

**Den lille Blå om industriel proces- og
komfortventilation**

PSO-projekt nr. 343-019

Maj 2013

Den lille Blå om industriel proces- og komfortventilation

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

**Redaktionsgruppe:
Dorte Lindholm (Dansk Energi)
Jørn Borup Jensen (Dansk Energi)**

**Udgiver: Dansk Energi
Tryk: GP Tryk
Design: Nectar Communication
Oplag: 10.000, 1. udgave 2013
ISBN nummer:**

1 Forord

Arbejdsmiljøets kvalitet i produktionslokaler har stor betydning for vores generelle sundhed og almene velbefindende, men det er flere steder ikke optimalt grundet ringe eller manglende viden om korrekt udformning af proces- og den almene ventilation i produktionslokaler. Specielt indenfor bearbejdning af større- og store emner slår den eksisterende viden i håndbøger i mange tilfælde ikke til. Derforuden kan ikke optimalt udformede ventilationsløsninger resulterer i store årlige driftsudgifter.

”Den lille Blå om proces- og komfortventilation” er et lettilgængeligt opslagsværk for alle der arbejder med at realisere energibesparelser på nye og eksisterende industriventilationsanlæg.

Bogen er tilegnet energirådgivere, rådgivende ingeniører, ventilationsentreprenører, ventilationsmontører, installatører, teknisk ansvarlige i industrivirksomheder og andre der arbejder med energieffektivisering af industriventilationsanlæg.

Bogen vil endvidere indgå som undervisningsmateriale i kurset: ”Energieffektiv industriventilation” på Teknologisk Institut.

Det faglige indhold i bogen bygger i vidt omfang på den udarbejdede hovedrapport: ”Energioptimering af procesventilation og udvikling af fleksible procesudsug til store industrielle emner”, hvor flere emner er behandlet mere indgående.

God arbejds- og læselyst!

Dansk Energi,

Indholdsfortegnelse

Side

1	Forord	3
2	Den lille blå om industriel proces- og komfortventilation	6
2.1	Opbygning	7
2.2	IT – dimensioneringsværktøj ”Dimair”	8
3	Introduktion til industriel proces- og komfortventilation	9
3.1	Arbejdsmiljø	9
3.2	Hvorfor industriel proces- og komfortventilation.....	9
3.2.1	Termisk indeklima	10
3.2.2	Atmosfærisk indeklima	13
4	Behovsanalyse	16
4.1	Typer af forureningskilder.....	19
4.1.1	Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)	19
4.1.2	Små varme kilder (gasser, dampe og små partikler ved lille termisk konvektion).....	20
4.1.3	Store varme kilder (gasser og dampe ved stor termisk konvektion)	21
4.1.4	Dynamiske kilder med partikler med høj starthastighed ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$)	23
4.2	Diagram for proces- og komfortventilationssystem	25
4.3	Levetidsomkostninger	26
5	Ventilationsprincipper	28
5.1	Procesventilation	28
5.1.1	Omslutningsprincippet.....	28
5.1.2	Modtagerprincippet.....	29
5.1.3	Gribeprincippet (herunder push-pull).....	30
5.1.4	Mekanisk opsamling	31
5.1.5	Simpel udsugning.....	32
5.2	Komfortventilation	33
5.2.1	Opblandingsprincippet.....	33
5.2.2	Dyse indblæsning	34
5.2.3	Fortrængning	39
5.2.4	Lokal lavimpuls indblæsning	39
5.3	Renrumsventilation.....	41
6	Proces- og komfortventilationssystemet	42
6.1	Udsugningskomponenter.....	42
6.1.1	Punktudsugning	42
6.1.1.1	Udsugning efter omslutningsprincippet.....	44
6.1.1.2	Udsugning efter modtagerprincippet.....	57
6.1.1.3	Udsugning efter gribeprincippet	61
6.1.1.4	Mobilt udsug	70
6.1.2	Almen udsugning	74
6.2	Indblæsningskomponenter	75

6.2.1	Indblæsning i arbejdszonen	75
6.2.2	Almen indblæsning	78
7	Energiforbrug til proces- og komfortventilationssystemer	79
7.1	Energiforbrug til ventilationsaggregat	79
7.2	Energiforbrug til opvarmning af luft	79
7.3	Energiforbrug til køling af luft	85
8	Energieffektiv drift og vedligehold	87
8.1	Energioptimal drift	87
8.1.1	Styring og regulering	87
8.2	Systematisk, energibevidst vedligehold	94
8.2.1	VENT-ordningen	95
9	Energimærkning	96
9.1	Energimærkning af ventilationsaggregater.....	96
10	Udviklingsprojekter vedr. proces- og komfortventilation	101
10.1	ELFORSK	101
10.1.1	Energieffektiv procesudsugning fra kehlmaskiner (Projekt nr. 334-007).....	101
10.1.2	Tomgangsbegrænsende styringsudrustning på industrisugere (Projekt nr.: 336-001).....	102
10.1.3	Udvikling af metodikker til elbesparende ventilation i områder med risiko for brand eller farlige dampe (Projekt nr. 336-059)	102
10.1.4	Reduceret energiforbrug til basisventilation i tung procesindustri (Projekt nr. 337-082)	103
10.2	EUDP.....	103
10.2.1	EAP - Energieffektiv adaptiv procesudsugning.....	103
11	Tjekliste.....	104
12	10 gode råd	107
13	Regler og lovgivning.....	108
13.1	At-vejledning A.1.1.1 om ventilation på faste arbejdssteder	108
13.2	At-vejledning A.1.2 om indeklima	108
13.3	At-vejledning A.1.11 om "Arbejdsrum på faste arbejdssteder"	108
13.4	At-vejledning A.1.12 om "Temperaturer i arbejdsrum på faste arbejdssteder"	109
13.5	At-vejledning A.1.14 om "Planlægning af faste arbejdssteders indretning"	109
13.6	At-vejledning C.0.1 Grænseværdier for stoffer og materialer.....	109
13.7	Bekendtgørelse nr. 302 af 13/05/1993, Bekendtgørelse om arbejde med kodenummererede produkter	109
13.8	Bekendtgørelse nr. 96 af 13/02/200, Bekendtgørelse om faste arbejdssteders indretning	110

2 Den lille blå om industriel proces- og komfortventilation

Et korrekt valg af ventilationsprincip samt hensigtsmæssig opbygning af indblæsnings- og udsugningssystemerne er en meget vigtig faktor for at opnå et tilfredsstillende indeklima, såvel termisk som atmosfærisk i produktionslokaler. Det kan derfor ofte være en hjælp at have nogle retningslinjer for at sikre personer og arbejdsprocesser acceptable forhold. Kravene til indeklimaet er talrige. Det vil sige, at der ikke altid kan anvendes standardløsninger, men løsningerne må skræddersys i hvert enkelt tilfælde under hensyntagen til de forskellige aktiviteter og processer. Dette udelukker ikke, at der kan anvendes en vis metodik, således at der kan opstilles nogle ensartede retningslinjer, der kan genanvendes ved løsningen af de respektive opgaver.

Når en virksomhed, entreprenør eller installatør står overfor at skulle installere eller renovere et proces- og komfortventilationssystem, er der ofte brug for seriøs rådgivning og vejledning om, hvilket anlæg der skal vælges af praktiske og økonomiske hensyn. Her vil bogen være et godt redskab.

Energiselskaberne varetager, igennem deres energispareforpligtigelse, opgaven med at rådgive forbrugere om fordelene ved at reducere energiforbruget, bl.a. til proces- og komfortventilation.

Bogen er et nyttigt opslagsværk mht. nøgletal og principløsninger og kan anvendes af energiselskabernes konsulenter, rådgivende ingeniører og installatører.

Bogen vil bidrage til at styrke målgruppens viden om:

- regler, love og bekendtgørelser, der er relevante for proces- og komfortventilationsanlæg, eksempelvis Arbejdstilsynets bekendtgørelser og vejledninger vedr. ventilation på faste arbejdspladser samt grænseværdier
- dimensioneringsmæssige forhold, som man skal være opmærksom på, 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 Opbygning

Bogen er inddelt i 11 hovedkapitler:

Kapitel 3 beskriver hvorfor det, af hensyn til det termiske og atmosfæriske indeklima, er nødvendigt med industriel proces- og komfortventilation.

Kapitel 4 beskriver hvorledes der kan foretages en analyse af behovet for industriel proces- og komfortventilation i en industrihal. Med udgangspunkt i kilderne/forureningstyperne bliver det ved hjælp af behovsanalysen muligt at vælge det mest hensigtsmæssige ventilationsprincip samt det mest hensigtsmæssige indblæsnings- og udsugningssystem.

Kapitel 5 gennemgår de forskellige ventilationsprincipper der kan anvendes i en industrihal.

Kapitel 6 beskriver proces- og komfortventilationssystemet. Her fokuseres på udformning og placering af udsugnings- og indblæsningskomponenterne. Kapitlet beskriver endvidere dimensioneringsgrundlag for proces- og komfortventilation. Ved hjælp af dimensioneringsgrundlaget er det muligt at beregne de dimensionerende volumenstrømme (udsugede og indblæste) samt dimensionerende indblæsningstemperaturer.

Kapitel 7 beskæftiger sig med energiforbrug til proces- og komfortventilationssystemer, herunder ses el- og varmenøgletal.

Kapitel 8 beskriver reguleringsmulighederne på proces- og komfortventilationssystemer.

Kapitel 9 indeholder energimærkning.

Kapitel 10 informerer om forskellige udviklingsprojekter vedr. proces- og komfortventilation.

Kapitel 11 indeholder liste over de forhold, som har indflydelse på proces- og komfortventilationssystemets etablering, drift og vedligehold og som bør tjekkes for optimal funktion.

Kapitel 12 indeholder 10 gode råd som man med fordel kan benytte sig af ved installation af et proces- og komfortventilationssystem.

Kapitel 13 indeholder regler og lovgivning.

2.2 IT – dimensioneringsværktøj "Dimair"

I tilknytning til bogen er der et tilhørende relativt simpelt webbaseret IT – dimensioneringsværktøj på følgende internetadresse: <http://dimair.teknologisk.dk>

Første gang programmet benyttes skal man oprettes som <Ny bruger>, og den første sag skal oprettes som <Opret en ny sag>. Der findes hjælp til programmet under <Brugervejledning>.

Dimair kan regne på procesudsug afhængig af procestype og valg af udsugningsprincip. Den forurening som undslipper procesudsugene fjernes ved almen fortynding med erstatningsluft. Dimair genererer en rapport med angivelse (summation) af procesudsug og luftmængder.

3 Introduktion til industriel proces- og komfortventilation

3.1 Arbejdsmiljø

Indeklimaet er alle de miljøfaktorer, der påvirker personer, når de opholder sig indenfor. Det drejer sig f.eks. om luft, fugt, varme, røg og alle de partikler og kemiske stoffer, der er i indemiljøet. Personer opholder sig i størstedelen af tiden indendørs, og heraf tilbringes mange timer hver dag på arbejdspladsen. Derfor er det vigtigt for personernes sundhed og livskvalitet, at indeklimaet i lokalerne er tilfredsstillende.

Dårligt indeklima og komfort kan over tid påvirke personernes helbred og livskvalitet. Konsekvenserne af dårligt indeklima og komfort kan vise sig som nedsat velbefindende og arbejdsevne. I værste fald kan et dårligt indeklima og komfort give svære lidelser, så man ender med at blive uarbejdsdygtig.

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

Typiske symptomer på dårligt indeklima og komfort 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

3.2 Hvorfor 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.

Indeklimaet kan opdeles i:

- Termisk indeklima
- Atmosfærisk indeklima

3.2.1 Termisk indeklima

Personers termiske opfattelse af omgivelserne er afhængig af følgende faktorer:

- Beklædningens varmeisolering [clo]
- Aktivitetsniveauet [met]
- Lufttemperaturen [°C]
- Middelstrålingstemperaturen [°C]
- Lufthastigheden [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 aktivitetsniveauer og dertil hørende varmeproduktioner [met].

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

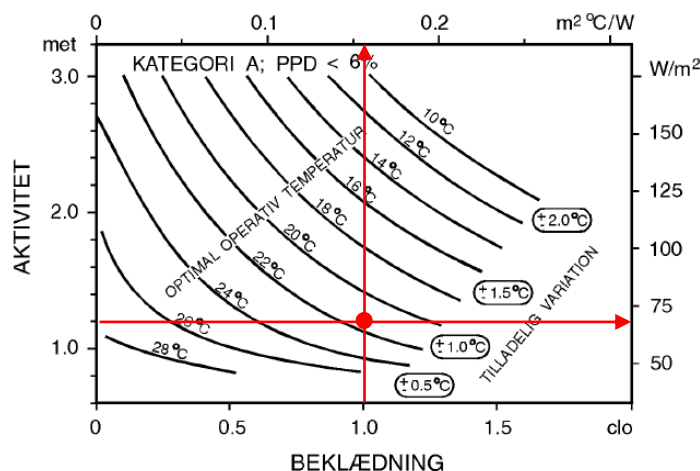
Tabel 3.1. Eksempler på aktivitetsniveauer ved forskellige aktiviteter

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. Hver kategori foreskriver en maksimal forventet procentdel af utilfredse for kroppen som helhed og for fire typer af lokalt ubehag. Dette beskrives nærmere i det efterfølgende.

Kvaliteten af det termiske indeklima afhænger af følgende fem faktorer:

- 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
- Luftens middelhastighed i opholdszonen (træk)
- Den vertikale lufttemperaturgradient, som er forskellen i lufttemperaturen mellem 0,1 og 1,1 m. over gulv
- Gulvets overfladetemperatur
- Strålingsasymmetri, forårsaget af varmt loft eller kolde vægge (vinduer)

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. Optimal operative temperaturer som funktion af aktivitet og beklædning

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.

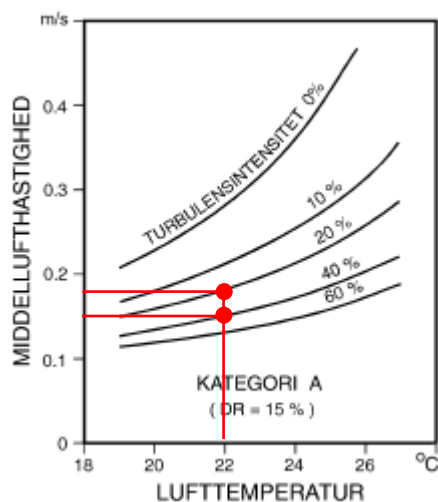
Endvidere ses at den menneskelige varmeafgivelse kan aflæses til 70 W/m² og at isolansen for beklædningen er 0,155 (m² · k)/W.

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, tilladelig 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: Ca. 40 % (ligger typisk mellem 30 og 60 %)
- Fortrængningsventilation: Ca. 20 % (ligger typisk mellem 10 og 30 %)



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

I tabel 3.2 ses specifikationer for vertikal lufttemperaturgradient, gulvets overfladetemperatur og strålingsasymmetri for de tre kategorier af kvaliteter af det termiske indeklima.

Kategori	Vertikal lufttemperatur-gradient [°C]	Gulvets overfladetemperatur [°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. Tre forskellige kategorier af kvalitet af indeklimaet

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.

3.2.2 Atmosfærisk indeklima

Personers opfattelse af det atmosfæriske indeklima afhænger af følgende faktorer:

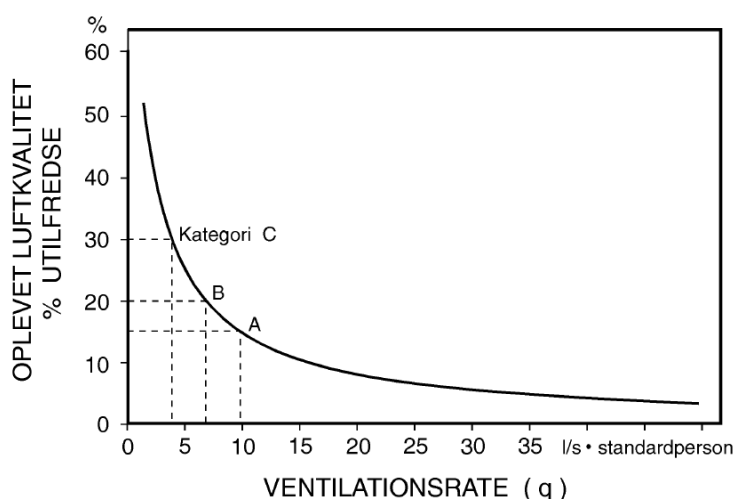
- Lugte
- Støv og fibre
- Gasser og dampe
- Relativ fugtighed

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. CO₂, 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 forårsaget af 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.

Eksempel 3 – Fortyndingsligningen

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 komponenten opstår og forsvinder i forskellig takt.

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

Fortyndingsligningen (fortynding efter ”uendelige” lang tid) skrives således:

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

Hvor:

- c_{∞} 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. $c_{\infty} < \text{GV}$.

I en galvanofabrik 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 $A_{\text{væske}}$ er 8,4 m² (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 fra væskeoverflade i g/h kan bestemmes vha. nedenstående udtryk:

$$q_m(\text{H}_2\text{O}) = A_{\text{væske}} \cdot (x_1 - x_2) \cdot (25 + 19 \cdot v)$$

hvor:

x_1 er vandindholdet i mættet luft ved vandoverfladens temperatur i g/kg

x_2 er luftens vandindhold i g/kg

$$q_m(\text{H}_2\text{O}) = 8,4 \text{ m}^2 \cdot (27 \text{ g/kg} - 6 \text{ g/kg}) \cdot (25 + 19 \cdot 0,1 \text{ m/s}) = 4.745 \text{ g/h}$$

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

$$\frac{p_{\text{HCL}}}{p_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{q_m(\text{HCL})}{q_m(\text{H}_2\text{O})}$$

Hvor:

p_{HCL} og $p_{\text{H}_2\text{O}}$ er partialtryk i kPa

Eksempel 3 – Fortyndingsligningen - fortsat

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:

$$q_m(HCL) = 4.745 g/h \cdot \frac{10,4 kPa}{4.200 kPa} = 11,8 g/h = 11,8 \cdot 10^3 mg/h$$

Ifølge Arbejdstilsynets grænseværdiliste er grænseværdien for HCL 7 mg/m³.

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.

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

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

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

I kapitel 6.1 ses et eksempel på hvorledes denne friskluftmængde kan reduceres betydeligt, ved anvendelse af et egnet punktudsug.

4 Behovsanalyse

I dette afsnit 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 kilderne/forureningstyperne bliver det ved hjælp af behovsanalysen muligt at vælge de mest hensigtsmæssige ventilationsprincipper samt det mest hensigtsmæssige indblæsnings- og udsugningssystem. Ved hjælp af et rutediagram gennemgås trin for trin, hvilke analyser, der skal gennemgås, før det rigtige valg af installation kan træffes.

Praktiske erfaringer har vist, at energibevidst projektering, herunder en ordentlig udført behovsanalyse, vil forhindre senere omkostningskrævende ændringer i valg af system, valg af anlæg, valg af 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 e.l., 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 muligt i forhold til arbejdsprocessen, kan forureningen måske alligevel, på grund af sin eller arbejdsprocessens art, slippe forbi punktudsugningen og spredes til rummet. Det kan f.eks. være tilfældet ved svejsning. 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 denne spredning. Endelig skal karakteriseringen vurdere eventuelle varmeafgivelser og deres indflydelse på det termiske indeklima. I kapitel 4.1 ses beskrivelser af 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. I forbindelse med dette, skal det først og fremmest vurderes, om det er hensigtsmæssigt og muligt at foretage en total indkapsling af forurenings- og varmekilderne. En total indkapsling af processen 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 af processen, bør det undersøges, om en delvis indkapsling er mulig. Delvis indkapsling af processen er den mest benyttede metode. Ved

delvis indkapsling søges det at afskærme processen mest muligt, eksempelvis ved anvendelse af et stinkskab. Med hensyn til total og delvis indkapsling henvises til kapitel 5.1.1 ”Omslutningsprincippet”.

Hvis en total eller delvis indkapsling ikke er mulig skal det vurderes hvilket procesventilationsprincip, der vil være det bedst egnede. Her er det væsentligt at der tages hensyn til forureningens naturlige bevægelsesmønster og hvorledes forureningen spredes samt hvilke ydre faktorer der har indflydelse på denne spredning. I forbindelse med dette, skal det vurderes hvorledes disse ydre faktorer, f.eks. tværstrømninger, roterende maskindele eller arbejdernes bevægelser, kan reduceres eller ændres. Endvidere skal det vurderes, hvorledes varmebelastningen af lokalerne kan reduceres mest muligt, f.eks. ved isolering af varmekilderne eller ved anvendelse af strålingsafskærmning.

Afhængig af hvilken type forureningskilde der er tale om, kan der vælges mellem nedestående fire procesventilationsprincipper:

- Modtagerprincip
- Gribepincip
- Mekanisk opsamling
- Simpel udsugning

Modtagerprincippet er typisk det bedst egnede ved varme forureningskilder, som f.eks. opvarmede kar eller smelteovne. Princippet bygger, kort fortalt, på at punktudsuget placeres over den opvarmede forureningskilde, der har en temperatur der ligger over det omliggende rum. Punktudsuget opfanger den konvektionsstrøm/emission, der stiger op fra processen. Se endvidere kapitel 5.1.2 ”Modtagerprincippet”.

Gribeprincippet er typisk det bedst egnede ved uopvarmede forureningskilder, som f.eks. malesprøjteprocesser eller uopvarmede kar. Princippet bygger, kort fortalt, på at punktudsuget indfanger eller griber emissionen i en vis afstand fra forureningskilden. I nogle tilfælde er det, pga. pladsforhold, nødvendigt at anvende gribeprincippet ved varme forureningskilder. Det er f.eks. tilfældet ved svejsning. Se endvidere kapitel 5.1.3 ”Gribepincipet”.

Mekanisk opsamling er det bedst egnede ved dynamiske forureningskilder, som f.eks. større partikler genereret ved slibning eller fræsning af træ. Se endvidere kapitel 5.1.4 ”Mekanisk opsamling”.

Simpel udsugning benyttes ved fortyndingsventilation, hvor forureningen søges fortyndet med den indblæste ventilationsluft og den forurenede luft suges ud med et simpelt udsugningssystem, som typisk består af tagventilatorer eller riste i kanalsystemer.

Simpel udsugning kan benyttes ved både varme og uopvarmede forureningskilder, men er energimæssigt ikke velegnet, da der skal udsuges meget store luftmængder, sammenlignet med udsugning efter modtager- og gribeprincippet.

Simpel udsugning kan ikke benyttes i forbindelse med dynamiske forureningskilder. Se endvidere kapitel 5.1.5 ”Simpel udsugning”.

Når der er valgt et procesventilationsprincip skal der vælges et egnet og understøttende indblæsningsprincip. Afhængig af hvilken type forureningskilde der er tale om, kan der vælges mellem nedenstående tre indblæsningsprincipper:

- Opblandingsprincip
- Fortrængningsprincip
- Lokal lavimpuls indblæsning

Opblandingsprincippet er typisk det bedst egnede ved industrielle processer med moderate forureningsemissioner og konvektionsstrømme, som f.eks. fræsning og slibning af metal eller træ. Princippet bygger, kort fortalt, på at den friske luft indblæses gennem armaturer, der er placeret jævnt fordelt under loftet, så den opblandes godt med rumluften og fordeler sig jævnt i lokalet. Efter opblandingsprincippet tilstræbes ens fordeling af varme og forurening i hele rummet. Opblandingsprincippet er energimæssigt ikke velegnet ved kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme. Det skyldes, at der skal indblæses store luftmængder for at fortynde forureningen og reducere temperaturen i arbejdszonen. Se endvidere kapitel 5.2.1 ”Opblandingsprincippet”.

Fortrængningsprincippet er typisk det bedst egnede ved industrielle processer med kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme, som f.eks. smeltning af metal. Princippet bygger på at ventilationen virker som et stempel. Den rene luft indblæses ved gulvet med en temperatur, der er lavere end rumtemperaturen. Ved ankomst til forurenings- og varmekilderne, vil indblæsningsluften presse den varme og forurenede luft opad, hvor den gradvist vil blive udsuget. Personer, der befinder sig ved gulvet, vil være i en ren zone. Se endvidere kapitel 5.2.2 ”Fortrængningsprincippet”.

Lokal lavimpuls indblæsning er et indblæsningsprincip som er velegnet ved industrielle processer med kraftige forureningsemissioner og store konvektionsstrømme. Princippet bygger på at den friske luft indblæses direkte i arbejdszonen. Den friske luft indblæses således på det sted hvor der netop er brug for den. Det termiske og atmosfæriske klima i arbejdszonen kan forbedres væsentligt ved anvendelse af dette indblæsningsprincip samtidig med at den indblæste luftmængde er væsentligt lavere end ved anvendelse af opblandings- og fortrængningsprincippet. Se endvidere kapitel 5.2.3 ”Lokal lavimpuls indblæsning”.

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

- Punktudsugning
- Almen udsugning
- Indblæsning i arbejdszonen
- Almen indblæsning

I forbindelse med dette skal de dimensionerende udsugede og indblæste luftmængder bestemmes. Temperaturen på den indblæste luftmængde skal tillige bestemmes.

4.1 Typer af forureningskilder

I det følgende ses der nærmere på de forskellige forureningskilder, der typisk findes i industrien og hvordan forureningen spredes. Overordnet set kan spredning af forurening i luft inddeles i følgende:

1. Uopvarmede (kolde) kilder (diffusionskilder)
2. Varme kilder
3. Dynamiske kilder (partikler med høj starthastighed)

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 som følger gradienten i luftforurening, f.eks. dampe fra en malesprøjteproces (se figur 4.1) eller partikler fra en pulverlakeringsproces.

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.

Spredningen af forureningen afhænger i meget betydelig grad af hastigheden og turbulensen af den omgivende luft.



Figur 4.1. Sprøjtemaling



Figur 4.2. Bejdsning af emne i kar

Mange gasarter og dampe udgør et sundhedsmæssig problem og visse af dem 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 derfor fjernes så tæt på kilden som muligt for at undgå spredning og for at minimere den udsugede luftmængde. Gasserne og dampene er lette at bortsuge da de uden videre 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 lægge sig ned mod en flade (bord eller gulv) og sprede sig ud over denne. Dette skal der tages hensyn til, når punktudsuget skal designses.

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

Små varme kilder (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).

Der er f.eks. tale om svejse- og loddeprocesser, som typisk håndteres ved mindre arbejdsborde (se figur 4.3) samt andre processer med varmeudvikling. Andre processer med varmeudvikling kan f.eks. 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 meget betydelig grad af turbulensen af den omgivende luft. Typisk er disse processer dog placeret i lokaler, hvor luftbevægelserne kan betegnes som værende ”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 mest hensigtsmæssigt at placere udsuget over processen, men det er desværre ofte ikke muligt med en sådan placering ved f.eks. lodde- og svejseprocesser, da operatøren har brug for fri tilgang til objektet (udsuget må med andre ord ikke sidde i vejen).

Derfor vil udsuget ved denne type processer ofte være placeret bagved kilden i en 45° hældning. Se endvidere kapitel 7.1.

4.1.3 Store varme kilder (gasser og dampe ved stor termisk konvention)

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.

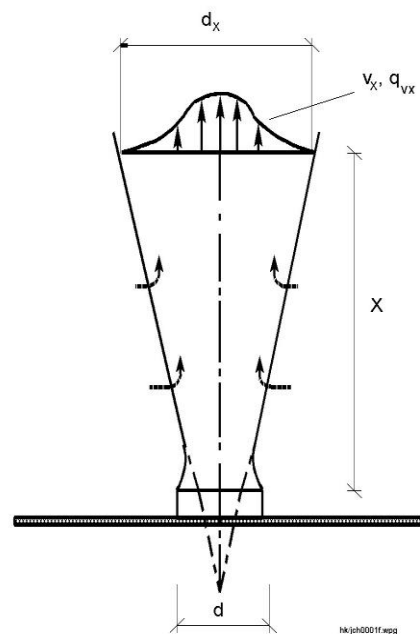
Et eksempel på en stor varmekilde er en smelteproces (se figur 4.5), hvor flydende jern tappes ud på for at blive nedkølet.

Et andet eksempel på en stor varmekilde er et åbent kar, f.eks. varmforzinkningskar (se figur 4.7), hvor afdampningen sker fra overfladen.

Strømningsbilledet omkring en termisk belastning er vist i figur 4.6, hvor det 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.



Figur 4.5. Smelteproces



Figur 4.6. 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 kapitel 5.1.2), hvor der placeres en sugehov direkte over kilden. Udformning og placering af sugehoven behandles nærmere i kapitel 7.1.



Figur 4.7. Varmforzinkningskar

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. Disse problemer kan fjernes ved indkapsling eller strålingsafskærmning af varmekilden (se endvidere kapitel 5.1). Hvis dette ikke er muligt, kan der f.eks. etableres lokal lavimpuls indblæsning (se endvidere kapitel 5.2.3).

4.1.4 Dynamiske kilder med partikler med høj starthastighed ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$)

Der er primært tale om industrielle processer, hvor der udvikles eller frigives partikler med høj starthastighed, f.eks. ved polering, slibning, fræsning eller andre bearbejdningsprocesser.



Figur 4.8. Slibning af aluminiumsemne



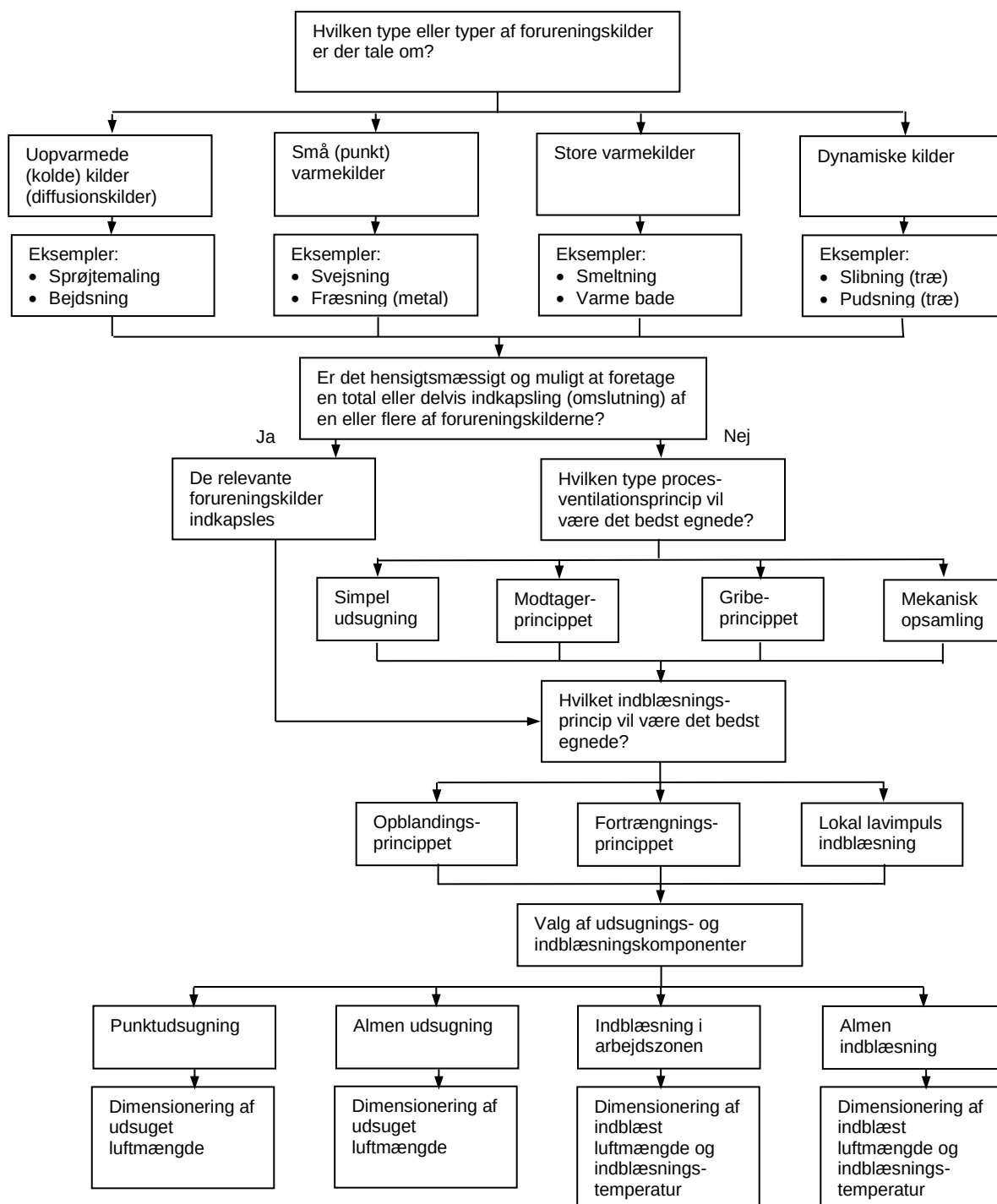
Figur 4.9. Kantpudser

En partikel der emitteres ud i den omgivende luft vil bevæge sig et vist stykke før den er bremsed ned som følge af luftmodstanden (stoplængde). Luftmodstanden har meget stor effekt, - på især små partikler. Partikler i størrelser der er lungeskadelige er så små ($d_p \leq 10 \mu\text{m}$) at de standses hurtigt i den omgivende luft, og kan let opsuges uanset partiklernes bevægelsesretning fra kilden. Større, tungere partikler ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$) 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, indblæsningsanlægget, varmekalorifer, åbne porte, døre, vinduer m.m. Dette skal der tages hensyn til når punktudsug skal designes og dimensioneres. Set i det lys bør der altid overvejes om arbejdssteder kan placeres gunstigt, afskærmes fra tværstrømninger f.eks. ved etablering af halvvægge eller lignende.

4.2 Diagram for proces- og komfortventilationssystem



Figur 4.10. Forløbet ved behovsanalyse

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 forskellige/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 2 - 3 alternative anlæg danner et godt beslutningsgrundlag for bygherren. Tilbuddet vil således vise hvilken løsning der giver bygherren mest får pengene (i hele anlæggets levetid).

Tabel 4.1 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.

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

I tabel 4.1 ses et eksempel på LCC beregninger for tre alternative proces- og komfortventilationssystemer.

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	-	Fortyndings-ventilation	Spalteudsug	Push-pull
Energiinput (brændsel)	-	Naturgas	Naturgas	Naturgas
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
Energipris	[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
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 vedligeholdelsesomkostninger 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 energibevist indkøb og projektering.

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, og at komfortventilationen som følge deraf må øges med en betydelig faktor.

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 tre metoder eller principper, som vil kunne anvendes ved procesventilation. Metoderne beskrives nedenfor.

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

- En total indkapslet proces
- En delvist indkapslet proces

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, hvis der er partikelemission, som vil være dimensionerende for den udsugede luftmængde.

I mange tilfælde vil det ikke være muligt at foretage en total indkapsling af den forurenende proces, da det vil forhindre tilstrækkelig overvågning og at der arbejdes med processen. Som eksempel på total indkapslede processer kan nævnte CNC drejebænke og plaststøbemaskiner, der placeret i lukkede kabinetter med udsugning.



Figur 5.1. Total indkapslet proces

Delvis indkapslet proces

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



Figur 5.2. Delvis indkapslet proces (stinkskab)

5.1.2 Modtagerprincippet

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. støbmaskiner, smelteovne/-kar, bade, svejseprocesser og steger-/kogerprocesser.

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



Figur 5.3. Modtagerprincippet (smelteproces)

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.

5.1.3 Gribeprincippet (herunder push-pull)

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. Ved svejseprocesser er der tale om en kombination af grib- og modtagerprincippet, da svejserøgen er varm og stiger til vejrs.

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

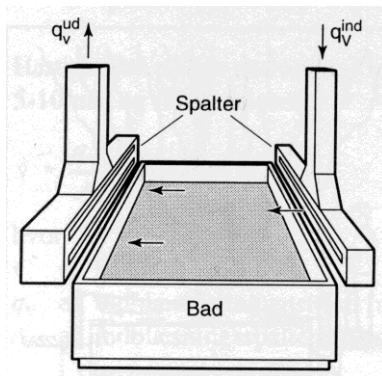
Et push-pull system består henholdsvis af indblæsningsspalter eller en række dyser og en udsugningsspalte, der begge skal dække hele badets længde.

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 strømmingen mod udsugningsåbningen, og volumenstrømmen i strålen ved udsugningen vil derfor være væsentligt 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.

Push-pull systemet er illustreret i figur 5.5.



Figur 5.5. Push-pull system

5.1.4 Mekanisk opsamling

Mekanisk opsamling anvendes ved processer hvor der afgives store partikler ($d_p \geq 10 \mu\text{m}$), som spredes ved at de kastes eller blæses væk fra bearbejdningspunktet. Et eksempel på dette ses i figur 5.6, som viser en båndsliber.

Som det ses er punktudsuget 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

5.1.5 Simpel udsugning

Simpel udsugning anvendes ved processer hvor der afgives dampe og gasser samt små partikler. Udsugningsprincippet anvendes i forbindelse med fortyndingsventilation. Et eksempel på dette ses i figur 5.7, som viser simple udsugninger (tagventilatorer) fra en et lokale med en smelteovn.



Figur 5.7. Simpel udsugning (tagventilatorer)

Energimæssigt har det stor betydning hvilket procesventilationsprincip der benyttes. Eksempelvis ses det i figur 5.8, at det vil være uhensigtsmæssigt at benytte gribepincippet i forbindelse med store varmekilder.

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

De hvide felter i figur 5.8 indikerer, at ventilationsprincippet er uegnet til kildetypen.

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

←				→
Meget	Energilinje			Lidt

Figur 5.8. Beslutningstabel

5.2 Komfortventilation

Ved komfortventilation er der to indblæsningsprincipper, som vil kunne anvendes. Det drejer sig om:

- Opblandingsprincippet
- Fortrængningsprincippet

5.2.1 Opblandingsprincippet

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.

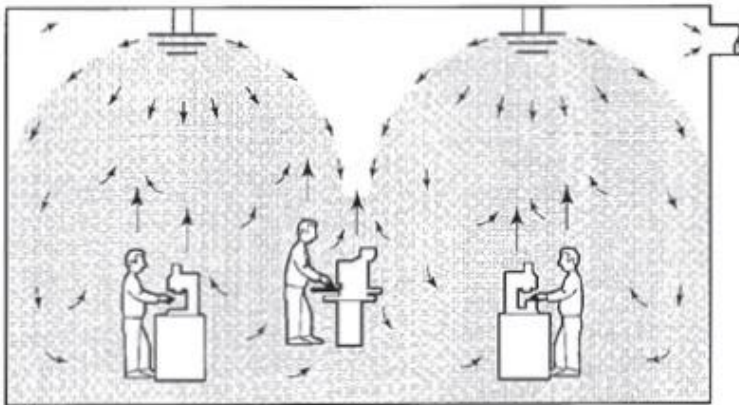
Ved kraftige forureningsemissioner er opblandingsprincippet ikke anvendeligt, da der skal indblæses betydelige mængder udeluft for at opnå en tilfredsstillende fortynding.

Endvidere vil kraftige og store konvektionsstrømme ødelægge strømningsbilledet i lokalet. Hvis der afgives megen varme fra processerne, skal der ligeledes bruges store luftmængder for at reducere temperaturen i arbejdszonen.

Princippet er endvidere særdeles påvirkeligt overfor tværstrømme i bygningen. Disse tværstrømme kan ofte forårsage, at den indblæste luftmængde blæses 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 med fordel kunne anvendes ved processer uden væsentlige varmeafgivere og emissioner.



Figur 5.9. Opblandingsprincippet

5.2.2 Dyse indblæsning

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

Opgaven løses ofte ved brug af indblæsning med dyser. Følgende fordele kan nævnes:

- Enklere-, mere fleksibel- og billigere installation i loftet idet der kun skal føres én hovedkanal op til indblæsningskanalen sammenlignet med armaturindblæsning, som både kræver en hovedkanal og mange fordelingskanaler foruden selve armaturerne. Indblæsningskanalen vil i mange tilfælde kunne placeres ret tæt på loftet
- Det er muligt at skabe en vis form for retningsbestemt indblæsning ned mod eksempelvis vindmølletårnet med hele luftmængden
- Indblæsningen sker med relativ lav bevægelsesmængdeimpuls og uden stor turbulens
- Der vil efterfølgende være mulighed for at finjustere på luftretningen ved at dreje indblæsningsdyserne.

Udsugningen vil altid være ved gulvniveau eller i opholdszonen.

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

Eksempel 5 – Procesudsug og indblæsning i malerhal til vindmølleårne

Sprøjtemaling af store emner foregår normalt i en malerhal, se figur 5.10. På billedet kan ses en sektion af et vindmølleårn, som ligger klar til maling. Vindmølleårnets diameter kan være op til $\varnothing 6000$ mm. Årnet ligger på to rullefelter. Herved kan årnet males fra den samme position (højde over gulvniveau). Vindmølleårnets maksimale længde er 40 m.

I forbindelse med maling med kodenumererede 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.
4. Mængden af udsuget og indblæst luft, skal være af en sådan størrelsesorden, at 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 forureneede luft ikke passerer operatørens åndedrætszone



Figur 5.10. Brug af poseindblæsning i stor hal, hvor vindmølleårne males. Udsugningen er placeret lige bagved vindmølleårnet.

Eksempel 5 – fortsat

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 ved de 0,2 m/s skulle overholdes ville det kræve en indblæst og udsuget luftmængde på:

$$0,2 \text{ m/s} \cdot 8 \text{ m} \cdot 40 \text{ m} \cdot 3.600 \text{ s/h} = 230.000 \text{ m}^3/\text{h}$$

De 8 m er vindmølletårnets diameter (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 stor interesse i at sektionere hallen i passende ventilationszoner, som kan aktiveres og lukkes efter behov. Ligeledes kan forureningen effektivt fjernes, hvis der udformes en eller anden form for indkapsling af vindmølletårnet. Arbejdstilsynet skal godkende løsninger, som afviger fra bekendtgørelsen. Dokumentationen er ofte i form af CFD simuleringer.

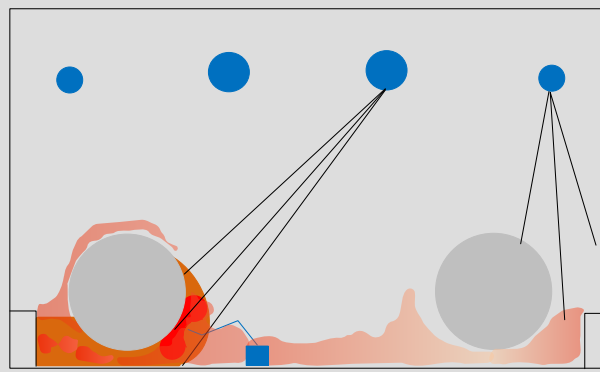
Det valgte indblæsningsprincip er stofposer med sektioner af indblæsningshuller. Indblæsningen fra den store pose målrettes tårnet som males (til venstre) og indblæsning fra den lille pose målrettes tårnet som er færdigmalet (til højre). Der udsuges kun bagved tårnet som males, se figur 5.11.

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 m³/h og indblæsning fra den lille pose er ca. 10.000 m³/h.

Udsugningen er ca. 52.000 m³/h (1300 m³/h pr. løbende meter), dvs. der etableres et lille overtryk i hallen, som forhindrer forureninger fra tilstødende halsektioner.

De følgende CFD simuleringer (figur 5.13 og 5.15) viser forureningsspredningen fra det venstre tårn, som males.



Figur 5.11. Indblæsning og udsugning ved vindmølletårn

Eksempel 5 – fortsat

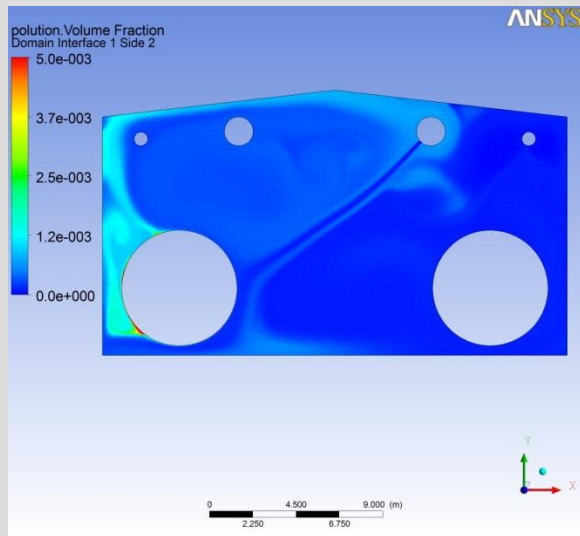


Figur 5.12. Delvis indkapsling ikke aktiveret

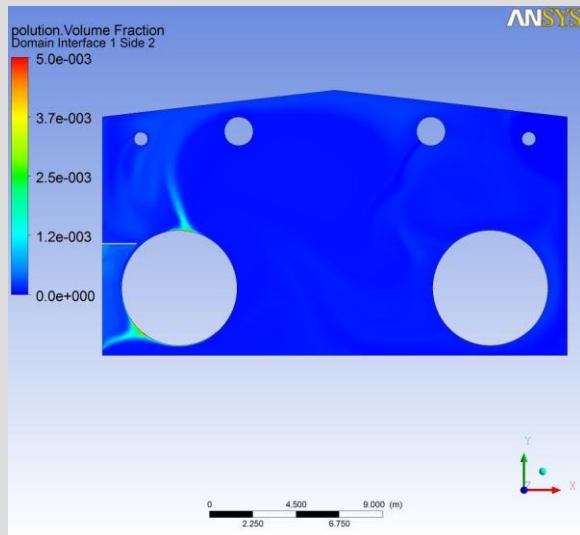
I den første CFD simulering (figur 5.13) er den delvise indkapsling (flanger fremstillet af stof og monteret på væggen) ikke aktiveret. Det ses på højre billede at forureningen ikke bliver fanget i tilstrækkelig grad, men strømmer op langs væggen og hen under loftet. I uheldige tilfælde vil malingsrester dumpe ned på det andet tårn, hvilket ikke er acceptabelt.



Figur 5.14. Delvis indkapsling aktiveret



Figur 5.13. CFD simulering – delvis indkapsling ikke aktiveret



Figur 5.15. CFD simulering – delvis indkapsling aktiveret

Eksempel 5 – fortsat

I den anden CFD simulering (figur 5.15) er den delvise indkapsling aktiveret og det ses på højre billede 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 strømmingen mest muligt, er der etableret lodrette stoftæpper ned fra loftet, se figur 5.16.



Figur 5.16. Lodrette lofttæpper til bremsning af strømning

5.2.3 Fortrængning

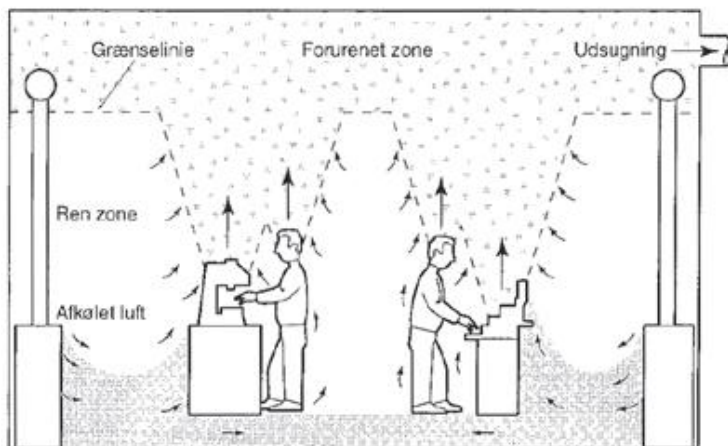
Ved fortrængningsprincippet tilstræbes en ”skæv” fordeling af varme og forurening i rummet, således at luften i arbejdszonen bliver renere og køligere end højere oppe i lokalet.

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 særdeles anvendeligt på virksomheder med kraftige forureningsemissioner og konvektionsstrømme fra processerne. En væsentlig ulempe ved dette princip er imidlertid, at det er særdeles 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 meget vanskelig.

Der kan maks. fjernes en varmebelastning på ca. 100 W/m^2 .



Figur 5.17. Fortrængningsprincippet

5.2.4 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.

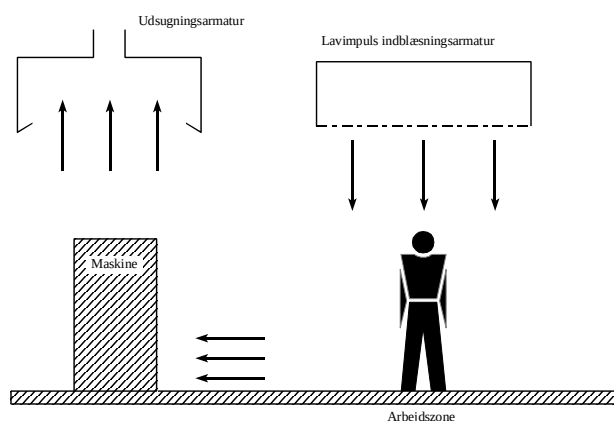
Dette er et indblæsningsprincip, som udnytter den klassiske fortrængningsventilations fordele og kompenserer for dens ulemper med hensyn til optagelse af plads.

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.

Vælger man at benytte lokal lavimpuls indblæsning, skal man dog 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 ved at anvende lokal lavimpuls indblæsning, er 400 W/m^2 .

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

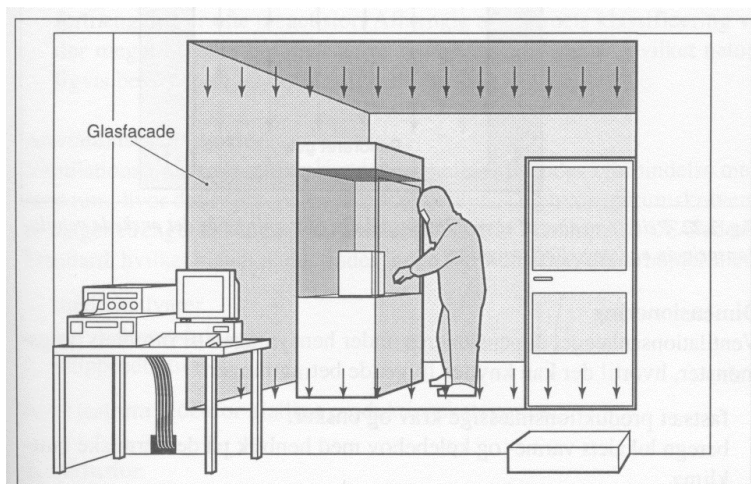


Figur 5.18. Princippet i lokal lavimpuls indblæsning

5.3 Renrumsventilation

Renrumsventilation designs typisk med meget høje luftmængder, som sikrer, at partikelemissioner i renrummet minimeres. Desværre betyder det også, at energiforbruget til ventilation ofte er meget stort især til drift af ventilatorer, men også til opvarmning og eventuel køling, affugtning og befugtning. Der er et meget stort potentiale for energibesparelser ved energibevist projektering af renrumsventilation.

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



Figur 5.19. Stempelfortrængning

Hvor rumadskillelse mellem renrumsklasser ikke er mulig, kan en lokal enhed med stempelfortrængning anvendes med økonomisk og energimæssig fordel til at sikre en ren zone i et større lokale, frem for at etablere renrum i hele lokalet.

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 komfortventilationssystemet

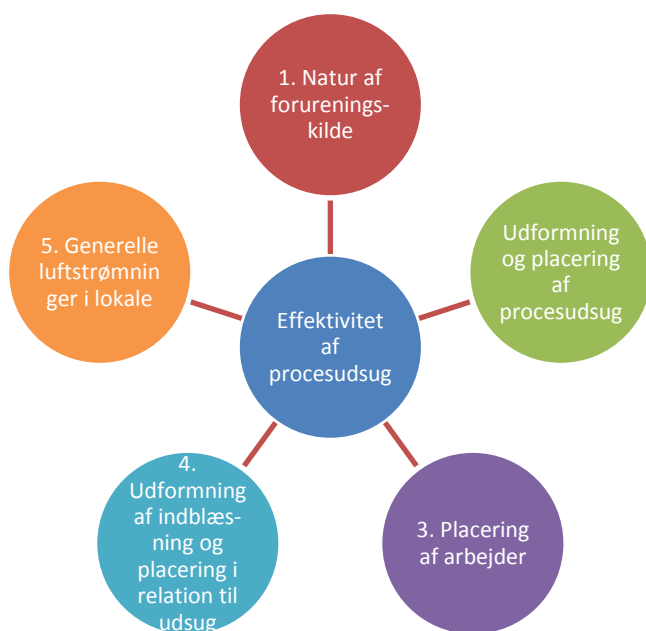
6.1 Udsugningskomponenter

6.1.1 Punktudsugning

Punktudsug skal effektivt kunne fjerne forureninger som f.eks. varme, støv, lugt, røg eller gasarter, inden disse spredes til arbejds- og opholdszonen. For at et punktudsug effektivt skal kunne 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 enten tommelfingerregler eller metoder, som har været anvendt i årtier. Disse metoder har en række begrænsninger, som gør at punktudsugene ofte ikke fungerer tilfredsstillende.

For at kunne 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 denne udbredelse. Nedenstående figur viser de ”eksterne” påvirkninger eller randbetingelser, der har indflydelse på procesudsugets effektivitet.



Figur 6.1. Procesudsugets følsomhed overfor fem listede ydre påvirkninger

Nedenfor behandles de ”eksterne” påvirkninger nærmere.

- **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 endvidere afsnit 4.1.

- **Udformning og placering af procesudsug**

Procesudsug skal placeres hensigtsmæssigt i forhold til processerne. De skal placeres så tæt på processerne som muligt, jo nærmere des bedre virkning for samme lufthastighed i sugåbningen. Anvendelse af reflektorer og flanger forbedrer procesudsugets effektivitet. Procesudsug skal endvidere placeres således, at de understøtter forureningernes naturlige bevægelser.

- **Placering af arbejder**

Procesudsug er logisk nok ofte dimensioneret til at være tæt på forureningskilden. Desværre ofres der sjældent meget tid på at placering personen korrekt 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.

- **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.

- **Generelle luftstrømninger i lokale**

Procesudsugets effektivitet (udsugningseffektiviteten) er afhængig af forstyrrelser i den omgivende luft, såsom tværstrømninger. Store tværstrømningshastigheder, f.eks. fra åbne porte, giver typisk anledning til mindre udsugningseffektiviteter ved den samme udsugede luftmængde og det samme punktudsug.

6.1.1.1 Udsugning efter omslutningsprincippet

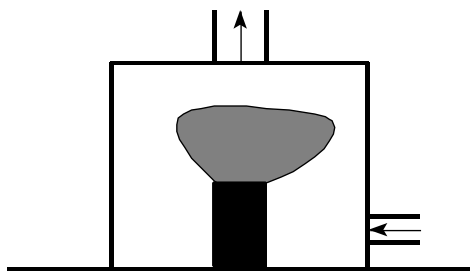
Udsugning fra en total indkapslet proces

Når der arbejdes med totalt indkapslede processer findes der en lang række forskellige opstillinger. Disse opstillinger beskrives nedenfor.

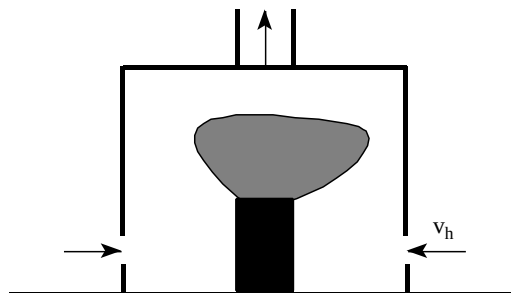
Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft eller rumluft

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

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



Figur 6.2. Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft



Figur 6.3. Total indkapsling med tilførsel af rumluft

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} ($^{\circ}C \leq t_{ud} \leq 50$ $^{\circ}C$)
- T_{ind} 0 ($^{\circ}C \leq t_{ind} \leq 50$ $^{\circ}C$)

Ved emissioner i form af dampe og gasser bestemmes luftmængden 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 koncentration i mg/m^3

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

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

De ovenfor viste opstillinger (figur 6.2 og 6.3) bygger på nødvendigheden af at udsuge så meget luft, at hastigheden i de små huller/åbninger der måtte være, mindst er 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:

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

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

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

hvor:

q_m er den maksimalt fordampede mængde [kg/s]

t er den højest mulige arbejdstemperatur i indkapslingen [°C]

c_n er nedre eksplosionsgrænse [kg/m³] ved 20°C og 101,3 kPa

K_1 er en sikkerhedsfaktor, som er sat til 0,25 af brandmyndighederne

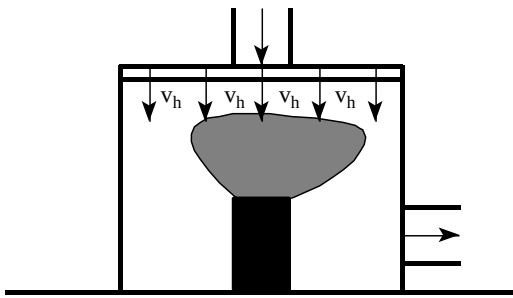
K_2 er en fordelingsfaktor, der fastsættes under hensyntagen til luftfordelingen i indkapslingen.

Fordelingsfaktoren 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 gribeprikket, se kapitel 6.1.1.3. Der skal endvidere tages hensyn til krav om en vis transporthastighed i kanalsystemet fra indkapslingen.

Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft gennem loft

Denne type indkapsling anvendes typisk i forbindelse med malekabiner.



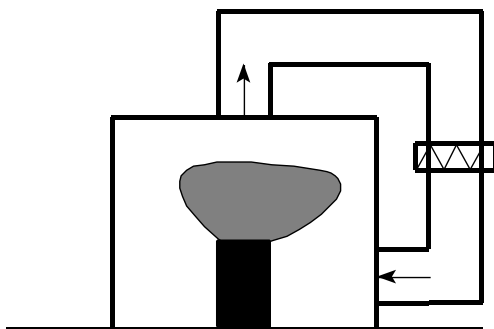
Figur 6.4. Total indkapslet proces med tilførsel af friskluft gennem loft

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

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

Total indkapslet proces med recirkulering

Indkapslingen anvendes f.eks. i forbindelse med træbearbejdning. Hvis der er tale om emissioner i form af partikler bestemmes luftmængden vha. gribeprincippet, se kapitel 6.1.1.3. Der skal endvidere tages hensyn til krav om en vis transporthastighed i kanalsystemet.



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 med en fordeler i takt med at det ekstruderes. Båndet bevæger sig langsomt ind gennem ovnen. Opholdstiden i ovnen er knapt 1 time.

Luften i ovnen bevæger sig primært oppe fra og ned gennem båndet. Dette opnås ved recirkulationsblæsere, der suger fra nederste kammerhalvdel under båndet og leder luften ind i toppen af kammeret over båndet.



Figur 6.6. Ovnen indløbsende

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

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

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.

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 umiddelbart 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.

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

Tabel 6.1. Målinger af statiske undertryk i udløbsåbningen i forhold til omgivelserne, dynamiske tryk over udløbsåbningen samt lufthastigheder i udløbsåbningen

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

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. Det ses, at der var væsentlig forskel på hastigheden i udløbsåbningen ved fastholdt undertryk i afkastkanalen om der var produktion eller ovnen ikke anvendes. Desuden ses, at ved den givne produktion (ca. 50 % af fuld kapacitet), var et setpunkt for undertrykket 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 givetvis ligeledes indløbsåbningen) varierer betydeligt både i forhold til position i åbningen og over tid. Der er tilsyneladende en betydelig turbulens i ovnens udløbssektion.

Det antages, at det er muligt at reducere undertrykket i afkastkanalen betydeligt i forhold til det nuværende setpunkt på ca. -25 mmVS (-30 mmVS ved en besigtigelse d. 20.09.11), 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 Nm³/h luft ind i ovnen gennem åbningerne, når setpunktet under en produktion svarende til under målingerne er sat til -25 mmVS. Hvis setpunktet havde været -15 mmVS i stedet ville luftmængden have været ca. 700 Nm³/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.

Gasbesparelse

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

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

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

Elbesparelse

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

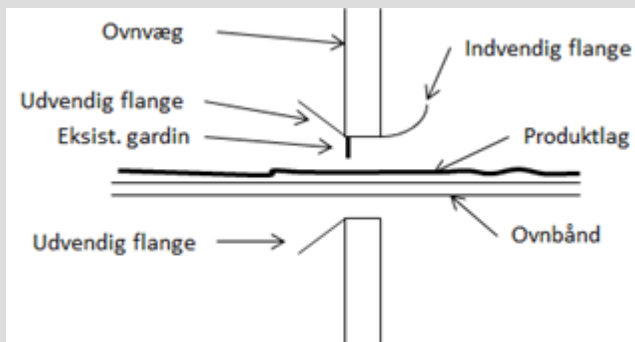
$$3,6 \text{ kW} \cdot 8.760 \text{ h/år} = 31.700 \text{ kWh/år}$$

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

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

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

Indløb- og udløbsåbningerne er udformet som skarpkantede (firkantede) åbninger, som ikke er særlig velegnede til at indfange dampe der er trængt ud af åbningen eller sikre mod at turbulensen i ovnrummet blæser luft fra ovnen ud gennem åbningerne. I figur 6.7 er der skitseret et tværsnit i en åbning, hvor der er monteret en udvendig flange der medvirker til at indfange emissioner der er udenfor åbningen, samt en indvendig flange der modvirker at den turbulente luftbevægelse i ovnrummet som følge af recirkulationsblæserne.



Figur 6.7.

De ydre flanger afskærmer åbningen og skaber en homogen strømning mod åbningen, mens den indre flange bryder den nedadgående luftbevægelse langs ovnsiden mod åbningen.

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

Udsugning fra delvis indkapslet proces

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

Malesprøjtebokse

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

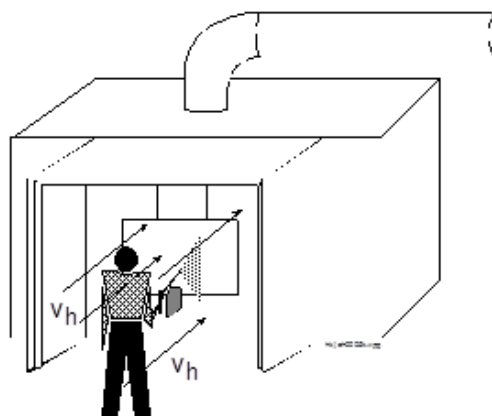
- Hastigheden i boksens frontareal v_h sættes som minimum til 0,5 m/s, hvilket er et krav fra Arbejdstilsynet
- Det nødvendige frontareal A fastlægges

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

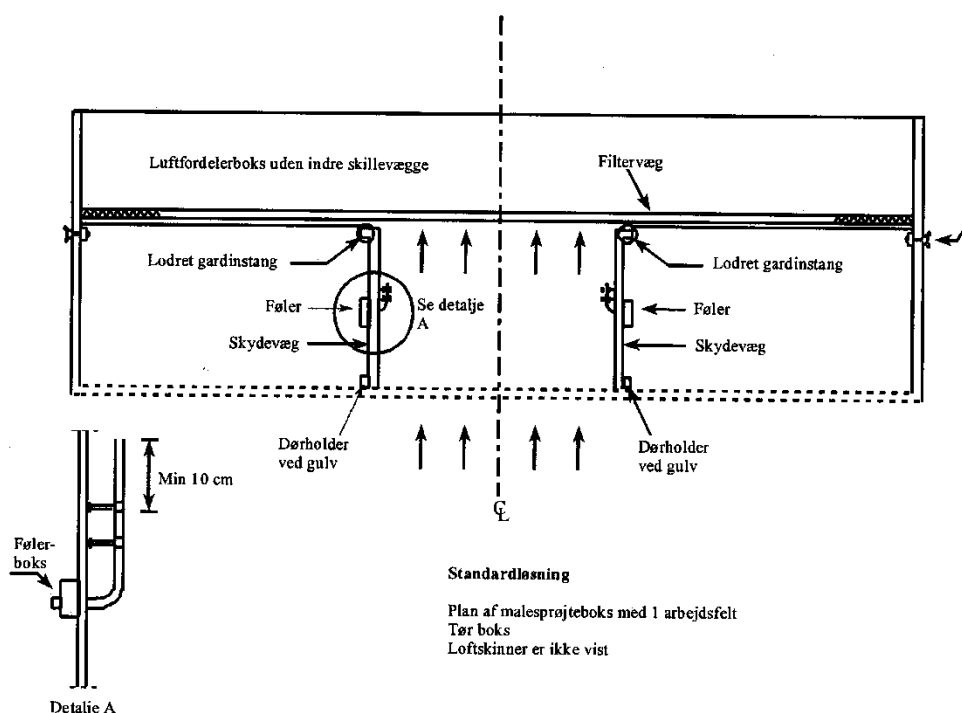
$$q_v = v_h \cdot A \sim 0,5 \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

Undersøgelser har vist, at til trods for at kravet (fra Arbejdstilsynet) om en hastighed i malesprøjteboksens frontareal på 0,5 m/s ikke kan fraviges, så er der alligevel mulighed for at reducere den udsugede luftmængde og dermed boksens energiforbrug. På mange virksomheder er malesprøjteboksene dimensioneret til maling af det størst forekommende emne, men de anvendes i store perioder til maling af væsentligt mindre emner.

Undersøgelser har vist, at en reduktion af frontarealet ved indbygning af forskydelig indervægge i boksen, der ved forskydningen samtidig afspærrer dele af sugefladen i bagvæggen, kan medføre store energibesparelser. På boksens forskydelige indervægge er der monteret hastighedsfølere som via en reguleringsanordning sørger for ved hjælp af et spjæld at fastholde de 0,5 m/s i det reducerede areal. På figur 6.8 ses en skitse af en malesprøjteboks med forskydelige indervægge.

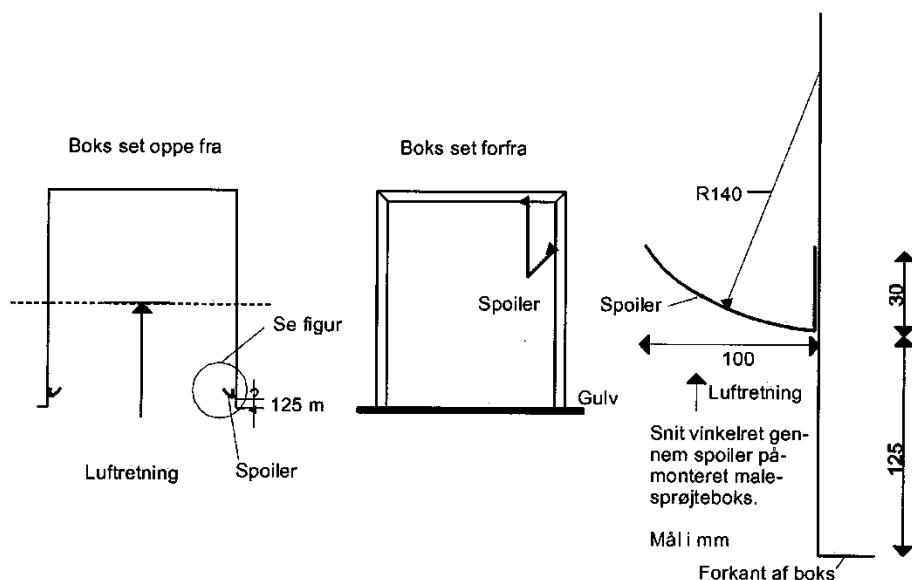


Figur 6.8. Malesprøjtebokse



Figur 6.9. Malesprøjteboks med forskydelige vægge.

Undersøgelser har endvidere vist, at 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 indadbuget facon, og placeres i boksens sider og under loftet. Nedenfor ses en skitse af en malesprøjteboks med spoilere.



Figur 6.10. Malesprøjteboks med spoilere.

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

Sugebokse

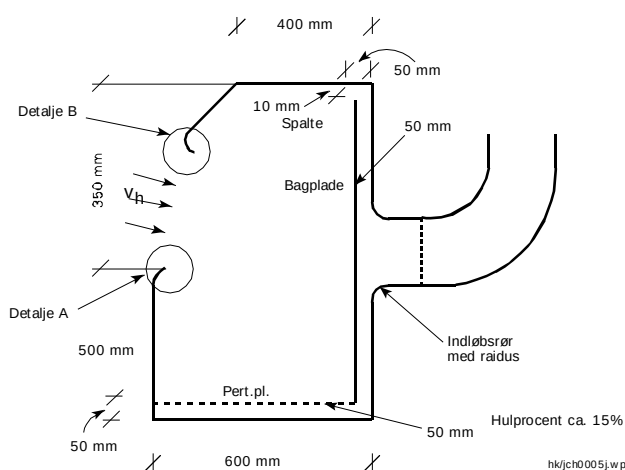
Nedenfor beskrives den traditionelt anvendte metode til bestemmelse af den nødvendige udsugede luftmængde fra en sugeboks. Proceduren for dimensionering af en sugeboks er følgende:

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

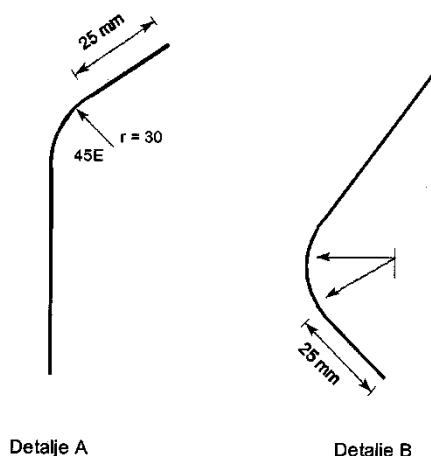
Den nødvendige udsugede luftmængde q_v kan herefter beregnes ved hjælp af nedenstående formel:

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

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



Figur 6.11. Skitse af en godt udformet sugeboks



Figur 6.12. Nærbillede af fornuftig udformning af indløbsforholdene til sugeboksen.

Som det ses er indløbet til boksen udformet med afrundede kanter. Fordelen ved dette er, at der ikke opstår hvirvler i indløbet, når erstatningsluften indføres og dermed undgås risikoen for at forurennet luft undslipper boksen. I bunden af boksen er der placeret en perforeret plade, hvorigennem en del af luften suges. Ved at suge i bunden af boksen respekteres støvets naturlige bevægelsesmønster, som er fra boksens rum og mod bunden (tyngdekraftens indvirkning). Der suges endvidere jævnt i boksens bagende via en spalte langs med boksens sider. Målinger viser at udsugningseffektiviteten er tilfredsstillende med en hastighed i frontarealet på ca. 0,3 m/s. Som konklusion på undersøgelserne viser det sig at sugestederne bør placeres således, at der opnås en ensartet

luftfordeling i indsugningsåbningen. Ligeledes bør det tilstræbes at udsugningsforholdene er opbygget således at luften ikke turbuleres, når den suges ind i sugeboksen. Turbuleringen betyder nemlig at den indsugede luft og luften i sugeboksen blandes, samtidig med at noget af den forurenede luft i sugeboksen kan undslippe.

Stinkskabe

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

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

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

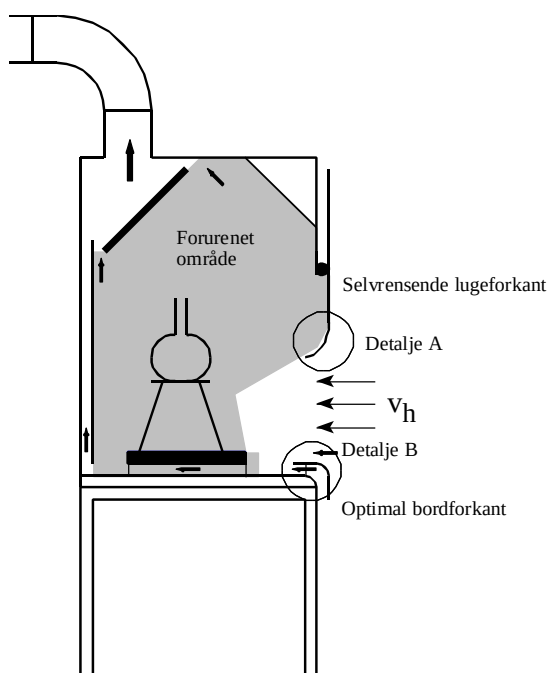
$$q_v = v_L \cdot A \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

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

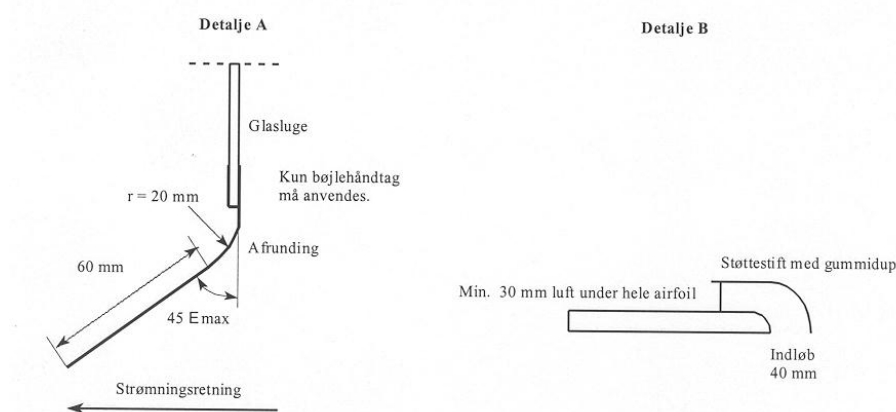
Desuden er det almindeligt at der monteres bevægelsesmeldere, der sikrer at luftmængden reduceres automatisk til f.eks. 0,3 m/s i lugeåbningen, når der ikke har været arbejdet ved stinkskabet en given tid. Reguleringen med bevægelsesmelder vil medføre både el- og varmebesparelser, idet den udsugede luftmængde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

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

Undersøgelser har vist, at det for stinkskabe med en god geometri, er muligt at reducere hastigheden i lugeåbningen til under 0,5 m/s og dermed også den nødvendige udsugede luftmængde. Med hensyn til stinkskabets geometri, så skal opmærksomheden rettes mod udformningen af bordforkant og lugeunderkant, men siddevægge og eventuelle mellemstolper er heller ikke helt uden betydning. Gode og strømningsmæssigt korrekte udformninger af disse er en af forudsætningerne for at hastigheden i lugeåbningen kan reduceres eller at skabets effektivitet kan forbedres. En anden væsentlig forudsætning for at hastigheden i lugeåbningen og dermed den nødvendige udsugede luftmængde kan reduceres er, at stinkskabets brugereffektivitet ved den lavere luftmængde er tilfredsstillende. På figur 6.12 ses et stinkskab med en god geometri.



Figur 6.13. Skitse af en godt udformet sugeboks



Figur 6.14. Stinkskab med god geometri inklusive en beskrivelse af de væsentligste detaljer.

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

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

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

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 og i en lille tromle, der lukkes for transport.

For at sikre arbejdsmiljøet, ventileres rummet med en luftmængde på ca. 7.000 m³/h, der blæses ind gennem armaturer monteret i loftet og suges ud gennem perforerede plader i den ene væg, se billede. Den eksisterende udsugning er trods den store luftmængde utilstrækkelig, da støv fra afvejningsprocessen spredes i hele lokalet.

For at effektivisere udsugningen samt sikre at støv fra afvejningen holdes i en begrænset del af rummet er det foreslået at der etableres en kabine/afdækning i rummet. Kabinen etableres som en afdækning fra gulv til loft, der er helt åben i fronten i et areal på f.eks. B x H: 1,5 x 2 meter, så det er muligt at have sækkene med pulver stående enkeltvis i kabinen efterhånden som de bruges. Herved foregår alle støvende operationer i kabinen, og der er ikke behov for ventilation af den restende del af lokalet udover den luftmængde der trækkes ind i kabinen af udsuget fra kabinen. Udsuget sker fortsat gennem de perforerede plader der inde i kabinen, mens de perforerede plader udenfor kabinen erstattes med almindelige plader. Der er skal være en lufthastighed i kabinens åbningsareal på ca. 0,5 m/s, svarende til ca. 5.400 m³/h, for at sikre mod at der kommer støv ud af kabinen. Ved at etablere den foreslåede kabine kan luftmængden således reduceres betydeligt samtidig med at udsugningen bliver langt mere effektiv, så de nuværende gener som følge af spredningen af støv undgås.

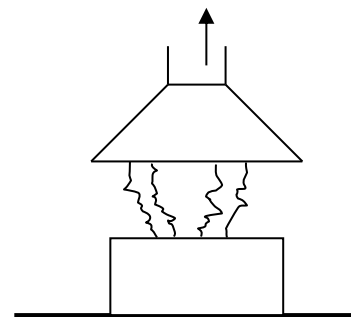


Figur 6.15. Udsugning ved afvejning af nikotinpulver

6.1.1.2 Udsugning efter modtagerprincippet

Et ofte anvendt udsugningsprincip ved store termiske kilder er udsug efter modtagerprincippet, hvor sugehoven er placeret over den varme forureningskilde. De termiske kræfter vil af sig selv føre den forurenede luft op i hoven hvor den bliver suget ud. Se figur 6.16.

Der findes i praksis kun én velegnet metode til dimensionering af en udsugningshov. Ved denne metode, er den udsugede luftstrøm baseret på en beregning af størrelsen af den termiske plumen ved sugehovens underkant. Metoden beskrives nedenfor.



Figur 6.16. Sugehov

Beregning af termisk plumen

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

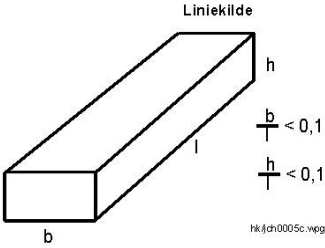
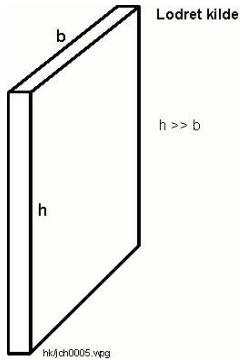
Ved dimensionering af hovens bredde viser erfaringerne, at hovens mindste bredde skal være:

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

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

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

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

Punkt-/vandretkilde	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: $h \gg b$

Tabel 6.1. Inddeling af forureningskilder i tre forskellige grundtilfælde

Formeludtryk for den nødvendige volumenstrøm for de forskellige kilder er vist i tabel 6.2.

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

Tabel 6.2. Nødvendig udsuget volumenstrøm for forskellige kildetyper.

Hvor:

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

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

$$\Phi_{konv} = K \cdot P_{tilført}$$

Tabellen med de relevante K-faktorer ses nedenfor:

K	Kildetype
0,8 – 0,9	Punktbelysning
0,7 – 0,9	Varmerør eller kanal
0,4 – 0,6	Lille maskine
0,3 – 0,5	Stor maskine
0,05 – 0,1	Svejsested

Tabel 6.3. K-faktor for forskellige kildetyper.

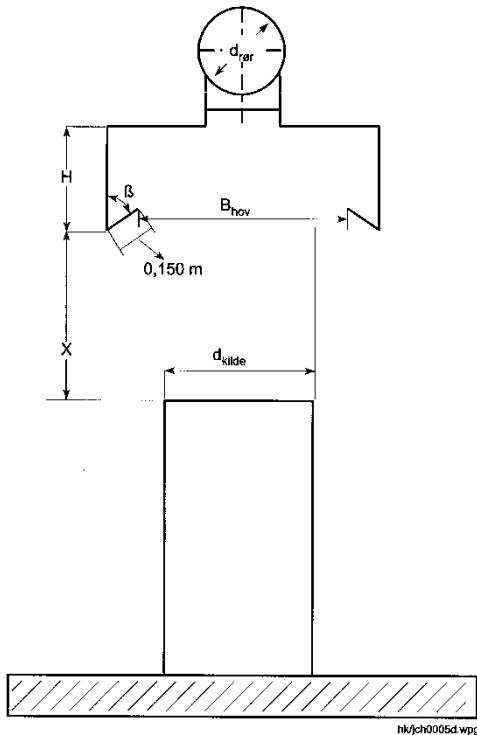
Dimensioneringsmetoden har vist sig at være god, idet den tager hensyn til de termiske kræfter og derved afpasser den nødvendige udsugede volumenstrøm til behovet. Desuden er det fundet at dimensionen på indløbet til sugehoven kan bestemmes ud fra udtrykket:

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

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

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

I forbindelse med udsug fra store/kraftige varme forureningskilder kan der med fordel anvendes en sugehov, der er opbygget efter det princip der er vist med figur 6.17.



Figur 6.17. Optimeret sugehov til modtagerprincippet.

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

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

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

6.1.1.3 Udsugning efter gribepriippet

Sugehove

På Teknologisk Institut er der opstillet et dimensioneringsgrundlag for sugehove, hvor der er taget udgangspunkt i nedenstående grundform for udtrykkene til bestemmelse af den nødvendige volumenstrøm ved udsug ($q_{v, \text{udsug}}$).

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

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

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

hvor

$q_{v, \text{udsug}}$ er den nødvendige udsugede luftmængde [m^3/s]

v_x er gribehastigheden i afstanden x [m/s]

x er afstanden fra forureningskildens yderste kant til centrum af udsuget [m]

A er arealet af sugeåbningen [m^2]

k_1 er placering af udsug

k_2 er tværstrømninger

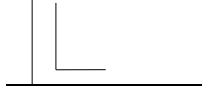
hvor k_1 afhænger af placeringen af udsuget og k_2 afhænger hastigheden på tværstrømningerne.

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

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

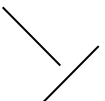
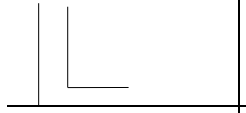
Denne værdi for v_x er anvendt ved fastlæggelsen af konstanterne k_1 og k_2 i det følgende.

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

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

Tabel 6.4. k_1 -faktorer der bør anvendes ved forskellige placeringer af punktudsug.

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

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

U* = ”uhensigtsmæssig”

Tabel 6.5. k_2 -faktorer - de steder hvor betegnelsen ”uhensigtsmæssig” er påført skyldes, at situationen i praksis er urealistisk. Det vil kræve uforholdsvist store luftstrømme.

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

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

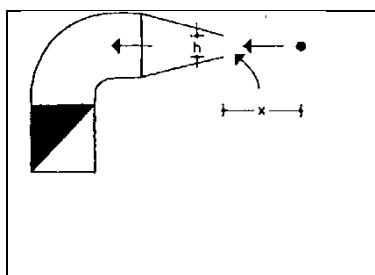
Den maksimale afstand fra sugeåbningen og ud til forureningskildens bagkant, hvor grundlaget kan anvendes, er 0,6 m.

Hvis ovenstående grundlag anvendes korrekt er såvel udsugningseffektiviteten η_{udsug} som brugereffektiviteten η_{bruger} mindst 95 %.

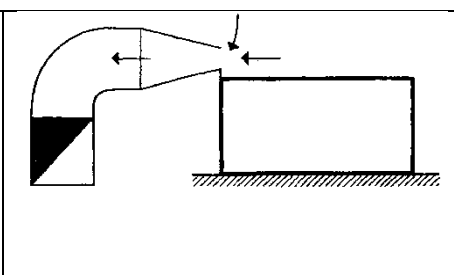
Spalteudsugning

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

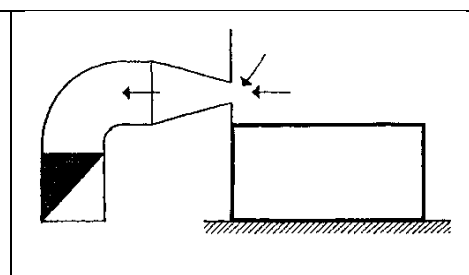
Enkelt-sidede sugespalter kan inddeles i tre principielt forskellige opbygning. En hvor sugespalten ikke har monteret en flange, en med en flange ned mod badet og en med flanger på begge sider.



Figur 6.18. Spalte-udsugning uden flange



Figur 6.19. Spalteudsugning med flange mod bad



Figur 6.20. Spalteudsugning med flanger på begge sider

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

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

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

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

Af udtrykkene i tabellen er den nødvendige udsugede volumenstrøm mindst når der er monteret dobbeltflanger på sugespalten. Grunden herfor er den samme som gør sig gældende i forbindelse med almindelige udsug. Af tabel 6.6 ses det ligeledes at spaltehøjden ligeledes bør være mindre, når der er monteret flanger på spalteudsug.

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

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

Tabel 6.7. Vejledende talværdier for gribehastigheden ved sugespalter over bade.

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

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

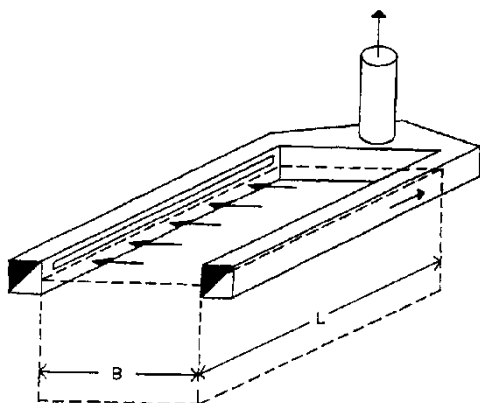
$$v_{\text{udsugningskanal}} < 0,3 \cdot v_0$$

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

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

Dobbelt (modstående) sugespalter

Dobbelt (modstående) sugespalter svarer til enkelte sugespalter. Forskellen er blot at der ved dobbelt sugespalter suges i to af badets sider i stedet for kun en. Herved bliver afstanden mellem sugespalten og forureningen længst væk halveret, hvilket medfører at luftforbruget også kan mindskes. Et eksempel på dobbelt (modstående) sugespalter ses i figur 6.20.



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

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

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

Dimensioneringsudtrykkene for hvert af de tre ovenstående tilfælde er vist i tabel 6.8.

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

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

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

De anbefalede gribehastigheder 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 formelen:

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

idet der dog skal gøres 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 lufttæpper – de såkaldte push-pull systemer.

Korrekt dimensionering af luftmængder er dog en forudsætning for både optimal udsugnings- og energieffektivitet.

SINTEF i Norge har udviklet en dimensioneringsmetode som efterfølgende er verificeret af Per Heiselberg fra Aalborg Universitet. Udgangspunktet i dimensioneringsmetoden er en anbefalet minimumshastighed i strålen over badet. Skistad anbefaler, at maksimalhastigheden i strålen ikke er lavere end $u_x = 0,7$ m/s og angiver, 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 $x = (0,8 \cdot \text{badets bredde})$ fra indblæsningen.

Den udsugede luftmængde bestemmes således:

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

Hvor:

- u_x er luftens hastighed i en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i m/s.
 u_x sættes 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:

$$q_{\text{ind}} = (0,109 \cdot \rho_x \cdot u_x^2 \cdot x \cdot L \cdot 3.600) / v_0$$

Hvor:

- ρ_x er luftens densitet i en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i kg/m^3
- 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

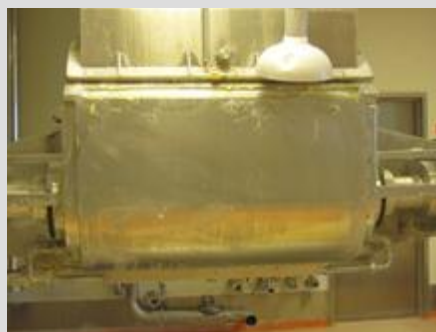
I et større lokale er der opstillet en mikser, der har til opgave at producere tyggegummimasse samt derefter at blande massen med nikotinpulver. Ingredienserne til fremstilling af tyggegummimassen tilsættes mikseren gennem rør- og kanalforbindelser, mens tilsætning af nikotinpulver sker manuelt ved at 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, idet den manuelt deles i stykker af passende størrelse der placeres i vogne der køres videre til produktionen af de færdige tyggegummistykker. Der er kraftig støvudvikling både under tilsætningen af nikotinpulveret og især under udtagningen af den færdigæltede masse.

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

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.

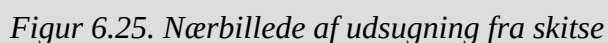
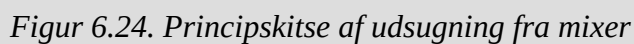


Figur 6.22. Udsugning



Figur 6.23. Udsugning

Herved kan mikseren både åbnes og betjenes som hidtil, men effektiviteten af udsugningen er kraftigt forøget da kilden på den måde er indkapslet fra tre sider (overkant og begge sider), se figur. Der er udsugning i hele skærmens bredde. Virksomheden har selv udført og monteret den foreslåede skærm ud fra en tegning, der er udarbejdet i forbindelse med projektet. Skærmen vil kunne reducere støvgenerne fra tilsætningen af nikotinpulveret, mens den ikke vil kunne reducere støvgenerne fra talkumpåføringen. Der er ikke med udgangspunkt i den eksisterende produktionsmetode med manuel udtagning af den færdigblandede tyggegummimasse identificeret muligheder for at reducere støvgenerne fra talkummet i nævneværdig grad. Bortset fra at talkummet er irriterende antages det dog for at være uskadeligt, mens nikotinpulveret må anses for sundhedsskadeligt.



Eksempel 9 – Push-pull i galvanoafdeling

I eksempel 3 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 33.600 m³/h for at fortynde forureningen. I dette eksempel ses hvorledes denne friskluftmængde kan reduceres betydeligt ved anvendelse af et push-pull ventilationssystem.

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 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:

$$q_{ind} = (0,109 \cdot \rho_x \cdot u_x^2 \cdot x \cdot L \cdot 3.600) / v_0$$

Hvor:

- ρ_x er luftens densitet i en afstand på 80 % af badets bredde fra indblæsningen i kg/m³
- 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 10 m/s

Den udsugede og indblæste luftmængde kan nu beregnes:

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

$$q_{ind} = (0,109 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot (0,7 \text{ m/s})^2 \cdot (0,8 \cdot 1,4 \text{ m}) \cdot 6 \text{ m} \cdot 3.600 \text{ s/h}) / 10 \text{ m/s} = 155 \text{ m}^3/\text{h}$$

Det vil være nødvendigt at tilføre rummet en erstatningsluftmængde på 2.345 m³/h for at skabe balance mellem den samlede indblæste og udsugede luftmængde.

6.1.1.4 Mobilt udsug

Mange opfatter kun f.eks. et svejseudsug som et mobilt udsug. Her kan operatøren manuelt flytte svejseudsugets 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.

Ved flamme- og laserskæring af metalemner i eksempel 10 ligger emnet normalt på et dertil indrettet skærebord med en højde over gulvniveau på omkring 0,5 m. Bearbejdningen kan i princippet foregå i hele skærebordets bredde og i hele skærebordets længde. Den tredje dimension (højden over gulvniveau) er altid konstant. Det vil herved være muligt at designe et mobilt udsug, som altid følger skæreenhedens position i skærebordets længderetning (dvs. kun én dimension). Det kræver, at bredden af procesudsugets stort set er den samme som skærebordets bredde.

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

Ventilationsfirmaet Etreco A/S har i samarbejde med Teknologisk Institut udviklet et nyt energi- og arbejdsbesparende skærebord, hvor blandt andet udsugningens er ændret 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 figur 6.27.



Figur 6.26. Skærebordet med følgende dimensioner B x L: 3,0 meter x 15,0 meter



Figur 6.27. Skæring i plade

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

Eksempel 10 – fortsat

Førsituation

Et traditionelt skærebord anvender i praksis 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 følgende dimensioner B x L: 0,5 meter x 3,0 meter, 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



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

Den aktuelle udsugede luftmængde er lig:

$$0,5 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 2,0 \text{ m/s} \cdot 3.600 = 10.800 \text{ m}^3/\text{h}$$

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. Det erindres, at den fri sugeåbning er den enkleste form for en udsugningsåbning. Lufthastigheden aftager med afstanden i 2. potens fra munden. Hastigheden er givet ved den empiriske formel:

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

Eksempel 10 – fortsat

Hvor

V_0 er lufthastigheden i munden, m/s

V_x er lufthastigheden (gribehastighed) i afstanden x , m/s

x er afstanden fra munden, m

A er mundingens areal, m²

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

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

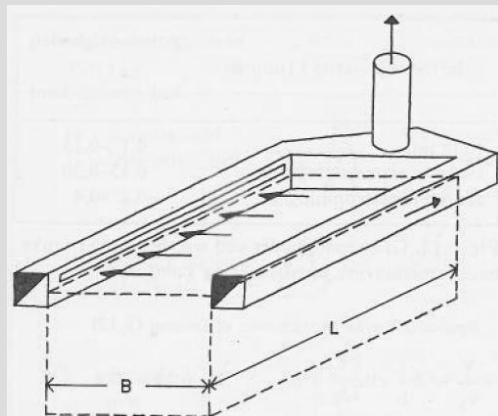
I det aktuelle tilfælde er sugeåbningen ikke helt fri; men er stort set omgivet af flanger.

Metallaffald 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 metallaffald.

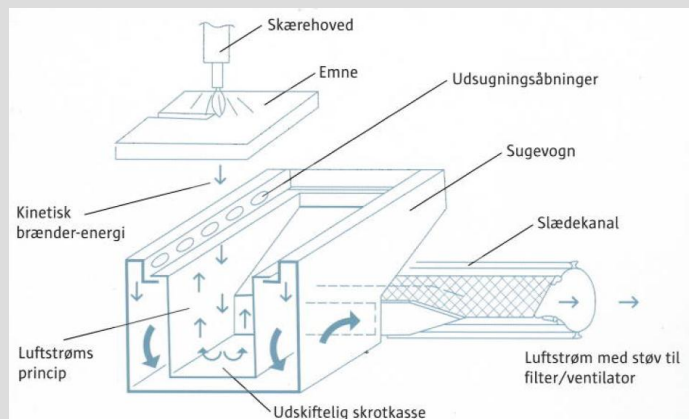
Der er også et betydeligt tidsforbrug til rengøring af skærebord fra affald.

Eftersituation

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



Figur 6.30. Dobbelt sugespalte



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

Eksempel 10 – fortsat



Figur 6.32. Tømning af metal affaldskasse



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

De to fotos viser henholdsvis tømning af metal affaldskasse og kassen placeret nede i den mobile enhed med sugespalter markeret med grønne pile.

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 er lig: $0,5 \text{ m} \cdot 3,0 \text{ m} \cdot 1,5 \text{ m/s} \cdot 3.600 = 8.100 \text{ m}^3/\text{h}$

Den umiddelbare direkte luftbesparelse er: $((10.800 - 8.100)/10.800) \cdot 100 = 25 \%$

Herforuden har det nye skærebord yderligere følgende oplagte 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 absolut 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 tag-ventilatorer (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. Denne upræcise ”dimensioneringsmetode” kan medføre, at der udsuges mere end nødvendigt med et unødvendigt højt tryktab i kanalsystemet og dermed energiforbrug til følge.

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

6.2 Indblæsningskomponenter

6.2.1 Indblæsning i arbejdszonen

Opblandingsarmaturer samt indblæsningsposer eller – kanaler med dyser

Ved opblandingsventilation afhænger den indblæste luftmængde af hvad indblæsningssystemet skal anvendes til. Opblandingsventilation kan anvendes til et eller flere af følgende formål.

- Fortyndning
- Opvarmning
- Køling

Den indblæste luftmængde beregnes forskelligt afhængig af hvad formålet med ventilationssystemet er. Ofte anvendes opblandingsventilation både til fortynding og opvarmning og der vil den nødvendige indblæste luftmængde være den største af de to beregnede luftmængder.



Figur 6.34. Indblæsningsarmaturer (spaltdiffusorer) til opblanding

Fortyndning

Ved fortynding, skal den indblæste luftmængde beregnes efter fortyndingsligningen. Denne er beskrevet nærmere i eksempel 3 i afsnit 3.2.2.

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:

$$q_v = \Phi_v / (1.200 \cdot \Delta T_v)$$

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:

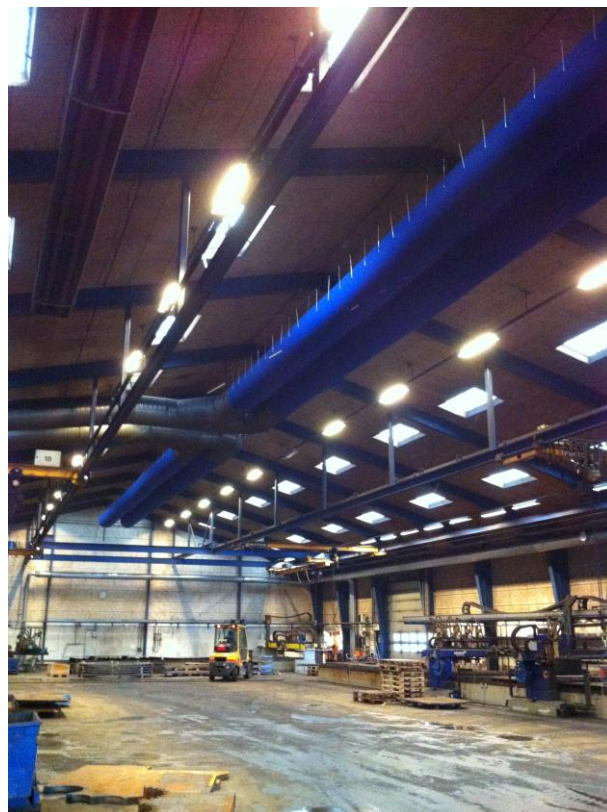
$$q_v = \Phi_k / (1.200 \cdot \Delta T_k)$$

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 meget 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 en 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.

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



Figur 6.35. Indblæsningsposer med dyser

Fortrængningsarmaturer

Ved fortrængningsventilation snakker man om grænselags- eller lagdelingshøjden Z . Denne højde er et udtryk for i op til hvilken højde over gulvet luften har en lav koncentration af forurening.

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

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/(sm²)

Φ_c er varmekilderens konvektive effekt pr. gulvareal i W/m²

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

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.

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



Figur 6.36. Gulvplaceret indblæsningsarmaturer til fortrængningsventilation



Figur 6.37. Indblæsningsarmaturer til fortrængning

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 netop kun det termiske indeklima i arbejdszonen, det forbedrer ikke det termiske indeklima i de omkringliggende områder.

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

7 Energiforbrug til proces- og komfortventilationssystemer

7.1 Energiforbrug til ventilationsaggregat

Ventilatormotorens effektforbrug P defineres således:

$$P = \frac{q_v \cdot \Delta p_t}{\eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m \cdot \eta_f} \quad [\text{W}]$$

hvor

q_v er volumenstrømmen [m^3/s]

Δp_t er totaltrykstigningen [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 også kaldet 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 pct. Kravet kan dog fraviges, når afkastningsluftens overskud af varme ikke på rimelig måde kan udnyttes”.

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

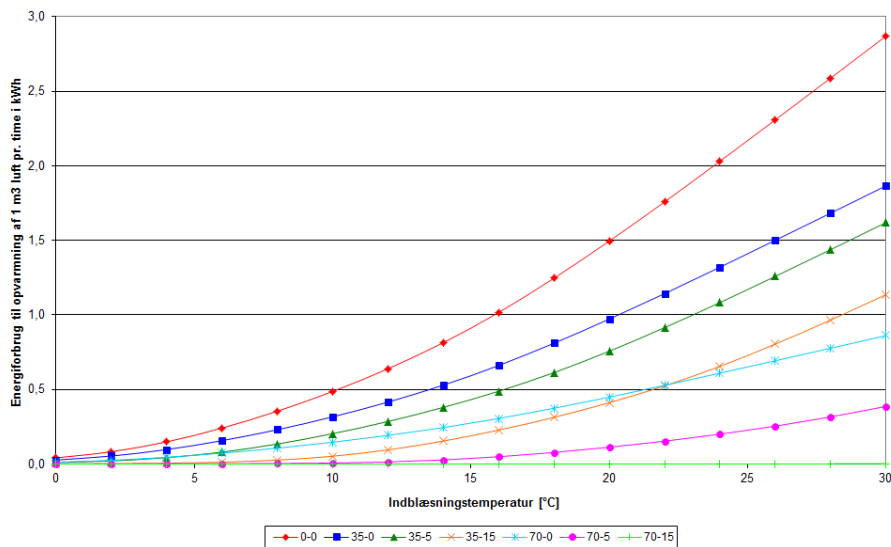
I At-vejledning om ventilation på faste arbejdssteder (Arbejdsstedets indretning – A.1.1) står der:

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

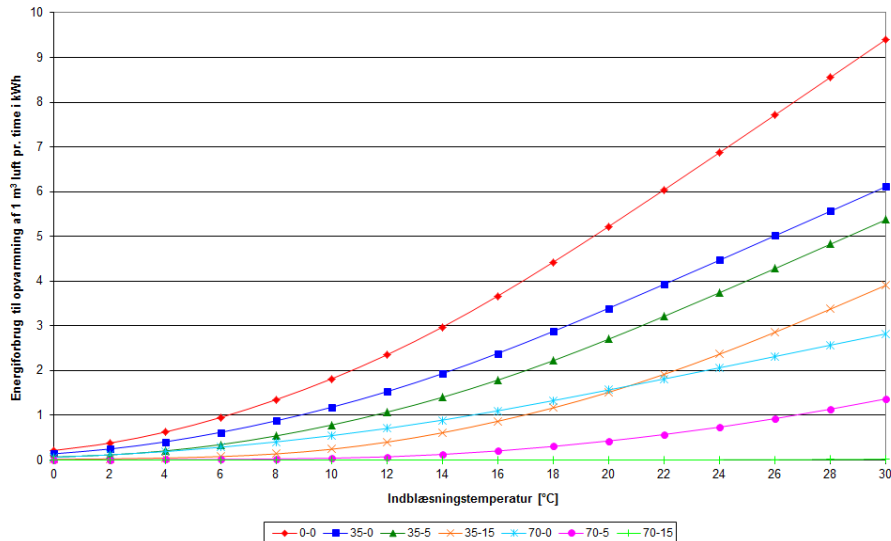
I figur 7.1 og 7.2 er energiforbruget til opvarmning af ventilationsluft opgjort for henholdsvis tidsrummene 8.00 til 16.00 og 0.00 til 24.00 (samtlige årets timer). På figurerne ses betydningen af varmegenvinding og maksimal udsugningstemperatur. Det sidste kan opnås ved at anvende effektive punktudsug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

Kurvebetegnelse 70 – 5:

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



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 11 – Energiforbrug til opvarmning af luft

Et anlæg arbejder med 18 °C indblæsningstemperatur, og det behandler (indblæser og udsuger) 20.000 m³ luft pr. time hele året døgnet rundt (7 ugedage).

Forbruget til opvarmning til 18 °C pr. m³/h aflæses via den øverste kurve 0-0 (uden varmegenvinding) ud for 18 °C til 4,4 kWh/år pr. m³/h pr. ugedag.

For 20.000 m³ luft pr. time er forbruget til opvarmning hermed:

$$4,4 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 7 \text{ ugedage} = 616.000 \text{ kWh}.$$

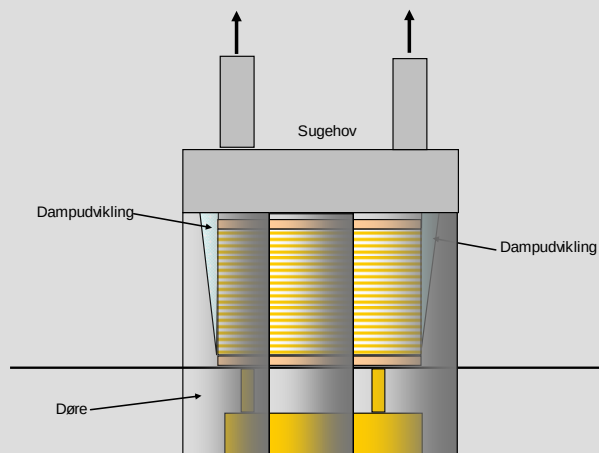
Varmegenvindes fra afkastningsluften, der er 23 °C varm, dvs. 5 °C varmere end det niveau, hvortil varmegenvindingen ønskes, med en temperaturvirkningsgrad på 70 %. Nu kan energiforbruget aflæses på kurve 70-5 til 0,3 kWh/år pr. m³/h pr. ugedag.

For 20.000 m³/h er forbruget til opvarmning hermed:

$$0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 7 \text{ ugedage} = 42.000 \text{ kWh}.$$

Eksempel 12 – Varmegenvinding fra dampopvarmede pressemaskiner

I forbindelse med produktionen af parketgulve har Junckers Industrier en afdeling der producerer prestørrede parketstave. Parketstavene tørres 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 træet nedtørres fra ca. 50 % til 2 % fugtindhold på ca. 105 minutter. Pressemaskinerne er lukkede i begge sider i langsgående retning af skydedøre.



Figur 7.1. Pressemaskine

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

Der er almen indblæsning fordelt nær opholdszonen ved indføring af stave til tørreovnen og ved afgang fra tørreovnen. Udsugningsluften går til en skrubber for at blive rensat inden luften går til det fri. Der er etableret to udsug fra hvert emfang, 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 tilendebragt. Der er skåret lidt af spjældpladerne, så der opnås et vist flow, når spjældene er lukkede.

Luftmængden i hovedkanalen er målt til at være mellem ca. 50.000 – 85.000 m³/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).

Eksempel 12 – Varmegenvinding fra dampopvarmede pressemaskiner - fortsat

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 virksamheden. 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.



Figur 7.2. Udsugningskanaler på taget ovenover tørremaskinerne

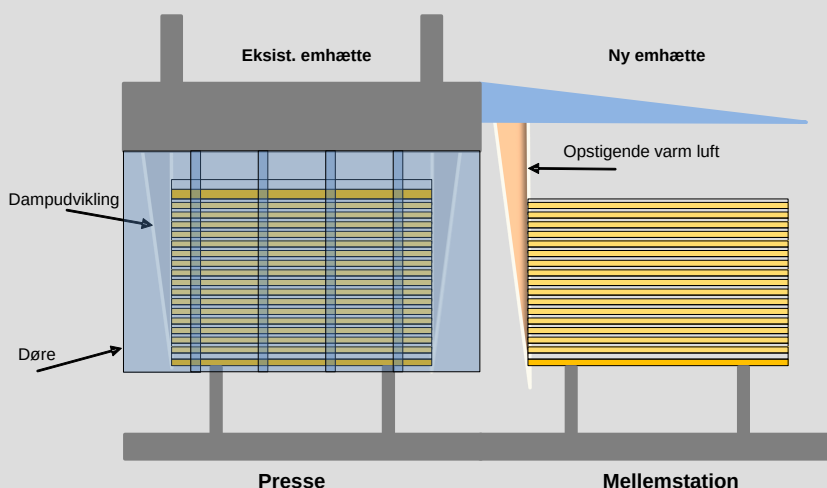
Efter presningen anbringes parketstavenes til afkøling på en mellemstation. Parketstavenes opholdstid på mellemstationen efter pressen er meget varierende.

I nogle tilfælde transporteres de til lager efter 30 - 40 minutter, og i andre tilfælde kan ”opholdstiden” være ca. 2 - 3 timer. Uanset om parketstavenes er på mellemstationen i 30-40 minutter eller nogle timer når de at afgive det meste af restvarmen fra presningen til omgivelserne, og påvirker derfor kravet til frisklufttilførsel. Hvis denne restvarme fra de tørrede træstave skal bortledes af hensyn til arbejdsmiljøet kan det gøres ved at etablere separat hætter over mellemstationerne, hvorfra konvektionsvarmen kan ledes over tag ved naturlig ventilation. En del af strålevarmen vil ikke blive omsat til konvektiv varme, så der vil stadig tilføres rummet en vis varmemængde.

Der tilføres imidlertid rummet ca. 420 kWh (træ: 290 kWh, stålplader: 130 kWh) ved at lade en batch afkøle fuldt ud på mellemstationen. Derfor har det været naturligt at undersøge om mellemstationerne kan skærmes af, så varmen fra parketstavenes kan genvindes. Da mellemstationerne har forskellige systemer til at laste og tømme stationerne vurderes til ikke at være praktisk muligt at skærme mellemstationerne af. Der er imidlertid udført røgforsøg der viser at en betydelig del af varmen fra parketstavenes 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. Men for at maksimere den varmemængde fra mellemstationen, der ledes til emhætten foreslås det, at der etableres en skærm (emhætte) hen over mellemstationen, som er placeret over mellemstationens drivmekanisme.

Eksempel 12 – Varmegenvinding fra dampopvarmede pressemaskiner - fortsat

Skærmen 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 emhætte, og der etableres forbindelse mellem den eksisterende og nye emhætte ved at skære et hul i den eksisterende emhætte i fuld bredde og f.eks.



Figur 7.3.

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

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 årets timer). Bemærk, at det årlige energiforbrug er opgivet i Wh/m³ pr. time. Der er samtidig tale om den energi, der skal tilføres selve luften.

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

	T _{overflade}							
T _{indblæs}	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 m³ luft pr time i tidsrummet fra kl. 8.00 til kl. 16.00.

	T _{overflade}							
T _{indblæs}	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 13 – Energiforbrug til køling af luft

En industrihal med mange varmekilder ventileres med 20.000 m³ luft pr. time. Indblæsnings-temperaturen 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:

$$99 \text{ Wh}/(\text{m}^3/\text{h})/\text{ugedag} \cdot 20.000 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 5 \text{ ugedage} = 9.900 \text{ kWh}$$

8 Energieffektiv drift og vedligehold

Formålet med energieffektiv drift og vedligehold af proces- og komfortventilationsanlæg, er at sikre at anlæggene leverer det termiske og atmosfærisk indeklima, de er projekteret eller dimensioneret til med mindst mulig energiforbrug og mindst mulig 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 dog ofte, at anlæggene ikke drives og vedligeholdes efter forskrifterne fra leverandøren eller installatøren, hvilket ofte medfører ringe komfort for lokalernes brugere og væsentligt højere energiforbrug end nødvendigt.

Typiske symptomer på manglende energieffektiv drift og vedligehold af proces- og komfortventilationsanlæg er:

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

8.1 Energooptimal drift

For at opnå en energioptimal drift af proces- og komfortventilationsanlæg, er det vigtigt at de er dimensioneret korrekt. En korrekt dimensionering kræver, at der er foretaget en analyse og vurdering af det reelle behov, som anlægget skal dække (behovsanalyse). Se endvidere kapitel 4. På baggrund af behovsanalysen vælges den optimale systemudformning med de mest energieffektive komponenter samt det mest energioptimale styrings- og reguleringsudstyr. Inden anlægget sættes i drift skal det endvidere være indreguleret korrekt og dokumenteret.

8.1.1 Styring og regulering

Behovet for ventilation er sjældent konstant, men varierer over døgnet og året. Som eksempler kan nævnes behovet for (central) udsugning af spåner fra træbearbejdningsmaskiner eller udsugning af røg fra svejseprocesser, der begge afhænger af arbejdsprocessernes aktivitet.

Behovet er også varierende når det gælder komfortventilation. Ventilationsanlæg til komfort 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 energimæssig effektiv måde.

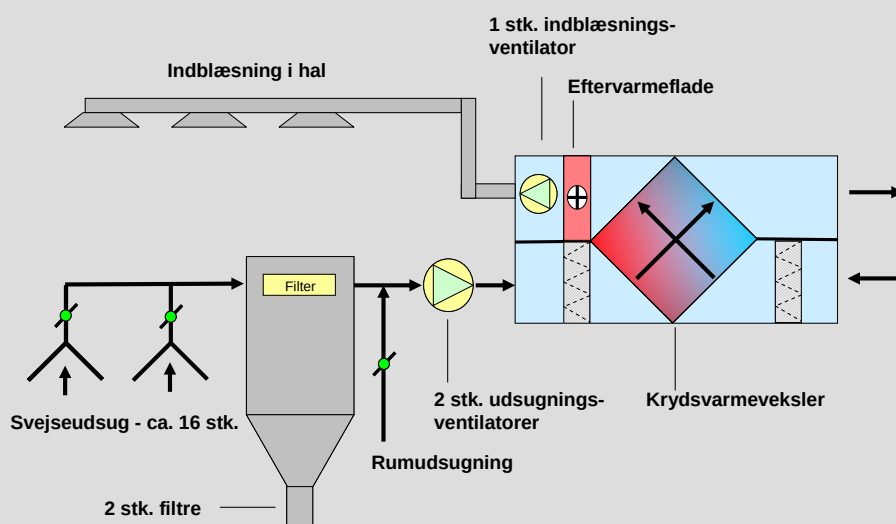
Behovet for ventilation kan f.eks. reguleres efter:

1. Urstyring (efter tid)
2. Trykstyring (efter f.eks. tryk i kanal)
3. Procesudstyrets driftstilstand (f.eks. via styresignal fra maskine)
4. Tilstedeværelses styring (efter tilstedeværelse af personer)
5. Rum- eller udsugningstemperaturen
6. CO₂-regulering (efter CO₂-føler)
7. Temperatur (føler)
8. Fugt (føler)

Eksempel 14 – Behovsstyring

Nedenfor ses et eksempel på et behovsstyret proces- og komfortventilationsanlæg med indblæsning, udsugning, varmegenvinding og eftervarme. Anlæggets formål er udsugning fra 16 stk. svejsesteder og almen udsugning samt indblæsning af friskluft i produktionshaller.

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. Som det ses i figur 8.1, består anlægget i hovedtræk af 1 stk. indblæsningsventilator, 2 stk. udsugningsventilatorer, 2 stk. cyklonfiltre, en krydsvarmeveksler og en eftervarmefflade. Indblæsningsventilatoren, krydsvarmeveksleren og eftervarmeffladen er placeret i et aggregat, mens udsugningsventilatorerne er placeret eksternt. Se figur 8.2.



Figur 8.1. Principskitse af proces- og komfortventilationsanlægget

Eksempel 14 – Behovsstyring (fortsat)



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

Ventilatorerne drives af motorerne via remtransmissioner. Alle tre motorer er forsynet med frekvensomformere, som sørger for at varierer omdrejningstallene på motorerne og dermed ventilatorernes volumenstrømme efter belastningen i svejsehallen, dvs. efter hvor mange punktudsug der er i brug.

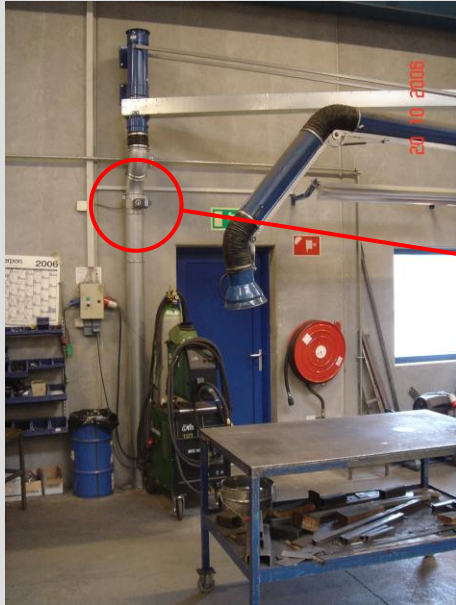
Proces- og komfortventilationsanlægget er, som nævnt, behovsstyret. Ved hver punktudsug er der i kanalen monteret et afspærringsspjæld (se figur 8.4), som åbnes og lukkes automatisk, dvs. spjældene åbnes når der svejses. Jo flere spjæld der er åbne jo hurtigere kører motorerne og dermed øges den samlede udsugede volumenstrøm.

Omdrejningstallet på motorerne ændres af de førnævnte frekvensomformere. Disse frekvensomformere modtager signaler fra en tryktransducer placeret i det ene cyklonfilter. Cyklonfiltrene ses på figur 8.2. Frekvensomformerne sørger således for at regulere volumenstrømmene, således at der opretholdes et konstant tryk ved filteret. Sætpunktet for trykket er 1.900 Pa.

Når alle spjældene i punktudsugene er åbne, indstilles spjældet i rumudsugningskanalen automatisk til 15 % åben. Det betyder at der udsuges $2 \cdot 5.000 \text{ m}^3/\text{h}$ fra rummene. Dette reguleres ved en justerbar modstand. Når spjældene i punktudsugene lukker i, lukker spjældet i rumudsugnings kanalen mere op. Det vil sige, at 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.

Eksempel 14 – Behovsstyring (fortsat)

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.



Figur 8.3. Punktudsug i svejsehal



Figur 8.4. Afspærringsspjæld ved punktudsug

Eksempel 15 - 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 og jernet glider af kølepanden. Over kølepanden er der ophængt en sugehov (skærm) der udsuger gasserne der opstår ved tapningen, og efterfølgende modtager og fjerner varmen fra jernet mens det afkøles. Udsugningen fungerer efter modtagerprincippet, idet gasserne fra tapningen og varmen fra afkølingen stiger op i skærmen som følge af den kraftige termik fra den varme jernoverflade. I skærmen er der monteret et fletværk af jernringe for at skabe en stor overflade i skærmen for derved at beskytte den mod den termiske belastning.



Figur 8.5. Flydende jern tappes ud på kølepande

Der udsuges en konstant luftmængde på i alt $94.000 \text{ m}^3/\text{h}$ til trods for at udsugningsventilatorernes motorer er forsynet med frekvensomformere, som skulle sørge for at varierer omdrejningstallene på motorerne og dermed ventilatorernes volumenstrømme efter temperaturen i afkastkanalen.

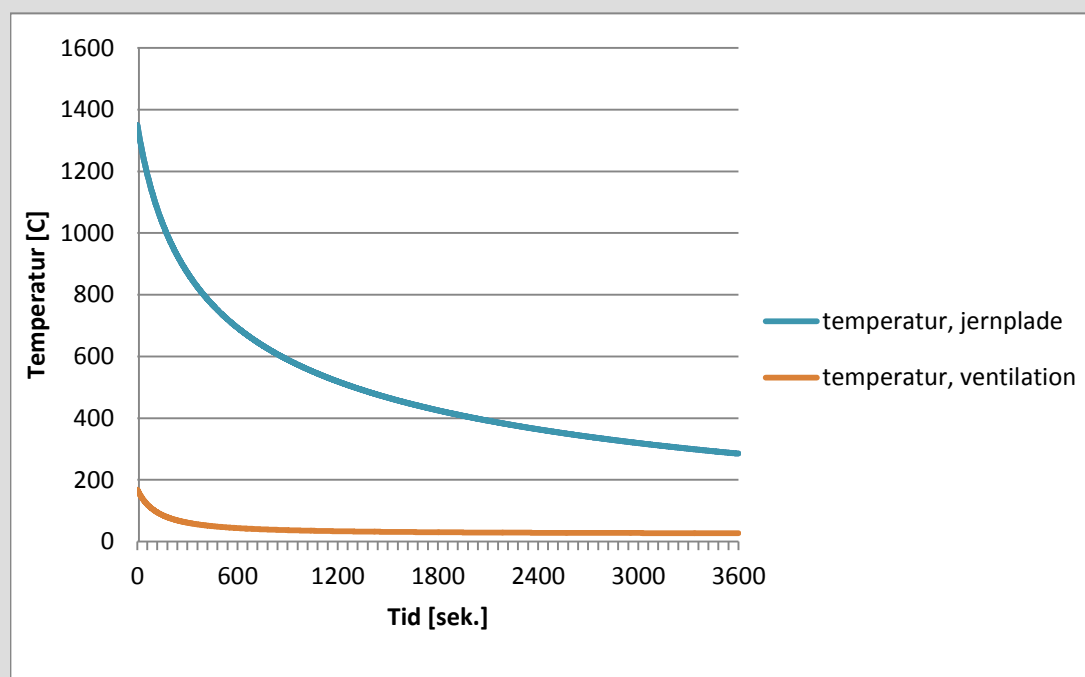
Det er beregnet, at en luftmængde på ca. $26.000 \text{ m}^3/\text{h}$ formentlig er tilstrækkelig til at sikre en passende udsugning over panden, så det sikres at gasser og varme ikke undslipper udsugningen. Men den udsugede luft ville blive over 400°C varm i starten, hvilket ikke er hensigtsmæssigt.

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. Det ses, at pladen afkøles ret hurtigt og at den udsugede luft kun er meget varm ganske kortvarigt. Efter omkring 7-8 minutter er temperaturen af den udsugede luft nede på 50°C med en luftmængde på $94.000 \text{ m}^3/\text{h}$.

Eksempel 15 – fortsat

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

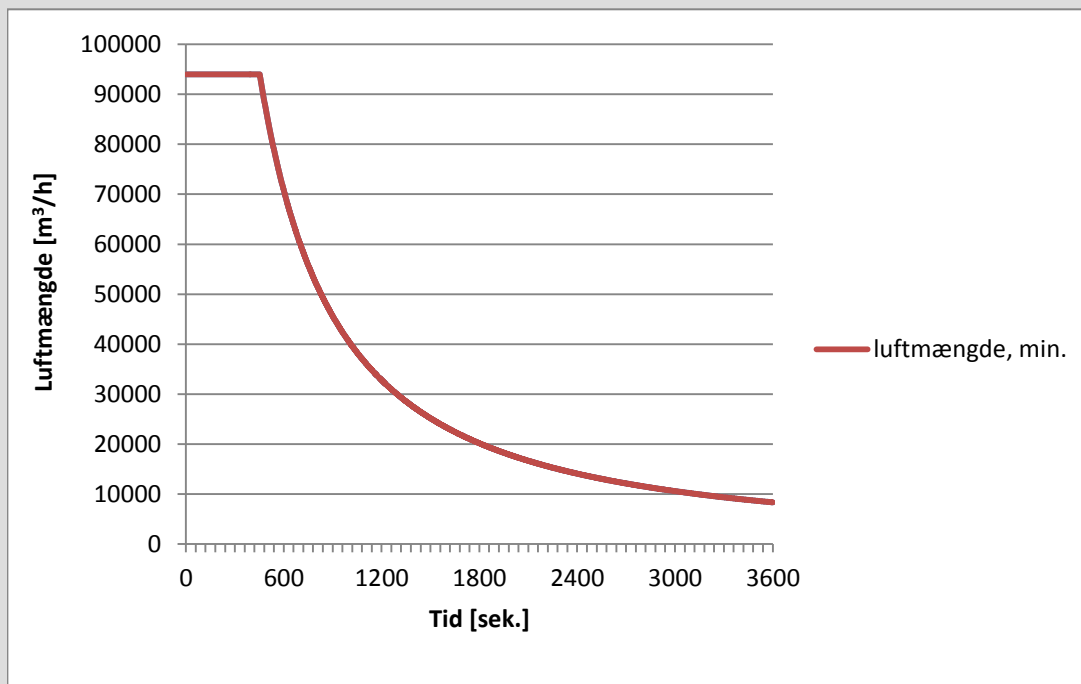
Som nævnt vil lufttemperaturen være så høj de første 7 - 8 minutter at det vil være nødvendigt at fastholde den nuværende luftmængde. Men derefter vil det være mulig successivt at reducere luftmængden, og allerede efter omkring 15 minutter kan luftmængden være halveret.



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

Den nuværende styring af blæserne er udrustet med temperaturregulering, som justerer blæserydelsen efter temperaturen i afkastet fra skærmen. Denne styring anvendes ikke, idet blæserne som nævnt konstant kører med fast omløbstal. Det foreslås, at den allerede eksisterende blæserstyring bringes i anvendelse. Ud fra besigtigelsen på stedet antages det at styringen p.t. ikke er funktionsduelig, og derfor skal efterses/repareres eller ændres. Det foreslås, at det fastsættes en minimumsluftmængde i blæserstyringen, så der suges minimum ca. 10.000 m³/h fra skærmen over panden. Det er beregnet at elforbruget til de to blæsere vil kunne reduceres med ca. 80 % ved at anvende temperaturstyring fremfor drift med konstant 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.

Eksempel 15 – fortsat



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.

8.2 Systematisk, energibevidst vedligehold

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 nøje øje med energiforbruget og gribe ind, hvis det stiger - kan man bl.a. forebygge driftsstop og dermed gøre hverdagen meget lettere for både sig selv og de brugere som anlæggene servicerer. Samtidig forlænger god vedligeholdelse levetiden af anlæggene.

Med hensyn til proces- og komfortventilationsanlæg findes en frivillige eftersyns- og serviceordning kaldet VENT-ordningen. Denne ordning, som beskrives nedenfor, kan passende indgå som en del af det systematiske og energibevidste vedligehold.

8.2.1 VENT-ordningen

VENT-ordningen er en effektiv og kontrolleret serviceordning for drift og vedligeholdelse af ventilationsanlæg. VENT-ordningen sikrer, at et ventilationsanlæg til stadighed 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

9 Energimærkning

9.1 Energimærkning af ventilationsaggregater

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. stort set 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}

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

Table 4 — Classes of average air velocity levels inside the casing

Class	Air velocity m/s
Class V1	maximum 1,6
Class V2	> 1,6 to 1,8
Class V3	> 1,8 to 2,0
Class V4	> 2,0 to 2,2
Class V5	> 2,2 to 2,5
Class V6	> 2,5 to 2,8
Class V7	> 2,8 to 3,2
Class V8	> 3,2 to 3,6
Class V9	> 3,6
NOTE The air velocity in the unit has a large influence on energy consumption. The velocities are calculated for air velocity in AHU cross-section. The velocity is based on the square area of filter section of a unit, or if no filter is installed, it is based on the square area of the fan section.	

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

Table 6 — Classes of heat recovery

Class	$\eta_{e\ 1:1\ min}\ [\%]$
Class H1	≥ 71
Class H2	≥ 64
Class H3	≥ 55
Class H4	≥ 45
Class H5	≥ 36
Class H6	No requirement
NOTE 5 The values are valid for balanced mass flows (1:1). The classes define the quality of the HRS and they have a strong influence on the thermal energy consumption. In Nordic countries higher classes and in southern countries lower classes are common.	

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

Table 1

First tier minimum energy efficiency requirements for fans from 1 January 2013

Fan types	Measurement category (A-D)	Efficiency category (static or total)	Power range P in kW	Target energy efficiency	Efficiency grade (N)
Axial fan	A, C	static	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	36
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	50
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Centrifugal forward curved fan and centrifugal radial bladed fan	A, C	static	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	37
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 2,74 \cdot \ln(P) - 6,33 + N$	42
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 0,78 \cdot \ln(P) - 1,88 + N$	
Centrifugal backward curved fan without housing	A, C	static	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
Centrifugal backward curved fan with housing	A, C	static	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	58
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	
	B, D	total	$0,125 \leq P \leq 10$	$\eta_{\text{target}} = 4,56 \cdot \ln(P) - 10,5 + N$	61
			$10 < P \leq 500$	$\eta_{\text{target}} = 1,1 \cdot \ln(P) - 2,6 + N$	

Figur 9.3. Kommissionens forordning nr. 327/2011 "Krav til miljøvenligt design af elmotordrevne ventilatorer med en indgangseffekt fra og med 125 W til og med 500 kW".

Nominal mindste effektivitet (η) for effektivitetsklasse IE2 (50 Hz)

Mærkelast (kW)	Polantal		
	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

Figur 9.4. Kommissionens forordning nr. 6402009 "Krav til miljøvenligt design af elmotorer".

Table A.8 — Examples for pressure drops for specific components in air handling systems

Component	Pressure losses in Pa		
	Low	Normal	High
Ductwork supply	200	300	600
Ductwork exhaust	100	200	300
Heating coil	40	80	100
Cooling coil	100	140	200
Heat recovery unit H3 ^a	100	150	250
Heat recovery unit H2-H1 ^{a)}	200	300	400
Humidifier	50	100	150
Air washer	100	200	300
Air filter F5-F7 per section ^b	100	150	250
Air filter F8-F9 per section ^b	150	250	400
HEPA Filter	400	500	700
Gas Filter	100	150	250
Silencer	30	50	80
Terminal device	30	50	100
Air inlet and outlet	20	50	70
^a Class H1 – H3 according to EN 13053.			
^b Final pressure drop before replacement.			

Figur 9.5 Eksempler på tryktab i komponenter.

10 Udviklingsprojekter vedr. proces- og komfortventilation

Kapitlet beskriver 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 (Public Service Obligations) og EUDP (Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrationsprogram) vedrørende proces- og komfortventilation i industrien.

10.1 ELFORSK

Under Elselskabernes F&U-program for effektiv el-anvendelse kaldet ”Elforsk” er der gennemført fire projekter vedrørende proces- og komfortventilation. Disse projekter beskrives kort nedenfor. Mere uddybende information om projekterne, herunder rapporter og pjecer, findes på hjemmesiden www.elforsk.dk.

10.1.1 Energieffektiv procesudsugning fra kehlmaskiner (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 kehlmaskiner. På grundlag af et tidligere udredningsprojekt har det været formålet med dette F&U projekt at udvikle nye energieffektive sugeskærme, som skulle testes i fuld skala på en eksisterende kehlmaskine. Projektgruppens målsætning for projektet var følgende:

- Halvering af el- og varmekonsum til spånudsugning fra kehlmaskiner
- 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 kehlmaskiner, 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 ELFOR PSO-ordningen i 2002.

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

Projektets 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/markeds-mæssig 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 ELFOR PSO-ordningen i 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 Alharma. Under dette forløb er metodikken tilrettet til den nuværende form.

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, NESAs Beredskabsstyrelsen, Hempel, Foreningen af kommunale Beredskabschefer og Novo Nordisk.

Projektet er gennemført under ELFOR PSO-ordningen i 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. Disse resultater er efterfølgende bekræftet ved forsøg på støberier. 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.

10.1.5 Energoptimering 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 skal kunne håndtere maling af emner, slibning og fræsning, svejsning og laserskæring samt tørring. Værktøjet testes hos ventilationsentreprenører.

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 ELFOR PSO-ordningen i 2011.

10.2 EUDP

10.2.1 EAP - Energieffektiv adaptiv procesudsugning

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 og 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 for 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.

11 Tjekliste

Dette kapitel indeholder en liste over 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, herunder tegninger for anlægget og karakteristikker for forureningskilder: • Brug tegninger til at få et overblik over anlægget. • Typer, antal og placering af forureningskilder.
	Anlæggets opgave	Undersøg om anlægget passer til opgaven: • Undersøg om det termiske og atmosfæriske indeklime er tilfredsstillende. Det termiske indeklime undersøges ved at vurdere eller måle temperaturen på arbejdspladsen. Endvidere ved at måle den indblæste og udsugede luftmængde. Endelig ved at måle indblæsnings- og udsugningsluftens temperatur. Det atmosfæriske indeklime undersøges f.eks. ved at måle eller beregne emissionens størrelse (forureningskoncentrationen). • Undersøg om det er hensigtsmæssigt og muligt at foretage en total eller delvis indkapsling (omslutning) af en eller flere af forureningskilderne. • Undersøg om der anvendes de bedst egnede procesventilationsprincipper. • Undersøg om der anvendes et egnet og understøttende indblæsningsprincip.
Anlæggets driftstilstand	Procesudsug	Undersøg om procesudsugget passer til opgaven: • Undersøg om procesudsugget effektivt kan fjerne forureninger, som f.eks. varme, støv, lugt, røg eller gasarter. Punktudsugets effektivitet vurderes eksempelvis vha. røg og lys eller sporgas.

Aktiviteter	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold der bør undersøges nærmere
Anlæggets driftstilstand	Procesudsug	Læg mærke til om støv, partikler eller lignende går forbi punktudsug 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. anvendelse af reflektorer og flanger), mere hensigtsmæssig placering og reduktion af forstyrrelser (f.eks. tværstrømninger). Undgå endvidere placering af personens hoved mellem forureningskilde og punktudsug.
	Almen udsugning	Undersøg om de dimensionerende luftmængder fra de almene udsugningsanlæg 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).
	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 der benyttes dyse indblæsning. • Ved kraftige forureningsemissioner og konvektionsstrømme bør der anvendes fortrængning eller lokal lavimpuls indblæsning.

Aktiviteter	Tjek i forbindelse med besøg	Forhold der bør undersøges nærmere
	Almen indblæsning	Undersøg om de dimensionerende luftmængder fra de almene indblæsningsanlæg 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).
Energiforbrug	Varmegenvinding på anlægget	Undersøg om der er etableret varmegenvinding på anlægget: • Hvis der ikke er etableret varmegenvinding, undersøg da 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 varmegenvinding, foretag da temperaturmålinger til bestemmelse af temperaturvirkningsgraden.
Energioptimal drift	Styring og regulering af anlægget	Undersøg hvilken reguleringsform, der passer bedst til proces- og komfortventilationsanlægget: • 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 på proces- og komfortventilationsanlægget, er det vigtigt, at man får anlægget efterset jævnligt, helst én gang årligt af en kompetent ventilationsmontør.

12 10 gode råd

Nedenfor er 10 korte gode råd som man med fordel kan benytte sig af 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, 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 (omslutning) 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, gribepincippet, mekanisk opsamling).
5. Vurder hvilket indblæsningsprincip der vil være det bedst egnede (fortrængning, opblanding, lokal lavimpuls indblæsning).
6. Foretag en hensigtsmæssig udformning og placering af procesudsug.
 - Undgå at udforme procesudsugtet således, at luftbevægelsen skal arbejde mod de termiske drivkræfter og tyngdekræfter.
 - Undgå hurtige bevægelser med arme/hænder foran punktudsugtet, da forureningen dermed spredes.
 - Undgå placering af hoved mellem forureningskilde og punktudsug.
 - Tværstrømninger har negativ indflydelse på opfangningseffekten og bør derfor elimineres eller reduceres.
 - Store partikler med stor hastighed skal generelt føres direkte ind i punktudsugtet.
7. Vurder behovet for almen udsugning i lokalerne.
8. Foretag valg af de mest optimale indblæsningskomponenter (indblæsning i arbejdszonen, almen indblæsning).
9. Undersøg om det er muligt at etablere genvinding af varmen fra den udsugede procesluft.
10. Sørg for energieffektiv drift og systematisk vedligehold af proces- og komfortventilationsanlægget.

13 Regler og lovgivning

Kapitlet orienterer 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

AT-Vejledning A.1.1.1 om ventilation på faste arbejdssteder oplyser om krav til procesventilation og vejleder om hvordan kravene kan opfyldes, så unødigt 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 afgang, fugt og mikroorganismer samt dårlige lys- og lydforhold. Vejledningen indeholder derfor bl.a. afsnit om:

- Temperatur og træk
- Støv og rengøring
- Afgang
- 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.

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"

Denne vejledning 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 er tilgodeset. 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. Vejledningen indeholder endvidere nærmere 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.

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.

Nedenfor ses de i bilag 1 nævnte produkter:

- 1) Malevarer, herunder autolakker, og malevareliggende overfladebelægninger, fx 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 til:
 - a) 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 13/02/200, 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 anlægsarbejde
- 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

Andre kilder

Andre hjælpeværktøjer - links - kilder

Håndbøger

- /1/ Håndbog i industriventilation.
Teknisk Forlag A/S 1998, Henning Hørup Sørensen. ISBN 87-571-2171-0
- /2/ Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg.
Dansk Standard DS 447. Dansk Ingeniørforening. København. 1981.
ISBN 87-571-0674-6
- /3/ Ventilation Ståbi, Teknisk Forlag A/S 1988,
Henning Hørup Sørensen. ISBN 87-571-1107-3
- /4/ Varme- og klimateknik, Danvak, grundbog,
H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen & Ole B. Stampe.
ISBN 87-982652-1-0.
- /5/ Ventilation i industrien, SBI-anvisning 106,
Statens Byggeforskningsinstitut 1983.
ISBN 87-563-0471-4.
- /6/ Varme- og klimateknik, Danvak, Ventilationsteknik, Ole B. Stampe.
ISBN: 87-987995-0-9.
- /7/ Indeklimahåndbogen - 2. udgave, SBI-anvisning 196, Statens Byggeforsknings Institut, 2000,
Ole Valbjørn, Susse Lausten, John Høwisch, Ove Nielsen og Peter A. Nielsen.
ISBN 87-563-1041-6

Rapporter, kataloger, vejledninger og standarder

- /8/ Temadage om energibevidst projektering af erhvervslivets ventilationsanlæg, Glenco A/S & Dansk Energi Analyse A/S, 30. oktober 1998
- /9/ Seminar om Energibevidst Projektering, Foreningen af Rådgivende Ingeniører & Energistyrelsen, København den 18. september 1997.
- /10/ Ventilation, Teknisk Energirådgivning, Københavns Belysningsvæsen, NESA & DEF, november 1990.
- /11/ Ventilationsanlæg. Regulering, energibesparelse og energiforbrug. SBI-rapport 155, Statens Byggeforskningsinstitut 1984. ISBN 87-563-0545-1.

- /12/ TR 391. Ventilation i industrielle processer. DEFU og Teknologisk Institut.
- /13/ DS/CEN/CR 1752 "Ventilation i bygninger – Projekteringskriterier for indeklimaet", Dansk Standard.
- /14/ 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.
- /15/ DS 474 "Norm for specifikation af termisk indeklima", Dansk Standard.
- /16/ Energioptimering af sugehove – udvikling af dimensioneringsregler samt flange- og reflektorløsninger (Dimensioneringsgrundlag for punktudsug), Teknologisk Institut, december 2001, Jan Christiansen, Hans Olsen, Christian Drivsholm og Claus Martin Hvenegaard.
ENS-journal nr. 731327/98-0065.

Hjemmesider

Center for energibesparelser
www.elsparefonden.dk

Dansk Energi
www.danskenergi.dk

ELFORSK
www.elforsk.dk

Elselskaberne i Danmark
www.elselskaberneidanmark.dk

Energistyrelsen
www.ens.dk

Energitjenesten
www.energitjenesten.dk

Statens Byggeforsknings Institut
www.sbi.dk

Tekniq
www.tekniq.dk

Teknologisk Institut
www.teknologisk.dk

Videncenter for energibesparelser i bygninger
www.byggeriogenergi.dk/