller lakerede metaloverflader. Nedenfor ses eksempler på tørreprocesser- og anlæg.

#### IR-ovne

I IR-ovne udsendes infrarød stråling (varmestråling). Når strålerne møder malingsoverfladen kan de enten reflekteres eller trænge ned i laget og absorberes. I sidstnævnte tilfælde omsæt-



tes strålingen til varmeenergi, hvorved tørringen og hærden foregår. IR-ovne anvendes både til traditionelle "våde" malinger og til pulvermalinger. Tørreprocessen giver anledning til afgivelse af opløsningsmiddeldampe. Emissionen er afhængig af mængden og typen af opløsningsmiddel i malingen. Opløsningsmiddelmængden udgør sjældent mere end 15 % af det oprindelige indhold, når emnet placeres i ovnen.

#### Konvektionsovne

I konvektionsovne tørres og hærdes malingen ved hjælp af strømmende varm luft i lukkede eller åbne ovne. Tørreprocessen giver anledning til afgivelse af opløsningsmiddeldampe. Emissionen er afhængig af mængden og typen af opløsningsmiddel i malingen. Opløsningsmiddelmængden udgør sjældent mere end 15 % af det oprindelige indhold, når emnet placeres i ovnen.

#### **Sand- og glasblæsning**

Ved sandblæsning afrenses der med kvartsand der blæses ud gennem en dyse med et lufttryk på 0,5-4 bar alt efter hvor hårdt der skal renses. Lufttryk og kornstørrelse på sandet reguleres alt efter emne. En god tommelfingerregel er at jo højere tryk og jo større kornstørrelse på sandet jo hårdere afrensning. Omvendt jo lavere jo blidere afrensning. Der anvendes sand med en kornstørrelse på 300 - 700µm (0,30 - 0,70 mm) I industrien anvendes der udelukkende tør sandblæsning, der bruges til rensning af jern, stål, træ etc.. Metoden er forbundet med store støvgener og kræver derfor en kabine eller anden inddækning og bør kun anvendes indendøre. Sandblæsning giver en forholdsvis ru rensning af overfladen Som alternativ til sandblæsning kan der anvendes glasblæsning, som giver skånsom overfladerensning med forholdsvis lille ruhed. Glasblæsning udføres ligesom sandblæsning ved hjælp af trykluftblæseanlæg. I anlægget blæses små glasperler mod emnets overflade. Da glasperlerne er kugleformede slider det ikke væsentligt på materialet, men renser for urenheder. Glasblæsningen giver en pæn og ensartet overflade. Glasperlerne har en diameter på 150 - 250µm (0,15 - 0,25 mm). Glasblæsning giver skånsom overfladerensning med forholdsvis lille ruhed, og anvendes fortrinsvis til rustfrit stål og aluminium. Både sand- og glasblæsning forårsager støvemissioner og skal derfor foretages i lukkede kabiner eller inddækning. Ved komplekse emner foretages sand- eller glasblæsningen manuelt og operatørernes arbejdsmiljø sikres ved f.eks. friskluftforsynet åndedrætsværn.

### **4.3 Papir- og grafisk industri**

I det nedenstående beskrives papirindustrien og den grafiske industri.

#### **Papirindustri**

Papir kan fremstilles af jomfrufibre, ved pulpning af genbrugspapir eller i en kombination heraf. I den danske papirindustri anvendes der næsten udelukkende genbrugspapir ved fremstillingen. Det indsamlede genbrugspapir genpulpes, renses og bleges, konditioneres (tilsætning af fyldstoffer) inden papirmassen tilføres papirmaskinen. I papirmaskinen afvandes og presses papirmassen inden papirbanen tørres og oprulles.

Foruden papir i baner fremstilles der produkter af støbepap (f.eks. æggebakker). Støbepap kan ligeledes fremstilles af jomfrufibre eller genbrugspapir. I praksis bliver støbepap fremstillet på basis af genbrugspapir. Ligesom ved papirfremstilling pulpes og renses genbrugspapiret. Derefter støbes papemnerne i en formmaskine, som dernæst tørres i en tørreovn.

Både ved fremstilling af papir og støbepapir der er talrige kilder til varme-, damp- og støv-emissioner. Der foretages procesafsug gennem ovne, inddækninger på papirmaskiner, punkt-afsug ved pulpere og mange andre steder.

### **Grafisk industri**

Den mest anvendte proces i den grafiske industri er grafisk tryk på emner som aviser, tidskrifter, reklamer etc.. I det følgende beskrives denne type produktion sammen med en række andre processer, der er almindelige i den grafiske industri. Den grafiske industri har været storforbruger af organiske opløsningsmidler, og mange trykkere har fået varige helbredsskader heraf, da opløsningsmidlerne "opløser hjernen og nervesystemet". Heldigvis er forbruget af opløsningsmidler faldet – f.eks. bruger mange offset-trykkerier i dag planteoliebaserede afvaskere - de såkaldte vegetabiliske afvaskere.

### Tryksager

En almen model for fremstilling af trykt massekommunikation ser således ud:

- originalklargøring
- grafisk tekst- og billedbehandling
- formfremstilling
- trykning, inkl. tørring
- færdiggørelse

De tre første produktionstrin kan forkortet kaldes prepress, hvormed produktionsprocessen groft inddeles i tre trin. Tilsvarende er branchen groft opdelt i tre virksomhedstyper, som hver for sig varetager sin del af produktionsprocessen. Der er således tale om prepress'virksomheder, trykkerier og bogbinderier. Det skal dog bemærkes, at mange grafiske virksomheder har flere produktionstrin samlet under et tag.

### Prepress

Tidligere var prepress en meget arbejdsmiljøbelastende proces på grund af de fremkaldervæsker, der blev anvendt ved filmfremkaldelsen. Efter at billedemateriale og tilhørende tekster er blevet digitalt er behovet for filmkaldelse forsvundet og dermed de alvorlige miljøproblemer der var forbundet frem fremkaldervæsker, fixer'væske etc..

### Trykning

Offset rotationstrykning benyttes ved mellemstore og store oplag f.eks. aviser, ugeblade, emballagetryk m.m., idet produktionskapaciteten i en rotationspresse er stor. En offset rotationspresse består af et antal trykværker fra 1 til 5 efterfulgt af et valseværk. Hvert trykværk består af et stort antal valser til påføring af fugtevand og sværte. Værkerne kan være kølet med cirkulerende kølevand i visse valser. Ved offsettryk på coatet eller glittet papir benyttes den såkaldte heat set offset teknik. Som følge af papirets ringe sugeevne, er der behov for at tørre papiret umiddelbart efter trykning. En del papir- og kartonmateriale overfladebehandles med en lakering. Der benyttes tre principielt forskellige laktyper: UV-hærdende lakker, vandfortyndbare lakker og opløsningsmiddelbaserede lakker. I forbindelse med trykkeprocessen og afvaskningen af valserne kan der udvikles der dampe som indeholder organiske opløsningsmidler og andre kemiske stoffer fra trykfarverne og fugtevandet. I dag er størstedelen af trykfarverne planteoliebaserede, men til nogen tryktyper, f.eks. visse arktryk, anvendes der stadig trykfarver der indeholder organiske opløsningsmidler. Organiske opløsningsmidler kan også indgå i trykfarver til flexotryk, dybtryk, serigrافي, tampontryk og i visse UV-farver og lakker til

brug ved serigrafisk tryk. Desuden er etanolen i fugte vandet der anvendes til offset-tryk også et organisk opløsningsmiddel. I dag findes de organiske opløsningsmidler primært i de væsker der anvendes til afvaskning af valser, gummiduge, serigrafirammer, farvebakker og andet udstyr. Spritten i fugte vandet til offset-tryk er også et organisk opløsningsmiddel.

Ark'offset er en plantrykmethode, hvor trykprincippet bygger på at fedt og vand skyr hinanden. Ved offset pladeproduktion (trykpladefremstilling) fremstilles en plan trykplade med vandbærende og vandskyende overfladeområder. De vandskyende partier udgør i trykningen trykbilledet, idet de modtager farve fra trykvalsen og afgiver denne til en gummidug, hvorfra farven afsættes til papiret. Farve tilføres trykpladen fra et farveværk. Forinden tilføres trykpladen fugte vand, som skal sikre adskillelsen mellem trykgivende og ikke-trykgivende områder. Fugte vandet kan bestå af en blanding af alkohol/isopropanol, fugte vandstilsætning og vand. Ligesom ved rotationstrykning anvendes der normalt vegetabiliske trykfarver og væsker til afrensning, men etanolholdig fugte vand.

Ved højtryk afsættes farve fra ophøjede partier, klicheer, på trykformen direkte til trykemnet. Ved flexotryk anvendes rotationspresser, som ofte kan trykke i op til 6 farver i en arbejds gang. Trykfarverne er oftest på sprit- eller vandbasis og hurtigtørrende.

Ved dybtryk afgives trykfarver fra fordybninger (kopper) i trykformen direkte til trykemnet. Billed- og tekstpartierne består af små fordybninger, der er ætset eller graveret ned i en kobberbeklædt cylinder. De ikke-trykgivende arealer repræsenteres af den blanke cylinderoverflade. Farverne tørrer dels ved indtrængning i papiroverfladen, dels ved fordampning i et varme anlæg. Ved dybtryk anvendes letflydende farver med et stort indhold af opløsningsmidler. Til emballage tryk anvendes farver med indhold af opløsningsmidler som ethanol, isopropanol og n-propanol. Til magasindybtryk anvendes farver som indeholder store mængder organiske opløsningsmidler som toluen og benzin. Produktioner hvor der anvendes dybtryk repræsenterer dermed stadig en risiko for arbejdsmiljøet og for eksplosionsfare.

### Tørring

I det følgende er der beskrevet de mest anvendte tørremetoder i forbindelse med tørring i den grafiske industri.

Tørreovne benyttes f.eks. ved trykning på ikke-sugende eller svagt sugende materialer, ved lakering og andre anvendelser, hvor større mængder væske skal afdampes for at undgå afsmitning. I ovnen holdes et konstant undertryk for at minimere udslip af opløsningsmiddeldampe til lokalet.

IR-tørring anvendes til at fremme tørringen af trykfarver der tørrer ved lufttørring, f.eks. på en rotationstryk presse. Papirbanen opvarmes til 40°C ved bestråling med infrarødt lys, hvorved den hastighed hvormed tørringen sker øges væsentligt.

UV- hærkning anvendes fortrinsvis ved trykning af offsetfarver på ikke sugende materialer, som f.eks. på coated papir/pap til emballage. Overførslen af energi sker ved bestråling af emnet, og strålerne passerer gennem den øverste film på lakken og direkte ind i emnet.

Ved ovennævnte tørreprocesser frigives der diverse stoffer som skal fjernes fra trykkemaskinen, ligesom der også forekommer termisk belastning. Det er nødvendigt at bortventilere disse belastninger ved udsugning fra tørre sektionen.

## 4.4 Kemisk industri

Den kemiske industri kan opdeles i følgende hovedgrupper:

1. Kemisk råstofindustri, herunder blandt andet fremstilling af industrigasser, kunstgødning, bekæmpelsesmidler og basisplast
2. Olieraffinaderier
3. Fremstilling af asfalt, tagpap, smøremidler og andre kulprodukter
4. Fremstilling af andre kemiske produkter, herunder blandt andet farve- og lakfabrikker, medicinalfabrikker, sæbe- og kosmetikfabrikker, sprængstoffabrikker og limfabrikker

En af fællesnævnerne for hele branchen er et forbrug af kemiske stoffer og materialer til produktion af andre stoffer og materialer, af mellemprodukter og halvfabrikata eller af færdige produkter.

I det følgende beskrives nogle få udvalgte processer for hovedgruppen "Fremstilling af andre kemiske produkter", idet hovedparten af produktionsanlæggene for virksomhederne i de øvrige kategorier er placeret helt eller delvis udendørs, og der er derfor ikke behov for procesafsugning.

### 4.4.1 Farve- og lakfabrikker

Procesforløbet ved fremstilling af farve og lak ses nedenfor:

#### Forblanding

Maling og trykfarve er generelt sammensat af 5 hovedkomponenter:

- bindemiddel
- opløsningsmiddel
- pigment
- fyldstof
- additiver/hjælpestoffer

Afhængig af batchstørrelse, råvaremængde og produktionsteknik tilsættes råvarer enten ved håndkraft direkte fra emballagen eller via pumpe- og doseringsanlæg. Blandekarret er normalt forsynet med en hurtiggående savbladsomrører, en såkaldt dissolver. Når dissolveren arbejder afgives den mekaniske energi i blandingen som bevirker at temperaturen stiger, - i visse tilfælde op til 60-70°C.

#### Rivning

Ved rivning opnås, at produktet får den ønskede rivefinhed.

#### Færdigblanding

Når den ønskede findeling er opnået tilsættes de resterende råvarer, typisk supplerende opløsningsmiddel og bindemiddel

#### Tapning

Efter færdigblanding tappes det færdige produkt til forsendelse og levering. Ved tapning foretages altid en filtrering af blandingen.

I forbindelse med alle procesforløbene, er der etableret permanente udsug og punktudsug. Der anvendes både åbne og lukkede kar i produktionen.

Den vigtigste emissionstype set i forhold til procesafsug er fordampningen af organiske forbindelser (VOC), der er indeholdt i nogle af produkttyperne. Der emitteres desuden organisk og uorganisk støv fra håndteringen af de pulverformige fyldstoffer og pigmenter, der anvendes. Visse pigmenter kan indeholde metaller som f.eks. kobber og krom. Emissionen af VOC afhænger væsentligt af de flygtige komponenters damptryk, – det vil sige produktsammensætningen og blandingens temperatur. I de tilfælde hvor produktionen foregår batchvis skla der ske en komplet rengøring af alt procesudstyr efter hver batch for at undgå afsmitning af farve, samt i nogle tilfælde regulær uforenlighed imellem råvaretyper fra produkt til produkt. Rengøring af mobile kar og tanke sker med manuel afrensning og spuling i særlige aflukkede skyllerum med kraftig udsugning. Der er maskepåbud under arbejdet. Lukkede systemer og blandedanlæg rengøres med CIP'lignende (cleaning-in-place) anlæg, hvor der anvendes "grise" til rengøring af længere rørstrækninger.

#### **4.4.2 Medicinalfabrikker**

I den farmaceutiske industri er der typisk tale om kemiske reaktioner og gæringsprocesser ved anvendelse af mikroorganismer. Processerne kan være såvel endoterme (varmeforbrugende) som exoterme (varmeafgivende). Gæringsprocesser er typisk exoterme. Herudover er der for mange produktioner meget høje krav til renhed, hvilket stiller helt særlige krav til procesventilation og afsug. I nogle produktioner anvendes renrum, hvor det ikke er ualmindeligt med et luftskifte på op til 100 gange i timen.

Procesforløbene er ofte batchvis og at de enkelte produktionsenheder er forholdsvis små.

Processerne i medicinalindustrien spænder vidt, da de produkter der fremstilles er meget forskellige (flydende, pulver, tabletform). Det typiske procesforløb indeholder råvarekonditionering, reaktioner/gæring, separation, færdigbehandling og pakning. I forbindelse med stort set enhver medicinsk produktion anvendes der organiske opløsningsmidler. Og i mange tilfælde anvendes desuden forskellige aminer og estere, der for visses vedkommende er sundhedsskadelige. Endelig kan der være støvende processer i forbindelse færdigbehandling (f.eks. ved tabletering) og pakning.

Der er udbredt anvendelse af procesventilation og afsug i branchen har på grund af krav til renhed i produktionen, arbejdsmiljøhensyn og i mange tilfælde ligeledes for at begrænse risici for eksplosion. Der er typisk etableret procesventilation (grundventilation) af produktionslokalerne med et luftskifte på 10-30 gange per time. Derudover er der procesafsug ved særlig krævende kilder. Endelig er der stinkskebe til laboratoriebrug samt LAF'bænke (Laminar Air Flow) og renrum de steder hvor produkterne håndteres i det fri og der er krav om meget høj renhed.

Den væsentligste emission stammer fra fordampningen af organiske forbindelser (VOC), der anvendes ved produktion af nogle af produkttyperne. Der emitteres støv fra håndteringen af de pulverformige fyldstoffer til tabletering. I mange tilfælde bliver både tilgangs – og afkastluft HEPA'filtreret.

## **5 Nyere forskningsresultater**

Nye stoffer og nye produktionsprocesser samt ny viden om stoffers og gassers skadelige virkning er med til at sætte fokus på industriventilation. Dette projekt undersøger en række venti-

lationskomponenter og ventilationsprincipper med henblik på at fastlægge fremtidens løsninger.

EU Kommissionen har støttet forskningen indenfor industriventilation gennem CORDIS programmet COST action G3. Dette arbejde resulterede i 2001 i udgivelsen af bogen "Industrial Ventilation, Design Guidebook".

## **6 Dimensioneringsgrundlag**

Formålet med industriventilationssystemer, er at skabe et tilfredsstillende atmosfærisk arbejdsklima og opfylde mulige proceskrav med hensyn til luftens renhed. Der er to hovedventilationsprincipper: generel fortyndings- eller opblandingsventilation, og lokal- eller procesventilation.

I industrien er ventilation efter fortyndingsprincippet normalt brugt til at kontrollere lufttemperaturen og luftfugtigheden i arbejdslokalet. Generel ventilation bliver også brugt til at kontrollere forureningskoncentrationen, hvis forureningsmængden er lav og forureningskilderne er diffuse eller mobile (f.eks. forureningen fra trucks). Forureningen bliver normalt udsuget og bortledt til det fri via afkastsystemer på bygningens tag. Store indblæsningsmængder (til erstatning af den udsugede luftmængde) bliver brugt til at fortynde forureningen. Selvom den samlede forureningsmængde er lav, vil der altid være høje koncentrationer tilstede tæt ved selve forureningskilden, og fortyndingsventilation vil ikke altid kunne beskytte personer, der arbejder tæt ved forureningskilden. Lokal ventilation eller procesudsugning er derfor meget brugt til at nedbringe forureningskoncentrationen tæt ved forureningskilden til et acceptabelt niveau. Procesudsugning genererer et strømningsfelt omkring forureningskilden, som beskytter personen ved arbejdspladsen. Ulempen ved procesventilation er den meget begrænsede rækkevidde. Derfor kombineres procesudsugning derfor i mange tilfælde med ventilation af arbejdslokalet for at fjerne den forurening, der ikke fanges af procesudsugningen

### **6.1 Generelle anvisninger og definitioner**

#### **6.1.1 Procesventilation**

Et korrekt valg af ventilationsprincip samt hensigtsmæssig opbygning af indblæsnings- og udsugningssystemerne er en meget vigtig faktor for at opnå et tilfredsstillende indeklima, såvel termisk som atmosfærisk i produktionslokaler. Det kan derfor ofte være en hjælp at have nogle retningslinjer for at sikre personer og arbejdsprocesser acceptable forhold. Kravene til indeklimaet kan betegnes som talrige. Det vil sige, at der ikke altid kan anvendes standardløsninger; men løsningerne må skræddersys i hvert enkelt tilfælde under hensyntagen til de forskellige aktiviteter og processer. Procesventilation kan dog inddeles i nedenstående hovedkategorier:

- Konventionel opblanding
- Fuldstændig opblanding
- Passiv termisk fortrængning
- Aktiv termisk fortrængning
- Stempelfortrængning

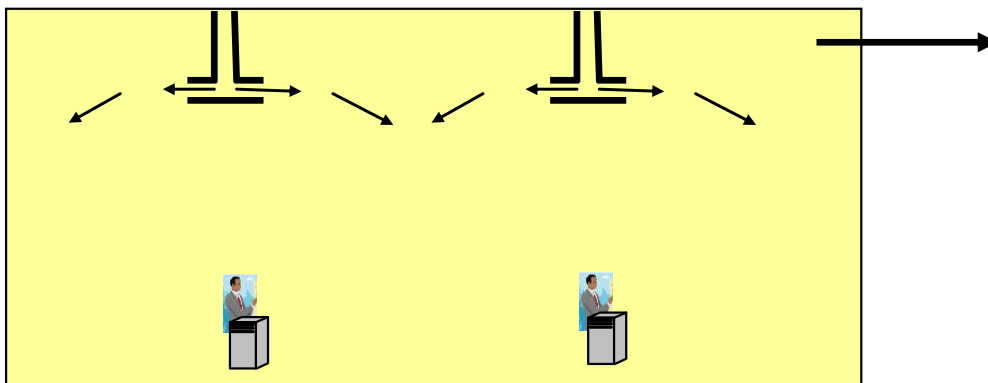
De nævnte principper er beskrevet i de følgende.

### 6.1.2 Konventionel opblanding

Ved konventionel opblanding, - også kaldet almen ventilation, tilføres den indblæste luftmængde gennem indblæsningsarmaturer, der normalt placeres jævnt fordelt under loftet i lokalet. Ventilationsprincippet der er illustreret med figur 6.1 er blandt andet egnet til ventilation, opvarmning og køling. Effektiv opblanding fås dog kun i den del af lokalet der påvirkes af indblæsningsluften. Dette er et enkelt og meget anvendt princip, der dog har sine begrænsninger blandt andet som følge af:

- at det er svært at variere volumenstrømmen uden at strømningssbilledet ændrer sig
- at overtempereret luft ofte kan give kortslutninger
- at lokale forureningskilder kan give områder med utilstrækkelig luftkvalitet

Ventilationsprincippet er i princippet uafhængigt af placeringen af udsugningen, der dog bør placeres under hensyntagen til lokalets forureningskilder.



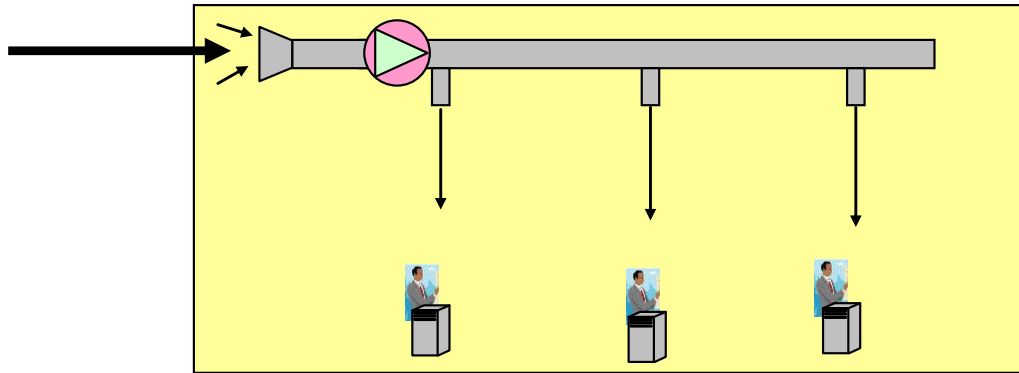
Figur 6.1 Konventionel opblanding

### 6.1.3 Fuldstændig opblanding

Dette ventilationsprincip der er illustreret med figur 6.2 er egnet til ventilation, opvarmning og moderat køling af høje lokaler. Indblæsningsluften fordeles til arbejdszonerne i opholdszonen ved hjælp af styrestråler der medvirker til:

- Stabilt strømningssfelt
- Jævn temperaturfordeling
- Flexibilitet (luftretning og lufthastighed kan tilpasses det varierende klimabehov i opholds- og arbejdszonen)

De horisontale styrestråler skaber en stor luftstrøm med jævn temperatur under loftet, hvorfra luften føres ned til de ønskede områder ved hjælp af styrestråler. Eventuelle forureninger skal fjernes med udsugninger placeret ved kilderne.



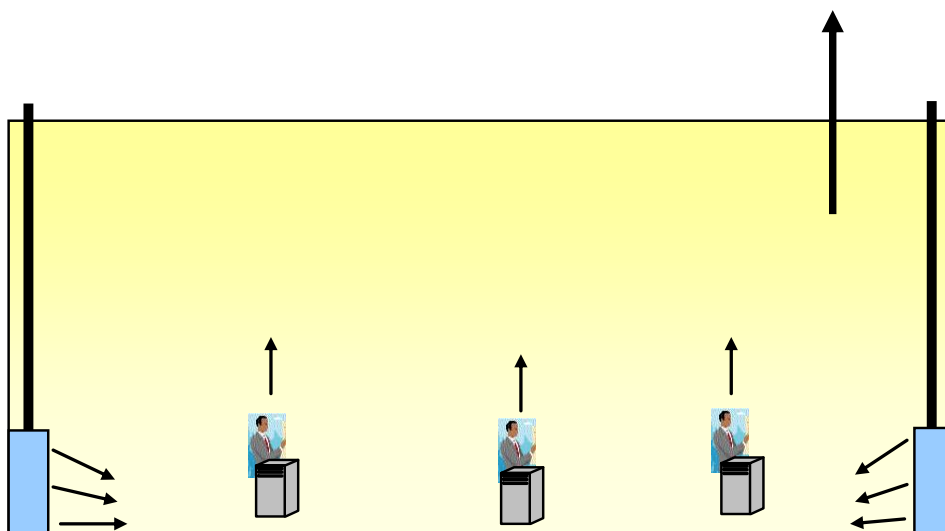
Figur 6.2 *Fuldstændig opblanding*

#### 6.1.4 Passiv termisk fortrængning

Betegnelsen "passiv" anvendes fordi luftstrømningerne i opholdszonen alene styres af de termiske kilder i lokalet såsom personer, maskiner, varme processer og eventuel belysning, hvilket giver et strømningssbillede med kun opadrettede luftstrømme, der medfører at ventilationsprincippet kun er egnet til ventilation og køling af lokaler.

Det grundlæggende er, at varme og forurening bliver ført direkte væk fra opholdszonen og op mod loftet. Dette opnås normalt ved at de varme aktiviteter og processer der finder sted i lokalet skaber en opadrettet konvektionsstrøm. Konvektionsstrømmen bestående af varme og forurening trækker den omkringværende luft med sig, hvorved den opadrettede luftstrøm øges samtidig med at dens hastighed aftager. Endvidere gælder det, at disse konvektionsstrømme virker sammen med ventilationsluften. Dette opnås ved at tilføre den rene luft nær gulvet og udsuge den varme og forurenede luft nær loftet, som vist med figur 6.3. Der tales i denne forbindelse ofte om en grænselinje, der deler lokalet i en nedre ren og tempereret zone, samt en øvre varm og forurenede zone. Hertil kommer, at volumenstrømmen som tilføres den rene zone blandt andet har til formål at erstatte den luft, der på grund af konvektionsstrømmen føres væk fra opholdszonen, således at grænselinjen mellem den rene og forurenede zone ligger over opholdszonen. Passiv fortrængning har i rette sammenhæng mange gode egenskaber blandt andet ved at påvirke og fjerne varme forureninger i lokalet, hvorimod dens egenskaber er mere begrænsede, når der er tale om kolde og /eller neutrale forureninger. Udsugningen placeres altid under loftet, men kan dog suppleres med punktudsugninger i arbejdszonen.

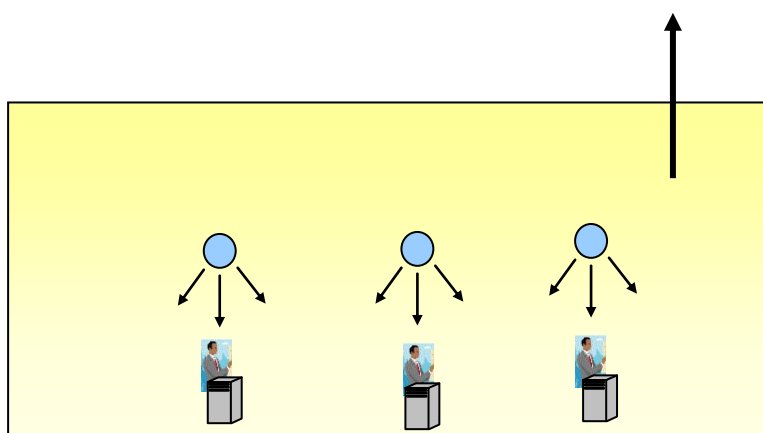




Figur 6.4 Passiv termisk fortrængning

### 6.1.5 Aktiv termisk fortrængning

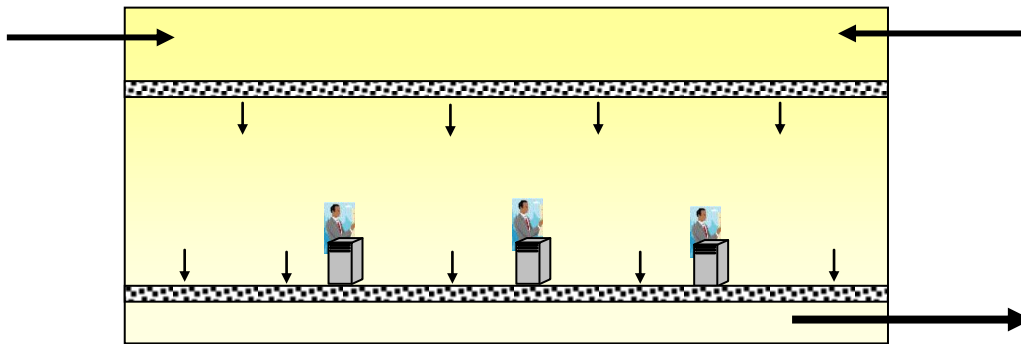
Betegnelsen "aktiv" termisk fortrængning anvendes fordi det netop er indblæsningsarmaturet, der tillige med de termiske kilder forårsager luftstrømningerne (strømningsbilledet) i opholds-zonen. Ventilationsprincippet er velegnet til ventilation, køling og i specielle tilfælde til opvarmning af lokaler. Det er karakteriseret ved at strømningsbilledet består af såvel opadrettede som nedadrettede luftstrømme, som illustreret på figur 6.5. Indblæsningsluften er nedadrettet og tilføres opholdszonen og/eller arbejdszonen ved hjælp af specielt konstruerede dysekanaler. Varme forureningskilder behandles som ved passiv termisk fortrængning, hvor forureningerne føres ned med konvektionsstrømmene mod loftet til udsugningsstederne. Kolde forureninger fortrænges af indblæsningsluften fra dysekanalerne mod gulvet til udsugningsstederne. Hvis der er et varmebehov i opholdszonen, kan konvektionsstrømmene modvirkes ved at placere en dysekanal over varmekilden. Herved forhindres at ren luft strømmer ud af opholdszonen samtidig med at varmen udnyttes. Endelig kan indblæsningsluften fra dysekanalerne anvendes til blot at tilføre erstatningsluft til punktudsugningerne. Udsugningen placeres som ved passiv termisk fortrængning under loftet.



Figur 6.5 Aktiv termisk fortrængning

### 6.1.6 Stempelfortrængning

Ved stempelfortrængning tilføres den indblæste luftmængde lokalet gennem filtre og fortrænger rumluften ned mod gulvet, hvor den udsuges som vist på figur 6.6. Ventilationsprincippet er velegnet til ventilation, opvarmning og køling i lokaler med kolde forureningskilder.



Figur 6.6 Stempelfortrængning

### 6.1.7 Procesudsugning

I dette projekt arbejdes der ud fra en inddeling af procesudsugning efter de tre grundprincipper:

- Omslutningsprincippet (indkapsling)
- Modtageprincippet
- Gribepincippet

Ved *omslutningsprincippet* er processen helt eller delvist indkapslet, og der suges fra indkapslingen, så forureningen ikke kommer ud i det omgivende lokale. Ofte vil det kun være nødvendigt at udsuge små luftmængder for at opretholde et lille undertryk i indkapslingen.

*Modtageprincippet* udsuger den forurenende luft fra et udsug, som er placeret således ved processen, at luftens bevægelsesmønster udnyttes. Bevægelsesmønsteret kan f.eks. være opstigende varm luft.

Ved *gribepincippet* udformes og placeres udsuget, så det kan indfange og fjerne forureningen fra processen før den slipper ud i lokalet.

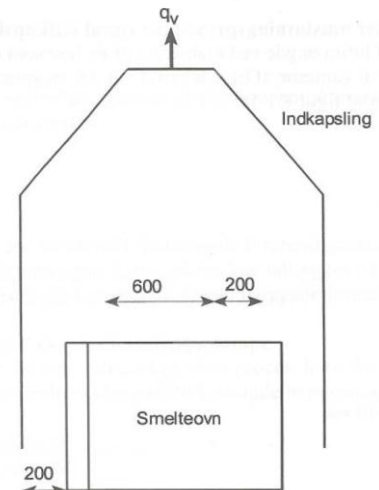
#### Omslutningsprincippet

Omslutningsprincippet anvendes primært i forbindelse med udsugning fra processer, hvor der udvikles dampe/gasser der kan være helbredsskadelige og hvor det derfor vigtigt at udsugningen er meget effektiv, f.eks. i forbindelse med maleprocesser. Derudover anvendes omslutningsprincippet ved varmeafgivende processer som f.eks. smeltning. Ved omslutningsprincippet kan der være tale om:

- En total indkapslet proces
- En delvist indkapslet proces

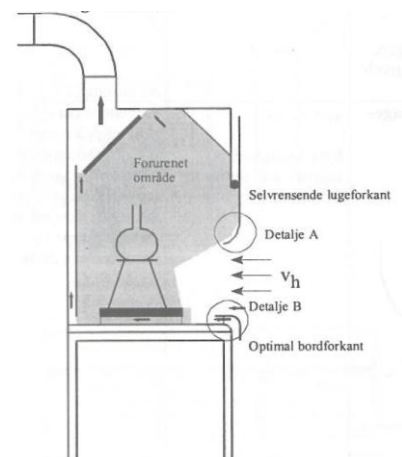
Set i forhold til udsugningseffektivitet og energiforbrug er det bedst at indkapsle den forurenende proces. Der skal kun opretholdes et svagt undertryk i indkapslingen for at fjerne forureningen effektivt, og den udsugede luftmængde kan derved være meget lille. I visse tilfælde vil det være hensynet til varmeafgivelse, eksplosionsfare og minimum bærehastighed i kanalsystemet hvis der er partikelemission, som vil være dimensionerende for den udsugede luftmængde. I de mange tilfælde vil det ikke være muligt at foretage en total indkapsling af den forurenende proces, da det vil forhindre tilstrækkelig overvågning og at der arbejdes med processen. Som eksempel på total indkapslede processer kan nævnte CNC'drejebænke og plaststøbemaskiner, der placeret i lukkede kabinetter med udsugning.

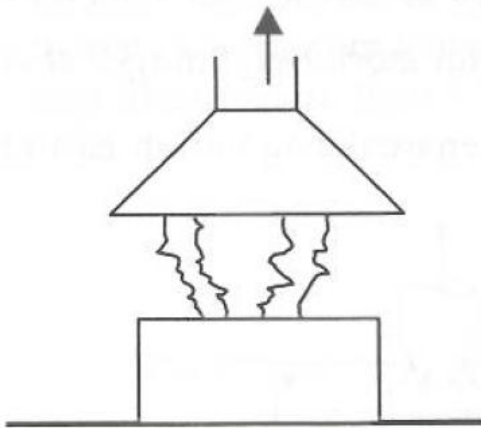
Når det ikke af hensyn til processen er muligt at foretage en total indkapsling kan processen indkapsles delvist, dvs. at den ene af de seks side i indkapsling er helt eller delvist åben. Et par eksempler på delvist indkapsling er en malekabine og et stinkskab, hvor kun den side der har front mod operatøren er åben. I åbningen opretholdes tilstrækkelig hastighed til at forureningen ikke undslipper udsugningen. Det er vigtigt at udsugningen fra indkapslingen udformes så der skabes en ensartet lufthastighed over hele det åbne areal. Desuden er det vigtigt indløbsforholdene (kanterne i indkapslingen) udformes så forureningen holdes i indkapslingen, og at hastigheden i det åbne areal kan holdes så lav som mulig.



### Modtageprincippet

Ved modtageprincippet vil emitterede gasser, varme eller fine partikler bringes fra forureningsstedet og til udsugningen ved egen kraft, hvorfra det udsuges. Gasser og varme bringes til udsugningsstedet af enten ved opdrift som følge af vægtfyldeforskel i forhold til den omgivende luft eller ved termisk opdrift, mens partikler til udsugningen hvis de er i bevægelse mod udsugningen. Der kan være tale om processer som f.eks. støbemaskiner, smelteovne/-kar, bade, svejseprocesser og stege-/kogeprocesser. Hvis der emitteres gasser/dampe eller partikler under isoterme forhold og med små hastigheder er placeringen af udsugningen ikke kritisk. Men hvis der er en betydelig termisk belastning vil den varme forurening (også kaldet termisk plumen) stige til vejrs som følge af den termiske opdrift, og det kan være svært at indfange forureningen, da der skal arbejdes mod de termiske kræfter. Derfor er udsugningen fra varme forureningskilder stort set altid placeret over kilden, idet den termiske opdrift selv bringer forureningen ind i udsugningen. Det er vigtigt, at udformningen af udsugningen har en størrelse, der kan modtage den termiske plumen samt at udformningen af udsugningen er udført så den sikrer mod at en del af den termiske plumen forlader udsugningen igen som følge af bevægelsen oppe i udsugningen. Udsugningen bør være forsynet med reflektorer, der sikrer at den termiske plumen forbliver oppe i udsugningen.

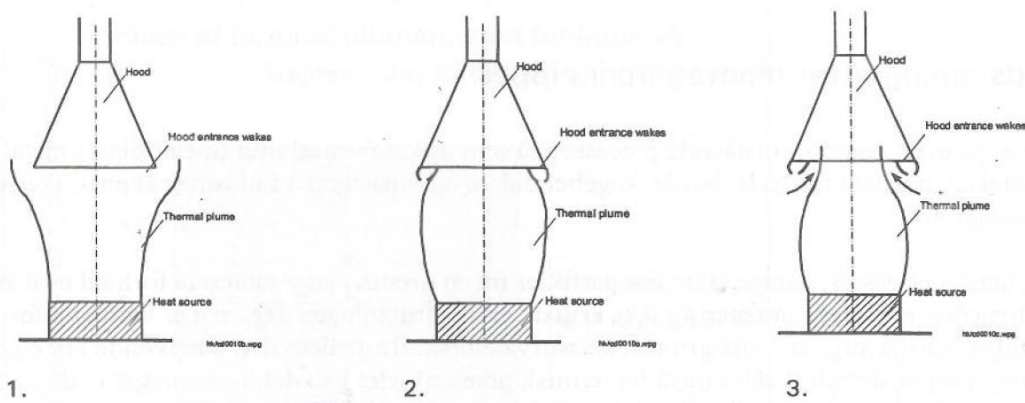




Figur 6.7 Udsugning efter modtagerprincippet.

Når den varme luft (forurening) stiger til vejrs kan der opstå tre forskellige situationer, som er illustreret med figur 6.8.

1. Luftstrømmen i den termiske plumen (forureningen) er større ved sugehovens underkant end den udsugede luftmængde – situation 1
2. Luftstrømmen i den termiske plumen (forureningen) er af samme størrelse ved sugehovens underkant end den udsugede luftmængde – situation 2
3. Luftstrømmen i den termiske plumen (forureningen) er mindre ved sugehovens underkant end den udsugede luftmængde – situation 3



Figur 6.8 Termisk plumen i forhold til udsuget luftmængde.

Det ses, at hvis den termiske plumen er større end den udsugede luftmængde vil en del af forureningen ikke blive fanget og forsvinder til omgivelserne (situation 1). På den anden side suges der en del unødigt luft med den termiske plumen hvis den udsugede luftmængde overstiger behovet (situation 3). Den mest effektive udsugning skabes når der er passende overensstemmelse mellem den termiske plumen og den udsugede luftmængde.

### Gribeprikket

Ved gribeprikkippet indfanges og fjernes forureningen fra en proces ved at skabe en så kraftig luftbevægelse ved forureningen at den ledes til udsugningen. Prikkippet bruges bl.a. til at fjerne træ- og metalstøv samt dampe fra processer. Ved svejseprocesser er der tale om en kombination af gribe- og modtagerprikkippet, da svejserøgen er varm. Uanset hvilken type forurening der er tale om er det som altid vigtigt så vidt at placere udsugningen, så en eventuelt bevægelse i forureningen er mod udsugningen. Desuden skal sugestedet placeres så tæt på kilden som overhovedet muligt af hensyn til udførelsen af processen. Udsug efter gribeprikkippet kan give anledning til høje udsugede luftmængder. Ud fra et energioekonomisk – og også arbejdsmiljømæssigt – synspunkt bør udsugninger derfor så vidt muligt udformes efter omslutnings- eller modtageprikkippet.

Uanset hvilket udsugningsprikkippet der vælges i det konkrete tilfælde er udformningen af sugestedet yderst vigtigt, når udsugningen skal være effektiv samtidig med at energiforbruget (dermed luftmængden) skal være lavt. Som det fremgår af kapitel 6.3 er det især vigtigt at skærme forureningskilde bedst muligt af samt at etablere flanger/foils, der medvirker til at gribe og tilbageholde forureningen.

Ved dimensionering af procesudsugning er det vigtigt at forureningens naturlige bevægelsesretning studeres, og der vælges den udsugningsretning, der understøtter forureningens naturlige bevægelse. Bevægelsen kan være bestemt af termisk opdrift, almen ventilation, arbejderens bevægelser, værktøjets eller arbejdsstykkets bevægelse, f.eks. medriver et roterende hjul luft og skaber stærke luftbevægelser i nærheden af hjulet. Forureningens massefylde i forhold til luften spiller en vis rolle. For dampe er det dog sjældent, at de i luftblanding bevæger sig på anden måde end luft. En anden væsentlig faktor ved dimensionering af et lokalt udsug er at vurdere hvor tæt udsugningsåbningen kan placeres ved forureningsstedet; jo nærmere des bedre virkning for samme lufthastighed i sugeåbningen.

## 6.2 Procesventilation

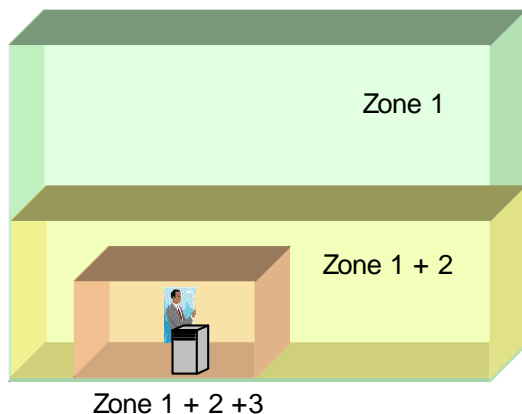
I det følgende er der opstillet forskellige normale situationer for en industrihal med én eller flere forureningskilder. Ventilationsprikkippet er meget afhængig af om forureningskilderne er varme eller kolde. Dette afsnit omhandler desuden beregningsmetoderne for procesventilation samt valg af indblæsningsprikkippet.

Kravene til indeklimaet kan betegnes som talrige. Det vil sige, at der ikke altid kan anvendes standardløsninger; men løsningerne må skræddersys i hvert enkelt tilfælde under hensyntagen til de forskellige aktiviteter og processer. Dette udelukker ikke, at der kan anvendes en vis metodik, således at der kan opstilles nogle ensartede retningslinjer, der kan genanvendes ved løsningen af de respektive opgaver. Sådanne retningslinjer kan eksempelvis opdeles i følgende hovedpunkter:

- Zoneinddeling af lokale
- Kravspecifikation for ventilation
- Valg af ventilationsprikkippet
- Valg af indblæsningsprikkippet
- Valg af udsugningsprikkippet

Zoneinddeling er ofte nødvendig ved store lokaler specielt store industrilokaler. Her kan der ofte med fordel arbejdes med en tre-zone model, se figur \*.\*.

1. *Zone 1* omfatter hele lokalet, altså det totale rumvolumen (totalvolumen)
2. *Zone 2* omfatter det område, der generelt ønskes anvendt til opholdszone
3. *Zone 3* omfatter det eller de områder der ønskes anvendt til arbejdspladser



Figur 6.9 Zoneinddeling

Ud fra totalvolumenet kan belastningernes indflydelse på den totale balance beregnes f.eks. varme- og forureningsbalancen. Den totale balancetilstand siger dog intet direkte om forholdene i de andre zoner.

I opholdszonen vælges indeklimaets kvalitetsniveau i henhold til en ønsket lufttilstand såvel termisk som atmosfærisk. Er der tale om sundhedsfarlige forureninger skal den ønskede luftkvalitet naturligvis vælges under hensyntagen til gældende grænseværdier.

I arbejdszonen afviger lufttilstanden almindeligvis markant fra det almene niveau, da det ofte er her varme- og forureningskilderne er placeret. De faktorer der især bør iagttages for at opnå et tilfredsstillende indeklima i arbejdszonen er følgende:

- Sundhedsfarlige forureninger
- Luft- og strålingstemperaturer samt fugtighed
- Luftbevægelser (herunder risiko for træk)

Ud fra kravspecifikationen vil det ofte være nødvendigt at:

- Indkapsle varme- og forureningskilder
- Konstruere punktudsugninger
- Klarlægge lokalets naturlige luftstrømninger, f.eks. fra varme- eller kolde bygningsflader eller processer
- Sikre hensigtsmæssige luftstrømninger fra de arbejdsprocesser der ikke kan indkapsles eller punktudsuges, enten ved opblanding eller fortrængning med ren luft

På grundlag af førnævnte betragtninger vælges det ventilationsprincip der er bedst egnet. Det bemærkes at intet ventilationsprincip er almengyldigt og generelt bedre end andre. Hvert princip har sine fordele under hensyntagen til de givne krav og belastninger. Ofte kan de forskellige ventilationsprincipper endog med fordel supplere hinanden.

### 6.2.1 Varme processer

Følgende situationer kan normalt forekomme:

- Lokale med flere varmekilder og uden punktudsug
- Lokale med flere varmekilder og punktudsug ( $\epsilon > 95\%$ )
- Lokale med flere varmekilder og punktudsug ( $\epsilon < 95\%$ )
- Lokale med og uden punktudsug

$\epsilon$  er procesudsugets udsugningseffektivitet (0-100 %). Et procesudsugs effektivitet  $\epsilon$  kan bestemmes på flere måder:

1. Med røg. Hvis man har en røgmaskine til rådighed, røgpatron eller en røgpind, kan røg doseres lige over varmekilden. Hvor stort set alt røgen generelt opfanges, også over en længere tidsperiode, ligger  $\epsilon$  på omkring 95%
2. En anden mulighed er måling med sporgas. Her doseres sporgassen laminart først direkte oppe i udsuget, således at hele gasmængden opfanges. Dette svarer til 100%, idet sporgaskoncentrationen måles i udsugningskanalen. Herefter føres sporgaskilden ned ved processen og sporgaskoncentrationen i udsugningen derefter igen.

Hvis  $\epsilon$  generelt ligger på omkring 95%, vil det ikke være nødvendigt med yderligere almen ventilering. Hvis  $\epsilon$  derimod generelt ligger noget lavere end 95%, og det ikke ønskes at forbedre punktudsuget vil der være behov for at beregne størrelsen af den almene procesventilation jf. metoderne vist i det følgende.

En varm punktkilde giver anledning til en termisk plumen, der kan beskrives ved følgende formel:

$$Q_{plumen}(y) = K \cdot \Phi_{konv}^{1/3} \cdot (y + y_{pol})^{5/3}$$

Den varme kilde vil kun stige opad så længe den er varmere (lettere) end den omgivende luft. Højden kan vurderes ud fra følgende formel:

$$y_{upper} = 0,98 \cdot \Phi_{konv}^{1/4} \cdot \Delta T_{vertical}^{-3/8}$$

$$y_{lower} = 0,74 \cdot \Phi_{konv}^{1/4} \cdot \Delta T_{vertical}^{-3/8}$$

hvor  $\Delta T_{vertikal}$  [ $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ ] er temperaturdifferensen mellem varmekilden og den omgivende luft i forhold til højden over kilden.

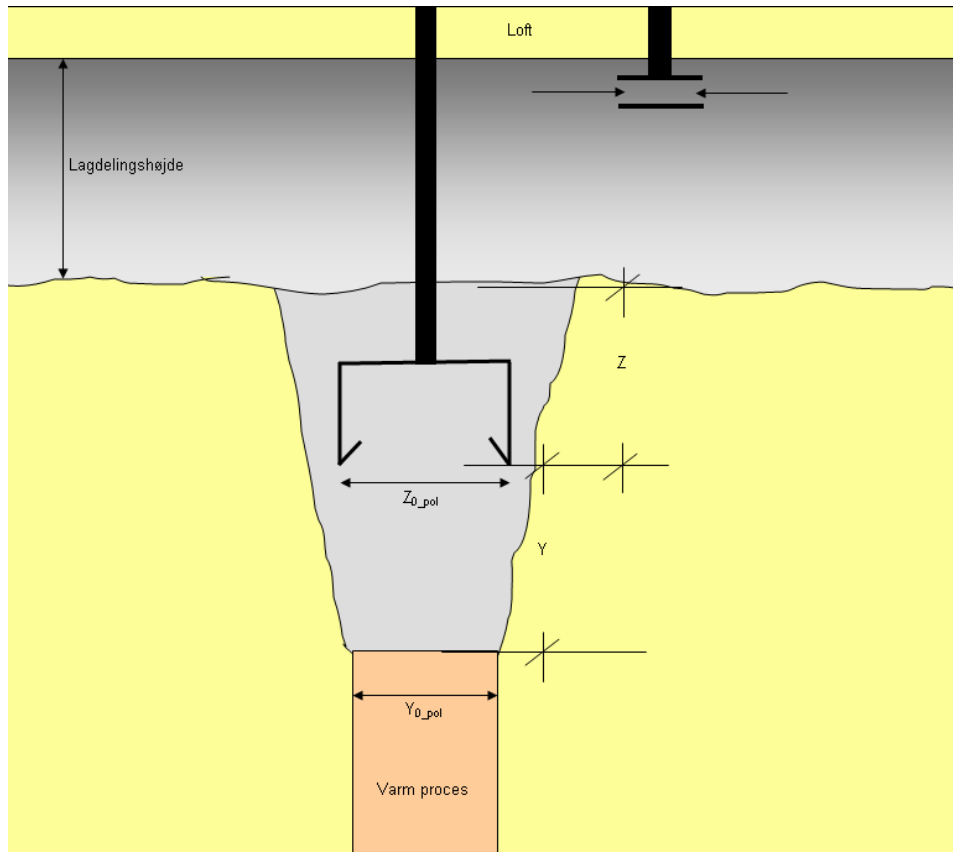
Hvis procesudsugets effektivitet medtages i formeludtrykket får følgende udseende:

$$Q_{plumen}(y) = (1 - \eta) \cdot K \cdot \Phi_{konv}^{1/3} \cdot (y + y_{Pol})^{5/3}$$

Ovenstående formel angiver den luftmængde der ikke bliver opfanget af procesudsuget (i afstanden  $y$  fra processen, dvs. udsugets underkant).

Luftmængden efter udsuget der tilføres det forurenede grænselag kan beregnes ud fra følgende formel:

$$Q_{plumen}(y) = (1 - \eta) \cdot K \cdot \Phi_{konv}^{1/3} \cdot (y + y_{Pol} + z)^{5/3}$$



Figur 6.10 Principskitse af forløbet fra en termisk plumen fra en varmekilde.

### 6.2.2 Kolde processer

Følgende situationer kan normalt forekomme:

- Lokale med flere forureningskilder og uden punktudsug
- Lokale med flere forureningskilder og punktudsug ( $\epsilon > 95\%$ )
- Lokale med flere forureningskilder og punktudsug ( $\epsilon < 95\%$ )
- Lokale med og uden punktudsug

Et procesudsugs effektivitet  $\epsilon$  kan bedømmes på samme måde som under "varme processer", se kapitel 6.2.1.

Når der anvendes punktudsug over en forureningskilde, er det for at begrænse forureningen ud til et lokale, hvor det kan skade mennesker. Forureningen kan være støv der angives i  $\text{mg}/\text{m}^3$  luft, fibre der angives antal pr.  $\text{cm}^3$  luft, gasser og dampe angives normalt som  $\text{mg}/\text{m}^3/\text{h}$  luft eller ppm (part per million  $\sim 1$  cm forurening  $\text{m}^3/\text{luft}$ ). Ved sundhedsskadelig forurening er der i lovgivningen stillet krav til luftens kvalitet i arbejdslokaler ved angivelse af grænseværdier. Arbejdstilsynets anvisning angiver grænseværdier for forskellige stoffer og materialer. Ved anvendelse af disse grænseværdier i forbindelse med projektering af ventilationsanlæg skal disse maksimale grænseværdier indregnes med en sikkerhedsfaktor (10-20 alt efter typen af forurening). Koncentrationen fra en forurenede proces kan bestemmes afhængig af om den forurenede proces påbegyndes i et lokale, hvor ventilationen er/vil blive udført efter opblandingsprincippet uden punktudsugning eller med punktudsugning.



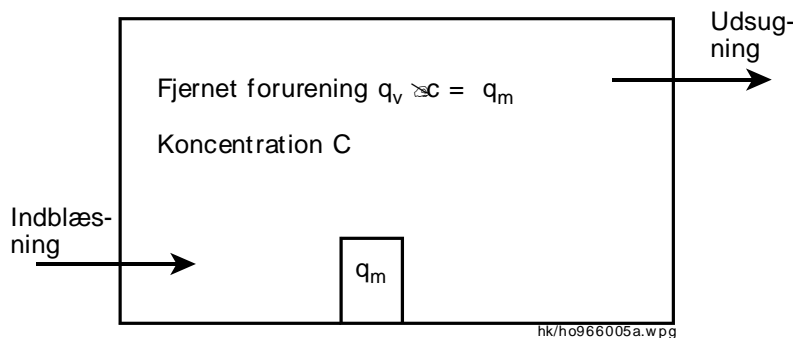
Den koncentration der højst kan tillades kaldes den hygiejniske grænseværdi (HGV), der defineres som den gennemsnitlige koncentration af gasser, dampe og støv, som en person må udsættes for uden skadelig virkning under 8 timers daglig påvirkning i en normal arbejdsuge. Koncentrationerne udtrykkes som  $\text{mg}/\text{m}^3$  luft eller ppm ( $\text{cm}^3/\text{m}^3$  luft), og kan beregnes ud fra:

$$\text{ppm} = \frac{24 \cdot \text{mg}/\text{m}^3}{\text{molekylevægt}}$$

$$\text{mg}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \cdot \text{molekylevægt}}{24}$$

### Opblandingsprincip uden punktudsugning

Ved ventilation efter opblandingsprincippet vil forureningen spredes over hele lokalet. Koncentrationen vil da stige indtil der opstår ligevægt mellem den tilførte forurening og forureningen der fjernes med ventilationsluften.



Figur 6.11 Principskitse af den fjernede forurening ved opblandingsprincippet.

Den nødvendige luftmængde bestemmes ved:

$$C = \frac{q_m}{q_v} \leq \text{GV} \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

hvor

- C er forureningskoncentrationen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
- $q_v$  er den tilførte forureningsmængde [ $\text{kg}/\text{s}$ ]
- $q_m$  er den udsugede luftmængde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- GV er grænseværdien [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

Den nødvendige luftmængde bliver herefter:

$$q_v = \frac{q_m}{C} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Det anbefales at multiplicere luftmængden med en sikkerhedsfaktor, hvis størrelse afhænger af luftfordelingen i rummet, ofte 2 til 5.

### Opblandingsprincip med punktudsugning

Ved basisventilationen efter opblandingsprincippet vil forureningen spredes til lokalet i afhængighed af et eventuelt punktudsugs effektivitet. Den nødvendige luftmængde til basisventilation bestemmes herefter ved:

$$q_v = \frac{q_m(1-\varepsilon)}{C} \text{ [m}^3/\text{s]}$$

## 6.2.3 Beregning af almen ventilation

### 6.2.3.1 Metode til beregning af lagdelingshøjde i lokale med mange varmekilder

Lokalet har et gulvareal på  $L \cdot B$  [ $\text{m}^2$ ] og højden  $H$  [ $\text{m}$ ], og der er installeret udstyr svarende til  $n$  varmekilder (processer). Lokalet tilføres en luftstrøm på  $q_v$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]. Hver varmekilde afgiver  $\Phi_k$  [ $\text{W}$ ] ved konvektion. Varmekilderne har en overfladetemperatur på  $t_s$  [ $^{\circ}\text{C}$ ], og er placeret i højden  $y_k$  [ $\text{m}$ ] over gulvniveau.

#### Nominal luftstrøm

$$q_n = 1000 \cdot q_v / (B \cdot L) \quad [\text{liter}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)]$$

#### Nominal konvektiv varmeafgivelse

$$\Phi_n = \sum \Phi_k / (B \cdot L) \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

#### Vægtet middelhøjde af varmekilder

$$y_n = \frac{\sum (y_k \cdot \phi_k)}{\sum \phi_k} \quad [\text{m}]$$

#### Vægtet middeloverfladetemperatur af varmekilder

$$t_n = \frac{\sum (t_s \cdot \phi_k)}{\sum \phi_k} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

#### Lagdelingshøjde

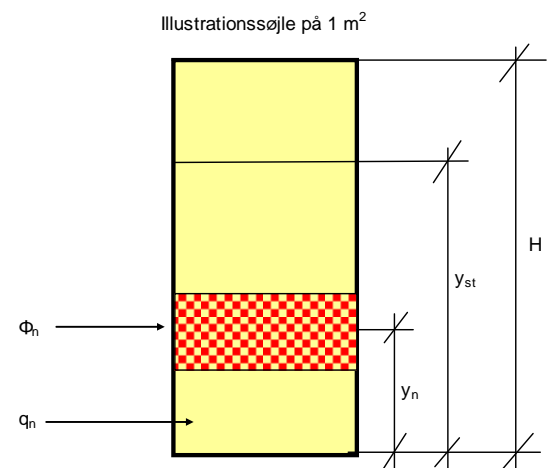
$$y_{st} = k \cdot \frac{q_n^{3/5}}{\phi_n^{1/5}} \quad [\text{m}]$$

hvor

$$k = 0,0075 \cdot (t_n - t_{op})^{1,02} + 0,54 \cdot y_n$$

Lagdelingshøjden  $y_{st}$  defineres til den højde, hvor koncentrationen har nået værdien  $0,33 \cdot C_{udsugning}$

Beregningsmetoden er velegnet hvis:



- Lokalets overfladetemperatur er lig rumtemperaturen
- Emissionskilderne er varme
- Varmekildernes overfladetemperatur er over 50°C (bør være over 35°C)
- Lofthøjden er over 3 m (bør være over 2 m)

#### 6.2.4 Varmekilder (punkt- og linjekilder)

Formeludtrykkene for en punkt- og linjekilder er følgende:

##### Punktkilde

$$q_{v,z} = 5 \cdot \Phi^{1/3} \cdot (z+z_0)^{1,67} \quad [\text{liter/s}]$$

$$d_z = 0,44 \cdot (z+z_0) \quad [\text{m}]$$

hvor

$z$  er den lodrette afstand fra punktkilden

##### Liniekilde

$$q_{v,z} = 13 \cdot (\Phi/L)^{1/3} \cdot (z+z_0) \cdot L \quad [\text{liter/s}]$$

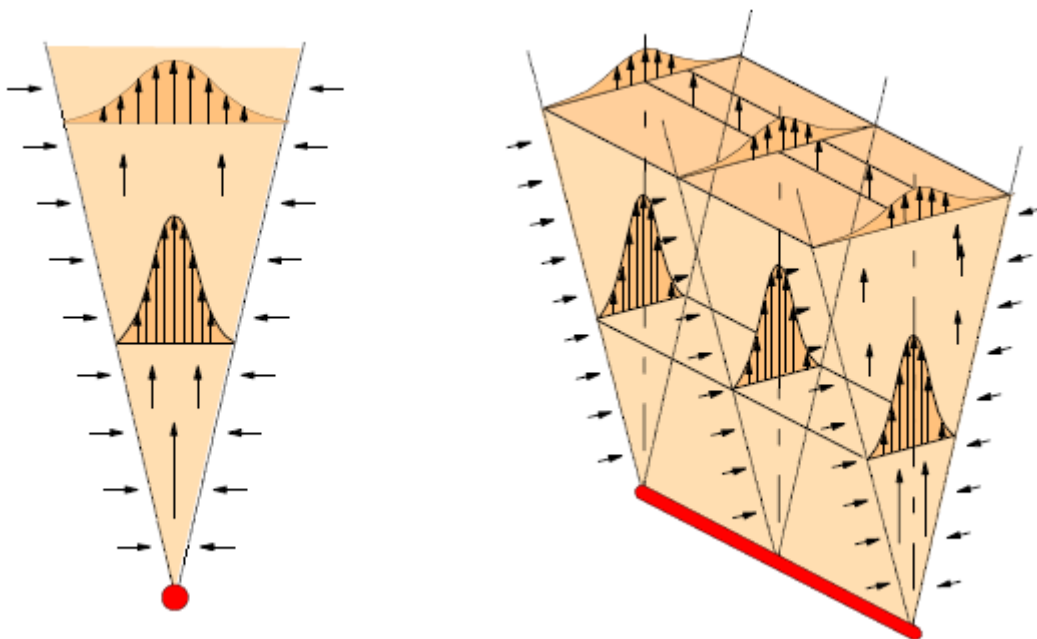
hvor

$z$  er den lodrette afstand fra linjekilden

##### Lodret flade

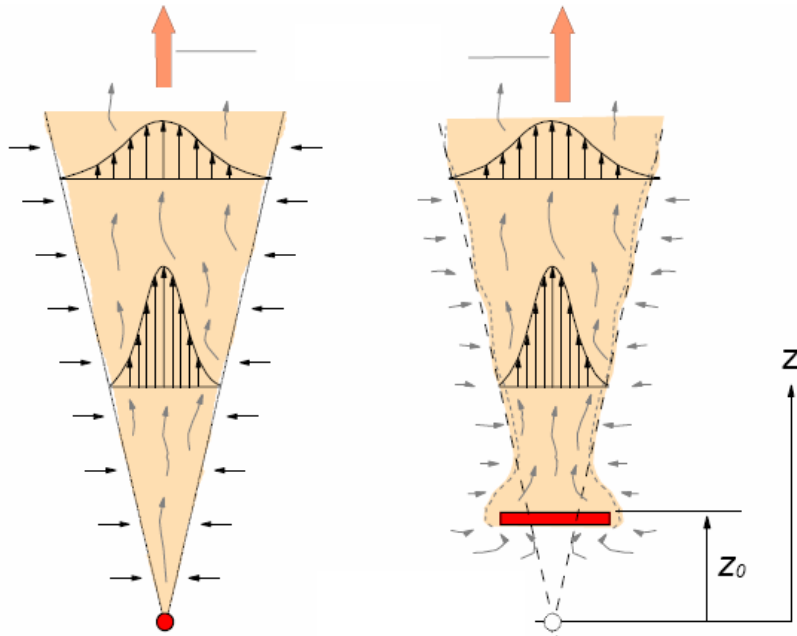
$$q_v = 2,8 \cdot (T_o - T_e)^{2/5} \cdot h^{6/5} \quad [\text{liter}/(\text{s} \cdot \text{m})]$$

hvor  $h$  er højden af fladen.



Figur 6.12 Punkt- og linjekilder.

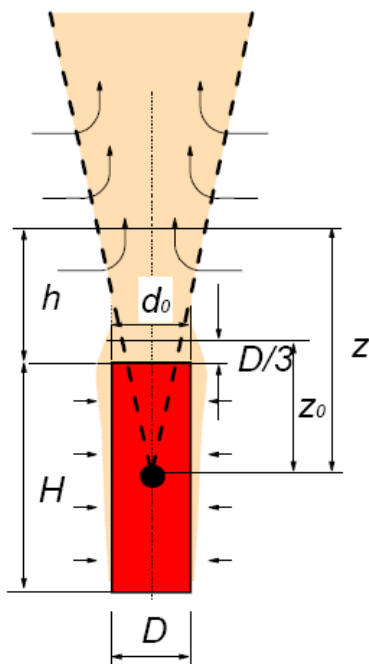
I den virkelige verden forekommer punkt- og linjekilder sjældent. For at tage hensyn til dette opereres med et fiktivt punkt  $z_0$ , se figur 6.13.



Figur 6.13 Fiktivt punkt  $z_0$  for punkt- og linjekilder.

Det er ofte lidt svært at bestemme  $z_0$  og for at imødekomme det problem er der udviklet en metode til bestemmelse af  $z_0$ , se figur \*.\*.

$$z_0 = D / (2 \cdot \tan(12,5^\circ)) = 2,3 \cdot D \quad [\text{m}]$$



Figur 6.14 Metode til bestemmelse af  $z_0$ .

### Eksempel

Beregn den konvekative luftstrøm 0,5 m over en cylinder med højden 1 m og diameteren  $D$  lig 0,4 m. Den konvekative varmeafgivelse er 50 W.

$$z = z_0 + h = 2,3 \cdot 0,4 + 0,5 = 1,4 \text{ m}$$

$$q_{v, z} = 5 \cdot 50^{1/3} \cdot 1,4^{5/3} = 32 \text{ liter/s}$$

### 6.3 Procesudsugning

Et mål for et procesudsugs formåen (i det efterfølgende bruges ordet udsugningshov), er dets gribeeffektivitet  $\eta_{\text{udsug}}$ , der er defineret som forholdet mellem den forureningsmængde udsugningshoven fanger  $G_{\text{udsug}}$  eller griber og den totale producerede  $G_{\text{total}}$  forureningsmængde:

$$\eta_{\text{udsug}} = \frac{G_{\text{udsug}}}{G_{\text{total}}}$$

Denne definition er nyttig når udsugningshovens effektivitet skal bestemmes. Det er også vigtigt at kende størrelsen af forureningsmængden, der når ud i arbejdslokalet  $G_{\text{lokale}}$ , idet den almene ventilation skal fjerne denne forurening:

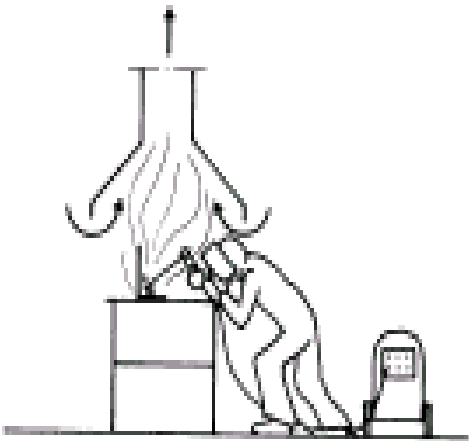
$$G_{\text{lokale}} = (1 - \eta_{\text{udsug}}) \cdot G_{\text{total}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$C_{\text{lokale}} = \frac{G_{\text{lokale}}}{V_{\text{lokale}}} \quad [\text{m}^3/\text{m}^3]$$

hvor  $C_{\text{lokale}}$  forureningskoncentrationen i lokalet og  $V_{\text{lokale}}$  er lokalets volumen. En udsugningshøv skal ikke kun bedømmes på dens gribe- eller udsugningseffektivitet; men også på dens evne til at sikre, at de lokale arbejds-hygieniske forhold er tilfredsstillende. Man taler i denne forbindelse om en høj brugereffektivitet målt ved arbejderens indåndingszone  $\eta_{\text{bruger}}$ :

$$\eta_{\text{bruger}} = \frac{C_{\text{uden\_udsug}} - C_{\text{med\_udsug}}}{C_{\text{uden\_udsug}} - C_{\text{baggrund}}}$$

hvor  $C_{\text{uden\_udsug}}$  og  $C_{\text{med\_udsug}}$  er forureningskoncentrationen ved brugerens indåndingszone, når udsuget ikke er aktiveret, henholdsvis aktiveret  $C_{\text{baggrund}}$  er lokalets baggrundskoncentration. Brugereffektiviteten  $\eta_{\text{bruger}} = 1$  når der ikke kommer noget forurening op til brugerens indåndingszone ud over baggrundsforureningen ( $C_{\text{med\_udsug}} = C_{\text{baggrund}}$ ). Hvis brugereffektiviteten  $\eta_{\text{bruger}} = 0$  betyder det at udsuget ikke mindsker forureningskoncentrationen i brugerens indåndingszone ( $C_{\text{med\_udsug}} = C_{\text{uden\_udsug}}$ ). Der eksisterer desværre ikke en sammenhæng mellem udsugnings- og brugereffektiviteten for en given sugehøv. Sugehoven kan med en passende luftmængde opfange stort set al forurening fra processen, og en arbejder der står lidt udenfor sugehoven, er da også godt beskyttet mod forureningen. Hvis arbejderen nu i en anden sammenhæng står ind over processen og f.eks. svejser, vil sugehoven stadigvæk med den samme luftmængde opfange stort set al forurening fra processen inkl. svejserøgen; men nu er brugereffektiviteten med stor sandsynlighed reduceret væsentligt. Den uheldige sidste situation er vist i nedenstående figur.



Figur 6.15. Forureningskilde, hvor der er installeret et udsug efter modtagerprincippet.

Som det ses af figur 6.15 passerer stort set al den forurenede luft forbi arbejderens indåndingszone, hvorfor brugereffektivitet er meget dårlig selv om der er opnået en god udsugningseffektivitet. Der er opstå lignende u hensigtsmæssige situationer i forbindelse med f.eks. malekabiner og andre større procesudsugninger, hvor luftbevægelserne omkring arbejderen kan medføre at forureningen står stille eller kastes tilbage i indåndingszonen. Den mest enkle måde at dimensionere en udsugningshøv på, er at bruge "guide lines" fra en

ventilationsbog, hvor færdige opstillinger er tegnet inkl. nøjagtige mål og tilhørende minimums luftmængder. Disse guide lines er gode nok som udgangspunkt; men rent energiøkonomisk og ud fra en frihedsbetragtning, har de nogle ulemper. For det første er der lagt store sikkerhedsfaktorer på den angivne minimums luftmængde i den hensigt at dække processer som falder lidt uden for tegningsmaterialet, og tage hensyn til diverse småforstyrrelser. For det andet kan de virke statiske, fordi man ofte vil følge tegningen slavisk. "Industrial Ventilation", 21<sup>st</sup> er et godt eksempel på anvendelse af guide lines over forskellige "gennemregnede" opstillinger.

Der skal ikke herske tvivl om, at der gennem årene er brugt kolossalt mange kræfter, specielt på målinger af hastighedsfelter, CFD beregninger af luftstrømningsmønstre og forureningsfelter, sammenligninger mellem numeriske beregninger og målinger mv., som tilsammen trods alt har givet nye informationer vedrørende sugehove. Men i bestræbelserne på at få overensstemmelse mellem teori og praksis for givne udformninger af procesudsugninger er det tilsyneladende glemt at undersøge mulighederne for effektivisering gennem udformningen af selve sugehoven. Det er overraskende at forskellen mellem størrelsen af den termiske forurenede plumen stammende fra en varmekilde, og størrelsen af den nødvendige udsugede luftstrøm til at fange forureningen ikke har undret flere forskere. Ved at se på strømningsmønstret inde i sugehoven (bevægelsesmængde, impulsen fra den termiske plumen, -udsugningsfeltet, begrænsningsfladernes indflydelse osv.), vil man opdage, at den eksisterende udformning (geometri) i mange tilfælde ikke er optimal. Et af formålene med dette projekt er en øget fokusering på de muligheder, som ligger i en optimering af selve sugehoven ved ændring af geometrien. Den ideelle sugehov i forbindelse med en termisk kilde bør ikke udsuge mere end "luftindholdet" af den termiske plumen ved sugehovens underkant. Herforuden skal der også i projektet fokuseres på selve forureningskilden og forureningens udbredelse i forhold til sugehoven. Det ideelle er, at forureningskilden udbredes mindst muligt.

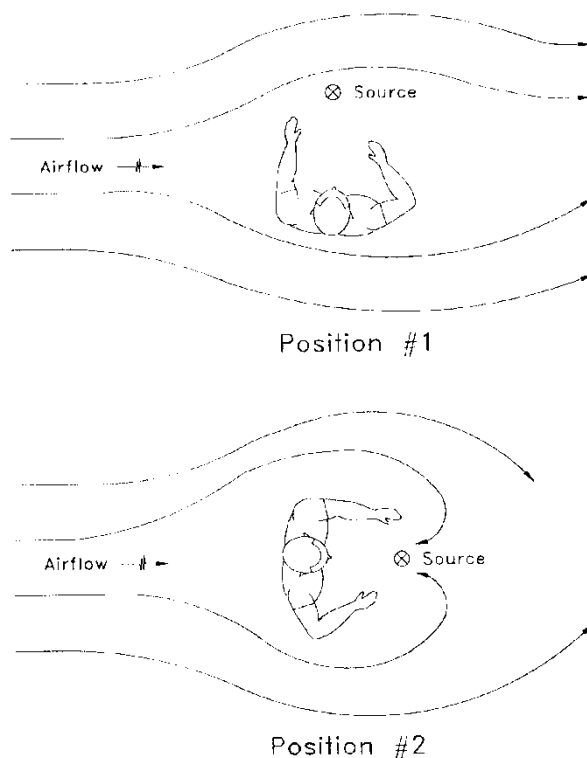
### **6.3.1 Personplacering i forhold til udsug og forureningseksposering**

Hovedformålet med lokal- eller procesudsug er at kontrollere forureningseksposeringen til personen på en forsvarlig måde. Procesudsug er logisk nok ofte dimensioneret til at være tæt på forureningskilden (stor udsugningseffektivitet og lille nødvendig udsuget luftstrøm). Desværre ofres der sjældent meget tid på heldig/uheldig placering af personen i forhold til forureningskilden og ikke mindst hovedluftstrømningsretningen. Forskellige studier<sup>2</sup> har vist, at persons position i forhold til luftstrømningens retning har stor betydning for forureningskoncentrationen i åndingszonen. Figur 6.16, position 2 viser en person, der er orienteret med sin ryg mod luftstrømningsretningen. Lige efter personen, medstrøms, optræder der en zone med recirkulation samt turbulent luftbevægelse på grund af grænselagsseparation. Forureningen i denne zone vil blive mikset og nå ind til åndingszonen. I position 1 vises en person med orientering 90° i forhold til luftstrømningsretningen. Recirkulationszonen er nu meget mindre, hvorved forureningseksposeringen bliver mindre.

---

<sup>1</sup> Industrial Ventilation, 21<sup>st</sup> Edition: "A Manual of Recommended practice", 1992, ISBN 0-936712-97-x

<sup>2</sup> Industrial Ventilation, 23<sup>rd</sup> Edition: "A Manual of Recommended Practice", 1998, ISBN 1-882417-22-4.



Figur 6.16 Effekten af forskellige personplaceringer i forhold til luftstrømningsretningen.

Forsøg med mannequin inde i en maleboks anvendt til pulvermaling viser en reduktion i eksponering fra position 2 til position 1 svarende til en faktor 2.000. Et tilsvarende forsøg med en maler placeret inde i en ventileret maleboks viser en reduktion fra position 2 til position 1 på 50%. Selvom der er kolossal stor forskel i reduktionsfaktorer mellem det teoretiske og praktiske forsøg viser to forsøg at position 1 er langt bedre end position 2, og at det har meget stor betydning hvordan luftbevægelsen omkring en person foretages. De ovenfor beskrevne forsøg indikerer, at der bør arbejdes mod en generel løsning, hvor personen står vinkelret på luftstrømningens hovedretning, og som kan accepteres ved håndtering og bearbejdning af flere processer. I praksis vil der blive tale om en et slags kombineret sideudsugning og -indblæsning, - det vil sige noget der minder om push-pull princippet.

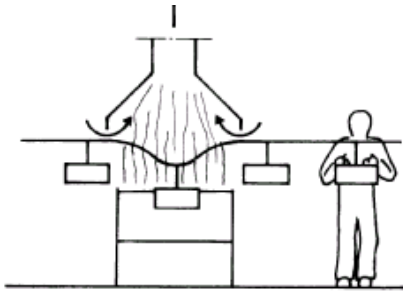
Ved etablering af procesudsugninger er det nødvendigt at kende arten og mængden af den forurening der produceres. Når dette er kendt findes der en passende procedure til dimensionering af et procesudsug i f.eks. "Håndbog i industriventilation"<sup>3</sup>, hvor der anvises en række regler for placering, konstruktion og dimensionering af procesudsug. Procesudsugninger bør vurderes efter:

1. Egnetheden til at fjerne forureningerne, så de ikke belaster lokalet (udsugnings-effektivitet).
2. Egnetheden til at sikre, at de lokale arbejds-hygieniske forhold er tilfredsstillende (brugereffektivitet).

<sup>3</sup> Henning Hørup Sørensen: "Håndbog i Industriventilation", 1998, ISBN 87-571-2171-0.

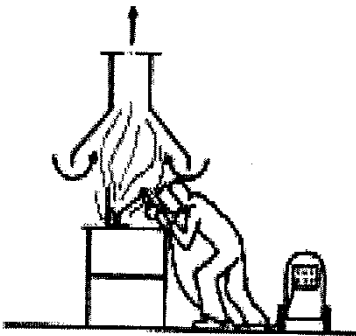


Et eksempel på, hvad der menes fremgår af figuren nedenfor, hvor det viste punktudsug med en passende udsuget luftmængde, fjerner alle dampe fra et varmt bad. Emnerne, der dyppes deri, fremføres automatisk. Ved denne opstilling er både punkt 1 og 2 opfyldt.



*Figur 6.17 Udsug, hvor brugereffektiviteten er god, intet undslipper til omgivelserne, og egnetheden til at sikre arbejderen mod dampene er god.*

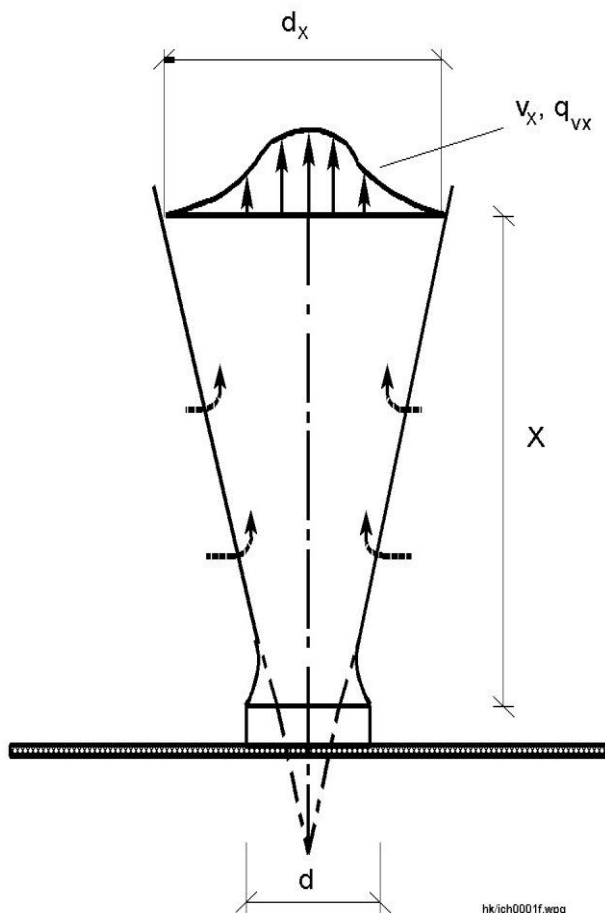
Hvor der af ovenstående figur ses at ventilations- og brugereffektiviteten er tilfredsstillende er det muligt med et helt tilsvarende udsug og forureningskilde at brugereffektiviteten ikke længere er tilstrækkelig. Et eksempel på en sådan situation ses af figur 6.18.



*Figur 6.18 Udsugningseffektiviteten for udsuget er god med hensyn til at hindre udbredelse til omgivelserne, men til den pågældende arbejdsproces er udsugningsmetoden meget ringe.*

Som det ses ved sammenligning af figur 6.17 og 6.18 svarer kilde og udsug meget til hinanden og har også begge en meget god udsugningseffektivitet. Brugereffektiviteten er dog væsentlig ringere i figur 6.18, idet den forurenede luft suges direkte forbi arbejderens indåndingszone. Egnetheden ifølge punkt to er således ikke god, idet opholdszonen er inde under punktudsuget.

Store termiske belastninger giver anledning til naturlige konvektionsstrømninger omkring den termiske belastning, således at der dannes en kraftig opdrift omkring kilden. Opdriften kan ofte behandles uafhængigt af den sammensatte strømning omkring dem og kilden er selv i stand til at skabe strømningsmønstret omkring sig. Strømningsbilledet omkring en termisk belastning er vist figur 6.19, hvor det ses at strømningsmønstret har karakter af en stråle. Hastigheden i lav højde over kilden er konstant i kildens diameter. I den lave højde er strålen også ganske snæver, mens den på vej op medriver luft fra omgivelserne, hvorfor bredden vokser.



Figur 6.19 Skematisk billede af naturlig konvektion over en koncentreret buoyant (varm) kilde.

Når der er tale om termiske kilder, som i sig selv skaber et strømningsmønster opnås de laveste energiforbrug til udsug, hvis dette selvskabte strømningsmønster udnyttes. Derfor er det fordelagtigt at anvende modtagerprincippet, hvor der placeres en sugenhov direkte over kilden. Strålens tilvækst i bredde i figur 6.19 giver anledning til en spredningsvinkel af strålen fra den termiske kilde. Spredningsvinklen og dermed diameteren på strålen som funktion af højden  $y$  over kilden spiller en vigtig rolle i forbindelse med dimensionering af et udsug der skal arbejde efter modtagerprincippet. Hvis udsugets bredde klart er mindre end  $d_x$ , kan kun meget store udsugede luftstrømme fange forureningen. Dette har et stort energispild til følge.

Der er udført en række forsøg med forskelligt udformede kilder og med forskellig afgiven varmeeffekt, og der er på den baggrund opstillet følgende beregningsudtryk for forureningens bredde  $d_x$  som funktion af kildestørrelsen  $d_{\text{kilde}}$  og højden  $x$  over kilden. Udtrykket tager i en vis udstrækning hensyn til delvis instationære forhold så som plumens bevægelse fra side til side som følge af påvirkning fra den omgivende luft.

$$d_x = d_{\text{kilde}} + 2 \cdot \tan(\alpha) \cdot x$$

hvor spredningsvinklen  $\alpha$  er omkring  $20^\circ$  for forholdsvis koncentrerede kilder.

### 6.3.2 Udsugning efter omslutningsprincippet

Omslutningsprincippet bruges især ved industrielle processer, hvor der udvikles eller frigives forurenende stoffer og/eller varme, f.eks. ved slibning, maling og smeltning af metaller. Der er tale om processer, hvor egenhastighederne vil være fra "mådelige" til "meget store" og hvor der i rummet vil kunne være stærke tværstrømninger. Udsugning efter omslutningsprincippet kan opdeles i følgende to typer:

1. Udsugning fra en total indkapslet proces
2. Udsugning fra en delvis indkapslet proces
3. Udsugning fra en delvist indkapslet proces, der afgiver partikler

I det efterfølgende vil der være en kort introduktion til de to former for indkapsling, hvorefter der vil blive set nærmere på det traditionelle dimensioneringsgrundlag.

#### 6.3.2.1 Udsugning fra en total indkapslet proces

Udsugning fra en total indkapslet proces er den bedste løsning med hensyn til arbejdsmiljøet, men kan ofte ikke anvendes på grund af overvågning og arbejdsprocessens manuelle dele. Hvis det er muligt at gennemføre en produktion ved hjælp af fjernovervågning og automatik kan det være muligt helt at indkapsle processen. Den udsugede volumenstrøm kan være ganske lille, eksempelvis hvis den kun skal opretholde et lille undertryk i indkapslingen, som skal erstatte tabet over uundgåelige lækager eller minimale åbninger i indkapslingen. Undertrykket i indkapslingen vil effektivt hindre udslip til omgivelserne. Kun i de tilfælde hvor den udsugede luft ligeledes anvendes til køling af processen eller hvor eksplosive dampe kan forekomme kan der være tale om at øge den udsugede volumenstrøm ud over det nødvendige til opretholdelse af undertrykket i indkapslingen. Det samme gør sig gældende hvis processen udvikler partikler som skal transporteres bort. Her vil der være krav om en minimumshastighed i kanalsystemet af hensyn til en effektiv borttransport af partiklerne.

Når der arbejdes med totalt indkapslede processer findes der en lang række forskellige opstillinger. Disse opstillinger bygger dog alle hovedsageligt på nødvendigheden af at udsuge så meget luft, at hastigheden i de små huller/åbninger der måtte være, mindst er 0,5 m/s. Den nødvendige udsugede luftmængde  $q_v$  kan beregnes ved hjælp af nedenstående formel:

$$q_v = v_h \cdot A_h \sim 0,5 \cdot A_h \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

hvor  $A_h$  er arealet af åbningerne.

I de tilfælde hvor der arbejdes med en eksplosionsfarlig gas skal der også være sikkerhed for at der ikke sker en eksplosion inde i indkapslingen. Dette sikres ved anvendelse af et andet udtryk, hvor den fordampede mængde af den eksplosionsfarlige gas indgår sammen med en sikkerhedsfaktor og koncentrationsgrænsen for hvornår der opstår eksplosionsfare. Hvis der er tale om indkapsling af en proces, hvor der udvikles eksplosionsfarlige dampe kan den nødvendige udsugede luftmængde beregnes ved hjælp af nedenstående formel:

$$q_v = \frac{q_m \cdot (273 + t)}{c_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 293} \quad [\text{m}^3 / \text{s}]$$

hvor:

$q_m$  er den maksimalt fordampede mængde [kg/s]

$t$	er den højest mulige arbejdstemperatur i indkapslingen [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$c_n$	er nedre eksplosionsgrænse [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ved $20^{\circ}\text{C}$ og $101,3 \text{ kPa}$
$K_1$	er en sikkerhedsfaktor, som er sat til 0,25 af brandmyndighederne
$K_2$	er en fordelingsfaktor, der fastsættes under hensyntagen til luftfordelingen i indkapslingen.

Fordelingsfaktoren sættes mellem 0,2 og 0,5 og værdien af faktoren afhænger af hvor effektivt den indblæste luftmængde kan fortynde den forurenede luft i indkapslingen, inden forureningen suges ud. Ved en effektiv fortynding sættes værdien til 0,5.

I det følgende er der opstillet dimensioneringsregler for udsugningsvolumenet for en række forskellige situationer af indkapslinger.

### Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft

Denne type indkapsling anvendes i forbindelse med processer, der afgiver forurening i form af varme og/eller emissioner (f.eks. dampe, gasser eller støv).

Den nødvendige udsugede luftmængde bestemmes på baggrund af belastningen i form af varme eller emissioner. Hvis processen ikke har noget krav til temperatur bør indsugningsluften til indkapslingen tages udefra, så det ikke er nødvendigt at opvarme erstatningsluften.

Ved emissioner i form af varme bestemmes luftmængden som:

$$q_v = \frac{1}{1200} \frac{P_{kilde}}{t_{maks} - t_{ind}}$$

hvor:

$$0^{\circ}\text{C} \leq t_{maks} \leq 50^{\circ}\text{C}$$

$$0^{\circ}\text{C} \leq t_{ind} \leq 50^{\circ}\text{C}$$

Ved emissioner i form af dampe og gasser bestemmes luftmængden således:

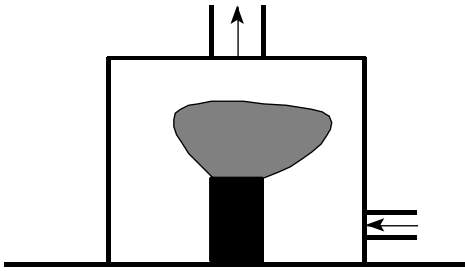
$$q_v = \frac{q_m}{c}$$

hvor:

$$c = \frac{q_m}{q_v} \leq GV$$

Ved eksplosionsfarlige emissioner udbygges ovenstående udtryk til:

$$q_v = \frac{q_m \cdot (273 + t)}{c_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 293}$$



Hvis der er emissioner i form af partikler skal luftmængden bestemmes efter gribeprikkippet. Der skal endvidere tages hensyn til krav om en vis transporthastighed i kanalsystemet fra indkapslingen.

### Total indkapsling med tilførsel af rumluft

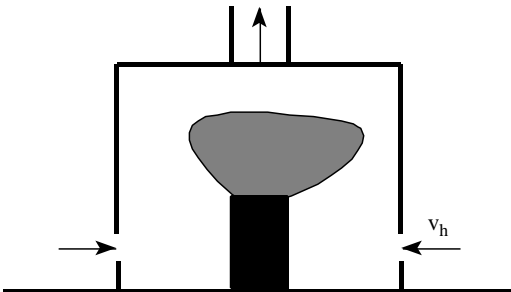
Denne type indkapsling anvendes ligeledes i forbindelse med processer, der afgiver forurening i form af varme og/eller emissioner (f.eks. dampe, gasser eller støv).

$$q_v = v_h \cdot A_h$$

hvor det har vist sig at  $v_h$  bør ligge mellem 0,25 m/s og 0,5 m/s.

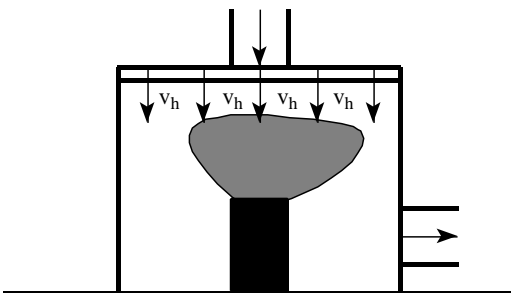
Ved eksplosionsfarlige emissioner skal den udsugede luftmængde min. være:

$$q_v = \frac{q_m \cdot (273 + t)}{c_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 293}$$



### Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft gennem loft

Denne type indkapsling anvendes typisk i forbindelse med malekabiner.



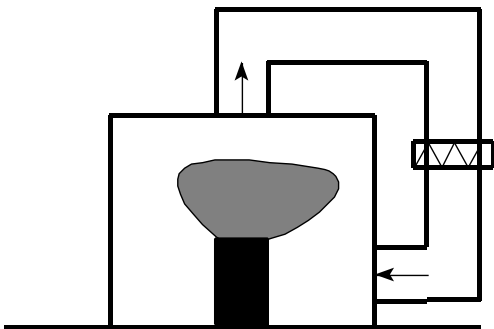
$$q_v = v_h \cdot A_L \sim 0,2 \cdot A_L$$

Hastigheden  $v_h$  på min. 0,2 m/s gennem loftet er et krav fra Arbejdstilsynet. Ved eksplosionsfarlige emissioner skal den udsugede luftmængde min. være:

$$q_v = \frac{q_m \cdot (273 + t)}{c_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 293}$$

### Total indkapslet proces med recirkulering

Indkapslingen anvendes f.eks. i forbindelse med træbearbejdning. Hvis der er tale om emissioner i form af partikler bestemmes luftmængden vha. gribeprincippet, se kapitel \*.\*. Der skal endvidere tages hensyn til krav om en vis transporthastighed i kanalsystemet.



Følgende parametre indgår i ovennævnte beregningsudtryk:

$q_v$	er den nødvendige udsugede luftmængde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$q_m$	er den tilførte forurening [ $\text{kg}/\text{s}$ ]
$P_{\text{kilde}}$	er varmeeffekten, der afgives fra kilden
$c$	er forureningskoncentrationen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$GV$	er grænseværdien for forureningen [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]
$c_n$	er den nedre eksplosionsgrænse [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ] ved 20°C og 101,3 kPa
$t$	er den højest mulige arbejdstemperatur i indkapslingen [°C]
$K_1$	er en sikkerhedsfaktor, som er sat til 0,25 af brandmyndighederne
$K_2$	er en fordelingsfaktor, som fastsættes under hensyntagen til luftfordelingen i rummet - anbefales til 0,5
$v_h$	er lufthastigheden [ $\text{m}/\text{s}$ ]
$A_L$	er arealet af loftet [ $\text{m}^2$ ]
$A_H$	er arealet af spalterne/hullerne i indkapslingen [ $\text{m}^2$ ]

### Eksempel: Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft

På en virksomhed foretages i en indkapsling med tilførsel af friskluft til en proces, hvor der foretages en kemisk behandling af metalemner. Fra den kemiske proces emitteres dampe. Den afgivne forurening fra processen  $q_m$  er 0,04 kg/s og den maksimalt tilladte koncentration i indkapslingen  $c$  er 0,02 kg/m<sup>3</sup>. Den nødvendige luftmængde kan herefter bestemmes:

$$q_v = \frac{q_m}{c} = \frac{0,04 \text{ kg/s}}{0,02 \text{ kg/m}^3} = 2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 7.200 \text{ m}^3/\text{h})$$

### Eksempel: Total indkapslet proces med tilførsel af rumluft

På et metalstøberi foretages en indkapsling af en elektrisk opvarmet smeltedigel. Over smeltedigelen placeres en sugehov. Det samlede åbningsareal i indkapslingen er ca. 1,13 m<sup>2</sup>. Ha-

stigheden i åbningsarealet sættes til 0,5 m/s. Den udsugede luftmængde fra indkapslingen er derfor:

$$q_v = v_h \cdot A_h = 0,5 \text{ m/s} \cdot 1,13 \text{ m}^2 = 0,57 \text{ m}^3/\text{s} (= 2.052 \text{ m}^3/\text{h})$$

### Eksempel: Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft gennem loft

På en virksomhed foretages sprøjtemaling af metalemner i en total indkapsling med tilførsel af friskluft gennem loft. Arealet af indkapslingens loft er 16 m<sup>2</sup> (4 m x 4 m). Med udgangspunkt i databladet kan den nødvendige luftmængde herefter bestemmes til:

$$q_v = 0,2 \text{ m/s} \cdot A_L = 0,2 \text{ m/s} \cdot 16 \text{ m}^2 = 3,2 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 11.520 \text{ m}^3/\text{h})$$

Det vurderes nu, at emissionerne fra maleprocessen i form af toluen dampe kan være eksplosionsfarlige. Det er derfor nødvendigt at foretage en beregning af den nødvendige udsugede luftmængde på baggrund af nedenstående formel:

$$q_v = \frac{q_m \cdot (273 + t)}{c_n \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 293}$$

Den tilførte forurening fra processen  $q_m$  er 0,028 kg/s, den nedre eksplosionsgrænse er 0,046 kg/m<sup>3</sup> og temperaturen i indkapslingen er 30°C. Fordelingsfaktoren  $K_2$  sættes til 1, da der er tale om et stempelprincip.

$$q_v = \frac{0,028 \cdot (273 + 30)}{0,046 \cdot 0,25 \cdot 1 \cdot 293} = 2,7 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 8.640 \text{ m}^3/\text{h})$$

Som det ses giver eksplosionsfaren ikke anledning til en højere nødvendig volumenstrøm end fundet ved det almindelige stempelprincip. Altså er den nødvendige luftmængde 3,2 m<sup>3</sup>/s på grund af kravet om en lufthastighed på 0,2 m/s over hele indkapslingen.

### Eksempel: Total indkapslet proces med recirkulering

På en del træbearbejdningsvirksomheder foretages indkapsling af bearbejdningsmaskinerne. Ofte recirkuleres den udsugede luftmængde via et filter, hvor partiklerne bliver udskilt. Den nødvendige udsugede luftmængde bestemmes ved hjælp af gribeprikket.

Da der er tale om borttransport af partikler vil der være krav om en vis transporthastighed i indkapsling/kanalsystem. Transporthastigheden anbefales i litteraturen at ligge mellem 15 og 25 m/s afhængig af hvilken type partikler der er tale om.

#### 6.3.2.2 Udsugning fra delvis indkapslet proces

Hvis det ikke er muligt at foretage en total indkapsling af processen, bør det undersøges om en delvis indkapsling er mulig. En delvis indkapsling af processen er den mest benyttede indkapslingsmetode. Ved delvis indkapsling søges det at afskærme processen mest muligt, som eksempler kan nævnes malesprøjtebokse, bordbokse og stinkskabe. I en malesprøjteboks er kun siden som har front mod maleren åben. I frontarealet opretholdes en vis hastighed som skal sikre at emissionerne ikke kan undslippe boksen, men derimod bliver transporteret mod et udsug i bagvæggen af boksen. Det er vigtigt, at udsuget i boksen placeres således at der opnås en stabil og ensartet hastighed i åbningen. Nyere undersøgelser foretaget på Teknologisk Institut viser, at der kan opnås besparelser i luftforbruget ved øget fokusering på udformningen af

indløbsforholdene til boksen, således at hastigheden  $v_h$  i frontarealet reduceres. Dette omtales nærmere i det efterfølgende.

I forbindelse med delvist indkapslede processer findes der tre forskellige og grundlæggende typer af indkapsling. Disse tre typer er: malesprøjteboksen, sugeboksen og stinkskalet. Det traditionelle dimensioneringsgrundlag for disse tre typer beskrives i det efterfølgende.

### Malesprøjtebokse

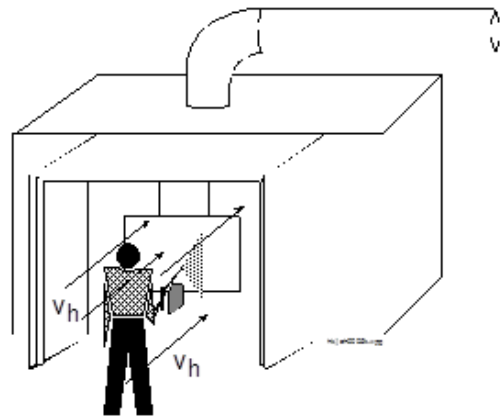
Nedenfor beskrives den traditionelle anvendte metode til bestemmelse af den nødvendige udsugede luftmængde fra en malesprøjteboks med manuel personbetjening. Proceduren ved dimensionering af udsug i forbindelse med malesprøjtebokse er i store træk følgende:

- Hastigheden i boksens frontareal  $v_h$  sættes som minimum til 0,5 m/s, hvilket er et krav fra Arbejdstilsynet
- Det nødvendige frontareal  $A$  fastlægges

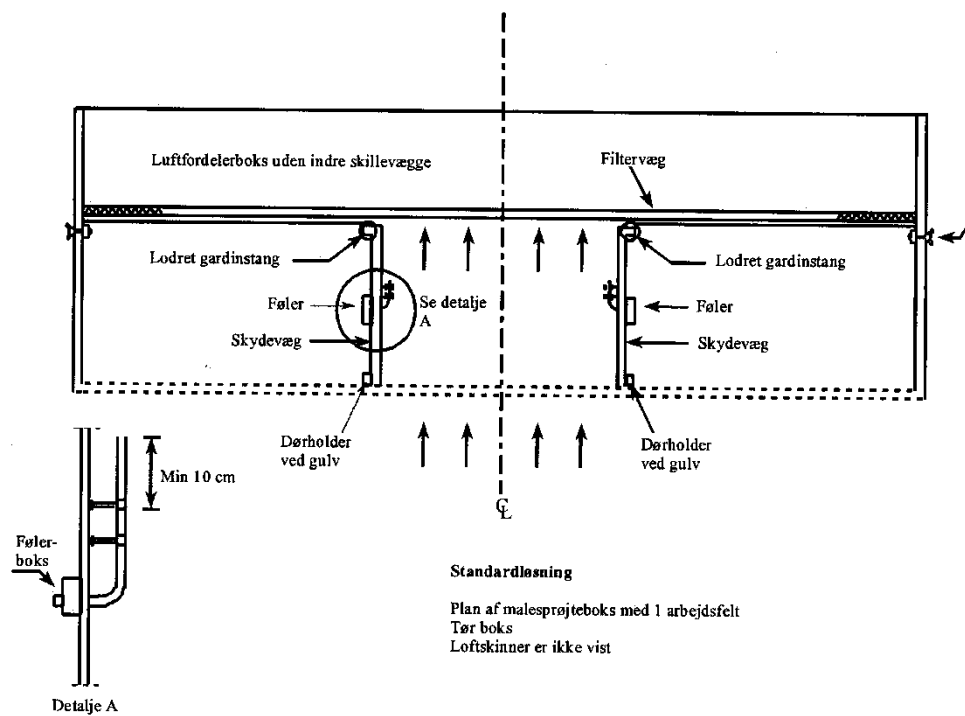
Den nødvendige udsugede luftmængde  $q_v$  kan herefter beregnes ved hjælp af nedenstående formel:

$$q_v = v_h \cdot A \sim 0,5 \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Undersøgelser har vist, at til trods for at kravet (fra Arbejdstilsynet) om en hastighed i malesprøjteboksens frontareal på 0,5 m/s ikke kan fraviges, så er der alligevel mulighed for at reducere den udsugede luftmængde og dermed boksens energiforbrug. På mange virksomheder er malesprøjtebokse dimensioneret til maling af det størst forekommende emne, men de anvendes i store perioder til maling af væsentligt mindre emner. Undersøgelser har vist, at en reduktion af frontarealet ved indbygning af forskydelig indervægge i boksen, der ved forskydningen samtidig afspærrer dele af sugefladen i bagvæggen, kan medføre store energibesparelser. På boksens forskydelige indervægge er der monteret hastighedsfølere som via en reguleringsanordning sørger for ved hjælp af et spjæld at fastholde de 0,5 m/s i det reducerede areal. På figur 6.20 ses en skitse af en malesprøjteboks med forskydelige indervægge.

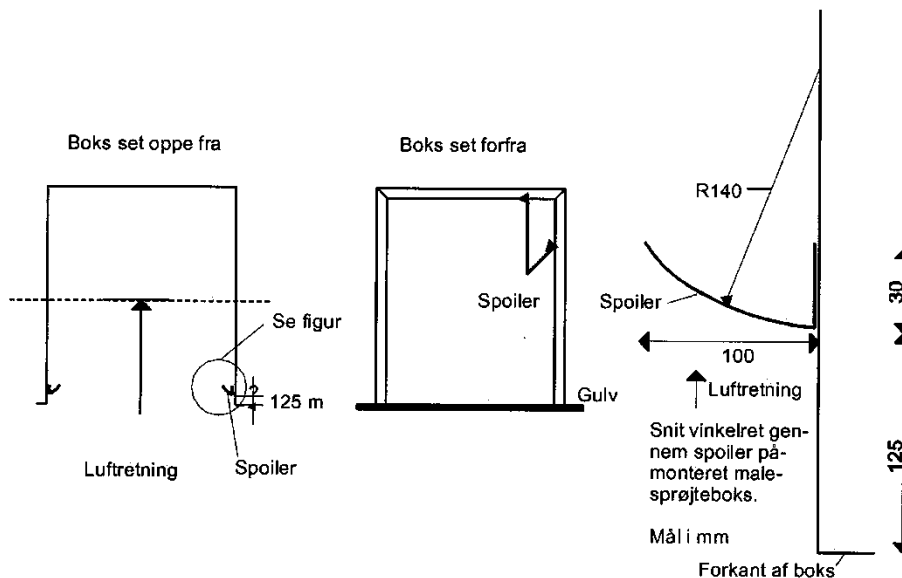






Figur 6.20 Malesprøjteboks med forskydelige vægge.

Undersøgelser har endvidere vist, at det er muligt at forbedre sprøjteboksens effektivitet ved hjælp af spoilerere. En spoiler er en plade, der er udformet, så den bremser forurenede luft strømmende langs boksens flader i retning mod arbejdsåbningen. Spoilerne giver samtidig en bedre luftindføring i boksen med mindre turbulering af luften. Spoilerne udføres i et stykke tyndplade i en indadbuget facon, og placeres i boksens sider og under loftet. Nedenfor ses en skitse af en malesprøjteboks med spoilerere.



Figur 6.21 Malesprøjteboks med spoilerere.

Som det ses af ovenstående figur er spoileren placeret en smule indenfor malesprøjteboksens åbning. Det ses, at spoilerens bredde ikke behøver at være særlig stor. Her har spoileren kun en bredde på 0,10 m.

### Sugebokse

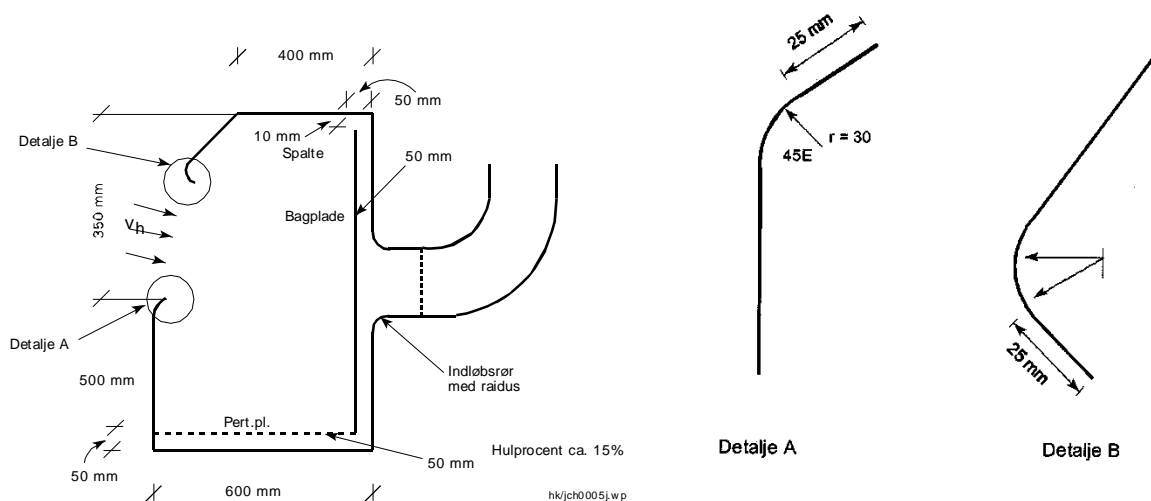
Nedenfor beskrives den traditionelt anvendte metode til bestemmelse af den nødvendige udsugede luftmængde fra en sugeboks. Proceduren for dimensionering af en sugeboks er følgende:

- Hastigheden i sugeboksens frontareal  $v_h$  fastsættes. Almindeligvis fastsættes hastigheden til 0,5 m/s (tommelfingerregel)
- Frontarealet  $A$  fastlægges

Den nødvendige udsugede luftmængde  $q_v$  kan herefter beregnes ved hjælp af nedenstående formel:

$$q_v = v_h \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Det skal bemærkes, at dimensionering efter fronthastigheden ikke giver en optimal effektivitet af boksen. Undersøgelser på Teknologisk Institut har vist, at det for sugebokse med en god geometri er muligt at reducere hastigheden i frontarealet til under 0,5 m/s, og dermed den nødvendige udsugede luftmængde. Nedenfor ses et eksempel på udformning af en boks til udsugning fra en vejeprocess.



Figur 6.22 Skitse af en godt udformet sugeboks inklusive et nærbillede af fornuftig udformning af indløbsforholdene til sugeboksen.

Som det ses er indløbet til boksen udformet med afrundede kanter. Fordelen ved dette er, at der ikke opstår hvirvler i indløbet, når erstatningsluften indføres og dermed undgås risikoen for at forurenset luft undslipper boksen. I bunden af boksen er der placeret en perforeret plade, hvorigennem en del af luften suges. Ved at suge i bunden af boksen respekteres støvets naturlige

bevægelsesmønster, som er fra boksens rum og mod bunden (tyngdekraftens indvirkning). Der suges endvidere jævnt i boksens bagende via en spalte langs med boksens sider. Målinger viser at udsugningseffektiviteten er tilfredsstillende med en hastighed i frontarealet på ca. 0,3 m/s. Som konklusion på undersøgelserne viser det sig at sugestederne bør placeres således, at der opnås en ensartet luftfordeling i indsugningsåbningen. Ligeledes bør det tilstræbes at udsugningsforholdene er opbygget således at luften ikke turbuleres, når den suges ind i sugeboksen. Turbuleringen betyder nemlig at den indsugede luft og luften i sugeboksen blandes, samtidig med at noget af den forurenede luft i sugeboksen kan undslippe.

### Stinkskabe

Nedenfor beskrives den traditionelt anvendte metode til bestemmelse af den nødvendige udsugede luftmængde fra et stinkskab. Ved dimensionering af udsuget fra stinkskabet er proceduren:

- Hastigheden i skabets lugeåbning  $v_L$  fastsættes. Almindeligvis fastsættes hastigheden til 0,5 m/s (tommelfingerregel)
- Arealet  $A$  af lugeåbningen fastlægges

Med udgangspunkt i denne procedure kan den nødvendige udsugede luftmængde  $q_v$  beregnes ved hjælp af nedenstående formel:

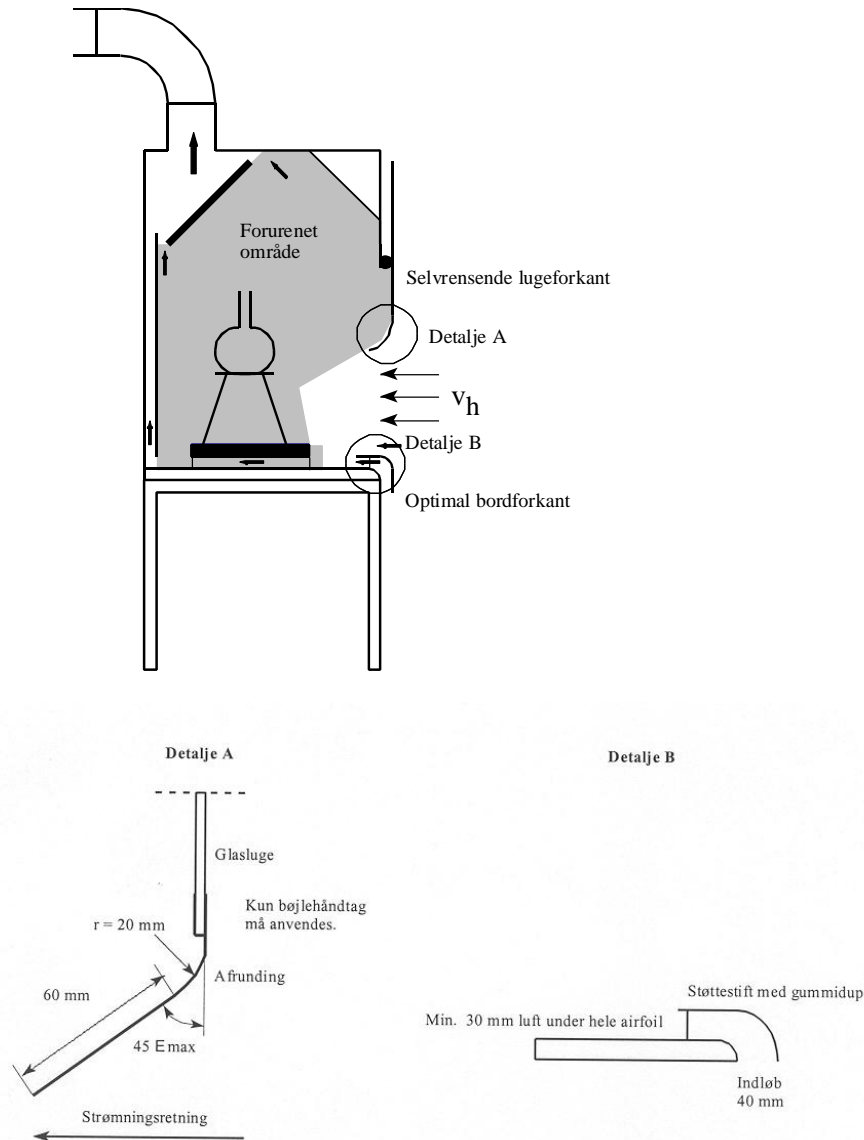
$$q_v = v_L \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

I et stinkskab skal luftmængden kunne tilpasses lugeåbningen. Luftmængden skal tilpasses således, at uanset hvad lugeåbningens areal er, så er hastigheden den samme, f.eks. 0,5 m/s. Det sker ved at stinkskabet udstyres med automatik, der regulerer den udsugede luftmængde fra stinkskabet enten ved en undertryksføler placeret i stinkskabet eller ved registrering af lugeåbningen.

Desuden er det almindeligt at der monteres bevægelsesmeldere, der sikrer at luftmængden reduceres automatisk til f.eks. 0,3 m/s i lugeåbningen, når der ikke har været arbejdet ved stinkskabet en given tid. Reguleringen med bevægelsesmelder vil medføre både el- og varmebesparelser, idet den udsugede luftmængde bliver mindre og dermed er der mindre erstatningsluft, der skal opvarmes.

Endelig findes der automatik der kan monteres på stinkskabets luge, som automatisk lukker lugen når der ikke har været arbejdet ved lugen i en given tid.

Undersøgelser har vist, at det for stinkskabe med en god geometri, er muligt at reducere hastigheden i lugeåbningen til under 0,5 m/s og dermed også den nødvendige udsugede luftmængde. Med hensyn til stinkskabets geometri, så skal opmærksomheden rettes mod udformningen af bordforkant og lugeunderkant, men siddevægge og eventuelle mellemstolper er heller ikke helt uden betydning. Gode og strømningsmæssigt korrekte udformninger af disse er en af forudsætningerne for at hastigheden i lugeåbningen kan reduceres eller at skabets effektivitet kan forbedres. En anden væsentlig forudsætning for at hastigheden i lugeåbningen og dermed den nødvendige udsugede luftmængde kan reduceres er, at stinkskabets brugereffektivitet ved den lavere luftmængde er tilfredsstillende. På figur 6.23 ses et stinkskab med en god geometri.



Figur 6.23 Stinkskab med god geometri inklusive en beskrivelse af de væsentligste detaljer.

Som det ses af figuren er nogle af de vigtigste detaljer for at opnå en turbulensfri indstrømning til stinkskabet en passende krumning på den nederste lugekant (detalje A) og bordspoileren (detalje B). For mere detaljerede beskrivelser af optimale udformninger af stinkskabe henvises til rapporten "Stinkskabe med lavt energiforbrug"<sup>4</sup>.

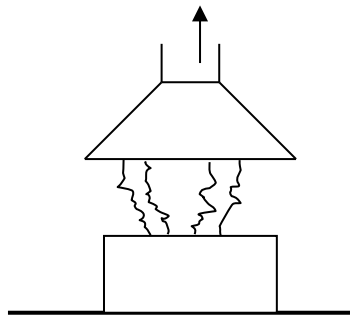
Det er vigtigt at brugerne af stinkskabet er opmærksom på ikke at blokere for luftgennemstrømning i stinkskabet ved placere udstyr tæt på udsugningsspalten i bagbeklædningen.

<sup>4</sup> Erik Hvirgel Hansen: "Stinkskabe med lavt energiforbrug", Dansk Teknologisk Institut, Energiteknologi, 1988, ISBN nr. 87-7511-855-6

Desuden er det af hensyn til energiforbruget vigtigt at stinkskabets brugere husker at lukke lugen, når skabet ikke benyttes.

### 6.3.3 Udsugning efter modtagerprincippet

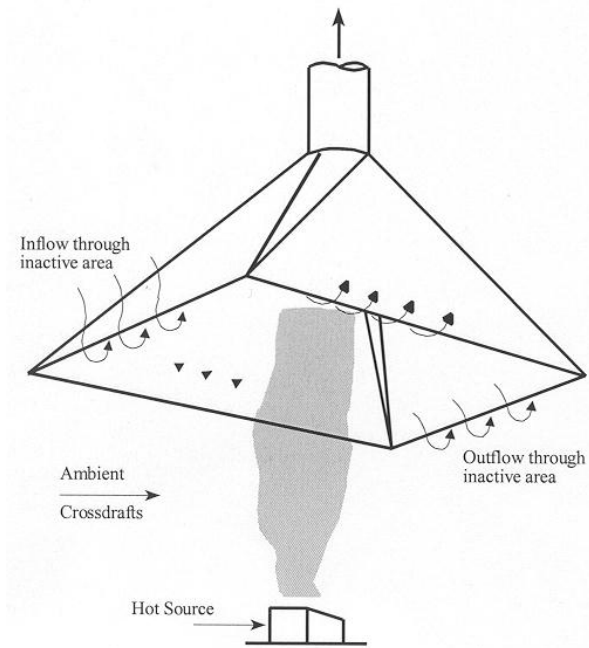
Der er primært tale om fritstående processer så som trykstøbemaskiner (metal/plast), metal- og smeltekar, smelteovne mv.. Hvis der emitteres gasser, dampe eller fine partikler fra en proces under isoterme forhold med små hastigheder, er hovens orientering ikke kritisk. Hvis forureningen derimod er varm, vil forureningen hurtigt stige til vejrs grundet massefyldeforskelle mellem den omgivende luft og den varme forurenede luft (termisk plumen). Her kan det koste meget i udsugede luftmængder, hvis der arbejdes imod de termiske kræfter, det vil sige uheldig orientering af hoven i forhold til forureningskilden, og ved dårlig udformning af selve sugehoven. Et ofte anvendt udsugningsprincip ved store termiske kilder er udsug efter modtagerprincippet, hvor sugehoven er placeret over den varme forureningskilde. De termiske kræfter vil af sig selv føre den forurenede luft op i hoven hvor den bliver suget ud, se figur 6.24. Det er meget vigtigt at sugehoven har den rette størrelse i forhold til det termiske plumen samt at sugehoven er forsynet med kantreflektorer, der sikrer mod tilbagestrømning ud af sugehoven.



Figur 6.24 Udsugningshov som fungerer efter modtagerprincippet.

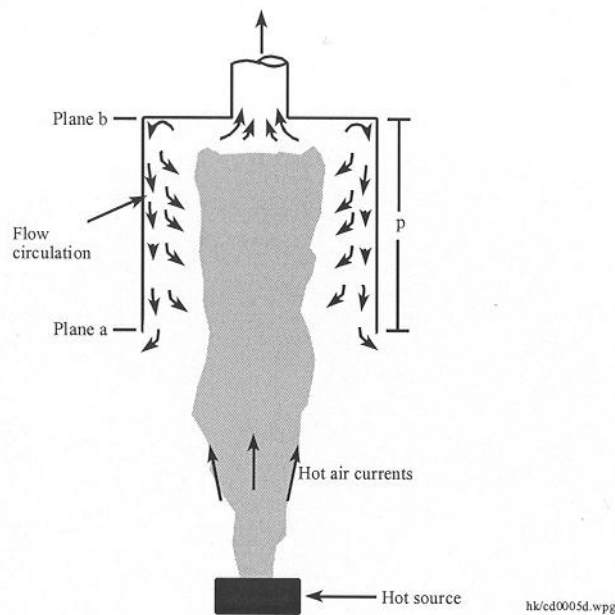
Nedenstående skitser illustrerer hvad der sker ved forkerte udformninger af sugehove.

Low Canopy Receiving Hood Illustrating Contaminant Spillage



Figur 6.25 Sugehov hvor facearealet er for stort i forhold til arealet af den termiske plumen.

Et andet forhold, det er vigtigt at være opmærksom på i forbindelse med hove er meget høje lodrette kanter, som kan give anledning til nedadgående strømninger langs disse. Dette er søgt illustreret på figur 6.26.

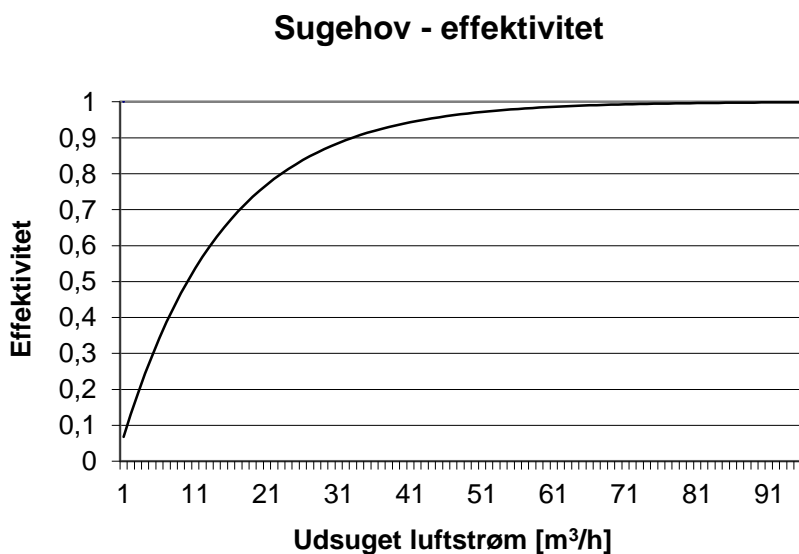


Figur 6.26 *Eksempel på uheldigt design af sugehov. På grund af de forholdsvise høje kanter uden bremsende kantreflektorer fornedet, kan man risikere "out-flow".*

Sugehovens effektivitet defineres ofte som:

$$\varepsilon = \frac{\dot{m}_{\text{udsug}}}{\dot{m}_{\text{kilde}}}$$

Udsugningseffektiviteten bør være høj; men det kan sjældent betale sig, at tilstræbe  $\varepsilon = 100\%$ , da det resulterer i forholdsvise store nødvendige udsugede luftstrømme.



Den udsugede luftstrøm bør baseres på en beregning af størrelsen af den termiske plumen ved sugehovens underkant. Metoden der er illustreret nedenstående tager udgangspunkt i de fysiske forhold omkring den termiske plumen, såsom spørgsmålet om der er tale om en punktkilde, en linjekilde, spredningsvinkel, konvektiv effekt m.m.. Omfanget (bredden) af procesens/kildens konvektionsstrøm (termiske plumen) i højden  $x$ , skal dels være mindre end og dels inden for sugehovens åbningsareal. Det er desuden uheldigt, hvis sugehoven ikke er placeret over varmekilden, men er forskudt horisontalt.

Ved dimensionering af hovens bredde viser erfaringerne, at hovens mindste bredde skal være:

$$b_{\text{hov\_min}} = b_{\text{konvek}} + 0.8 \cdot x \quad [\text{m}]$$

hvor  $b_{\text{konvek}}$  med god tilnærmelse kan opskrives som:

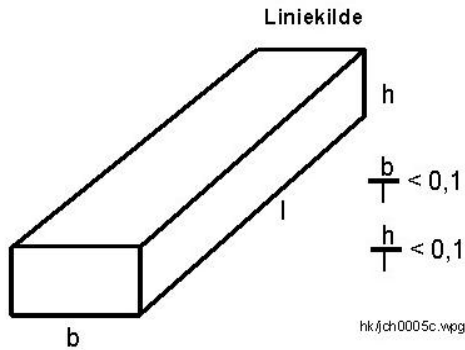
$$b_{\text{konvek}} = 0.44 \cdot (x + d_{\text{kilde}}) \quad [\text{m}]$$

For at bestemme den nødvendige udsugede volumenstrøm inddeles forureningskilderne i tre forskellige grundtilfælde:

### **Punkt-/vandretekilde**

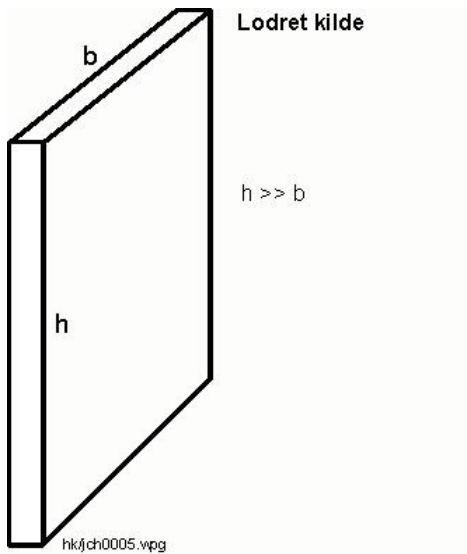
Krav: Lille vertikal udstrækning i forhold horizontal udstrækning.

**Liniekilde**



Krav:  $\frac{b}{l} < 0,1 \quad \wedge \quad \frac{h}{l} < 0,1$

**Lodret kilde (lodret flade)**



Krav:  $h \gg b$

Formeludtryk for den nødvendige volumenstrøm for de forskellige kilder er vist i tabel \*.\*.

Kildetype	Punktkilde [ $m^3/s$ ]	Liniekilde [ $m^3/(s \cdot m)$ ]	Lodret kilde [ $m^3/(s \cdot m)$ ]
Nødvendig udsuget luftmængde	$q_v = 5,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{\phi_{konvek}} (x + x_{pol})^{5/3}$	$q_v = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \Phi_{konvek} / L \right)^{1/3} \cdot x; x > 1,0$ $q_v = 1,05 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \Phi_{konvek} / L \right)^{1/3} \cdot x; x \leq 1,0$	$q_v = 2,8 \cdot 10^{-3} (T_{overflade} - T_{luft})^{2/5} h^{6/5}$



Tabel 6.1 Nødvendig udsuget volumenstrøm for forskellige kildetyper.

hvor:

$\phi_{\text{konvek}}$	er den afgivne konvektive effekt fra varmekilden [W]
$x$	er afstanden fra varmekilde til underkant af sugehov [m]
$x_{\text{pol}}$	normalt kan sættes lig $d_{\text{kilde}}$ eller kildens bredde [m]
$L$	er kildens længde [m]
$h$	er kildens middelhøjde [m]

Den konvektive effekt  $\phi_{\text{konvek}}$  kan oftest med god tilnærmelse sættes lig  $0,5 \cdot P_{\text{tilført}}$ . Kendes processen kan K-faktorerne i efterfølgende tabel benyttes i stedet for faktoren 0,5, således at følgende gælder:

$$\phi_{\text{konvek}} = K \cdot P_{\text{tilført}}$$

Tabellen med de relevante K-faktorer ses nedenfor:

K	Kildetype
0,8 – 0,9	punktbelysning
0,7 – 0,9	varmerør eller kanal
0,4 – 0,6	lille maskine
0,3 – 0,5	stor maskine
0,05 – 0,1	Svejsested

Tabel 6.2 K-faktor for forskellige kildetyper.

### Eksempel

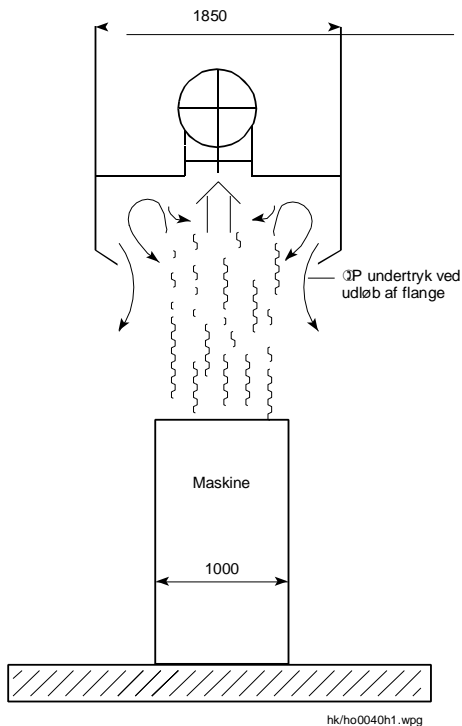
Der haves en linjekilde i form af en lille maskine med en afgiven konvektiv effekt på 5 kW og en længde på 1,0 m. Yderligere er det fastlagt at afstanden  $x$  mellem varmekilden og hovens underkant er 1,0 m. Da der er tale om en lille maskine vælges der at anvende en K-faktor på 0,5, hvilket er i midten af det anbefalede interval i tabel 6.2.

Med udgangspunkt i disse oplysninger kan den nødvendige udsugede volumenstrøm bestemmes til:

$$q_v = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{\Phi_{\text{konvek}}}{L} \right)^{1/3} \cdot x = 1,4 \cdot 10^{-2} \cdot \left( \frac{0,5 \cdot 5000}{1,0} \right)^{1/3} \cdot 1,0 = 0,19 \text{ m}^3 / (\text{s} \cdot \text{m}) = 684 \text{ m}^3 / (\text{h} \cdot \text{m})$$

For termiske kilder gælder det at den udsugede volumenmængde skal være større end eller lig med konvektionsstrømmen forårsaget af processen. Såfremt den forurenede konvektionsstrøm ikke er konstant, kan der med fordel opereres med et reservoir, hvor luften opsamles i maksimal situationerne for senere at blive udsuget. Udformningen af reservoiret har stor betydning for den

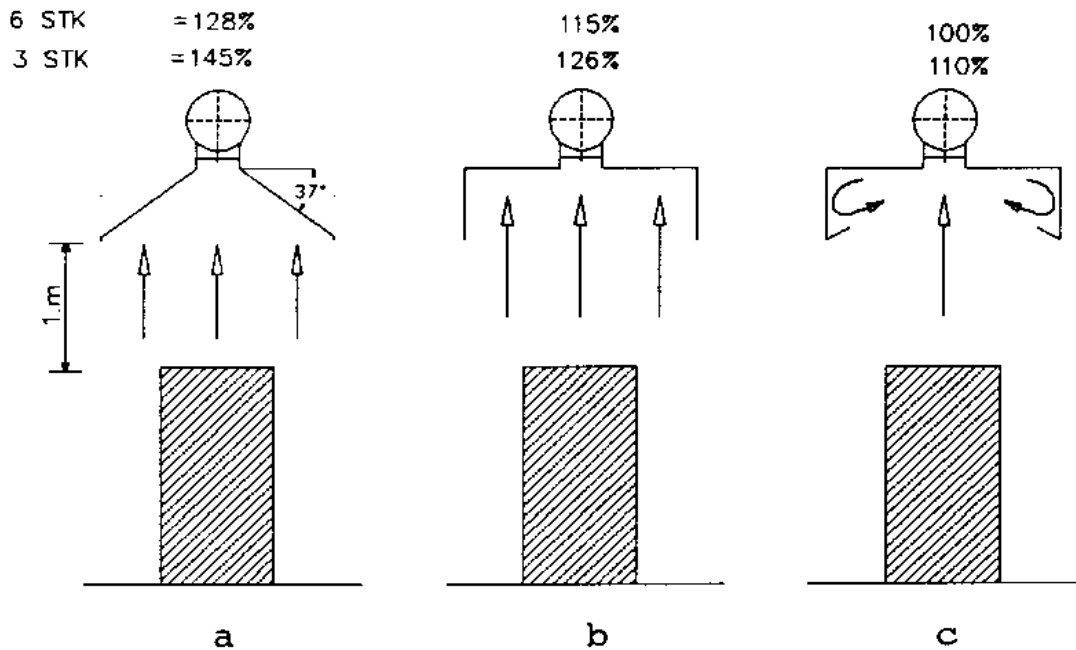
nødvendige udsugede luftmængde. Udformningen af sugehoven vist med figur 6.27 er mindre god, idet impulsstrømmen fra varmekilden skaber kraftige luftbevægelser ved flangen ned mod varmekilden. Derved opstår der undertryk på fronten af flangen som bevirker at røgen trænger ud i lokalet.



Figur 6.27 Skitse af sugehov med nedadrettede flanger.

Der er udført en række forsøg<sup>5</sup> på Teknologisk Institut med det formål at optimere udformningen af sugehove. Med nedenstående figur er den nødvendige udsugede luftmængde vist for en almindelig, en forbedret og en optimeret sugehov, idet procentangivelserne viser det aktuelle luftforbrug i forhold til den optimale sugehov (til højre). Desuden ses betydningen af henholdsvis 3 eller 6 stk. udsugningstilslutninger.

<sup>5</sup> Energoptimering af sugehove – udvikling af dimensioneringsregler samt flange- og reflektorløsninger, December 2001.



Figur 6.28 Sammenligning af effektiviteten for sugehov over varmekilde udtrykt i relativ volumenstrøm i % i forhold til optimal (optimeret) løsning. 3 stk og 6 stk indikerer antallet af tilslutninger.

Som det ses af figur 6.28 er sugehov c den bedste og sugehov a er den dårligste.

Der er ret stor forskel på om der vælges dimensioneringsmetode 1 eller 2 til bestemmelse af den nødvendige udsugede luftmængde. Det centrale element i et korrekt dimensioneringsgrundlag er nøjagtig bestemmelse af den termiske plumen, idet den ideelle udsugede luftmængde nøje modsvarer størrelsen af den termiske plumen ved sugehoven. Denne overvejelse er ikke med i dimensioneringsgrundlaget jf. metode 1. Metode 1 indeholder begreberne sugehastighed og omkreds af sugehov og giver markant højere nødvendige luftstrømme end der er nødvendig jf. forsøg udført på Teknologisk Institut. Dimensioneringsgrundlaget i metode 2 har vist sig at være bedre, idet dette tager hensyn til de termiske kræfter og derved afpasser den nødvendige udsugede volumenstrøm til behovet. Desuden er det fundet at dimensionen på indløbet til sugehoven kan bestemmes ud fra udtrykket:

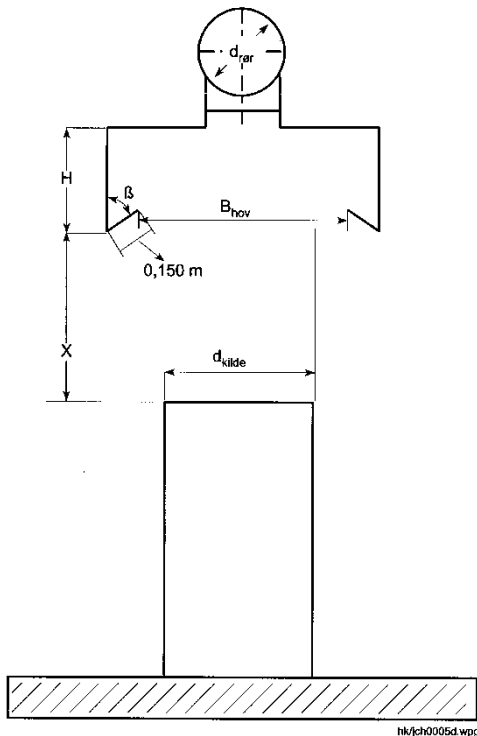
$$D_{\text{udsug}} = d_{\text{kilde}} + 0,7 \cdot x$$

Ved design af sugehovens udformning er det også vigtigt at være opmærksom på at denne kan virke som buffer, når luftstrømmen fra den termiske kilde ikke er konstant. I de tilfælde hvor sugehoven ikke anvendes som buffer bestemmes den nødvendige udsugede luftmængde ud fra den maksimale luftstrøm fra den termiske kilde, men konstrueres sugehoven med et tilstrækkeligt stort buffervolumen er det tilstrækkeligt at bestemme den nødvendige luftstrøm ud fra middelluftstrømmen fra den termiske kilde. Det er vigtigt, at hovens åbningsareal hverken er for lille eller for stort. Hvis åbningsarealet er mindre end plumens tværsnitsareal i højden svarende til hovens underkant, strømmer noget af plumen forbi hoven, hvis den udsugede luftmængde ikke er væsentlig større end den termiske plumen. Og hvis hovens åbningsareal er meget større end tværsnitsarealet af den termiske plumen er der fare for udstrømning fra hoven,

hvis den udsugede luftmængde ikke er væsentlig større end den termiske plumen. Der opstår specielt problemer når der også er tværstrømninger.

Desuden bør mulighederne for delvis indkapsling af den termiske plumen fra forureningskilden overvejes. Således gælder det at den nødvendige udsugede volumenstrøm i forbindelse med en vægplumen (afgrænsning til én side) udgør 63% af en fri plumen.

I forbindelse med udsug fra store/kraftige varme forureningskilder kan der med fordel anvendes en sugehov, der er opbygget efter det princip der er vist med figur 6.29.



Figur 6.29 Optimeret sugehov til modtagerprincippet.

Selv om sugehoven skal have en minimumsbredde er det væsentligt at hovens bredde ikke er alt for stort, idet det medfører lave hastigheder i facearealet, og dermed følsomhed overfor urolig luft og tværstrømninger. Derfor bør følgende gælde:

$$\frac{q_v}{A_{\text{face}}} > 0,1 \text{ m/s}$$

Reflektorernes vinkel  $\beta$  bør være omkring  $30^\circ$  og deres længde  $l_{\text{reflektor}}$  bør være større end 0,15 m. Yderligere bør hoven så vidt muligt være placeret centralt over forureningskilden. Ved varierende udstrømning fra forureningskilden kan det være energimæssigt fornuftigt at designe hoven således at den udsugede luftmængde svarer til en middelforureningsmængde fra kilden. Det fysiske volumen på hoven bør derfor være tilstrækkelig stort til at hoven kan "rumme" forureningsmængden i maksimalsituationerne. Tilstrækkelig stor fysisk volumen af hoven kan sikres ved at lave hoven tilstrækkelig høj/dyb (tilstrækkelig stor H).

## Eksempel

Der haves en cirkulær varmekilde med en diameter på  $d_{\text{kilde}} = 0,2$  m og en tilført varmeeffekt på  $P = 1.000$  W. Der er altså tale om en lille kilde, hvorfor kildens K-faktor skal ligge mellem 0,4 og 0,6 ifølge tabellen i databladet. Her vælges der at arbejde med middelværdien på  $K = 0,5$ . Afstand fra varmekilde til underkant af hove  $x = 0,5$  m. Da der er tale om en cirkulær kilde tages der udgangspunkt i databladets udtryk for en punktkilde til bestemmelse af den nødvendige udsugede volumenstrøm:

$$q_v = 5,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{\phi_{\text{konvek}} (x + x_{\text{pol}})^{5/3}} = 5,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{0,5 P_{\text{varme}} (x + x_{\text{pol}})^{5/3}} = 5,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{0,5 \cdot 1000 (0,5 + 0,2)^{5/3}} = 0,02 \text{ m}^3/\text{s} \quad (87 \text{ m}^3/\text{h})$$

Med den nødvendige volumenstrøm bestemt, er der kun tilbage at bestemme hoves diameter  $D_{\text{hov}}$ :

$$D_{\text{hov}} = d_{\text{kilde}} + 0,7x = 0,2 + 0,7 \cdot 0,5 = 0,55 \text{ [m]}$$

Hastigheden i hovens faceareal skal nu kontrolleres således, at det kan vurderes hvor følsom hoven bliver overfor tværstrømninger. Hastigheden i facearealet bestemmes ud fra den nødvendige volumenstrøm og facearealet:

$$v_{\text{faceareal}} = \frac{q_v}{A_{\text{face}}} = \frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi(\frac{1}{2} \cdot 0,55 \text{ m})^2} = 0,6 \text{ m/s}$$

hvor  $A_{\text{face}}$  er facearealet.

Som det ses er hastigheden i facearealet 0,6 m/s, hvilket er væsentligt højere end 0,1 m/s.

### 6.3.4 Udsugning efter gribeprikket

#### 6.3.4.1 Udsugning gennem sugehove

Hvis et udsug har bredden (B) og højden (H), det vil sige et rektangulært udsug, bliver den udsugede luftstrøm lig, idet  $v_0$  er hastigheden i udsugningens faceareal:

$$q = v_0 \cdot B \cdot H$$

Ved dimensionering af et rektangulært udsug, der fungerer efter gribeprikket, ses sjældent et udsug, som i udstrækning er større end kildens udstrækning. Der er på den baggrund udført en række forsøg på Teknologisk Institut, for at undersøge om udsugninger med større faceareal end forureningskilde er mere effektive. Forsøgene har vist at der ikke er grund til at vælge et udsug med en dimension (udstrækning) markant større end kildens udstrækning, idet nødvendige udsugede luftmængde er stort set den samme uanset udsugningens faceareal. Dog kan det nødvendige sugetryk reduceres, men det skal sammenholdes med de øgede produktionsomkostninger til et større udsug.

Den traditionelle metode til dimensionering af udsugninger efter gribeprikket har stort set fulgt det samme mønster i flere årtier. Proceduren er i store træk følgende:

- Ud fra kendskab til den aktuelle proces kan den nødvendige  $v_x$  aflæses fra en tabel
- Udsugningsarealet  $A$  fastlægges
- Et estimat for afstanden fra udsugningen og ud til forureningskilden  $x$ , fastlægges

Herefter kan den nødvendige udsugede luftstrøm beregnes ud fra udtrykkene i tabel \*.\*. Arealet A og afstanden x er oftest noget der fastsættes individuelt. Til gengæld er der tabeller over hvilke gribehastigheder, der bør anvendes ved forskellige processer.

I nedenstående tabel 6.3 er der angivet en række gribehastigheder for forskellige industrielle processer anført i SBI anvisning 106.

Arbejdsproces	Egenhastighed	Gribehastighed $v_x$ [m/s]
Galvaniske bade, emhætter i køkkener, smedeesser	ringe	0,2 – 0,5
Sprøjtemaling, metalsprøjtning, pålæsning, fyldning af tønder og sække, svejsning	mådelig	0,5 – 1,0
Tømning af støbeforme	stor	1,0 – 2,0
Slibe- og polermaskiner, sand-slibning, sandblæsning	meget stor	3,0 – 10,0

Tabel 6.3 Gribehastigheder fra SBI anvisning 106.

Som det ses af tabellen er det i nogle tilfælde nødvendigt med meget store gribehastigheder, hvilket kræver en meget stor udsuget volumenstrøm, hvis udsuget ikke skal være placeret lige oveni forureningskilden. Den nødvendige udsugede volumenstrøm for de forskellige udsugningstyper kan beregnes ud fra udtrykkene i tabel 6.4.

Frit placeret udsug uden flange	Frit placeret udsug med flange	Udsug mod bord/væg
$q_0 = v_x (10 \cdot x^2 + A)$	$q_0 = 0,75 \cdot v_x (10 \cdot x^2 + A)$	$q_0 = v_x (5 \cdot x^2 + A)$

Tabel 6.4 Traditionelt formeludtryk for den nødvendige udsugede volumenstrøm.

Det ovennævnte dimensioneringsgrundlag giver anledning til ret store udsugede luftmængder fra selv mindre processer. Derfor er det tidligere blevet undersøgt på Teknologisk Institut<sup>6</sup> om det er muligt at opstille et andet og mere målrettet dimensioneringsgrundlag, der vil give anledning til lavere luftmængder. Formålet med undersøgelserne var først og fremmest at få belyst om de anbefalede gribehastigheder  $v_x$  fra de mange forskellige kilder er opgivet med for store sikkerhedsfaktorer.

Til opstilling af et forbedret dimensioneringsgrundlag er der taget udgangspunkt i grundformen for udtrykkene til bestemmelse af den nødvendige volumenstrøm ved udsug som vist i tabel 6.4.

<sup>6</sup> Energoptimering af sugehøve – udvikling af dimensioneringsregler samt flange- og reflektorløsninger

$$q_{v, \text{udsug}} = \text{Funktion } [v_x \cdot (x^2 + A)]$$

For at grundudtrykket skal kunne anvendes på forskellige udformninger og placeringer af udsug er det nødvendigt at indføre nogle k-faktorer i udtrykket:

$$q_{v, \text{udsug}} = v_x \cdot (k_1 \cdot x^2 + A) \cdot k_2$$

hvor

$q_{v, \text{udsug}}$	er den nødvendige udsugede luftmængde [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
$v_x$	er gribehastigheden i afstanden $x$ [ $\text{m}/\text{s}$ ]
$x$	er afstanden fra forureningskildens yderste kant til centrum af udsuget [ $\text{m}$ ]
$A$	er arealet af sugeåbningen [ $\text{m}^2$ ]
$k_1$	er placering af udsug
$k_2$	er tværstrømninger




hvor  $k_1$  afhænger af placeringen af udsuget og  $k_2$  afhænger hastigheden på tværstrømningerne.

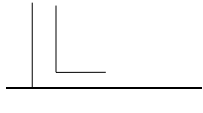
Ved målingerne er det fundet at en minimumsværdi på 0,1 m/s er fornuftig for gribehastigheden  $v_x$ , dvs.:

$$v_x = 0,1 \text{ m/s}$$

Denne værdi for  $v_x$  er anvendt ved fastlæggelsen af konstanterne  $k_1$  og  $k_2$  i det følgende.


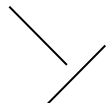

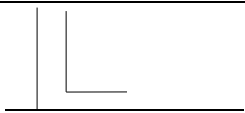
Faktoren  $k_1$  udtaler sig om effekten af udsugets placering. Det ses af tabel 6.5, at det ikke er ligegyldigt, hvordan udsuget placeres.

Placering	Placeret mod bord/væg		Frit udsug	
	Uden flange	Med flange	Uden flange	Med flange
	10	10	20	15
	5	5	10	10
			20	20

		5		
---	--	---	--	--

Tabel 6.5  $k_1$ -faktorer der bør anvendes ved forskellige placeringer af punktudsug.

Faktoren  $k_2$  udtaler sig om tværstrøms hastighedens betydning. Nedenfor vises en tabel over  $k_2$ -faktoren ved forskellige tværstrøms hastigheder. I de tilfælde, hvor  $k_2$ -faktoren hedder "uhensigtsmæssig placering" betyder det at det er nødvendigt med uforholdsmæssige store volumenstrømme for at opnå en fornuftig effektivitet.

Placering /tværstrømnings- hastighed	Uden flange				Med flange			
	0,0 m/s	0,1 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s	0,0 m/s	0,1 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s
	1	U*	U*	U*	0,75	0,75	1,3	2,0
	1	U*	U*	U*	0,75	0,75	1,2	U*
	1	U*	U*	U*	0,75	0,75	U*0	U*
				U*	0,75			

U\* = "uhensigtsmæssig"

Tabel 6.6  $k_2$ -faktorer - de steder hvor betegnelsen "uhensigtsmæssig" er påført skyldes, at situationen i praksis er urealistisk. Det vil kræve uforholdsvist store luftstrømme.

Af tabellen ses det at tværstrømninger så vidt muligt bør undgås. Som det ses differentierer det nye grundlag mere fornuftig end det klassiske grundlag, hvor det hele hænger på et fornuftigt valg af  $v_x$ . Det nye grundlag kræver dog en vurdering (måling) af tværstrømningens størrelse.

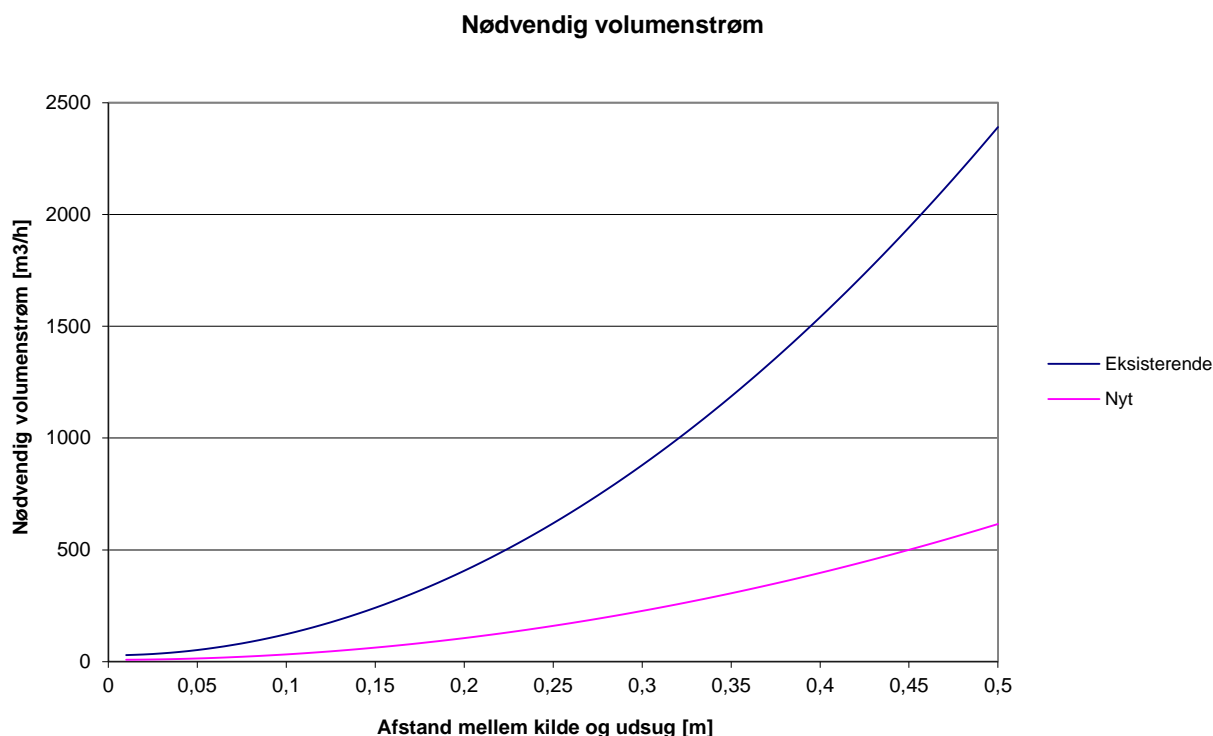


Tværrøsthastigheder i industrilokaler ligger typisk på niveauet 0,15 m/s.

Den maksimale afstand fra sugeåbningen og ud til forureningskildens bagkant, hvor grundlaget kan anvendes, er 0,6 m.

Hvis ovenstående grundlag anvendes korrekt er såvel udsugningseffektiviteten  $\eta_{\text{udsug}}$  som brugereffektiviteten  $\eta_{\text{bruger}}$  mindst 95%.

Forskellen mellem luftmængden beregnet ud fra metoderne i tabel 6.4 og ovenstående metode baseret på undersøgelserne på Teknologisk Institut er vist med nedenstående graf.



Figur 6.30 Nødvendig volumenstrøm ifølge eksisterende og nyt beregningsgrundlag. Udregningerne er foretaget ved et indløbsareal i udsuget på  $0,03 \text{ m}^2$  og gribehastigheden for det gamle grundlag er valgt ud fra SBI anvisning 106 til  $0,35 \text{ m/s}$ , hvor gribehastigheden i forbindelse med det nye beregningsgrundlag er sat til  $0,1 \text{ m/s}$ .

Som det ses af figuren er der især ved større afstande mellem forureningskilden og udsugningen væsentlige energisparemuligheder ved benyttelse af det nye beregningsgrundlag.

#### 6.3.4.2 Spalte- og push-pull'udsugning

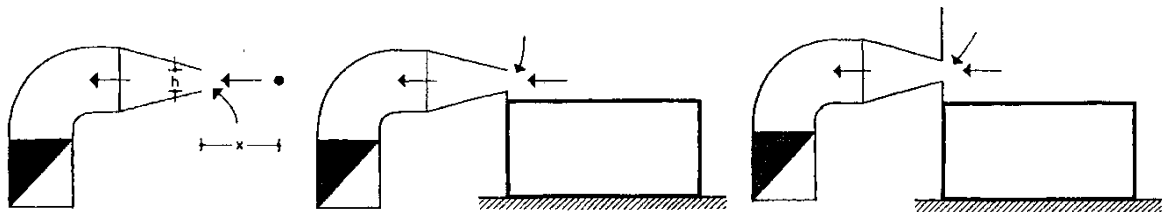
Spalte- og push-pull'udsugning anvendes i industriel sammenhæng i forbindelse med galvaniseringsanstalter og bejdsrier, dvs. bade til hærkning, bejdsning, affedning etc. samt i den grafiske industri ved trykkermaskiner. Desuden kan push-pull'princippet anvendes i forbindelse med maleprocesser.

Det mest almindelige udsugningsprincip ved bade er sugespalter, som enten kan være enkeltsgende eller dobbeltsgende. Den udsugede luftmængde skal være tilstrækkelig stor til at hastighedsfeltet kan nå ud i midten af badet ved dobbeltsugespalte og i hele badets bredde ved enkelt sugespalte. Den nødvendige udsugede luftmængde er forholdsvis stor fordi hastigheden  $v_x$  i afstanden  $x$  fra sugespalten afhænger af  $1/x$ . En stor besparelse kan opnås ved effektiv udnyttelse af impulsmængden fra en i indblæsningsstråle, der blæser hen over badets overflade.

Et sådant system, hvor der blæses fra den ene ende af badet og hen til den anden ende, hvor der suges betegnes et push-pull system. Nyere undersøgelser viser samstemmende, at der ved korrekt udformning og dimensionering af luftmængderne kan opnås store besparelser ved push-pull systemer i forhold til traditionelle sugespalter. Dette opnås uden reduktion i udsugningseffektiviteten. I det efterfølgende vil der først blive set på sugespalter og derefter push-pull princippet.

Ved en sugespalte forstås en rektangulær udsugningsåbning, hvor forholdet længde:højde er større end 10:1. Virkningen af en sugespalte kan forbedres ved flanger. Lufthastighederne i en given afstand fra sugespalten kan med de normale betegnelser bestemmes af formlerne beskrevet i de efterfølgende afsnit, hvor  $h$  generelt er spaltens højde og  $x$  generelt er afstanden fra spalten.

Enkelt-sidede sugespalter kan inddeles i tre principielt forskellige opbygning. En hvor sugespalten ikke har monteret en flange, en med en flange ned mod badet og en med flanger på begge sider.



For hver af de tre forskellige opbygninger findes et udtryk til bestemmelse af den nødvendige udsugede volumenstrøm og spaltehøjden. Begge disse tal bestemmes ud fra en oplysning om den nødvendige gribehastighed for det pågældende bad.

Udsugstype	Uden flange	Flange mod bad	Dobbeltflange
Nødvendig udsuget volumenstrøm pr. overfaldeareal af badet	$q_v = 4 \cdot v_x \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{0,2}$	$q_v = 3 \cdot v_x \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{0,2}$	$q_v = 2 \cdot v_x \cdot \left(\frac{B}{L}\right)^{0,2}$
Spaltehøjden	$h_0 = 4 \cdot B \cdot \frac{v_x}{v_0}$	$h_0 = 3 \cdot B \cdot \frac{v_x}{v_0}$	$h_0 = 2 \cdot B \cdot \frac{v_x}{v_0}$

Tabel 6.7 Nødvendig udsuget volumenstrøm og spaltehøjde for enkelt-sugende sugespalte. Spalten er henholdsvis uden flange, med flange mod bad og med dobbeltflange.

hvor  $v_x$  er gribehastigheden,  $B$  er badets bredde,  $L$  er badets længde og  $v_0$  er lufthastigheden i sugespaltens åbning.

Af udtrykkene i tabellen er den nødvendige udsugede volumenstrøm mindst når der er monteret dobbeltflanger på sugespalten. Grunden herfor må være den samme som gør sig gældende i forbindelse med almindelige udsug, hvor det blev vurderet at dette skyldes en større grad af indkapsling når der er monteret flanger. Af tabel \*. \* ses det ligeledes at spaltehøjden ligeledes bør være mindre, når der er monteret flanger på spalteudsug.

Forskellige processer der arbejdes med i badene stiller forskellige krav til gribehastigheder for at få al forureningen med. De i litteraturen anbefalede gribehastigheder er gengivet nedenfor.

Badets art	Gribehastighed, $v_x$ [m/s]
Hærdning	0,4
Bejdsning, kold	0,3
Bejdsning, varm	0,5
Affedtning	0,25
Galvanisering, krombad	0,4
Cadmiumbad	0,4
Vandbad, ikke kogende	0,2
Vandbad, kogende	0,4
Saltbad	0,2
Saltopløsning, ikke kogende	0,3
Saltopløsning, kogende	0,4

Tabel 6.8 Vejledende talværdier for gribehastigheden ved sugespalter over bade.

Som det ses af tabellen varierer de anbefalede gribehastigheder mellem 0,2 m/s og 0,5 m/s, hvor den anbefalede gribehastighed ligger i den lave ende, når der er tale om kolde bade og i den høje ende når der er tale om varme bade.

I forbindelse med design af sugespalter er det vigtigt at lufthastigheden i hele spalteåbningen er nogenlunde ens. Dette opnås (ifølge en håndregel) i tilstrækkelig høj grad, når hastigheden i udsugningskanalen højst er 30% af hastigheden i udsugningsåbningen. Der må altså gælde:

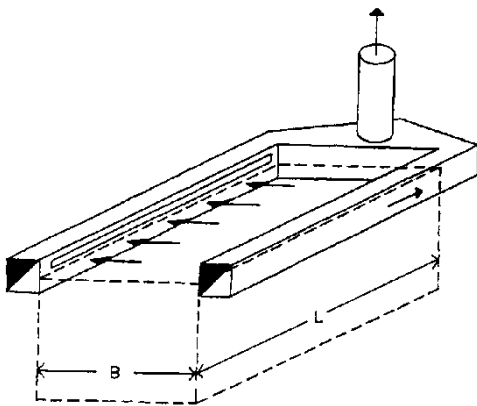
$$v_{\text{udsugningskanal}} < 0,3 \cdot v_0$$

Ovenstående udtryk betyder, at arealforholdet mellem kanalens tværsnitsareal  $A_{\text{udsugningskanal}}$  og sugespaltens åbningsareal kan opskrives som:

$$A_{\text{udsugningskanal}} > 3,5 \cdot A_{\text{spalte}}$$

### Dobbelt (modstående) sugespalter

Dobbelt (modstående) sugespalter svarer til enkelte sugespalter. Forskellen er blot at der ved dobbelt sugespalter suges i to af badets sider i stedet for kun en. Herved bliver afstanden mellem sugespalten og forureningen længst væk halveret, hvilket medfører at luftforbruget også kan mindskes. Et eksempel på dobbelt (modstående) sugespalter ses i figur 6.31.



Figur 6.31 To modstående sugespalter med flange (nemlig badet).

Ved dobbelt (modstående) sugespalter arbejdes der, ligesom ved enkelte sugespalter, med tre inddelinger. Disse tre inddelinger er:

- Sugespalter med ensidig flange (nemlig badet)
- Den ene sugespalte med ensidig flange (nemlig badet) og den anden sugespalte placeret langs en væg
- Sugespalter med dobbeltflange

Dimensioneringsudtrykkene for hver af de tre ovenstående tilfælde er vist i tabel \*.\*.

Udsugningstype	Ensidig flange mod bad	Ensidig flange og væg	Dobbeltflange
Nødvendig udsuget volumenstrøm pr. overfladeareal af badet	$q_v = 3v_x \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot L}\right)^{0,2}$	$q_v = 2,5v_x \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot L}\right)^{0,2}$	$q_v = 2v_x \cdot \left(\frac{B}{2 \cdot L}\right)^{0,2}$
Spaltehøjden	$h_0 = 3 \frac{B}{2} \cdot \frac{v_x}{v_0}$	$h_0 = 3 \frac{B}{2} \cdot \frac{v_x}{v_0}$	$h_0 = 2 \frac{B}{2} \cdot \frac{v_x}{v_0}$

Tabel 6.9 Nødvendig udsuget volumenstrøm og spaltehøjde for dobbelt modstående sugespalte. Spalten er med flange mod bad, ensidigflange og væg og med dobbeltflange.

For dobbelt (modstående) sugespalter gælder der ligesom for de enkelte sugespalter, at der opnås besparelser i den nødvendige udsugede volumenstrøm pr. areal badeoverflade, når der monteres flanger på sugespalterne. Tilsvarende gælder også for højden af sugespalterne.

De anbefalede gribehastigheder, der bør anvendes i forbindelse med dobbelt (modstående) sugespalter svarer til gribehastighederne ved de enkelte sugespalter, hvorfor værdierne i tabel 6.9 kan anvendes.

Det mindste areal for udsugningskanalerne, hvis der skal opnås et jævnt sug fra spalterne, kan ligesom for de enkelte sugespalter bestemmes ud fra formlen:

$$A_{\text{udsugningskanal}} > 3,5 \cdot A_{\text{spalte}}$$

idet der skal dog gøres opmærksom på at det kun er den halve  $q_v$  der skal benyttes ved beregningen, da der er to udsugningskanaler.

### Eksempel

Der tages udgangspunkt i et bad, hvor der er monteret en dobbelt sugespalte med flanger mod badet (kolonne 2 i tabel 6.9). Badet er fyldt med en ikke kogende saltopløsning og har følgende dimensioner  $B \cdot L$ :  $0,8 \text{ [m]} \cdot 1,5 \text{ [m]} = 1,2 \text{ [m}^2\text{]}$ . Gribehastigheden  $v_x$  vælges ud fra tabel 6.8 til  $0,3 \text{ m/s}$ , hvilket med udgangspunkt i udtrykket for den nødvendige volumenstrøm (spalter flanger mod bad) i tabel 6.9 giver følgende nødvendige volumenstrøm pr. overfladeareal af badet.

$$q_v = 3 \cdot v_x \cdot \left( \frac{B}{2 \cdot L} \right)^{0,2} = 3 \cdot 0,3 \cdot \left( \frac{0,8}{2 \cdot 1,5} \right)^{0,2} = 0,69 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^2 \text{ badoverflade}}$$

Den samlede nødvendige udsugede volumenstrøm  $q_{\text{samlet}}$  kan nu bestemmes som ovenstående volumenstrøm multipliceret med badets overfladeareal:

$$q_{\text{samlet}} = 0,69 \cdot 1,2 = 0,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Spaltehøjden  $h_0$  beregnes ligesom volumenstrømmen  $q_v$  ud fra udtrykket for et spalteudsug i tabel 6.9. For at kunne beregne spaltehøjden vælges lufthastigheden i spalteåbningen til  $v_0 = 10 \text{ m/s}$ .

$$h_0 = 3 \cdot \frac{B}{2} \cdot \frac{v_x}{v_0} = 3 \cdot \frac{0,8 \text{ m}}{2} \cdot \frac{0,3 \text{ m/s}}{10 \text{ m/s}} = 0,036 \text{ m}$$

For at sikre en nogenlunde ensformig luftfordeling i spalten, skal kanalens minimumsareal nu bestemmes.

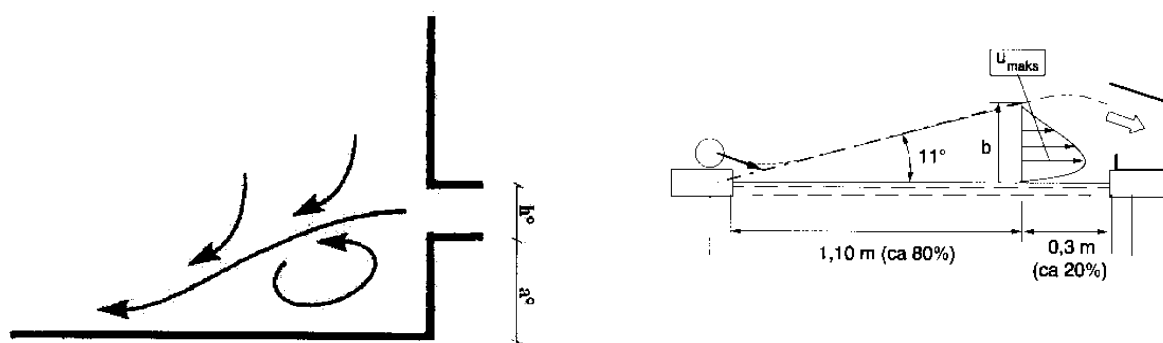
$$A_{\text{udsugningskanal}} > 3,5 \cdot A_{\text{spalte}} = 3,5 \cdot h_0 \cdot L = 3,5 \cdot 0,036 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} = 0,189 \text{ m}^2$$

Det har været svært at finde noget litteratur omkring sugespalter, der indeholder nyere beregningsgrundlag til bestemmelse af den nødvendige udsugede volumenstrøm. Der er dog udført nogle målinger på Teknologisk Institut, hvor effektiviteten af en sugespalte på et bord er undersøgt under forskellige forhold. De målinger indikerer at de dimensioneringsregler der er anført ovenstående har indbygget nogle ganske store sikkerhedsfaktorer. Det vil således formentlig være muligt at opnå tilstrækkelig udsugs- og brugereffektivitet ved anvendelse af lavere gribehastigheder end dem der anbefales i tabel 6.8.

#### 6.3.4.3 Udsugning efter push-pull princippet

Vandrette lufttæpper, såkaldte push-pull-systemer, anvendes ofte ved bade og i forbindelse med trykkerimaskiner for at beskytte omgivelserne mod forurenede dampe fra badets eller tryksagernes overflade. Opbygningen sker almindeligvis ved, at der f.eks. ved badets langside indblæses luft (med en række dyser eller en indblæsningsspalte, der skal dække hele badets

længde) hen over væskeoverfladen for derefter at blive udsuget gennem et kantudsug placeret langs den modsatte langside. Luftstrålen vil medrive rumluft under strømmingen mod udsugningsåbningen, og luftmængden i strålen ved udsuget vil derfor være væsentlig større end den indblæste luftmængde. Hvis indblæsningsspalten er placeret tæt på badets overflade, vil luften klæbe til væskeoverfladen, og der vil dannes en plan vægstråle. Hvis spalten er placeret i en vis afstand fra overfladen, vil der dannes en recirkulerende strømning mellem strålen og overfladen. Medrivning af luft vil dog i begge tilfælde kun ske fra omgivelserne. Alle disse forhold er illustreret i figur \*.\*.\*.



Figur 6.32 Strømningsforhold omkring en plan stråle tæt ved en flade. Der kan opstå en Coanda-effekt så længe  $a_0 < 30 \dots 50 \cdot h_0$ <sup>7</sup>.

Den midterste og længste pil i figur 6.32 viser hovedstrømningen ud fra dysen/indløbet. Det ses at strålen ligger til den horisontale flade et stykke efter den er kommet ud af dysen. Dette forhold kaldes Coanda-effekten. Coanda-effekten opstår normalt kun når  $a_0$  i figuren er mindre 30–50 gange dysehøjden  $h_0$ .

Push-pull princippet anvendes ofte i forbindelse med bade, hvor der emitteres giftige gasser. Hvis der er større emner, der hæves og sænkes op af og ned i badet vil emnet bryde indblæsningsstrålen, og i de perioder hvor indblæsningsstrålen er brudt mindskes ventilationseffektiviteten normalt betydeligt.

Designgrundlaget holder for tværstrømninger under 0,15 m/s. Ved højere tværstrømninger bør den anbefalede hastighed  $v_x$  korrigeres. Forsøgene viste, at den optimale udsugningseffektivitet opstår, når udsugningsluftmængden er lig med indblæsningsluftmængden i afstanden:

$$x = 0,8 \cdot B$$

Den udsugede luftmængde og dermed energiforbruget mindskes mest muligt når bredden  $B$  er så lille som muligt.

En af ulemperne ved push-pull er, at store objekter vil afbryde indblæsningsstrålen, når de sænkes ned i eller løftes op af badet og derved ødelægge systemets funktion. I tilfælde, hvor

<sup>7</sup> Recknagel Sprenger Schramek: "Taschenbuch für Heizung + Klima Technik 2000", 1999, ISBN 3-486-26215-7

store emner hejses op, vil der fordampe store mængder forurening til lokalet. Push-pull systemet kan stadigvæk bruges med et reduceret energiforbrug til følge; men der må mellem væskeoverfladen og push-pull systemet skabes et luftmellemrum eller afdrypningskammer, hvor emnet kan hænge indtil emnet er tørt nok til at blive hejst ud i selve lokalet.

Luftstrålen vil forøge hastigheds- og turbulensniveauet ved væskeoverfladen og derved fordampningen og varmetabet fra varme bade. I nogle situationer kan den fordampede mængde i sig selv udgøre et økonomisk problem.

Fremgangsmåde ved dimensionering af push-pull princip:

1. Fastlæg den ønskede indblæsningshastighed fra indblæsningsspalten/-dysen, idet der tages udgangspunkt i det anbefalede interval for indblæsningshastigheden på 5–10 m/s. Det anbefales, at benytte en indblæsningshastighed på 7,5 m/s, svarende til midten af det anbefalede interval
2. Fastlæg indblæsningsspaltehøjden  $h_0$ , idet  $v_{maks, 80\%}$  er den maksimale hastighed i 80% af badets bredde
3. Fastlæg den indblæste luftmængde ud fra indblæsningshastigheden, indblæsningsspaltens højde  $h_0$  og længde  $L$
4. Udregn luftmængden i indblæsningsstrålen i en afstand på 80% af bredden
5. Bestem den nødvendige udsugede luftmængde som indblæsningsluftmængden i en afstand på 80% af bredden med et tillæg på 30% til 40%
6. Bestem udsugsspaltens højde  $h_{udsugsspalter}$  som badets bredde ganget med 0,3.

Formlen til bestemmelse af indblæsningsspaltehøjden  $h_0$  er:

$$h_0 = 0,056 \frac{v_{maks, x=80\%}^2}{v_0^2} B [m]$$

Bliver spaltehøjden  $h_0$  mindre end 5 mm tilpasses lufthastigheden i spalten  $v_0$  ind til kravet er opfyldt.

Formlen til bestemmelse af luftmængden i indblæsningsstrålen i en afstand på 80% af badets bredde er:

$$q_{(x=0,8 \cdot B)} = 0,147 \cdot v_x \cdot 0,8 \cdot B \cdot L [m^3/s]$$

hvor det anbefales at hastigheden  $v_x$  tages fra nedenstående tabel \*.\* (der vælges normalt  $v_x: 0,7$  m/s for at være på den sikre side), når tværstrømningen er under 0,15 m/s.

Den nødvendige udsugede luftmængde kan nu bestemmes som:

$$q_{ud} = q_{(x=0,8 \cdot B)} \cdot (1,3 \dots 1,4) [m^3/s]$$

Designgrundlaget holder for tværstrømninger under 0,15 m/s. Ved højere tværstrømninger bør den anbefalede hastighed  $v_x$  korrigeres.

Den udsugede luftmængde og dermed energiforbruget mindskes mest muligt når bredden  $B$  af badet er så lille som muligt.

### Eksempel - push-pull system

Et bad har dimensionerne B·L: 1,75 m · 0,9 m. Et push-pull system til badet ønskes dimensioneret således at  $h_0$  [m],  $v_0$  [m/s],  $q_{\text{indblæsning}}$  [m<sup>3</sup>/s] og  $q_{\text{udsugning}}$  [m<sup>3</sup>/s] fastlægges. Det vælges at anvende den anbefalede indblæsnings hastighed på 7,5 m/s, svarende til midten af det anbefalede interval på 5 m/s til 10 m/s. Desuden vælges det at anvende en gribehastighed på 0,7 m/s i en afstand på 80% af badets bredde. Spaltehøjden på indblæsningsåbningen kan nu bestemmes til:

$$h_0 = 0,056 \frac{v_{\text{maks}, x=80\%}^2}{v_0^2} B = 0,056 \frac{(0,7 \text{ m/s})^2}{(7,5 \text{ m/s})^2} \cdot 1,75 \text{ m} = 0,85 \text{ mm}$$

hvor  $v_{(x=0,8B)} = 0,7 \text{ m/s}$ ,  $B = 1,75 \text{ m}$  og  $v_0$  er valgt til 7,5 m/s.

Idet det viser sig at spaltehøjden er under 1 mm anbefales det at nedsætte indblæsnings hastigheden i spalten indtil en spaltehøjde på 5 mm opnås. Der forsøges nu med indblæsnings hastigheden 3,0 m/s.

$$h_0 = 0,056 \frac{v_{\text{maks}, x=80\%}^2}{v_0^2} B = 0,056 \frac{(0,7 \text{ m/s})^2}{(3,0 \text{ m/s})^2} \cdot 1,75 \text{ m} = 5,3 \text{ mm}$$

Med udgangspunkt i spaltehøjde  $h_0$ , badets længde og indblæsnings hastigheden kan den indblæste volumenstrøm bestemmes til:

$$q_{\text{ind}} = (h_0 \cdot L) \cdot v_0 = (0,0053 \cdot 0,9) \cdot 3,0 = 0,01431 \text{ m}^3/\text{s} = 52 \text{ m}^3/\text{h}$$

For at kunne bestemme den nødvendige udsugede volumenstrøm skal volumenstrømmen i afstanden  $x = 0,8 \cdot B = 1,4 \text{ m}$  først bestemmes:

$$q_{(x=0,8B)} = 0,147 \cdot v_x \cdot 0,8 \cdot B \cdot L = 0,147 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1,75 \cdot 0,9 = 0,130 \text{ m}^3/\text{s}$$

Den nødvendige udsugede volumenstrøm bestemmes nu som volumenstrømmen i afstanden  $x = 1,4 \text{ m}$  med et tillæg på 40%:

$$q_{\text{ud}} = q_{(x=1,4)} \cdot 1,4 = 0,130 \cdot 1,4 = 0,18 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 653 \text{ m}^3/\text{h})$$

Udsugningsspaltens højde bestemmes nu som  $0,3 \cdot B$ :

$$h_{\text{udsugsspalte}} = 0,3 \cdot 1,75 \text{ m} = 0,53 \text{ m}$$

### Eksempel - Dobbelt sugende spalte med tosidig flange

Et bad med en ikke kogende saltopløsning har følgende dimensioner B·L: 0,8 m·1,5 m = 1,2 m<sup>2</sup>. Gribehastigheden  $v_x$  vælges ud fra tabel til 0,3 m/s, hvilket giver følgende nødvendige udsugede volumenstrøm:

$$q_v = 2 \cdot v_x \left( \frac{B}{2 \cdot L} \right)^{0,2} = 2 \cdot 0,3 \cdot \left( \frac{0,8}{2 \cdot 1,5} \right)^{0,2} = 0,46 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^2} \quad \left( = 1,658 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2} \right)$$

Med badets overfladeareal på 1,2 m<sup>2</sup> bliver den samlede nødvendige volumenstrøm:

$$q_{\text{samlet}} = 0,46 (\text{m}^3/\text{s})/\text{m}^2 \cdot 1,2 \text{ m}^2 = 0,55 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 1,990 \text{ m}^3/\text{h})$$



Spaltehøjden  $h$  beregnes af følgende formel, idet hastigheden i sugespalten  $v_0$  sættes til 10 m/s:

$$h = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{v_x}{v_0} = 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot \frac{0,3 \text{ m/s}}{10 \text{ m/s}} = 0,02 \text{ m}$$

### Eksempel - Dobbelt sugende spalte med ensidig flange

Et bad med en ikke kogende saltopløsning har følgende dimensioner  $B \cdot L$ :  $0,8 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^2$ . Gribehastigheden  $v_x$  vælges ud fra tabel 6.2.3a til 0,3 m/s, hvilket giver følgende nødvendige udsugede volumenstrøm:

$$q_v = 3 \cdot v_x \left( \frac{B}{2 \cdot L} \right)^{0,2} = 3 \cdot 0,3 \cdot \left( \frac{0,8}{2 \cdot 1,5} \right)^{0,2} = 0,69 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^2} \quad \left( 2,487 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2} \right)$$

Med badets overfladeareal på  $1,2 \text{ m}^2$  bliver den samlede nødvendige volumenstrøm:

$$q_{\text{samlet}} = 0,69 (\text{m}^3/\text{s})/\text{m}^2 \cdot 1,2 \text{ m}^2 = 0,83 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 2,985 \text{ m}^3/\text{h})$$

Spaltehøjden  $h$  beregnes af følgende formel, idet hastigheden i sugespalten  $v_0$  sættes til 7,5 m/s:

$$h = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot x \cdot \frac{v_x}{v_0} = 3 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,8 \text{ m} \cdot \frac{0,3 \text{ m/s}}{7,5 \text{ m/s}} = 0,05 \text{ m}$$

### Eksempel - Enkelt sugende spalte med tosidig flange

Et bad med en ikke kogende saltopløsning har følgende dimensioner  $B \cdot L$ :  $0,8 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m} = 1,2 \text{ m}^2$ . Gribehastigheden  $v_x$  vælges ud fra tabel 6.2.3a til 0,3 m/s, hvilket giver følgende nødvendige udsugede volumenstrøm:

$$q_v = 2 \cdot v_x \left( \frac{B}{L} \right)^{0,2} = 2 \cdot 0,3 \cdot \left( \frac{0,8}{1,5} \right)^{0,2} = 0,53 \frac{\text{m}^3/\text{s}}{\text{m}^2} \quad \left( 1,905 \frac{\text{m}^3/\text{h}}{\text{m}^2} \right)$$

Med badets overfladeareal på  $1,2 \text{ m}^2$  bliver den samlede nødvendige volumenstrøm:

$$q_{\text{samlet}} = 0,53 (\text{m}^3/\text{s})/\text{m}^2 \cdot 1,2 \text{ m}^2 = 0,64 \text{ m}^3/\text{s} \quad (= 2,286 \text{ m}^3/\text{h})$$

Spaltehøjden  $h$  beregnes af følgende formel, idet hastigheden i sugespalten  $v_0$  sættes til 15 m/s:

$$h = 2 \cdot x \cdot \frac{v_x}{v_0} = 2 \cdot 0,8 \text{ m} \cdot \frac{0,3 \text{ m/s}}{15 \text{ m/s}} = 0,03 \text{ m}$$

## 7 Cases

### 7.1 Virksomheder

#### 7.1.1 Fertin Pharma

Der er gennemført en gennemgang af samtlige større produktionsanlæg på virksomheden med det formål at identificere støvende og/eller varmeafgivende processer, der kunne være interessante at behandle i sammenhæng med dette projekt. Der er på den baggrund udvalgt nedenstående processer, der alle har det til fælles at arbejdsmiljøet er forringet som følge af støv fra processerne.

- 1) Blanding af nikotin i tyggegummimasse samt udtagning af masse
- 2) Afvejning af nikotinpulver

De to processer samt de udsugningsmæssige karakteristika er beskrevet i det følgende.

I et større lokale er der opstillet en mikser, der har til opgave at producere tyggegummimasse samt derefter at blande massen med nikotinpulver. Ingredienserne til fremstilling af tyggegummimassen tilsættes mikseren gennem rør- og kanalforbindelser, mens tilsætning af nikotinpulver sker manuelt ved at en operatør tilsætter en afmålt mængde pulver efter at mikseren er åbnet. Efter tilsætningen af nikotinpulveret lukkes mikseren igen og pulveret blandes ind i tyggegummimassen. Når tyggegummimassen er færdigblandet udtages den manuelt af mikseren, idet den manuelt deles i stykker af passende størrelse der placeres i vogne der køres videre til produktionen af de færdige tyggegummistykker. Der er kraftig støvudvikling både under tilsætningen af nikotinpulveret og især under udtagningen af den færdigæltede masse. Under

udtagningen pudres vognene med talkum ligesom der hældes talkum på tyggegummistykkerne inden de lægges i vognene, og det er denne talkum der forårsager støvdannelsen under udtagningen. Der er placeret et punktsug i den ene side ved overkanten af åbningen til mikseren. Ved besigtigelsen af anlægget var den udsugede luftmængde gennem punktsuget meget begrænset, idet suget stort set var ude af drift. Men selv hvis luftmængden havde været som planlagt ville punktsuget have været næsten virkningsløst i forhold til den massive støvudvikling og ikke mindst på grund af afstanden til støvkilden. I forbindelse med besigtigelsen blev der udført støvmålinger i rummet, hvor mikseren er placeret. Målingerne viste, at støvkonzentrationen i rumluften steg kraftigt under påfyldning af nikotinpulveret, og under udtagningen af den færdigblandede tyggegummimasse var støvmængden så stor at den var udenfor instrumentets måleområde.

For at effektivisere udsugningen og dermed begrænse støvgenerne for personalet mest muligt, er det foreslået at etablere en skærm monteret på mikserens overkant og som er lukket ned mod mikseren i enderne. Herved kan mikseren både åbnes og betjenes som hidtil, men effektiviteten af udsugningen er kraftigt forøget da kilden på den måde er indkapslet fra tre sider



(overkant og begge sider), se figur. Der er udsugning i hele skærmens bredde. Virksomheden har selv udført og monteret den foreslåede skærm ud fra en tegning, der er udarbejdet i forbindelse med projektet. Skærmen vil kunne reducere støvgenerne fra tilsætningen af nikotinpulveret, mens den ikke vil kunne reducere støvgenerne fra talkumpåføringen. Der er ikke med udgangspunkt i den eksisterende produktionsmetode med manuel udtagning af den færdigblandede tyggegummimasse identificeret muligheder for at reducere støvgenerne fra talkummet i nævneværdig grad. Bortset fra at talkummet er irriterende antages det dog for at være uskadeligt, mens nikotinpulveret må anses for sundhedsskadeligt.

I et mindre lukket lokale foretages der afvejning af nikotinpulver. Pulveret tages fra sække med en lille skovl, og hældes i en bakke anbragt på en præcisionsvægt. Efter afvejning hældes pulveret fra bakken og i en lille tromle, der lukkes for transport. For at sikre arbejdsmiljøet ventileres rummet med en luftmængde på ca. 7.000 m<sup>3</sup>/h, der blæses ind gennem armaturer monteret i loftet og suges ud gennem perforerede plader i den ene væg, se billede. Den eksisterende udsugning er trods den store luftmængde utilstrækkelig, da støv fra afvejningsprocessen spredes i hele lokalet.

For at effektivisere udsugningen samt sikre at støv fra afvejningen holdes i en begrænset del af rummet er det foreslået at der etableres en kabine/afdækning i rummet. Kabinen etableres som en afdækning fra gulv til loft, der er helt åben i fronten i et areal på f.eks. B\*H: 1,5 \* 2 meter, så det er muligt at have sækkene med pulver stående enkeltvis i kabinen efterhånden som de bruges. Herved foregår alle støvende operationer i kabinen, og der er ikke behov for ventilation af den restende del af lokalet udover den luftmængde der trækkes ind i kabinen af udsuget fra kabinen. Udsuget sker fortsat gennem de perforerede plader der inde i kabinen, mens de perforerede plader udenfor kabinen erstattes med almindelige plader. Der er skal være en lufthastighed i kabinens åbningsareal på ca. 0,5 m/s, svarende til ca. 5.400 m<sup>3</sup>/h, for at sikre mod at der kommer støv ud af kabinen. Ved at etablere den foreslåede kabine kan luftmængden således reduceres betydeligt samtidig med at udsugningen bliver langt mere effektiv, så de nuværende gener som følge af spredningen af støv undgås.



## 7.1.2 Haldor Topsøe

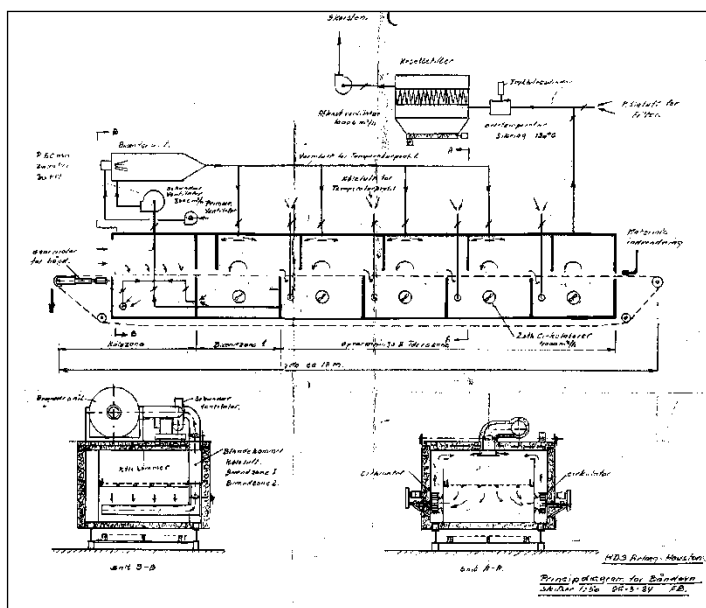
### 7.1.2.1 Afdeling P1 – Udsugning fra CAM'ovnen

I afdeling P1 er opstillet en båndovnen, hvori der tørres ekstrudater af et keramisk materiale. Når ekstrudaterne tilføres ovnen har de et tørstofindhold på ca. 50% og når de forlader ovnen er tørstofindholdet ca. 94-96%. Der er vist en tegning af ovnen med figur \*.\*. Ekstrudaterne fordeles jævnt på ovenbåndet med en fordele i takt med at det ekstruderes. Båndet bevæger sig langsomt ind gennem ovnen. Opholdstiden i ovnen er knapt 1 time. Luften i ovnen bevæger sig primært oppe fra og ned gennem båndet. Dette opnås ved recirkulationsblæsere, der suger fra nederste kammerhalvdel under båndet og leder luften ind i toppen af kammeret over båndet. Her opblandes gassen med varmere gas som tilføres gennem et fordelerrør fra brænderen. Samtidig med den primære luftretning ned gennem båndet sker der en sekundær bevægelse af luften i modstrøm med båndet. Modstrømsprincippet opnås ved at nederste kammer er forskudt i forhold til øverste, således at cirkulationsventilatorerne der har indblæsning i et kammer delvist suger fra det efterfølgende kammer (set i forhold til båndets bevægelsesretning). Det meste af vandet i materialet damper af i den kolde ende af ovnen, hvor aftræk-

ket fra ovnen findes. I de sidste to tørrekamre er afdampningen meget begrænset. Her frigøres en del af det kemisk bundne vand, således at materialet forlader båndovnen med et vandindhold på 4-6%. Brænderen reguleres således at der opnås en ønsket gastemperatur i det næstsidste tørrekammer på omkring 450-500°C. En del luft fra undersiden af båndet i de to sidste tørrekammer recirkuleres som sekundærluft til brænderen sammen med den forvarmede køleluft som forinden har nedkølet materialet ved udgangen af båndovnen. Der skal være undertryk i ovnen, så der ikke emitteres dampe og støv fra tørrebåndovnen til omgivelserne. Undertrykket i ovnen opretholdes med blæser 845-K-471 der er placeret efter filter A-471. Blæseren er en JHM type DAT500-45R-50%, der er udrustet med en motor med 2.955 omdr./min.. Blæseren drives via et kileremstræk med 3.170 omdr./min. ved maksimal motorhastighed. Blæsermotoren er blevet udrustet med frekvensomformer i november 2011, og denne var ved besigtigelsen fast indstillet til 75%, svarende til 37,5 Hz, så blæseren kørte med 2.378 omdr./min.. Driftsoperatører indstiller frekvensomformeren manuelt på CTS'anlægget. Effektoptaget til blæsermotoren målt til ca. 7,75 kW. Ud fra blæserkarakteristikken ses, at blæseren ydede et flow på ca. 4.500 m<sup>3</sup>/h ved et tryk på ca. 3.200 Pa under besigtigelsen. Blæserens virkningsgrad kan beregnes til ca. 60%, hvilket er acceptabelt.

Undertrykket i ovnen sikres ved at foretage afsuget gennem en afkastkanal placeret i ovenns indløbsende. Undertrykket indstilles af driftsoperatørerne og reguleres automatisk ud fra det indstillede setpunkt af et spjæld placeret i afkastkanalen. På sigt er det planen at både ovennævnte frekvensomformer og reguleringsspjældet skal regulere automatisk, så trykstigningen over blæseren minimeres og energiforbruget holdes så lavt som muligt.

Setpunktet for undertrykket i afkastkanalen indstilles som nævnt manuelt af driftsoperatørerne, og ved de besigtigelser der er foretaget af ovnen har setpunktet været henholdsvis -22 mmVs, -25 mmVs og -30 mmVs. Undertrykket forekommer umiddelbart at være ret højt og det blev derfor besluttet at efterprøve om det er nødvendigt at holde et så højt undertryk for at sikre mod at der undslipper dampe fra ovnen. Der er foretaget målinger af det statiske undertryk i udløbsåbningen i forhold til omgivelserne, det dynamiske tryk over udløbsåbningen samt lufthastigheden i udløbsåbningen. Det antages, at hvis et givet setpunkt for undertrykket i afkastkanalen sikrer tilstrækkelig lufthastighed ind gennem udløbsåbningen vil hastigheden i indløbsåbningen ligeledes være tilstrækkelig, da afkastkanalen og dermed det kraftigste sug sker i umiddelbart nærhed af indløbsåbningen. Foruden de førnævnte målinger er der udført røgforsøg både ved indløbs- og udløbsåbningerne for at se om der passende luftbevægelse. Generelt vil en lufthastighed på 0,5 m/s eller derover sikre at der ikke undslipper dampe ud



Figur 7.1 Skitse af CAM ovnen i P1.

gennem en åbning. I de forsøg der er foretaget med ovnen er det derfor tilstræbt at lufthastigheden er 0,5 m/s eller derover i alle positioner i udløbsåbningen.

Der er udført en forsøgsrække hvor setpunktet for undertrykket i afkastkanalen successivt er reduceret i step af 5 mmVs. Under den første forsøgsrække (07.12.2011) var ovnen varm og klar til brug, men der foregik ikke produktion. Under anden forsøgsrække (08.12.2011) var ovnen i brug. Resultaterne fra målingerne er vist nedenstående.

Måleserie	Setpunkt for undertryk i afkast [mmVs]	$\Delta P_{\text{statisk}}$ [Pa]	$\Delta P_{\text{dynamisk}}$ [Pa]	Målt lufthastighed [m/s]	Beregnet lufthastighed [m/s]
07.12.11 - u. produktion	-22	54	46	6	8,76
	-15	45	36	6,4	7,75
	-10	37	29	5,7	6,95
08.12.11 - m. produktion	-25	30	-	3	-
	-20	23	-	1,5	-
	-15	19	-	0,75	-

Tabel 7.1 Målinger på CAM ovnen.

Mens der ikke var produktion var det muligt at måle det dynamiske tryk ved ovnens udløbsåbning og derved få data til beregning af lufthastigheden i åbningen, mens lufthastigheden under produktion udelukkende er målt med et glødetrådsanemometer. Det ses, at der er væsentlig forskel på hastigheden i udløbsåbningen ved fastholdt undertryk i afkastkanalen om der er produktion eller ovnen ikke anvendes. Desuden ses det at ved den givne produktion (ca. 50% af fuld kapacitet) er et setpunkt for undertrykket i afkastkanalen på 15 mmVs tilstrækkeligt. De udførte forsøg og målinger giver anledning til følgende bemærkninger:

- Det nødvendige undertryk i afkastkanalen afhænger tilsyneladende i væsentlig grad af den produktmængde der tilføres ovnen, - jo større produktmængde des større undertryk er nødvendigt
- Lufthastigheden i udløbsåbningen (og dermed givetvis ligeledes indløbsåbningen) varierer betydeligt både i forhold til position i åbningen og over tid. Der er tilsyneladende en betydelig turbulens i ovnens udløbssektion.

Det antages, at det er muligt at reducere undertrykket i afkastkanalen betydeligt i forhold til det nuværende setpunkt på ca. -25 mmVs (-30 mmVs ved en besigtigelse d. 20.09.2011), og derved reducere den luftmængde der trækkes ind gennem ovnens åbninger med unødigt varmetab og elforbrug til afkastblæseren til følge. Det er beregnet, at der i alt suges ca. 2.900 Nm<sup>3</sup>/h luft ind i ovnen gennem åbningerne, når setpunktet under en produktion svarende til under målingerne er sat til -25 mmVs. Hvis setpunktet havde været -15 mmVs i stedet ville luftmængden have været ca. 700 Nm<sup>3</sup>/h, hvilket vil medføre nedenstående omtrentlige reduktioner:

tion i energiforbruget idet det antages at energibesparelsen er den samme uanset om der produceres på ovnen eller ej.

#### Gasbesparelse

$$(2.900 - 700) \text{ Nm}^3/\text{h} / 3.600 * 1,2 \text{ kg/Nm}^3 * 1,009 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} * (120 - 20)^\circ\text{C} = 74 \text{ kW}$$

$$74 \text{ kW} / 11 \text{ kWh/Nm}^3_{\text{naturgas}} = 6,7 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$6,7 \text{ Nm}^3/\text{h} * 8.760 \text{ h/år} = 58.700 \text{ Nm}^3/\text{år}$$

#### Elbesparelse

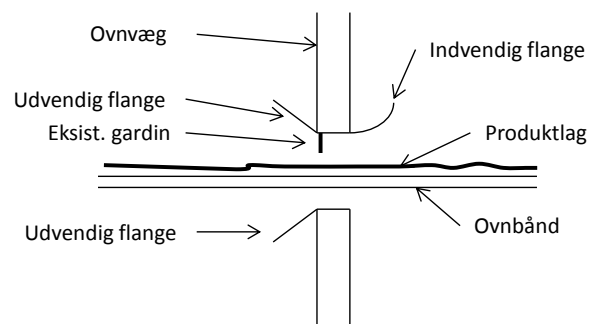
$$((2.900 - 700) \text{ Nm}^3/\text{h} * 3.200 \text{ Pa}) / (3600 * 0,60 * 0,98 * 0,92) / 1.000 = 3,6 \text{ kW}$$

$$3,6 \text{ kW} * 8.760 \text{ h/år} = 31.700 \text{ kWh/år}$$

Den samlede gas- og elbesparelse svarer til en reduktion i energiomkostningerne på ca. 250.000 kr. årligt.

Da det nødvendige undertryk i afkastkanalen som nævnt afhænger af produktmængden der tilføres ovnen foreslås det, at der monteres tryktransmittere i ovnens indløbs- og udløbssektioner som styrer undertrykket i afkastkanalen, så der til stadighed er et passende undertryk i disse sektioner der sikrer mod emissioner fra ovnen til omgivelserne.

Indløbs- og udløbsåbningerne er udformet som skarpkantede (firkantede) åbninger, som ikke er særlig velegnede til at indfange dampe der er trængt ud af åbningen eller sikre mod at turbulensen i ovnrummet blæser luft fra ovnen ud gennem åbningerne. Nedenstående er der skitseret et tværsnit i en åbning, hvor der er monteret en udvendig flange der medvirker til at indfange emissioner der er udenfor åbningen, samt en indvendig flange der modvirker at den turbulente luftbevægelse i ovnrummet som følge af recirkulationsblæserne. De ydre flanger afskærmer åbningen og skaber en homogen strømning mod åbningen, mens den indre flange bryder den nedadgående luftbevægelse langs ovnsiden mod åbningen.



Umiddelbart før blæseren er der et manuelt betjent reguleringsspjæld. Spjældet står ca. halvt åbent og tryktabet over spjældet er ret begrænset, formentlig få hundrede Pascal. Men spjældet bør under alle omstændigheder åbnes helt, så tryktabet elimineres og muliggør at blæserhastigheden og dermed energiforbruget kan reduceres.

Fabrikken har i alt 11 ovne af den type der er undersøgt, og udsugningen fra alle ovnene styres på samme måde som på den undersøgte ovn. Derfor vil erfaringerne og resultaterne fra CAM ovnen kunne overføres til de øvrige ovne på fabrikken.

#### **7.1.2.2 Afdeling M - Udsugning fra kølepannen**

I afdeling M hos Haldor Topsøe Frederikssund foretages der udsugning fra en smelteproces, hvor flydende jern tappes ud på en kølepande (se billede). Kølepanden er ca. 4 meter i diameter og der ledes ca. 2,3 ton jern ud på kølepanden af gangen. Jernet afkøles i ca. én time, hvorefter det størknede jern fjernes ved at panden tippes og jernet glider af kølepanden. Over kølepanden er der ophængt en sugehov (skærm) der udsuger gasserne der opstår ved tapningen, og efterfølgende modtager og fjerner varmen fra jernet mens det afkøles. Udsugningen fungerer efter modtagerprincippet, idet gasserne fra tapningen og varmen fra afkølingen stiger op i skærmen som følge af den kraftige termik fra den varme jernoverflade. I skærmen er der monteret et fletværk af jernringe for at skabe en stor overflade i skærmen for derved at beskytte den mod den termiske belastning.



Udsugningen fra skærmen over kølepanden foretages af to identiske MZ Aspiratori RU1000/4 blæsere, der hver er udrustet med en 45 kW motor med 1.480 omdr./min.. Motorerne er direkte monterede og kapaciteten af blæsere styres med frekvensomformere. De to blæsere er i drift samtidig.

Ved en besigtigelse er den optagne motoreffekt for hver blæser målt til ca. 36,7 kW, og blæsere er sat til at køre med et fast omløbstal på 90% af maksimum, dvs. blæsere kørte med ca. 1.325 omdr./min.. Udfra blæserkarakteristikken ses, at de to blæsere hver havde en ydelse på ca. 47.000 m<sup>3</sup>/h ved et totaltryk på ca. 1.350 Pa. Det betyder, at de to blæsere havde en virkningsgrad i det aktuelle driftspunkt på ca. 52%, hvilket anses for ringe. Blæsere er ikke velegnede til de nuværende driftskonditioner, da de er beregnet højere tryk og mindre luftmængde. Blæsere er fra 2010 og dermed relativt nye. Men hvis den nuværende drift af blæsere K-812/813 fortsættes uændret vil det formentlig være rentabelt at skifte til blæsere (eller til nye blæserhjul i de nuværende blæsere hvis det er muligt), der er beregnet til den aktuelle luftmængde og trykydelse. Hvis de tiltag der er foreslået nedenstående gennemføres bliver energibesparelsen ved at skifte blæsere lille, og denne mulighed er ikke længere rentabel.

Efter blæsere føres afkastet fra kølepanden sammen med afkastet fra sigteriet og blanderen etc. i settlingskammeret, hvorfra det ledes til det fri. Begge blæsere K-812/813 er konstant i drift.

Der er udført en række registreringer og målinger af udsugningen fra kølepanden, for at undersøge om den nuværende udsugning er optimal eller kan forbedres. På baggrund af de udførte målinger vurderes det at skærmen over emhætten fungerer udmærket og der ikke undslipper gasser fra kølepanden hverken i forbindelse med tapningen eller den efterfølgende afkøling af jernpladen. Det vurderes ligeledes at skærmen har passende udformning og anvendes på en udmærket måde i forhold til at beskytte personalet mod gasser og termisk belastning. Under tapningen sænkes skærmen til ca. ½ meter over panden, hvilket betyder at der er et vist strålingsareal fra overfladen af det udstøbte jern til omgivelserne. Men det vurderes at det ikke er hensigtsmæssigt at sænke skærmen yderligere, da lufthastigheden i periferien mellem skærmen og kølepanden allerede er betydelig og ikke kan reduceres pga. temperaturen af den udsugede luft.

Som anført ovenstående er blæserne K-812/813 konstant indkoblede med fast omløbstal på 90% af maksimum, hvilket som nævnt giver en luftmængde fra skærmen over kølepannen på ca. 94.000 m<sup>3</sup>/h. Den nødvendige udsugede luftmængde fra skærmen over kølepannen kan beregnes ud fra formelen om punkt-/vandtretliggende varmekilder.

$$q_v = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{K \cdot P_{varme}} \cdot (x + x_{pol})^{5/3}$$

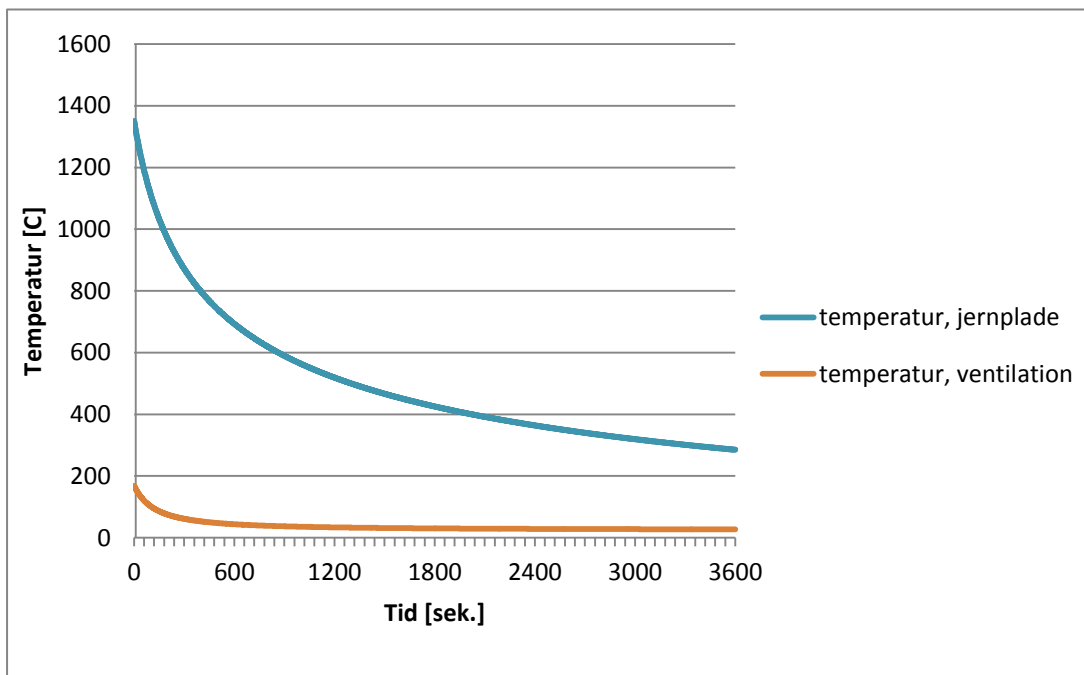
hvor:

$q_v$ :	nødvendig luftmængde [m <sup>3</sup> /s]
$K$ :	kildetype [-]
$P_{varme}$ :	varmeeffekt [W]
$x$ :	afstand mellem varmekilde og sugenhov (skærm) [m]
$x_{pol}$ :	diameter af varmekilde [m]

$$q_v = 5,5 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt[3]{0,3 \cdot 4.000.000} \cdot (0,5 + 4,0)^{5/3} = 7,17 \text{ m}^3/\text{s} = 25.800 \text{ m}^3/\text{h}$$

idet kildetypekonstanten er sat til 0,3 og den momentant afsatte effekt når smelten hældes ud på panden er sat til 4,0 MW. En luftmængde på ca. 26.000 m<sup>3</sup>/h er formentlig tilstrækkelig til at sikre en passende udsugning over panden, så det sikres at gasser og varme ikke undslipper udsugningen. Men den udsugede luft vil blive over 400°C varm i starten og det er ikke hensigtsmæssigt.

Der er med udgangspunkt i en energibalance over jernpladens omtrentlige nedkølingsforløb



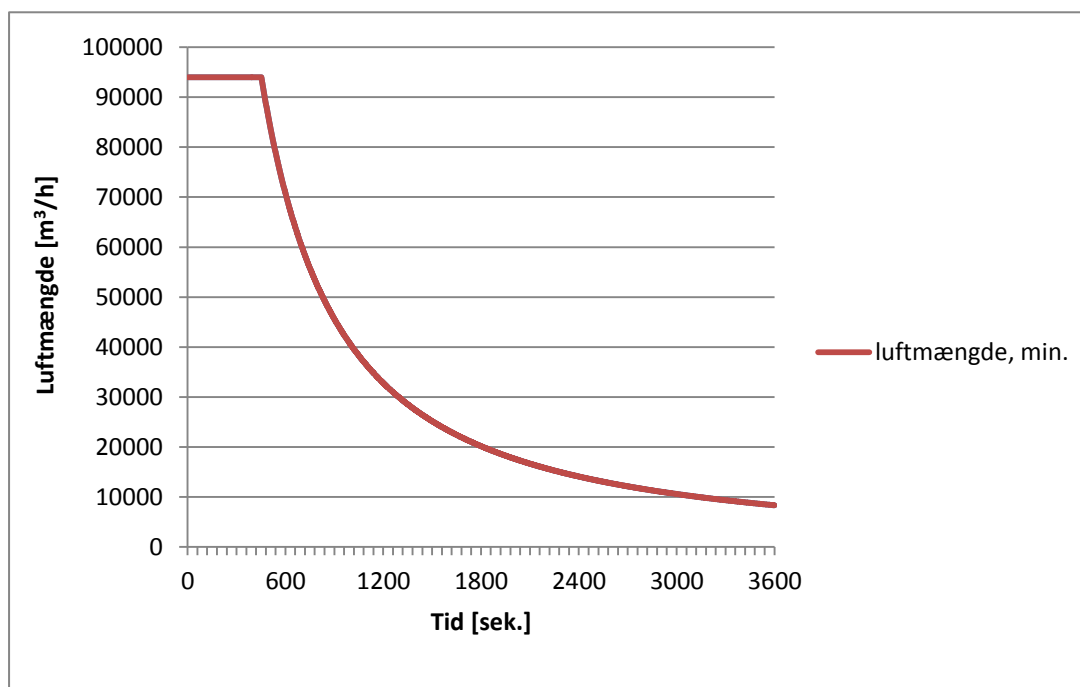
Figur 7.2 Temperatur af jernplade og luft fra skærmen over panden.

udført en overslagsmæssig beregning af pladetemperaturen og temperaturen af den udsugede luft fra skærmen. Det ses, at pladen afkøles ret hurtigt og at den udsugede luft kun er meget varm ganske kortvarigt. Efter omkring 7-8 minutter er temperaturen af den udsugede luft ned på 50°C med en luftmængde på 94.000 m<sup>3</sup>/h. Der er tilsvarende udført en beregning af den nødvendige luftmængde fra skærmen over panden, hvis temperaturen af den udsugede luft



fastholdes på 50°C. Som nævnt vil lufttemperaturen være så høj de første 7-8 minutter at det vil være nødvendigt at fastholde den nuværende luftmængde. Men derefter vil det være mulig successivt at reducere luftmængden, og allerede efter omkring 15 minutter kan luftmængden være halveret.

Den nuværende styring af blæserne K-812/813 er udrustet med temperaturregulering, som justerer blæserydelsen efter temperaturen i afkastet fra skærmen. Denne styring anvendes ikke, idet blæserne som nævnt konstant kører med fast omløbstal. Det foreslås, at den allerede eksisterende blæserstyring bringes i anvendelse. Ud fra besigtigelsen på stedet antages det at styringen p.t. ikke er funktionsduelig, og derfor skal efterses/repareres eller ændres. Det foreslås, at det fastsættes en minimumsluftmængde i blæserstyringen, så der suges minimum ca. 10.000 m<sup>3</sup>/h fra skærmen over panden. Det er beregnet at elforbruget til de to blæsere vil kunne reduceres med ca. 80% ved at anvende temperaturstyring fremfor drift med konstant



Figur 7.3 Nødvendig luftmængde fra skærm over kølepande.

omløbstal. Hvis der f.eks. er 200 produktionsdøgn/år (det antages at blæserne er ude af drift når der ikke produceres) vil blæsernes elforbrug reduceres fra ca. 352 MWh til 58 MWh årligt.

Det er vigtigt at der ved programmeringen af blæserstyringen tages højde for at blæserne skal køre med fuld hastighed umiddelbart inden tapning, så udsugningssystemet er forberedt på den momentant høje termiske belastning når tapningen starter. Kort efter tapningen er påbegyndt kan temperaturreguleringen i udsugningssystemet igen tage over.

Den udsugede luft fra skærmen er meget varm, - især i starten efter en tapning, hvilket naturligt giver mulighed for varmegenvinding til f.eks. rumopvarmningsformål. Hvis det f.eks. antages at den udsugede luft fra skærmen holdes på 100°C eller derover for at sikre tilstrækkelig høj temperatur set i forhold til et varmegenvindingssystem kan det beregnes at der vil være et årligt varmpotentiale på ca. 260 MWh<sub>varme</sub>, hvis der igen regnes med 200 produktionsdøgn/år. Det er muligt at foretage varmegenvinding i knap 5 timer ud af døgnets 24 timer. Et varmegenvindingssystem skal styres således at det afbryder for genvindingen, når den udsugede luft

bliver så kold at temperaturen ud af genvindingsfladen er lavere end temperaturen til genvindingen. Situationen er imidlertid den at der p.t. ikke anvendes rumvarme i afdelingen i nævneværdigt omfang, idet produktionshallerne er uopvarmede. De tilstødende produktionshaller for andre afdelinger er opvarmede, men også her er mulighederne for at aftage overskudsvarme begrænsede. Det kunne måske på sigt være muligt at afsætte den genvundne varme eksternt til det lokale fjernvarmesystem.

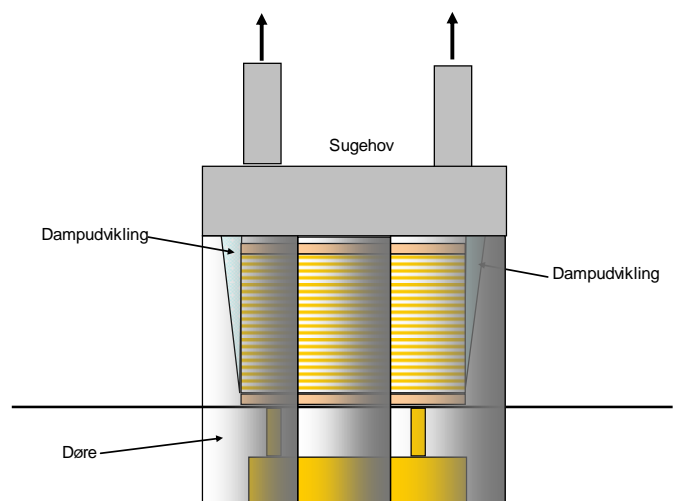
### 7.1.3 Junckers

I forbindelse med produktionen af parketgulve har Junckers Industrier en afdeling der producerer prestørrede parketstave. Parketstavene tørres i seks dampopvarmede pressemaskiner, hvor de fem maskiner er opstillet i én hal og den sidste og nyere maskine er opstillet i en anden tilstødende hal. Parketstavene stables lagvis ovenpå rektangulære dampplader. Varmen kommer herved ind i træet ved ledning i stedet for ved konvektion, som i almindelige trætrørrestuer. Tørringen foregår herved meget hurtigt, idet træet nedtørres fra ca. 50% til 2% fugtindhold på ca. 105 minutter. Pressemaskinerne er lukkede i begge sider i langsgående retning af skydedøre. I enderne er der monteret gardiner i reflekterende materiale, der hæves/sænkes når en batch af stave transporteres ind/ud af maskinen. Oven over hver pressemaskine er der procesudsug, som opfanger det meste af den konvektive luftbevægelse og dampen fra træet. Indkapslingen af maskinerne er åben nedadtil.



Før tørreprocessen vejer en parketstav ca. 1,658 kg og efter tørreprocessen ca. 1,070 kg, hvilket betyder at der fjernes ca. 0,588 kg vand pr. stav ved tørringen. Det samlede antal stave i en tørreproces er 147 stk./lag \* 20 lag = 2.940 stk.. Det samlede fjernede vandindhold er herved ca. 1.729 kg vand, hvilket svarer til en dampmængdevolumen på ca. 2.900 m<sup>3</sup>. Dampudviklingen er meget stor i starten af tørreprocessen hvor det frie vand fjernes. Dampmængden aftager med tiden, idet fugten skal transporteres gradvist længere og længere ud gennem træet og fordi det bundne vand er svære at fjerne.

Hver pressemaskine har sit eget procesudsug (emfang), og der er ikke noget alment udsug. Der er almen indblæsning fordelt nær opholdszonen ved indføring af stave til tørreovnen og ved afgang fra tørreovnen. Udsugningsluften går til en skrubber for at blive rensset inden luften går til det fri. Der er etableret to afsug fra hvert emfang, der parvis er ført til hver sin blæser seks og seks. På billedet er det muligt at se udsugningskanalerne fra de fem presser i den ene hal. Udsugningen fra hver emhætte er styret on/off, således at spjældene i udsugningskanalerne er fuldt åbne (under presningen) og



*Udsugningskanaler på taget ovenover tørremaskinerne.*

spjældene er lukkede når presningen er tilendebragt. Der er skåret lidt af spjældpladerne, så der opnås et vist flow (ca. 2.000 m<sup>3</sup>/h efter det oplyste), når spjældene er lukkede.

Der er udført samtidige målinger af luftmængde, temperatur og luftfugtighed i én af udsugningskanalerne (presse 1, nord) samt den tilhørende hovedblæser. I det aktuelle tilfælde varierede luftmængden i udsugningskanalen fra presse 1, nord mellem ca. 20.000 m<sup>3</sup>/h under presningens første 35 minutter og ca. 10.000 m<sup>3</sup>/h i den sidste del af presningen samt mellem presningerne (ca. 70-120 minutter). Udsugningsmængden i den sidste del af presningen samt mellem presningerne er således for det konkrete udsug højere end forventet. Temperaturen i udsugningen er målt til 60-70°C uanset hvilken del af cyklussen der betragtes. Temperaturen er dog som regel lidt lavere under den første del af presningen, hvor spjældet i udsugningen er fuldt åbent. Fugtigheden er i udsugningen er forsvindende og svarer til en T<sub>dug</sub>: 25-26°C. Der er ved en senere lejlighed udført øjebliksmålinger af flowmængder og temperature i afkastene fra presse 1, 2 og 3, for at undersøge om luftmængden i afkastet fra alle presser er ens.

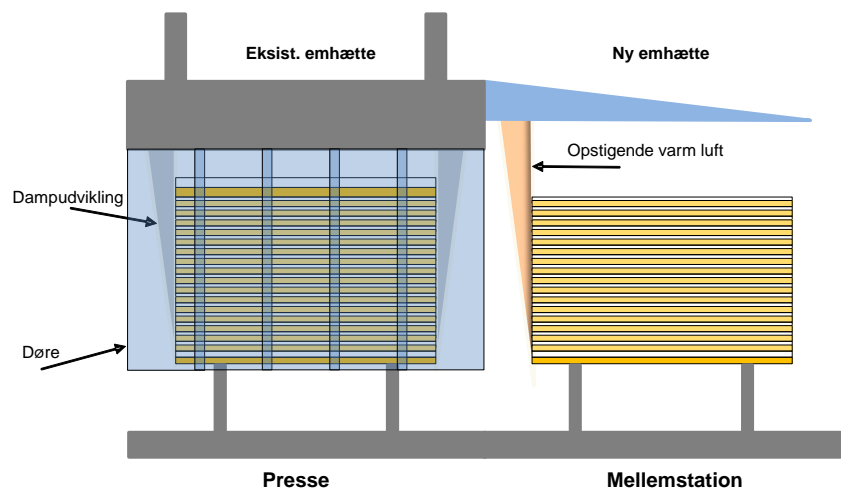
Presse	Luftmængde [m <sup>3</sup> /h]	Temperatur [°C]	Spjældstilling [% åben]
1	6.500	45	0
2	8.600	51	0
3	43.100	53	50

Det ses, at luftmængderne i afkast 1 og 2 er noget større end den forventede mængde på ca. 2.000 m<sup>3</sup>/h. Spjældet for presse 3 var tilsyneladende fejlindstillet. Der er givetvis et betydeligt besparelsespotentiale i at få afkastspjældene til at fungere som planlagt.

Luftmængden i hovedkanalen er luftmængden målt til at være mellem ca. 50.000 – 85.000 m<sup>3</sup>/h med en temperatur på 34-46°C. Lufttemperaturen i hovedkanalen er tilstrækkelig til at det er muligt at opvarme indblæsningsluften til hallen til komforttemperatur i vinterhalvåret, svarende til en årlig varmebesparelse på ca. 1.100 MWh (ved væskekoblede batterier som genvindingsteknologi). En anden mulighed er at udnytte varmen i de to hovedkanaler fra presserne med et varmepumpesystem. Herved kan hele den tilførte varme til presserne udnyttes, svarende til ca. 21.000 MWh årligt. Varmen kan uden videre afgives ved 80-90°C (eller som lavtryksdamp), som f.eks. kan anvendes i tørrekammerne på virksomheden. Ved målingerne blev det konstateret at der er en del partikler i udsugningen, hvorfor genvindingssystemet skal være forberedt for hyppig rengøring af de varmeoverførende flader.

Det bemærkes, at luftmængden under den sidste del af presningen (for presse 1) er ca. 7-10.000 m<sup>3</sup>/h og dermed langt over de forventede ca. 2.000 m<sup>3</sup>/h. Der er udført en række beregninger i MathCad for at fastslå behovet for udsugning under den sidste del af presningen, hvor dampudviklingen er begrænset og hvor der fortrinsvis skal fjernes varme. Jf. disse beregninger vil en udsugning på ca. 4.000 m<sup>3</sup>/h være tilstrækkelig. Der er formentlig et potentiale i at sikre at spjældene åbner/lukker som planlagt, og at luftmængden gennem lukkede spjæld er som forudsat, idet en reduceret luftmængde vil give lavere elforbrug til udsugningsblæserne og øget temperatur i hovedkanalen med deraf følgende forbedrede varmegenvindingsmuligheder.

Parketstavenes opholdstid på mellemstationen efter pressen er meget varierende. I nogle tilfælde transporteres de til lager efter 30-40 minutter, og i andre tilfælde kan "opholdstiden" være ca. 2-3 timer. Uanset om parketstavene er på mellemstationen i 30-40 minutter eller nogle timer når de at afgive det meste af restvarmen fra presningen til omgivelserne, og påvirker derfor kravet til frisklufttilførsel. Hvis denne restvarme fra de tørrede træstave skal bortledes af hensyn til arbejdsmiljøet kan det gøres ved at etablere separat hætter over mellemstationerne, hvorfra konvektionsvarmen kan ledes over tag ved naturlig ventilation. En del af strålevarmen vil ikke blive omsat til konvektiv varme, så der vil stadig tilføres rummet en vis varmemængde. Der tilføres imidlertid rummet ca. 420 kWh (træ: 290 kWh, stålplader: 130 kWh) ved at lade en batch afkøle fuldt ud på mellemstationen. Derfor har det været naturligt at undersøge om mellemstationerne kan skærmes af, så varmen fra parketstavene kan genvindes. Da mellemstationerne har forskellige systemer til at laste og tømme stationerne vurderes til ikke at være praktisk muligt at skærme mellemstationerne af. Der er imidlertid udført røgforsøg der viser at en betydelig del af varmen fra parketstavene ledes bort som konvektiv varme (luftstrøm) hen mod pressen, idet varmen stiger op i mellemrummet mellem pressen og mellemstationen. Denne luftbevægelse antages sammenholdt med røgforsøg på stedet at trække luft hen over stavene, der er placeret i mellemstationen. En del af varmen fra mellemstationen havner således allerede i emhætten. Men for at maksimere den varmemængde fra mellemstationen, der ledes til emhætten foreslås det, at der etableres en skærm (emhætte) hen over mellemstationen, som er placeret over mellemstationens drivmekanisme. Skærmen skal være skrån, så højden øges gradvis hen mod den eksisterende emhætte over pressen. Herved fjernes den opadstigende luftstrøm ved naturlig konvektion hen mod pressen. Den nye emhætte fastgøres på den nuværende emhætte, og der etableres forbindelse mellem den eksisterende og nye emhætte ved at skære et hul i den eksisterende emhætte i fuld bredde og f.eks. halv højde af den nye emhætte. Luftmængden i afkastet fra den eksisterende emhætte fastholdes på det nuværende niveau.



Der er foretaget en overslagsmæssig beregning der viser at der tilføres rummet ca. 320 kWh konvektiv varme per batch, der afkøles på mellemstationen. Der resterende ca. 100 kWh per batch tilføres rummet som stråling. Der er antagelig et årligt varmegenvindingspotentiale på ca. 800 MWh, når der tages hensyn til at varmen fra den supplerende emhætte skal have en passende høj temperatur og at der kun er behov for varme i vinterhalvåret. Hermed bliver det samlede varmegenvindingspotentiale ved etablering af væskekoblede batterier i pressehallens ventilationsanlæg ca. 1.900 MWh årligt.

## Referencer

/1/ Energoptimering af sugehove – Udvikling af dimensioneringsregler samt flange- og reflektorløsninger December 2001

## Bilag