

HOVEDRAPPORT

**REDUCERET ENERGIFORBRUG TIL BASIS-
VENTILATION I TUNG PROCESINDUSTRI**

Maj 2007

**Industri og Energi
Effektivisering og Ventilation**

Reduceret energiforbrug i basisventilation i tung procesindustri

Niels Tiedje, Institut for Proces og Ledelse, DTU

Christian Drivsholm, Teknologisk Institut, Industri og Energi

Hans Olsen, Teknologisk Institut, Industri og Energi

Jean-Marc Huet, Teknologisk Institut, Industri og Energi

Rudolf Crepaz, Teknologisk Institut, Industri og Energi

Forord

Rudolf Crepaz
Teknologisk Institut

Indholdsfortegnelse

Side

1	Konklusion	6
2	Formål og baggrund	7
3	Dimensionering af basisventilation.....	8
3.1	Formelgrundlag.....	8
3.1.1	Varme processer.....	8
3.1.2	Kolde processer	10
3.2	Beregning af almen ventilation	13
3.2.1	Varme processer.....	13
3.2.2	Varmekilder (punkt og linie) (se Figur 3.7).....	17
3.3	Valg af indblæsningsprincip.....	20
3.3.1	Konventionel opblanding.....	22
3.3.2	Fuldstændig opblanding.....	23
3.3.3	Passiv termisk fortrængning	24
3.3.4	Aktiv termisk fortrængning	25
3.3.5	Stempelfortrængning	26
4	Fuldskalaforsøg for kontrol af beregningsgrundlag.....	27
4.1	Forsøg 1.....	27
4.2	Forsøg 2.....	29
4.2.1	Forsøg A	29
4.2.2	Forsøg B	29
4.2.3	Forsøg C	29
4.2.4	Forsøg D (efter øgelse af hættens afstand fra gulvniveau fra 3,3 m til 3,8 m)	29
4.2.5	Forsøg E - Kontrol af den samlede luftmængde.....	30
4.2.6	Forsøg F.....	30
4.3	Forsøg 3.....	32
4.3.1	Forsøgsbeskrivelse	32
4.3.2	Dimensioner (store forme)	32
4.3.3	Formsandsammensætning	33
4.3.4	Dimensioner (lille form)	33
4.4	Forsøgsresultater.....	35
4.4.1	Forsøg 3 A (stor form).....	35
4.4.2	Forsøg 3 B (stor form).....	36
4.4.3	Forsøg 3 C (stor form)	36
4.4.4	Forsøg 3 D (stor form)	36
4.4.5	Forsøg 3 E (lille form)	37
4.5	Konklusion	37

5	Forsøg med dimensionering af udsugning fra hærdeprocesser, hos Rønnede Udglødningsindustri	38
5.1	Induktionsopvarmning.....	38
5.1.1	Forsøg 1.....	40
5.1.2	Forsøg 2.....	40
5.1.3	Forsøg 3.....	40
5.1.4	Konklusion.....	40
5.2	Afkøling i oliebad.....	40
5.3	Konklusion	43
6	Produktion-, emission- og ventilationsforhold ved en automatisk formanlæg	44
6.1	Anlægsbeskrivelse.....	44
6.2	Tekniske- og produktionsdata for Disa II	46
6.2.1	Tekniske data.....	46
6.3	Ventilationsforhold i Disahallen.....	48
6.3.1	Beregningsresultater for punktudsug og basisventilation ved kølestrækning hos Disa II	48
6.4	Beregningseksempel af sugebehov for punktudsugning over støbeautomat ved Disa II samt for behovet for basisventilation	49
6.4.1	Anlægsbeskrivelse	49
6.5	Konklusion	51
6.5.1	Punktudsug og basisventilation i støbeområdet	51
6.5.2	Punktudsug og basisventilation på støbestrækning	51
6.6	Besparelsespotentiale	51

1 Konklusion

Der er udført serier med forsøg i laboratoriet, der viser hvordan varm røggas strømmer omkring en sugehætte/sugehov tæt på processen. Forsøgene giver mulighed for, at optimere beregningsmodeller for ventilation

Tilsvarende, er der udført forsøg, der viser hvordan fordelingen af udsug mellem en sugehov og baggrundsudsug optimeres. Disse data er ligeledes anvendt til optimering af beregningsmodellerne.

Laboratorieforsøgene viser, at det mest effektive sug (hvor der bruges mindst energi til at opnå et sikkert miljø) opnås ved at fjerne røggasserne så tæt på kilden som muligt. Derved kan man minimere behovet for baggrunds ventilation væsentligt.

Forsøg hos virksomhederne bekræfter konklusionerne fra laboratorieforsøgene.

De viser desuden, at korrekt udformning af sugehov og afskærmning har meget stor betydning for at optimere ventilationen.

Forsøg med at optimere ventilationen på en formstreng i et jern støberi viser, at der er et meget stor potentiale for at spare energi til ventilation ved, at optimere udsugning og indblæsning. Specielt, hvis det er muligt, at bruge passiv indblæsning på kølestrengen vil besparelsen være meget stor.

Det totale elforbrug til ventilation i den danske støberiindustri udgør omkring 40 GWh/år. Ved en optimal udformning og placering af sugehove samt valg af basisventilation, kan elforbruget reduceres med 30 til 50 % ~ mellem 12 og 20 GWh/år. Fordeling af Elforbruget til udsug og indblæsning er ca. 3 : 1. Dette betyder at der bruges ca. 27 GWh til udsugning og 13 GWh til indblæsning, hvis luftskiftet skal være i balance. Elforbruget til udsugning ville ved en reduktion på 40 %, reduceres med 10,8 GWh og ved indblæsning vil besparelsen være 5,8 GWh, i alt 16 GWh/år.

Reduceres den udsugede luftmængde med 40 % nedsættes ligeledes behovet for indblæsning tilsvarende, og derved reduceres energiforbruget til forvarmning af indblæsningsluften.

Energiforbruget til forvarmning af den nødvendige indblæsningsluft til 18 grader, udgør 80 GWh/år.

Der er udviklet et beregningsprogram til dimensionering af procesudsugning hvor erfaringer fra forsøgene er indbygget. Programmet er tilgængeligt på: <http://87.54.37.121/dimair>

1.1 Formål

Det er projektets formål at udvikle et grundlag for dimensionering af energieffektiv basisventilation i produktionsområder med flere forureningskilder. Projektet omfatter desuden udvikling af tilhørende energieffektive ventilationskomponenter.

1.2 Baggrund

En række energitunge virksomheder, såsom støberier og hærderier, har et meget stort behov for ventilation og udsugning for at sikre et sundt arbejdsmiljø i produktionen. Samlet, bruges der således ca. 100 GWh pr. år. til produktion af støbegods. I andre industrier hvor der er støv og dampe (f.eks. snedkerier) er der tilsvarende et stort energiforbrug til ventilation.

En lang række konsultationssager på industriventilationsområdet har vist at basisventilationen er overdimensioneret i produktionsafsnit hvor der desuden er etableret procesudsug. Problematikken er den at procesudsugene aldrig vil være 100 % effektive. Formålet med basisventilationen er typisk at fortynde den forurening op som undslipper procesudsugene til et niveau som ligger under grænseværdien.

Dimensioneringsgrundlaget for basisventilationen er i dag yderst mangelfuldt og bygger overvejende på tommelfingerregler. Der findes dog litteratur (CADET og Industrial Ventilation) hvor der er angivet dimensioneringsgrundlag. Her opereres med forskellige koefficienter til beregning af den nødvendige supplerende ventilation i lokaler hvor der er etableret procesudsug. Disse koefficienter er angivet med meget store spænd, hvilket betyder at den supplerende ventilation typisk overdimensioneres af sikkerhedshensyn. Hertil kommer at der er store muligheder for at etablere en effektiv suppleringsventilation således at det ikke er nødvendigt at dimensionere ud fra et fortyndingskriterie. Her tænkes på udvikling af indblæsningsformer som målrettet fører forureninger der undslipper procesudsugene til et centralt udsug, samtidig med at fokus ligger på at grænseværdierne overholdes i opholdszonerne og ikke i 4 meters højde og derover.

Det centrale sug laves i mangel af bedre udelukkende ud fra en fortyndingstankegang sat op i mod arbejdsmiljøkravene. Dvs. at undslipper 10% fra det lokale sug regnes med at denne mængde skal fortyndes væk. Denne strategi giver nogle unødvendigt høje luftmængder på det centrale sug. I praksis har det vist sig at placeringen og luftstrømningerne i hallen betyder langt mere end den dimensionerende luftmængde.

Alt i alt bevirker ovenstående, at luftskifterne i produktionsområder ofte er faktor 2-3 større end hvad i realiteten er nødvendigt for at opretholde et acceptabelt arbejdsmiljø.

Der er derfor brug for et dimensioneringsværktøj, der i langt højere grad er baseret på forståelse af de luftstrømninger, der er i produktionsanlæg i den tunge industri.

2 Dimensionering af basisventilation

2.1 Formelgrundlag

I det følgende er der opstillet forskellige normale situationer for en industrihal med én eller flere forureningskilder. Ventilationsprincippet er meget afhængig af om forureningskilderne er varme eller kolde. Dette afsnit omhandler desuden beregningsmetoden af almen ventilation samt valg af indblæsningsprincip.

2.1.1 Varme processer

Følgende situationer kan normalt forekomme:

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

ε er procesudsugets udsugningseffektivitet $\{0 \dots 100 \%\}$

Et procesudsugs effektivitet ε kan bedømmes på flere måder:

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

Hvis ε generelt ligger på omkring 95 %, vil det ikke være nødvendigt med yderligere almen ventilering.

Hvis ε derimod generelt ligger noget lavere end 95 %, og det ikke ønskes at forbedre punktudsuget, vil der være behov for at beregne størrelsen af den almene ventilation, se det efterfølgende grundlag.

Den varme (punkt)kilde giver anledning til en termisk plumen, der kan beskrives ved følgende formel:

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

Den varme kilde vil kun stige opad så længe den er varmere (lettere) end den omgivende luft.

Højden kan vurderes ud fra følgende formel:

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

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

Hvor $\Delta T_{\text{vertikal}}$ [$^{\circ}\text{C}/\text{m}$]

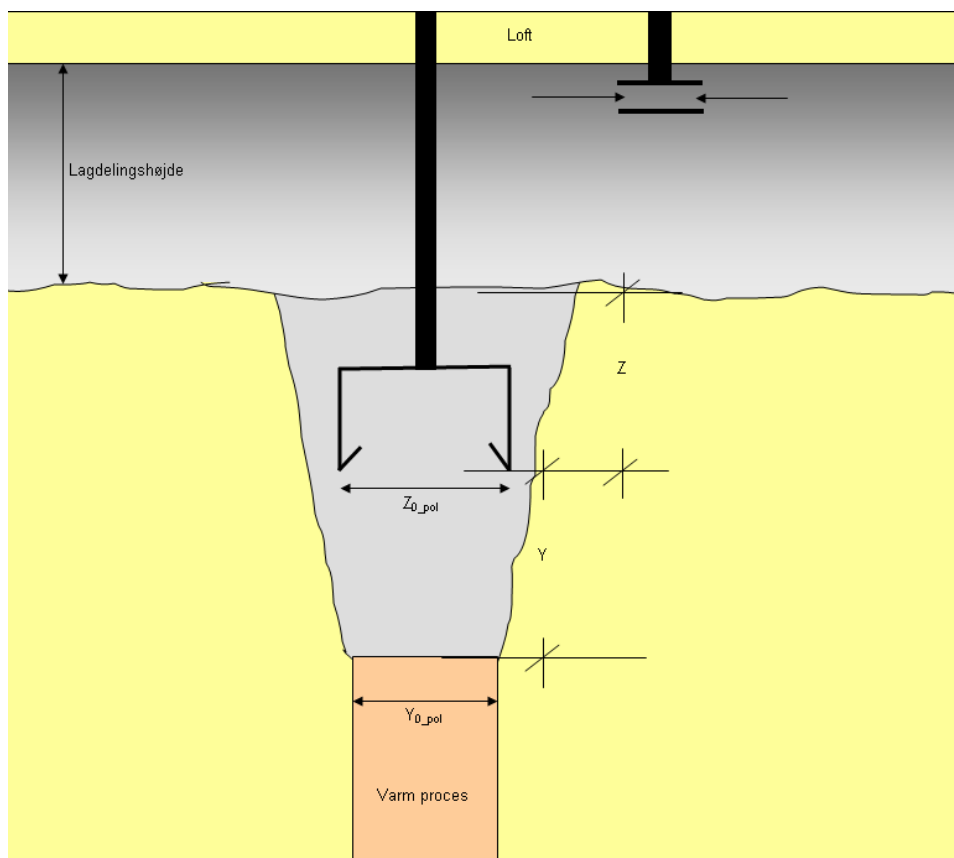
Hvis procesudsugets effektivitet medtages i formeludtrykket får følgende udseende:

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

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

Luftmængden efter udsuget kan beregnes ud fra følgende formel:

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



Figur 2.1. Principskitse af forløbet fra en termisk plumen fra en varmeprocess med punktudsug.

2.1.2 Kolde processer

Følgende situationer kan normalt forekomme:

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

ϵ er procesudsugets udsugningseffektivitet {0...100 %}

Et procesudsugs effektivitet ϵ kan bedømmes på samme måde som under ”varme processer” afsnit 3.1.1.

Når der anvendes punktudsug over en forureningskilde, er det for at begrænse forureningen ud til et lokale, hvor det kan skade mennesker.

Forureningen kan karakteriseres ved støv der angives i mg/m^3 luft, fibre der angives pr. cm^3 luft, gasser og dampe angives normalt som $\text{mg}/\text{m}^3/\text{h}$ luft eller ppm (part per million ~ 1 cm forurening m^3/luft).

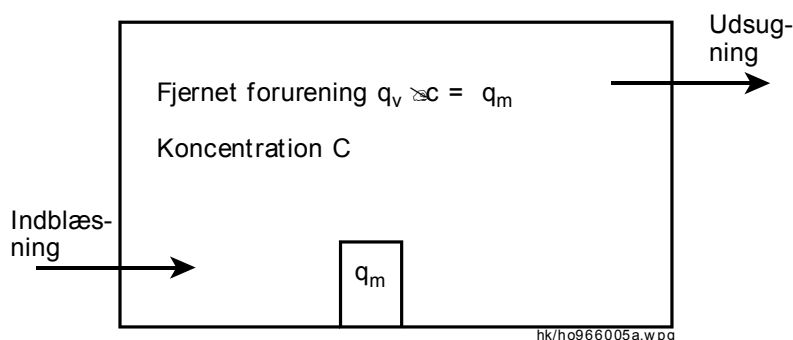
Ved sundhedsskadelig forurening er der i lovgivningen stillet krav til luftens kvalitet i arbejdslokaler ved angivelse af grænseværdier.

Arbejdstilsynets anvisning angiver grænseværdier for forskellige stoffer og materialer. Ved anvendelse af disse grænseværdier i projektering af ventilationsanlæg, skal disse maksimale grænseværdier indregnes med en sikkerhedsfaktor division med 10-20.

Koncentrationen fra en forurenede proces kan bestemmes afhængig af om den forurenede proces påbegyndes i et lokale, hvor ventilationen er/vil blive udført efter opblandingsprincippet uden punktudsugning eller med punktudsugning.

Opblandingsprincip uden punktudsugning

Ved ventilation efter opblandingsprincippet vil forureningen spredes over hele lokalet. Koncentrationen vil da stige til en maksimal værdi, der er bestemmende af den tilførte forureningsmængde lig den forureningsmængde der fjernes.



Figur 2.2 Principskitse af den fjernede forurening.

Den nødvendige luftmængde bestemmes ved:

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

hvor

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

Den nødvendige luftmængde bliver herefter:

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

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

Opblandingsprincip med punktudsugning

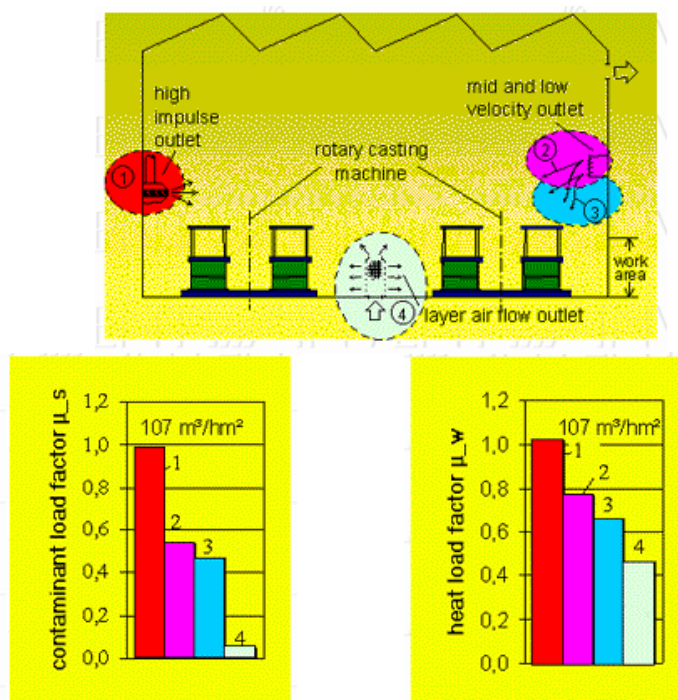
Ved basisventilationen efter opblandingsprincippet vil forureningen spredes afhængig af punktudsugets effektivitet til lokalet. Koncentrationen vil da stige til en maksimal værdi.

Den nødvendige luftmængde til basisventilation bestemmes herefter ved:

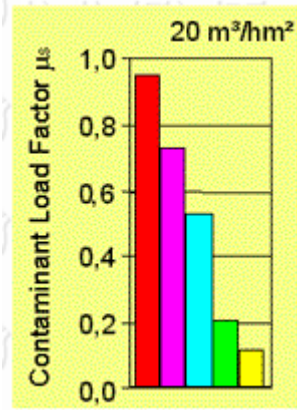
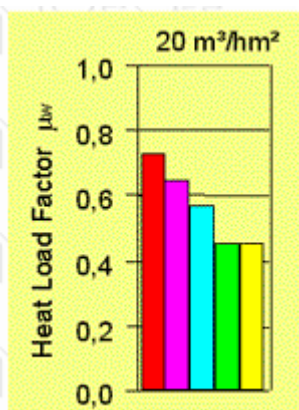
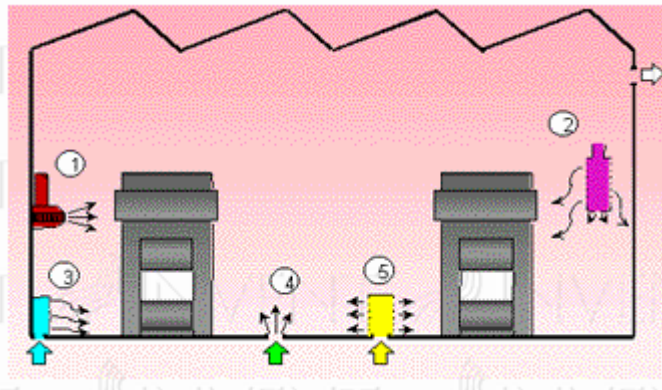
$$q_v = \frac{q_m(1-\varepsilon)}{C} \left[\text{m}^3 / \text{s} \right]$$

hvor

ε er punktudsugets effektivitet.



Figur 2.3. De to figurer viser resultatet af ventilationseffektivitetsmålinger ved fire forskellige indblæsningsformer.



Figur 2.4. De to figurer viser et andet resultat af ventilationseffektivitetsmålinger ved fem forskellige indblæsningsformer

2.2 Beregning af almen ventilation

2.2.1 Varme processer

Metode til beregning af lagdelingshøjde i lokale med mange varmekilder

Lokalet har et gulvareal på: $L \cdot B \text{ m}^2$ og højden $H \text{ m}$, og der er installeret udstyr svarende til n varmekilder (processer).

Lokalet forsynes med en luftstrøm på $q_v \text{ m}^3/\text{s}$.

Hver varmekilde afgiver $\Phi_k \text{ W}$ ved konvektion. Varmekilden har en overfladetemperatur på $t_s \text{ }^\circ\text{C}$, og kan være placeret i højden $y_k \text{ m}$ over gulvniveau.

Nominal luftstrøm

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

Nominal konvektiv varmeafgivelse

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

Vægtet middelhøjde af varmekilder

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

Vægtet middeloverfladetemperatur af varmekilder

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

Lagdelingshøjde

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

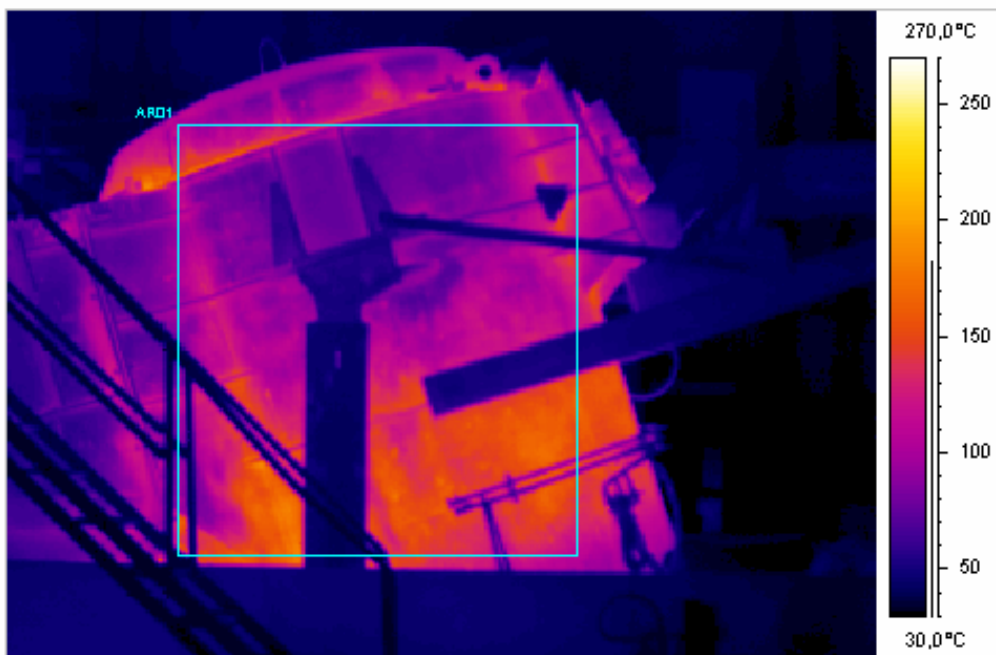
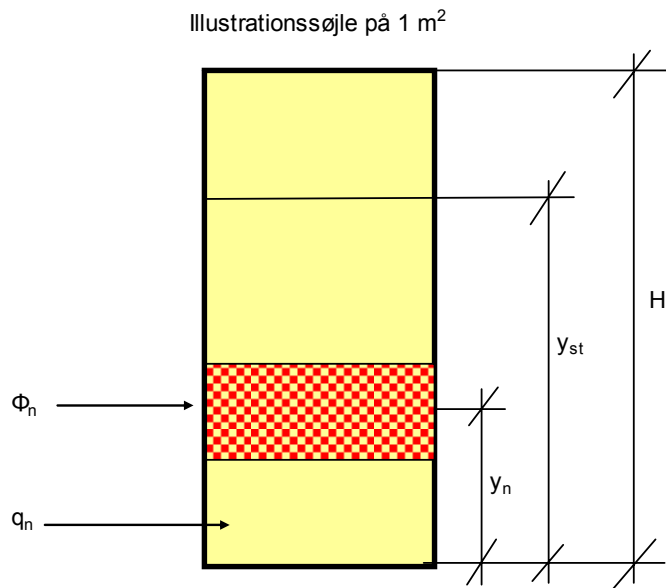
hvor

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

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

Beregningsmetoden er velegnet, hvis:

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



Figur 2.5. Figuren viser et IR billede af en proces. Det er herved rimelig enkelt at beregne middeloverfladetemperaturen. Alternativt kan vælges et spot overfladetemperaturmåler.

2.2.2 Varmekilder (punkt og linie) (se Figur 2.7)

Formeludtrykkene for en punkt- og liniekilde er følgende:

Punktkilde

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

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

hvor

z er den lodrette afstand fra punktkilden

Liniekilde

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

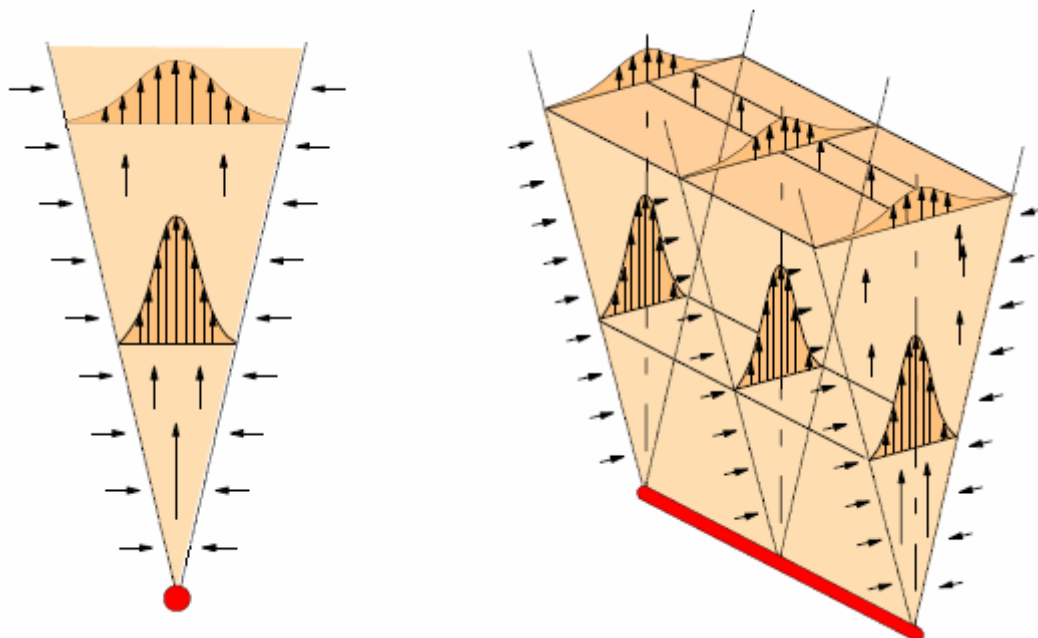
hvor

z er den lodrette afstand fra liniekilden

Lodret flade

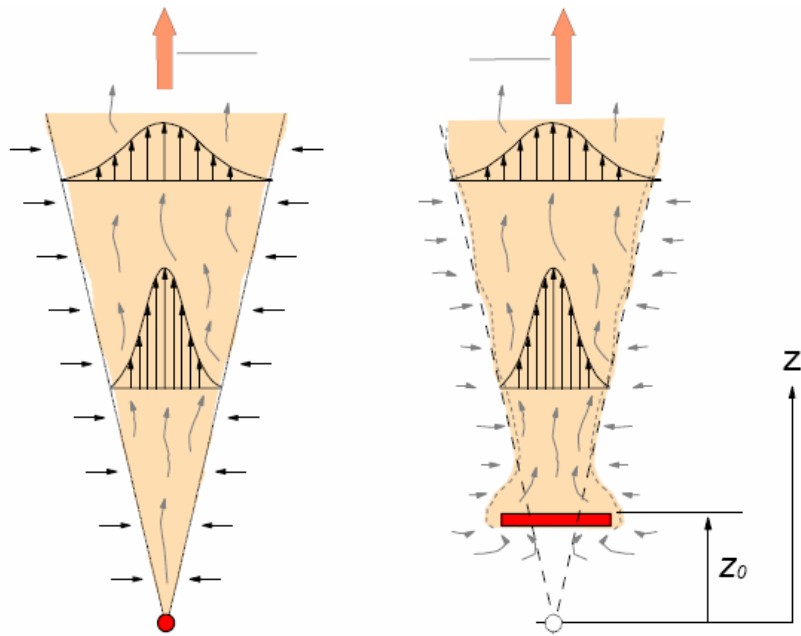
$$q_v = 2,8 \cdot (T_o - T_e)^{2/5} \cdot h^{6/5} \quad [\text{liter/(s}\cdot\text{m)}]$$

hvor h er højden af fladen.



Figur 2.7

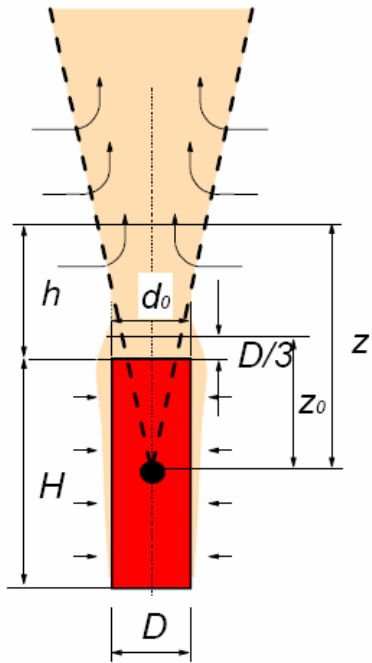
I den virkelige verden forekommer punkt- og liniekilder sjældent. For at tage hensyn til dette, opereres med et fiktivt punkt z_0 , se Figur 2.8. Problemet kan efterfølgende være at finde z_0 .



Figur 2.8

Der er udviklet en *maksimumsmetode* for at imødekomme dette problem, se efterfølgende Figur 2.9.

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



Figur 2.9

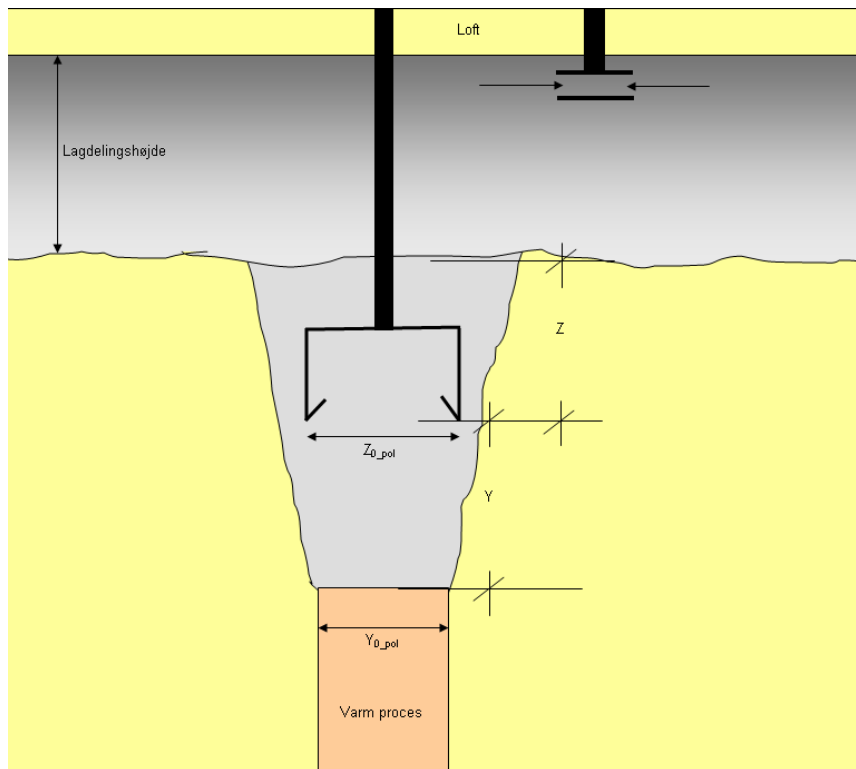
Eksempel

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

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

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

Se Figur 2.10



Figur 2.10

2.3 Valg af indblæsningsprincip

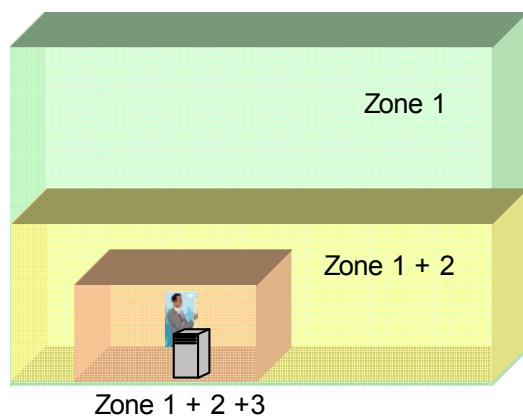
Valg af ventilationssystem herunder ventilationsprincip samt indblæsnings- og udsugningssystem, er en meget vigtig faktor for at opnå et tilfredsstillende indeklima, såvel termisk som atmosfærisk i arbejdslokaler. Det kan derfor ofte være en hjælp at have nogle retningslinjer for at sikre personer og arbejdsprocesser acceptable forhold.

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

- Zoneinddeling af lokale
- Kravspecifikation for ventilation
- Valg af ventilationsprincip
- Valg af indblæsningsystem
- Valg af udsugningssystem

Zoneinddeling er ofte nødvendig ved store lokaler specielt store industrilokaler. Her kan der ofte med fordel arbejdes med en tre-zone model (se Figur 2.11):

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



Figur 2.11

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

I opholdszonen vælges i henhold til en ønsket lufttilstand indeklimaets almene niveau, såvel termisk som atmosfærisk. Er der tale om sundhedsfarlige forureninger, bør den ønskede luftkvalitet i dette område naturligvis vælges under hensyntagen til gældende grænseværdier.

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

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

Ud fra kravspecifikationen vil det ofte være nødvendigt at:

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

På grundlag af førnævnte betragtninger, vælges det ventilationsprincip (luftstrømningsbillede) der er bedst egnet. Det bemærkes at intet ventilationsprincip er almengyldigt og generelt bedre end andre. Hvert princip har sine specielle fordele under hensyntagen til de givne krav og belastninger. Ofte kan de forskellige ventilationsprincipper endog med fordel supplere hinanden. De væsentligste ventilationsprincipper der kan komme på tale ved ventilering og konditionering af lokaler er:

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

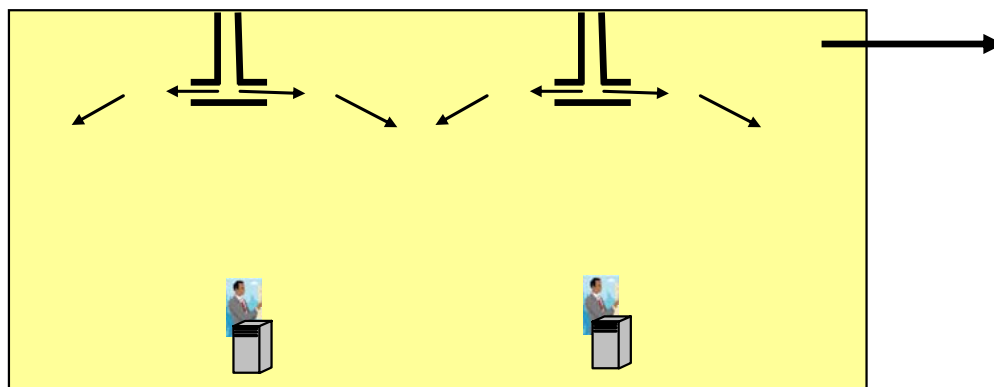
2.3.1 Konventionel opblanding

Ved konventionel opblanding også kaldet almen ventilation tilføres den indblæste volumenstrøm lokalet gennem egnede indblæsningsarmaturer der kan placeres valgfrit i lokalet.

Ventilationsprincippet der er illustreret på Figur 2.12 er blandt andet egnet til ventilation, opvarmning og køling. Effektiv opblanding fås dog kun i den del af lokalet der påvirkes af indblæsningsluften. Dette er et enkelt og meget anvendt princip, der dog har sine begrænsninger blandt andet som følge af:

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

Ventilationsprincippet er uafhængigt af udsugninger der bør placeres under hensyntagen til lokalets forureningskilder.



Figur 2.12

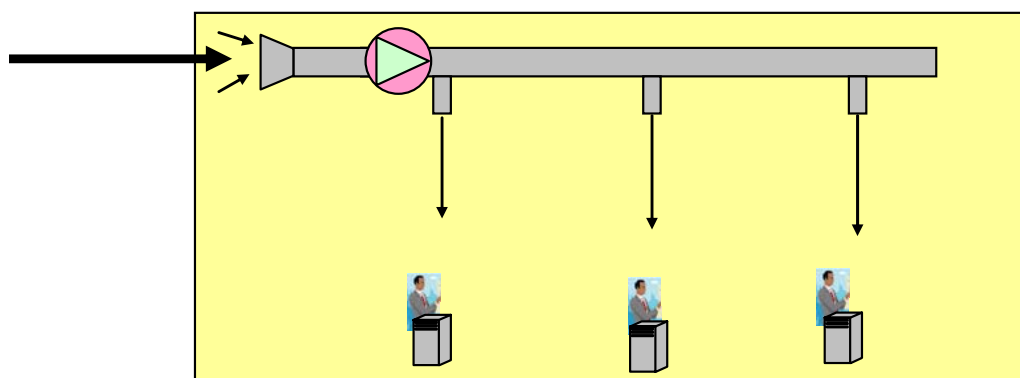
2.3.2 Fuldstændig opblanding

Dette ventilationsprincip der er illustreret på Figur 2.13 og Figur 2.14 er egnet til ventilation, opvarmning og moderat køling af høje lokaler. Indblæsningsluften fordeles til arbejdszonerne i opholdszonen ved hjælp af styrestråler der medvirker til:

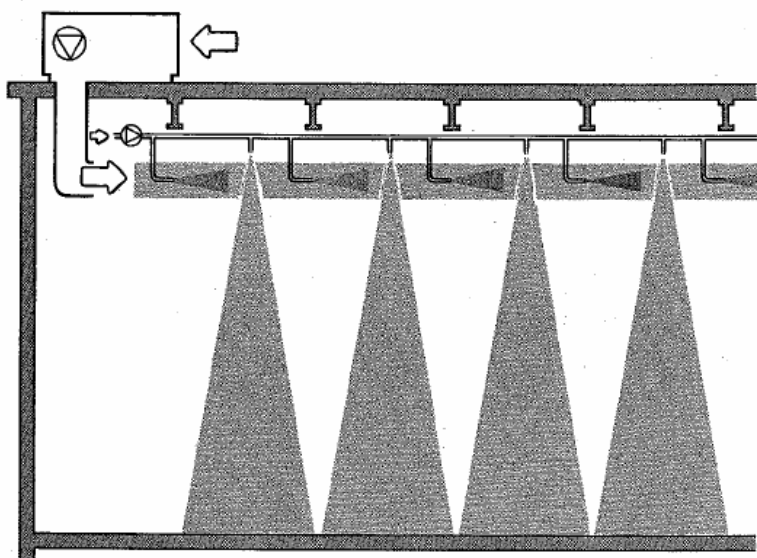
- Stabilt strømningsfelt
- Jævn temperaturfordeling
- Flexibilitet (luftretning og lufthastighed kan tilpasses det varierende klimabehov i opholds- og arbejdszonen)

De horisontale styrestråler skaber en stor luftstrøm med jævn temperatur under loftet hvorfra luften føres ned til de ønskede områder ved hjælp af styrestråler.

Eventuelle forureninger skal fjernes effektivt med udsugninger placeret ved kilden.



Figur 2.13



Figur 2.14

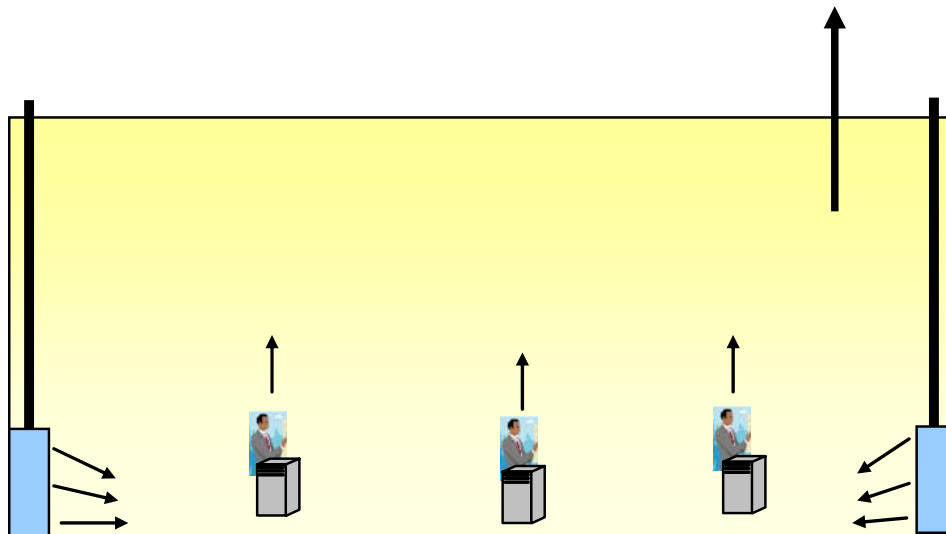
2.3.3 Passiv termisk fortrængning

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

Det grundlæggende er at varme og forurening bliver ført direkte væk fra opholdszonen og op mod loftet. Dette opnås normalt ved at de varme aktiviteter og processer, der finder sted i lokalet, skaber

En opadrettet konvektionsstrøm. Konvektionsstrømmen bestående af varme og forurening, trækker omkringværende luft med sig, hvorved den opadrettede luftstrøm øges samtidig med at dens hastighed aftager.

Endvidere gælder det, at disse konvektionsstrømme virker sammen med den valgte ventilationsluft. Dette opnås almindeligvis ved at tilføre den rene luft nær gulv og udsuge den varme og forurenede luft nær loft, som angivet på Figur 2.15. Der tales i denne forbindelse ofte om en grænselinie, der deler lokalet i en nedre ren og tempereret zone, samt en øvre varm og forurenede zone. Hertil kommer, at volumenstrømmen som tilføres den rene zone blandt andet har til formål at erstatte den luft, der på grund af konvektionsstrømmen føres væk fra opholdszonen, således at grænselinien ligger mellem den rene og forurenede zone over opholdszonen. Passiv fortrængning har i rette sammenhæng mange gode egenskaber blandt andet ved at påvirke og fjerne varme forureninger i lokalet, hvorimod dens egenskaber er mere begrænsede, når der er tale om kolde og /eller neutrale forureninger. Udsugning placeres altid ved loft, men kan dog suppleres med punktudsugninger i arbejdszonen.



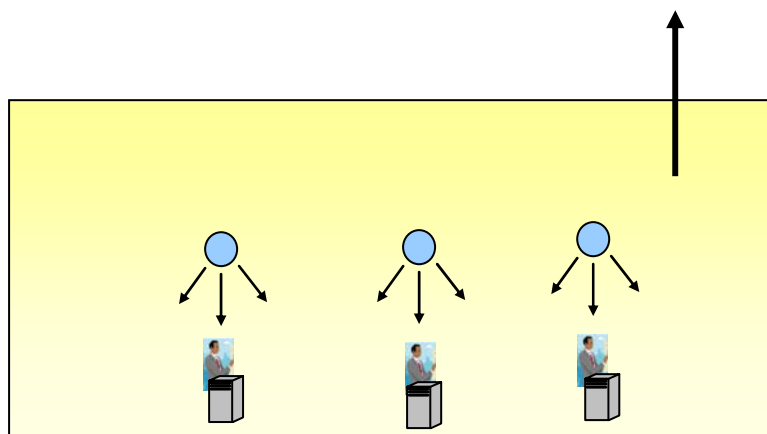
Figur 2.15

2.3.4 Aktiv termisk fortrængning

Betegnelsen ”aktiv” anvendes fordi det netop er indblæsningsarmaturet der tillige med de termiske kilder forårsager luftstrømningerne (strømningsbilledet) i opholdszonen. Ventilationsprincippet er velegnet til ventilation, køling og i specielle tilfælde til opvarmning af lokaler. Det er karakteriseret ved at strømningsbilledet består af såvel opadrettede som nedadrettede luftstrømme, som illustreret på Figur 2.16

Indblæsningsluften er nedadrettet og tilføres opholdszonen og/eller arbejdszonen ved hjælp af specielt konstruerede dysekanaler. Varme forureningskilder behandles som ved passiv termisk fortrængning, hvor forureningerne føres ned med konvektionsstrømmene mod loftet til udsugningsstederne. Kolde forureninger fortrænges af indblæsningsluften fra dysekanalerne mod gulvet til udsugningsstederne.

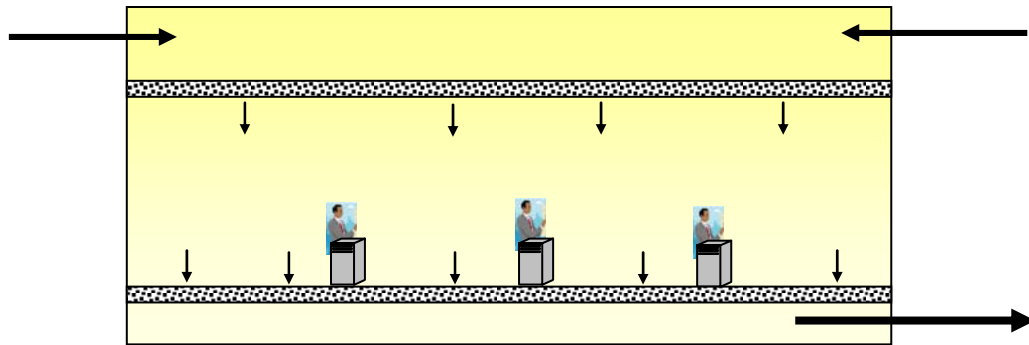
Hvis der er et varmebehov i opholdszonen, kan konvektionsstrømmene modvirkes ved at placere en dysekanal over varmekilden. Herved forhindres at ren luft strømmer ud af opholdszonen, samtidig med at varmen udnyttes. Endelig kan indblæsningsluften fra dysekanalerne anvendes til blot at tilføre erstatningsluft til punktudsugninger. Der skal dog altid være udsugning ved loft.



Figur 2.16

2.3.5 Stempelfortrængning

Ved stempelfortrængning tilføres den indblæste volumenstrøm lokalet gennem filtre og fortrænger rumluften med en hastighed ned mod gulvet, hvor den udsuges som vist på Figur 2.17. Ventilationsprincippet er velegnet til ventilation, opvarmning og køling.



Figur 2.17

3 Fuldskalaforsøg for kontrol af beregningsgrundlag

For at kontrollere beregningsgrundlaget for bestemmelse af basisventilation ud fra effektiviteten af punktudsug, udføres der et fuldskalaforsøg. Med hensyn til spredningsmønstret af emissionsforholdene ved punktudsug, udføres der målinger ved punktudsug over aluminiumssmelteovn og støbeforme

Målinger af emissions- og ventilationsforhold ved smeltning af olieforurenede aluminium (omgangsmetal) og ved afstøbning af forme fremstillet i bentonit- og furanharpiksbundet sand med gråt støbejern. Gennemført i laboratoriestøberiet hos Institut for Produktion og Ledelse på Danmarks Tekniske Universitet.

Målingerne ved smeltning af aluminium er opdelt i 2 forsøgsserier (forsøg 1 og 2). Ved forsøg 1 fokuseres på emission ved smeltning af olieforurenede omgangsmetal (indløb, efterfødere, vrag) i laboratoriets modstandsovn, under anvendelse af det eksisterende ventilationsystem.

Ved forsøg 2 suppleredes ventilationssystemet med en yderligere ventileret sugehov (hætte). For at visualisere røgens bevægelse anvendes en røggenerator.

Til målingerne af emissions- og ventilationsforhold ved afstøbning af sandforme (forsøg 3) anvendes en sugehov, som kunne placeres i varierende højde over formene.

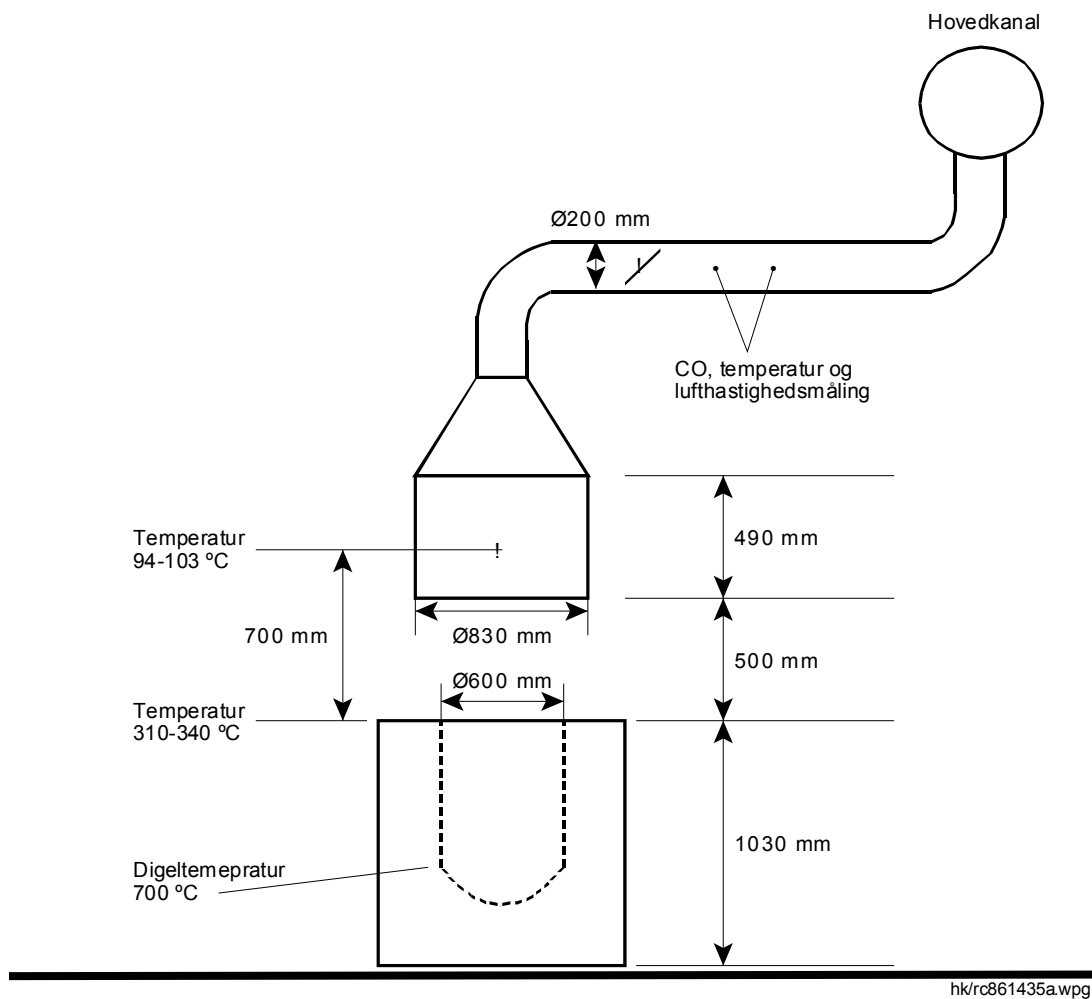
3.1 Forsøg 1

Forsøg 1 er baseret på at ca. 15 kg omgangsaluminium (tapper, indløb, vrag) penslet med ca. 100 ml skæreolie. Det oliebelagte aluminium placeres i den til 700 °C forvarmede smeltedigel. Forsøget er gennemført ved 3 forskellige lufthastigheder og 2 højdeniveauer af sugehoven. Det vil sige i afstand 0 mm og 500 mm mellem smelteovn og udsug. Forholdet mellem den målte CO-koncentration i udsugningskanalen ved afstanden 0, hvor der ikke er noget udslip fra punktudsug, og afstanden 500 mm giver et mål for udsugets effektivitet. Forsøgsopstilling fremgår af Figur 3.1

Ved sugehov i position 0 mm er CO-koncentrationen i afkastkanalen 48 ppm. Hæves sugehoven til position 500 mm falder CO-koncentrationen ved målestedet til 24 ppm, hvilket giver en effektivitet på 50% ved en luftmængde på 300 m³/h.

Afstanden på 500 mm er valgt på grund af praktiske årsager. Ved chargering af ovne skal sugehoven hæves fra position 0 mm til position 500 mm, og for at betjeningspersonalet kan udføre chargering uhindret. Måleresultaterne viser, at halvdelen af CO-mængden slipper forbi sugehoven. Hovedårsagen til at ikke alt CO gribes, når sugehoven er i position 500 mm er den store termiske opdrift over smeltediglen. Lufttemperaturen målt i centrum af diglens i ovnens overkant viser 340 °C ved sugehoven i position 0 mm, og 310 °C ved position 500 mm. Lufttemperaturen målt i centrum af sugehov viser 103 °C i position 0 mm og 93 °C i

position 500 mm. Lufttemperaturen i afkastkanalen er målt til ca. 80 hhv. 74 °C. Rumtemperaturen er målt til 20 °C.



Figur 3.1. Forsøgsopstilling til forsøgsserie 1., det vil sige emissionsforhold ved smeltning af olieforurenede aluminium med det eksisterende udsug.

3.2 Forsøg 2

Med baggrund i resultatet fra forsøg 1, blev der udført 7 forsøg (2A-2F) med en hætte placeret 3,3 og 3,8 m over gulvniveau (se Figur 3.2 og Billede 3.1). Forsøget med hættens har til formål at undersøge (måle) det nødvendige sugebehov for den almene udsugning, når sugehoven er i position 500 mm og sammenligne det med den teoretiske beregning af den almene udsugningseffektivitet.

Forsøgsbetingelserne er de samme som beskrevet under forsøg 1. For at visualisere hættens sugeeffekt anvendtes en røgkanon som afleverede røgen i centrum af diglen i overkanten af ovnen. Alt efter sugeeffekten fra hættens kunne røgbevægelse observeres. Røgforsøget viste følgende:

3.2.1 Forsøg A

Udsug fra hættens: 1450 m³/h

Udsug fra sugehov: 300 m³/h

Der kom ikke røg ud af hættens.

3.2.2 Forsøg B

Udsug fra hættens: 810 m³/h

Udsug fra sugehov: 300 m³/h

Der kom ikke røg ud af hættens.

3.2.3 Forsøg C

Udsug fra hættens: 470 m³/h

Udsug fra sugehov: 300 m³/h

Der kom røg ud af hættens (se billede 2D)

3.2.4 Forsøg D (efter øgelse af hættens afstand fra gulvniveau fra 3,3 m til 3,8 m)

Udsug fra hættens: 800 m³/h

Udsug fra sugehov: 300 m³/h

Der kom ikke røg ud af hættens.

3.2.5 Forsøg E - Kontrol af den samlede luftmængde

Forsøget udføres uden udsugning fra hætte.

Udsug fra hættten: 810 m³/h

Udsug fra sugehov: 0 m³/h

Røgen kan ikke gribes fuldstændig af hættten.

3.2.6 Forsøg F

Udsug fra hættten: 1050 m³/h

Udsug fra sugehov: 0 m³/h

Røgen kan gribes af hættten. (Den udsugede luftmængde på 1050 m³/h svarer ca. til luftmængden som udsuges i forsøg D, det vil sige 800+300 m³/h.

Forsøgsdata til forsøg 2 (Figur 3.2)

Lufttemperatur i afkastkanal fra sugehov: Ikke målt

Lufttemperatur i afkastkanal fra hættten: Ikke målt

Rumtemperatur: 21 °C

Lufttemperatur i sugehov (pos. 500 mm): 93 °C

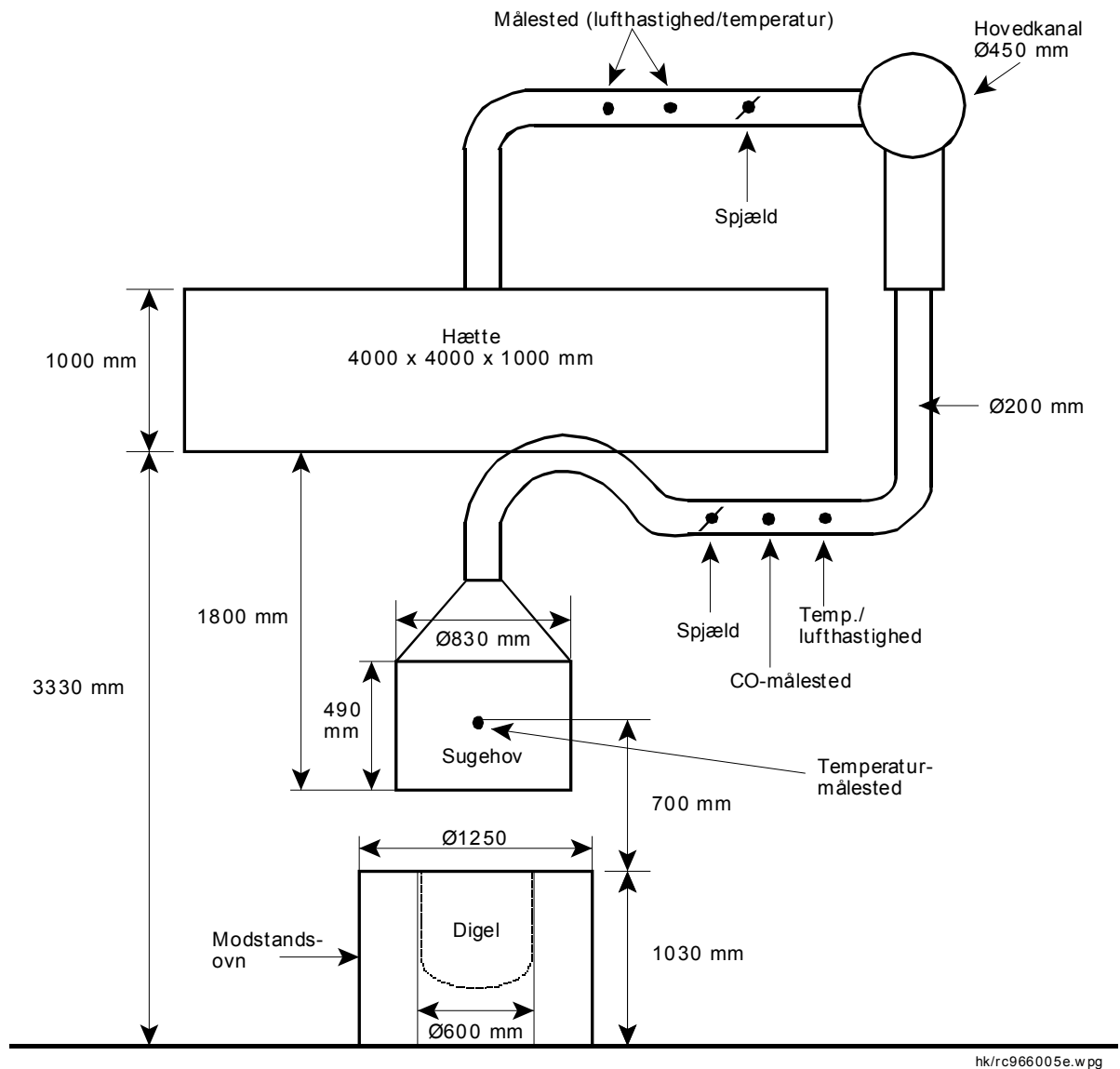
Lufttemperatur i overkanten af digel: 310 °C

Digeltemperatur: 700 °C

Udsugede luftmængder fra:

Sugehov (konstant): 300 m³/h

Hætte: 470, 810 og 1450 m³



hk/rc966005e.w pg

Figur 3.2. Forsøgsopstilling til forsøgsserie 2 med hætte placeret over sugehov



Billede 3.1. Hætte anvendt til forsøgsserie 2

3.3 Forsøg 3

3.3.1 Forsøgsbeskrivelse

Forsøget med hensyn til røgudviklingen fra støbeforme fremstillet i bentonit og furan harpiksbundet sand. Støbeformenes dimensioner, metal/sandforhold og støbetemperatur fremgår nedenfor. Forsøgsopstillingen vises i Figur 3.3 og Billede 3.2

3.3.2 Dimensioner (store forme)

L = 610 mm

B = 510 mm

H = 310 mm

Formvægt: 122 hhv. 113 kg

Metalvægt: 39 kg (gråt støbejern)

Metal/sandforhold: 1:3,1 hhv. 1:2,9

Støbetemperatur: 1400 +/- 20 °C

Materiale: GG20

3.3.3 Formsandsammensætning

Furansand:

120 kg sand

1,2 vægt % binder

0,4 vægt % hærdere

Bentonitbundet sand:

100 kg sand

6 vægt % bentonit

3,5 vægt % kulmel

3,1 vægt % vand

3.3.4 Dimensioner (lille form)

L = 410 mm

B = 310 mm

H = 260 mm

Formvægt: 45 kg

Metalvægt: 11 kg

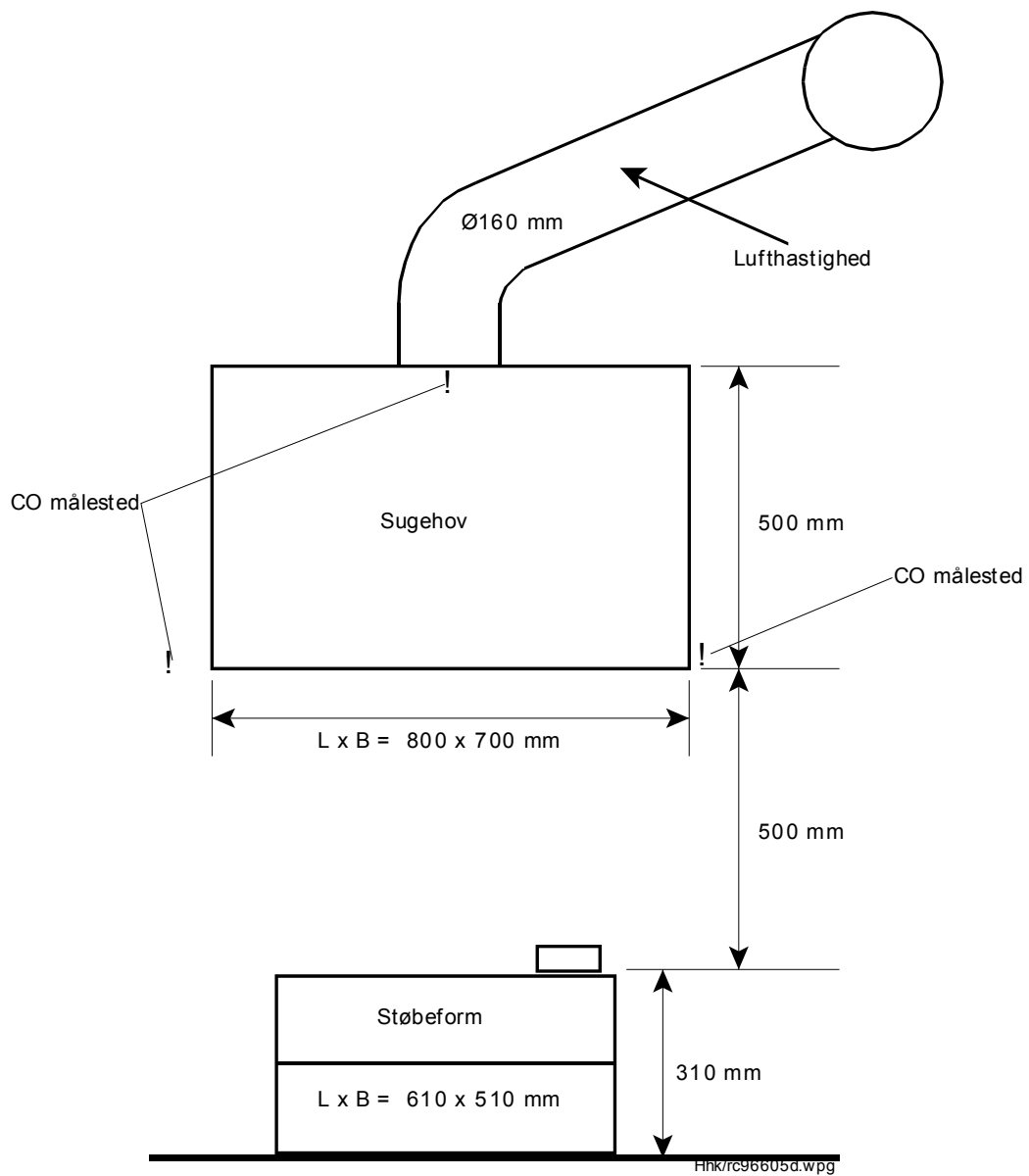
Metal/sandforhold: 1:4,1

Støbetemperatur: 1400 +/- 20 °C

Materiale: GG20

De små forme er kun fremstillet med furan harpiksbundet sand med samme sammensætning som den store form.

Forsøgsopstilling fremgår af Figur 3.3.



Figur 3.3. Forsøgsoptstilling med henholdsvis stor og lille støbeform



Billede 3.2. Forsøgsopstilling med billede af stor og lille støbeform samt sugenhov

3.4 Forsøgsresultater

3.4.1 Forsøg 3 A (stor form)

Formtype: Furan harpiksbundet sand

Dimension: 610 x 510 x 310 mm

Lufttemperatur: Rum = 27 °C

Lufttemperatur: Afkastluft = 28 °C

Luftmængde: 800 m³/h

CO-koncentration i sugenhov: 500-600 ppm

CO-koncentration målt uden på sugenhov i alle 4 sider: 0-3 ppm

3.4.2 Forsøg 3 B (stor form)

Formtype: Bentonitbundet sand

Dimension: Se 3 A

Lufttemperatur: Rum = 27 °C

Lufttemperatur: Afkastluft = 29,5 °C

Luftmængde: 800 m³/h

CO-koncentration i sugehov: 460 ppm

CO-koncentration målt uden på sugehov: svingende mellem 10 og 35 ppm

3.4.3 Forsøg 3 C (stor form)

Formtype: Furan harpiksbundet sand

Dimension: 610 x 510 x 310 mm

Lufttemperatur: Rum = 28 °C

Lufttemperatur: Afkastluft = 29 °C

Luftmængde: 0 m³/h

CO-koncentration i sugehov: 810 ppm

CO-koncentration målt uden på: 70-100 ppm

Afstand af sugehovunderkant til formoverkant = 500 mm.

3.4.4 Forsøg 3 D (stor form)

Formtype: Furan harpiksbundet sand

Dimension: 610 x 510 x 310 mm

Lufttemperatur: Rum = 28 °C

Lufttemperatur: Afkastluft = 29 °C

Luftmængde: 570 m³/h

CO-koncentration i sugehov: 220 ppm

CO-koncentration målt uden på: 8 ppm

Afstand af sugehovunderkant til formoverkant = 100 mm.

3.4.5 Forsøg 3 E (lille form)

Formtype: Furan harpiksbundet sand

Dimension: 410 x 310 x 260 mm

Lufttemperatur: Rum = 28 °C

Lufttemperatur: Afkastluft = 29 °C

Luftmængde: 570 m³/h

CO-koncentration i sugehov: 40 ppm

CO-koncentration målt uden på: 10-30 ppm

Afstand af sugehovunderkant til formoverkant = 100 mm.

3.5 Konklusion

Målingerne viser, at når hættens effektivitet ≥ 95 % er udslippet mellem 0-3 ppm, og at det bevæger sig tæt op ad hættens mindre end 0,3 m mod loftet.

Ved en ringere effektivitet bliver udslippet større, men bevægelsen af udslippet er stadig mindre end de 0,3 m fra hætte og mod loft.

4 Forsøg med dimensionering af udsugning fra hærdeprocesser, hos Rønnede Udglødningsindustri

Rønnede Udglødningsindustri råder bl.a. over et induktionsopvarmningsudstyr i forbindelse med hærdebehandling af mindre stålemner, samt tilhørende oliebad til afkøling af emnerne. Større emner opvarmes i en kammerovn med tilhørende temperaturreguleret oliebad..

Ved opvarmning af de mindre emner til mellem 800 og 900 °C opstår en del oliedampe (se billede 5.1 og figur 5.1). Dette skyldes, at disse emner af korrosionsmæssige årsager kan være olieret. Ved afkøling af de større emner som bliver opvarmet i en kammerovn til ca. 850 °C, dannes oliedamp ved nedsenkning af emnet i oliebadet. Dampudvikling er kraftigst under nedsenkning. Under selv afkølingsfasen holdes emnet under oliespejlet, og i denne fase er dampudvikling minimal (se figur 5.2 og billede 5.2).

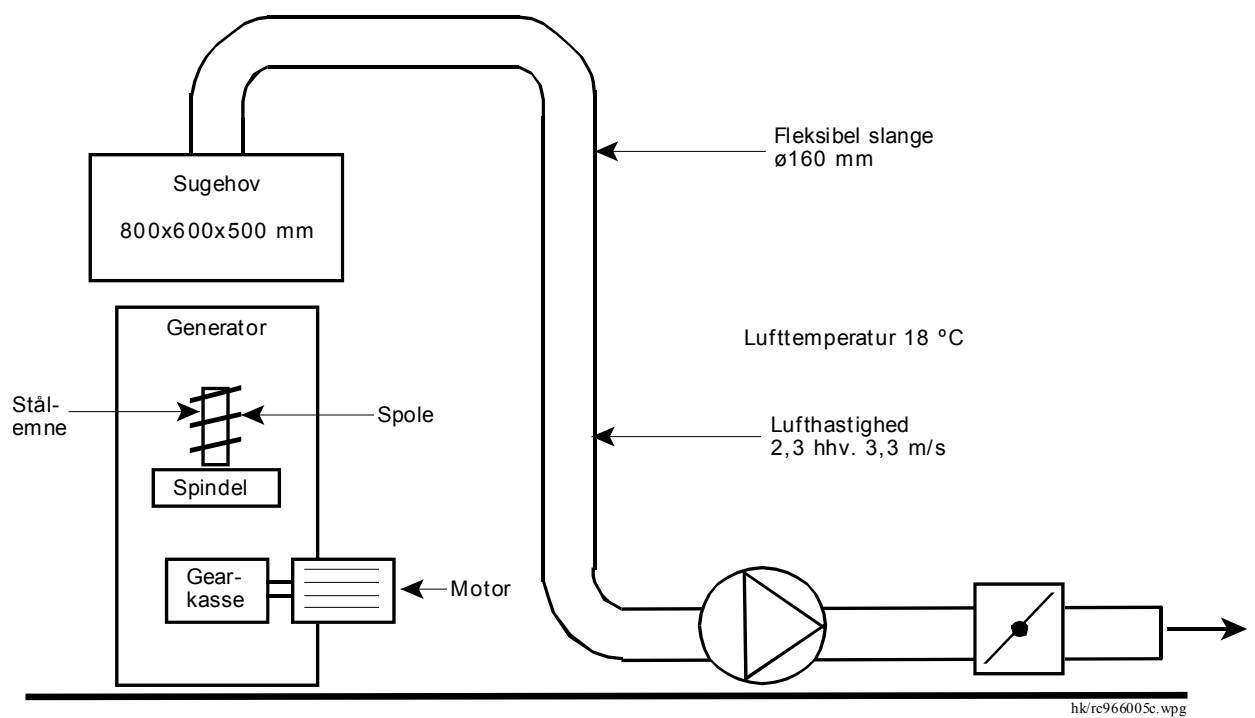
4.1 Induktionsopvarmning

Oliedampe som opstår under induktionsopvarmning er på grund af den svage termiske opdrift følsom for tværgående luftstrømme. For at mindske denne påvirkning, afskærmedes den højre side af anlægget . Ligeledes afskærmedes motoren som driver spindlen. For at opnå en ensartet temperaturfordeling i emnet, roteres emnerne som er omgivet af induktionsspolen .

Der blev udført 3 forsøg med en lufthastighed i afkastkanalen på henholdsvis 2,0 og 3,3 m/s ~ 150 og 240 m³/h.



Billede 4.1.



Figur 4.1. Forsøgsopstilling ved induktionsopvarmning af mindre stålemner.

4.1.1 Forsøg 1.

Lufthastighed: 2,0 m/s ~ 150 m³/h
Afskærmning: Motorafskærmning, ingen sideafskærmning
Resultat: Oliedampen kan ikke gribes.

4.1.2 Forsøg 2.

Lufthastighed: 3,3 m/s ~ 240 m³/h
Afskærmning: Motorafskærmning, ingen sideafskærmning
Resultat: Oliedampen kan ikke gribes.

4.1.3 Forsøg 3.

Lufthastighed: 3,3 m/s ~ 240 m³/h
Afskærmning: Motor- og sideafskærmning (reflektorer)
Resultat: Oliedampen kan gribes.

4.1.4 Konklusion

På baggrund af de opnåede resultater kan konkluderes, at en afkastluftmængde på 240 m³/h er tilstrækkelig til at gribe oliedampe. Der skal dog fremstilles en afskærmning på siderne som forhindrer tværgående luftstrømninger. Ligeledes kan det anbefales, at sugehovens dimensioner øges og bør have følgende dimensioner:

L = 1100 mm

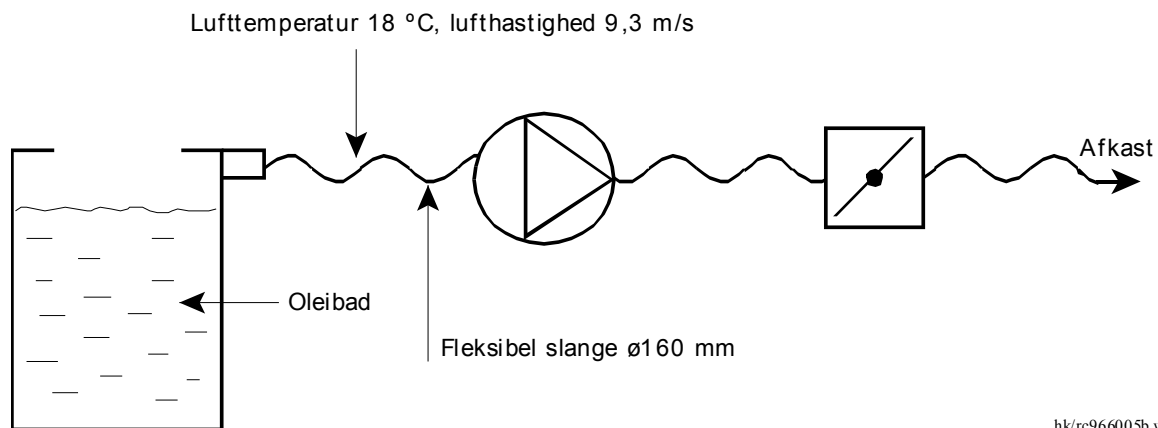
B = 600 mm

H = 500 mm

Afstanden fra induktionsspolens overkant til underkant af sugehoven bør være ca. 550 mm.

4.2 Afkøling i oliebad

De i kammerovnen opvarmede emner kan på grund af emnernes vægt og temperatur ikke håndteres uden hjælpeudstyr, det vil sige en kran. Af den årsag kan en sugehov ikke placeres direkte over oliebadet. Oliebadet har påsvejst en flange på oversiden (Figur 4.2) som reducerer badets diameter fra 800 til 600 mm. Umiddelbart under flangen er en sugestuds påsvejst på siden af beholderen.

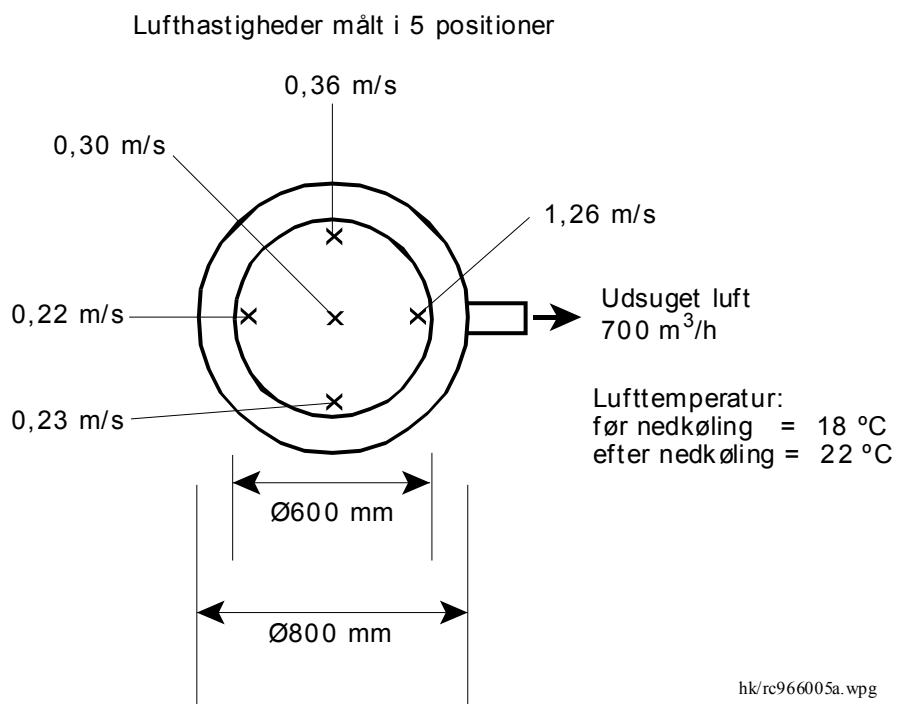
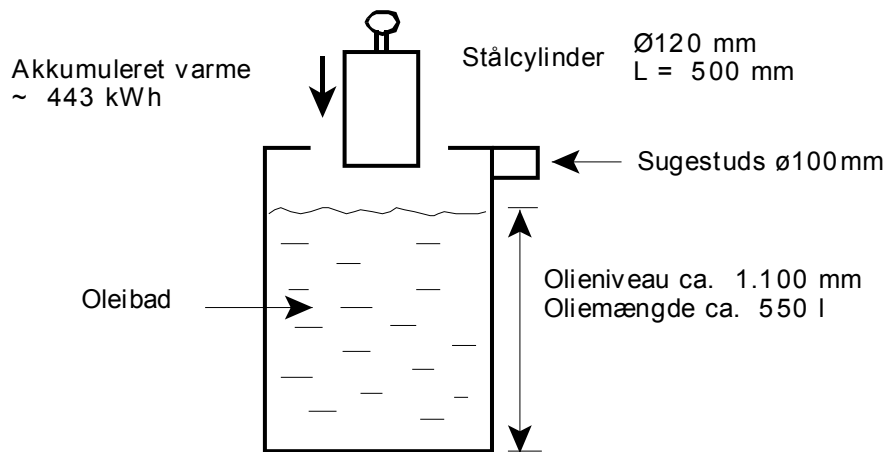


Figur 4.2. Forsøgsopstilling ved afkøling i olie

Det er udført et forsøg med sug fra nævnte studs (Figur 4.2 og Figur 4.3) med en luftmængde på 700 m³/h. Lufthastigheden i badåbningen fremgår af Figur 4.3. Ved nedsænkning af det opvarmede emne, blev det observeret at oliedampen ikke kunne gribes fuldstændig . Holdes emnet under oliespejlet er dampudvikling begrænset og kan gribes.



Billede 4.2.



Figur 4.3. Dimensioner, luftmængde og temperaturer ved afkøling af stålemne på 43 kg opvarmet til 850 °C.

4.3 Konklusion

Forsøget viser at oliedampens opdrift under nedsækning er meget kraftig, og kan derfor ikke gribes under de beskrevne forsøgsbetingelser. For at gribe oliedampen blev der foreslået 2 muligheder:

1. Etablering af et ringudsug
2. Reducering af badåbning, ved hjælp af blender med varierende åbningsdiameter

Begge løsninger giver mulighed for at holde luftmængden på et minimum af ca. 700 m³/h.

5 Produktion-, emission- og ventilationsforhold ved en automatisk formanlæg

5.1 Anlægsbeskrivelse

Ved det aktuelle produktionsanlæg er der tale om en fuldautomatisk formfremstillingsmaskine med integreret støbeautomat og udslagningsstation. Her adskilles formmaterialet fra støbegodset.

Produktionsanlægget er placeret sammen med et næsten identisk anlæg i den samme produktionshal med følgende dimensioner:

Længde: 85 m

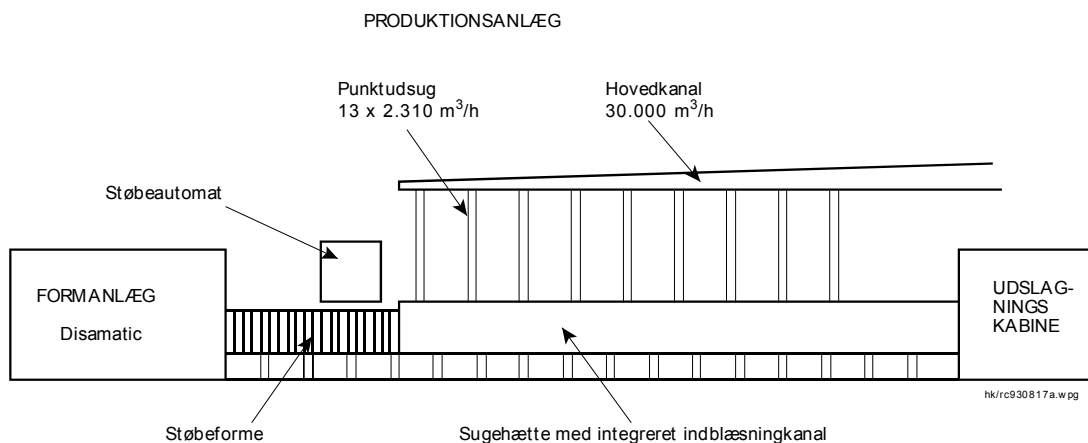
Bredde: 18 m

Højde: 9,5 m

Begge produktionsanlæg er sammensat af følgende enheder:

- formanlæg
- støbeautomat
- kølestrækning
- udslagningsstation (kabine)

Produktionsanlæg (DISA nr. II) er skitseret Figur 5.1.

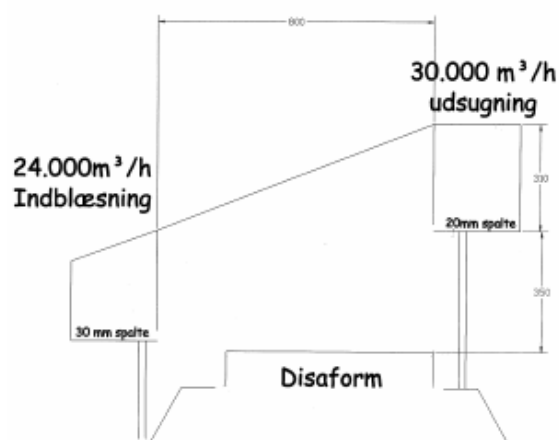


Figur 5.1

Efter formfremstillingsprocessen afstøbes formene i takt med produktionen. I tilslutning afkøles støbegodset i støbeformene over en 55 m lang kølestrækning, svarende til en tidsperiode på ca. 45 min. I denne periode afkøles støbegodset (jernet) fra flydende tilstand (ca. 1400 °C) til mellem 300 og 600 °C. Afkølingshastigheden afhænger af jern/sandforholdet.

I udslagningskabiner destrueres støbeformene og støbegodset separeres fra formsandet. Formsandet genanvendes efter en forudgående afkølings- og genopfriskningsproces. Støbegodset placeres til yderligere afkøling på en kølestation.

Under afkølingsprocessen passerer de støbte forme gennem en sugehætte (se Figur 5.2). formålet med passagen under sugehætten er dels at evakuere de opståede pyrolysegasse og frigjort procesvarme, og dels at fremme nedkølingsprocessen. Den i sugehætten integrerede indblæsningskanal tilfører friskluft gennem en spalte placeret i overkanten af støbeformene over hele sugehættens længde.



Figur 5.2

Udsugningsspalten er placeret overfor indblæsningsspalten i et niveau ca. 350 mm over overkanten af støbeformene. De udsugede gasser og dampe evakueres ligeledes via sugehætens integreret kanal som leder de emitterede produkter gennem 13 delkanaler videre til hovedkanalen og herfra til filteranlægget.

Udslagningskabinen indeholder shake-out og transportrende er lukket med undtagelse af udtagsåbningen for støbegodset. Formaterialet bortledes via et underjordisk transportbånd. Kabinen er støjdempet og ligeledes koblet via procesudsug til filteranlægget.

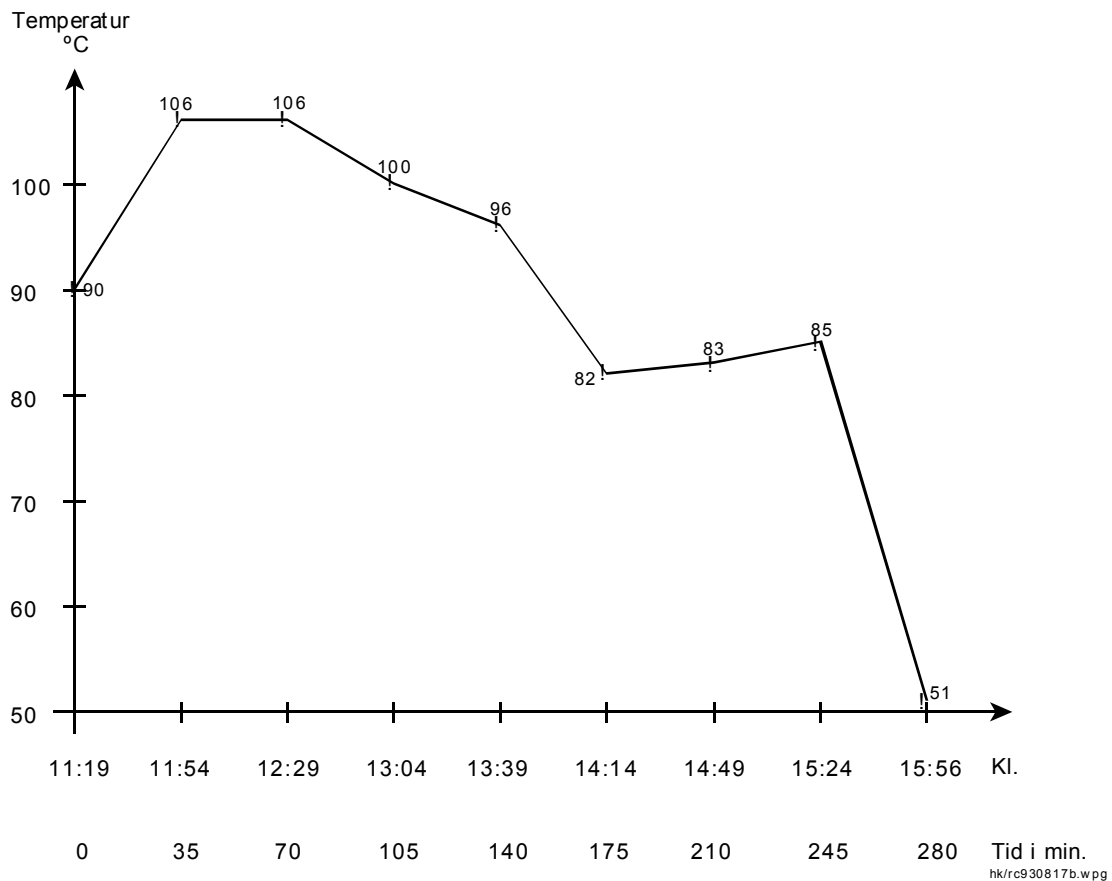
5.2 Tekniske- og produktionsdata for Disa II

5.2.1 Tekniske data

Ved det aktuelle produktionsanlæg er der tale om et automatisk formanlæg af følgende fabrikat Disamatic type 2030

Produktionsdata i måleperioden fra september 2006 fra kl. 10:35 til 15:05

Gennemsnitlig formdimension i m	: 0,6 x 0,48 x 0,255
Formproduktion (antal forme total)	: 1126
Gennemsnitlig formvægt	: 112
Produktionstid /form i s	: 13
Sandforbrug i t	: 126
Istøbt jern/form	: 15,5
Støbetemperatur (anslået) i °C	: 1.400
Køletid i s	: 2.700 ~ 45 min.
Anslået gennemsnitlig godstemp. efter afkøling i °C	: 500
Gennemsnitlig sandtemperatur efter udslagning	: 92 (se Figur 5.3)



Figur 5.3. Sandtemperatur afhængig af udslagningsstidspunktet.

Vanddamp i m ³ /h	: ca. 1.350
Pyrolyseprodukter i m ³ /h (CO v. 20 °C)	: ca. 800
Lufttemperatur (indblæsning) i °C	: udeluft
Luftmængde (indblæsning) i m ³ /h	: 24.000
Lufttemperatur (udsug)	: 30,5
Luftmængde (udsug) i m ³ /h	: 30.000
Formoverfladetemperatur i centrum i °C	: 40-100 ~ 70
Formoverfladetemperatur i afstand på ca. 280 mm fra centrum i °C	: 30-60 ~ 45
Energiforbrug til opvarm. af sand + fordampning af vand i kWh	: 760
Energiindhold i Fe ved natkøling fra 1400 til 500 °C i kWh	: 900
Udsuget energi gennem varme luft i kWh	: 140

5.3 Ventilationsforhold i Disahallen

Indblæsning

Indblæsning, forvarmet luft	m ³ /h	48.000
Indblæsning til Disa I og II (udluft)	m ³ /h	35.000
Loftindblæsning (udeluft)	m ³ /h	12.000
Indblæsning i alt	m ³ /h	95.000

Udsugning

Loftudsug	m ³ /h	53.000
Udsug, Disa I og II	m ³ /h	55.000
Udsug, udslagningskabine	m ³ /h	56.000
Udsug i alt	m ³ /h	164.000

Indblæsnings- og udsugningsforhold: 1:1,7 (0,58)

5.3.1 Beregningsresultater for punktudsug og basisventilation ved kølestrækning hos Disa II

Beregning af sugebehov for punktudsug ved kølestrækning under anvendelse af følgende grundlag:

- Gennemsnitlig formoverfladetemperatur: 70 °C
- Formhøjde: 0,5 m
- Sugehovlængde: 55 m
- Afstand mellem sugehov og kilden 0,35 m

Viser følgende resultater:

- Hastighed i faceareal min.: 0,1 m/s
- Bredde i sugehov: 0,745 m
- Volumenstrøm punktudsug: 0,045 m³/s
- Punktudsug: 162 m³/h
- Volumenstrøm basisventilation 0,88 m³/h
- Udsug, basisventilation 3.168 m³/h

se bilag 3

Som beskrevet under afsnit 6.1.2 udvikles i afkølingsperioden ca. 1.350 m³ vanddamp og ca. 800 m³ CO pr. time

Lægges disse værdier sammen med sugebehov for punktudsug er det samlede sugebehov for kølestrækning ca. 2.300 m³/time.

5.4 Beregningseksempel af sugebehov for punktudsugning over støbeautomat ved Disa II samt for behovet for basisventilation

5.4.1 Anlægsbeskrivelse

Som nævnt under afsnit 6.1 er i produktionsanlægget Disa II bl.a. en støbeautomat integreret. Automaten i støbejernet i takt med formproduktion i frekvenser mellem 10 til 15 s.

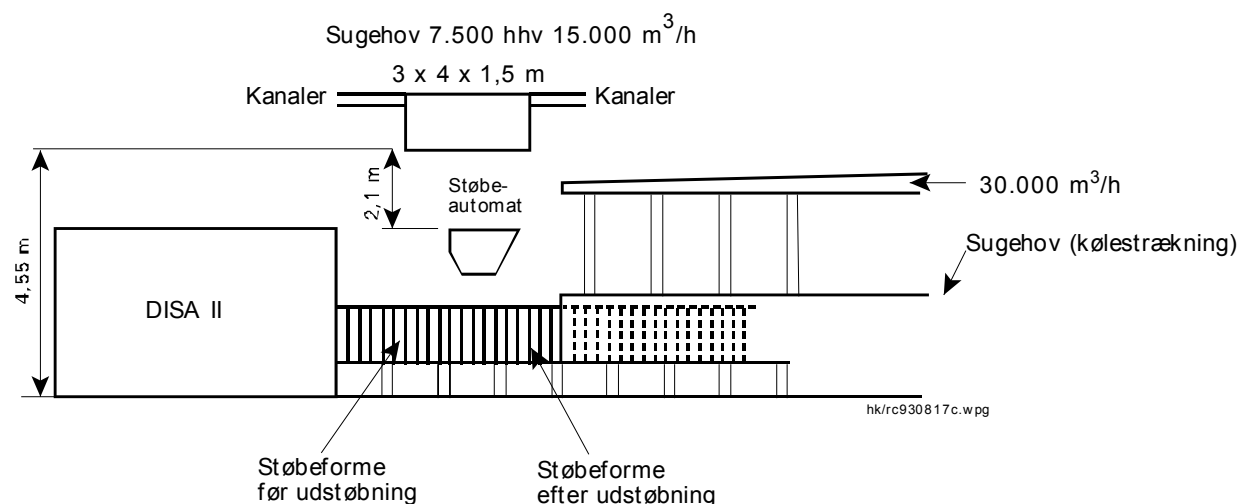
For at overholde arbejdsmiljøkravet hvad udviklede temperatur og pyrolyseprodukter angår, udsuges procesluften via et sugehov placeret direkte over automaten. Automaten fyldes med jævne intervaller med ca. 1.450 °C varme støbejern. Påfyldningsprocessens varighed er mellem 60 til 120 s. I denne periode udsuges 15.000 m³/h. Under støbeprocessen udsuges ca. 7.500 m³/h. Støbeautomatens over sugehovets dimension:

$$L = 4 \text{ m}$$

$$B = 3 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \text{ m}$$

Sugehovet er forbundet med 6 horisontale placerede sugekanaler (3 på hver side) se Figur 5.4.



Figur 5.4

Resultater fra beregningseksempel for den konvektive luftbevægelse

Der er udført 5 beregningseksempler på sugebehovet for procesudsug over støbeautomaten. beregningerne er foretaget ved hjælp af DimAir programmet.

Beregningsgrundlaget er henholdsvis 2 varmekilder placeret i en afstand på 2,1 henholdsvis 1 m fra sugehov. Varmekildens temperatur varierede mellem 150 og 250 °C, rumluftens temperatur er 20 °C, varmekildens diameter samt middelhøjde er 1,1 og 0,9 m.

Beregningsresultaterne fremgår af Tabel 5.1. (se beregningseksempel i bilag 3)

Beregningsgrundlag				Beregningsresultat							
Diameter m	Middel- has. m	Afstand fra kilden til sugeh. m	Koeff. for konvek- tiv effekt	Luft °C	Temperatur i. Overf. °C	Mind. br. sugehov m	Hastighed i faceareal m/s	Volumenstrøm m ³ /s	Volumenstrøm Basisventilation m ³ /h		
1,1	0,9	1,0	0,5	22	150	1,80	0,096	0,166	598	0,505	1818
1,1	0,9	2,1	0,5	22	150	2,57	0,205	0,354	1274	0,651	2344
1,1	0,9	2,1	0,5	22	200	2,57	0,243	0,42	1512	0,689	2480
1,1	0,9	1,0	0,5	22	250	1,80	0,128	0,220	792	0,556	2002
1,1	0,9	2,1	0,5	22	250	2,57	0,273	0,472	1699	0,716	2578
1,1*	0,9	1,0 og 2,1	0,5	22	250	-	0,401	0,692	2491	1,272	4580

*Værdierne viser sugebehov hvis 2 varmekilder placeres under sugehov som fx ved påfyldning af støbeautomaten fra transportskeene

Tabel 5.1

5.5 Konklusion

5.5.1 Punktudsug og basisventilation i støbeområdet.

Resultaterne viser, at kildens overfladetemperatur og afstand fra sugehov har en betydelig indflydelse på sugebehov. Således øges sugebehovet for punktudsug ved en overfladetemperatur mellem 150 og 250 °C og en afstand fra varmekilden til sugehoven på 1 m fra 598 til 792 m³/h. Øges varmekildens afstand fra 1 til 2,1 m i samme temperaturområde, stiger sugebehovet fra 1274 til 1699 m³/h.

Ved basisventilation øges den udsugede luftmængde under de samme betingelser som nævnt ovenfor fra 1818 til 2002 m³/h ~2344 til 2578 m³/h.

Placeres to varmekilder med en overfladetemperatur på 250 °C under samme sugehov med en afstand på 1 og 2,1 m fra sugehoven, øges sugebehovet for punktudsug til 2491 og 4580 m³/h for basisventilation. En placering af to varmekilder skal illustrere forholdet ved påfyldning af støbeautomaten med flydende jern via transportskeen. Under denne periode er der kortvarig behov for en forøgelse af punktudsug fra 1699 m³/h til 2491 m³/h ~ ca. 47 %.

5.5.2 Punktudsug og basisventilation på støbestrækning

Beregningsresultaterne viser, at det nødvendige punktudsugningsbehov forårsaget af varmekilden (sandformene) alene, er meget beskedent (ca. 162 m³/h). Dertil skal dog lægges volumen af udviklet pyrolysegas samt vanddamp – i alt ca. 2.150 m³/h.

Udsugningsbehovet inkl. pyrolysegas og vanddamp ved kølstrækning er beregnet til ca. 30.000 m³/h. Det skal dog bemærkes, at den store luftmængde også har en kølefunktion af formene. Til evakuering af den fra formoverfladen afgivne varme kræves som nævnt ovenfor ca. 160 m³/h. Besparelsen på punktudsug uden hensyntagen til kølefunktion vil være ca. 90 %.

5.6 Besparelspotentiale

Støberiet udsuger i støbeområdet konstant 7.500 m³/h som fordobles i påfyldningsperioden (ca. 1-2 min). Beregningsresultaterne viser at behovet for punktudsug med en kildetemperatur på 250 °C er ca. 1.700 m³/h stigende til 2.500 m³/h i påfyldningsperioden.

Ved en reduktion af punktudsug over støbeautomaten fra 7.500 til 2.700 m³/h er besparelspotentialet ca. 5.000 m³/h ~ 7.000 kWh ved en driftstid på 2.000 h/år.

Udsugningsbehovet inkl. pyrolysegas og vanddamp ved kølestrækning er beregnet til ca. 2.300 m³/h. Med udsugningsluften på 30.000 m³/h og indblæsningsluften på 24.000 m³/h tilstræbes en køleeffekt på støbeformene.

Til evakuering af den fra formoverfladen afgivne varme kræves ca. 160 m³/h. Til køling af formene indblæses i køletunnelen ca. 24.000 m³ frisk luft pr. time. Ved at undlade indblæsning og under bibeholdelse af udsugning på ca. 30.000 m³/h kan det forventes at erstatnings-

luften suges ind under tunnelen og passerer forbi formene på vej op til udsugningsspalten. Det kan forventes at køleeffekten derved øges. Samtidig bortfalder elforbruget ~ 33.300 kWh ved en dårlig driftstid på ca. 2.000 timer.

Det totale el - forbrug til ventilation i den danske støberiindustri udgør omkring 40 GWh/år. Ved en optimal udforming og placering af sugehove samt valg af basisventilation, kan el - forbruget reduceres med 30 til 50 % ~ mellem 12 og 20 GWh / år. Fordeling af El - forbruget til udsug og indblæsning er ca. 3 : 1. Dette betyder at der bruges ca. 27 GWh til udsugning og 13 GWh til indblæsning, hvis luftskiftet skal være i balance. El - forbruget til udsugning ville ved en reduktion på 40 %, reduceres med 10,8 GWh og ved indblæsning vil besparelsen være 5,8 GWh, i alt 16 GWh / år.

Reduceres den udsugede luftmængde med 40 % nedsættes ligeledes behovet for indblæsning tilsvarende, og derved reduceres energiforbruget til forvarmning af indblæsningsluften.

Energiforbruget til forvarmning af den nødvendige indblæsningsluft til 18 grader, udgør 80 GWh / år.