Glimrende lille opslagsbog
– hurtig adgang til nyttig viden

Af Jan Ove Jensen, Energichef, Haldor Topsøe A/S

"Den lille blå om industriel Procesventilation" fra Dansk Energi giver generelt en nyttig viden i forbindelse med energibevidst projektering af nye tekniske installationer og renovering af eksisterende i industrien. De anførte råd, anvisninger og beregninger er skrevet i en imødekommende form uden lange komplicerede formler, og fokus er nem adgang til den nyeste viden på området.

Det er tankevækkende, hvor stor betydning et korrekt dimensioneret procesventilationssystem har for det samlede energiforbrug og arbejdsmiljøet. Derudover er kategoriseringen af de forskellige ventilationsprincipper efter forureningstyper i energifarveskala rigtig smart. Eksemplerne i bogen er gode og illustrative, og man bliver med sikker hånd sporet ind på tankegangen omkring valg af effektive ventilationstekniske løsninger, uanset om det er små eller store processer. Sløret løftes også for, hvad der kan forventes i fremtiden angående ecodesignkrav og intelligente robotudsug, som følger forureningskilden.

Jeg håber, at "Den lille blå om industriel Procesventilation", og generelt hele serien med de små blå, vil bestå mange år fremover. Det er efter min vurdering en god måde at sprede ny viden, teknologi og indsigt på, og et vigtigt bidrag til den overordnede målsætning om at reducere CO_2 udslippet ved hjælp af energibesparelser.

Den lille blå om industriel Procesventilation

DANSK ENERGI

www.danskenergi.dk

Den lille blå om industriel Procesventilation

Forfattere:
Christian Drivsholm (Teknologisk Institut)
Claus M. Hvenegaard (Teknologisk Institut)
Hans Olsen (Teknologisk Institut)
Søren Draborg (Teknologisk Institut)
Per Tage Jespersen (Teknologisk Institut)

Redaktionsgruppe:
Ditte Mikkelsen (Dansk Energi)
Dorte Lindholm (Dansk Energi)
Jørn Borup Jensen (Dansk Energi)

Udgiver: Dansk Energi
Design: Nectar Kbh
Tryk: Clausen Grafisk
Oplag: 5.000, 1. udgave 2014
ISBN nummer: 978-87-91326-09-7

Forord

Arbejdsmiljøets kvalitet i produktionslokaler har stor betydning for vores generelle sundhed og almen velbefindende. Derfor er det væsentligt, at der er en korrekt udformning af ventilationen i produktionslokaler. Både af hensyn til sundheden og af hensyn til driftsudgifterne. Ikke optimalt udformede ventilationsløsninger kan resultere i dårligt arbejdsmiljø og i unødigt store driftsudgifter.

"Den lille blå om industriel Procesventilation" er et lettilgængeligt opslagsværk for alle, der arbejder med at realisere energibesparelser på nye og eksisterende industriventilationsanlæg. Bogen er tilegnet energirådgivere, rådgivende ingeniører, entreprenører, montører, installatører, teknisk ansvarlige i industrivirksomheder og andre, der arbejder med energieffektivisering af industrielle ventilationsanlæg. Endvidere kan bogen indgå som undervisningsmateriale.

Det faglige indhold i bogen bygger i vidt omfang på resultaterne fra ELFORSK projektet 343-019, "Energioptimering af procesventilation og udvikling af fleksible procesudsug til store industrielle emner", hvor flere områder er behandlet mere indgående. En lang række eksempler viser, hvordan bogens nøgletal og grafer anvendes i praksis.

Dansk Energi håber, at "Den lille blå om industriel Procesventilation" kan være med til at give større viden på ventilationsområdet, kvalificere rådgivningen og blive et nyttigt værktøj og undervisningsmateriale. Bogen kan medvirke til at Danmark reducerer energiforbruget i ervhvervsvirksomheder.

God arbejds- og læselyst!
Dansk Energi, ELFORSK

Jørn Borup Jensen Dorte Lindholm

Ditte Mikkelsen

Hvis du vil vide mere

Dansk Energi
Rosenørns Allé 9
1970 Frederiksberg C
Telefon 35 300 400
E-mail: de@danskenergi.dk.
Du kan også kontakte dit lokale energiselskab.
Klik ind på: **www.danskenergi.dk**

Indholdsfortegnelse

01 **Forord** 3

02 **Den lille blå om industriel Procesventilation** 7
2.1 Dimensioneringsværktøj 7

03 **Introduktion til industriel proces- og komfortventilation** 8
3.1 Termisk indeklima 9
3.2 Atmosfærisk indeklima 14

04 **Behovsanalyse** 18
4.1 Typer af forureningskilder 20
4.1.1 Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder) . 21
4.1.2 Små varmekilder (gasser, dampe og små partikler ved lille termisk konvektion) 23
4.1.3 Store varmekilder (gasser og dampe ved stor termisk konvektion) 25
4.1.4 Dynamiske kilder med partikler ($d_p \geq 10$ µm) med høj starthastighed 28
4.2 Rutediagram for proces- og komfortventilationssystem 30
4.3 Levetidsomkostninger 32

05 **Ventilationsprincipper** 36
5.1 Procesventilation 36
5.1.1 Omslutningsprincippet 36
5.1.2 Modtagerprincippet 38
5.1.3 Gribeprincippet (herunder push-pull) 39
5.1.4 Mekanisk opsamling 42
5.1.5 Simpel udsugning 42
5.2 Valg af procesventilationsprincip 43
5.3 Komfortventilation 45
5.3.1 Opblandingsprincippet (fortyndingsventilation) 45
5.3.2 Fortrængningsprincippet 52

06 **Proces- og komfortventilationssystemets principper** 57
6.1 Udsugningskomponenter 57
6.1.1 Punktudsugning 57
6.1.1.1 Udsugning efter omslutningsprincippet 59
6.1.1.2 Udsugning efter modtagerprincippet 77
6.1.1.3 Udsugning efter gribeprincippet 83
6.1.1.4 Mobilt udsug 99
6.1.2 Almen udsugning 105
6.2 Indblæsningskomponenter 106
6.2.1 Indblæsning i arbejdszonen 106
6.2.2 Almen indblæsning 111

07 **Energiforbrug til proces- og komfortventilationssystemer** 112
7.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat 112
7.2 Energiforbrug til opvarmning af luft 112
7.3 Energiforbrug til køling af luft 118

08 **Energioptimal drift** 122
8.1 Styring og regulering 122
8.2 Systematisk, energibevidst vedligehold 130
8.2.1 VENT-ordningen 131

09 **Energimærkning** 132

10 **Udviklingsprojekter** 138
10.1 ELFORSK 138
10.1.1 Energieffektiv procesudsugning fra kehlemaskiner (Projekt nr. 334-007) 138
10.1.2 Tomgangsbegrænsende styringsudrustning på industrisugere (Projekt nr.: 336-001) 139
10.1.3 Udvikling af metodikker til elbesparende ventilation i områder med risiko for brand eller farlige dampe (Projekt nr. 336-059) 140

10.1.4 Reduceret energiforbrug til basisventilation i tung procesindustri (Projekt nr. 337-082) 140
10.1.5 Energioptimering af procesventilation og udvikling af fleksible procesudsug til store industrielle emner (Projekt nr. 343-019) .. 141
10.2 EUDP 141
10.2.1 Sugearm til energieffektiv procesudsugning (Projekt nr. 64011-0367) 141

11 **Tjekliste** 143

12 **10 gode råd** 147

13 **Regler og lovgivning** 149
13.1 At-vejledning A.1.1.1 om ventilation på faste arbejdssteder 149
13.2 At-vejledning A.1.2 om indeklima 149
13.3 At-vejledning A.1.11 om arbejdsrum på faste arbejdssteder 149
13.4 At-vejledning A.1.12 om temperaturer i arbejdsrum på faste arbejdssteder 150
13.5 At-vejledning A.1.14 om planlægning af faste arbejdssteders indretning 150
13.6 At-vejledning C.0.1 grænseværdier for stoffer og materialer 150
13.7 Bekendtgørelse nr. 302 af 13/05/1993, Bekendtgørelse om arbejde med kodenummererede produkter 151
13.8 Bekendtgørelse nr. 96 af 13/02/2001, Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning 151

14 **Andre kilder** 153

2 Den lille blå om industriel Procesventilation

Et korrekt valg af ventilationsprincip samt hensigtsmæssig opbygning af indblæsnings- og udsugningssystemerne er en vigtig faktor for at opnå et tilfredsstillende indeklima, såvel termisk som atmosfærisk, i produktionslokaler. Det kan derfor være en hjælp at have nogle retningslinjer for at sikre personer og arbejdsprocesser acceptable forhold. Kravene til indeklimaet er talrige, og der anvendes ikke altid standardløsninger. Det udelukker ikke, at der kan anvendes en vis metodik, til opstilling af nogle ensartede retningslinjer, der kan genanvendes.

Når en virksomhed, entreprenør eller installatør står overfor at skulle installere eller renovere et proces- og komfortventilationssystem, er der brug for rådgivning om, hvilket anlæg der skal vælges af praktiske og økonomiske hensyn. Her vil Den lille blå være et godt redskab. Det vil den også være, når energiselskaberne skal varetage deres energispareforpligtigelse med at rådgive forbrugere om fordelene ved at reducere energiforbruget.

Bogen er et opslagsværk mht. nøgletal og principløsninger og vil bidrage til at styrke viden om:

- Regler, love og bekendtgørelser, der er relevante for proces- og komfortventilationsanlæg, eksempelvis Arbejdstilsynets bekendtgørelser og vejledninger vedrørende ventilation på faste arbejdspladser samt grænseværdier

- Dimensioneringsmæssige forhold når man står overfor at skulle installere eller renovere et proces- og komfortventilationssystem

- De energimæssige og totaløkonomiske konsekvenser ved installation af egnede proces- og komfortventilationssystemer

2.1 Dimensioneringsværktøj

I tilknytning til bogen er der udviklet et webbaseret dimensioneringsværktøj på:
http://dimair.teknologisk.dk

3 Introduktion til industriel proces- og komfortventilation

Formålet med industrielle proces- og komfortventilationssystemer er at skabe et tilfredsstillende indeklima for de personer der opholder sig i produktionslokalet samt i visse tilfælde at opfylde proceskrav med hensyn til luftens renhed.

Lugt, fugt, varme, røg, partikler og kemiske stoffer er alle miljøfaktorer, der påvirker indeklimaet. Personer opholder sig størstedelen af tiden indendørs, derfor er det vigtigt for personernes sundhed og livskvalitet, at indeklimaet i lokalerne er tilfredsstillende.

Konsekvenserne af dårligt indeklima kan vise sig som nedsat velbefindende og arbejdsevne. I værste fald kan et dårligt indeklima give svære lidelser.

Personer reagerer ofte forskelligt på de samme påvirkninger. Nogle er f.eks. mere følsomme over for kulde og træk, og andre påvirkes lettere af støv.

Typiske symptomer på dårligt indeklima er:

- Kulde og træk
- Overophedning
- Dårlig lugt
- Hovedpine og træthed
- Irritation i øjne, næse og hals
- Kvalme og svimmelhed
- Udslæt, rødme og kløe i huden

Indeklimaet kan opdeles i:

- Termisk indeklima
- Atmosfærisk indeklima

3.1 Termisk indeklima

Personers termiske opfattelse af omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:

- Beklædningens varmeisolering i clo
- Aktivitetsniveauet i met
- Lufttemperaturen i °C
- Middelstrålingstemperaturen i °C
- Lufthastigheden i m/s

Endvidere er den termiske komfort påvirket af uønsket lokal opvarmning/afkøling på de enkelte kropsdele forårsaget af:

- Vertikal temperaturgradient
- Kolde eller varme gulve
- Asymmetrisk temperaturstråling

I tabel 3.1 ses eksempler på aktivitetsformer og dertil hørende aktivitetsniveauer i met.

Aktivitetsformer	[met]
Hvilende	0,8
Stillesiddende aktivitet (kontor, hjem, skole, laboratorium)	1,2
Middelstor fysisk aktivitet *(tungt arbejde ved maskine, værkstedsarbejde)*	2,0

Tabel 3.1. met-værdier ved forskellige aktivitetsformer.

DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det termiske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale skal ventileres. Kategori A imødekommer et højt forventet niveau, kategori B et middel forventet niveau og kategori C et moderat forventet niveau (se tabel 3.2). Hver kategori foreskriver en maksimal forventet procentdel af utilfredse for kroppen som helhed og for fire typer af lokalt ubehag.

Kvaliteten af det termiske indeklima afhænger af følgende fem faktorer:

1. Den operative temperatur, som er middelværdien af luft- og middelstrålingstemperaturen. Middelstrålingstemperaturen defineres som en vægtet gennemsnitstemperatur af de tilstødende overfladers temperatur. Vægtningen foretages som vinkelforholdet mellem person og overflade. For mange typer af industribygninger eller -haller med moderate opvarmnings- eller kølebehov vil lufttemperaturen tilnærmelsesvis være lig med den operative temperatur

2. Luftens middelhastighed i opholdszonen (træk)

3. Den vertikale lufttemperaturgradient, som er forskellen i lufttemperaturen mellem 0,1 og 1,1 meter over gulv

4. Gulvets overfladetemperatur

5. Strålingsasymmetri, forårsaget af varmt loft eller kolde vægge (vinduer). Strålingsasymmetri defineres som forskellen mellem den plane strålingstemperatur på de to modsatte sider af et plan gennem personens tyngdepunkt.

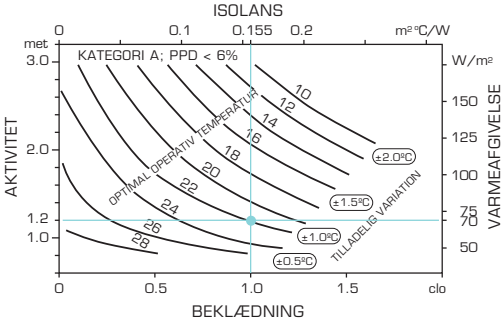
DANSK ENERGI

Kategori	Vertikal lufttemeratur-gradient [°C]	Gulvets overflade-temperatur [°C]	Strålingsasymmetri			
			Varmt loft	Kold væg	Koldt loft	Varm væg
A	<2	19-29	<5	<10	<14	<23
B	<3	19-29	<5	<10	<14	<23
C	<4	17-31	<7	<13	<18	<35

Tabel 3.2. Krav til kvalitet af indeklimaet for de tre forskellige indeklimastrategier. Kategori A imødekommer et højt forventet niveau, kategori B et middel forventet niveau og kategori C et moderat forventet niveau.

03

I figur 3.1 ses optimale operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning for kategori A. I DS/CEN/CR 1752 ses tilsvarende figurer for kategori B og C.



Figur 3.1. Optimale operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning for kategori A.

Eksempel 1 – Optimal operativ temperatur

Ved et aktivitetsniveau på 1,2 met (svarende til stillesiddende aktivitet) og en varmeisolering af beklædningen på 1,0 clo (jakke, bukser, skjorte, underbukser, sokker og sko) ses, i figur 3.1, at den optimale operative temperatur er ca. 22 °C.

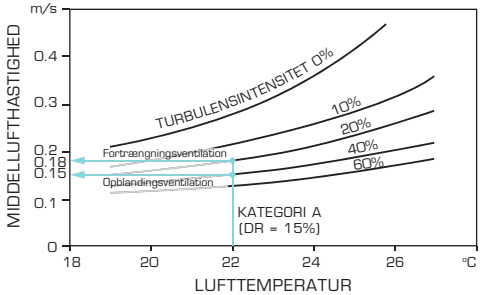
Endvidere ses, at den menneskelige varmeafgivelse kan aflæses til 70 W/m^2, og at isolansen for beklædningen er 0,155 m^2°C/W.

Selvom kriterierne vedrørende optimal operativ temperatur er opfyldt, kan det forventes at et antal personer er utilfredse. Dette skyldes ubehag fra lokal afkøling/opvarmning på kroppen, som kan være forårsaget af træk (uønskede luftbevægelser), asymmetrisk strålingstemperatur (kolde vinduer, opvarmede lofter), forskelle i lufttemperatur mellem hoved og fødder eller varme og kolde gulve. Derfor må der sættes yderligere vurderingskriterier for disse parametre.

I figur 3.2 ses, for kategori A, den tilladelige middellufthastighed som funktion af lokal lufttemperatur og turbulensintensitet. DR er trækvurderingen, dvs. procentdelen af utilfredse på grund af træk.

Turbulensintensiteten, som er forholdet mellem standardafvigelsen på lufthastigheden og middellufthastigheden, afhænger meget af det indblæsningsprincip og de indblæsningsarmaturer der benyttes. Som hovedregel gælder følgende:

- Opblandingsventilation: Turbolensintensiteten ca. 40 % (ligger typisk mellem 30 og 60 %)
- Fortrængningsventilation: Turbolensintensiteten ca. 20 % (ligger typisk mellem 10 og 30 %)



Figur 3.2. Tilladelig middellufthastighed som funktion af lokal lufttemperatur og turbulensintensitet for kategori A. DR er trækvurderingen, dvs. procentdelen af utilfredse på grund af træk og beklædning.

Eksempel 2 – Middellufthastighed

Ved en lufttemperatur på 22 °C og en turbulensintensitet på 40 % (opblandingsventilation) ses, i figur 3.2, at middellufthastigheden maks. må være 0,15 m/s.

Ved samme lufttemperatur og en turbulensintensitet på 20 % (fortrængningsventilation) ses, at middellufthastigheden maks. må være 0,18 m/s. Ved den samme lufttemperatur tillades derfor en højere lufthastighed ved fortrængningsventilation.

3.2 Atmosfærisk indeklima

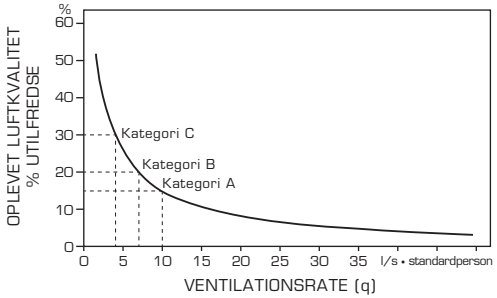
Personers opfattelse af det atmosfæriske indeklima afhænger af følgende faktorer:

- Lugte
- Støv og fibre
- Gasser og dampe
- Relativ fugtighed

For at opretholde et tilfredsstillende atmosfærisk indeklima er det nødvendigt med tilførsel af en vis mængde udeluft samt udsugning af en vis mængde rumluft.

Ved ikke-sundhedsskadelig forurening, f.eks. ubehagelige lugte fra processer eller fra menneskelige aktiviteter, kan ventilationsbehovet bestemmes på basis af Arbejdstilsynets vejledning "Grænseværdier for stoffer og materialer, Bygningsreglementet BR 10 eller DS/CEN/CR 1752.

DS/CEN/CR 1752 specificerer tre forskellige kategorier af kvalitet af det atmosfæriske indeklima, som kan vælges opfyldt, når et lokale, forurenet med menneskelig forurening (bioeffluenter), f.eks. CO_2, vanddamp og lugte med udåndingsluften, skal ventileres. Den ønskede oplevede luftkvalitet i et lokale kan vælges blandt de tre kategorier A, B og C vist i figur 3.3.



Figur 3.3. Utilfredshed hos en standardperson (en olf) ved forskellige ventilationsrater.

Ved sundhedsfarlige forureninger, som f.eks. eksplosive luftarter samt røg og dampe, er det nødvendigt at beregne den nødvendige tilførsel af udeluft, efter disse kriterier. Den ønskede luftkvalitet skal naturligvis vælges under hensyntagen til gældende grænseværdier.

Atmosfærisk indeklima omhandler indeluftens renhed, oftest udtrykt ved koncentrationen af luftens forurenende komponenter. Koncentrationen kan være konstant (stationære forhold) eller den kan variere med tiden fordi forureningen opstår og forsvinder i forskellig takt.

Fortyndingsligningen beskriver den forurenede rumlufts fortynding eller koncentration ved indblæsning af ren (eller mindre forurenet) luft til fortynding af rumluften.

Fortyndingsligningen (fortynding efter "uendelig" lang tid) skrives således:

$$c\infty = c_e + \frac{q_m}{V}$$

hvor:

- $c\infty$ er indeluftens koncentration i mg/m^3
- c_e er udeluftens koncentration i mg/m^3
- q_m er den tilførte forurening i mg/h
- V er volumenstrømmen i m^3/h

Indeluftens koncentration skal være lavere end gældende grænseværdier (GV) fra Arbejdstilsynet, dvs. $c\infty < GV$.

Fordampning beregnes ud fra udtrykket:

$$q_m = A \cdot (x_1 - x_2) \cdot \alpha_f$$

hvor:

- q_m er fordampet vand i kg/s
- A er vandoverfladen i m^2
- x_1 er vandindholdet i mættet luft ved vandoverfladens temperatur i kg/kg
- x_2 er luftens vandindhold i kg/kg
- α_f er fordampningstallet i kg/m^2s

Fordampningstallet kan med tilstrækkelig nøjagtighed bestemmes af:

$$\alpha_f = \frac{25 + 19v}{3600}$$

hvor:

- v er lufthastigheden ved væskeoverfladen i m/s

Eksempel 3 – Fortyndingsligningen

I en galvanoafdeling på en maskinfabrik foregår der affedtning af metaldele. Affedtningen sker i et galvanobad med 15 % HCL (Hydrogenchlorid - saltsyre) og væskens temperatur er 30 °C. Galvanobadets væske flade areal $A_{væske}$ er 8,4 m^2 (1,4 m · 6 m). Lokaletemperaturen er 16 °C og den relative fugtighed RF er 50 % i opvarmningssæsonen. Lufthastigheden v ved væskeoverfladen er 0,1 m/s. Fordampningen af vand q_m (H_2O) fra væskeoverflade i g/h kan bestemmes vha. nedenstående udtryk:

$$x_1 = \frac{25 + 19 \cdot 0{,}1}{3600} \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$= 0{,}007472 \text{ kg/m}^2\text{s}$$

$$q_m = 8{,}4 \text{ m}^2 \cdot (27000 \text{ kg/kg} - 6000 \text{ kg/kg}) \cdot 0{,}0075 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s} = 1.318 \text{ kg/s} = 4.745 \text{ g/h}$$

Det skønnes at forholdet mellem fordampningen af saltsyre og vand svarer til forholdet mellem partialtrykket p for henholdsvis saltsyre og vand.

$$\frac{p_{HCL}}{p_{H_2O}} = \frac{q_m\,(HCL)}{q_m\,(H_2O)}$$

hvor:

- p_{HCL} og p_{H_2O} er partialtryk i kPa

> Eksempel 3

Ved 30 °C og en koncentration på 15 % er partialtrykket for saltsyre 10,4 kPa. Partialtrykket for vand er 4.200 kPa ved 30 °C.

Fordampningen af HCL er således:

$$q_m(HCL) = 4.745 \text{ g/h} \cdot \frac{10{,}4 \text{ kPa}}{4.200 \text{ kPa}} \; 11{,}8 \text{ g/h}$$

$$= 11{,}8 \cdot 10^3 \text{ mg/h}$$

Ifølge Arbejdstilsynets grænseværdiliste er grænseværdien for HCL 7 mg/m^3.

Nedenfor beregnes minimums friskluftmængden (volumenstrømmen), idet koncentrationen i middel skal holdes på 1/20 del af grænseværdien. Dette både af hensyn til arbejdsmiljøet, men også af hensyn til bygningskonstruktionen og inventar. I andre tilfælde kan man, når dampene ikke er så aggressive, typisk vælge en sikkerhedsfaktor på 1/5.

Udeluftens koncentration (c_e) af HCL sættes til 0, og volumenstrømmen bliver:

$$V = \frac{q_m}{c\infty \cdot (1/20)} \Rightarrow$$

$$V = \frac{11{,}8 \cdot 10^3 \text{ mg/h}}{7 \text{ mg/m}^3 \cdot (1/20)} = 33.700 \text{ m}^3\text{/h}$$

Som det ses, skal der benyttes en stor friskluftmængde for at fortynde forureningen til den ønskede koncentration.

I afsnit 6.1 ses et eksempel på hvorledes friskluftmængden kan reduceres betydeligt, ved anvendelse af et egnet punktudsug.

4 Behovsanalyse

I afsnittet beskrives, hvorledes der kan foretages en analyse af behovet for industriel proces- og komfortventilation i en industrihal med én eller flere forureningskilder. Med udgangspunkt i forureningskilderne bliver det ved hjælp af behovsanalysen muligt at vælge det mest hensigtsmæssige ventilationsprincip og indblæsnings- og udsugningssystem. Ved hjælp af et rutediagram (figur 4.10) gennemgås trin for trin, hvilke analyser, der skal gennemføres, før det rigtige valg af installation kan træffes.

Praktiske erfaringer viser, at energibevidst projektering, herunder en ordentlig udført behovsanalyse, vil forhindre senere omkostningskrævende ændringer i valg af system, anlæg og reguleringsform m.v.

Kravene til proces- og komfortventilation i industrien er fastsat af Arbejdstilsynet.

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

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

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

Når en virksomhed står over for at skulle installere et proces- og komfortventilationsanlæg, er det nødvendigt, at der først foretages en karakteristik af den eller de forureningskilder, der findes i lokalerne. Karakteriseringen af forureningskilden eller -kilderne skal indeholde vurderinger af hvilke og hvor store forureningsmængder, der afgives. Karakteriseringen skal endvidere indeholde vurderinger af, hvorledes forureningerne spredes samt hvilke ydre faktorer, der har indflydelse på spredningen. Endelig skal karakteriseringen vurdere eventuelle varmeafgivelser og deres indflydelse på det termiske indeklima. I afsnit 4.1 gennemgås de forureningskilder, der typisk findes i industrien. Når der er foretaget en karakteristik af forureningskilden eller -kilderne, er næste skridt i behovsanalysen at vurdere, hvorledes de til lokalerne afgivne forureningsmængder kan reduceres mest muligt.

Først skal det vurderes, om det er hensigtsmæssigt at foretage en total indkapsling af forurenings- og varmekilderne. En total indkapsling er altid den bedste løsning med hensyn til arbejdsmiljøet, men kan sjældent anvendes på grund af overvågning og arbejdsprocessens manuelle dele. Hvis det ikke er muligt at foretage en total indkapsling, bør det undersøges, om en delvis indkapsling er mulig. Læs mere i afsnit 5.1.1.

Hvis en total eller delvis indkapsling ikke er mulig, skal det vurderes hvilket ventilationsprincip, der vil være bedst egnet. Her skal der tages hensyn til forureningens naturlige bevægelsesmønster, hvorledes forureningen spredes samt hvilke ydre faktorer, der har indflydelse på spredningen, og om faktorerne kan reduceres eller ændres.

Afhængig af type forureningskilde, kan der vælges mellem fire udsugningsprincipper:

- Modtagerprincip
- Gribeprincip
- Mekanisk opsamling
- Simpel udsugning

Når der er valgt udsugningsprincip, skal der vælges et egnet og understøttende indblæsningsprincip. Afhængig af hvilken type forureningskilde der er tale om, kan der vælges mellem fire indblæsningsprincipper.

- Opblandingsprincip
- Dyse indblæsning
- Fortrængningsprincip
- Lokal lav impuls indblæsning

Når der er foretaget et, eller i mange tilfælde, flere valg af udsugnings- og indblæsningsprincipper, skal der vælges optimale udsugnings- og indblæsningskomponenter.

De dimensionerede udsugende og indblæste luftmængder bestemmes, og temperaturen på indblæste luftmængde skal tillige bestemmes.

4.1 Typer af forureningskilder

I det følgende beskrives de forskellige forureningskilder, der typisk findes i industrien, og hvordan forureningen spredes. Spredning af forurening i luft kan inddeles efter:

- Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)
- Varme kilder (store/små)
- Dynamiske kilder (partikler med høj starthastighed)

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

4.1.1 Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)

Uopvarmede (kolde) kilder er karakteriseret ved, at forureningen (det drejer sig primært om gasser og dampe men i nogle tilfælde også partikler) spredes ved diffusion i den omgivende luft i alle retninger fra f.eks. dampe fra en malesprøjteproces (se figur 4.1) eller partikler fra en pulverlakeringsproces.

Figur 4.1. Sprøjtemaling.

Et andet eksempel på en uopvarmet kilde er et åbent kar, f.eks. bejdsekar (se figur 4.2), hvor afdampningen eller diffusionen sker fra overfladen.

Figur 4.2. Bejdsning af emne i kar.

Spredningen af forureningen afhænger af hastigheden og turbulensen af den omgivende luft. Afdampningen eller diffusionen sker fra overfladen.

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

De uopvarmede gasser og dampe blander sig med den omgivende luft og skal fjernes så tæt på kilden som muligt for at undgå spredning af forureningen og for at minimere den udsugede luftmængde. Gasserne og dampene er lette at bortsuge da de bevæger sig med udsugningsluften. Det er vigtigt, at udsuget placeres på en sådan måde, at udsugningsluften, der indeholder gasser og dampe, så vidt muligt ikke kommer ind i operatørens indåndingszone.

Nogle dampe er dog tungere end luft og vil søge ned mod en flade (bord eller gulv) og sprede sig ud over denne. Dette skal der tages hensyn til, når punktudsuget skal designes.

04

4.1.2 Små varmekilder (gasser, dampe og små partikler ved lille termisk konvektion)

Små varmekilder (punktkilder) er karakteriseret ved at forureningen (gasser, dampe og små partikler – respirable og grovere partikler) spredes ved naturlige konvektionsstrømninger (termisk opdrift) omkring den termiske belastning (varme overflade).

Det gælder f.eks. for svejse- og loddeprocesser, som typisk håndteres ved mindre arbejdsborde (se figur 4.3) samt andre processer med varmeudvikling som f.eks. kan være drejning eller fræsning af metal (se figur 4.4), hvor der tillige benyttes køle-smøremidler, og hvor der kan dannes olietåger (dampe).

Figur 4.3. Svejseproces.

Figur 4.4. Fræsning af metal.

Spredningen af forureningen afhænger i betydelig grad af turbulensen af den omgivende luft. Typisk er disse processer dog placeret i lokaler, hvor luftbevægelserne er "rolige".

De opvarmede gasser og dampe samt små partikler vil, på grund af den termiske opdrift, stige til vejrs. De skal fjernes så tæt på kilden som muligt for at undgå spredning og for at minimere den udsugede luftmængde.

Det vil derfor være hensigtsmæssigt at placere udsuget over processen, men det er ofte ikke muligt, da operatøren har brug for fri tilgang til objektet (udsuget må ikke sidde i vejen).

Derfor vil udsuget ved denne type processer ofte være placeret bagved kilden i en 45° hældning. Se endvidere afsnit 6.1.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

4.1.3 Store varmekilder (gasser og dampe ved stor termisk konvektion)

Store varmekilder og dermed store termiske belastninger giver anledning til naturlige konvektionsstrømninger omkring den termiske belastning, således at der dannes en kraftig opdrift omkring kilden. Forureningerne fra store varmekilder er gasser og dampe samt i nogle tilfælde små partikler.

Et eksempel på en stor varmekilde er en smelteproces (se figur 4.5), hvor flydende jern tappes ud på forme for at blive nedkølet.

Figur 4.5. Smelteproces.

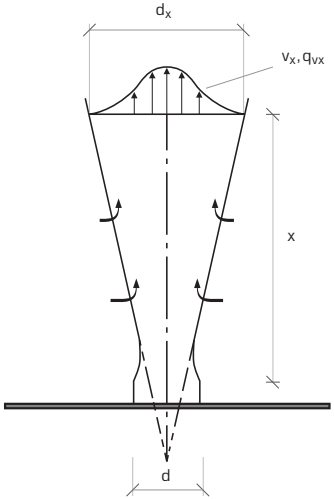
Et andet eksempel på en stor varmekilde er et åbent kar, f.eks. varmforzinkningskar (se figur 4.6), hvor afdampningen sker fra overfladen.

Figur 4.6. Varmforzinkningskar.

Strømningsbilledet omkring en termisk belastning er vist i figur 4.7. Her ses, at strømningsmønsteret 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.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI



Figur 4.7. Skematisk billede af naturlig konvektion over en koncentreret varmekilde.

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 (se afsnit 5.1.2), hvor der placeres en sugehov direkte over kilden. Udformning og placering af sugehoven behandles nærmere i afsnit 6.1.

Store varmekilder har som oftest høje overfladetemperaturer (over 50 °C). Dette giver ofte anledning til et dårligt indeklima med for høj termisk påvirkning af personer.

Problemet kan fjernes ved indkapsling eller strålingsafskærmning af varmekilden (se afsnit 5.1). Hvis dette ikke er muligt, kan der f.eks. etableres lokal lavimpuls indblæsning (se afsnit 5.3.2).

4.1.4 Dynamiske kilder med partikler ($d_p \geq 10$ µm) med høj starthastighed

Her forstås industrielle processer, hvor der udvikles eller frigives partikler med høj starthastighed, f.eks. ved polering, slibning, fræsning eller andre bearbejdningsprocesser (se figur 4.8 og 4.9).

Figur 4.8. Slibning af aluminiumsemne.

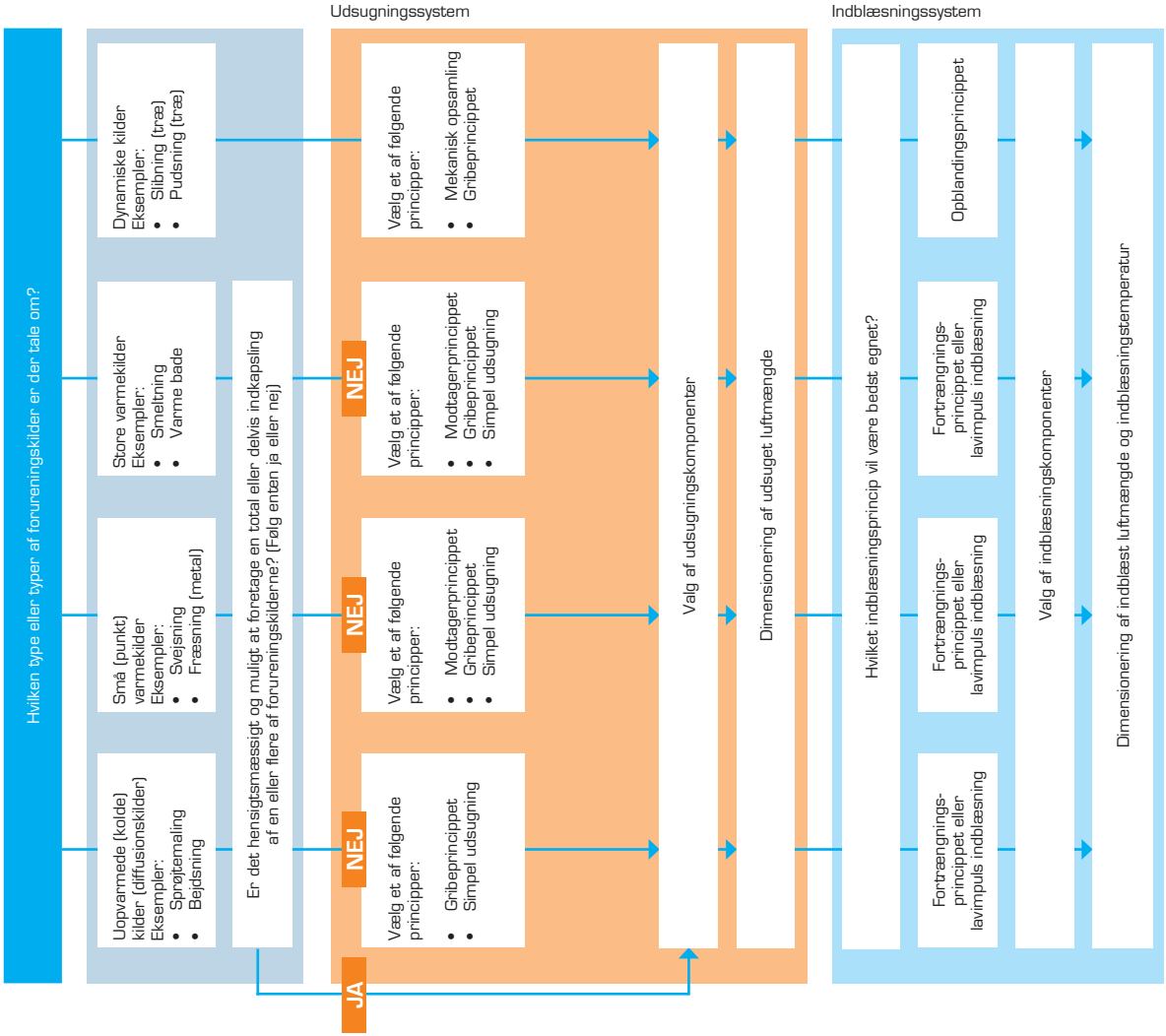
Figur 4.9. Kantpudser.

En partikel, der emitteres ud i den omgivende luft, vil bevæge sig et vist stykke før den bremses af luftmodstanden (stoplængde). Luftmodstanden har stor effekt på især små partikler. Partikler i størrelser der er lungeskadelige, er så små ($d_p \leq$ 10 µm), at de standses hurtigt i den omgivende luft, og kan let opsuges uanset partiklernes bevægelsesretning fra kilden. Større, tungere partikler ($d_p \geq 10$ µm) kan bevæge sig op til ca. 1 meter fra kilden som følge af starthastigheden, og punktudsug for disse partikler skal derfor indrettes, så der tages hensyn til partiklernes bevægelsesretning.

Spredningen af forureningen afhænger i betydelig grad af uønskede tværstrømninger i lokalet. Uønskede tværstrømninger kan komme fra køleblæsere, indblæsningsarmaturer, varmekaloriferer, åbne porte, døre, vinduer m.m. Dette skal der tages hensyn til, når punktudsuget skal designes og dimensioneres. Set i det lys bør det altid overvejes, om arbejdssteder kan placeres gunstigt og afskærmes fra tværstrømninger f.eks. ved etablering af halvvægge eller lignende.

4.2 Rutediagram for proces- og komfortventilationssystem

Figur 4.10. Forløbet ved behovsanalyse. Hvilke analyser, som skal gennemgås før det rigtige valg af installation kan træffes.



DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

4.3 Levetidsomkostninger

Ventilationsanlæg leveres ofte i totalentreprise, hvilket giver entreprenøren gode muligheder for at påvirke energiforbruget. Det er vigtigt, at bygherren eller virksomheden, den projekterende og leverandøren gennem hele projektforløbet holder tæt kontakt, især i de indledende faser hvor frihedsgraderne er størst.

Entreprenøren kan gøres til en medspiller i den energibevidste projektering. I udbudsmaterialet kan man kræve, at ventilationsentreprenøren specificerer alternative energieffektive ventilationsløsninger og disses eventuelle merinvesteringer og tilbagebetalingstider.

Under og efter indgåelse af kontrakt med entreprenøren er det vigtigt, at virksomheden eller dennes „energigransker" løbende holder sig i tæt dialog med entreprenøren for at fastholde fokus på energieffektive løsninger under entreprisens detailprojektering og udførelse.

En bygherre eller virksomhed der overvejer at installere et proces- og komfortventilationsanlæg, har brug for at entreprenøren udarbejder et tilbud som indeholder beregninger af levetidsomkostningerne (LCC-beregning) forbundet med installation og drift af alternative typer anlæg.

I beregningen af levetidsomkostningerne indgår de samlede omkostninger til investering og installation samt omkostningerne til energiforbrug og vedligeholdelse i hele anlæggets levetid.

Tilbuddet med beregninger af levetidsomkostningerne for tre alternative anlæg danner et godt beslutningsgrundlag for bygherren. Tilbuddet vil således vise hvilken løsning, der giver bygherren mest for pengene (i hele anlæggets levetid). I tabel 4.1 er vist et eksempel på beregning af levetidsomkostninger for tre alternative anlæg til fjernelse af samme forurening. De tre alternativer er udregnet på baggrund af en saltsyreforurening (HCL), som er beregnet i eksempel 3. Erstatningsluften opvarmes via naturgas for alle tre alternativer.

Skabelonen i tabellen kan anvendes i forbindelse med energibevidst indkøb og projektering. I tabellen kan tilbudsgiveren indtaste data vedr. anlægsudgifter. Der er endvidere mulighed for at indtaste energiomkostninger samt udgifter til drift og vedligeholdelse i hele anlæggets levetid.

04

Eksempel 4 – LCC-beregninger på tre alternative proces- og komfortventilationsanlæg

LCC-beregning (Life Cycle Cost)	$LCC = C_{ic} + C_e + C_m$			
Udfyldes af tilbudsgiver	**Enhed**	**Alternativ 1**	**Alternativ 2**	**Alternativ 3**
Proces- og komfortventilationssystem	- -	Fortyndingsventilation Naturgas	Spalteudsug Naturgas	Push-pull Naturgas
Energiinput (brændsel)				
Anlægsudgifter m.m.				
Procesventilation	[Kr.]	-	1.250.000	400.000
Komfortventilation	[Kr.]	3.000.000	1.250.000	200.000
Anlægspris i alt (C_{ic})	[Kr.]	3.000.000	2.500.000	600.000
Levetid og energipriser				
Anlæggets levetid	[år]	15	15	15
Varmepris	[Kr./kWh]	0,6	0,6	0,6
Elpris	[Kr./kWh]	0,8	0,8	0,8
Driftsudgifter				
Varmeforbrug	[MWh/år]	216,4	130,3	16,0
Elforbrug	[kWh/år]	105.100	63.300	7.800
Luftmængde	[m^3/h]	33.700	20.300	2.500
Faste afgifter	[Kr./år]	0	0	0
Energiomkostninger i alt i anlæggets levetid (C_e)	[Kr.]	3.200.000	1.930.000	238.000
Service- og vedligehold				
Service og vedligeholdelses-omkostninger i anlæggets levetid (C_m)	[Kr.]	30.000	30.000	30.000
LCC – Life Cycle Cost				
$LCC = C_{ic} + C_e + C_m$	[Kr.]	6.230.000	4.446.000	838.000

Tabel 4.1. Tabel med LCC-beregninger med tre alternative proces- og komfortventilationssystemer som kan anvendes i forbindelse med energibevidst indkøb og projektering. De tre alternativer er udregnet på baggrund af en saltsyreforurening (HCL), som er beregnet i eksempel 3. Erstatningsluften opvarmes via naturgas for alle tre alternativer.

5 Ventilationsprincipper

Ventilationsprincipperne kan opdeles i tre hovedgrupper:

1. Procesventilation
   Procesventilation omhandler lokal ventilation (udsugning) fra processen. Procesventilationen skal hindre forureninger og varme i at trænge ud i selve arbejdslokalet, så komfortventilationen må øges betydeligt.

2. Komfortventilation
   Komfortventilation omhandler ventilation af arbejds- og opholdszonen. Komfortventilationen skal opretholde et indeklima, som er tilfredsstillende for personer, og samtidig opfylde processens krav til temperatur og eventuelt relativ fugtighed.

3. Renrumsventilation
   Renrumsventilation omhandler ventilation af rum eller zoner, hvor der ønskes et særligt lavt antal partikler i rumluften og eventuelt også lav eller ingen mikrobiel (bakterier) aktivitet.

5.1 Procesventilation

Der findes fem metoder eller principper, som kan anvendes ved procesventilation:

- Omslutningsprincippet
- Modtagerprincippet
- Gribeprincippet
- Mekanisk opsamling
- Simpel udsugning

5.1.1 Omslutningsprincippet

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.

Omslutningsprincippet anvendes primært i forbindelse med udsugning fra processer, hvor der udvikles dampe/gasser, der kan være sundhedsskadelige, og hvor det derfor er 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:

- Total indkapslet proces
- Delvist indkapslet proces

Total 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, som vil være dimensionerende for den udsugede luftmængde. Som eksempel kan nævnes drejebænke og plaststøbemaskiner. Se figur 5.1.

Figur 5.1. Total indkapslet proces (lukkede kabinetter).

Delvis indkapslet proces

Når det ikke er muligt at foretage en total indkapsling, kan processen indkapsles delvist, dvs. at den ene af de seks sider i indkapsling er helt eller delvist åben. Eksempler på delvis 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. Indløbsforholdene (kanterne i indkapslingen) udformes, så forureningen holdes i indkapslingen, og hastigheden i det åbne areal holdes så lav som mulig (se figur 5.2). Delvis indkapsling af processen er den mest benyttede metode.

Figur 5.2. Delvis indkapslet proces (stinkskab).

5.1.2 Modtagerprincippet

Modtagerprincippet er bedst egnet til varme forureningskilder. Ved modtagerprincippet vil emitterede gasser, varme eller fine partikler bringes fra forureningsstedet og til udsugningen ved egen kraft, hvorfra de udsuges. Gasser og varme bringes til udsugningsstedet enten ved opdrift som følge af vægtfyldeforskel i forhold til den omgivende luft eller ved termisk opdrift, mens partikler bringes 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. Hvis der derimod er en betydelig termisk belastning vil den varme forurening (også kaldet termisk plumen) hurtigt stige til vejrs som følge af den termiske opdrift, og det kan være svært at indfange (gribe) forureningen. Det er endvidere forbundet med betydeligt energiforbrug, 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 (se figur 5.3).

Figur 5.3. Modtagerprincippet (smelteproces).

5.1.3 Gribeprincippet (herunder push-pull)

Gribeprincippet er bedst egnet ved uopvarmede forureningskilder. Ved gribeprincippet indfanges og fjernes forureningen fra en proces ved at skabe en så kraftig luftbevægelse ved forureningen at den ledes til udsugningen. Princippet bruges bl.a. til at fjerne træ- og metalstøv samt dampe fra processer. I nogle tilfælde er det på grund af pladsforhold nødvendigt at anvende gri-

beprincippet ved varme forureningskilder. Ved svejseprocesser er der tale om en kombination af gribe- og modtagerprincippet, da svejserøgen er varm og stiger til vejrs (se figur 5.4).

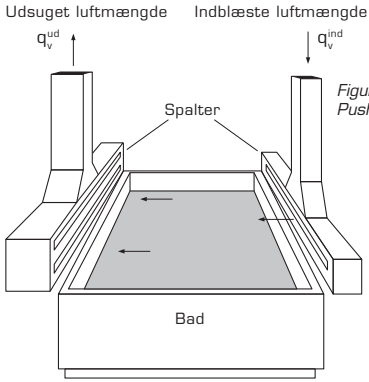
Uanset hvilken type forurening der er tale om, er det altid vigtigt, at punktudsuget så vidt muligt er placeret, således at forureningens eventuelle bevægelse er rettet mod udsugningen. Desuden skal punktudsuget placeres så tæt på kilden som muligt, selvfølgelig under hensyntagen til udførelsen af arbejdsprocessen. Udsug efter gribeprincippet kan give anledning til høje udsugede luftmængder. Ud fra et energiøkonomisk – og også arbejdsmiljømæssigt – synspunkt bør udsugninger derfor udformes efter omslutnings- eller modtagerprincippet.

Figur 5.4. Gribeprincippet (svejsning).

Vandret lufttæppe (Push-pull)

Punktudsug ved åbne bade til beskyttelse af omgivelserne med forurenende dampe udføres mest effektivt med vandrette lufttæpper – de såkaldte push-pull systemer.

Et push-pull system består henholdsvis af indblæsningsspalter eller en række dyser og en udsugningsspalte, der begge skal dække hele badets længde. Se figur 5.5.



Figur 5.5. Push-pull system.

Indblæsningsluften danner en plan stråle og strømmer over hele badet mod udsugningsspalten. Systemets funktion styres primært af indblæsningsstrålen, mens udsugningens funktion er at modtage og udsuge den forurenede luftstråle. Luftstrålen vil medrive rumluft under strømningen mod udsugningsåbningen, og volumenstrømmen i strålen ved udsugningen vil derfor være større end den indblæste volumenstrøm.

Fordelen ved et push-pull system er, at indblæsningsstrålen kan opretholde høje lufthastigheder over store afstande, mens hastigheden foran en udsugningsåbning aftager meget hurtigt med afstanden fra åbningen. Push-pull systemer kan derfor transportere forureninger over relativt store afstande mod udsugningsåbningen og kontrollere forureningsafgivelsen i situationer, hvor det ellers ville være svært eller umuligt.

En af ulemperne ved push-pull er, at store objekter vil afbryde strålen, når de sænkes i eller løftes op af badet og dermed ødelægge systemets funktion. Luftstrålen vil også forøge hastigheds- og turbulensniveauet ved væskeoverfladen og dermed fordampningen og varmetabet fra varme bade.

5.1.4 Mekanisk opsamling

Mekanisk opsamling er bedst egnet ved dynamiske forureningskilder og anvendes ved processer hvor der afgives store partikler ($d_p \geq 10$ µm), som spredes ved at de kastes eller blæses væk fra bearbejdningspunktet. Et eksempel på dette ses i figur 5.6, som viser en båndsliber.

Punktudsuget er placeret og udformet således at partiklerne kastes ned i et gnistfang, hvor de samles i bunden. Mindre (respirable) partikler og dampe kastes også ned i gnistfanget og suges ud.

Figur 5.6. Mekanisk opsamling fra en båndsliber.

5.1.5 Simpel udsugning

Simpel udsugning anvendes ved processer hvor der afgives dampe og gasser samt små partikler ($d_p \leq 10$ µm). Udsugningsprincippet anvendes i forbindelse med fortyndingsventilation. Forurening søges fortyndet med den indblæste ventilationsluft, og den forurenede luft suges ud med et simpelt udsugningssystem. Princippet benyttes ved både varme og uopvarmede forureningskilder, men er energimæssigt uegnet, da der udsuges meget store luftmængder sammenlignet med modtager- og gribeprincippet. Simpel udsugning kan ikke benyttes i forbindelse med dynamiske forureningskilder. Eksempelvis kan simpel udsugning ske fra tagventilatorer i et lokale med en smelteovn (se figur 5.7).

Figur 5.7. Simpel udsugning (tagventilatorer) fra en smelteovn markeret med pile.

5.2 Valg af procesventilationsprincip

Energimæssigt har det stor betydning hvilket procesventilationsprincip der benyttes. Eksempelvis ses det i tabel 5.1, at det vil være uhensigtsmæssigt at benytte gribeprincippet i forbindelse med store varmekilder og dynamiske kilder (røde felter).

For uopvarmede (kolde) kilder samt både små og store varmekilder kan det ikke anbefales at anvende simpel udsugning (mørkerøde felter). Det skyldes, at der skal bruges meget store udsugede luftmængder for at fjerne forureningerne. Dette medfører store elforbrug til drift af ventilatorerne.

De hvide felter i tabel 5.1 indikerer, at ventilationsprincippet er uegnet til kildetypen.

05

Kildetype	VENTILATIONSPRINCIPPER				
	Omslutnings-princip	Modtager-princip	Gribe-princip	Mekanisk opsamling	Simpel udsugning
Uopvarmede (kolde) kilder					
Små (punkt) varmekilder					
Store varmekilder					
Dynamiske kilder					

Lille — Energiforbrug — Stort

Tabel 5.1. Sammenhængen mellem forureningskilde, ventilationsprincip og energiforbrug. De hvide felter indikerer, at princippet er uegnet til kildetypen.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

5.3 Komfortventilation

Dette afsnit adskiller sig fra procesventilation, da komfortventilation omhandler ventilering for at skabe passende klimatiske forhold og øge den termiske komfort for de personer, som arbejder med de industrielle processer. For at forbedre komfortventilationen skal det termiske og atmosfæriske indeklima forbedres med hensyn til luftens temperatur, fugtighed og luftens indhold af fremmede/skadelige stoffer og partikler.

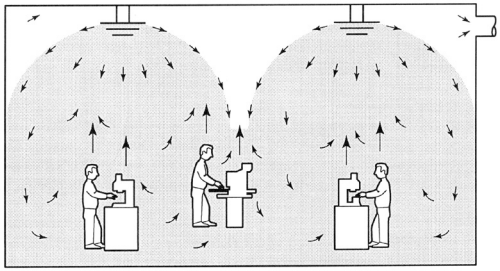
Ved komfortventilation er der to indblæsningsprincipper, som kan anvendes:

- Opblandingsprincippet
- Fortrængningsprincippet

5.3.1 Opblandingsprincippet (fortyndingsventilation)

Opblandingsprincippet tilstræber ens fordeling af varme og forurening i hele rummet.

Opblandingsprincippet er anvendeligt på virksomheder med moderate forureningsemissioner og konvektionsstrømme fra processerne. Opblandingsventilation kaldes også fortyndingsventilation, da forureningen søges fortyndet med den indblæste ventilationsluft (se figur 5.8).



Figur 5.8. Opblandingsprincippet.

Ved kraftige forureningsemissioner er opblandingsprincippet ikke anvendeligt, da der skal indblæses betydelige mængder udeluft for at opnå en tilfredsstillende fortynding. Endvidere vil kraftige og store

konvektionsstrømme ødelægge strømningsbilledet i lokalet. Hvis der afgives megen varme fra processerne, bruges store luftmængder for at reducere temperaturen i arbejdszonen og er derfor ikke energimæssig velegnet ved kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme.

Opblandingsprincippet er særdeles påvirkeligt overfor tværstrømme i bygningen. Tværstrømmene kan forårsage, at den indblæste luftmængde går direkte over i udsugene, dvs. der opstår kortslutning.

Ved anvendelse af opblandingsprincippet kan der maks. fjernes en varmebelastning på 100 W/m^2. Opblandingsprincippet vil derfor med fordel kunne anvendes ved processer uden væsentlige varmeafgivere og emissioner.

Dyse indblæsning

Visse bearbejdningsprocesser f.eks. maling af vindmølletårne kræver ensartet ventilering i hele længderetningen ofte med relativ store luftmængder.

Opgaven kan løses ved at indblæse luft med dyser. Følgende fordele kan nævnes:

- En enklere, mere fleksibel og billigere installation i loftet idet der kun skal føres én hovedkanal op til indblæsningskanalen i modsætning til armaturindblæsning, som både kræver en hovedkanal og mange fordelingskanaler foruden selve armaturerne. Indblæsningskanalen er i mange tilfælde placeret tæt på loftet
- Der kan skabes en retningsbestemt indblæsning ned mod eksempelvis vindmølletårnet
- Indblæsningen sker med lav bevægelsesmængdeimpuls og uden stor turbulens
- Mulighed for efterfølgende at finjustere på luftretningen ved at dreje indblæsningsdyserne

Udsugningen vil altid være ved gulvniveau eller i opholdszonen.

Eksempel 5 – Procesudsug og indblæsning i malerhal til vindmølletårne

Sprøjtemaling af store emner foregår normalt i en malerhal, se figur 5.9. På billedet ses en sektion af et vindmølletårn, som ligger klar til maling. Vindmølletårnets diameter kan være op til 6 m. Tårnet ligger på to rullefelter. Herved kan tårnet males fra den samme position (højde over gulvniveau). Vindmølletårnets maksimale længde er 40 m.

Figur 5.9. Brug af poseindblæsning i stor hal, hvor vindmølletårne males. Udsugningen er placeret lige bagved vindmølletårnet.

I forbindelse med maling med kodenummererede produkter stilles der i bekendtgørelse BEK 302, 1993 krav til procesventilationen i sprøjtekabiner. Der er ikke defineret nogen øvre grænse for størrelsen af en sprøjtekabine. Derfor er malerhaller til store emner i praksis også omfattet af denne bekendtgørelse. Nedenfor ses kravene vedr. ventilation:

Krav til ny sprøjtekabine

1. Kabinen skal have indblæsning af luft i hele loftets areal samt udsugning i gulvet i nærheden af sprøjtestedet. Der bør ikke være afskårne hjørner i loftet
2. Den indblæste luft skal kunne forvarmes i fornødent omfang
3. Kabinen skal være forsynet med både indblæsningsventilator og udsugningsventilator

Fortsættes >

05

4. Mængden af udsuget og indblæst luft, skal være af en sådan størrelsesorden, den lodrette lufthastighed er jævnt fordelt over hele kabinen og mindst 0,2 m/s, når der er placeret et emne i kabinen
5. Turbulens (utilsigtede luftbevægelser) skal minimeres
6. Der skal altid være mindst 1 m mellem emnet og kabinens loft og vægge

Krav til eksisterende sprøjtekabine

1. Kabinen skal være forsynet med både udsugningsventilator og indblæsningsventilator
2. Mængden af udsuget og indblæst luft skal være af en sådan størrelsesorden, at der opnås en lufthastighed på mindst 0,2 m/s, når der er placeret et emne i kabinen
3. Den indblæste luft skal kunne forvarmes i fornødent omfang
4. Luftstrømmen skal føres den kortest mulige vej fra sprøjtestedet til udsugningsåbningen, så den forurenede luft ikke passerer operatørens åndedrætszone

Kravet til en lodret nedadgående lufthastighed på 0,2 m/s, når der males manuelt af en operatør resulterer i kolossalt store luftmængder og tilhørende enorme driftsudgifter til opvarmning af kold erstatningsluft og el til drift af ventilatorer.

Hvis kravet på de 0,2 m/s skal overholdes, kræver det en indblæst og udsuget luftmængde på:

$0{,}2\ m/s \cdot 8\ m \cdot 40\ m \cdot 3.600\ s/h$

$= 230.400\ m^3/h$

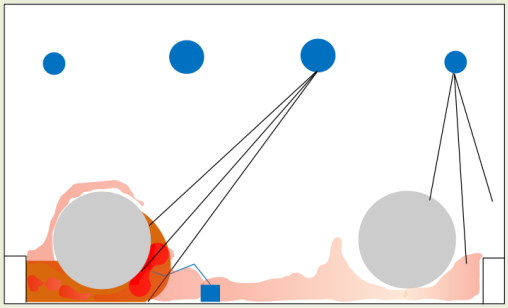
De 8 m fremkommer som vindmølletårnets diameter på 6 m plus 1 m til hver side.

I de fleste tilfælde males der kun i en lille del af hallen ad gangen. Der er derfor en stor fordel ved

at sektionere hallen i passende ventilationszoner, som kan aktiveres og lukkes efter behov. Ligeledes kan forureningen effektivt fjernes, hvis der udformes en form for indkapsling af vindmølletårnet. Arbejdstilsynet skal godkende løsninger, som afviger fra bekendtgørelsen. Dokumentationen er ofte i form af CFD simuleringer.

Den valgte indblæsning sker fra stofposer med sektioner af indblæsningshuller. Indblæsningen fra den store pose målrettes tårnet, som males, (til venstre) og indblæsningen fra den lille pose målrettes tårnet, som er færdigmalet (til højre). Der udsuges kun bagved tårnet som males. Se figur 5.10.

Hvis der males på tårnet til højre på tegningen aktiveres det andet sæt indblæsningsposer og der udsuges kun i højre side. Indblæsning fra den store pose er ca. 45.000 m^3/h og indblæsning fra den lille pose er ca. 10.000 m^3/h.



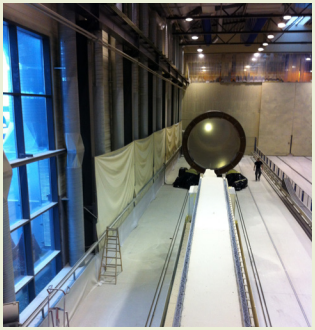
Figur 5.10. Indblæsning og udsugning ved vindmølletårn.

Udsugningen er ca. 52.000 m^3/h (1300 m^3/h pr. løbende meter), dvs. der etableres et lille overtryk i hallen, som forhindrer forureninger fra tilstødende halsektioner.

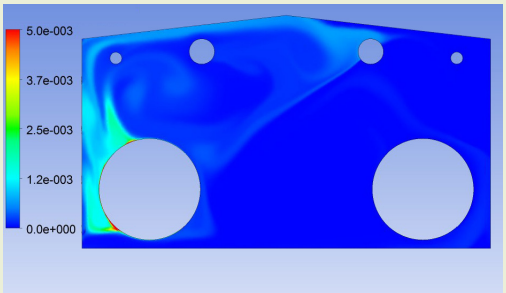
Fortsættes >

> Eksempel 5

CFD simuleringerne (figur 5.12 og 5.14) viser forureningsspredningen fra det venstre tårn, som males.



Figur 5.11. Delvis indkapsling ikke aktiveret.



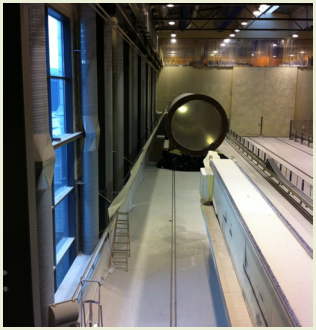
Figur 5.12. CFD simulering – delvis indkapsling ikke aktiveret.

I den første CFD simulering (figur 5.12) er den delvise indkapsling (flanger fremstillet af stof og monteret på væggen) ikke aktiveret. Det ses, at forureningen ikke bliver fanget i tilstrækkelig grad, men strømmer op langs væggen og hen under loftet. I uheldige tilfælde vil malingsrester dumpe ned på det andet tårn, hvilket er uacceptabelt.

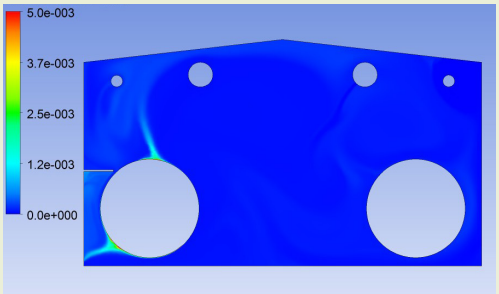
DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

> Eksempel 5



Figur 5.13. Delvis indkapsling aktiveret.



Figur 5.14. CFD simulering – delvis indkapsling aktiveret.

I den anden CFD simulering (figur 5.14) er den delvise indkapsling aktiveret, og det ses, at forureningen bliver mere effektivt fanget af udsuget. Der er dog stadigvæk en anelse forurening, som slipper forbi udsuget og strømmer op under loftet og hen imod det andet tårn. Denne strømning under loftet skyldes at indblæsning med dyser i stofpose kan resultere i et lille undertryk i nærheden af posen. For at bremse strømningen mest muligt, er der etableret lodrette stoftæpper ned fra loftet. Se figur 5.15.

Fortsættes >

> Eksempel 5

Figur 5.15. Lodrette lofttæpper til bremsning af strømning.

5.3.2 Fortrængningsprincippet

Hvis der er et stort varmeoverskud samt termiske forureninger i lokalet vil ventilering efter fortrængningsprincippet være at foretrække.

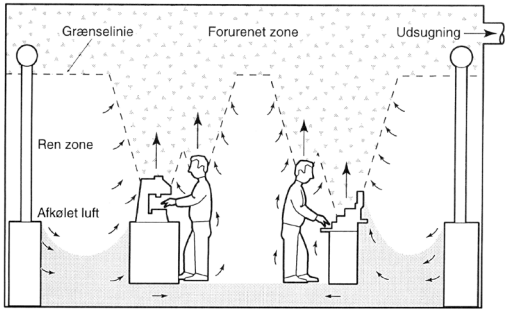
Ved fortrængningsprincippet tilstræbes en "skæv" fordeling af varme og forurening i rummet, således at luften i arbejdszonen bliver renere og køligere end højere oppe i lokalet.

Ved fortrængningsprincippet udnyttes konvektionsstrømmene fra de termiske kilder i lokalet.

Det sker ved, at indblæsningsluften flyder hen over gulvet og ved opvarmning ved varmekilderne stiger mod loftet og fortrænger forureningerne, hvis disse er lettere end eller har samme vægt som luft.

Fortrængningsventilation kan ikke anvendes til opvarmning, da den rene, varme luft vil stige op over opholdszonen, når den forlader indblæsningsarmaturet.

Fortrængningsprincippet er anvendeligt på virksomheder med kraftige forureningsemissioner og konvektionsstrømme fra processerne (se figur 5.16). En ulempe er imidlertid, at princippet er pladskrævende, da indblæsningsarmaturerne skal placeres på gulvet. For at opnå den ønskede virkning, skal luften nemlig kunne flyde hen over gulvet uden forhindringer i retning mod varme- og forureningskilderne. Det kan på mange virksomheder være et problem. Desuden vil en eventuel senere omplacering af indblæsningsarmaturerne ofte være vanskelig. Der kan maks. fjernes en varmebelastning på 100 W/m^2.



Figur 5.16. Fortrængningsprincippet.

Lokal lavimpuls indblæsning

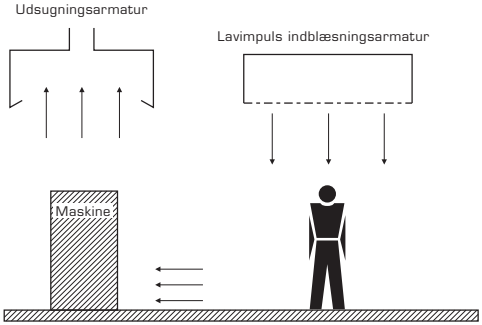
I de senere år er der foretaget en række vellykkede undersøgelser af mulighederne for at anvende lokal lavimpuls indblæsning ved industrielle processer med kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme. Lokal lavimpuls indblæsning udnytter den klassiske fortrængningsventilations fordele og kompenserer for dens ulemper med hensyn til optagelse af plads (se figur 5.17).

Ved lokal lavimpuls indblæsning indblæses den friske erstatningsluft direkte i arbejdszonen. Sammenlignet med konventionel opblandingsventilation medfører dette, at den indblæste luftmængde kan reduceres betydeligt, samtidig med at der opnås et forbedret arbejdsmiljø.

Lokal lavimpuls indblæsning kan anvendes ved termisk varme- og ved termisk neutrale processer.

Vælger man at benytte lokal lavimpuls indblæsning, skal man gøre sig klart, at det kun er i arbejdszonen, altså lokalt, at de termiske og atmosfæriske forhold bliver tilfredsstillende. Uden for arbejdszonen vil disse forhold være anderledes.

Den maksimale varmebelastning, der kan fjernes er 400 W/m^2.



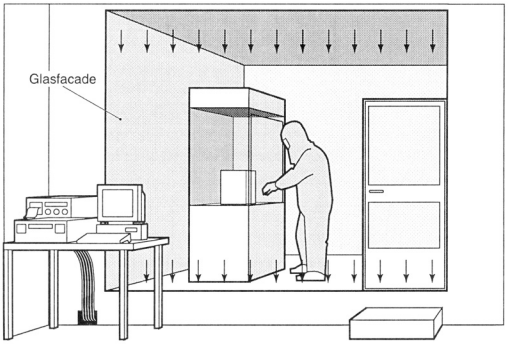
Figur 5.17. Princippet i lokal lavimpuls indblæsning.

Renrumsventilation

Renrumsventilation designes typisk med høje luftmængder, som sikrer, at partikelemissioner i renrummet minimeres. Dermed er energiforbruget til ventilation stort især til drift af ventilatorer, men også til opvarmning, køling, affugtning og befugtning. Der er et stort potentiale for energibesparelser ved energibevidst projektering.

Der anvendes typisk opblandingsventilation til at sikre renheden i de mest belastede renrumsklasser.

Hvis rumadskillelse mellem renrumsklasser ikke er mulig, kan en lokal enhed med stempelfortrængning anvendes med energimæssig fordel til at sikre en ren zone i et lokale, frem for at etablere renrum i hele lokalet (se figur 5.18).



Figur 5.18. Stempelfortrængning.

Ved højere krav til partikelrenheden vil stempelfortrængning som regel være nødvendig.

Ved stempelfortrængning indblæses den filtrerede luft ensrettet over et ønsket område. Det kan være i hele rummet, i en del af rummet, i en halvåben arbejdsbænk eller i en indeslutning. Luften kan indblæses horisontalt eller vertikalt.

Sundhedsmyndighederne kræver typisk ved steril farmaceutisk produktion, at lufthastigheden omkring produktet er ca. 0,45 m/s.

Anvendelse af stempelprincippet ved lavere hastigheder på f.eks. 0,2 m/s vil imidlertid ofte kunne sikre en meget høj renhed omkring produktet.

6 Proces- og komfortventilationssystemets principper

I dette afsnit beskrives forskellige udsugnings- og indblæsningskomponenter.

6.1 Udsugningskomponenter

Her beskrives udsugningskomponenter til punktudsug og almen udsugning.

6.1.1 Punktudsugning

Punktudsug skal effektivt kunne fjerne forureninger som f.eks. varme, støv, lugt, røg eller gasarter, inden spredning til arbejds- og opholdszonen. For at et punktudsug effektivt kan fjerne forureningerne er det vigtigt, at det placeres, konstrueres og dimensioneres korrekt.

Mange af de punktudsug, der anvendes i industrien i dag er dimensioneret ved hjælp af tommelfingerregler, som gør at punktudsugene ofte ikke fungerer tilfredsstillende.

For at konstruere og dimensionere et punktudsug korrekt er det nødvendigt, at have et omfattende kendskab til de industrielle processer, herunder hvorledes forureningerne udbredes fra processerne og hvilke faktorer, der har indflydelse på udbredelse. Figur 6.1 viser de "eksterne" påvirkninger eller randbetingelser, der har indflydelse på procesudsugets effektivitet.

På figur 6.1 er procesudsugets følsomhed overfor fem "eksterne" påvirkninger vist. Disse vil i det følgende blive behandlet nærmere.

Figur 6.1. Procesudsugets følsomhed overfor fem "eksterne" påvirkninger.

1. Natur af forureningskilde
   Ved dimensionering af procesudsug 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. Se afsnit 4.1.

2. Udformning og placering af procesudsug
   Procesudsug skal placeres hensigtsmæssigt i forhold til processerne. De skal placeres tæt på processerne, jo nærmere des bedre virkning for samme lufthastighed i sugeåbningen. Anvendelse af reflektorer og flanger forbedrer procesudsugets effektivitet.

   Procesudsug skal placeres således, at de understøtter forureningernes naturlige bevægelser.

3. Placering af arbejder
   Procesudsug er logisk nok ofte dimensioneret til at være tæt på forureningskilden. Desværre er placeringen af personen ofte ukorrekt i forhold til forureningskilden, og ikke mindst hovedluftstrømningsretningen. Forskellige studier har vist, at personens position i forhold til luftstrømningens retning har stor betydning for forureningskoncentrationen i åndingszonen.

4. Udformning af indblæsning og placering i relation til udsug
   Det skal undgås, at indblæsningsformen skaber forstyrrelser, f.eks. tværstrømninger, som spreder forureningen og dermed forringer procesudsugets effektivitet.

5. Generelle luftstrømninger i lokale
   Procesudsugets effektivitet (udsugningseffektiviteten) er afhængig af forstyrrelser i den omgivende luft. Store tværstrømningshastigheder, f.eks. fra åbne porte, giver anledning til mindre udsugningseffektivitet.

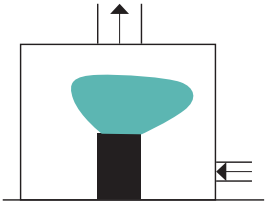
6.1.1.1 Udsugning efter omslutningsprincippet

Omslutningsprincippet omfatter en total og delvis indkapslet proces.

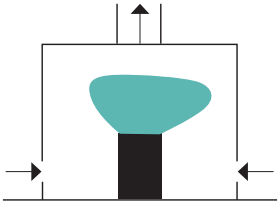
Udsugning fra en total indkapslet proces

Når der arbejdes med totalt indkapslede processer anvendes der en lang række forskellige opstillinger (se figur 6.2 og 6.3).

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.



Figur 6.2. Total indkapslet proces med tilførsel af rumluft.



Figur 6.3. Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft.

Ved emissioner i form af varme bestemmes den udsugede luftmængde som:

$$q_v = \frac{P_{kilde}}{1200 \cdot (T_{ud} - T_{ind})}$$

hvor:
- q_v den udsugede luftmængde i m^3/s
- P_{kilde} er den afgivne effekt fra kilden (konvektiv og stråling) i W
- T_{ud} (°C ≤ t_{ud} ≤ 50 °C)
- T_{ind} (°C ≤ t_{ind} ≤ 50 °C)

Ved emissioner i form af dampe og gasser bestemmes volumenstrømmen V således:

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

hvor:
- V er volumenstrømmen i m^3/h
- q_m er den tilførte forurening i mg/h
- c er luftens forureningskoncentration i mg/m^3

Luftens forureningskoncentration skal være lavere end gældende grænseværdier (GV) fra arbejdstilsynet, dvs.:

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

Opstillingerne for total indkapslet proces med tilførsel af rumluft eller friskluft bygger på nødvendigheden af at udsuge så meget luft, at hastighe-

den i de små huller/åbninger, der måtte være, er mindst 0,5 m/s.

Sammenhængen mellem den nødvendige udsugede luftmængde q_v og arealet af åbningerne A_h skal derfor være som angivet i nedenstående formel:

$$q_v = v_h \cdot A_h \sim 0{,}5 \cdot A_h$$

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 at stille krav til den udsugede luftmængde q_v:

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

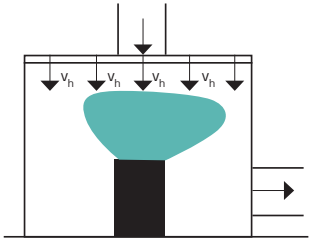
hvor:
- q_m er den maksimalt fordampede mængde i kg/s
- t er den højest mulige arbejdstemperatur i indkapslingen i °C
- c_n er nedre eksplosionsgrænse i kg/m^3 ved 20 °C og 101,3 kPa
- K_1 er en sikkerhedsfaktor, som er sat til 0,25 af brandmyndighederne
- K_2 er en fordelingsfaktor, der fastsættes under hensyntagen til luftfordelingen i indkapslingen

Fordelingsfaktoren K_2 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.

Hvis der er emissioner i form af partikler skal luftmængden bestemmes efter gribeprincippet, (se afsnit 6.1.1.3). Der skal tages hensyn til krav om en vis transporthastighed i kanalsystemet fra indkapslingen.

Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft gennem loft

Princippet er vist i figur 6.4.



Figur 6.4. Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft gennem loft.

Den udsugede luftmængde findes som:

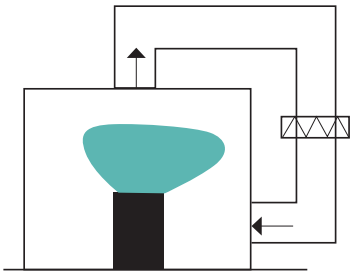
$$q_v = v_h \cdot A_L \sim 0{,}2 \cdot A_L$$

hvor A_L er loftets areal.

Hastigheden v_h på min. 0,2 m/s gennem loftet er et krav fra Arbejdstilsynet.

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. Der skal tages hensyn til krav om en vis transporthastighed i kanalsystemet. Den total indkapslede proces med recirkulering er vist i figur 6.5.



Figur 6.5. Total indkapslet proces med recirkulering.

Eksempel 6 – Båndovn (total indkapsling) til tørring af ekstrudater

Der er udført forsøg med en båndovn, hvori der tørres og kalcineres ekstrudater af et keramisk materiale.

Ekstrudaterne fordeles jævnt på ovnbåndet i takt med at det ekstruderes. Båndet bevæger sig langsomt ind gennem ovnen. Opholdstiden i ovnen er knapt 1 time. Se figur 6.6.

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.

Figur 6.6. Ovnens indløbsende.

Samtidig med den primære luftretning går ned gennem båndet sker der vha. cirkulationsventilatorer en sekundær bevægelse af luften i modstrøm med båndet.

Det meste af vandet i materialet damper af i den kolde ende af ovnen, hvor aftrækket fra ovnen findes. I de sidste to tørresektioner er afdampningen meget begrænset. Her frigøres en del af det kemisk bundne vand.

Fortsættes >

> Eksempel 6

Der skal være undertryk i ovnen, så der ikke emitteres dampe og støv fra tørrebåndovnen til omgivelserne. Undertrykket i ovnen opretholdes med en blæser. Blæsermotoren er udrustet med en frekvensomformer, som styres af et CTS-anlæg. Undertrykket i ovnen sikres ved at foretage udsugning gennem en afkastkanal placeret i ovnens indløbsende. Undertrykket indstilles af driftsoperatørerne og reguleres automatisk ud fra det indstillede setpunkt af et spjæld placeret i afkastkanalen.

Ved besigtigelser af ovnen var setpunktet henholdsvis -22 mmVS, -25 mmVS og -30 mmVS. Undertrykket forekom umiddelbart at være ret højt, og det blev derfor besluttet at efterprøve om det var nødvendigt at holde et så højt undertryk for at sikre mod, at der undslap dampe fra ovnen.

Der blev foretaget målinger af det statiske undertryk i udløbsåbningen i forhold til omgivelserne, det dynamiske tryk over udløbsåbningen samt lufthastigheden i udløbsåbningen. Det blev antaget, at hvis et givet setpunkt for undertrykket i afkastkanalen sikrede tilstrækkelig lufthastighed ind gennem udløbsåbningen ville hastigheden i indløbsåbningen ligeledes være tilstrækkelig, da afkastkanalen, og dermed det kraftigste sug skete i nærhed af indløbsåbningen. Foruden de førnævnte målinger blev der udført røgforsøg både ved indløbs- og udløbsåbningerne for at se om der var passende luftbevægelse. Generelt vil en lufthastighed på 0,5 m/s eller derover sikre at der ikke undslipper dampe ud gennem en åbning. I de forsøg, der blev foretaget med ovnen var det derfor tilstræbt at lufthastigheden var 0,5 m/s eller derover i alle positioner i udløbsåbningen. Tabel 6.1 viser målinger foretaget i udløbsåbningen.

> Eksempel 6

Måleserie	Setpunkt for undertryk i afkast [mmVS]	$\Delta p_{statisk}$ [Pa]	$\Delta p_{dynamisk}$ [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 6.1. Målinger af statisk undertryk i udløbsåbningen i forhold til omgivelserne, dynamisk tryk over udløbsåbningen samt lufthastigheder i udløbsåbningen.

Fortsættes >

> Eksempel 6

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 blev målt med et varmetrådsanemometer. Der var væsentlig forskel på hastigheden i udløbsåbningen ved fastholdt undertryk i afkastkanalen om der var produktion eller ovnen ikke anvendes, se tabel 6.1. Ved den givne produktion (ca. 50 % af fuld kapacitet), var et setpunkt for trykket i afkastkanalen på -15 mmVS tilstrækkeligt.

De udførte forsøg og målinger gav 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 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. 20.09.11), 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^3/h luft ind i ovnen gennem åbningerne, når setpunktet under en produktion svarende til at trykket er sat til -25 mmVS. Hvis setpunktet havde været -15 mmVS i stedet, ville luftmængden have været ca. 700 Nm^3/h, hvilket vil medføre nedenstående omtrentlige reduktion i energiforbruget, idet det antages, at energibesparelsen er den samme, uanset om der produceres på ovnen eller ej. Luften opvarmes fra 20 til 120 °C.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

> Eksempel 6

Gasbesparelse

$$\frac{(2.900 - 700)\ Nm^3/h}{3.600} \cdot 1{,}2\ kg/Nm^3$$

$$\cdot\ 1{,}009\ kJ/kg\ °C \cdot (120 - 20)°C = 74\ kW$$

Brændværdien for naturgas sættes til 11 kWh/Nm^3

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

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

Elbesparelse

Idet virkningsgraden for motor, drev og ventilator er henholdsvis 0,6, 0,98 og 0,92 findes besparelsen:

$$\frac{(2.900 - 700)\ Nm^3/h \cdot 3.200\ kPa}{(3.600\ s/h \cdot 0{,}60 \cdot 0{,}98 \cdot 0{,}92)} = 3{,}615\ kW$$

$$3{,}615\ kW \cdot 8.760\ h/år = 31.700\ kWh/år$$

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

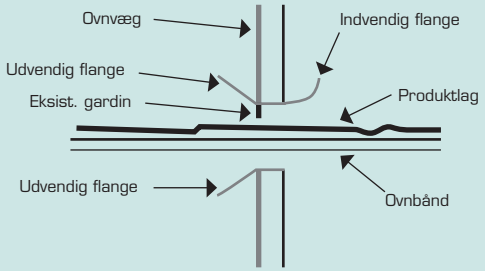
Da det nødvendige undertryk i afkastkanalen afhænger af produktmængden, der tilføres ovnen foreslås det, at der monteres tryktransmittere i ovnens indløbs- og udløbssektioner, som styrer undertrykket i afkastkanalen, så der til stadighed er et passende undertryk i disse sektioner, der sikrer mod emissioner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

Indløb- og udløbsåbningerne er udformet som skarpkantede (firkantede) åbninger, som ikke er velegnede til at indfange dampe, der er trængt ud af åbningen. De sikrer heller ikke mod, at turbulensen i ovnrummet forårsager, at der trænger

Fortsættes >

> Eksempel 6

luft fra ovnen ud gennem åbningerne. I figur 6.7 er 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 den turbulente luftbevægelse i ovnrummet som følge af recirkulationsblæserne.



Figur 6.7. Tværsnit i en åbning med en udvendig flange monteret.

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 monteret et manuelt betjent reguleringsspjæld. Spjældet stod ca. halvt åbent, og tryktabet over spjældet var ret begrænset. Spjældet bør åbnes helt, så tryktabet elimineres og muliggør, at blæserhastigheden og dermed energiforbruget kan reduceres.

Udsugning fra delvis indkapslet proces

I forbindelse med delvist indkapslede processer findes der tre forskellige og grundlæggende typer af indkapsling:

- Malesprøjteboksen
- Sugeboksen
- Stinkskabet

Det traditionelle dimensioneringsgrundlag for disse tre typer beskrives i det efterfølgende.

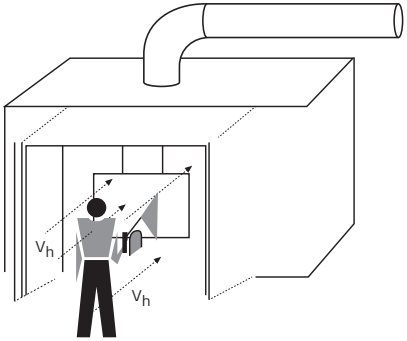
Malesprøjtebokse med manuel betjening

Proceduren ved dimensionering af udsug 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:

$$q_v = v_h \cdot A \sim 0{,}5 \cdot A$$

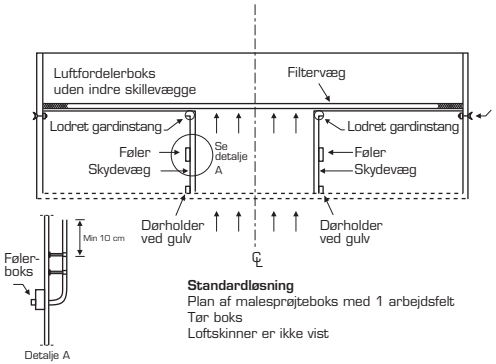


Figur 6.8. Malesprøjteboks med forskydelige indervægge.

Til trods for at kravet (fra Arbejdstilsynet) om en hastighed i malesprøjteboksens frontareal på 0,5 m/s ikke kan fraviges, er der alligevel mulighed for at reducere den udsugede luftmængde.

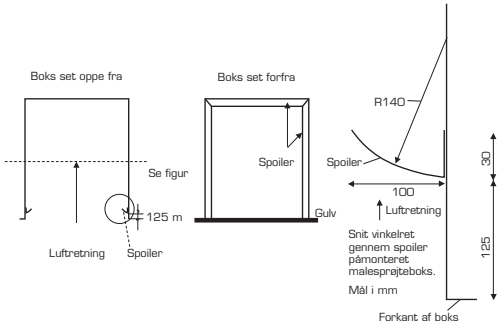
På mange virksomheder er malesprøjteboksene dimensioneret til maling af det størst forekommende emne, men de anvendes i store perioder til maling af mindre emner. Undersøgelser har vist, at en reduktion af frontarealet ved indbygning af forskydelige indervægge i boksen, der ved forskydningen samtidig afspærrer dele af sugefladen i bagvæggen, kan give store energibesparelser, se figur 6.8. På boksens forskydelige indervægge

er der monteret hastighedsfølere, som via en spjældanordning sørger for at fastholde de 0,5 m/s i det reducerede areal (se figur 6.8 og 6.9).



Figur 6.9. Malesprøjteboks med forskydelige vægge set fra oven.

Det er muligt at forbedre sprøjteboksens effektivitet ved hjælp af spoilere. En spoiler er en plade, der er udformet, så den bremser forurenet 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 indadbuet facon, og placeres i boksens sider og under loftet. Figur 6.10 viser en skitse af en malesprøjteboks med spoilere.



Figur 6.10. Malesprøjteboks med spoilere.

Som det ses er spoileren placeret en smule indenfor malesprøjteboksens åbning. Spoilerens bredde behøver ikke at være stor. På skitsen har spoileren således kun en bredde på 100 mm.

Sugebokse

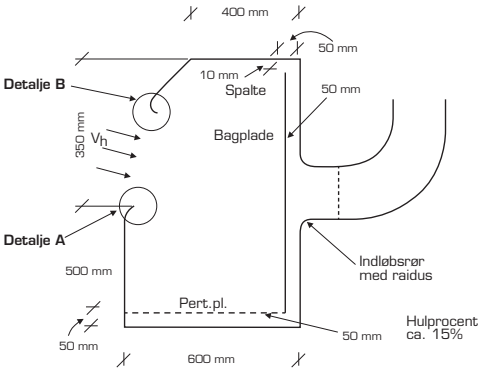
Traditionelt er proceduren for dimensionering af en sugeboks følgende:

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

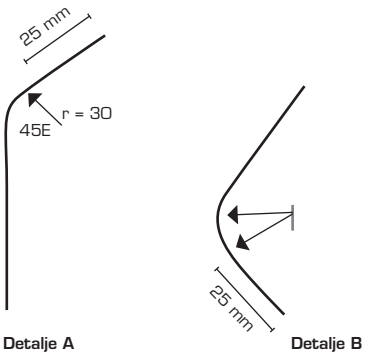
Den nødvendige udsugede luftmængde q_v kan herefter beregnes ved:

$$q_v = v_h \cdot A$$

Bemærk at dimensionering efter fronthastigheden ikke giver en optimal effektivitet af boksen. Undersøgelser 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. På figur 6.11 ses et eksempel på udformning af en boks til udsugning fra en proces.



Figur 6.11. Skitse af en godt udformet sugeboks.



Figur 6.12. Nærbillede af detalje A og B på sugeboksen.

Figur 6.12 viser, at indløbet til boksen er udformet med afrundede kanter. Fordelen er, at der ikke opstår hvirvler i indløbet, når erstatningsluften indføres, og dermed undgås risikoen for at forurenet luft undslipper boksen. I bunden af boksen er der placeret en perforeret plade, hvorigennem 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 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.

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, at den indsugede luft og luften i sugeboksen blandes, samtidig med at noget af den forurenede luft i sugeboksen kan undslippe.

Stinkskabe

Ved dimensionering af udsuget fra et stinkskab er proceduren:

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

Den nødvendige udsugede luftmængde q_v beregnes ved:

$$q_v = v_L \cdot A$$

Luftmængden skal kunne tilpasses lugeåbningen således, at uanset hvad lugeåbningens areal er, vil hastigheden være 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 i perioder reduceres og en mindre mængde erstatningsluft skal opvarmes.

DANSK ENERGI
DANSK ENERGI

Automatik monteret på stinkskabets luge, kan automatisk lukke lugen, når der ikke har været arbejdet ved lugen i en given tid.

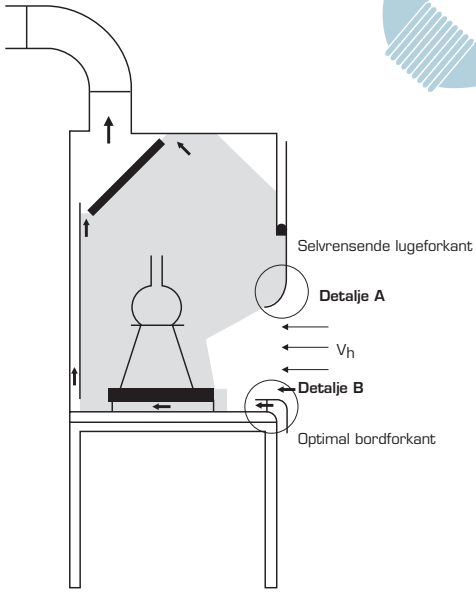
For stinkskabe med god geometri er det muligt at reducere hastigheden i lugeåbningen til under 0,5 m/s, og dermed også den nødvendige udsugede luftmængde. I den forbindelse bør opmærksomheden rettes mod udformningen af bordforkant og lugeunderkant. Sidevægge og eventuelle mellemstolper er heller ikke uden betydning. Strømningsmæssigt korrekte udformninger af disse er en af forudsætningerne for, at hastigheden i lugeåbningen kan reduceres, og at skabets effektivitet kan forbedres.

En anden forudsætning for at hastigheden i lugeåbningen og dermed den nødvendige udsugede luftmængde kan reduceres er, at stinkskabet bruges fornuftigt ved den lavere luftmængde. På figur 6.13 ses et stinkskab med en god geometri.

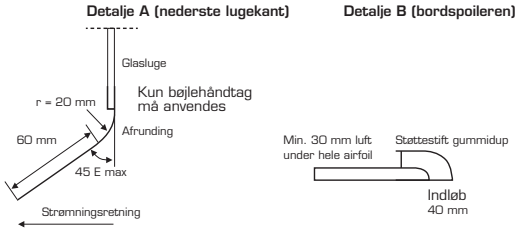
Det er vigtigt at brugerne af stinkskabet er opmærksom på ikke at blokere for luftgennemstrømningen i stinkskabet ved at placere udstyr tæt på udsugningsspalten i bagbeklædningen.

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

Det ses af figur 6.14 at nogle af de vigtigste detaljer for at opnå en turbulensfri indstrømning til stinkskabet er 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".



Figur 6.13. Skitse af et stinkskab med god geometri.



Figur 6.14. Nærbillede af detalje A og B for et stinkskab med god geometri. Detalje A er nederste lugekant og detalje B er bordspoileren.

Eksempel 7 – Kabine (delvis indkapsling) til afvejning af nikotinpulver

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 op i en lille tromle, der lukkes for transport.

For at sikre et godt arbejdsmiljø, ventileres rummet med en luftmængde på ca. 7.000 m^3/h, der blæses ind gennem armaturer monteret i loftet og suges ud gennem perforerede plader i den ene væg, se figur 6.15. Den eksisterende udsugning er trods den store luftmængde utilstrækkelig, da støv fra afvejningsprocessen spredes i hele lokalet.

Figur 6.15. Udsugning ved afvejning af nikotinpulver.

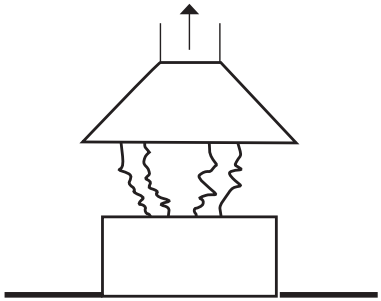
For at effektivisere udsugningen samt sikre, at støv fra afvejningen holdes i en begrænset del af rummet er det foreslået, at der etableres en kabine/afdækning i rummet. Kabinen etableres som en afdækning fra gulv til loft, der er helt åben i fronten i et areal på B x H: 1,5 m x 2 m, så det er muligt at have sækkene med pulver stående

enkeltvis i kabinen. Herved foregår alle støvende operationer i kabinen, og der er ikke behov for ventilation af den resterende del af lokalet udover den luftmængde, der trækkes ind i kabinen af udsuget fra kabinen. Udsugningen sker fortsat gennem de perforerede plader, der er inde i kabinen, mens de perforerede plader udenfor kabinen erstattes med almindelige plader.

Der skal være en lufthastighed i kabinens åbningsareal på ca. 0,5 m/s, svarende til ca. 5.400 m^3/h, for at sikre mod, at der kommer støv ud af kabinen. Ved at etablere den foreslåede kabine kan luftmængden reduceres betydeligt samtidig med, at de nuværende gener som følge af spredningen af støv undgås.

6.1.1.2 Udsugning efter modtagerprincippet

Modtagerprincippet er et ofte anvendt udsugningsprincip ved store termiske kilder, hvor sugehoven er placeret over den varme forureningskilde. De termiske kræfter vil føre den forurenede luft op i hoven, hvor den bliver suget ud. Se figur 6.16.

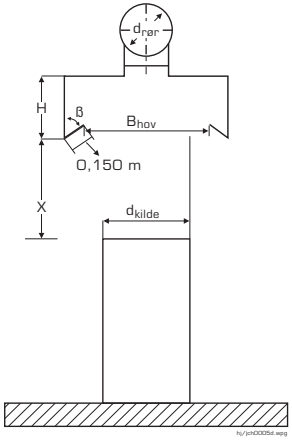


Figur 6.16. Sugehov fungerende efter modtagerprincippet.

Der findes i praksis kun én velegnet metode til dimensionering af en udsugningshov. Den udsugede luftstrøm baseres på en beregning af størrelsen af den termiske plumen ved sugehovens underkant.

Beregning af termisk plumen

Metoden tager udgangspunkt i fysiske forhold omkring den termiske plumen, såsom afklaring af om der er tale om en punktkilde, en linjekilde, spredningsvinkel, konvektiv effekt m.m. Omfanget (bredden) af processens/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.



Figur 6.17. Optimeret sugehov til modtagerprincippet. Afstande for sugehov relateret til tabel 6.2 og 6.3.

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

$$b_{hov_min} = b_{konvek} + 0.8 \cdot x$$

hvor b_{konvek} med god tilnærmelse kan skrives som:

$$b_{konvek} = 0.44 \cdot (x + d_{kilde})$$

For at bestemme den nødvendige udsugede volumenstrøm inddeles forureningskilderne i tre forskellige grundtilfælde (Se tabel 6.1):

- Punkt-/vandret kilde
- Linjekilde
- Lodret kilde (lodret flade)

Formeludtryk for den nødvendige volumenstrøm for de forskellige kilder er vist i tabel 6.3.

hvor:

- Φ_{konv} er den afgivne konvektive effekt fra varmekilden i W
- x er afstanden fra varmekilde til underkant af sugehov i m
- x_{pol} kan normalt sættes lig d_{kilde} eller kildens bredde B (vandret kilde) i m
- L er kildens længde i m
- h er kildens middelhøjde i m

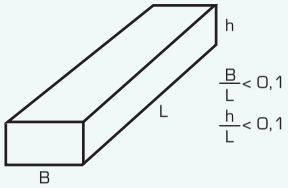
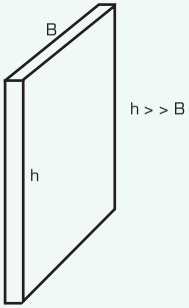
Den konvektive effekt Φ_{konv} kan oftest med god tilnærmelse sættes lig $0{,}5 \cdot P_{tilført}$. Kendes processen kan K-faktorerne i tabel 6.1 benyttes i stedet for faktoren 0,5, således at følgende gælder:

$$\Phi_{konv} = K \cdot P_{tilført}$$

hvor $P_{tilført}$ er den tilførte effekt til varmekilden.

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 6.1. K-faktor for forskellige kildetyper.

Punkt-/vandret kilde	Linjekilde	Lodret kilde (lodret flade)
		
Krav gældende for punktkilder: Lille vertikal udstrækning i forhold horisontal udstrækning.	Krav $\frac{B}{L} < 0{,}1 \quad \wedge \quad \frac{h}{L} < 0{,}1$	Krav h > > B

Tabel 6.2. Inddeling af forureningskilder i tre forskellige grundtilfælde for beregning af termisk plumen.

Punkt- og vandret kilde [m³/s] og [m³/sm]	Linjekilde [m³/sm]	Lodret kilde [m³/sm]
$q_v = 5{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot (\Phi konv)^{1/3} \cdot (x + x_{pd})^{5/3}$ $q_v = 5{,}0 \cdot 10^{-3} \cdot (\Phi konv)^{1/3} \cdot (x + B)^{5/3}$	$q_v = 1{,}4 \cdot 10^{-2} \cdot (\Phi konv/L)^{1/3}$ (x > 1,0) $q_v = 1{,}05 \cdot 10^{-2} \cdot (\Phi konv/L)^{1/3}$ (x ≤ 1,0)	$q_v = 2{,}8 \cdot 10^{-3} \cdot (T_{overflade} - T_{luft})^{2/5} \cdot h^{6/5}$

Tabel 6.3. Nødvendig udsuget volumenstrøm for forskellige kildetyper for beregning af termisk plumen.

Dimensioneringsmetoden tager hensyn til de termiske kræfter, og tilpasser derved den nødvendige udsugede volumenstrøm til behovet. Dimensionen på indløbet til sugehoven kan bestemmes ved:

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

Ved design af sugehovens udformning er det 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 luftmænde ud fra den maksimale luftstrøm fra den termiske kilde.

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. Hvis hovens åbningsareal er større end tværsnitsarealet af den termiske plumen, er der fare for udstrømning fra hoven, hvis den udsugede luftmængde ikke er større end den termiske plumen.

Mulighederne for delvis indkapsling af den termiske plumen fra forureningskilden bør overvejes. Den nødvendige udsugede volumenstrøm i forbindelse med en vægplumen (afgrænsning til én side) udgør 63 % af en fri plumen.

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

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

Reflektorernes vinkel β (se figur 6.17) bør være omkring 30° og deres længde $l_{reflektor}$ bør være større end 0,15 m. Yderligere bør hoven være placeret centralt over forureningskilden. Ved varierende udstrømning fra forureningskilden er det energimæssigt fornuftigt at designe hoven, så 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 ved maksimalbelastninger. Stor fysisk volumen af hoven kan sikres ved at lave hoven tilstrækkelig høj/dyb.

6.1.1.3 Udsugning efter gribeprincippet

Sugehove

Baseret på et opstillet dimensioneringsgrundlag er der taget udgangspunkt i grundformen for udtrykket for den nødvendige volumenstrøm ved udsug:

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

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

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

hvor den nødvendige udsugede luftmængde er en funktion af x fra forureningskildens yderste kant til centrum af udsuget og gribehastigheden v_x i afstanden x samt A, som er arealet af sugeåbningen.

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. (Se tabel 6.4 og 6.5).

Faktoren k_1 udtaler sig om effekten af udsugets placering, og k_2 om hastigheden på tværstrømningerne. Det ses af tabel 6.4, at det ikke er ligegyldigt, hvordan udsuget placeres.

Placering af sugehov	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 6.4. k_1-faktorer der bør anvendes ved forskellige placeringer af sugehoven.

Placering/ tværstrømningshastighed	Uden flange			
	0,0 m/s	0,1 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s
	1	U*	U*	U*
	1	U*	U*	U*
	1	U*	U*	U*
				U*

Placering/ tværstrømningshastighed	Med flange			
	0,0 m/s	0,1 m/s	0,15 m/s	0,3 m/s
	0,75	0,75	1,3	2,0
	0,75	0,75	1,2	U*
	0,75	0,75	U*0	U*
	0,75			

Tabel 6.5. k_2-faktorer - de steder hvor betegnelsen "uhensigtsmæssig" (U) er påført skyldes, at situationen i praksis er urealistisk. Det vil kræve uforholdsvis store luftstrømme.*

Af tabel 6.5 ses det, at tværstrømninger bør undgås. Tværstrømshastigheder i industrilokaler ligger typisk på 0,15 m/s.

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

Hvis grundlaget anvendes korrekt, er såvel udsugningseffektiviteten som brugereffektiviteten mindst 95 %.

06

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

Spalteudsugning

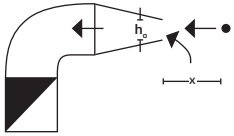
Ved en sugespalte forstås en rektangulær udsugningsåbning, hvor forholdet længde/højde er større end 10:1.

Virkningen af en sugespalte kan forbedres ved flanger.

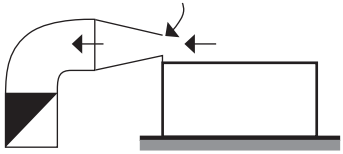
Enkeltsidede sugespalter kan inddeles i tre principielt forskellige opbygninger:

- Sugespalte uden monteret flange
- Sugespalte med en flange ned mod badet
- Sugespalte med flange på begge sider

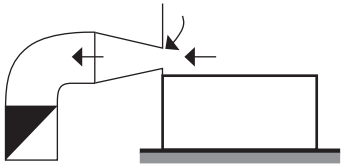
Se figurerne 6.18, 6.19 og 6.20.



Figur 6.18. Spalteudsugning uden flange.



Figur 6.19. Spalteudsugning med flange ned mod bad.



Figur 6.20. Spalteudsugning med flanger på begge sider.

Lufthastighederne i en given afstand fra sugespalten kan med de normale betegnelser bestemmes af formlerne beskrevet i tabel 6.6, hvor h_0 generelt er spaltens højde og x generelt er afstanden fra forureningskilden til spalten (figur 6.18).

Begge disse tal bestemmes ud fra en oplysning om den nødvendige gribehastighed for det pågældende bad.

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

Tabel 6.6. Nødvendig udsuget volumenstrøm og spaltehøjde for enkeltsugende sugespalte. Spalten er henholdsvis uden flange, med flange mod bad og med dobbeltflange.

Fra tabel 6.6 kan nævnes:

- v_x er gribehastigheden i m/s
- B er badets bredde i m
- L er badets længde i m
- v_0 er lufthastigheden i sugespaltens åbning i m/s

Af udtrykkene fremgår at den nødvendige udsugede volumenstrøm er mindst, når der er monteret dobbeltflanger på sugespalten. Af tabellen ses også, at spaltehøjden bør være mindre, når der er monteret flanger på spalteudsuget.

Forskellige processer, der arbejdes med i badene stiller forskellige krav til gribehastigheder for at få al forureningen med. De anbefalede gribehastigheder er vist i tabel 6.7.

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 6.7. Vejledende gribehastigheder ved sugespalter over bade.

Som det ses af tabel 6.7 varierer de anbefalede gribehastigheder mellem 0,2 m/s og 0,5 m/s, hvor den anbefalede gribehastighed ligger i den lave ende ved kolde bade og i den høje ende ved varme bade.

I forbindelse med design af sugespalter er det vigtigt, at lufthastigheden i hele spalteåbningen er nogenlunde ens. Dette opnås (ifølge en tommelfingerregel), når hastigheden i udsugningskanalen højst er 30 % af hastigheden i udsugningsåbningen.

Der gælder:

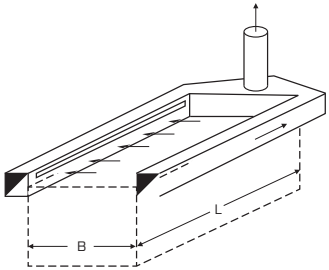
$$v_{udsugningskanal} < 0,3 \cdot v_0$$

Aarealforholdet mellem kanalens tværsnitsareal $A_{udsugningskanal}$ og sugespaltens åbningsareal A_{spalte} kan omskrives til:

$$A_{udsugningskanal} < 3,5 \cdot A_{spalte}$$

Dobbelt modstående sugespalter

Dobbelt modstående sugespalter fungerer som enkelte sugespalter. Forskellen er, 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 6.21.



Figur 6.21. To modstående sugespalter med flange (nemlig badet).

Ved dobbelt modstående sugespalter arbejdes der, ligesom ved enkelte sugespalter, med tre inddelinger:

- 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 hvert af de tre ovenstående inddelinger er vist i tabel 6.8.

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

Tabel 6.8. Nødvendig udsuget volumenstrøm og spaltehøjde for dobbelt modstående sugespalte. Spalten er med flange mod bad, ensidig flange og væg og med dobbeltflange.

Der opnås besparelser i den nødvendige udsugede volumenstrøm pr. areal badoverflade, når der monteres flanger på sugespalterne. Tilsvarende gælder også for højden af sugespalterne. De anbefalede gribehastigheder i tabel 6.7 bør anvendes i forbindelse med dobbelt modstående sugespalter.

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

$$A_{udsugningskanal} < 3{,}5 \cdot A_{spalte}$$

Vær opmærksom på at det kun er den halve q_v, der skal benyttes ved beregningen, da der er to udsugningskanaler.

Udsugning efter push-pull princippet

Lokal udsugning ved åbne bade og trykkemaskiner til beskyttelse af omgivelserne mod forurenende dampe udføres mest effektivt med vandrette luftæpper – de såkaldte push-pull systemer. Korrekt dimensionering af luftmængder er en forudsætning for optimal udsugningseffektivitet og dermed energieffektivitet.

Der er udviklet en dimensioneringsmetode med udgangspunkt i en anbefalet minimumshastighed i strålen over badet. Det anbefales, at maksimalhastigheden i strålen ikke må være lavere end u_x = 0,7 m/s og, at denne hastighed vil forekomme i en afstand af 70 - 80 % af badets bredde fra indblæsningen. For at sikre, at den udsugede luftmængde er større end luftmængden i strålen, bliver den nødvendige udsugningsluftmængde fastsat til en værdi, der er 30 - 40 % større end den beregnede luftmængde i strålen i en afstand af x = (0,8 · badets bredde) fra indblæsningen.

Den udsugede luftmængde bestemmes således:

$$q_{ud} = 0{,}147 \cdot u_x \cdot x \cdot L \cdot 3.600$$

hvor:

- u_x er luftens hastighed i en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i m/s. u_x sættes som minimum til 0,7 m/s
- x er en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i m
- L badets længde i m

Den indblæste luftmængde bestemmes således:

$$q_{ind} = \frac{0{,}109 \cdot u_x^2 \cdot x \cdot L \cdot 3.600}{v_0}$$

hvor:

- u_x er luftens hastighed i en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i m/s. u_x sættes til 0,7 m/s
- x er en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i m
- L badets længde i m
- v_0 er luftens starthastighed i m/s. v_0 sættes til 5 - 10 m/s

Eksempel 8 – Blanding af nikotin i tyggegummimasse samt udtagning af masse

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 og 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 (se figur 6.22).

Figur 6.22. Udsugning fra overkant af mikser, hvorfra udtagning sker.

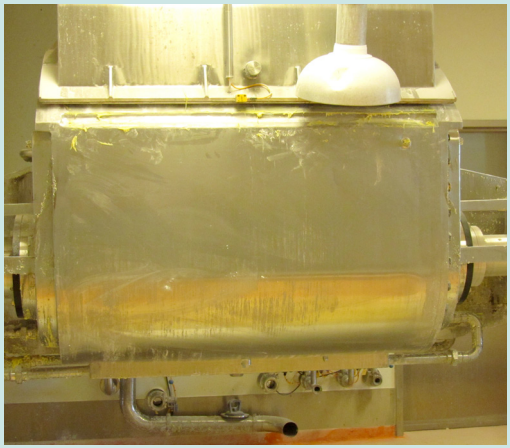
DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

> Eksempel 8

Under udtagningen pudres vognene med talkum. ligesom der hældes talkum på tyggegummistykkerne, inden de lægges i vognene. Det er denne talkum, der forårsager støvdannelsen under udtagningen. Der er placeret et punktsug i den ene side ved overkanten af åbningen til mikseren. Se figur 6.23.

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 på grund af afstanden til støvkilden. I forbindelse med besigtigelsen blev der udført støvmålinger i rummet, hvor mikseren er placeret. Målingerne viste, at støvkoncentrationen 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.



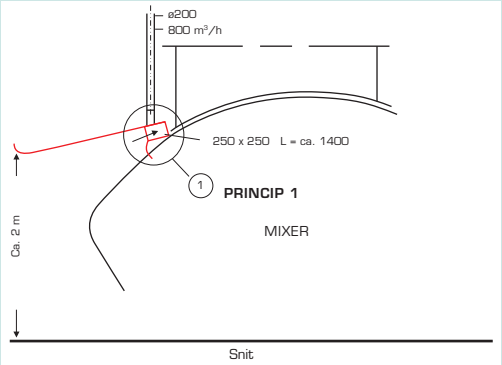
Figur 6.23. Punktudsug ved overkanten af mikseren.

Fortsættes >

> Eksempel 8

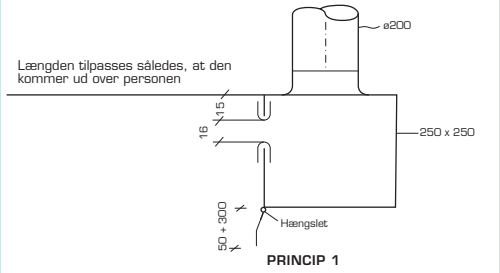
For at effektivisere udsugningen og dermed begrænse støvgenerne for personalet mest muligt, er det foreslået at etablere en skærm monteret på mikserens overkant og som er lukket ned mod mikseren i enderne.

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 6.24 og 6.25. Der er udsugning i hele skærmens bredde. Virksomheden har selv udført og monteret den foreslåede skærm. Skærmen vil reducere støvgenerne fra tilsætningen af nikotinpulveret, men ikke 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. Bortset fra at talkummet er irriterende antages det dog for at være uskadeligt. Derimod er nikotinpulveret sundhedsskadeligt.



Figur 6.24. Principskitse af udsugning fra mixer, hvor skærmen er monteret (markeret med rød). Hvor ikke andet er angivet, er målene i mm.

> Eksempel



Figur 6.25. Nærbillede af udsugning fra skitse af princip 1. Hvor ikke andet er angivet, er målene i mm.

Eksempel 9 – Push-pull i galvanoafdeling

I eksempel 3, afsnit 3.2, ses et eksempel på beregning af minimums friskluftmængden (volumenstrømmen) ved benyttelse af fortyndingsventilation i en galvanoafdeling. Friskluftmængden vil ved fortyndingsventilation være lig med den udsugede luftmængde, da der skal suges lige så meget ud som der blæses ind.

I eksempel 3 ses, at der skal benyttes en friskluftmængde på 33.700 m^3/h for at fortynde forureningen. I eksemplet ses, hvorledes denne friskluftmængde kan reduceres betydeligt ved anvendelse af et push-pull ventilationssystem.

Den udsugede og indblæste luftmængde bestemmes ud fra formlerne under afsnit 6.1.1.3 – Udsugning efter push-pull princippet – og u_x sættes til 0,7 m/s og v_0 sættes til 10 m/s.

Den udsugede og indblæste luftmængde kan nu beregnes:

$$q_{ud} = 0{,}147 \cdot 0{,}7\ m/s \cdot (0{,}8 \cdot 1{,}4\ m) \cdot 6\ m \cdot 3.600\ s/h = 2.500\ m^3/h$$

$$q_{ind} = 0{,}109 \cdot (0{,}7\ m/s)^2 \cdot 0{,}8 \cdot 1{,}4\ m \cdot 6\ m \cdot \left(\frac{3.600\ s/h}{10\ m/s}\right) = 129\ m^3/h$$

Det vil være nødvendigt at tilføre rummet en erstatningsluftmængde på 2.371 m^3/h for at skabe balance mellem den samlede indblæste og udsugede luftmængde.

Se eksempel 4, tabel 4.1 for økonomi.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

6.1.1.4 Mobilt udsug

Mange opfatter kun f.eks. et svejseudsug som et mobilt udsug. Her kan operatøren manuelt flytte svejseudsuget vilkårligt rundt i tre dimensioner indenfor en given radius.

Der er imidlertid flere muligheder for mobile udsug (som endda kan automatiseres), specielt hvis der kun bearbejdes i én eller to dimensioner. I det efterfølgende eksempel 10 er vist et mere avanceret mobilt udsug.

I praksis vil der imidlertid være stor forskel i sugehastighed (gribehastighed) henover skærebordet (fra symmetriakse og ud til kant af skærebord) på grund af gribeprincippet.

Den fri sugeåbning er den enkleste form for en udsugningsåbning. Lufthastigheden aftager med afstanden i 2. potens fra mundingen og kan angives ved:

$$\frac{V_0}{V_x} = \frac{10x^2 + A}{A}$$

hvor:

- V_0 er lufthastigheden i mundingen i m/s
- V_x er lufthastigheden (gribehastighed) i afstanden x i m/s
- x er afstanden fra mundingen i m
- A er mundingens areal i m^2

Hvis en fri sugeåbning forsynes med en flange opnås den samme sugeevne med mindre luftmængde i forhold til den helt fri åbning:

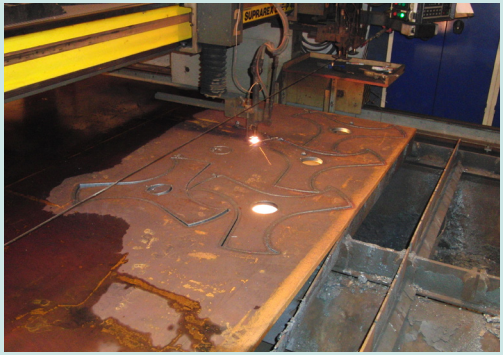
$$\frac{V_0}{V_x} = 0{,}75\,\frac{10x^2 + A}{A}$$

Eksempel 10 – Nyt skærebord til flamme- og plasmaskæring og brug af dobbelt sugespalte

Udsugningen fra skærebordet ændres fra simpelt gribeprincip til dobbelt sugespalte.

Et skærebord anvendes til bearbejdning af små- og store metalplader vha. flammeskæring og plasmaskæring. Se figur 6.26 og 6.27.

Figur 6.26. Skærebordet med følgende dimensioner B x L: 3 m x 15 m.



Figur 6.27. Skæring i plade.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

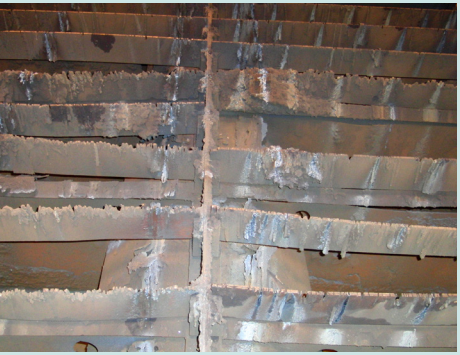
> Eksempel 10

Arbejdstilsynet stiller følgende krav: Skær emner på skærebord med effektiv udsugning. Lufthastigheden på skærestedet skal være 1 - 2 m/s for flammeskæring.

Førsituation

Skærebordet ventileres med følgende lufthastigheder: Plasmaskæring i rustfri stål 2,2 m/s, plasmaskæring i sort plade 2,0 m/s og flammeskæring i sort plade 1,5 m/s.

Skærebordet er opdelt i sugesektioner med dimensioner B x L: 0,5 m x 3 m (se figur 6.28 og 6.29). Sektionsopdelingen har den fordel, at der kun udsuges i det område, hvor der skæres. Luftreguleringen foretages med trykluftstyrede klapventiler, som er placeret midt under skærebordet i hele længderetningen.



Figur 6.28. Udsnit af et gammelt skærebord. Den langsgående udsugningsdel ses under de vandrette metalbjælker.

Fortsættes >

06

> Eksempel 10

Figur 6.29. Udsnit af et gammelt skærebord. Metalaffald fra skæreprocessen dumper ned mellem de vandrette metalbjælker og ødelægger på sigt udsugningsspjældene. Metalaffaldet skal fjernes manuelt.

Den aktuelle udsugede luftmængde er:

0,5 m · 3,0 m · 2,0 m/s · 3.600 s/h = 10.800 m^3/h

Det vurderes, at de årlige driftsudgifter vil være:

Varmeforbrug:	69 MWh/år
Elforbrug:	34.000 kWh/år
Samlede energiomkostninger:	129.000 kr./år

I det aktuelle tilfælde er sugeåbningen ikke helt fri, men er stort set omgivet af flanger.

Metalaffald fra skæreprocessen falder ned i hele skærebordets areal på 3 m x 15 m, og på sigt stiger luftforbruget endnu mere, da klapventilerne (spjældene) efterhånden bliver utætte grundet den hårde belastning fra metalaffald.

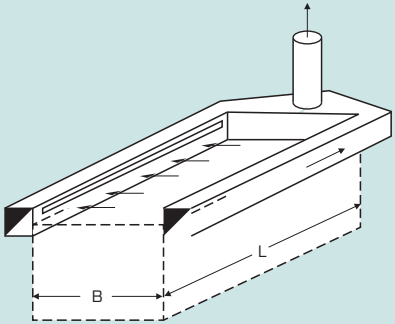
Der er også et tidsforbrug til rengøring af skærebord fra affald.

DANSK ENERGI

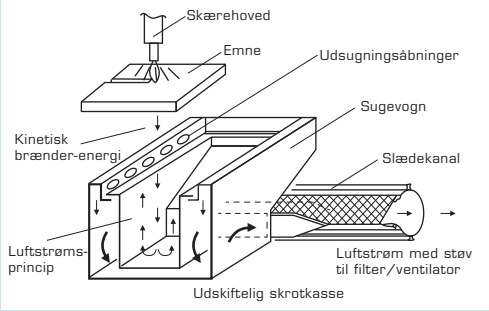
> Eksempel 10

Eftersituation

Skærebordet er ændret markant, idet ventilationsprincippet nu er ændret til dobbelt sugespalte. Se figur 6.30 og 6.31. Det giver et mere ensartet sug i hele skærebordets bredde. Udsugningen er placeret omkring en opsamlingskasse for metalaffald fra skæreprocessen. Opsamlingskassen flytter sig efter skærehovedet. Der kommer med andre ord kun metalaffald ned i selve kassen.



Figur 6.30. To modstående sugespalter med flange.



Figur 6.31. Udsugningen placeret omkring en opsamlingskasse for metalaffald fra skæreprocessen.

Fortsættes >

DANSK ENERGI

> Eksempel 10

Figur 6.32. Tømning af metal i affaldskasse.

Figur 6.33. Kasse placeret nede i den mobile enhed med sugespalter markeret med hvide pile.

Figur 6.32 og 6.33 viser henholdsvis tømning af metal affaldskasse og kassen placeret nede i den mobile enhed med sugespalter markeret med hvide pile.

> Eksempel 10

Det nye skærebord anvender i praksis følgende lufthastigheder: Plasmaskæring i rustfri stål 1,5 m/s og flammeskæring i sort plade 1,0 m/s.

Den aktuelle udsugede luftmængde:

0,5 m · 3,0 m · 1,5 m/s · 3.600 s/h
= 8.100 m^3/h

Den umiddelbare direkte luftbesparelse er:

$$\frac{10.800 - 8.100}{10.800} \cdot 100\ \% = 25\ \%$$

Det svarer til en årlig besparelse på godt 32.000 kr./år.

Det nye skærebord har yderligere følgende fordele:

- Bedste arbejdshygiejniske forhold for operatør ved rengøring
- Energibesparelse på trykluft til klapventiler (spjæld)
- Energibesparelse til filterrensning
- Forlænget levetid af filtermedie på grund af lavere belastning og færre trykluftrensninger

6.1.2 Almen udsugning

Et punktudsug kan aldrig være 100 % effektivt, dvs. det vil aldrig kunne fjerne alle forureningerne som emitteres fra en proces. Der er således mulighed for at forureningerne spredes, f.eks. til områder, hvor det er uønsket. Derfor er der på de fleste virksomheder med emitterende processer installeret et alment udsugningsanlæg i tilknytning til punktudsugningsanlægget (procesudsugningsanlægget).

Det almene udsugningsanlæg, som suger over hele virksomhedens areal, består ofte af et antal tagventilatorer (simpel udsugning) eller et centralt udsugningsanlæg, hvor der på udsugningskanalerne er monteret et antal udsugningsarmaturer.

Disse er i sin simpleste form stutse (kanalstykker) monteret på udsugningskanalerne.

Den dimensionerende luftmængde er ofte bestemt ved hjælp af tommelfingerregler. Som regel dimensioneres luftmængden til almen ventilation som 15 % af den udsugede luftmængde ved punktudsugene, da disse i gennemsnit vurderes til at være 85 % effektive. Det medfører, at der udsuges mere end nødvendigt med et unødvendigt højt tryktab i kanalsystemet, og dermed et højt energiforbrug til følge.

I stedet for at dimensionere luftmængderne efter tommelfingerregler bør der ses på hvor store forureningsmængder, der undslipper punktudsugene og anvende disse forureningsmængder som dimensioneringsgrundlag. På baggrund af disse forureningsmængder bør anlægget dimensioneres.

6.2 Indblæsningskomponenter

For indblæsningskomponenter ses der på indblæsning i arbejdszonen og almen indblæsning.

6.2.1 Indblæsning i arbejdszonen

Her beskrives opblandingsventilation og fortrængningsventilation.

Opblandingsarmaturer samt indblæsningsposer eller – kanaler med dyser

Ved opblandingsventilation afhænger den indblæste luftmængde af, hvad indblæsningssystemet skal anvendes til (se figur 6.34). Opblandingsventilation kan anvendes til et eller flere af følgende formål:

- Fortynding
- Opvarmning
- Køling

Figur 6.34. Indblæsningsarmaturer (spaltediffusorer) til opblanding.

Fortynding

Ved fortynding, skal den indblæste luftmængde beregnes efter fortyndingsligningen. Denne er beskrevet nærmere i afsnit 3.2.

Opvarmning

Ved opvarmning afhænger den indblæste luftmængde q_v primært af bygningens dimensionerende varmebehov Φ_v og forskellen mellem indblæsningsluftens og rumluftens temperatur ΔT_v. Den indblæste luftmængde ved opvarmning kan skrives således:

$$q_v = \left(\frac{\Phi_v}{1.200 \cdot \Delta T_v} \right)$$

Køling

Ved køling afhænger den indblæste luftmængde q_v primært af bygningens dimensionerende kølebehov Φ_k, og forskellen mellem udsugningsluftens og indblæsningsluftens temperatur ΔT_k. Den indblæste luftmængde ved køling kan skrives således:

$$q_v = \left(\frac{\Phi_k}{1.200 \cdot \Delta T_k} \right)$$

ΔT_k kan normalt ikke være større end 5 – 6 °C, hvis trækgener skal undgås. Størrelsen af ΔT_k afhænger af hvilke armaturer, der er valgt.

Opblandingsarmaturer benyttes typisk i lokaler eller haller med mange diffuse forureningskilder med lille forureningsemission, og hvor den termiske belastning fra processerne er lille. Den høje impuls fra opblandingsarmaturerne sikrer en effektiv fortynding, og ensartet koncentration af forureningerne overalt i opholdszonen. Strømningsbilledet er tredimensionelt.

Indblæsningsposer med dyser eller kanaler med dyser er installationsmæssigt en fleksibel form for indblæsning, og kan i princippet anvendes til samme formål som opblandingsarmaturer. Da strømningsbilledet er todimensionelt, kan indblæsningen til en vis grad styres hen i ønsket retning i opholdszonen, og herved "skubbe" forureninger hen til udsuget. Anvendelse af indblæsningsposer med dyser er stigende. Ved stort varmebehov må der ofte suppleres med strålevarme. Se figur 6.35.

Indblæsningsposer uden dyser anvendes typisk i lokaler med behov for store luftskifter og store krav til det termiske klima f.eks. laboratorier. Indblæsningen sker med lille impuls.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

Figur 6.35. Indblæsningsposer med dyser.

Fortrængningsarmaturer

Ved fortrængningsventilation opnås en grænselags- eller lagdelingshøjde Z. Højden er et udtryk for op til hvilken højde over gulvet, luften har en lav koncentration af forurening.

$$Z = (0{,}0075 \cdot (T_f - T_\infty)^{1{,}02} + 0{,}54 \cdot h) \cdot \left(\frac{n^{3/5}}{\Phi_c^{\,1/5}} \right)$$

hvor:

- T_f er varmekildernes overfladetemperatur i °C
- T_∞ er rumtemperaturen i °C
- h er varmekildernes højde i m
- n er den indblæste luftmængde pr. gulvareal i l/sm^2
- Φ_c er varmekildens konvektive effekt pr. gulvareal i W/m^2

Højden Z bør ikke vælges højere end nødvendigt, da den indblæste luftmængde afhænger af denne højde. Som tommelfingerregel bør den være 3 – 4 m. Herved opnås der rimelig sikkerhed for, at koncentrationen af forurening i den nederste zone (indåndingszonen) er lav. Se figur 6.36.

Eksempel 11

En fabrikshal på 1.000 m^2 er forsynet med varmekilder, hvis overfladetemperatur er 200 °C. Varmekildernes højde er 2 m og har en effekt på 300 W/m^2. Rumtemperaturen holdes på 25 °C. Der ønskes ved hjælp af fortrængningsventilation en lagdelingshøjde på 3 m.

Den nødvendige indblæste luftmængde n i l/sm^2 kan nu findes efter:

$$3 = (0{,}0075 \cdot (200\text{-}25)^{1{,}02} + 0{,}54 \cdot 2) \cdot \left(\frac{n^{3/5}}{300^{1/5}}\right)$$

$$n = 3{,}7026^{5/3} = 8{,}8617 \text{ l/sm}^2$$

Den nødvendige indblæste luftmængde q_v i m^3/h for hele hallen findes som:

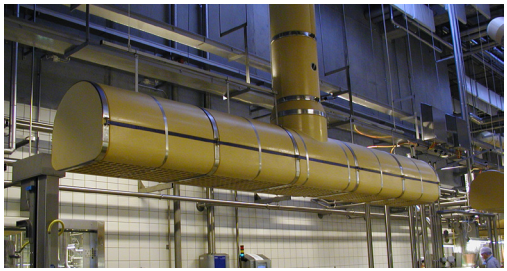
$$q_v = 1.000 \text{ m}^2 \cdot 8{,}8617 \text{ l/sm}^2 \cdot \frac{3600 \text{ s/h}}{1000 \text{ l/m}^3}$$

$$= 31.900 \text{ m}^3\text{/h}$$

Forureningen i den nederste zone er lav, da der kun tilføres forurening fra eventuel kuldenedfald, og anden forstyrrelse i mellem de to zoner.

Figur 6.36. Gulvplaceret indblæsnings-armaturer til fortrængnings-ventilation.

I nogle tilfælde vil det være relevant at placere fortrængningsarmaturet i vandret position i en vis højde over gulvniveau (se figur 6.37). Det kaldes aktiv fortrængning.



Figur 6.37. Indblæsningsarmaturer til aktiv fortrængning.

Ved faste arbejdspladser kan aktiv fortrængning skabe en form for personlig ventilation i området. Her undgås, at armaturet okkuperer plads på gulvet. Den køligere luft fra armaturet vil stadigvæk strømme ned til gulvet med lav impuls. Samme grundlag til beregning af lavdelingshøjde som ved passiv fortrængning kan benyttes.

6.2.2 Almen indblæsning

Et alment indblæsningsanlæg har til formål at opretholde et acceptabelt termisk og atmosfærisk indeklima udenfor arbejdszonen. Dette eller disse områder er karakteriseret ved moderate forureningskoncentrationer, afhængig af punktudsugenes effektivitet. Det kan dog i høj grad være karakteriseret ved et uacceptabelt termisk indeklima, f.eks. på grund af stråling fra procesudstyr. Indblæsning af frisk luft i arbejdszonen f.eks. ved hjælp af perifere fortrængningsarmaturer forbedrer kun det termiske indeklima i arbejdszonen, og ikke det termiske indeklima i de omkringliggende områder.

Almene indblæsningsanlæg er i dag i overvejende grad baseret på ventilationsprincippet konventionel opblanding. Luften indblæses gennem armaturer placeret et godt stykke over gulvet.

7 Energiforbrug til proces- og komfortventilationssystemer

Bestemmelse af energiforbrug til ventilationsaggregater, opvarmning af luft og til køling af luft.

7.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat

Ventilatormotorens effektforbrug P defineres således:

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{(\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f)} = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_t}$$

hvor:

- q_v er volumenstrømmen i m^3/s
- Δp_t er totaltrykstigningen i Pa
- η_v er ventilatorens virkningsgrad
- η_r er remvirkningsgraden
- η_m er motorvirkningsgraden
- η_f er frekvensomformerens virkningsgrad
- $(\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f)$ er totalvirkningsgraden η_t

7.2 Energiforbrug til opvarmning af luft

I Bygningsreglementet 2010 kap. 8.3 stk. 6 står der: "Ventilationsanlæg skal forsynes med varmegenvinding med en temperaturvirkningsgrad på mindst 70 %. Kravet kan dog fraviges, når afkastluftens overskud af varme ikke på rimelig måde kan udnyttes".

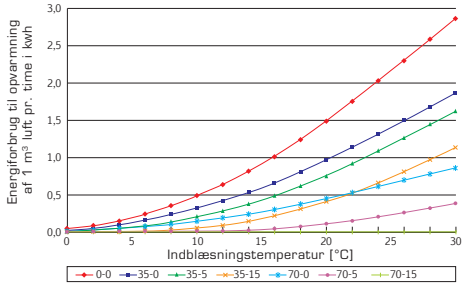
Ovenstående krav gælder også for ventilationsanlæg i industrien, herunder procesventilationsanlæg.

I At-vejledning om ventilation på faste arbejdssteder (Arbejdsstedets indretning – A.1.1) står der: "Ved varmegenvinding i forbindelse med procesventilation skal det sikres, at den friske indblæsningsluft ikke bliver forurenet af udsugningsluften/afkastluften i varmeveksleren. Det betyder f.eks., at roterende varmevekslere ikke bør bruges ved procesventilation".

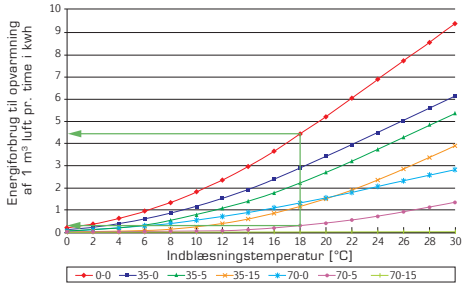
I figur 7.1 og 7.2 er energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene 8.00 til 16.00 og 0.00 til 24.00 (samtlige af årets timer). På figurerne ses betydningen af varmegenvinding og maksimal udsugningstemperatur. Det sidste kan opnås ved at anvende effektive punktudsug ved varmeprocesser.

Kurvebetegnelse 70 – 5 (violet kurve):

- 70 betyder 70 % virkningsgrad for varmegenvindingen (temperaturvirkningsgrad).
- 5 betyder 5 °C højere temperatur af afkastluft end den ønskede opvarmningstilstand.
- 0 – 0 er forbruget uden varmegenvinding (rød kurve).



Figur 7.1. Årligt energiforbrug i kWh pr. én ugedag til opvarmning af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.



Figur 7.2. Årligt energiforbrug i kWh pr. én ugedag til opvarmning af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

Eksempel 12 – Energiforbrug til opvarmning af luft

Et anlæg arbejder med 18 °C indblæsningstemperatur, og det indblæser og udsuger 20.000 m^3 luft pr. time hele året, døgnet rundt (7 ugedage).

Forbruget til opvarmning til 18 °C pr. m^3/h aflæses i figur 7.2 via den røde kurve O - O (uden varmegenvinding) ud for 18 °C til 4,4 kWh/år pr. m^3/h pr. ugedag.

For 20.000 m^3 luft pr. time er forbruget til opvarmning hermed:

4,4 kWh/(m^3/h)/ugedag · 20.000 m^3/h · 7 ugedage = 616.000 kWh.

Afkastluften kan varmegenvindes fra 23 °C, dvs. 5 °C varmere end det niveau, hvortil varmegenvindingen ønskes, med en temperaturvirkningsgrad på 70 %. Nu kan energiforbruget aflæses på den violette kurve 70 - 5 til 0,3 kWh/år pr. m^3/h pr. ugedag. Se figur 7.2.

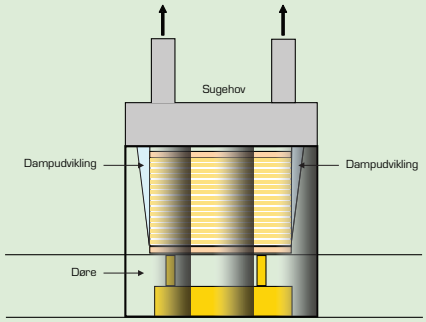
For 20.000 m^3/h er forbruget til opvarmning hermed:

0,3 kWh/(m^3/h)/ugedag · 20.000 m^3/h · 7 ugedage = 42.000 kWh.

DANSK ENERGI

Eksempel 13 – Varmegenvinding fra dampopvarmede pressemaskiner

I forbindelse med produktionen af parketgulve tørres parketstavene i seks dampopvarmede pressemaskiner, som er opstillet i to haller. Parketstavene stables lagvis ovenpå rektangulære dampplader. Varmen kommer herved ind i træet ved ledning i stedet for ved konvektion, som i almindelige trætørrestuer. Tørringen foregår herved meget hurtigt, idet fugtindholdet nedbringes fra ca. 50 % til 2 % på 105 minutter. Pressemaskinerne er lukkede i begge sider i langsgående retning af skydedøre (se figur 7.3).



Opstalt af træparket pressemaskine set fra siden

Figur 7.3. Pressemaskine til tørring af parketstave.

I enderne er der monteret gardiner i reflekterende materiale, der hæves/sænkes når et batch af stave transporteres ind/ud af maskinen. Over hver pressemaskine er der placeret procesudsug (emfang), som opfanger det meste af den konvektive luftbevægelse og dampen fra træet. Indkapslingen af maskinerne er åben nedadtil.

Der er almen indblæsning nær opholdszonen ved indføring af stave til tørreovnen og ved udgangen fra tørreovnen. Udsugningsluften passerer en skrubber for at blive renset inden den går til det fri. Der er etableret to udsug fra hvert emfang,

Fortsættes >

DANSK ENERGI

> Eksempel 13

der parvis er ført til hver sin blæser seks og seks. Udsugningen fra hver emhætte er styret on/off, således at spjældene i udsugningskanalerne er fuldt åbne under presningen, og spjældene er lukkede når presningen er færdig. Der er skåret lidt af spjældpladerne, så der opnås et vist flow, når spjældene er lukkede.

Udsugningsluftmængden i hovedkanalen er målt til at være mellem 50.000 – 85.000 m^3/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 tørrekamrene 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. Se figur 7.4.

Efter presningen anbringes parketstavene til afkøling på en mellemstation. Parketstavenes opholdstid på mellemstationen efter pressen er meget varierende.

Figur 7.4. Udsugningskanaler på taget ovenover tørremaskinerne.

> Eksempel 13

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 friskluftilførsel. Hvis denne restvarme fra de tørrede træstave skal bortledes af hensyn til arbejdsmiljøet kan det gøres ved at etablere separate hætter over mellemstationerne, hvorfra konvektionsvarmen kan ledes væk ved naturlig ventilation. En del af strålevarmen vil ikke blive omsat til konvektiv varme, så der vil stadig tilføres rummet en vis varmemængde.

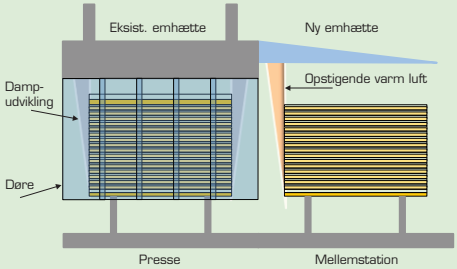
Der tilføres imidlertid rummet ca. 420 kWh pr. batch (træ: 290 kWh, stålplader: 130 kWh) ved at lade et batch afkøle fuldt ud på mellemstationen. Derfor har det været naturligt at undersøge om mellemstationerne kan skærmes af, så varmen fra parketstavene kan genvindes. Da mellemstationerne har forskellige systemer til at laste og tømme stationerne, vurderes det 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. Det antages, at det er udsugningen fra emhætten, der skaber et svagt undertryk mellem presse og mellemstation. En del af varmen fra mellemstationen havner således allerede i emhætten. For at maksimere varmemængden fra mellemstationen, der ledes til emhætten foreslås det, at der etableres en emhætte hen over mellemstationen, som er placeret over mellemstationens drivmekanisme.

Emhætten skal være skrå, 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,

Fortsættes >

> **Eksempel 13**

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 (se figur 7.5). 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 pr. batch, der afkøles på mellemstationen. De resterende ca. 100 kWh pr. 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. (1100 + 800) MWh 1.900 MWh årligt.



Figur 7.5. Illustration af ny emhætte og eksisterende emhætte.

7.3 Energiforbrug til køling af luft

I tabel 7.1 og 7.2 er energiforbruget til køling af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene 8.00 til 16.00 og 0.00 til 24.00 (samtlige af årets timer). Bemærk, at det årlige energiforbrug er opgivet i Wh/m^3 pr. time. Der er samtidig tale om den energi, der skal tilføres selve luften.

For at bestemme det elforbrug, der skal tilføres kølemaskinen, skal der divideres med kølemaskinens gennemsnitlige effektfaktor (mellem 2 og 4).

Indblæsningstemperatur	Overfladetemperatur									
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	877							
10	664	615						
12	472	439	395					
14	309	288	260	227				
16	186	175	157	137	123			
18	105	99	89	78	70	67		
20	54	51	47	41	36	35	34	
22	25	24	22	19	17	16	16	16

Tabel 7.1. Årligt energiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m^3 luft pr time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.

Indblæsnings temperatur	Overfladetemperatur										
	8	10	12	14	16	18	20	22
8	2023							
10	1425	1324						
12	920	863	776					
14	543	510	461	399				
16	294	277	250	218	192			
18	150	141	128	112	99	94		
20	72	68	63	55	48	46	45	
22	32	30	28	24	21	20	20	20

Tabel 7.2. Årligt energiforbrug i Wh pr. én ugedag til nedkøling af 1 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 0.00 til kl. 24.00.

Eksempel 14 – Energiforbrug til køling af luft

En industrihal med mange varmekilder ventileres med 20.000 m³ luft pr. time. Indblæsningstemperaturen er 18 °C. Kølefladen i anlægget tilføres vand med en temperatur på 10 °C.

Anlægget er i drift i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00, 5 dage om ugen.

I tabel 7.1 kan det årlige energiforbrug aflæses til 99 Wh pr. m³ luft pr. time pr. dag pr. uge.

Det årlige energiforbrug til nedkøling af luften i den pågældende periode vil da være:

99 Wh/(m³/h)/ugedag · 20.000 m³/h · 5 ugedage = 9.900 kWh.

Ved en årseffektfaktor på eksempelvis 2,2 vil kølemaskinen anvende en energimængde på 4.500 kWh årligt.

8 Energioptimal drift

For at opnå en energioptimal drift af proces- og komfortventilationsanlæg er det vigtigt, at de er dimensioneret korrekt. Korrekt dimensionering kræver, at der er foretaget en analyse og vurdering af det reelle behov, som anlægget skal dække.

På baggrund af behovsanalysen (se afsnit 4) vælges den optimale systemudformning med de mest energieffektive komponenter, samt det mest energioptimale styrings- og reguleringsudstyr.

Inden anlægget sættes i drift, skal det være indreguleret korrekt og dokumenteret.

8.1 Styring og regulering

Behovet for ventilation er sjældent konstant, men varierer over døgnet og året. F.eks. afhænger centraludsugning af spåner fra træbearbejdningsmaskiner eller udsugning af røg fra svejseprocesser af arbejdsprocessernes aktivitet.

Behovet er også varierende, når det gælder komfortventilation. Ventilationsanlæg er projekteret ud fra en stor person- og varmebelastning i rummet. I mange situationer er belastningen langt mindre, og det er vigtigt at tilpasse anlæggets ydelse til behovet på en energieffektiv måde.

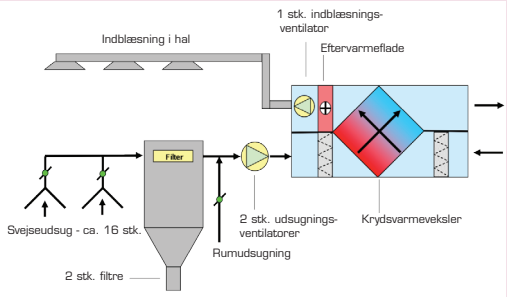
Behovet for ventilation kan reguleres efter:

- Urstyring (efter tid)
- Trykstyring (efter f.eks. tryk i kanal)
- Procesudstyrets driftstilstand (f.eks. via styresignal fra maskine)
- Tilstedeværelses styring (efter tilstedeværelse af personer)
- Rum- eller udsugningstemperaturen (føler)
- CO_2 indhold i luften (føler)
- Fugt (føler)

08

Eksempel 15 – Behovsstyring

I figur 8.1 ses et eksempel på et behovsstyret proces- og komfortventilationsanlæg med indblæsning, udsugning, varmegenvinding og eftervarme. Anlægget er forsynet med udsugning fra 16 stk. svejsesteder, almen udsugning samt indblæsning af friskluft i produktionshaller.



Figur 8.1. Principskitse af proces- og komfortventilationsanlæg.

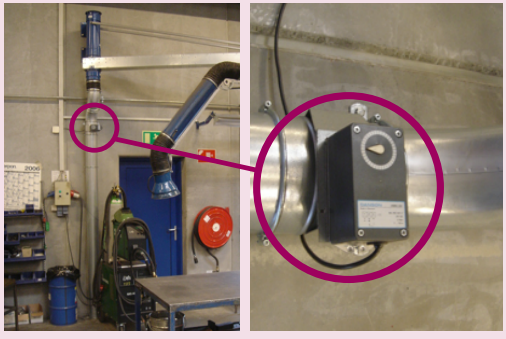
Anlægget består i hovedtræk af en indblæsningsventilator, to udsugningsventilatorer, to cyklonfiltre, en krydsvarmeveksler og en eftervarmeflade. Indblæsningsventilatoren, krydsvarmeveksleren og eftervarmefladen er placeret i et aggregat, mens udsugningsventilatorerne er placeret eksternt. Se figur 8.2.

Figur 8.2. På billedet ses de to udsugningsventilatorer (bordeaux cirkler) og de to cyklonfiltre.

> Eksempel 15

Ventilatorerne drives af motorerne via remtransmissioner. Alle tre motorer er forsynet med frekvensomformere, som sørger for at variere omdrejningstallene på motorerne og dermed ventilatorernes volumenstrømme efter belastningen i svejsehallen, dvs. efter, hvor mange punktudsug, der er i brug. Indblæsningen af friskluft sker via indblæsningsarmaturer placeret ved gulvet (fortrængningsventilation). Udsugningen sker via punktudsug placeret forskellige steder i hallen. Se figur 8.3. Endvidere foretages rumudsugning (almen udsugning) i produktionshallerne.

Proces- og komfortventilationsanlægget er, som nævnt, behovsstyret. Ved hver punktudsug er der i kanalen monteret et afspærringsspjæld (se figur 8.3 og 8.4), som åbnes og lukkes automatisk, dvs. spjældene åbnes, når der svejses. Jo flere spjæld, der er åbne jo hurtigere kører motorerne, og dermed øges den samlede udsugede volumenstrøm. Frekvensomformere modtager signaler fra en tryktransducer placeret i det ene cyklonfilter. Frekvensomformerne regulerer volumenstrømmene, så der opretholdes et konstant tryk ved filteret. Sætpunktet for trykket er 1.900 Pa.



Figur 8.3. (venstre) Punktudsug i svejsehal.
Figur 8.4. (højre) Afspærringsspjæld ved punktudsug.

Fortsættes >

> Eksempel 15

Når alle spjældene i punktudsugene er åbne, indstilles spjældet i rumudsugningskanalen automatisk til 15 % åben. Det betyder, at der udsuges (2·5.000) m^3/h fra rummene. Luftmængden reguleres ved en justerbar modstand. Når spjældene i punktudsugene lukker i, lukker spjældet i rumudsugnings kanalen mere op. Når der ikke svejses, foretages der udelukkende rumudsugning. I dette tilfælde sker reguleringen af anlægget ved, at frekvensen til udsugningsventilatorernes motorer ændres fra 38 Hz (maks.) til 10 Hz (min), samtidig med, at spjældet i rumudsugningskanalen automatisk indstilles til ca. 80 % åben.

Indblæsningsventilatoren styres af en trykdifferenstransmitter, der søger at holde en trykdifferens mellem det statiske tryk i hallerne og det statiske tryk ude lig med nul.

Eksempel 16 – Behovsstyring

I forbindelse med en smelteproces for jern foretages der udsugning over den tappede smelte, indtil den er størknet. Jernet størkner på en luftkølet bakke (kølepande), hvorefter det størknede jern fjernes ved at panden tippes. 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. Se figur 8.5.

Figur 8.5. Flydende jern tappes ud på kølepande.

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 for derved at beskytte den mod den termiske belastning.

Der udsuges en konstant luftmængde på i alt 94.000 m^3/h til trods for, at udsugningsventilatorernes motorer er forsynet med frekvensomformere, som sørger for at variere omdrejningstallene på motorerne, og dermed ventilatorernes volumenstrømme efter temperaturen i afkastkanalen.

Det er beregnet, at en luftmængde på ca. 26.000 m^3/h er tilstrækkelig til at sikre en passende

Fortsættes >

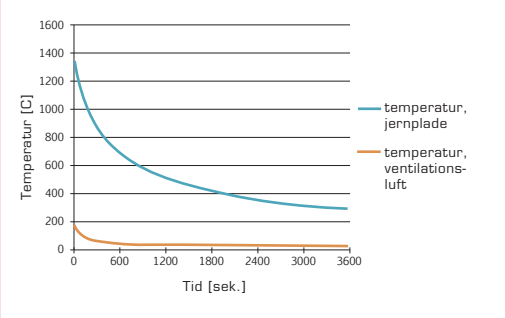
08

DANSK ENERGI

udsugning over panden. Herved sikres, at gasser og varme ikke undslipper udsugningen. Den udsugede luft vil blive over 400 °C varm i starten, hvilket ikke er hensigtsmæssigt.

Der er med udgangspunkt i en energibalance over jernpladens omtrentlige nedkølingsforløb udført en overslagsmæssig beregning af pladetemperaturen, og temperaturen af den udsugede luft fra skærmen. Pladen afkøles ret hurtigt, og den udsugede luft er kun meget varm ganske kortvarigt. Efter omkring 7 - 8 minutter er temperaturen af den udsugede luft nede på 50 °C med en luftmængde på 94.000 m^3/h. Se figur 8.6.

Der er tilsvarende udført en beregning af den nødvendige luftmængde fra skærmen over panden, hvis temperaturen af den udsugede luft fastholdes på 50 °C.



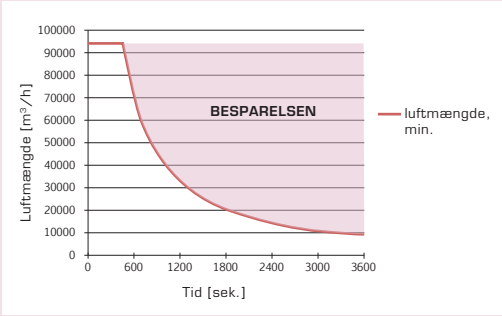
Figur 8.6. Temperatur af jernplade og luft fra skærmen over panden.

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 muligt at reducere luftmængden, og allerede efter omkring 15 minutter kan luftmængden være halveret.

DANSK ENERGI

> Eksempel 16

Den nuværende styring af blæserne er udrustet med temperaturregulering, som justerer blæserydelsen efter temperaturen i afkastet fra skærmen. Denne styring anvendes ikke, idet blæserne jo kører med fast omløbstal. Det foreslås, at den allerede eksisterende blæserstyring bringes i anvendelse. Det sker ved, at der fastsættes en minimumsluftmængde i blæserstyringen, så der suges minimum ca. 10.000 m^3/h fra skærmen over kølepanden. Det er beregnet, at elforbruget til de to blæsere vil kunne reduceres med ca. 80 % ved at anvende temperaturstyret omløbstal fremfor drift med konstant 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. Den sparede luftmængde over en time kan ses på figur 8.7.



Figur 8.7. Nødvendig luftmængde fra skærm over kølepande.

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.

DANSK ENERGI

8.2 Systematisk, energibevidst vedligehold

Formålet med energieffektiv drift og vedligehold af proces- og komfortventilationsanlæg er at sikre, at anlæggene leverer det termiske og atmosfæriske indeklima, de er dimensioneret til med mindst mulig energiforbrug samt service- og vedligeholdelsesudgifter.

Proces- og komfortventilationsanlæg skal vedligeholdes for at fungere korrekt. Dette gælder også den tilhørende automatik, der styrer og regulerer anlæggene. Det ses ofte, at anlæggene ikke drives og vedligeholdes efter forskrifterne fra leverandøren eller installatøren, hvilket medfører ringe komfort for brugere, og højere energiforbrug end nødvendigt.

Typiske symptomer på manglende energieffektiv drift og vedligehold:

- Dårlig luft, evt. fugt og lugt
- Kulde og træk
- For varmt, evt. overophedning
- For høj indblæsningstemperatur
- Højt varme- og elforbrug

Systematisk, energibevidst vedligehold giver både driftsmæssige og økonomiske fordele.

Vedligehold foregår desværre ikke altid systematisk, og der er heller ikke altid tilstrækkelig fokus på sammenhængen mellem energiforbrug og vedligehold.

Systematisk, energibevidst vedligehold handler om at optimere proces- og komfortventilationsanlæggene driftsmæssigt, og dermed også energimæssigt. Det indebærer, at vedligeholdet planlægges og gennemføres systematisk med faste intervaller.

Et for højt energiforbrug er som regel et symptom på, at proces- og komfortventilationsanlæggene ikke kører optimalt, og på et tidspunkt måske vil føre til driftsstop. Ved at foretage systematisk, energibevidst vedligehold – herunder at holde øje med energiforbruget og gribe ind, hvis det stiger – kan man bl.a. forebygge driftsstop. Samtidig forlænger god vedligeholdelse levetiden af anlæggene.

8.2.1 VENT-ordningen

Ordningen er en frivillig og kontrolleret eftersyns- og serviceordning for drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæg. Den sikrer, at ventilationsanlæg lever op til de krav, virksomheden har til ventilation, samtidig med, at energiforbruget altid er mindst muligt.

VENT-ordningen sikrer virksomheden:

- En effektiv udnyttelse af energien til ventilationsanlæg
- Et bedre indeklima
- Et bedre og sundere arbejdsmiljø

I VENT-ordningen sikres kvaliteten af arbejdet og funktionen af ventilationsanlægget ved:

- Anvendelse af godkendte, veluddannede servicemontører og godkendt måleudstyr
- Anvendelse af godkendte, fælles retningslinjer for service
- Registrering af serviceydelser i forhold til behovet for ventilation
- Registrering af det nødvendige energiforbrug
- Stikprøvekontrol af servicemontørens arbejde

VENT ORDNINGEN

08

9 Energimærkning

Hvad angår krav til det specifikke elforbrug (SFP) for ventilationsaggregater og ventilationsanlæg står der i Bygningsreglement 2010 følgende: "Bestemmelsen gælder ikke for anlæg knyttet til industrielle processer samt anlæg, hvor det årlige elforbrug til lufttransport er mindre end 400 kWh".

Ventilationsanlæg skal udføres med varmegenvinding med en tør temperaturvirkningsgrad på mindst 70 %.

Arbejdstilsynet stiller heller ikke krav til energiforbrug, men udelukkende krav til arbejdsmiljø og hermed indirekte udsugningseffektivitet.

I det igangværende Ecodesign arbejde i EU er der efterhånden konsensus omkring energimærkning af ventilationsaggregater. Følgende krav/klasser er der p.t. bred enighed om:

- Minimumseffektivitet for motorer (afhængig af motorstørrelse) {EU forordning}
- Minimumseffektivitet for ventilatorer (afhængig af ventilatortype og størrelse) {EU forordning}
- Klasseinddeling for beregnet middellufthastighed i aggregat (V1 til V9) {DS/EN standard}
- Klasseinddeling for vekslervirkningsgrad (H1 til H6) {DS/EN standard}

Tabellerne 9.1 og 9.2 er krav til middellufthastighed og temperaturvirkningsgrad for varmegenvinding. Tabel 9.3 viser minimumskrav til ventilatorvirkningsgrader. Tabel 9.4 viser krav til effektivitet for motor. Tabel 9.5 viser eksempler på tryktab i delkomponenter.

De opstillede krav i forskellige klasser giver ikke et entydigt billede af det forventede årlige energiforbrug til el og varme for et komplet ventilationsanlæg.

Klasser	Lufthastighed m/s
Klasse V1	maximum 1,6
Klasse V2	> 1,6 til 1,8
Klasse V3	> 1,8 til 2,0
Klasse V4	> 2,0 til 2,2
Klasse V5	> 2,2 til 2,5
Klasse V6	> 2,5 til 2,8
Klasse V7	> 2,8 til 3,2
Klasse V8	> 3,2 til 3,6
Klasse V9	> 3,6

NOTE Størrelsen af lufthastigheden i aggregatet har stor indflydelse på energiforbruget. Lufthastigheden er beregnet som middellufthastigheden i aggregatets tværsnit.

Tabel 9.1. Klasser for middellufthastighed indeni aggregat. DS/EN 13053 + A1 "Bygningsventilation – Luftbehandlingsanlæg – Ydeevneegenskaber for anlæg, komponenter og sektioner", 2011.

Klasser	Temperaturvirkningsgrad η [%]
Klasse H1	≥ 71
Klasse H2	≥ 64
Klasse H3	≥ 55
Klasse H4	≥ 45
Klasse H5	≥ 36
Klasse H6	Intet krav

NOTE Værdierne i tabellen gælder for balancerede massestrømme. Klasserne definerer kvaliteten af varmegenvinderen, som har stor indflydelse på energiforbruget.

Tabel 9.2. Klasser for temperaturvirkningsgrad for varmegenvinder ($q_{ind} = q_{ud}$). DS/EN 13053 + A1 "Bygningsventilation – Luftbehandlingsanlæg – Ydeevneegenskaber for anlæg, komponenter og sektioner", 2011.

Ventilatortyper	Måleopstilling	Virkningsgrad kategori (statisk eller totalt tryk)	Effektinterval P i kW	Minimumskrav til ventilator-virkningsgrad i bedste driftpunkt	Virknings-grads-klassifcering, N
Aksial ventilator	A, C	statisk	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 2{,}74 \cdot \ln(P) - 6{,}33 + N$	36
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 0{,}78 \cdot \ln(P) - 1{,}88 + N$	
	B, D	total	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 2{,}74 \cdot \ln(P) - 6{,}33 + N$	50
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 0{,}78 \cdot \ln(P) - 1{,}88 + N$	
Ventilatorer med F-hjul og ventilatorer med R-hjul	A, C	statisk	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 2{,}74 \cdot \ln(P) - 6{,}33 + N$	37
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 0{,}78 \cdot \ln(P) - 1{,}88 + N$	
	B, D	total	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 2{,}74 \cdot \ln(P) - 6{,}33 + N$	42
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 0{,}78 \cdot \ln(P) - 1{,}88 + N$	
Ventilatorer med B-hjul uden ventilatorhus	A, C	statisk	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 4{,}56 \cdot \ln(P) - 10{,}5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 1{,}1 \cdot \ln(P) - 2{,}6 + N$	
Ventilatorer med B-hjul med ventilatorhus	A, C	statisk	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 4{,}56 \cdot \ln(P) - 10{,}5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 1{,}1 \cdot \ln(P) - 2{,}6 + N$	
	B, D	total	$0{,}125 \leq P \leq 10$	$\eta = 4{,}56 \cdot \ln(P) - 10{,}5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta = 1{,}1 \cdot \ln(P) - 2{,}6 + N$	

Tabel 9.3. Kommisionens forordning nr. 327/2011 "Krav til miljøvenligt design af elmotordrevne ventilatorer med en indgangseffekt fra og med 125 W til og med 500 kW". Det totale tryk er summen af det statiske og det dynamiske tryk.

Mærkelast (kW)	Poltal		
	2	4	6
0,75	77,4	79,6	75,9
1,1	79,6	81,4	78,1
1,5	81,3	82,8	79,8
2,2	83,2	84,3	81,8
3	84,6	85,5	83,3
4	85,8	86,6	84,6
5,5	87,0	87,7	86,0
7,5	88,1	88,7	87,2
11	89,4	89,8	88,7
15	90,3	90,6	89,7
18,5	90,9	91,2	90,4
22	91,3	91,6	90,9
30	92,0	92,3	91,7
37	92,5	92,7	92,2
45	92,9	93,1	92,7
55	93,2	93,5	93,1
75	93,8	94,0	93,7
90	94,1	94,2	94,0
110	94,3	94,5	94,3
132	94,6	94,7	94,6
160	94,8	94,9	94,8
200 op til 375	95,0	95,1	95,0

Tabel 9.4. Nominel mindste effektivitet (η) for effektivitetsklasse IE2 (50 Hz). Kommissionens forordning nr. 6402009 "Krav til miljøvenligt design af elmotorer".

Komponent	Tryktab i Pa		
	Lav	Normal	Høj
Indblæsningskanal	200	300	600
Udsugningskanal	100	200	300
Varmeflade	40	80	100
Køleflade	100	140	200
Varmegenvinder, klasse H3 (a)	100	150	250
Varmegenvinder, klasse H2 – H1 (a)	200	300	400
Befugter	50	100	150
Filtrering (luftvasker)	100	200	300
Luftfilter F5 – F7 (sluttrykfald) (b)	100	150	250
Luftfilter F8 – F9 (sluttrykfald) (b)	150	250	400
Luftfilter, HEPA	400	500	700
Luftfilter, kul	100	150	250
Lyddæmper	30	50	80
Fordelingsboks, armatur	30	50	100
Ind- og udløb, armatur	20	50	70

Tabel 9.5 Eksempler på tryktab i delkomponenter i aggregater. Tryktab i Pa.
(a) Klasse H1 - H3 ifølge EN13053
(b) Endeligt trykfald inden udskiftning

09

10 Udviklingsprojekter

Her nævnes de senere års forsknings- og udviklingsprojekter inden for forskellige F&U -ordninger vedrørende proces- og komfortventilation. Det er både igangværende og afsluttede forsknings- og udviklingsprojekter inden for PSO-puljen og Energistyrelsens program EUDP.

10.1 ELFORSK

I Dansk Energis F&U-program for effektiv energianvendelse, ELFORSK, er der gennemført fem projekter indenfor procesventilation. Disse projekter beskrives kort nedenfor. Mere uddybende information om projekterne findes på www.elforsk.dk.

10.1.1 Energieffektiv procesudsugning fra kehlemaskiner (Projekt nr. 334-007)

Energiforbruget til spånudsugning udgør ca. 35 % af træ- og møbelindustriens samlede elforbrug, svarende til ca. 250 GWh om året. Heraf anvendes ca. 60 GWh til procesudsugning fra kehlemaskiner. På grundlag af et tidligere udredningsprojekt har det været formålet med dette F&U-projekt at udvikle nye energieffektive sugeskærme, som testes i fuld skala på en eksisterende kehlemaskine. Projektgruppens målsætning var:

- Halvering af el- og varmeforbrug til spånudsugning fra kehlemaskiner
- Opnåelse af bedre arbejdsmiljø i form af mindre træk og støj
- Lavere anlægsinvesteringer til spånudsugning for fremtidige maskiner.

Projektet har påvist, at det med enkle midler er muligt at halvere behovet for procesudsugning fra spåntagende maskiner med roterende værktøjer. Det økonomiske og miljømæssige incitament for implementering af nye sugeskærme er højt, da investeringerne er små og effekterne gode.

Der er et veldefineret marked på ca. 300 kehlemaskiner, der kan optimeres efter de retningslinier, der er udviklet i projektet med en skønnet tilbagebetalingstid på højst to år.

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af Korsbæk & Partnere Rådgivende ingeniørfirma KS, Prima-vent A/S samt B. E. Profiler A/S.

Projektet er gennemført under ELFORSK puljen for 2002.

10.1.2 Tomgangsbegrænsende styringsudrustning på industrisugere (Projekt nr. 336-001)

Projektet omhandler udviklingen af en regulering, som reducerer tomgangsforbruget til transportventilatorer i materialetransportsystemer.

Der er primært taget udgangspunkt i målte data, der er tilgængelige på selve elmotoren, og der er udviklet algoritmer for detektering af øjeblikkelige belastnings/produktionstekniske forhold. I projektet konkluderes, at styresignalet skal tages fra direkte målinger på elmotoren. Herved undgås det at anvende følere placeret i transportstrengen, hvilket reducerer både installationsomkostninger og efterfølgende driftsomkostninger i forbindelse med følerskift m.m.

Udviklingsprojektet indeholder følgende emner:

- Modelteknisk/markedsmæssig analyse af industrielle sug
- Modellering og konceptudvikling
- Udvikling af OEM – prototype
- Unit for eftermontage – prototype
- Demonstration og formidling af resultater

Projektet er udført i samarbejde mellem John Børsting ApS, Speedtech A/S, Junckers Industrier A/S, DISA Nordfab A/S, Teknologisk Institut og Institut for energiteknik, AAU.

Projektet er gennemført under ELFORSK puljen for 2004.

10.1.3 Udvikling af metodikker til elbesparende ventilation i områder med risiko for brand eller farlige dampe (Projekt nr. 336-059)

Projektets formål var at udvikle metoder til og demonstrere, hvorledes elforbruget til ventilation i områder med risiko for brand og farlige stoffer, sikkerheds- og brandmæssigt forsvarligt, kan minimeres og styres efter behov ud fra en mere risikobaseret vurdering.

Der er udviklet en systematisk metode til at gennemgå en virksomheds EX-områder med speciel fokus på, om det er muligt at reducere energiforbruget til ventilation. Metoden er testet på EX-rum hos virksomhederne Cheminova og Alpharma.

Metodikken er papirbaseret, og er retningsgivende for hvilke muligheder for energibesparelser, der er på de specifikke anlæg. Metodikken kan dog ikke anvendes isoleret set, men kræver kendskab til og anvendelse af den nye bekendtgørelse, samt i særdeleshed den tilhørende vejledning fra Beredskabsstyrelsen samt den europæiske standard for klassifikation af eksplosionsfarlige områder (DS/EN 60079-10).

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af Birch & Krogboe A/S, Dansk brand- og sikringsteknisk Institut, NESA, Beredskabsstyrelsen, Hempel, Foreningen af kommunale Beredskabschefer og Novo Nordisk.

Projektet er gennemført under ELFORSK puljen for 2004.

10.1.4 Reduceret energiforbrug til basisventilation i tung procesindustri (Projekt nr. 337-082)

Gennem laboratorieforsøg er det påvist, at behovet for basisventilation i støberier kan reduceres ved at fjerne røggasserne så tæt på kilden som muligt. Der kan spares megen energi ved at udforme sugehov og afskærmning korrekt, og potentialet vil være endnu større ved at bruge passiv indblæsning på kølestrengen. Det årlige energiforbrug kan reduceres med 30 - 50 %, svarende til ca. 16 GWh el og ca. 80 GWh varme.

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af Teknologisk Institut, DTU, BST-Køge, Junckers, Disa Denmark A/S, Jernstøberiet, Dania A/S og Rønnede Udglødningsindustri ApS.

Projektet er gennemført under ELFORSK puljen for 2005.

10.1.5 Energioptimering af procesventilation og udvikling af fleksible procesudsug til store industrielle emner (Projekt nr. 343-019)

På grundlag af eksisterende viden om ventilationsløsninger for små procesemner udvikles via laboratorie- og fuldskalaforsøg samt CFD-beregninger et værktøj for dimensionering af indblæsningssystem og procesudsug for større og store emner. Værktøjet håndterer maling af emner, slibning og fræsning, svejsning og laserskæring samt tørring.

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af Teknologisk Institut, Prima-vent A/S, Etreco A/S, Junckers, DS Semaco A/S og andre aktører.

Projektet er gennemført under ELFORSK puljen for 2011.

10.2 EUDP

I Energistyrelsens energiteknologiske udvikling og demonstrationsprogram, EUDP, er der gennemført et projekt omkring adaptiv procesudsugning.

10.2.1 Sugearm til energieffektiv procesudsugning (Projekt nr. 64011-0367)

Projektet har til formål at udvikle og demonstrere en sugearm – et procesudsug, der følger forureningskilden, og dermed er langt mere effektiv end den manuelt flytbare eller stationære, der findes på markedet i dag.

Ved hjælp af automatik- og robotteknologi er idéen, at gøre punktudsug bevægelige med en form for indbygget intelligens, så de følger forureningskilden. Dette kan være ved forskellige manuelle såvel som automatiske processer og

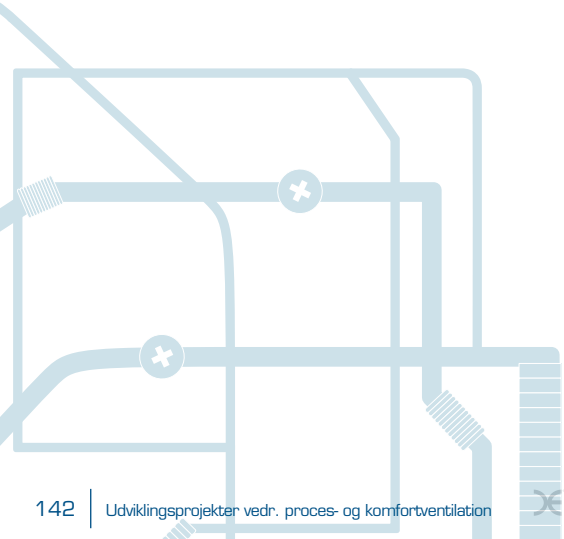
forureningskilder, hvor det kan være fordelagtigt, at benytte teknikken.

Intelligensen skal dels ligge i programmeringen af sugearmen dels ved at benytte moderne sensorteknik, der ved bevægelse, vision, varme, lys, lyd o. lign. adaptivt kan opfange og få suget til at følge den givne forureningskilde.

Ved at skabe denne funktion, er det projektets mål, at man med et mindre løbende energiforbrug, kan opnå tilsvarende eller bedre luftkvalitet i produktionslokaler end i dag – Og om muligt kan udsuge fra specielle processer, hvor det er teknisk svært at gøre det tilfredsstillende i dag.

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af Teknologisk Institut, GEOVENT A/S, Linak Danmark A/S, Mercantec, Strøh Automation, Sick A/S og Daugaard Elektronik A/S.

Projektet er gennemført under EUDP puljen for 2011.



11 Tjekliste

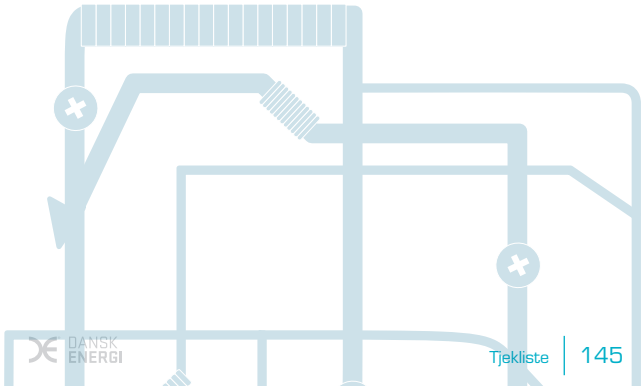
Tjeklisten indeholder forhold, som har indflydelse på proces- og komfortventilationssystemets etablering, drift og vedligehold, og som bør tjekkes for optimal funktion.

Aktiviteter	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold der bør undersøges nærmere
Behovsanalyse	Dokumentation, herunder skitser/tegninger for anlægget samt karakteristikker for forureningskilder	Undersøg om der findes dokumentation, tegninger for anlægget og karakteristikker for forureningskilder: • Brug tegninger til at få et overblik • Find typer, antal og placering af forureningskilder
	Anlæggets opgave	Undersøg om anlægget passer til opgaven: • Undersøg om det termiske og atmosfæriske indeklima er tilfredsstillende. Det termiske indeklima undersøges ved at vurdere eller måle temperaturen på arbejdspladsen. Måle den indblæste og udsugede luftmængde. Måle indblæsnings- og udsugningsluftens temperatur. Det atmosfæriske indeklima undersøges ved at måle/beregne emissionens størrelse (forureningskoncentrationen) • Undersøg om det er hensigtsmæssigt og muligt at foretage en total eller delvis indkapsling af en eller flere af forureningskilderne • Undersøg om der anvendes de bedst egnede procesventilationsprincipper • Undersøg om der anvendes et egnet og understøttende indblæsningsprincip

Aktiviteter	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold der bør undersøges nærmere
Anlæggets driftstilstand	Procesudsug	Undersøg om procesudsuget passer til opgaven: • Undersøg om procesudsuget effektivt kan fjerne forureninger. Punktudsugets effektivitet vurderes eksempelvis vha. røg og lys eller sporgas. Læg mærke til om støv, partikler eller lignende går forbi punktudsuget eller ligger på arbejdsstedet (ved selvsyn og/eller snak med ansatte). Læg mærke til om der er kraftig lugt i arbejdszonen. Vurder om der er kraftige støvgener ved processerne (ved selvsyn og/eller snak med ansatte) • Undersøg om procesudsugets effektivt kan forbedres ved bedre udformning (f.eks. reflektorer og flanger), mere hensigtsmæssig placering og reduktion af forstyrrelser (f.eks. tværstrømninger). Undgå placering af personens hoved mellem forureningskilde og punktudsug
	Almen udsugning	Undersøg om de dimensionerende luftmængder er bestemt ved hjælp af tommelfingerregler: • De dimensionerende luftmængder bør bestemmes ud fra hvor store forureningsmængder, der undslipper punktudsugene • Den udsugede luftmængde skal sammen med procesudsugningsluftmængden være i balance med den indblæste luftmængde (arbejdszonen + almen indblæsning).

DANSK ENERGI

Aktiviteter	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold der bør undersøges nærmere
	Indblæsning i arbejdszonen	Undersøg om der anvendes et egnet indblæsningsprincip: • Ved moderate forureningsemissioner og konvektionsstrømme bør der anvendes opblanding • Ved ønske om ventilering i en hel længderetning (store haller) med relativ store luftmængder kan benyttes dyse indblæsning • Ved kraftige forureningsemissioner og konvektionsstrømme bør der anvendes fortrængning eller lokal lavimpuls indblæsning
	Almen indblæsning	Undersøg om de dimensionerende luftmængder er bestemt ved hjælp af tommelfingerregler: • De dimensionerende luftmængder bør bestemmes ud fra hvor store forureningsmængder, der undslipper punktudsugene og som skal fortyndes • Den indblæste luftmængde skal sammen med indblæsningsluftmængden til arbejdszonen være i balance med den udsugede luftmængde (procesudsug + almen udsug)



DANSK ENERGI

Aktiviteter	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold der bør undersøges nærmere
Energiforbrug	Varmegenvinding på anlægget	Undersøg om der er etableret varmegenvinding på anlægget: • Hvis der ikke er etableret varmegenvinding, undersøg om afkastningsluftens overskud af varme på rimelig måde kan udnyttes. Ved valg af varmegenvindingsenhed skal der tages hensyn til hvilke forureninger afkastluften indeholder. Hvis afkastluften indeholder sundhedsskadelige forureninger bør der ikke anvendes en varmegenvindingsenhed, hvor der kan ske lækage fra afkast til indblæsning • Hvis der er etableret varme-genvinding, foretag da temperaturmålinger til bestemmelse af temperaturvirkningsgraden
Energioptimal drift	Styring og regulering af anlægget	Undersøg hvilken reguleringsform, der passer bedst: • Undersøg om det er rentabelt at etablere behovsstyring/frekvensstyring af ventilationsanlæggets ventilatorer
Systematisk, energibevidst vedligehold	Anlæggets service og vedligeholdelsestilstand	Undersøg om der foretages regelmæssig service og vedligeholdelse på anlægget: • For at sikre en lang levetid, er det vigtigt, at anlægget efterses jævnligt, helst én gang årligt af en kompetent ventilationsmontør

12 10 gode råd

Her angives gode råd, der kan benyttes ved installation af et proces- og komfortventilationssystem.

1. Foretag en kortlægning af hvilken type eller typer af forureningskilder, der findes i virksomheden (uopvarmede (kolde) kilder, små (punkt) varmekilder, store varmekilder og dynamiske kilder).

2. Vurder hvilke lovgivningsmæssige forhold, der er gældende og relevante ved installation og drift af proces- og komfortventilationssystemer i de pågældende industrilokaler.

3. Vurder om det er hensigtsmæssigt og muligt at foretage en total eller delvis indkapsling af en eller flere af forureningskilderne. Jo mere de aktuelle forureningskilder kan indkapsles desto mindre volumenstrøm behøves.

4. Hvis en total eller delvis indkapsling ikke er mulig, foretag da en vurdering af, hvilken type procesventilations- eller procesudsugningsprincip, der er bedst egnet (simpel udsugning, modtagerprincippet, gribeprincippet og mekanisk opsamling).

5. Vurder hvilket indblæsningsprincip, der vil være bedst egnet (fortrængning, opblanding og lokal lavimpuls indblæsning).

6. Foretag en hensigtsmæssig udformning og placering af procesudsug:
   - Undgå at udforme procesudsuget således, at luftbevægelsen skal arbejde mod de termiske drivkræfter og tyngdekræfter
   - Undgå hurtige bevægelser med arme/hænder foran punktudsuget, da forureningen dermed spredes
   - Undgå placering af hoved mellem forureningskilde og punktudsug
   - Tværstrømninger har negativ indflydelse på opfangningseffekten og bør derfor eliminere eller reduceres

- Store partikler med stor hastighed skal generelt føres direkte ind i punktudsuget

7. Vurder behovet for almen udsugning i lokalerne.

8. Foretag valg af de mest optimale indblæsningskomponenter (indblæsning i arbejdszonen og almen indblæsning).

9. Undersøg om det er muligt at etablere varmegenvinding fra den udsugede procesluft.

10. Sørg for energieffektiv drift og systematisk vedligehold.

DANSK ENERGI

13 Regler og lovgivning

Her orienteres om lovgivningsmæssige forhold, der er gældende ved installation og drift af proces- og komfortventilationssystemer i industrilokaler.

13.1 At-vejledning A.1.1.1 om ventilation på faste arbejdssteder

Vejledning A.1.1.1 om ventilation på faste arbejdssteder oplyser om krav til procesventilation og vejleder om, hvordan kravene kan opfyldes, så unødig påvirkning fra stoffer og materialer kan undgås.

13.2 At-vejledning A.1.2 om indeklima

At-vejledningen er især til arbejdsgivere, arbejdsmiljørepræsentanter og andre medarbejdere, der arbejder med arbejdsmiljø i virksomheden.

At-vejledningen handler om årsagerne til dårligt indeklima og hvad man kan gøre for at forhindre det. De mest almindelige årsager til et dårligt indeklima er høje eller svingende temperaturer og træk, dårlig luftkvalitet på grund af f.eks. støv og afgasning, fugt og mikroorganismer samt dårlige lys- og lydforhold. Vejledningen indeholder derfor bl.a. afsnit om:

- Temperatur og træk
- Støv og rengøring
- Afgasning
- Fugt og mikroorganismer som f.eks. skimmelsvampe og bakterier
- Lys
- Luftfugtighed
- Statisk elektricitet
- Ventilation

13.3 At-vejledning A.1.11 om arbejdsrum på faste arbejdssteder

Vejledning oplyser om krav til arbejdsrum, hvori der beskæftiges ansatte.

Arbejdsrum er ethvert rum inden for en virksomheds bedriftsområde, hvor der udføres arbejde.

DANSK ENERGI

Arbejdsrum skal være forsvarligt indrettet. Det indebærer bl.a., at bygningen skal opfylde bygningsmyndighedens krav på det tidspunkt, bygningen er opført eller væsentligt ombygget.

Herudover stilles efter arbejdsmiljølovgivningen en række andre krav til arbejdsrums indretning.

13.4 At-vejledning A.1.12 om temperaturer i arbejdsrum på faste arbejdssteder

Denne vejledning oplyser om Arbejdstilsynets krav til temperatur i arbejdsrum på faste arbejdssteder. Den retter sig mod arbejdssteder, hvor det under normale udeklimaforhold oftest vil være muligt at holde en temperatur inden for komfortområdet. Hvis arbejdets karakter nødvendiggør meget lave eller høje temperaturer, henvises til At-vejledning om indendørs arbejde i stærk varme og kulde.

13.5 At-vejledning A.1.14 om planlægning af faste arbejdssteders indretning

Vejledningen oplyser om krav til planlægning af faste arbejdssteders indretning.

Arbejdsmiljølovgivningen fastsætter, at nyindretning af faste arbejdssteder skal planlægges og gennemføres, så hensynet til sikkerhed og sundhed i forbindelse med driften som helhed tilgodeses. Dette gælder også ved væsentlige ombygninger, der kan sidestilles med nyindretning.

13.6 At-vejledning C.0.1 grænseværdier for stoffer og materialer

At-vejledningen oplyser om proceduren ved fastlæggelse af grænseværdier for stoffer og materialer. Indeholder retningslinjer for, hvordan grænseværdier med udgangspunkt i arbejdsmiljøreglerne kan bruges ved en vurdering af de sikkerheds- og sundhedsmæssige forhold ved arbejde med stoffer, og materialer, samt ved vurdering af arbejdsorganisatoriske og tekniske foranstaltninger.

DANSK ENERGI

DANSK ENERGI

13.7 Bekendtgørelse nr. 302 af 13/05/1993, Bekendtgørelse om arbejde med kodenummererede produkter

Bekendtgørelsen omfatter arbejde med de i bekendtgørelsens bilag 1 nævnte produkter, samt klargøring og afslutning i forbindelse med disse arbejder.

Produkterne er:

1) Malevarer, herunder autolakker, og malevarelignende overfladebelægninger, f.eks. acrylatgulve

2) Lime (klæbemidler), herunder organiske opløsningsmidler, der anvendes til sammenføjning:
   a) ved bygningsarbejde
   b) i autobranchen, på karosserier og flydele

3) Udfyldningsmidler, herunder fugemidler, tætnings- og spartelmasser samt kit:
   a) til bygningsarbejde
   b) i autobranchen, på karosserier og flydele

4) Trykfarver, serigrafifarver og andre produkter, der anvendes til grafiske trykprocesser

5) Fortyndingsmidler, der anvendes til ovennævnte produkter

6) Produkter, der bruges ved klargøring og afslutning ved arbejde med ovennævnte produkter, herunder affedtningsmidler, afvaskemidler og farvefjernere.

13.8 Bekendtgørelse nr. 96 af 13/02/2001, Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning

Bekendtgørelsen fastlægger retningslinjer for indretning af faste arbejdssteder, således at arbejdet kan udføres sikkerheds- og sundhedsmæssigt forsvarligt.

Bekendtgørelsen omfatter ethvert arbejdssted, hvor der udføres arbejde for en arbejdsgiver med visse undtagelser.

Et arbejdssted er defineret som virksomhedens bedriftsområde, omfattende alle bygninger, anlæg m.v. og arealer, som virksomhedens ansatte har adgang til som led i deres arbejde.

Undtagelserne som nævnt ovenfor er steder, hvor:

- Arbejdet, der udføres er bygge- og anlægs-arbejde
- Arbejdet udføres på en fremmed virksomhed eller et andet sted uden for arbejdsgiverens bedriftsområde

Centrale elementer i bekendtgørelsen er:

- Område
- Planlægning og indretning af arbejdsstedet
- Almindelige bestemmelser
- Arbejdsplads
- Arbejdsrum
- Inventar
- Temperaturforhold
- Ventilation
- Belysning
- Vedligeholdelse og rengøring
- Velfærdsforanstaltninger
- Forholdet til anden lovgivning
- Detailregler
- Dispensationer og klageadgang
- Straf
- Ikrafttrædelses- og overgangsbestemmelser

14 Andre kilder

Andre hjælpeværktøjer – links – kilder

Håndbøger

/1/ Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg. Dansk Standard DS 447. Dansk Ingeniørforening. København. 1981. ISBN 87-571-0674-6

/2/ Håndbog i industriventilation. Teknisk Forlag A/S 1998, Henning Hørup Sørensen. ISBN 87-571-2171-0

/3/ Indeklimahåndbogen - 2. udgave, SBI-anvisning 196, Statens Byggeforskningsinstitut, 2000, Ole Valbjørn, Susse Lausten, John Høwisch, Ove Nielsen og Peter A. Nielsen. ISBN 87-563-1041-6

/4/ Varme- og klimateknik, Danvak, Ventilationsteknik, Ole B. Stampe. ISBN 87-987995-0-9.

/5/ Varme- og klimateknik, Danvak, grundbog, H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen & Ole B. Stampe. ISBN 87-982652-1-0.

/6/ Ventilation i industrien, SBI-anvisning 106, Statens Byggeforskningsinstitut 1983. ISBN 87-563-0471-4.

/7/ Ventilation Ståbi, Teknisk Forlag A/S 1988, Henning Hørup Sørensen. ISBN 87-571-1107-3

Rapporter, kataloger, vejledninger og standarder

/8/ Det termiske indeklima, Institut for Bygninger og Energi, DTU, juli 1998.

/9/ DS 474 "Norm for specifikation af termisk indeklima", Dansk Standard.

/10/ DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", Dansk Standard.

/11/ DS/EN ISO 7730 "Ergonomi indenfor termisk miljø – Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregninger af PMV- og PPD indekser og lokale termiske komfortkriterier", Dansk Standard.

/12/ Energioptimering af sugehove – udvikling af dimensioneringsregler samt flange- og reflektorløsninger (Dimensioneringsgrundlag for punktudsug), Teknologisk Institut, december 2001.
ENS-journal nr. 731327/98-0065.

/13/ Learning from experiences with industrial ventilation, side 103. Centre for the analysis and dissemination of demonstrated technologies. 1993.

/14/ Seminar om Energibevidst Projektering, Foreningen af Rådgivende Ingeniører & Energistyrelsen, København den 18. september 1997.

/15/ Stinkskab med lavt energiforbrug. Teknologisk institut, afdelingen for varme- og installationsteknik, Energiministeriets forskningsprogram. Teknologisk Instituts Forlag 1988.
ISBN 8775118556, 9788775118557.

/16/ Temadage om energibevidst projektering af erhvervslivets ventilationsanlæg, Glenco A/S & Dansk Energi Analyse A/S, 30. oktober 1998.

/17/ TR 391. Ventilation i industrielle processer. DEFU og Teknologisk Institut.

/18/ Ventilation, Teknisk Energirådgivning, Københavns Belysningsvæsen, NESA & DEF, november 1990.

/19/ Ventilationsanlæg. Regulering, energibesparelse og energiforbrug. SBI-rapport 155, Statens Byggeforskningsinstitut 1984. ISBN 87-563-0545-1.

Hjemmesider

Arbejdstilsynet
www.arbejdstilsynet.dk

Dansk Energi
www.danskenergi.dk

DTU
www.dtu.dk

ELFORSK
www.elforsk.dk

Energistyrelsen
www.ens.dk

Energitjenesten
www.energitjenesten.dk

SINTEF Norge
www.sintef.no

Statens Byggeforskningsinstitut
www.sbi.dk

Tekniq
www.tekniq.dk

Teknologisk Institut
www.teknologisk.dk

VENT-ordningen
www.vent.dk

Videncenter for energibesparelser i bygninger
www.byggeriogenergi.dk