

www.sintef.no

**SINTEF Energiforskning AS**

Postadresse: 7465 Trondheim  
Resepsjon: Sem Sælands vei 11  
Telefon: 73 59 72 00  
Telefaks: 73 59 72 50

[www.energy.sintef.no](http://www.energy.sintef.no)

Foretaksregisteret:  
NO 939 350 675 MVA

**TEKNISK RAPPORT**

SAK/OPPGAVE (tittel)

**Reduksjon av luktutslipp fra fiskemelfabrikker**

SAKSBEARBEIDER(E)

**Hans Martin Mathisen, Frode Frydenlund, Ola Jonassen, Håkon Skistad**

OPPDRAAGSGIVER(E)

**Fiskeri og havbruksnæringens landsforening**

TR NR.	DATO	OPPDRAAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A5874	2003-06-06	Agnar Moe	16X363
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
030606hmm115514		Hans Martin Mathisen <i>H.M. Mathisen</i>	Åpen
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG      SIDER
82-594-2552-1		Inge Gran <i>Inge P. Gran</i>	16              77
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Energiprosesser	Kolbjørn Hejes v 1D	73 59 39 50	

**RESULTAT (sammendrag)**

Prosjektet er gjennomført på oppdrag for Fiskeri og havbruksnæringens landsforening. Formålet med arbeidet har vært å utarbeide forslag til tiltak som vil redusere luktplage i nabolag til under tillatte verdier. Sammen med undersøkelser av ventilasjonsforhold og utslipp til romluft inne i fabrikk er det gjort beregninger for å dimensjonere installasjoner og deres kostnader. Tiltakene er forsøkt beskrevet på en slik måte at den enkelte fabrikk kan benytte disse til å lage planer for sin egen virksomhet.

**Tiltak:**

1. En forutsetning for å få kontroll med luktutslippene er at lekkasjene fra prosessutstyr til romluft er små. Vi anbefaler derfor at det først gjennomføres tiltak med tetting og innkapsling. Deretter at det installeres lokalavsug for alle deler av prosess og transportinnretninger som ikke kan holdes 100% tette. Luft fra lokalavsug bør primært brukes som forbrenningsluft i fyrkjel da denne har meget god renssevne.

Når tiltak 1 er gjennomført gjøres det kartlegging for å se om resultatet er godt nok. Hvis ikke gjennomføres tiltak nr 2 og 3.

2. Ventilasjonsluft suges ut av hallen og føres til sjøvannsvasketårn og/eller kjemisk vasketårn med virkningsgrad 99 – 99.9%. Dersom fyrkjel har behov for mer forbrenningsluft enn det som føres til denne fra lokalavsug, kan en del av ventilasjonsluften også forbrennes.
3. Når tiltak med lokalavsug gjennomføres så synker behovet for ventilasjonsluft til fjerning av lukt og forurensninger. Dersom ventilasjonsluftmengden reduseres må varmetapet til romluften også reduseres, ellers vil det blir for høye temperaturer i hallen. Dette gjøres ved godt gjennomført isolering av rør og prosessutstyr.

Kostnader ved den enkelte fabrikk avhenger sterkt av hvor mange tiltak som allerede er gjennomført.

For Vadsø Sildoljefabrikk, som er benyttet som eksempel i rapporten, ligger trolig total investeringskostnad i området 9 til 13 millioner kroner for gjennomføring av alle tiltak. Innkapsling og lokalavsug vil trolig koste 2 til 4 millioner.

**STIKKORD**

EGENVALGTE	Fiskemel	Produksjon
	Luktutslipp	Ventilasjon

## INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1 FORORD .....	3
2 INNLEDNING OG BAKGRUNN .....	4
3 HOVEDKONKLUSJONER .....	5
4 PROBLEMBESKRIVELSE .....	7
4.1 LUKT .....	7
4.2 ROMLUFTSTEMPERATUR .....	9
4.3 HVORDAN LUKT OG VARME SPRES I ROMMET .....	10
5 OVERSIKT OVER LØSNINGER .....	12
6 PRIORITERING AV TILTAK/LØSNINGER .....	14
7 BESKRIVELSE AV LØSNINGER .....	16
7.1 INNKAPSLING OG LOKALAVSUG .....	16
7.1.1 Oversikt .....	16
7.1.2 Sammenhengen mellom lekkasjearealer, undertrykk og luftmengder .....	16
7.1.3 Oppfangingshastigheter for støv og gasser .....	17
7.1.4 Lufthastigheter under innkapslinger og avsugsmengder .....	18
7.1.5 Dimensjonering av avsugsrøret .....	21
7.1.6 Utforming av stussen mellom innkapslingen og avsugsrøret .....	22
7.1.7 Fordeling av avsugspunktene langs transportøren .....	24
7.1.8 Forgrening av avsugsrør .....	26
7.1.9 Termiske drivtrykk – ”skorsteinseffekt” .....	28
7.1.10 Behandling av luft fra lokalavsug .....	30
7.1.11 Kostnader .....	30
7.2 ISOLASJON AV VARME FLATER .....	32
7.3 OPPDELING AV ROM ETTER TYPE PROSESS .....	38
7.4 VENTILASJON .....	39
7.4.1 Hovedprinsipper for tilførsel av ventilasjonsluft .....	39
7.4.2 Generelt om luftstrømmer i rom .....	40
7.4.3 Dimensjonering av ventilasjonsluftmengder .....	43
7.4.4 Fabrikken i Vadsø .....	44
7.5 RENSING AV LUFT .....	53
7.6 PNEUMATISK TRANSPORT OG MØLLER .....	57
8 LITTERATUR .....	58
9 VEDLEGG .....	60
9.1 MÅLINGER I VADSØ .....	60
9.1.1 Luftmengder .....	60
9.1.2 Flatetemperaturer .....	62
9.1.3 Aminkonsentrasjoner .....	74
9.1.4 Temperaturer .....	74

## **1 FORORD**

Prosjektet er gjennomført på oppdrag for Fiskeri og havbruksnæringens landsforening.

Under gjennomføringen av prosjektet har vi fått en rekke nyttige innspill fra referansegruppen som bestod av teknisk direktør Bjørn Marki fra Måløy Sildoljefabrikk, teknisk sjef Bent Inge Ulset fra Egersund Sildoljefabrikk AS og fabrikkssjef Sten Åke Brendås fra SILFAS Karmsund AS.

Ved målingene som ble gjennomført i januar i år ved Vadsø Sildoljefabrikk AS fikk vi god bistand fra fabrikkens personale, vi vil spesielt nevne vedlikeholdssjef Roald Hansen og fabrikkssjef Stein Mathisen.

Professor Ingvald Strømmen ved Institutt for Energi- og prosesssteknikk ved NTNU har bistått med kvalitetssikring.

## 2 INNLEDNING OG BAKGRUNN

Formålet med arbeidet har vært å utarbeide forslag til tiltak som vil redusere luktplage i nabolag til under tillatte verdier. Sammen med undersøkelser av ventilasjonsforhold og utslipp til romluft inne i fabrikk gjøres det beregninger for å dimensjonere installasjoner og deres kostnader.

Det er utarbeidet forslag til hvordan luktproblem i nabolag kan elimineres. Disse forslagene er forsøkt beskrevet på en slik måte at den enkelte fabrikk kan benytte disse til å lage planer for sin egen virksomhet.

Prosjektet ble etablert med bakgrunn i møte mellom bransjen og SINTEF 2002-09-25, samt befarings ved Vadsø Sildoljefabrikk AS.

Det er målt lukt ved boligområder som skyldes utslipp fra fiskemelfabrikker som ligger langt over tillatte verdier. Nyere undersøkelser utført av SSF viser at luktutslippene i hovedsak skyldes forurensning av romluften i produksjonshallene.

Utslipp fra det meste av produksjonsutstyret er i moderne fabrikker er betydelig redusert ved hjelp av avsug med påfølgende rensing og forbrenning. Fortsatt er det imidlertid luktutslipp inne i hallene fra prosessutstyr og ved transport mellom apparatene. Denne transporten foregår med pumping, skruer, bånd og pneumatikk. Lekkasje foregår gjennom utettheter i innkapsling og pakninger.

Grunnen til at det må benyttes høye ventilasjonsluftmengder er store varmelekkasjer fra produksjonsutstyr og rør. Jo lavere ventilasjonsluftmengden er, desto større andel av tilført luftmengde til hallene kan gå til forbrenning. Forholdene i nabolaget vil altså forbedres betydelig dersom man kunne rense/forbrenne all ventilasjonsluft.

Arbeidet med prosjektet har innebåret følgende hovedpunkter:

- Identifisere problemet, dvs luktutslipp fra fabrikk.
- Identifisere mulige løsninger med bakgrunn i kjent kunnskap om luktproblematikk
- Kartlegge problemet gjennom måling og annen informasjonsinnhenting
- Analyse av hvordan/hvorfor problemet oppstår.
- Beregne effekten av ulike løsninger
- Kostnadsoverslag
- Anbefalinger, vurdere løsninger og kombinasjoner av ulike løsninger

Rapporten er bygd opp som følger:

- Hovedkonklusjon
- En relativt kortfattet del med problembeskrivelse, beskrivelse av mulige løsninger, prioritering av løsninger og overslag over kostnader for tiltakene.
- En mer detaljert beskrivelse av løsninger, virkemåte og utførelse
- Vedlegg som i hovedsak inneholder resultater fra måling i Vadsø

### 3 HOVEDKONKLUSJONER

Formålet med rapporten er å beskrive tiltak som vil redusere luktplage i nabolag til under tillatte verdier.

For å etablere et konkret utgangspunkt for valg av løsninger og tiltak ble det gjort målinger og observasjoner ved Vadsø Sildoljefabrikk AS. Forslag til tiltak og løsninger er forsøkt beskrevet generelt slik at de kan benyttes for alle norske sildemelfabrikker. Ved siden av målinger har basis vært kunnskap om prosess- og næringsmiddelindustri samt industriklimatisering.

For å oppnå målet om 5 LE/Nm<sup>3</sup> i nabolaget må det gjennomføres omfattende tiltak ved fabrikkene.

En forutsetning for å få kontroll med luktutslippene er at renholdet er godt og at lekkasjene fra prosessutstyret er små. Vi anbefaler derfor at det først gjennomføres tiltak med tetting og innkapsling slik at lekkasjer fra prosess til romluft minimaliseres. Videre at det installeres lokalavsug på alle deler av prosess og transportinnretninger som ikke kan holdes 100% tette. Det vil i praksis si de deler av prosessen hvor tørrstoff inngår. Luften fra lokalavsug føres gjennom en sjøvannsvasker eller tilsvarende slik at fukt og ganske mye lukt fjernes. Deretter føres luften til fyrkjel som forbrenningsluft. Forbrenning gir en reduksjon av lukt på 99.99%. Overskytende luftmengde renses i sjøvannsvasketårn og/eller kjemisk vasketårn med virkningsgrad på 99 til 99.9%. Dersom luft slippes ut ved toppen av skorstein vil en virkningsgrad på 99% være tilstrekkelig. Dersom dette tiltaket gjennomføres fullt ut vil det gi en betydelig reduksjon av utslippene. Det bør derfor kartlegges om dette er tilstrekkelig før flere tiltak gjennomføres. Kostnaden for innkapsling og punktavsug ligger i størrelsesorden 2 til 4 millioner kroner

Neste tiltak er knyttet til ventilasjon. Ventilasjonsluft suges ut av hallen og føres også til sjøvannsvasketårn og/eller kjemisk vasketårn med virkningsgrad 99% til 99.9%. Dersom fyrkjel har behov for mer forbrenningsluft enn det som føres til denne fra lokalavsug, kan en del av ventilasjonsluften også forbrennes. Kostnader for ventilasjon kan anslås til 2.5 til 3.5 millioner kroner. Anlegg for luktfjerning fra ventilasjonsluft kan koste fra 2 til 3 millioner kroner.

Når tiltak med lokalavsug gjennomføres så synker behovet for ventilasjonsluft til fjerning av lukt og forurensninger. Dette gjør at mindre luft trenger behandling i rensetårn.

Når ventilasjonsluftmengden reduseres må varmetapet til romluften også reduseres, ellers vil det blir for høye temperaturer i hallen. Dette gjøres ved godt gjennomført isolering av rør og prosessutstyr. Det er begrenset hva som kan oppnås, noe er allerede isolert, og det kan heller ikke benyttes ubegrenset tykk isolasjon. Det må derfor ventileres med en betydelig luftmengde for å holde temperaturen under kontroll. Isolering i et realistisk omfang kan koste fra 2 til 3 millioner kroner.

Målinger ved Vadsø Sildoljefabrikk i januar 2003 viste at tilførselen av luktstoffer og varme til romlufta i produksjonshallen var betydelig. I ventilasjonsluften som strømmer ut av hallen ble det målt konsentrasjoner på ca 50 ppm trimetylamin mens luftmengden var ca 90 000 kg tørr luft/time. I tillegg forbruker fyrkjelen ca 32 000 kg tørr luft/time som tas fra romlufta. Dersom ingen tiltak utenom oppsamling og rensing av ventilasjonsluft gjennomføres må 90 000 kg luft/time behandles i renseanlegg. Ved å separere kjelhus fra produksjonshallen og trekke all forbrenningsluft fra prosesshallen, samt å redusere varmetilskuddet fra prosessutstyr ved å isolere kan luftmengden reduseres til 40 000 til 60 000 kg tørr luft per time.

---

Dersom alle foreslåtte tiltak gjennomføres ved fabrikken i Vadsø vil kostnaden være fra 9 til 13 millioner kroner, arbeidskostnader inkludert. Prisen avhenger blant annet av om det er mulig å føre ventilasjonskanaler innvendig i hallen eller om disse må plasseres utvendig og hva slags luktfjerningsmetode som velges. Lokalavsug og innkapsling beløper seg til ca 2-4 millioner kroner.



## 4 PROBLEMBESKRIVELSE

I dette kapittelet beskrives kort hva lukt er, hvordan luktutslippene oppstår og problemene kan løses.

### 4.1 LUKT

SFT har satt krav til lukt ved nærmeste boligbebyggelse til 5 luktenheter per kubikkmeter (LE/Nm<sup>3</sup>). Målinger utført av SFT har vist konsentrasjoner som ligger langt over dette kravet.

#### Oppfattelse av lukt

Oppfattelse av lukt er en kjemisk sans. Vi har et areal på 10 cm<sup>2</sup> øverst i nesehulen med 10-25 millioner høye og slanke sanseceller med flimmerhår for luktoppfatning. Disse reagerer kjemisk med luktestoffer i gassform og gir nerveimpulser til hjernen. De reagerer også på luktestoffer i partikkel- og aerosolform. Vi kan registrere visse luktestoffer ned til svært små konsentrasjoner. Stoffer som for eksempel vanilin, hydrogensulfid, trimetylamin og smørsyre kan merkes i konsentrasjoner lavere enn et tusendels milligram pr m<sup>3</sup> luft. Andre luktestoffer, som aceton og øvrige ketoner, glykoler, alkoholer etc må ha konsentrasjoner over 100 milligram pr m<sup>3</sup> for å bli registrert. Nesen er altså meget selektiv i hvilke luktestoffer som registreres. Luktesansen er svært forskjellig utviklet hos forskjellige mennesker. For eksempel kan ca 2 % av en gruppe merke visse luktestoffer i bare en tidel av konsentrasjonen der halvparten merker lukt. I den andre ytterlighet har vi den del av befolkningen som ikke registrerer lukt i det hele tatt, de utgjør omtrent 5 % med overvekt av eldre personer, J. O. From, /11/.

#### Tilvenningseffekt

Det skjer alltid en tilvenning over lengre tids påvirkning. For eksempel vil de som til daglig oppholder seg i en bedrift med vesentlig høyere luktkonsentrasjoner enn befolkningen i naboområdene bli tilvendt lukten grensende til immunitet.

#### Luktintensitet

Den lukttintensiteten vi oppfatter er konsentrasjonsavhengig men ikke lineært proporsjonal med den kjemiske konsentrasjonen av luktestoffet. Når den individuelle terskelkonsentrasjonen der lukt oppfattes, C<sub>t</sub>, er oversteget vil responsen følge en eksponensialfunksjon. Oppfattet lukttstyrke I kan uttrykkes som:

$$I = k \cdot \left( \frac{C}{C_t} \right)^n - k$$

Ligning 1, fra From, /11/

hvor I: oppfattet lukttstyrke

k: konstant som beskriver bl.a. hvilken måleskala som benyttes, f. eks. 1 til 10

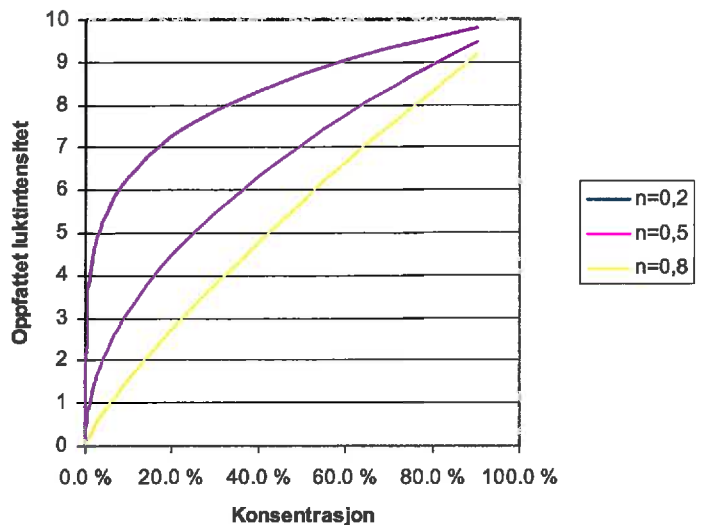
C: kjemisk konsentrasjon av luktestoffet i mg/m<sup>3</sup> luft

n: luktestoffavhengig konstant angis som tall i området <0-1>.

Ligning 1 kan brukes til å vise at for luktestoffer som vi er gjennomsnittlig sensible for med n-verdi lik 0.5 må vi redusere konsentrasjonen med 99 % for å oppnå en reduksjon i registrert



luktintensitet på 90 %. Se Figur 1. For luktstoffer som vi er spesielt ømfintlige for, trengs ennå mye kraftigere reduksjon i konsentrasjonen.



Figur 1. Oppfattet luktintensitet for ulike luktstoffer

### Terskelverdier

Terskelverdi defineres oftest som den luktstyrken der 50 % av en gruppe personer registrerer lukt mens de øvrige 50 % ikke registrerer lukten. Terskelverdien settes lik 1 luktenhet = 1 LE. Luktmengden som slippes ut kan defineres som produktet av luftvolumet per tidsenhet i ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) og luktstyrken angitt i antall fortyndinger D for å nå terskelverdien. Luktmengden angis dermed som luktenheter per sekund; LE/s.

Måling av lukt i en luftprøve i laboratoriet oppgis i enheten LE/ $\text{Nm}^3$ . I den kommende CEN-standard for lukt defineres en luktenhet  $\text{OU}_E/\text{Nm}^3$  til den lukt man får når 123 mikrogram n-butanol fordampes inn i 1  $\text{m}^3$  nøytral gass, /14/.

Tall for terskelverdier som finnes i litteraturen varierer med opptil flere tierpotenser. Det er fordi måling av terskelverdier er vanskelig og innbefatter flere usikkerheter som usikre kjemiske analyser, varierende metoder, prosedyrer og utstyr og naturlig variasjon i luktesans og luktoppfatning.

### Luktbestemmelsesmetoder

Lukt bestemmes oftest fra bedømmelse av prøver med luktestoffet i et panel med et antall deltakere. Disse personene må for det første ha en luktesans men de skal heller ikke være særlig mer ømfintlige for lukt enn et gjennomsnitt av befolkningen. Typisk benyttes metoder hvor terskelverdien registreres. Dette gjøres ved at prøven uttynnes i luktfri luft inntil bare halvparten av paneldeltakere merker lukten.

Hvis man har definert hvilket stoff som man er interessert i å måle lukten fra, kan det brukes kjemiske målemetoder for å bestemme konsentrasjonen av dette stoffet. Dette er i de fleste tilfeller billigere og raskere målinger enn ved bruk av luktpanel. Man får dessuten ut et måltall for konsentrasjonen som kan brukes direkte i beregning av luftrenseutstyr, fortynningsfaktorer m.v. Eksempler på slike målinger er velkjente "Dräger-rør", fotoionisasjon og gasskromatografi.

### **Lukt fra fiskemelsfabrikker**

Det sies at det avgis 40-50 luktende gasser fra fiskemelsproduksjon, Eikje og Urdahl /10/. En del stoffer vil være felles for alle fabrikkene, mens andre vil være spesifikk for enkelte fiskearter og også med sesongvariasjoner, mens den viktigste variable som påvirker lukt fra råstoff og produksjon vil være ferskhet i råvaren. Fra råstoffet vil ammoniakk, trimetylamin (TMA), andre aminer, merkaptaner og hydrogensulfid være dominerende. Fra tørkeprosessen vil det være et større innslag av uidentifiserte stoffer av typen alkaner, aldehyder og ketoner, Mjelde /12/. TMA finnes i luft fra alle fiskemelsfabrikker og er en typisk representant for gasser som vårt lukteorgan reagerer på i svært små konsentrasjoner. TMA kan derfor brukes som en indikator for lukt fra fiskemelsproduksjon

Lukt frigis via romluft til uteluft en rekke steder, fra råstofflager, gjennom lekkasjepunkter i hele prosessen med koking og tørking og fra det ferdige fiskemelet.

### **Fortynning utenfor fabrikken**

Fortynningen som skjer fra luktstoffene forlater fabrikken avhenger sterkt av avstand, topografi, vindforhold og eventuell lagdeling av luftmassene (inversjonssjikt). At avstanden øker fra 100 meter til 1000 meter betyr i følge enkle modeller at fortynningen endrer seg fra 4 til 120, se /13/. Dersom vi regner med ugunstige forhold og kort avstand bør derfor ikke konsentrasjonen være mer enn ca 20 LE/Nm<sup>3</sup> ved utslippspunktet på fabrikken for å oppfylle kravet om 5 LE/Nm<sup>3</sup> hos nærmeste nabo.

## **4.2 ROMLUFTSTEMPERATUR**

Lufttemperaturen i fiskemelsfabrikkene kan bli svært høy og den kan i mange tilfeller bli bestemmende for hvor mye ventilasjonsluft som må benyttes. Det kan stilles krav til romluftstemperaturen ut fra:

- Arbeidsmiljø
- At materialnedbryting og korrosjon øker med temperaturen og kan føre til ødeleggelse av instrumenter og reguleringsutstyr

Under normal drift foregår det relativt lite manuelt arbeid i fabrikkhallene. Det er kun ved irregulariteter at det er nødvendig med lengre opphold. Om slikt arbeid overskrider akseptable fysikalske belastninger kan for eksempel beregnes ut fra den såkalte våtkule-globetemperaturen, se /2/. Ut fra våre målinger ved fabrikken i Vadsø synes forholdene å ligge innenfor det som

aksepteres av denne grensen dersom arbeidet ikke er ekstremt tungt og langvarig eller foregår oppunder taket hvor temperaturen kan blir svært høy.

Temperaturen ligger imidlertid langt over det som kan regnes som en komfortabel temperatur.

### **Varmekilder**

Det omsettes store energimengder i en fiskemelsfabrikk. Damp genereres av fyrkjeler som vanligvis fyres med olje. Varmen distribueres til prosessen i form av overhetet damp og varmt vann (kondensat) tilbake til kjel. Råstoffet varmes opp, tørkes og transporteres gjennom fabrikk. Det er derfor ikke til å unngå at romlufta i fabrikk tilføres betydelige varmemengder. For å hindre at oppvarmingen av romlufta blir for stor isoleres prosessutstyr og damp-/kondensatrør.

### **Hvordan skjer varmeoverføring fra varmt utstyr til luft?**

Varme overføres fra varme flater til luft via to mekanismer:

- Termisk stråling som skjer mellom flater med ulik temperatur
- Konveksjon som kan være såkalt fri (kun varmeoverføringen i seg selv gir opphav til luftbevegelsene) eller tvungen (luft blåses langs flaten)

Termisk stråling er det vi føler når vi kjenner at sola varmer eller vi sitter nær en varm ovn. Huden vår har lavere temperatur enn sola eller ovnen og mottar energi uten at lufta som er i mellom varmes opp. Fra en ovn er strålingen langbølget (infrarød), den sender ikke ut synlig lys. I en fiskemelsfabrikk vil varmt prosessutstyr og varme rør stråle mot for eksempel kalde yttervegger eller annet utstyr som holder lavere temperatur.

Ikke alle materialer "sender ut" like mye stråling, for eksempel blankt rustfritt stål eller blank aluminium stråler lite (de har lav emissivitet). Slike materialer varmes også opp lite av stråling fra andre varme flater. Malte flater (uansett farge), vanlige bygningsmaterialer og skitne flater har høy emissivitet for langbølget stråling.

Konveksjon er overføring av varme fra en varm flate til omgivende luft. Luften strømmer langs den varme flaten og varmes opp. Varm luft vil bevege seg oppover fordi den er lettere enn kald luft.

Termisk stråling fører også indirekte til oppvarming av lufta ved at den fører til oppvarming av flater som igjen avgir varme til lufta ved konveksjon.

## **4.3 HVORDAN LUKT OG VARME SPRES I ROMMET**

Rundt for eksempel en varm presse vil lufta varmes ved konveksjon. Den varme lufta vil fortsette videre oppover over pressen og stige opp mot taket i fabrikk. Fra pressa lekker det også ut luktstoffer. Disse vil følge den varme konveksjonsstrømmen mot taket. Slik får vi høy temperatur

og mye lukt og forurensninger i den øvre del av lokalet. Derfor er det hensiktsmessig å ha utluftingen fra lokalet ved tak, slik at forurensningene ikke må ned i arbeidssonen før de trekkes ut med ventilasjonen.

Vi har også konveksjon langs kalde flater i hallen, slik som yttervegger og vinduer. Fordi lufta her kjøles ned og blir tung dannes en nedadgående luftbevegelse. Denne luftstrømmen vil ta med seg forurenset luft og lukt fra øvre del av lokalet og føre til økt forurensning av arbeidssonen. Av den grunn er det derfor hensiktsmessig at ytterveggene er godt isolert.

Spredning av forurensninger kan også oppstå ved at luft blåses inn med høy hastighet. Det dannes da såkalte luftstråler som kan sette store luftmengder i bevegelse. Luftstråler kan lages tilsiktet ved at ventilasjonsluft blåses inn gjennom ventiler, eller ved at luft blåser inn gjennom åpne dører eller vinduer. Ved å tilføre lufta med lav hastighet i den nedre del av lokalet kan det unngås at forurensninger blåses fra den øvre del av lokalet og ned i arbeidssonen.

Mer om hvordan ventilasjonen virker er forklart i kapittel 7.4 på side 39.

## **5 OVERSIKT OVER LØSNINGER**

Nedenfor er de mest aktuelle tiltakene for å redusere luktutslipp til omgivelsene listet opp

### **Lokal eliminasjon**

Lokal eliminasjon består av to tiltak, innkapsling av den luktforurensende prosessen og avsug fra prosessen slik at lukt ikke slipper ut i lokalene. Hvordan dette tiltaket gjennomføres er nærmere beskrevet i kapittel 7.1. på side 16. Til lokal eliminasjon kan vi også regne renhold av lokalene. Ved å fjerne luktbelastende søl umiddelbart elimineres en kilde. Det er også viktig at pakninger, pakkbokser og lignende vedlikeholdes godt slik at lekkasjer hindres.

### **Forbrenning**

Bruk av luktforurenset luft som forbrenningsluft i fabrikkens fyrkjel er en meget effektiv form for rensing med en oppgitt virkningsgrad på 99,99%. For at luft fra lokalavsug skal kunne brukes som forbrenningsluft må først fuktigheten fjernes.

### **Skille forurensningsbelastede lokaler fra mindre belastede lokaler**

Det kan føre til mindre totalluftmengde å skille forurensnings- eller varmebelastede lokaler fra mindre belastede lokaler på en slik måte at varme eller forurensning fra en del ikke kommer over i en annen del. I for eksempel kjelhus er det normalt ingen luktutslipp og derfor ikke behov for å rense utslippene. Varmetilskuddet fra kjelen er betydelig og det er ugunstig om denne varmebelastningen føres over til prosessdelen og øker varmebelastningen her.

### **Isolere**

Isolasjon av prosessen fører til at det er behov for mindre luft for å holde en akseptabel romlufttemperatur i arbeidssonen. Dessuten gir god isolasjon mindre energibehov til prosessen.

### **Ventilasjon**

Ventilasjonen har som oppgave å fjerne lukt-, fukt, forurensnings- og varmebelastning fra lokalene slik at arbeidsmiljøet blir tilfredsstillende og utstyr ikke ødelegges.

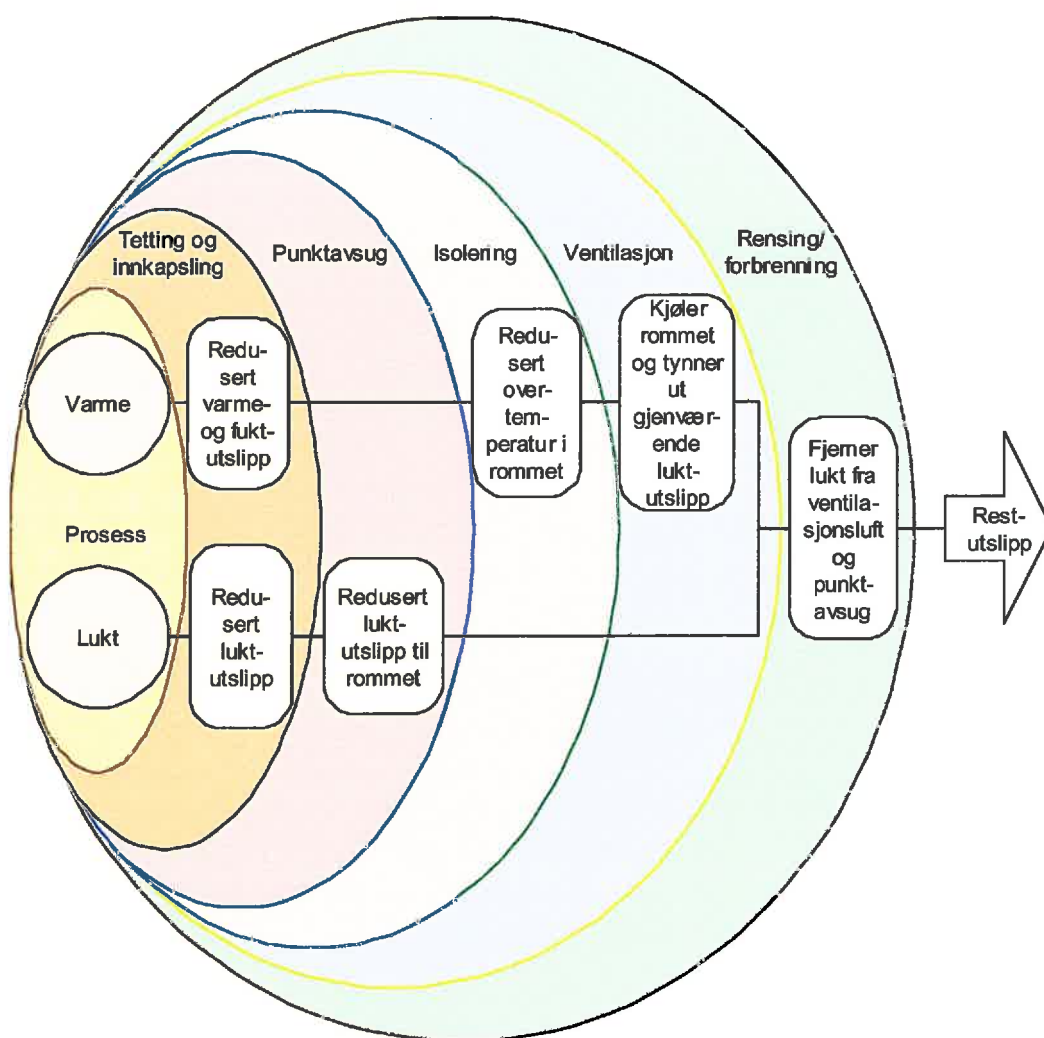
### **Rense**

Rensing av ventilasjonsluft og luft fra lokalavsug/lokalavsug gjøres for å hindre luktplager i omgivelsene til fabrikk.

### **Lukke delprosesser**

Luft fra pneumatisk meltransportør og møller resirkuleres.

Figur 2 illustrerer sammenhengen mellom punktene som er listet opp foran.



Figur 2. Oversikt over mulige tiltak og sammenhengen mellom disse.

## 6 PRIORITERING AV TILTAK/LØSNINGER

Tiltakene bør i prinsippet prioriteres etter hvilken nytte de gir i forhold til kostnad. Nyten avgrenses i denne sammenheng til å være luktplage for nabolag, men tiltakene kan ikke tillates å forringe arbeidsmiljøet i forhold til dagens nivå. Tiltakene kan heller ikke ha negativ virkning på produktkvalitet eller driftsforhold i fabrikk.

Ved prioritering av tiltak har vi tatt utgangspunkt i fabrikk i Vadsø, men vi antar at konklusjonen vil bli tilsvarende for de andre fabrikkene.

Tiltak som må gjennomføres for å tilfredsstille kravene til maksimalt luktnivå i nabolag er:

1. Tetting og innkapsling.
2. Lokalavsug for alle deler av prosess og for transportskruer installeres. Det må også installeres utstyr for utkondensering av fukt.
3. Rensing av luft fra lokalavsug ved forbrenning i kjel eller ved annen effektiv luktfjerning.
4. Lukking av delprosesser som mølle og pneumatisk transport med tilbakeføring av luft til prosess.

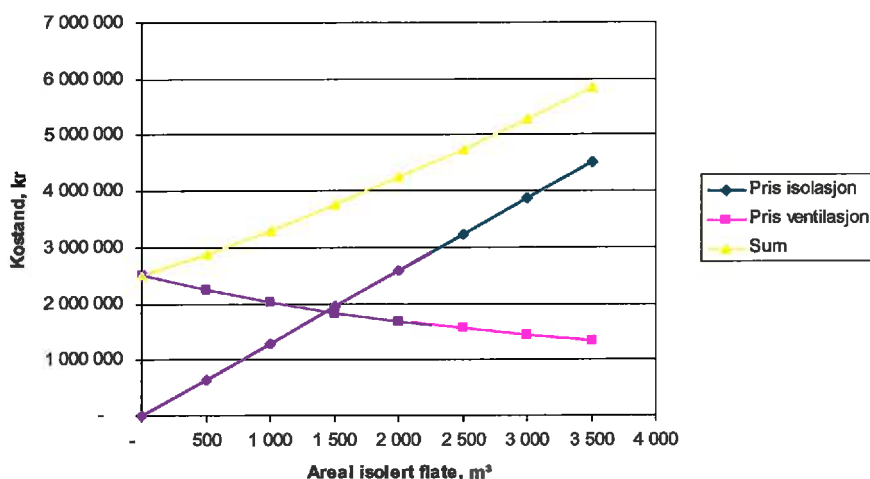
Når disse tiltakene er gjennomført vurderes det om resultatet er godt nok. Det vil avhenge av kvaliteten på tiltakene 1 til 4 og hvor stor utvendig fortynningsgrad det er fra fabrikk til nærmeste bebyggelse. Dersom resultatet ikke er godt nok gjennomføres tiltakene 5 til 8.

5. Isolasjon av varmeavgivende flater utføres.
6. Mekanisk ventilasjon installeres.
7. Luktfjerning fra all ventilasjonsluft.

I tillegg vil det være fornuftig å skille ut ikke-luktavgivende deler av prosessen i egne rom/bygninger for å redusere luktforurensset ventilasjonsluftmengde. Dersom for eksempel kjelhuset er en integrert del av de øvrige fabrikklokalene skilles dette fysisk fra resten av anlegget og forbrenningsluft tas fra lokalavsug og romventilasjon.

Tiltakene er gjensidig knyttet til hverandre. For eksempel så vil økt effektivitet på lokalavsug og god isolasjon redusere omfanget av den generelle ventilasjonen. Figur 3 illustrerer i prinsippet denne sammenhengen og viser at det trolig ikke er lønnsomt med alt for omfattende isolasjonstiltak. Det kommer imidlertid her i tillegg kostnader for rensing av lukt som er luftmengdeavhengig og dermed avhenger av varmetilskuddet til luften. Plassbegrensninger for ventilasjonsanlegg kan også tvinge fram lavere luftmengder og dermed behov for mer isolasjon. Energiøkonomisering vil også gi en inntektsside.





Figur 3. Kostnader for ventilasjon og isolasjon som funksjon av isolert areal og sum kostnad for disse to tiltakene.

Tilsvarende vil det være en sammenheng mellom effektiviteten av lokalavsug og ventilasjon.

Kostnadene for luktfjerning i luft er i hovedsak knyttet til luftmengden og i mindre grad til konsentrasjonen av luktstoff i lufta. Luktstoffene må ha en viss oppholdstid i vasketårn for å brytes ned eller løses i vann. Det betyr at jo lavere luftmengde, jo mindre dimensjoner får vasketårn eller andre renseinnretninger.

Tetting og innkapsling sammen med lokalavsug er også den mest effektive måten å fjerne lukt og forurensninger fra romlufta. Forurensnings- og luktkontroll kun med generell mekanisk romventilasjon vil kreve større installasjoner og større investeringer.

I tabell 1 nedenfor er det vist kostnader for de ulike tiltak. Prisene er i hovedsak innhentet fra entreprenører og utgjør overslagsmessige estimater.

Tabell 1. Kostnader, investeringer inkluderer materiell og arbeidskostnader

	Investerings- kostnad. Millioner kroner		Driftskostnad pr år Kroner
Innkapsling og tetting	1 – 2		
Lokalavsug	1 – 2		5 000
Isolasjon	2 – 3	Pris for isolasjon av 1500 m <sup>2</sup>	
Ventilasjon	2.5 – 3.5	Rimeligst om kanaler kan legges innvendig i fabrikk	20 000
Vasketårn for luktfjerning	2 – 3		100 000
Skorstein	0 – 1,2	Avhenger av om det er nødvendig med høyt utslipp. Pris for 55 m høyt utløp	
SUM avrundet	9 – 13		

## 7 BESKRIVELSE AV LØSNINGER

Dette kapitlet inneholder en beskrivelse av løsninger og kostnader for de ulike tiltak.

### 7.1 INNKAPSLING OG LOKALAVSUG

I denne rapporten kan begrepet punktavsug enkelte steder være brukt i stedet for lokalavsug.

#### 7.1.1 Oversikt

Dette kapitlet handler om hvordan man bør innrette avsug fra transportutstyr i fiskemelindustrien.

#### 7.1.2 Sammenhengen mellom lekkasjearealer, undertrykk og luftmengder

Når det er et undertrykk inne under en innkapsling suges luft inn fra omgivelsene. Se

*Figur 4.* Hastigheten som luften suges inn med er gitt ved formelen:

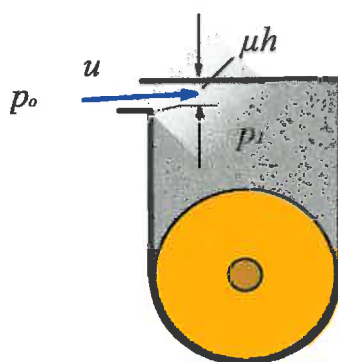
$$u = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} \quad (1)$$

Luftens tetthet kan for dette formålet regnes forenklet som avhengig bare av temperaturen:

$$\rho = 1,29 \text{ kg/m}^3 \cdot \left( \frac{273}{t + 273} \right) \quad (2)$$

hvor:

$\Delta p =$	trykkdifferanse over innkapslingen	[Pa]
$t =$	temperaturen i luft en som suges inn	[°C]
$u =$	maksimal lufthastighet gjennom åpningen	[m/s]
$\mu =$	kontraksjonsfaktor. Varierer mellom 0,6 og 1	[-]
$\rho =$	tetthet i luften som suges inn	[kg/m <sup>3</sup> ]



Figur 4 Undertrykk inne under innkapslingen suger luft fra omgivelsene.

Når luften suges inn gjennom en skarpkantet åpning trekker luftstrømmen seg sammen like innenfor åpningen, som vist på Figur 4. Dette betyr at vi får en effektiv åpningshøyde som kan skrives som  $\mu h$ , hvor  $\mu$  er en kontraksjonsfaktor.

Luftmengden som trekkes inn gjennom en åpning med lengde  $L$  og spalteåpning  $h$  er da gitt ved:

$$q = \mu \cdot h \cdot L \quad (3)$$

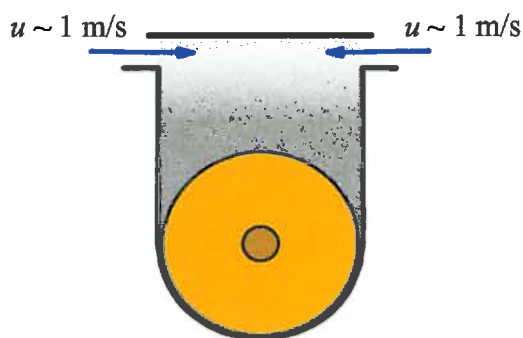
#### Eksempel 1 – beregning av hastighet og luftmengde gjennom en lekkasjeåpning.

Tabell 2 Hastighet og luftmengde inn gjennom en lekkasjeåpning.

Trykkdifferanse	$\Delta p$	3 Pa
Lufttemperatur utenfor innkapslingen	$t_o$	30 °C
Luftens tetthet utenfor transportøren	$\rho_o$	1,16 kg/m <sup>3</sup>
Lufthastighet inn gjennom lekkasjeåpningen	$u$	2,27 m/s
Åpningens høyde	$h$	0,05 m
Åpningens lengde	$L$	3,00 m
Åpningsareal	$A$	0,15 m <sup>2</sup>
Kontraksjonsfaktor	$\mu$	0,60
Luftmengde	$q$	0,20 m <sup>3</sup> /s
	$q$	735 m <sup>3</sup> /h

### 7.1.3 Oppfangingshastigheter for støv og gasser

Luften må strømme med en viss hastighet inn gjennom en spalteåpning for at den skal kunne hindre støv, damp og gasser fra å lekke ut til omgivelsene. Denne hastigheten bør ikke være mindre enn ca 1 m/s for at forurensningene ikke skal trenge ut til omgivelsene.

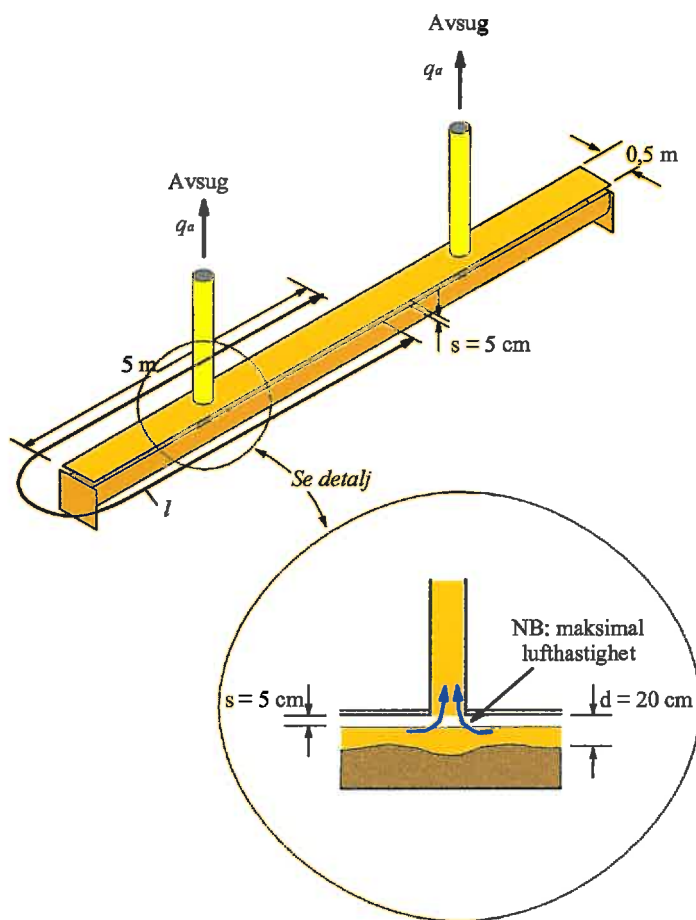


*Figur 5 Luften holder forurensningene inne i innkapslingen.*

Men lufthastigheten må heller ikke være for stor, for da blir avsugsmengdene for store. Avsugsmengde koster penger både i installasjon av utstyr og til drift av anleggene.

#### **7.1.4 Lufthastigheter under innkapslinger og avsugsmengder**

Figur 6 viser en transportør med lokk og avsug. Avsugsrørene er plassert med jevne mellomrom langs transportskruen. Avsugsmengden må være så stor at lufthastigheten inn gjennom lekkasjeåpningene blir stor nok til å hindre forurensningene i å slippe ut fra innkapslingen.



Figur 6 Avsug fra innkapslinger.

Nødvendig avsuget luftmengde for et avsugsrør er gitt ved formelen:

$$q_a = u \cdot l \cdot s \quad (4)$$

hvor:

- $q_a$  = avsugsmengden [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
- $u$  = innsugningshastigheten = ca 1 m/s
- $l$  = lengden av spalteåpningen = 10,5 meter
- $s$  = spalteåpningen mellom innkapslingen og transportøren = 0,05 m

### Eksempel 2 – beregning av avsugsmengde.

Avsugsrørene skal i dette tilfellet dekke en lengde på  $l = 5$  meter. Spalteåpningen mellom lokket og skruetransportøren er 5 cm. Avsugsmengden blir da som vist i tabellen nedenfor.

Tabell 3 Beregning av avsugsmengde i eksempelet.

Lekkasjehastighet	$u$	1 m/s
Innkapslingens lengde	$l$	10,50
Spaltehøyde	$h$	0,05 m
Lekkasjeareal	$A$	0,53 m <sup>2</sup>
Kontraksjonsfaktor	$\mu$	0,60
Nødvendig avtrekksmengde	$q_a$	0,32 m <sup>3</sup> /s
	$q_a$	1 134 m <sup>3</sup> /h

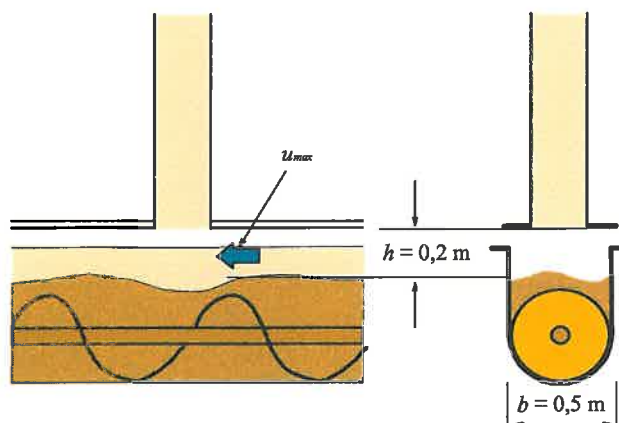
### Kommentar

I eksempel 2 ser vi at avsugsmengden lett blir veldig stor når spalteåpningen mellom lokk og skruetransportør er så stor 5 cm. Dersom man kan redusere spalteåpningen til for eksempel 2,5 cm, blir den nødvendige avsugsmengden halvparten så stor. Det best er om man kan sette lokket helt ned på skruetransportøren.

### Regel 1

Lag spalteåpningene mellom skruetransportører og lokk så små som mulig. Helst bør lokket ligge helt tett mot transportøren.

Når man lager slike innkapslinger må man kontrollere at lufthastigheten inne under innkapslingene ikke blir så store at de trekker med seg massen eller væsken som transporteres.



Figur 7 Luften inne under innkapslingen må ikke dra med seg fiskemelet.

Avsugsrøret fra innkapslingen i Figur 7 skal trekke ut luftmengden  $q_a$ . Halvparten av denne avsugsmengden kommer fra hver side av avsugsrøret. Lufthastigheten inne under innkapslingen blir da:

$$u_{\max} = \frac{q_a/2}{b \cdot h} \quad (5)$$

hvor:

$b =$	bredden under innkapslingen	[m]
$h =$	høyden under innkapslingen	[m]
$q_a =$	avsugsmengden	[m <sup>3</sup> /s]

#### Eksempel – lufthastighet under innkapslingen

Med de tallverdiene som er gitt i figurene ovenfor og i eksemplene får vi:

*Tabell 4 Beregning av avsugsmengde i eksempelet.*

Avsugsmengde	$q_a$	0,32 m <sup>3</sup> /s
Bredde under innkapslingen	$b$	0,50 m
Høyde under innkapslingen	$h$	0,20 m
Tverrsnittsareal under innkapslingen		0,10 m <sup>2</sup>
Maksimal lufthastighet under innkapslingen	$u_{\max}$	3,15 m/s

Man må vurdere om en lufthastighet på i overkant av 3 m/s vil dra med seg noe av fiskemelet i transportøren opp gjennom avsugssystemet. I så fall må man utforme lokket over transportskruen slik at det blir mer rom for luftstrømmen under lokket.

#### Regel 2

*Pass på at det blir nok rom over fiskemelet der hvor luften skal strømme inne under lokket, slik at luftstrømmen ikke river med seg fiskemelet.*

### 7.1.5 Dimensjonering av avsugsrøret

Lufthastigheten i avsugsrøret må være så stor at støv ikke sedimenterer i horisontalstrekke. Stor lufthastighet gir små rørdiametre, og dermed lave installasjonskostnader. Dessuten er det lettere å finne plass til små rør enn til store rør. Men når hastigheten i rørsystemet øker, så øker også trykkfallet. Da øker kostnadene til avsugsviftene, og energiforbruket øker sterkt. Som en praktisk middelvei velger vi hastigheter på 8 – 15 m/s. Ta 12 m/s som utgangspunkt når du dimensjonerer.



### Eksempel – valg av diameter i avsugsrør

Med de tallverdiene som er gitt i figurene ovenfor og i eksemplene får vi:

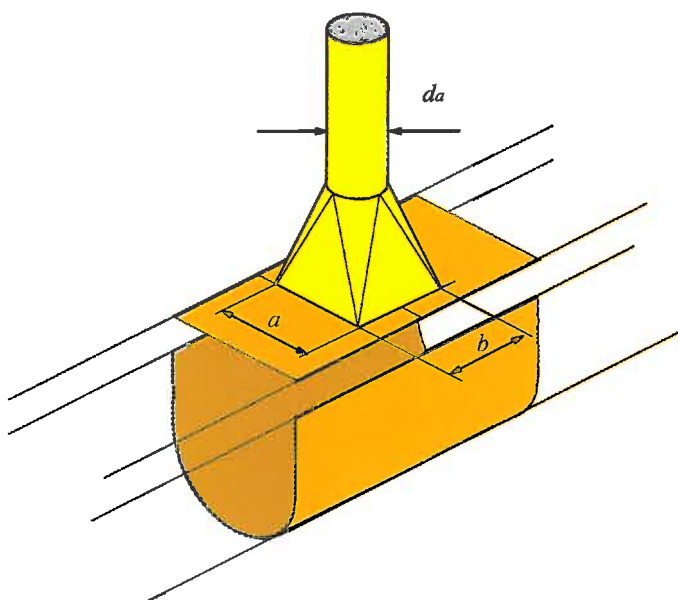
*Tabell 5 Beregning av diameter i avsugsrøret i eksempelet.*

Avsugsmengde	$q_a$	0,32 m <sup>3</sup> /s
Lufthastighet	$u$	12 m/s
Nødvendig tverrsnittsareal		0,03 m <sup>2</sup>
Diameter		0,18 m
		183 mm
Valgt standard diameter		200 mm
Lufthastighet i røret med den valgte standard diameteren		10,0 m/s

Med en lufthastighet på 12 m/s fikk vi en rørdiameter på 183 mm. Den nærmeste standard diameteren er 200 med mer. Når vi velger et 200 mm rør blir lufthastigheten i røret ca 10 m/s. Dette er et akseptabelt resultat.

#### 7.1.6 Utforming av stussen mellom innkapslingen og avsugsrøret

I avsugsrøret er det høy hastighet (8 – 15 m/s). Dersom man suger med så stor lufthastighet like over fiskemelet, vil fiskemelet suges opp i avsugsrøret. Derfor lager men en stuss slik som vist på Figur 8. Strømningsarealet i bunnen av stussen må være så stort at luftstrømmen ikke river med seg gods opp i avsugsrøret.



Figur 8 Utvidelse av avsugsrør i overgang mellom innkapsling og rør.

Litt forenklet, kan vi sette opp følgende formel for å finne nødvendig innløpsareal i stussen når vi ønsker en viss hastighet der:

$$A_{stuss} = A_{rør} \frac{u_{rør}}{u_{stuss}} \quad (6)$$

hvor:

$u_{rør}$	=	lufthastigheten i avsugsrøret	[m/s]
$u_{stuss}$	=	lufthastigheten ved innløpet til stussen	[m/s]
$A_{rør}$	=	tverrsnittsarealet i røret	[m <sup>2</sup> ]
$A_{stuss}$	=	tverrsnittsarealet ved innløpet til stussen	[m <sup>2</sup> ]

#### Eksempel – beregning av stussens dimensjoner

Hastigheten i avsugsrøret på Figur 8 er  $u_{rør} = 10$  m/s. For at *fiskemelet* i skruemateren ikke skal trekkes opp i avsugsrøret, ønsker vi at hastigheten nederst i stussen,  $u_{stuss}$ , ikke skal være mer enn 2 m/s. Med formel (6) får vi:

$$A_{stuss} = \left( 3,14 \cdot \frac{(0,2\text{ m})^2}{4} \right) \cdot \frac{10\text{ m/s}}{2\text{ m/s}} = 0,157\text{ m}^2$$

Dette arealet tilsvarer en firkant med sidekanter på

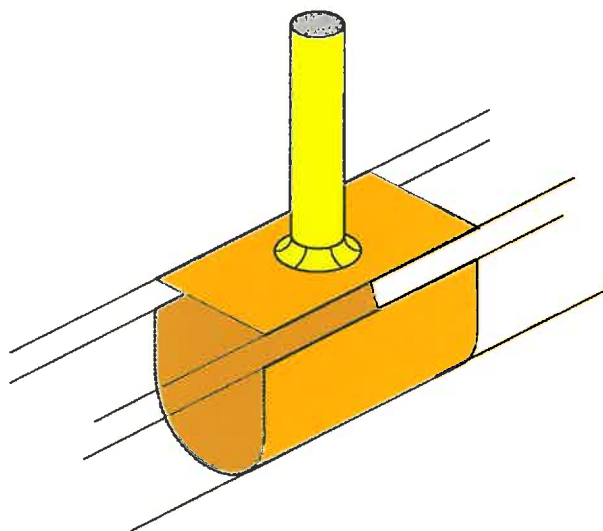
$$a = 300\text{ mm og } b = 290\text{ mm.}$$

(Se Figur 8 for betydningen av a og b).

### Regel 3

*Overgangen mellom innkapslinger og avsugsrør skal være så store at fiskemelet ikke blir suget inn i avsugsrøret..*

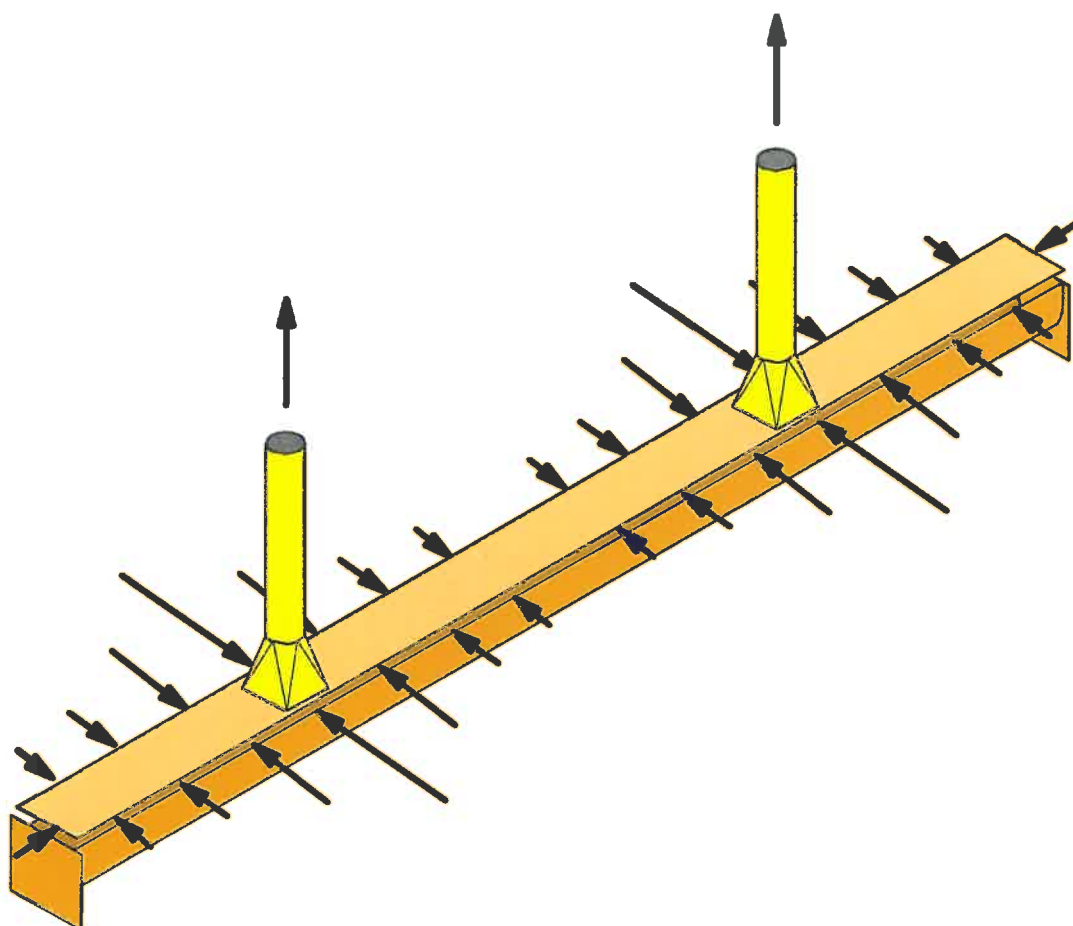
Dersom vi ikke behøver å ta hensyn til hastigheten ved innløpet i røret kan det være lurt å runde av overgangen mellom innkapslingen og røret slik som vist på Figur 9. Ved å sette på en slik avrundet overgang reduserer man strømningsmotstanden i overgangen.



*Figur 9 Avrunding av innløpet til avsugsrøret.*

#### 7.1.7 Fordeling av avsugspunktene langs transportøren

Avsuget inn gjennom spalteåpningen er sterkest i nærheten av avsugsrørene. Se Figur 10.



*Figur 10 Avsuget avtar med avstanden fra avsugsrøret, avhengig av hvordan man dimensjonerer.*

Det er en sammenheng mellom spalteåpningen, luftrommet inne under innkapslingen og nødvendig avstand mellom avspugpunktene. Disse sammenhengene må beregnes når man dimensjonerer et avspugsanlegg. Her skal vi bare ta med en generell regel:

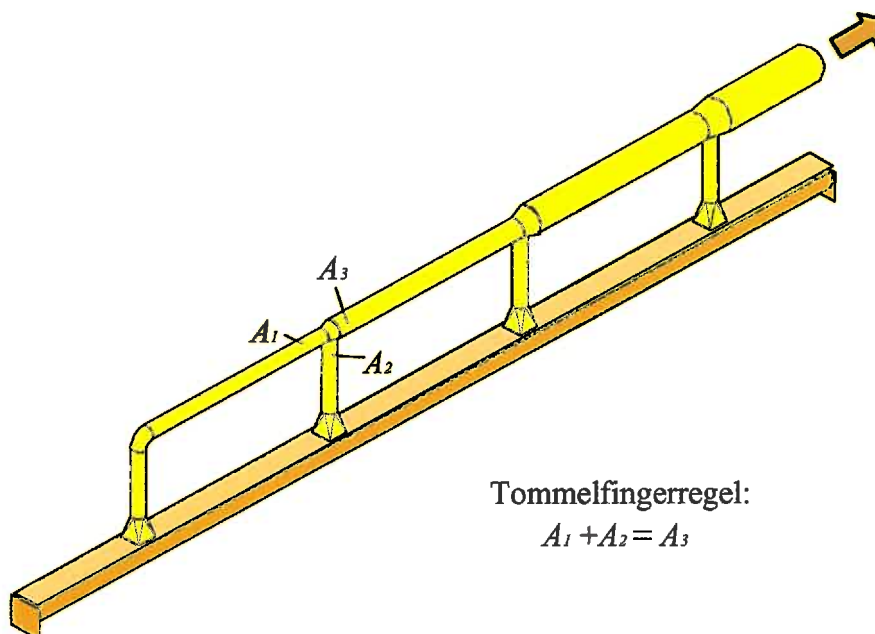
#### **Regel 4**

*Avtrekkene må fordeles langs transportøren. Avstanden mellom avsugsrørene øker når:*

- *når spalteåpningen avtar*
- *når luftrommet under innkapslingen øker.*

### 7.1.8 Forgrening av avsugsrør

Figur 11 viser et grenrør som har fire avsugspunkter fordelt langs en transportør. For at det skal bli jevnt avsug i alle avgreningene, må man beregne trykkforholdene i røret.



Figur 11 Når avsugsrør føyes sammen, må diameteren på samlerøret økes.

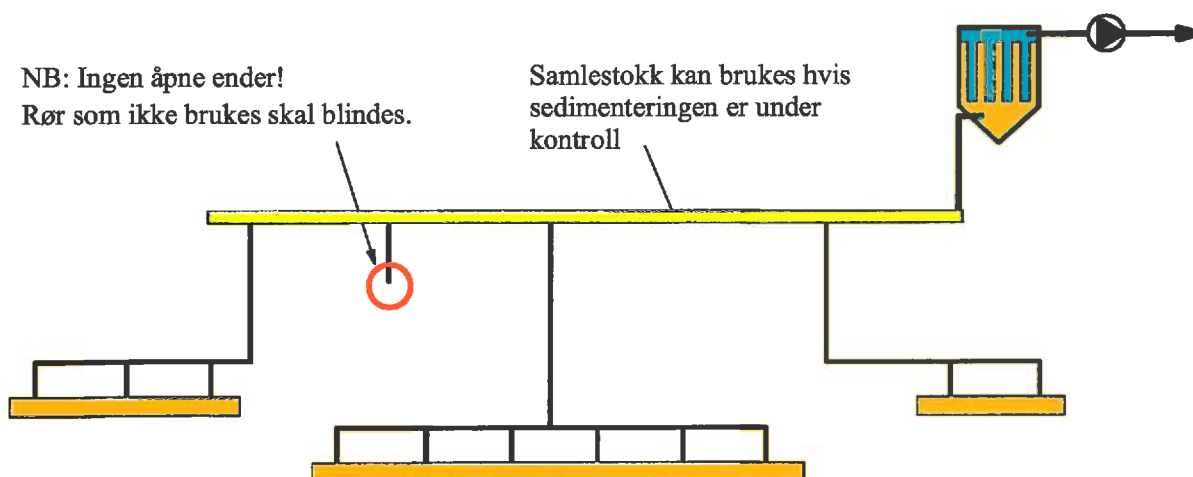
Som en tommelfingerregel kan det være greit å merke seg følgende:

#### Regel 5

Når to rør føyes sammen, må diameteren på samlerøret økes slik at samlerøret har samme tverrsnitt som summen av tverrsnittene i grenrørene.

### Rørnettverk

Dimensjonering av større nettverk av avsugsrør krever ordentlig dimensjonering for at de skal fungere godt. Noen hovedregler er vist på Figur 12.



*Figur 12 Nettverk av avsugsrør, filter og vifte.*

Når det settes sug på et nettverk, vil lufta prøve å ta den letteste vei gjennom nettverket til avsugsvifta. Hvis det står åpne rørender i nettverket, vil avsugsmengden i de andre grenene i nettverket reduseres drastisk.

#### **Regel 6**

*Avsugsnettverk må etterses med jevne mellomrom. Spesielt må man passe på å blinde åpne rørender, og tette steder hvor det er slitt hull på rørene.*

Etter som tiden går vil produksjonsutstyret endres, med dertil hørende endring i avsugsbehovet. Derfor kan det være hensiktsmessig å benytte rør med større diametre som samlestokker. På en samlestokk kan man enkelt blinde rør som ikke lenger er i bruk, og sette inn nye avsugsrør etter behov.

Nipler for trykkmåling monteres slik at innregulering og kontroll kan gjøres enkelt.

#### **Regel 7**

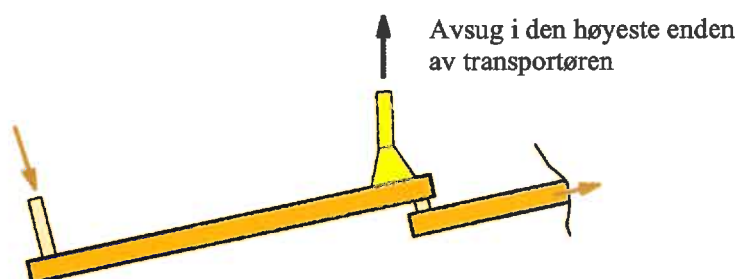
**NB:** *Hvis det brukes samlestokker i et avsugsanlegg, må man kontrollere fra tid til annen at det ikke legger seg støv på bunnen av samlerøret. Slike støvansamlinger vil i tidens løp kunne bli så tunge at samlestokkene faller ned.*

#### **Regel 8**

*Rør for lokalavsug lages slik at de kan reingjøres med varmt vann.*

### 7.1.9 Termiske drivtrykk – ”skorsteinseffekt”

Som regel er det høydeforskjell mellom endene i en skruetransportør. Når fiskemelet/massen som transporteres er varm, vil vi få en skorsteinseffekt i transportøren. Dvs. at lufta inne i transportøren suges inn i bunnen og presses ut på toppen pga. oppdriften.



*Figur 13 Avsuget bør plasseres i den høyeste enden når fiskemelet/massen som transporteres er varm.*

Pga. skorsteinseffekten bør man plassere avtrekket i den høyeste enden på transportøren når fiskemelet/massen som transporteres er varmere enn omgivelsene. Se Figur 13. Det er ikke sikkert at dette er tilstrekkelig til at det ikke siver forurenset luft ut fra transportøren i den øvre enden. For å sikre godt avsug må man beregne den samlede virkningen fra suget som skapes av avsug, og trykk-kreftene som skapes av skorsteinseffekten.

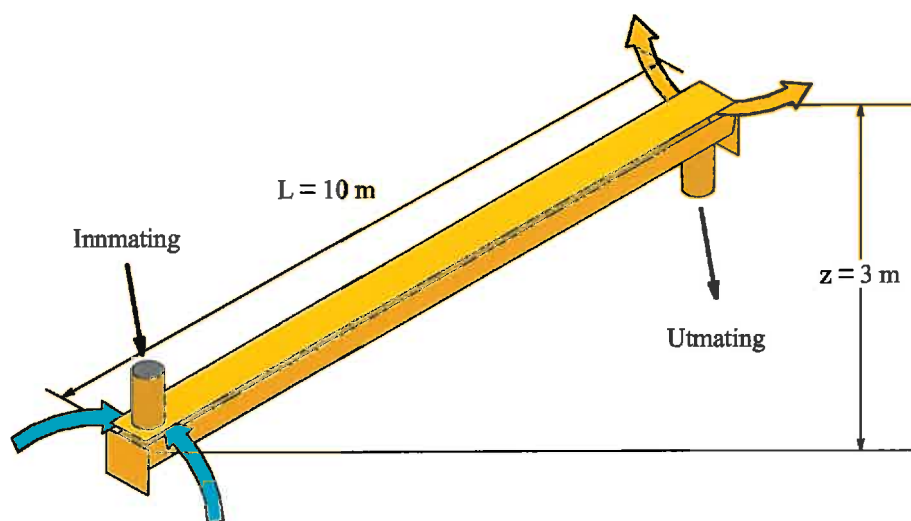
Dette termiske drivtrykket (skorsteinseffekten) er gitt av formelen:

$$\Delta p = \Delta \rho \cdot g \cdot z \quad (7)$$

hvor:

$\Delta p$ =	termisk drivtrykk	[Pa]
$\Delta \rho$ =	forskjell i tetthet mellom luften utenfor transportøren og inne i transportøren = $\rho_1 - \rho_0$	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_1$ =	tettheten i luften inne i transportøren	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\rho_0$ =	tettheten i luften utenfor transportøren	[kg/m <sup>3</sup> ]
$g$ =	tyngdens akselerasjon = 9,81 m/s <sup>2</sup>	
$z$ =	høydeforskjell mellom endene av transportøren	[m]





*Figur 14 Skruetransportør med 3 m høydeforskjell mellom inn- og utmating*

### *Eksempel – beregning av skorsteinseffekt*

Figur 14 viser en skruetransportør som har en høydeforskjell  $z = 3$  meter mellom inn- og utmating. Temperaturen på massen inne i transportøren er  $t_1 = 100$  °C. Temperaturen i luften omkring er  $t_o = 30$  °C.

Med de tallverdiene vi har valgt får vi følgende resultater:

*Tabell 6 Beregning av termisk drivtrykk.*

Høydeforskjell mellom endene av transportøren	$z$	3,0 meter
Temperatur inne i transportøren	$t_1$	100 °C
Temperaturen i luften utenfor transportøren	$t_o$	30 °C
Luftens tetthet inne i transportøren	$\rho_1$	0,95 kg/m <sup>3</sup>
Luftens tetthet inne i transportøren	$\rho_o$	1,16 kg/m <sup>3</sup>
Tetthetsdifferanse	$\Delta\rho$	0,22 kg/m <sup>3</sup>
Termisk drivtrykk	$\Delta p$	6,43 Pa

Når det er like store lekkasjearealer i begge endene mellom transportøren og lokket, vil trykkdifferensen mellom omgivelsene og transportøren fordele seg omtrent likt i begge ender, dvs. i nedre ende blir det et undertrykk (sug) inne i transportøren på 3,2 Pa. I overenden blir det et overtrykk inne i transportøren på 3,2 Pa.

#### **7.1.10 Behandling av luft fra lokalavsug**

Før luften eventuelt brukes som forbrenningsluft må fuktighet utkondenseres. Dette gjøres enklest i et sjøvanns- eller ferskvannsvasketårn.

#### **7.1.11 Kostnader**

Tabell 7 viser kostnader i forbindelse med lokalavsug mens Tabell 8 viser anslåtte totalkostnader for transportsruer.

*Tabell 7. Kostander for lokalavsug, inklusive materiell og arbeidskostnader. Egne erfaringspriser*

Avsug	1500 – 2000 kr per m <sup>2</sup> utstyr
Vifte	5 kr per m <sup>3</sup> /h
Filter	50 kr per m <sup>3</sup> /h

Tabell 8. Kostnad avsug fra transportskruer. Basert på egne overslag

Samlet lengde transportskruer	250 m	
Bredde	0.45 m	
Areal	112.5 m <sup>2</sup>	
Pris per kvadratmeter	2 000 kr/m <sup>2</sup>	
Sum	225 000 kr	225 000 kr
Anslått kostand til utbedring og tetting av lokk		500 000 kr
Anslått kostand til utbedring og tetting av omlastingspunkter		500 000 kr
Luftmengde		
Spalt	0.001 m	
Samlet spaltareal	0.25 m <sup>2</sup>	
Hastighet i spalt	1 m/s	
Volumstrøm	0.25 m <sup>3</sup> /s	
m <sup>3</sup> /h	900 m <sup>3</sup> /h	
Kostnad vifter	5 kr/m <sup>3</sup> /h	
sum vifter	4500 kr	4 500 kr
Sum total transportskruer		1 300 000 kr

Dersom vi antar en tilsvarende kostnad for annet prosessutstyr som trenger lokalavsug, får vi en kostnad på 2.6 millioner. I tillegg kommer kondenseringstårn med en kostnad på ca 0,5 millioner. For lokalavsug og kapsling kommer vi da fram til 3,1 millioner krone (2 til 4 millioner).

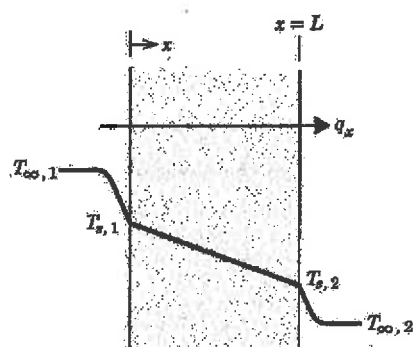
## 7.2 ISOLASJON AV VARME FLATER

En sildemelfabrikk i drift krever store mengder energi. Mange tonn med fisk medfører at mange tonn vann skal fjernes. Fabrikkene må også ha stor nok kapasitet til å ta unna råstoff i løpet av rimelig tid. Sammen med store energimengder betyr dette store effekter, i Vadsø er det typisk effekt på 30MW. Dette er en enorm varmelast å påtrykke et bygg. Det meste av effekten kondenseres ut med sjøvann, men en del varme går ut i selve bygget og videre til omgivelsene.

Denne varmeeffekten må fjernes. I våre målinger var denne effekten ca 2.3MW, der 1.5MW gikk ut med ventilasjonsluften og 0.8MW var transmisjon ut gjennom bygningskroppen.

En viktig oppgave til ventilasjonen er nettopp å fjerne denne overskuddsvarmen. Selv om 1.5MW fjernes med ventilasjon gav det likevel en temperatur på 45°C i taklukene. Skal ventilasjonen reduseres må overskuddsvarmen håndteres på andre måter.

### Varmedledning



Figur 15 – Varmedledning gjennom flate

Figur 15 viser hvordan temperaturen synker fra prosessen ( $T_{s1}$ ) til omgivelsene ( $T_{s2}$ ). For 1-dimensjonal varmedledning i et materiale gjelder denne formelen:

$$q_x = -kA \frac{\Delta t}{\Delta x}$$

For varmeovergang mellom et fluid og en overflate gjelder denne:

$$q = hA\Delta t$$

$q$  – er overført varme [W]

$k$  – er varmedledningsevnen (konduktiviteten) til materialet [W/mK]

$h$  – er varmeovergangstallet mellom fluid og overflate [W/m<sup>2</sup>K]

$A$  – er arealet for varmeoverføringen [m<sup>2</sup>]

$\Delta t$  – er temperaturdifferansen [K]

$\Delta x$  – tykkelsen [m]

Varmedoverføringen øker med økende areal og økende temperaturforskjell.

## Isolering

Når en isolerer prosessutstyret hindrer en varmen å komme ut i bygget. Varmen holdes inne i prosessen og fjernes derfra med utkondensering mot sjøvann. Den reduserte varmelasten til bygget kan dermed håndteres med en redusert ventilasjonsmengde.

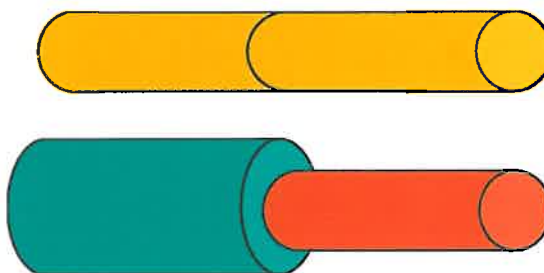
Temperaturproblemet løses nærmest mulig kilden til problemet, det er som regel den mest effektive måte å angripe det på.

Ved isolering reduserer en varmeoverføringen ved å legge inn et ekstra lag med et tykt nok materiale som har liten varmeledningsevne. Større tykkelse ( $\Delta x$ ) og lav k-verdi gir mindre overført varme.

Det varme prosessutstyret tildekkes av et isolerende materiale. En klassisk løsning er å legge et lag med steinull (10-15cm) og så mantles (lukkes) dette med syrefast stål ytterst.

Når en isolerer prosessutstyret så beholdes varmen i større grad i prosessen. Skal en lykkes med å holde varmen der er det fornuftig å isolere hele kjeden av prosessutstyr.

Et eksempel:



*Figur 16 - Delvis isolering av rør "presser" varmen andre steder*

Figur 16 viser et uisolert rør på 20m holder en temperatur på 60°C i snitt. Røret skal isoleres, men av praktiske årsaker blir bare halvparten isolert. Den isolerte delen får dermed mindre varmetap, men det medfører da en høyere temperatur på den gjenværende uisolerte delen som dermed får et større varmetap. I sum blir varmetapet redusert.

En delvis isolering kan altså "presse" varmen ut et annet sted. En kan sammenligne det med å bygge en demning, når en har fått den tettere et sted så stiger vannet litt og skaper dermed større press et annet sted og så må det forsterkes der, vannet stiger mer osv.

Når en isolerer prosessutstyret vil varmen hindres å nå ut og temperaturen i bygget reduseres følgelig. Når temperaturen i bygget reduseres vil en få større temperaturforskjell i mot det uisolerte prosessutstyret. Det gjør at bidragene fra de uisolerte delene vil øke. En kan tenke seg et litt ekstremt eksempel der en stor flate holder omtrent samme temperatur som omgivelsene – den er i balanse. Den avgir da lite varme selv om den har stor flate. Synker temperaturen til omgivelsene derimot noen grader kan flaten begynne å avgi varme og det kan bli en betydelig varmeavgivelse.

### Enkel metode for rangering av flater som skal isoleres

Ideelt bør en isolere det meste, men i praksis må en av kostnadmessige grunner prioritere der en kan få størst effekt av tiltaket. For prosessutstyret må det skaffes oversikt over:

- driftstemperatur på overflaten av prosessutstyret
- areal på overflatene
- sannsynlig temperatur på omgivelsene ( gjerne i den høyden utstyret står)

Et estimat for varmeovergangstalle for naturlig konveksjon er:

$$h = 1.66\Delta t^{0.33}$$

Dette gjelder for en vertikal flate som avgir varme mot den omgivende luft og det er varmen fra flaten som driver strømmingen forbi flaten.

Regner en varmeeffekt pr areal (spesifikk effekt) blir det:

$$\frac{q}{A} = 1.66\Delta t^{0.33} \cdot \Delta t = 1.66\Delta t^{1.33}$$

Dette er den konvektive andelen og den kan ofte være av samme størrelse som strålingsandelen. Her skal vi bare ha et overslag, derfor er det nøyaktig nok så lenge en ikke har altfor høye temperaturer.

Settes det inn temperaturdifferanser får en et overslag på den konvektive varmeavgivelsen – dvs varmen som overføres til luften.

For prosessutstyret i Vadsø får en denne tabellen:

		Areal	Temp	Temp	Temp	Spes. konv
	Komponent	[m <sup>2</sup> ]	flate	omgivelse	diff	effekt
			[C]	[C]	[K]	[W/m <sup>2</sup> ]
C2	Koketrakt	32,4	50,0	40,0	10,0	35,5
C8	Dekantere	23,7	60,0	40,0	20,0	89,2
C61	Kondenseringstårn	28,2	54,5	35,0	19,5	86,6
G5	Spillvarmeinndamper	28,2	54,5	35,0	19,5	86,6
	Separatorer	37,7	53,0	30,0	23,0	107,4
<b>C7</b>	<b>Dekanter</b>	11,8	88,9	40,0	48,9	<b>293,3</b>
C44	Melkjøler	88,7	53,0	30,0	23,0	107,4
<b>Dampr.</b>	<b>Diverse damprør</b>	31,4	110,0	35,0	75,0	<b>517,5</b>
<b>C1</b>	<b>Råstoff-forvarmer</b>	90,7	90,0	45,0	45,0	<b>262,3</b>
C3-4	Kokere	171,0	60,0	40,0	20,0	89,2
Tanker	T. for pressvæske,kondensat	335,0	57,8	35,0	22,8	106,4
C27-C29	150-Tørker	300,2	56,6	30,0	26,6	130,4
<b>Skruer</b>	<b>Transportskruer</b>	248,7	70,0	30,0	40,0	<b>224,3</b>
Rør_fukt	Kanaler for luft til og fra tørker	646,1	53,7	35,0	18,7	81,6
C30-C35	90-Tørker	530,1	53,9	30,0	23,9	113,1
Innd.tr.	Inndampertrinn	585,0	61,8	35,0	26,8	131,9
<b>C13-C14</b>	<b>Presser</b>	220,3	80,0	30,0	50,0	<b>301,8</b>

Arealet inngår strengt tatt ikke i formelen, men vi tar det med i tabellen for å vise hvilket omfang en har.

I tabellen er det 4-5 komponenter som merker seg ut med stor spesifikk konvektiv effekt. Det er som regel best å isolere de komponentene som har høyest effekt. En må også vurdere arealet. Dekanter og presser har spesifikk konvektiv effekt på omtrent 300 W/m<sup>2</sup>, men pressene har 20 ganger større areal. Da monner det mye mer å isolere pressene.

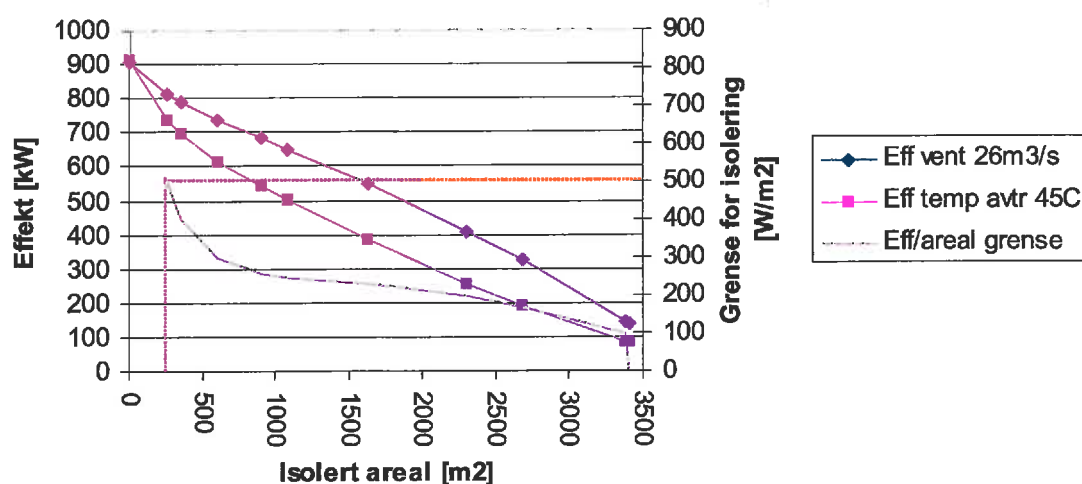
### Effekt av isolering

Vi har brukt en litt mer komplisert modell for å anslå temperatur og effektutviklingen etterhvert som en isolerer mer utstyr. Denne modellen tar også med varmeovergang ved stråling og det gir en mer realistisk effektagivelse.

		Areal	Temp flate	Spes. konv	Spes.	Effekt
	Komponent	[m <sup>2</sup> ]	[C]	effekt	effekt	[kW]
				[W/m <sup>2</sup> ]	[W/m <sup>2</sup> ]	
C2	Koketrakt	32,4	50,0	35,5	73,8	2,4
C8	Dekantere	23,7	60,0	89,2	232,5	5,5
C61	Kondenseringstårn	28,2	54,5	86,6	164,6	4,6
G5	Spillvarmeinndamper	28,2	54,5	86,6	164,6	4,6
	Separatorer	37,7	53,0	107,5	191,5	7,2
<b>C7</b>	<b>Dekanter</b>	<b>11,8</b>	<b>88,9</b>	<b>293,3</b>	<b>696,6</b>	<b>8,2</b>
C44	Melkjøler	88,7	53,0	107,5	206,5	18,3
<b>Dampr.</b>	<b>Diverse damprør</b>	<b>31,4</b>	<b>110,0</b>	<b>517,5</b>	<b>891,0</b>	<b>28,0</b>
C1	Råstoff-forvarmer	90,7	90,0	262,4	482,2	43,7
C3-4	Kokere	171,0	60,0	89,2	258,4	44,2
Tanker	T. for pressvæske,kondensat	335,0	57,8	106,4	189,6	63,5
C27-C29	150-Tørker	300,2	56,6	130,4	262,8	78,9
Skruer	Transportskruer	248,7	70,0	224,3	368,5	91,6
Rør_fukt	Kanaler for luft til og fra tørker	646,1	53,7	81,6	163,4	105,6
C30-C35	90-Tørker	530,1	53,9	113,1	232,2	123,1
Innd.tr.	Inndampertrinn	585,0	61,8	131,9	222,1	129,9
<b>C13-C14</b>	<b>Presser</b>	<b>220,3</b>	<b>80,0</b>	<b>301,8</b>	<b>705,3</b>	<b>155,4</b>
Sum		3409,4				914,9

I modellen kan det legges på isolering i flere trinn. Feks kan en isolere alt utstyr som har spesifikk effekt større enn 500 W/m<sup>2</sup>. Da får en med dekanter, damprør og presser som tilsammen har et areal på 264 m<sup>2</sup>





Figur 17 - Varme fra prosessen avhengig av isolert areal

Figur 17 viser varmeavgivelsen fra prosessen som funksjon av isolert areal. Grensen for hvilken spesifikk effekt som er isolert er også inntegnet.

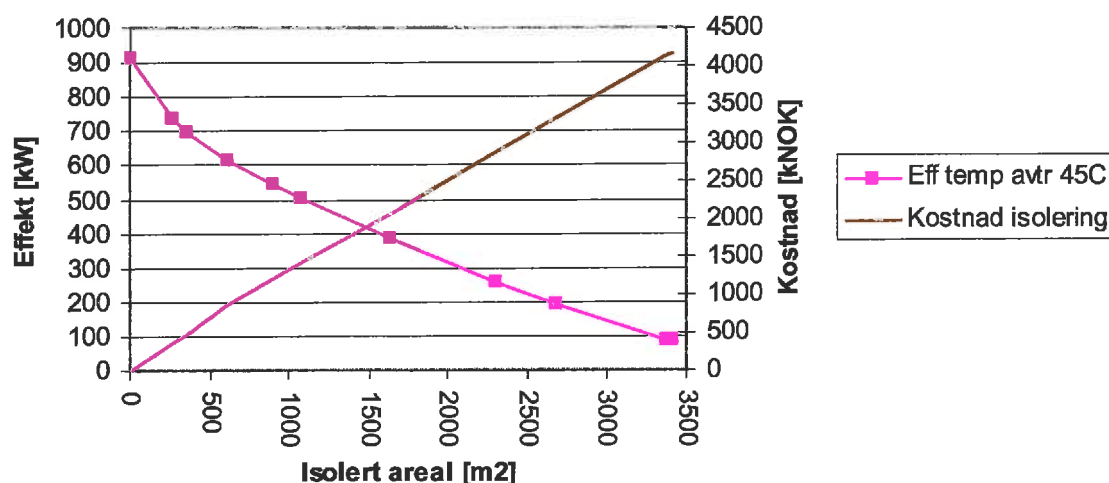
Med de valgte komponentene isolerte kan en regne ut hvor mye varmeavgivelsen blir. En kan velge 2 strategier for hva som skal skje:

- holde temperaturen i avtrekket konstant (45°C) og la luftmengden synke
- holde luftmengden konstant (26m³/s) og la avtrekkstemperaturen synke

Ved å isolere flere og flere komponenter får en et større isolert areal og mindre avgitt varme fra prosessen. Isoleringen har en tykkelse på 10cm.

## Kostnader

Det er innhentet et grovestimat over kostnadene ved isolering. Det er valgt 10cm steinull med mantling av syrefast stål.



Figur 18 - Kostnader ved isolering

Figur 18 viser kostnadene ved isolering som funksjon av isolert areal. For full isolering av alt prosessutstyr koster det ca. 4.5 mill NOK.

## **Andre momenter**

### **Hygiene**

I en fiskemelfabrikk finner en alle betingelser for uønsket mikrobiell vekst. Det er store mengder organisk materiale, det er varmt, det er fuktig, det er stor kompleksitet i prosessutstyret og store lokaler. Det er essensielt å ha god hygiene, godt renhold og god kontroll på tilstanden gjennom prosessen. Er temperaturen høy nok vil en unngå ukontrollert vekst, men utilsiktet kan deler av prosessen få en lavere temperatur.

Ved isolering dekker en til prosessutstyret og en får da mindre muligheter til oppdage feilsituasjoner. En liten skade innenfor isolasjonen kan feks. nedfukte deler av den innkapslete isolasjonen, det kan oppstå lommer med gode betingelser for vekst og det oppdages ikke fordi mantlingen skjuler det hele.

Punktavsug kan også reguleres feil slik at det noen steder suges av altfor mye luft. Luften er ikke ren og store luftmengder kan lokalt kjøle ned produktet og en har ikke helt kontroll.

### **Drift og renhold**

Det er viktig at tiltakene ikke lager vanskeligheter for driften av fabrikk. Et slikt eksempel kan være isolering av prosessutstyr som demonteres ofte eller der en trenger stor grad av tilgjengelighet. Hvis den påsatte isolasjonen er til hinder vil den få kort levetid.

Skaper isolasjonen vansker må det vurderes spesielle løsninger for det utstyret.

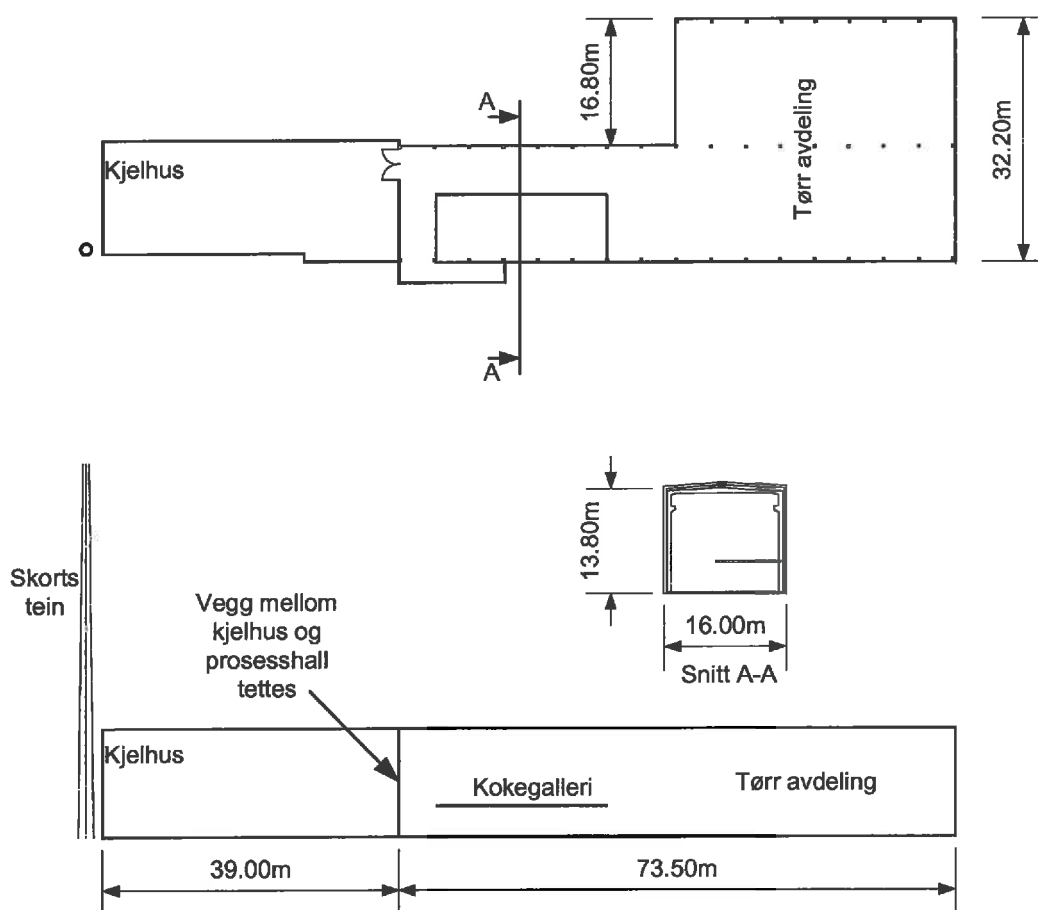
### **Andre begrensinger**

I noen tilfeller så kan en ikke benytte utvendig isolasjon. Feks en varmluftstørke – den har høy temperatur på innsiden. Isolerer en utvendig kan det bli så høye temperaturer at den kan skades.

### 7.3 OPPDELING AV ROM ETTER TYPE PROSESS

Det kan føre til mindre totalluftmengde å skille forurensnings- eller varmebelastede lokaler fra mindre belastede lokaler på en slik måte at varme eller forurensning fra en del ikke kommer over i en annen del. I for eksempel kjelhus er det normalt ingen luktutslipp og derfor ikke behov for å rense utslippene. Varmetilskuddet fra kjelen er betydelig og det er ugunstig om denne varmebelastningen føres over til prosessdelen og øker varmebelastningen her.

For fabrikk i Vadsø kan dette illustreres med at det i dag i veggen mellom kjelhus og prosesshall er store åpninger, se Figur 19. Det gjør at varm luft fra kjelhuset strømmer over i prosesshallen og at luft med lukt strømmer fra prosesshall til kjelhus. Dersom veggen tettes kan kjelhuset utstyres med egen ventilasjon gjennom luker, denne lufta trenger ingen rensing. Da vil total luftmengde som trenger rensing reduseres betydelig. Kjelen vil dessuten kunne trekke forbrenningsluft fra prosesshallen, slik at ventilasjonsluftmengden som trenger luktrenging reduseres betydelig.

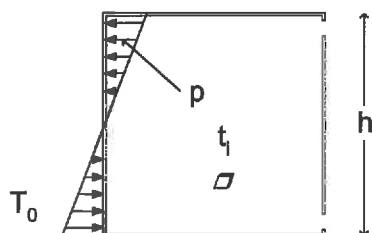


Figur 19. Fabrikkhallen i Vadsø med kjelhus.

## 7.4 VENTILASJON

### 7.4.1 Hovedprinsipper for tilførsel av ventilasjonsluft

Det er vanlig å skille mellom naturlig og mekanisk ventilasjon. Ved naturlig ventilasjon er det vind- og oppdriftskrefter (ofte kalt skorsteinseffekt) som er drivkraften. Vindkreftene gjør at luft vil strømme gjennom bygningen fra lo- til leside ved at luften lager et oppstuvningstrykk på losiden og et sug på lesiden. Oppdriftskraften oppstår på grunn av at varm luft har lavere tetthet enn kald luft, det vil si at en kubikkmeter varm luft er lettere enn en kubikkmeter kald luft. Varm luft inne i en fabrikkbygning vil derfor presse mot taket, mens kald uteluft vil presse mot veggene i den nedre del av bygningen. Dersom det er åpninger opp og nede vil den strømme gjennom bygningen. Jo større temperaturdifferanse det er mellom inne og ute, jo kraftigere luftstrøm. Trykkforskjellen blir også større jo høyere bygningen er. Dersom det samme temperatur fra innløp til utløp inne i bygningen er det relativt enkelt å regne ut luftmengden som strømmer gjennom bygningen.



Figur 20. Oppdriftsventilasjon, prinsip.

$$\Delta p = \Delta \rho \cdot g \cdot h = \rho \cdot g \cdot h \frac{\Delta T}{T_0} = 0.040 \cdot \Delta T \cdot h$$

$\rho$  - luftens tetthet [kg/m<sup>3</sup>]

$g$  - tyngdens akselerasjon [m/s<sup>2</sup>]

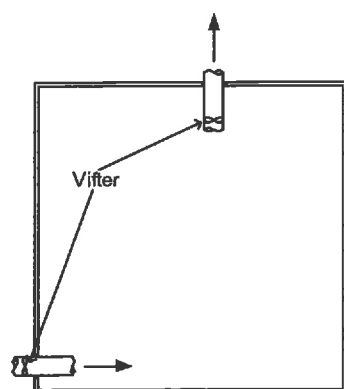
$T_0$  - temperatur for uteluft [K]

$\Delta T = t_i - t_o$ , temperaturdifferansen mellom inne- og utetemperatur [K]

$h$  - høydeforskjell mellom innløp og utløp [m]

Dersom det er ujevn temperatur inne i bygningen er beregningen mer komplisert.

Ved mekanisk ventilasjon er det vifter som brukes som drivkraft. Mekanisk ventilasjon fungerer derfor uavhengig av de klimatiske forhold. I sin enkleste form består den av en vifte plassert i innløp og utløp til lokalet som skal ventileres.



Figur 21. Den enkleste form for mekanisk ventilasjon

#### 7.4.2 Generelt om luftstrømmer i rom

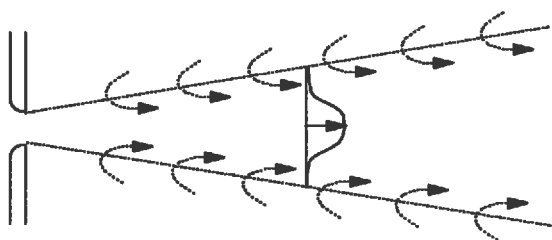
Vi har to prinsipper for ventilering av rom:

- Omrørings-/fortynningsventilasjon
- Fortrengningsventilasjon

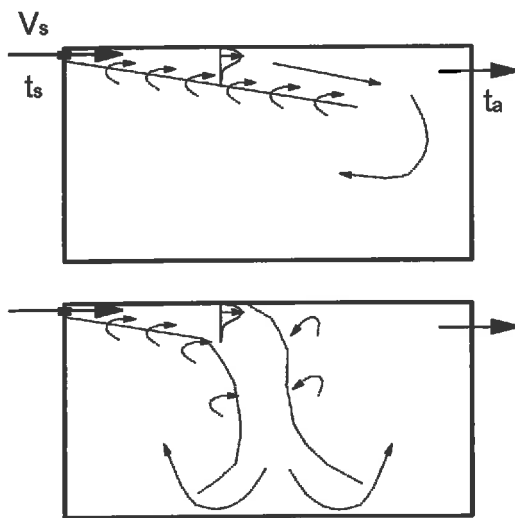
##### Omrørings-/fortynningsventilasjon

Omrøring lages ved å tilføre luft gjennom ventiler slik at det dannes luftstråler med relativt høy hastighet. Romluften rives med av strålene, og store luftmengder settes i sirkulasjon. Innblåsningen skjer i rommet utenfor oppholdssonen. Dermed får man redusert lufthastighetene og jevnet ut temperaturene så mye at klimaet oppleves trekkfritt. Siktemålet er også å oppnå en uttynning av forurensninger.

Stråler kan bre seg fritt i rommet eller langs en glatt vegg eller takflate. Figur 22 gir en skjematisk illustrasjon av en fri stråle som har omtrent samme temperatur som luften omkring. Stråler som brer seg langs en takflate vil ha en tendens til å klebe til flate og følge denne selv om strålen er kaldere enn romluften, se Figur 23.



Figur 22. Fri stråle.



Figur 23. Stråle som kleber til tak. Øverst en klebende stråle, nederst en stråle som er så kald at den "løsner" fra taket og faller ned i oppholdssonen.

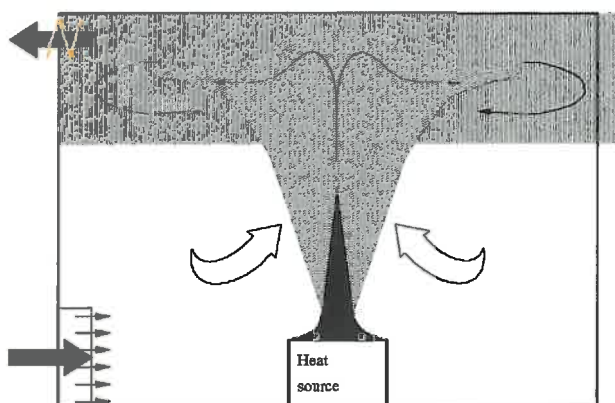
### Fortrengningsventilasjon

Rundt og over et varmt legeme varmes luften opp og danner en varm oppadgående luftstrøm (konveksjonsstrøm). I fortrengningsventilasjon brukes disse konveksjonsstrømmene til å transportere luft fra nedre til øvre del av rommet.

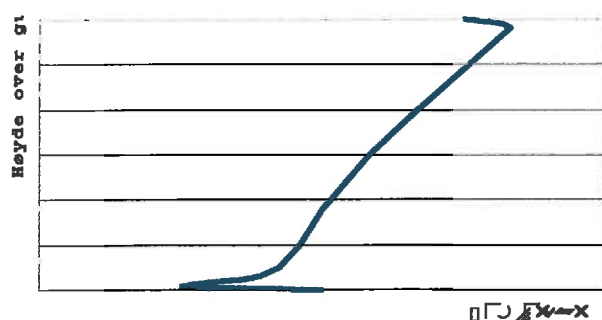
Friskluften tilføres med lav hastighet gjennom vertikale flater nær gulv og med litt lavere temperatur enn romtemperaturen. Den fordeler seg dermed utover langs gulvet.

Luften som de oppadgående konveksjonsstrømmene transporterer mot tak må erstattes av luft fra omgivelsene. I de nedre deler av rommet vil derfor luften strømme mot konveksjonsstrømmene og mates inn i disse. Rundt en varm maskin eller annen varm gjenstand vil det derfor dannes en oppadgående strøm av frisk luft, se Figur 24. Forurensninger/lukt som slippes ut nær en varm gjenstand vil blande seg med den oppadstrømmende lufta og transporteres mot øvre del av rommet. Slik dannes det et varmt forurensset sjikt oppunder tak.

Det må her legges til at i virkeligheten er strømningsbildet mer komplisert fordi det også vil være noen kjøligere flater som lager nedadgående konveksjonsstrømmer. Sluttresultatet er at man får en relativt jevnt stigende temperatur fra gulvet og oppover, se Figur 25. For forurensninger vil det som regel bli et mer markert skille mellom den nedre renluftssonen og den øvre forurensede sonen.

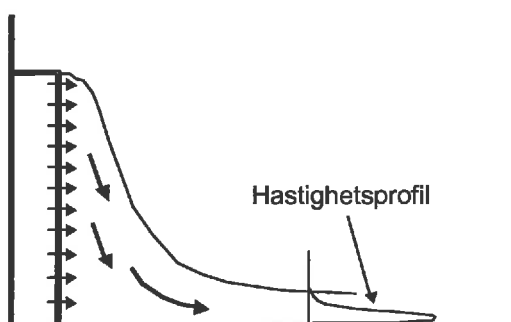


Figur 24. Prinsipp fortrenningsventilasjon



Figur 25. Typisk temperaturgradient i rom med fortrenningsventilasjon. Tilluftstemperatur 18 grader.

Luften som tilføres gjennom tilluftsåpningene er noe kjøligere enn romluften. Den vil derfor "falle" ned mot gulv slik at hastigheten øker, se Figur 26. Generelt vil stor temperaturforskjellen mellom romluft og tilluft, stor høyde på ventilen og høy hastigheten på tilluften gi høy hastighet nær gulv, se Figur 26.



Figur 26. Strømning fra tilluftsventil for fortrenningsventilasjon

### 7.4.3 Dimensjonering av ventilasjonsluftmengder

Dimensjonering av ventilasjonsluftmengder for en produksjonshall i en fiskemelsfabrikk vil skje ut fra to forhold:

1. Kontroll av forurensnings-/luktnivå inne i fabrikken
2. Kontroll av temperatur inne i fabrikken

#### 1. Luftmengde bestemt av forurensningskonsentrasjon

Luftmengden til forurensningskontroll er bestemt av

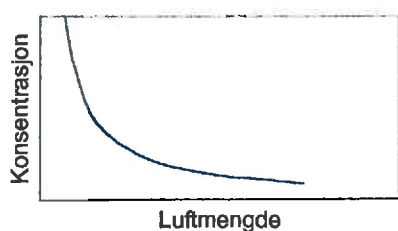
$$\dot{V} = \frac{\dot{m}}{C} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (8)$$

hvor:

$\dot{m}$  - forurensningsproduksjon i hallen,  $[\text{m}^3/\text{h}]$

$C$  - tillatt forurensningsnivå,  $[\text{ppm}]$

Figur 27 illustrerer sammenhengen vis i ligningen ovenfor. Dersom man setter strenge krav til tillatt forurensningsnivå så kreves det svært store luftmengder. Derfor er det i de fleste sammenhenger mest lønnsomt først å begrense forurensningsutslippene, se kapittel 7.1 side 16 om lokalavsug. I en fiskemelsfabrikk er det flere stoff som forurensner lufta og gir lukt. Det vil da være den som relativt sett ligger nærmest grenseverdien som skal brukes ved dimensjonering. Eventuelt kan det også tas hensyn til kombinasjonsvirkningen mellom flere stoff, (synergistisk effekt). Forurensningsproduksjonen er ofte ikke kjent og må måles.



Figur 27. Prinsipiell sammenheng mellom luftmengde og tillatt konsentrasjonsnivå

For oppholdssonen gjelder for så vidt det som er nevnt foran kun når luft og forurensning er godt blandet i lokalet. I en fiskemelsfabrikk vil vi som regel finne at lukt- og forurensningskonsentrasjon er høyere ved tak enn ved gulv.

#### 2. Temperatur.

I en sildemelfabrikk overføres det store varmemengder fra prosessutstyr til romlufta. Ved lave utetemperaturer vil en del av denne varmen forsvinne ut gjennom vegger, tak og vinduer, men i hovedsak må den fjernes ved hjelp av ventilasjon. Formelen nedenfor uttrykker hvor mye luft som må til for fjerne en viss varmemengde:



$$\dot{M} = \frac{Q \cdot 3600}{C_p \cdot \Delta T} \quad [\text{kg/h}] \quad (9)$$

hvor:

$Q$  – netto varmetilskudd til romlufta [ $\text{kW}=\text{kJ/s}$ ]

$C_p$  – spesifikk varmekapasitet for luft =  $1,005 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$

$\Delta T$  – temperaturdifferanse mellom luft inn og ut av lokalet, [ $^\circ\text{C}$ ]

Det gjøres om til  $\text{m}^3/\text{h}$  ved å multiplisere med tetthet

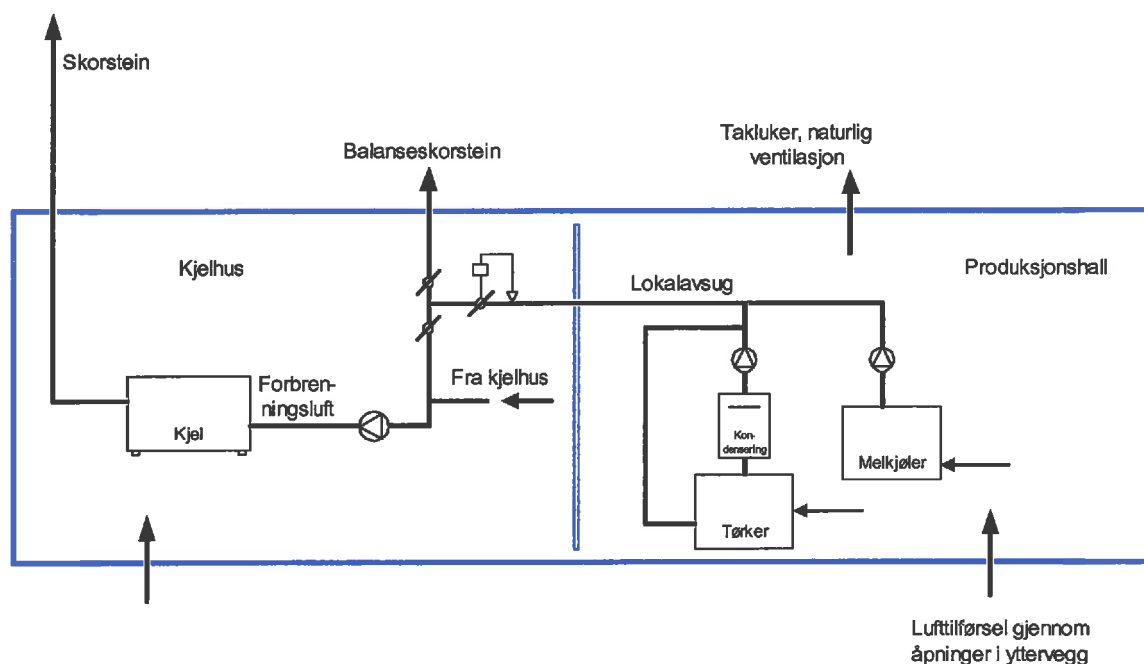
$$\dot{V} = \dot{M} \cdot \rho \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$\rho$  – luftas tetthet, [ $\text{kg/m}^3$ ] (ca  $1.2 \text{ kg/m}^3$  for luft av  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ )

*Dimensjonerende for luftmengden blir den største av 1 og 2 foran.*

#### 7.4.4 Fabrikken i Vadsø

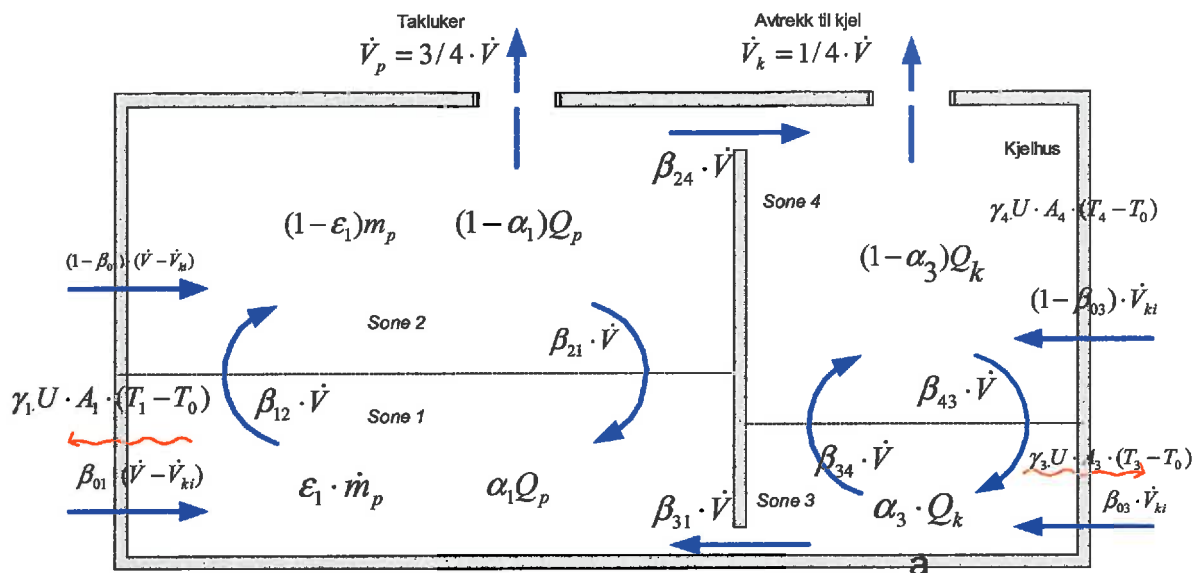
Figur 28 viser i prinsipp hvordan ventilasjon og lokalavsug fungerer ved fabrikken i Vadsø. Den generelle romventilasjonen er naturlig med unntak av luft som suges av i kjelhus som forbrenningsluft.



Figur 28. Ventilasjon og lokalavsug slik det i dag fungerer i fabrikken i Vadsø

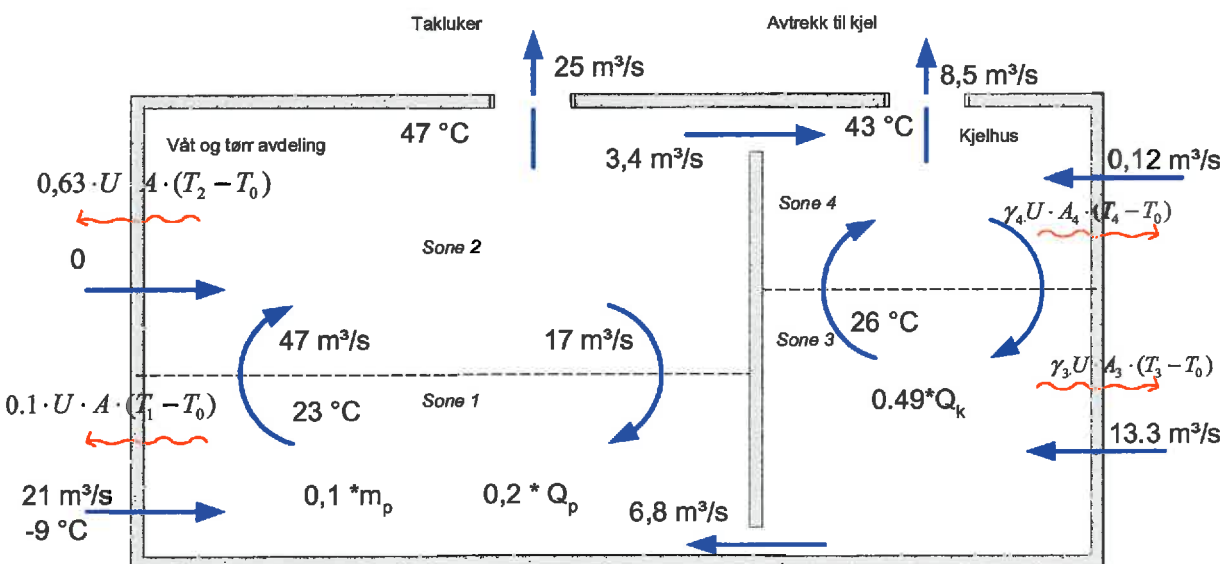
## Luftmengde beregnet etter målinger

Ved å del opp produksjonshallen i soner og deretter sette opp varme- og massebalanse for de enkelte soner er det mulig å danne seg et forenklet bilde av hvordan luftbevegelser samt masse og varmetransport skjer. Figur 29 viser modellen som er benyttet for fabrikkene i Vadsø.



Figur 29. Modell for beregning av luft-, amin- og varmestrømmer i produksjonshall.

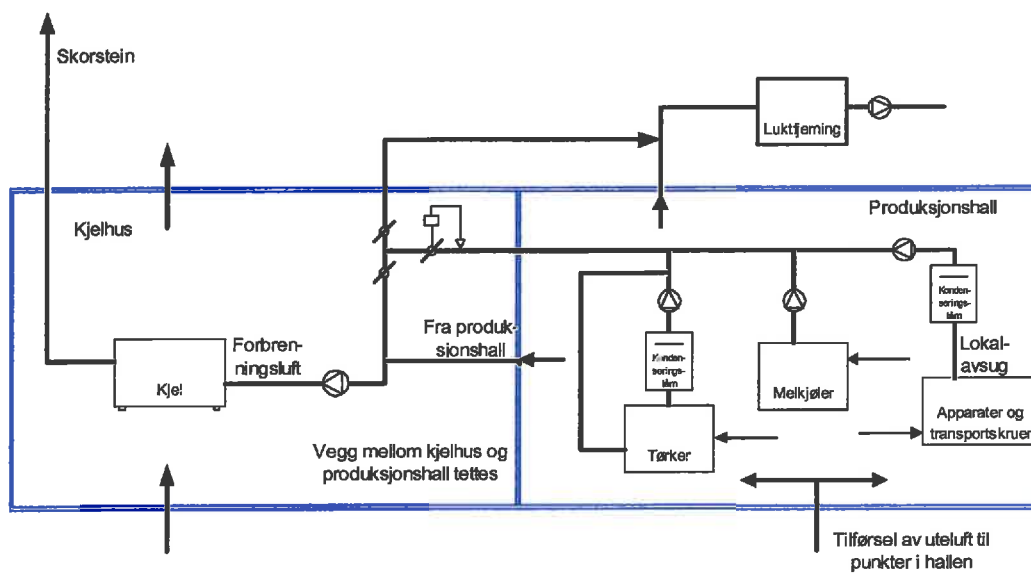
Figur 30 viser de beregnede luftmengder. Den viser også hvordan transmisjonsvarmetapet fordeler seg og hvor forurensningene (aminutslipp) oppstår. Data som er brukt som grunnlag er vist i vedlegg. Vi ser at 90% av aminutslippene skjer i øvre sone eller i konveksjonsstrømmer som leder til øvre sone. Videre ser vi at det meste av varmetapet gjennom yttervegger skjer fra den øvre sonen.



Figur 30. Luftmengder beregnet fra målinger.

## Ventilasjonsløsninger for Vadsø Sildoljefabrikk

Figur 31 viser en løsning for ventilasjon og lokalavsug for fabrikk i Vadsø. Balanseskorsteinen er her fjernet og erstattet med en kanal som fører luft til luktreanseanlegget. Primært skal luft fra lokalavsug kjøres som forbrenningsluft til kjel. Dersom kjelen skulle falle ut en periode må luft fra lokalavsug kjøres gjennom luktreanseanlegget. Dette vil da få forhøyet gjennomstrømningshastighet.

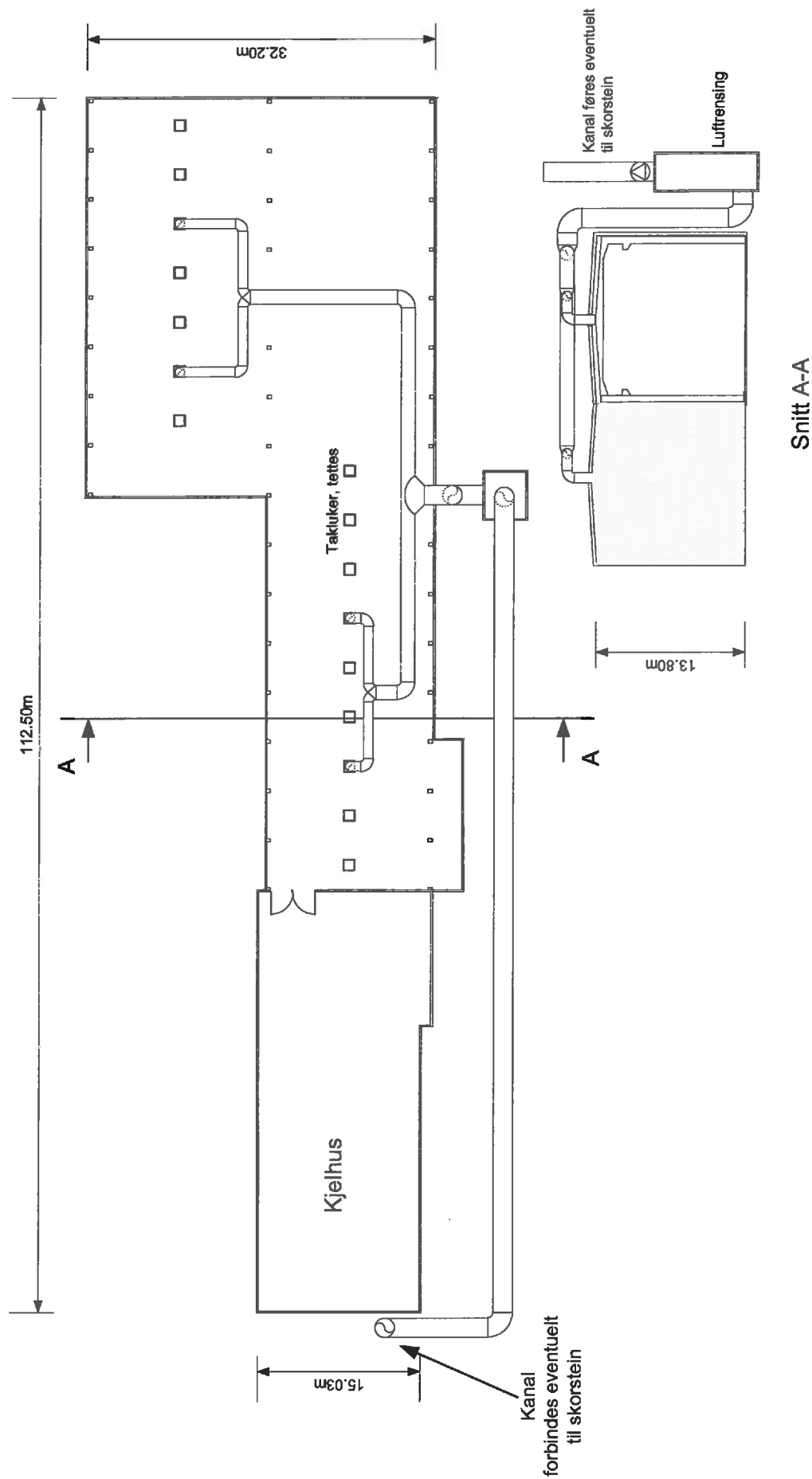


Figur 31. Løsning for ventilasjon i Vadsø.

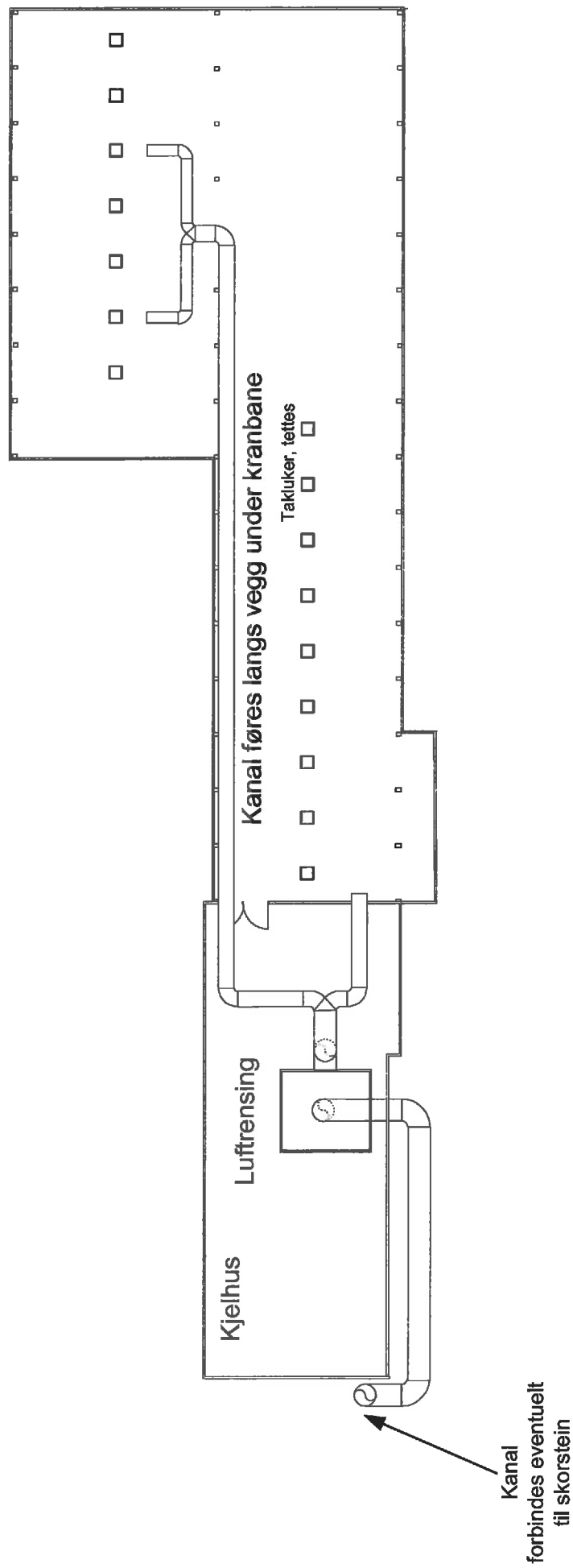
Figur 32, Figur 33 og Figur 34 viser hvordan ventilasjonskanaler kan installeres i Vadsø. Avtrekksløsningen med utvendig kanal blir vesentlig dyrere enn den innvendige løsningen. Innvendig løsning foretrekkes derfor dersom plassforholdene tillater det.

Tilluft bør føres fram til punkter hvor det er mest behov for romkjøling og tilføres med lav hastighet slik at prinsippet om fortrenningsventilasjon opprettholdes.





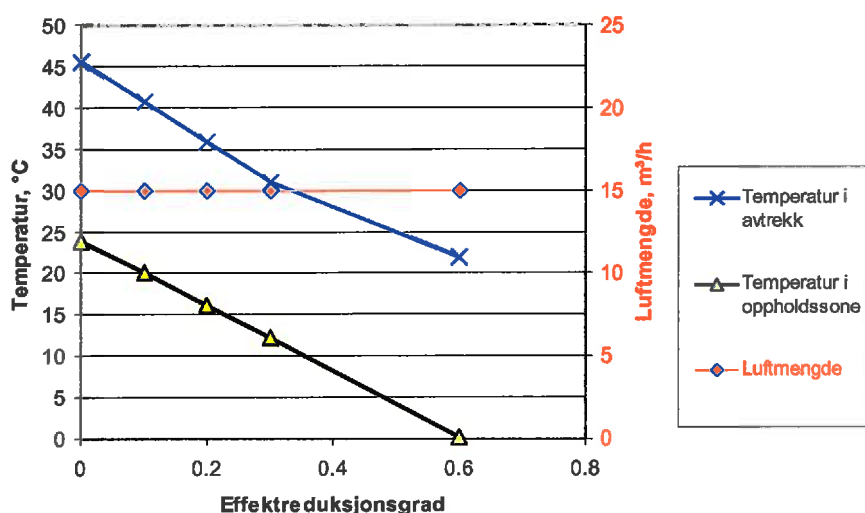
Figur 33 Avtrekksløsning



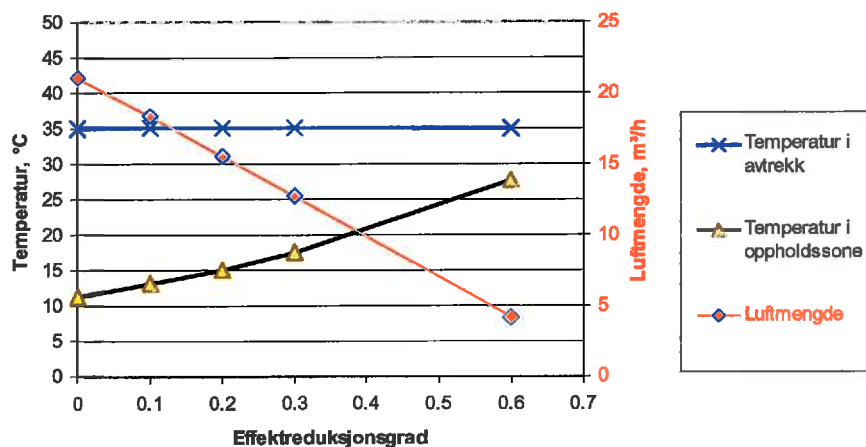
Figur 34. Alternativ avtrekksløsning

Figur 35, Figur 36 og Figur 37 hvordan temperaturen i avtrekk og oppholdssone (sone 2 og 1 i Figur 30) samt luftmengder varierer med isolasjonsgraden. Det er brukt tre ulike betraktningmåter i figurene, konstant luftmengde, konstant temperatur i avtrekk og konstant temperatur i oppholdssone. Beregningsmodellen som er benyttet baserer seg på masse- og varmebalanser, teori for konveksjonsstrømmer og data fra Figur 30. Luftmengdene er luftmengde i avtrekk.

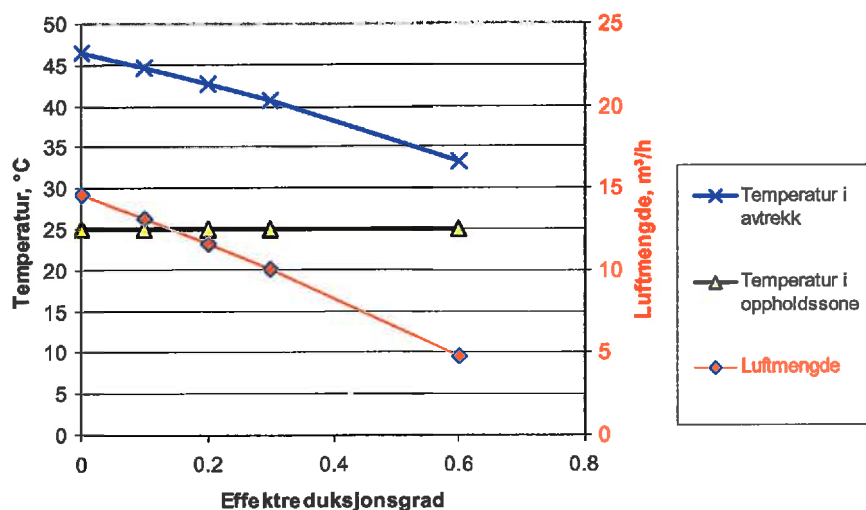
Effektreduksjonsgraden i figurene kan finnes av Figur 17 side 36 ved å ta 1 minus aktuell effekt dividert med effekt uten isolasjon. Dersom 1000 m<sup>2</sup> isoleres gir det en isolasjonsgrad ved konstant avtrekkstemperatur på  $1 - \frac{550}{900} = 0.39$ . Av Figur 36 ser vi da at ventilasjonen kan reduseres fra ca 21 m<sup>3</sup>/s til 10.5 m<sup>3</sup>/s.



Figur 35. Temperatur i avtrekksone og arbeidssone (oppholdssone) som funksjon av effektreduksjonsgrad (isolasjon). Konstant ventilasjonsluftmengde. Utetemperatur -9°C



Figur 36. Temperatur i arbeidssone (oppholdssone) og luftmengde som funksjon av effektreduksjonsgrad (isolasjon). Konstant temperatur i avtrekkssone. Utetemperatur  $-9^{\circ}\text{C}$



Figur 37 Temperatur i avtrekkssone og luftmengde som funksjon av effektreduksjonsgrad (isolasjon). Konstant temperatur i arbeidssone (oppholdssone). Utetemperatur  $-9^{\circ}\text{C}$



**Kostnader**

Fra YIT Building Systems er overslagsmessige priser vist i Tabell 9 innhentet. Avtrekksanlegg er beregnet etter alternativ løsning, se Figur 34

*Tabell 9. Priser ventilasjon***Tilluftsanlegg**

Sum tilluftsanlegg, 90.000 m <sup>3</sup> /h	832 000
Pris pr. m <sup>3</sup> /h	9.2

**Avtrekksanlegg**

Sum avtrekksanlegg, 60.000 m <sup>3</sup> /h	952 500
Pris pr. m <sup>3</sup> /h	15.9

**Felles kostnader**

Sum felleskostnader	731 000
Sum budsjettpris	2 515 500
Pris pr. m <sup>3</sup> /h	16.8

## 7.5 RENSING AV LUFT

Dette kapitlet bygger på opplysninger fra kildene /11/, /14/, /15/, /16/, /17/ og /18/.

Det var gjort undersøkelser på virkning av forskjellige luktrensemetoder for fiskemelindustrien på 1970-tallet, /17/ summerer opp en del resultater. Her er rensemetodene forbrenning, sjøvannsvasking og vasking med kjemikalier undersøkt. dk-TEKNIK har undersøkt renseeffektivitet for 3 pilotinstallasjoner, /16/; aktivt kullfilter, katalytisk forbrenning og kjemisk absorpsjonstårn for sugelosseluft samt 2 fullskala renseanlegg for prosessluft; dette var hhv 1- og 2-trinns kjemisk scrubber.

Videre har fiskemelsbransjen gjort mange erfaringer ved installasjoner av luktrenseanlegg på norske fabrikker. Dette er erfaringer i renseeffektivitet, drift og kostnad for installasjon og operasjon. Slike erfaringer er formidlet til SINTEF fra prosjektets styringsgruppe fra industrien.

Luftrensing bør prioriteres slik:

1. Alt av den mest forurensede luften bør brennes; Luft fra tørker, melkjøler og punktavsug. Det innrettes slik at denne luften ved stopp i kjel sendes til øvrig renseanlegg. Ved overkapasitet på kjel mates den med noe luft fra romluftsventilasjonen.
2. Ventilasjonsluften vaskes i en rikelig dimensjonert 1. trinns sjøvannsvasker. Det må etterstrebes høyest mulig effektivitet, og 95-99 % er kanskje realistisk.
3. Sluttrensingen av ventilasjonsluften kan forsøkes gjort i en eller 2 seriemonterte sjøvannsvaskere. Alternativet er kjemisk vasketårn. Men hvis man kan lykkes med å få høy nok renseeffekt i sjøvannstårn blir dette enklere løsninger som sannsynligvis er billigere i drift.

Bransjens erfaringer og litteratur synes å vise at katalytisk forbrenning, bruk av anlegg for forbrenning med varmeregenerering, aktivt kullfilter, biofilter, UV, ozon og ionisering alle har større ulemper, enten driftsmessig eller investeringsmessig enn forbrenning i kjel (tørke), sjøvannsvasking og evt. kjemisk vasking.

### *Priser på luftrenseanlegg*

Atlas Stord Norway AS tilbyr en sjøvannsvasker som i følgende utførelse koster NOK 1.500.000:  
dimensjonerende luftmengde: 130.000 m<sup>3</sup>/h  
materiale: plast, den tåler inngående lufttemperatur inntil 45 °C, pris i SS: 1.800.000  
utførelse: 2 trinn med fyllingsmateriale, kan brukes på sjø- eller ferskvann, også med kjemikalier  
sirkulert sjøvannsmengde: 2 X 200 m<sup>3</sup>/h  
dimensjoner: Ø 4.4 m, h 13.5 m

SILFAS Karmsund har installert en visstnok nesten identisk vasker, men ikke levert av ASN AS. SSF har gjort målinger på denne, /18/. Rensegraden er funnet til 75 %. Dette virker ganske lavt, men det er mest sannsynlig fordi luften inn på vaskeren allerede er ganske luktfri men omtrent 1200 LE/m<sup>3</sup>.

I Tabell 10 er det vist priser for rensenlegg basert på aktivt kull, katalytisk forbrenning, kjemisk absorpsjon og sjøvannsvasking. Prisene er hentet fra dansk rapport fra 1987 og omregnet til NOK 2003. I rapporten antydes renseeffekter for de ulike anleggstypene:

aktivt kullfilter:	99%
katalytisk forbrenning:	99%
3-trinns kjemisk vasker	85%
2-trinns kjemisk vasker:	80%
2-trinns sjøvannsvasker:	90%

*Tabell 10. Fra /16/, 1987. Prisene er regnet om til 2003-pris ved å multiplisere med 1.49 (konsumprisindeks fra 1987) og over til norske kroner ved å multiplisere med 1.05; totalt 1.57. Driftstid er satt til 3000 h/år*

Luftmengde (m <sup>3</sup> /h)	Anleggskostnad med montasje	Årlig driftskostnad (ekskl. vedlikehold)
<b>Aktivt kullfilter</b>		
10.000	1.052.000	110.000
20.000	1.444.000	204.000
100.000	3.611.000	1.350.000
<b>Katalytisk forbrenning</b>		
10.000	2.669.000	236.000
20.000	4.396.000	298.000
100.000	16.024.000	4.066.000
<b>Kjemisk absorpsjonsanlegg</b>		
10.000	1.821.000	25.000
	2.104.000	38.000
20.000	2.104.000	43.000
	2.826.000	61.000
100.000	4.553.000	220.000
	5.181.000	283.000
<b>Sjøvannsvasker</b>		
10.000	691.000	31.000
20.000	1.293.000	62.000
100.000	3.077.000	110.000

### *Sjøvannsvasking*

Sjøvannsvasking er mye brukt i denne industrien. De mest luktintense stoffene er lett vannløselige, slik som ammoniakk og TMA. Alle fabrikkene ligger ved kai og det er rikelig tilgang på kaldt sjøvann. Kaldt vann absorberer best, /17/. Sjøvannsvasking i et godt vasketårn kan typisk redusere mengden luktstoffer med 90-95%. Dette vil være for lite rensing for eksempel ventilasjonsluften men det kan være et første trinn i en flertrinnsrensing for å møte nye krav til luktutslipp.

Sjøvannsvasketårn brukes ofte for å kjøle luften og felle ut vanndamp. Utfelling av vanndamp er gunstig for luft som skal forbrennes i kjel, og den ettervarmes ofte etter vaskingen. Videre finnes

flere installasjoner for luftrensing med sjøvannsvasking i 1. trinn og kjemisk vasking i 1 eller 2 påfølgende trinn. Da fjernes det meste av luktstoffene i sjøvannsvaskeren, som er billigst.

Sjøvannsvasking kan også tenkes utført i flere trinn inntil luften er luktfri nok til å slippes ut. Da unngås problemer og kostnader som følger med kjemiske tilsetninger i vaskevannet og får lave driftskostnader og enkel drift. /17/ viser renseeffekt (65-99.8)% for sjøvannstårn. Dette er konsentrasjonsreduksjon av TMA fra inngående luftstrøm. Høyeste grad av rensing i sjøvannsvasketårn ble registrert på tårn med fyllmateriale av korrugerte plater (Stord Bartz), tårnet var 5 m<sup>2</sup> i tverrsnitt og hadde en vannsirkulasjon på 500 m<sup>3</sup>/h. Luftmengden var 46760 m<sup>3</sup>/h eller 19000 kg t.l./h. Flere kilder oppgir at sjøvannsvasketårn som har ekstra høy vannsirkulasjon får bedre luktreneeffekt. I samme undersøkelsen gav også 2 andre sjøvannsvasketårn renseeffektivitet i størrelse (95.5-97.1) %. Spraytårn synes ikke å gi like god renseeffekt.

### *Kjemisk vasking*

Det finnes en del erfaringer fra luktfjerning i fiskemelsfabrikker med scrubbere med ulike kjemikalietilsetninger. Det brukes både sure og basiske løsninger. Noen vasketårn leveres med begge deler, i ulike høyder. Bransjen har funnet ut at natriumhypokloritt kanskje er den gunstigste tilsetningen. Dette kan ikke brukes i sjøvann, og vasketårnet må derfor baseres på ferskvann. Det er erfart dobbelt så stor renseeffektivitet for natriumhypokloritt vasketårn i forhold til sjøvann under ellers like betingelser. Innkjøpsrisen er høyere enn for sjøvannsvasketårn og driftskostnadene omtrent like. Det kan være et spørsmål om videre utvikling og tilpasning av disse to teknologiene (kjemisk vask i forhold til sjøvann) for å finne ut hva som er mest økonomisk i lengden.

### *Forbrenning*

Brenning av luktkomponenter i forurenset luft er effektiv rensing. Mange kilder som refererer undersøkelser av renseeffektivitet oppgir 99.99 % som rensegrad av luft som har vært forbrent i dampkjel. Det er viktig at luften varmes opp nok, dvs til omtrent 750 °C i omtrent 0.5 s minst og at ikke deler av luften passerer i utkanten av flammen og varme soner. Det har vist seg i praksis at dampkjeler som er i bruk i fiskemelsindustrien gir effektiv luktremsing. I tillegg ledes forbrenningsgassene ut i høy skorstein, 56 m i Vadsø, som gir god spredning. Det er derfor fornuftig at mest mulig av den mest forurensede luften ledes inn til kjel for forbrenning. I Vadsø har kjelen behov for ca 30.000 m<sup>3</sup>/h og det vil være mulig å brenne overskuddsluften fra tørkene, melkjøler og punktavsugene. Dette er den mest luktbelastede luften.

Lufttilførselen til kjelen må innrettes slik at når kjelen går på betydelig redusert kapasitet og spesielt når den stoppes skal luften ledes inn til renseutstyret. Renseutstyret dimensjoneres noe rikelig slik at det kan tåle den ekstra luftmengden som normalt brennes av, uten at den totale renseeffektiviteten blir lavere enn en gitt verdi, sannsynligvis i området (99-99.5) %. Det bør tåles noe mer lukt i kortere perioder hvor dette kan bli aktuelt når prosessen driftes men kjel er stoppet eller kraftig redusert i ytelse. Videre må eventuell tilleggsluft til kjel utover luft fra tørker, melkjøler og punktavsug tas fra hallen. Denne luften tas med fordel fra kanal for romluftsventilasjon etter (første) sjøvannsvasker.

Det er også vanlig med forbrenning av luktforurenset luft fra varmluftstørkene i brenner som er en del av tørkeinstallasjonen. Dette fungerer erfaringsmessig like effektivt som brenning i dampkjel. Målinger har vist renseeffekter på (99-99.9)%.

Forbrenning kan også skje i spesielle luktreanseanlegg basert på regenerering av varmen med inntil 95 %. Fordelen med slike anlegg er at luktrensingen er uavhengig av drift på anleggets dampkjel. Men driftskostnadene blir høyere, se tabell 10.

#### *Katalytisk forbrenning*

Ved katalytisk forbrenning av luktholdig luft kan luktstoffene brytes ned ved 3-400 °C og det spares energi i forhold til å brenne luften når dette ikke gjøres for å dekke et eksisterende behov (dampbehov). Anleggskostnaden er svært høy og energikostnadene ved katalytisk forbrenning er også høye. Dessuten må katalysatoren regenereres jevnlig. Mjelde 2001 skriver at katalytisk forbrenning koster dobbelt så mye i drift som kjemisk scrubber. Renseeffekten er lavere enn i et brennkammer; omkring 90-95 %, men opp til 99 % er målt i Danmark, /16/.

#### *Absorpsjon på aktivt kull*

Metoden viser gode tall for rensing og anleggskostnadene er ikke spesielt høye. Men utskiftning av kull fører til høye driftsutgifter; 1.350.000 NOK/år for rensing av 100.000 m<sup>3</sup>/h basert på danske tall fra /16/.

#### *Biofilter*

Biofilter kan rense luktholdig luft effektivt og med lite driftskostnader. Men biofilteret som består av aktive bakterier i et bæremateriale, som for eksempel torv i 1 m tykkelse, må gies livgivende klima til enhver tid. Dette blir en driftsteknisk utfordring for norske fiskemelsfabrikker fordi alle fabrikkene har intermittert drift. Spesielt er Vadsø lite egnet for biofilter. Fabrikken har produksjon bare i en periode på våren. Resten av året måtte filteret holdes oppvarmet og bli tilført fuktig luft med næringsstoffer. Slike filter kan kanskje tenkes brukt på Vestlandet og først og fremst på fabrikker med mest mulig kontinuerlig drift. Det finnes slike filter i bruk i fiskemelsfabrikker i Cuxhafen, Tyskland og Vancouver Island, Canada. Men det kreves allikevel et utviklingsarbeid fordi slike filter ikke har vært brukt i intermittert drift med luft fra fiskemelsproduksjon i norsk klima.

## 7.6 PNEUMATISK TRANSPORT OG MØLLER

Kapittelet er basert på /15/, /16/ og /17/.

I Vadsø brukes pneumatisk transport av mel fra melkjøler over til mellager som er i en annen bygning. Det står en luftkompressor på fabrikkveggen som vender mot mellageret. Denne suger inn uteluft og luften slippes ut i det fri fra mellageret etter at mel er fraskilt. Luftmengden ble målt 29. januar til  $4400 \text{ m}^3/\text{h}$  men denne er noe usikker. Tilsvarende luftmengde for lignende meltransportanlegg hos Egersund Sildoljefabrikk er tidligere målt til  $5.700 \text{ m}^3/\text{h}$ . Luktinnholdet var målt til  $9200 \text{ LE}/\text{m}^3$  i Egersund og dette er sannsynligvis ganske likt med Vadsø. Hvis man regner luftmengden til  $5000 \text{ m}^3/\text{h}$  tilsvarer dette en luktblastning på  $46.000.000 \text{ LE}/\text{h}$ .

Det er 2 møller i bruk parallelt i Vadsø til formaling av tørket og kjølt mel. Disse står i mellagerbygningen. Møllene har en gjennomstrømmet luftmengde som 29. januar ble målt til  $3600 \text{ m}^3/\text{h}$  for hver mølle. Luft fra møller har vært målt til  $4800 \text{ LE}/\text{m}^3$  i Egersund. Hvis dette luktinnholdet brukes for beregning av luktblastning fra møller i Vadsø, tilsvarer dette  $34.560.000 \text{ LE}/\text{h}$ .

Den enkleste måten å behandle disse luktutslippene må være å gjenbruke luften. Det burde være mulig å tilbakeføre luft fra utløp av filtrene ved møller tilbake til møllene og fra melavskiller tilbake til transportluftskompressor for meltransporten. Hvis det er fare for ugunstig oppkonsentrering av gasser eller fukt i mølleluften må det gjøres tiltak for rensing e.a. Dette kan bli problematisk på det kalde mellageret. Det kan vurderes å bruke samme luftstrøm til meltransport og møller og da har man mulighet for å koble seg inn på avtrekksluftskanal i fabrikkbygningen. Videre kan deler av denne luftstrømmen skiftes ut til punktavsugssystemet. Disse mulighetene er ikke behandlet videre her.



## 8 LITTERATUR

1. Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen, Veiledning til arbeidsmiljøloven, Bestillingsnummer 444, Arbeidstilsynet, utgave 02.03.98
2. Hot environments - Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index (wet bulb globe temperature), ISO 7243:1989
3. Alden, J.L. and J.M. Kane: Design of Industrial Exhaust Systems. Industrial Press inc., 200 Madison Ave., New York. 1959. Library of Congress Card Number 59-13381.
4. Goodfellow, H. and E. Tähti: Design Guidebook of Industrial Ventilation. Academic Press 2001. ISBN 0-12-289676-9
5. Guidance for Processes Prescribed for Air Pollution Control by District Councils, Process Guidance Note NIPG 6/19, Version 1, Fish Meal and Fish Oil Processes, Department of The Environment for Northern Ireland, March 1998
6. Industrial odour control, Environmental Guidelines No. 9 2002, Vejledning fra Miljøstyrelsen, Danish Environmental Protection Agency, Danish Ministry of the Environment
7. Fiskemel, Vejledning om fiskemel/fiskeolie på fiskemelsfabrikker, Industriens Branchearbejdsmiljøråd, København, December 2002 ([www.ibar.dk](http://www.ibar.dk))
8. A Guidance Note on the Best Practicable Means for Rendering Works (Fish Meal Factory), Environmental Protection Department, Air Management Group, June 1995, ([http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/guide\\_ref/files/bpm28\\_4.pdf](http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/air/guide_ref/files/bpm28_4.pdf))
9. Reducing Odour in Fish Meal Production, TORRY Advisory Note No. 72, Torry Research Station Humber Laboratory, Aberdeen (
10. Eikje, S., Urdahl, N., Odour assessment and elimination in the fish meal industry, Fishing News International, December 1977.
11. From, Jan Oddvar; Lukt, karakterisering, bekjempelse og spredning. NTN-Indrens veiledning nr. 6, Oslo, November 1985
12. Mjelde, A., Luftrensing etter overgang til elektrisk kraft, Meldinger fra SSF, nr. 2, 1991.
13. Heber, A.J., Setbacks for Sufficient Swine Odour Dispersion and Dilution, <http://pasture.ecn.purdue.edu/~heber/setba.htm>
14. Mjelde, A., SSF rapport K-268, 2001
15. Mjelde, A., Høstmark, Ø., Lie, K., Kartlegging av luktutslipp fra norsk fiskemelindustri, SSF-rapport K-270, 2002
16. NN; Akademiet for Tekniske Videnskaber (ATV); Begrænsning av luktgener fra losning og oparbejdning af industrifisk; delrapport 6, Lugtdestruksjonsmetodernes effektivitet; Bind1: Optimering og alternativ anvendelse af metoder til destruktion af lukt; Hørshol, DK, 1987

17. Vassbotn, T., Måling av lukt ved fiskemelsfabrikker; SINTEF-rapport STF21 F78014, Trondheim, 1977
18. Mjelde, A., og Høstmark, Ø., Luktmålinger ved SILFAS Karmsund mars 2003, Rapport K-279 Fiskeriforskning, Tromsø 2003



## 9 VEDLEGG

### 9.1 MÅLINGER I VADSØ

#### 9.1.1 Luftmengder

Fabrikken i Vadsø er naturlig ventilert, dvs at det er oppdriftskrefter som skyldes temperaturdifferensen mellom inneluft og uteluft (ofte kalt skorsteinseffekten) som driver luften gjennom lokalene. I tillegg vil også vind kunne virke sterkt inn på ventilasjonen. Under målingene i Vadsø var det -8 til -10 °C og vindstille, slik at det stort sett var skorsteinseffekten som bidro til ventilasjonen. Luft strømmet da inn gjennom åpninger i nedre del av lokalet og ut gjennom luker i taket. I tillegg til luft ut gjennom takluker kommer avtrekksluft som går til fyrkjel.

Luftmengder ble målt både i innløp og utløp ved å måle lufthastigheten i flere punkter over tverrsnittet. Deretter multipliseres hastigheten med det areal det enkelte målepunkt dekker. Tabell 11 og Tabell 12 viser de målte luftmengdene.

*Tabell 11. Målte tilluftsmengder, 29. januar.*

	Luftmengde	Luftmengde	Massestrøm luft
	m <sup>3</sup> /h	m <sup>3</sup> /h	kg fuktig luft/h
Dør råstoff	9 103		
Åpning ved galleri sydvegg, (kokegalleri)	9 450		
Ytterveggdør ved presser	4 091		
Port øst	5 508		
Vinduer tørker	10 764		
Vinduer tørker	8 611		
Vinduer tørker	8 439		
Vinduer tørker	10 333		
Vinduer tørker	4 942		
Vinduer presse	8 147		
Vinduer syrerom	1 572		
Vestport	16 339		
Åpning tavlerom koker	4 652		
Dør til mellagerrørgate	0		
Sum		101 952	136 615

Tabell 12. Målt avtrukket luftmengde, 29. januar.

	nr	Areal	Netto areal korrigert for kontraksjon (0.7)	Hastighet	Luft- mengde	Luft- mengde	Massestrøm luft
		m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	m/s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /h	kg fuktig luft/h
Takluker våt avdeling	1	1		4.8			
	2	0.75					
	3	1					
	4	0					
	5	1					
	6	0					
	7	1		3.8			
	8	0					
	9	1		3.8			
Sum våt avdeling		5.75	4.0	4.1	16.4	59 168	
Takluker tørr avdeling	1	0					
	2	0.75		4.0			
	3	0					
	4	0.563					
	5	0					
	6	0.75		3.5			
	7	0					
Sum tørr avdeling		2.25	1.6	3.8	5.9	21 263	
Leider		0.595	0.4	3.0	1.2	4 498	91 722
Luftmengde til kjel						30 149	32 561
Sum avtrukket luftmengde							124 283

Dagen før de ovennevnte målingene ble luftmengder i port mellom kjelhus og våt avdeling målt, se Tabell 13

Tabell 13. Luftmengder gjennom interne åpninger og åpning mot uteluft på kokegalleri, målt 28. januar.

Åpning	Luft-mengde	Massestrøm luft
	m <sup>3</sup> /h	kg fuktig luft/h
Åpning mellom produksjonshall og kjelrom, venstre del av port	2 069	2 524
Åpning mellom produksjonshall og kjelrom, midtre del av port	6 073	7 409
Åpning mellom produksjonshall og kjelrom, høyre del av port	6 156	7 510
SUM port	14 297	17 443
Dør i port mellom produksjonshall og kjelrom	5 400	6 588
Åpning ved galleri sydvegg, (kokegalleri)	13 000	17 420

Luftmengde gjennom åpning ved galleri sydvegg ble målt begge dager, se tabellene over. Luftmengden den 28. var større enn den 29. januar på grunn av at mange av de andre tilluftsåpningene var stengt denne dagen.

### 9.1.2 Flatetemperaturer

Flatetemperaturer ble målt ved hjelp av IR-kamera, type XX. Det ble til sammen tatt YY bilder. Disse målingene danner grunnlag av beregning av varmeavgivelse fra de ulike utstyrsenheter. Figur 38 viser en oversikt over avgitt varme fra de ulike komponenter mens Tabell 15 til Tabell 33 viser beregningsgrunnlaget for Figur 38.

For beregning av varmestrømmene er følgende ligninger benyttet.:

Termisk stråling fra komponent til omgivelser

$$Q_{avgitt} = \text{Strålingsutbyttetall} \cdot \left( \left( \frac{T_{flate}}{100} \right)^4 - \left( \frac{T_{omgivelser}}{100} \right)^4 \right)$$

hvor:

$$\text{Strålingsutbyttetall} = \frac{5,6699}{\frac{1}{\epsilon_1} + \left( \frac{1}{\epsilon_2} - 1 \right) \frac{\text{Areal}}{\text{Omgivelsesareal}}}$$

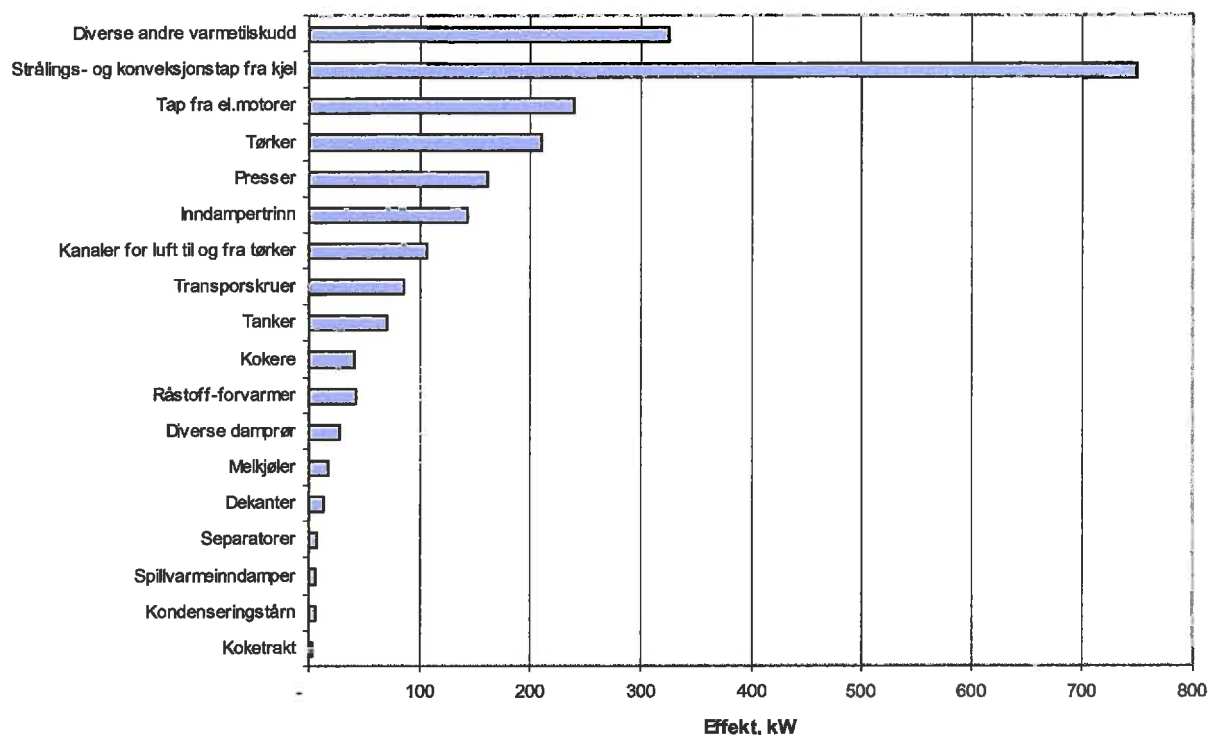
Varme avgitt ved konveksjon til omgivende luft er beregnet ut fra:

$$Q_{konveksjon} = A_{flate} \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$\alpha = K_{konv} \Delta T^{\frac{1}{3}}$$

Tabell 14. Koeffisienter  $K_{konv}$  for innsetting i ligning xx

Flatens retning		Koeffisient, $K_{konv}$
Loddrett		1,66
Horisontal flate som vender oppover	Oppvarmet	2,26
	Kjølt	1,16
Horisontal flate som vender nedover	Oppvarmet	1,16
	Kjølt	2,26



Figur 38. Transmisjons- og strålingstap fra prosessutstyr

Tabell 15. Målt varmeavgivelse fra råstoff-formvarmer

Råstoff-forvarmer				SUM	39 078
Vertikal flate 1		Horisontal flate ned		Ant	1
Lengde, flate, maskin, m	28.7	Lengde, flate, maskin, m	12.7	SUM, W	39 078
Høyde, flate, maskin, m	1.7	Bredde, flate, maskin, m	1.65		
Temperatur, maskin, °C	90	Temperatur, maskin, °C	90		
Omg. lufts temp., °C	45	Omg. lufts temp., °C	50		
Omg. flaters temp., °C	40	Omg. flaters temp., °C	60		
Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45		
Avgitt varme, konv., W	12 800	Avgitt varme, konv., W	3 325		
Avgitt varme, stråling, W	9 385	Avgitt varme, stråling, W	2 675		
Sum avgitt varme, W	22 186	Sum avgitt varme, W	5 999		
Horisontal flate opp					
Lengde, flate, maskin, m	12.7				
Bredde, flate, maskin, m	1.65				
Temperatur, maskin, °C	90				
Omg. lufts temp., °C	50				
Omg. flaters temp., °C	35				
Emissivitet, flate, maskin	0.45				
Avgitt varme, konv., W	6 478				
Avgitt varme, stråling, W	4 415				
Sum avgitt varme, W	10 893				

Tabell 16. Målt varmeavgivelse fra koketrakt

<b>Koketrakt</b>				<b>SUM</b>	<b>2 254</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Horisontal flate ned</b>		<b>Ant</b>	<b>1</b>
Lengde, flate, maskin, m	12.6	Lengde, flate, maskin, m	3.15	<b>SUM</b>	<b>2 254</b>
Høyde, flate, maskin, m	1	Bredde, flate, maskin, m	3.15		
Temperatur, maskin, °C	50	Temperatur, maskin, °C	50		
Omg. lufts temp., °C	40	Omg. lufts temp., °C	40		
Omg. flaters temp, °C	45	Omg. flaters temp, °C	45		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv., W	447	Avgitt varme, konv., W	248		
Avgitt varme, stråling, W	417	Avgitt varme, stråling, W	329		
<b>Sum avgitt varme, W</b>	<b>864</b>	<b>Sum avgitt varme, W</b>	<b>577</b>		
<b>Horisontal flate opp</b>					
Lengde, flate, maskin, m	3.15				
Bredde, flate, maskin, m	3.15				
Temperatur, maskin, °C	50				
Omg. lufts temp., °C	40				
Omg. flaters temp, °C	45				
Emissivitet, flate, maskin	0.9				
Avgitt varme, konv., W	483				
Avgitt varme, stråling, W	329				
<b>Sum avgitt varme, W</b>	<b>812</b>				

Tabell 17.

<b>Kokere</b>				<b>SUM</b>	<b>20 809</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Vertikal flate 2</b>		<b>Ant</b>	<b>2</b>
Lengde, flate, maskin	1.65	Lengde, flate, maskin	1.65	<b>SUM</b>	<b>41 618</b>
Høyde, flate, maskin	1.65	Høyde, flate, maskin	1.65		
Temperatur, flate, maskin	60	Temperatur, flate, maskin	60		
Omg. lufts temp.	40	Omg. lufts temp.	40		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	243	Avgitt varme, konv.	243		
Avgitt varme, stråling	536	Avgitt varme, stråling	536		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>779</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>779</b>		
<b>Horisontalt rør</b>					
Lengde, rør	15				
Diameter	1.7				
Temperatur, flate, rør	60				
Omg. lufts temp.	40				
Omg. flaters temp	30				
Emissivitet, flate, rør	0.8				
Avgitt varme, konv.	7 144				
Avgitt varme, stråling	12 107				
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>19 252</b>				

Tabell 18.

<b>Dekanter</b>				<b>SUM</b>	<b>7 766</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Vertikal flate 2</b>		<b>Ant</b>	<b>1</b>
Lengde, flate, maskin	4	Lengde, flate, maskin	1.65	<b>SUM</b>	<b>7 766</b>
Høyde, flate, maskin	0.9	Høyde, flate, maskin	1.65		
Temperatur, flate, maskin	88	Temperatur, flate, maskin	88		
Omg. lufts temp.	40	Omg. lufts temp.	40		
Omg. flaters temp	40	Omg. flaters temp	40		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	1 029	Avgitt varme, konv.	778		
Avgitt varme, stråling	1 352	Avgitt varme, stråling	1 023		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>2 381</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 802</b>		
<b>Horisontalt rør</b>					
Lengde, rør	1.95				
Diameter	0.9				
Temperatur, flate, rør	90				
Omg. lufts temp.	40				
Omg. flaters temp	40				
Emissivitet, flate, rør	0.8				
Avgitt varme, konv.	1 663				
Avgitt varme, stråling	1 920				
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>3 583</b>				

Tabell 19.

<b>Dekantere</b>				<b>SUM</b>	<b>2 591</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Vertikal flate 2</b>		<b>Ant</b>	<b>2</b>
Lengde, flate, maskin	4	Lengde, flate, maskin	1.65	<b>SUM</b>	<b>5 182</b>
Høyde, flate, maskin	0.9	Høyde, flate, maskin	1.65		
Temperatur, flate, maskin	60	Temperatur, flate, maskin	60		
Omg. lufts temp.	40	Omg. lufts temp.	40		
Omg. flaters temp	40	Omg. flaters temp	40		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	321	Avgitt varme, konv.	243		
Avgitt varme, stråling	494	Avgitt varme, stråling	374		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>815</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>617</b>		
<b>Horisontalt rør</b>					
Lengde, rør	1.95				
Diameter	0.9				
Temperatur, flate, rør	60				
Omg. lufts temp.	40				
Omg. flaters temp	40				
Emissivitet, flate, rør	0.8				
Avgitt varme, konv.	432				
Avgitt varme, stråling	667				
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 159</b>				

Tabell 20.

<b>Presser</b>				<b>SUM</b>	<b>48 793</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Horisontal flate ned</b>		Ant	3
Lengde, flate, maskin	15.3	Lengde, flate, maskin	15.3	<b>SUM</b>	<b>146 380</b>
Høyde, flate, maskin	1.5	Bredde, flate, maskin	1.65		
Temperatur, flate, maskin	80	Temperatur, flate, maskin	80		
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	6 927	Avgitt varme, konv.	5 393		
Avgitt varme, stråling	8 127	Avgitt varme, stråling	8 919		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>15 053</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>14 313</b>		
<b>Horisontal flate opp</b>					
Lengde, flate, maskin	15.3				
Bredde, flate, maskin	1.65				
Temperatur, flate, maskin	80				
Omg. lufts temp.	30				
Omg. flaters temp	30				
Emissivitet, flate, maskin	0.9				
Avgitt varme, konv.	10 508				
Avgitt varme, stråling	8 919				
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>19 427</b>				

Tabell 21.

<b>150-Tørker</b>				<b>SUM</b>	<b>26 929</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Vertikal flate 2</b>		Ant	3
Lengde, flate, maskin	5.1	Lengde, flate, maskin	9	<b>SUM</b>	<b>80 787</b>
Høyde, flate, maskin	2.55	Høyde, flate, maskin	0.3		
Temperatur, flate, maskin	80	Temperatur, flate, maskin	80		
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	3 925	Avgitt varme, konv.	815		
Avgitt varme, stråling	4 650	Avgitt varme, stråling	975		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>8 575</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 790</b>		
<b>Horisontal flate opp</b>		<b>Horisontalt rør</b>			
Lengde, flate, maskin	9	Lengde, rør	9.75		
Bredde, flate, maskin	0.7	Diameter	2.55		
Temperatur, flate, maskin	80	Temperatur, flate, rør	50		
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	2 622	Avgitt varme, konv.	6 966		
Avgitt varme, stråling	2 268	Avgitt varme, stråling	4 708		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>4 890</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>11 673</b>		



Tabell 22.

<b>90-Tørker</b>				<b>SUM</b>	<b>22 004</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Vertikal flate 2</b>		<b>Ant</b>	<b>6</b>
Lengde, flate, maskin	4.8	Lengde, flate, maskin	9	<b>SUM</b>	<b>132 027</b>
Høyde, flate, maskin	2.4	Høyde, flate, maskin	0.3		
Temperatur, flate, maskin	80	Temperatur, flate, maskin	80		
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	3 477	Avgitt varme, konv.	815		
Avgitt varme, stråling	4 125	Avgitt varme, stråling	975		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>7 602</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 790</b>		
<b>Horisontal flate opp</b>		<b>Horisontalt rør</b>			
Lengde, flate, maskin	9	Lengde, rør	9		
Bredde, flate, maskin	0.7	Diameter	2.4		
Temperatur, flate, maskin	80	Temperatur, flate, rør	46		
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	2 622	Avgitt varme, konv.	4 497		
Avgitt varme, stråling	2 268	Avgitt varme, stråling	3 224		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>4 890</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>7 722</b>		

Tabell 23.

<b>Melkjøler</b>		<b>SUM</b>	<b>17 255</b>
<b>Vertikal flate 1</b>		<b>Ant</b>	<b>1</b>
Lengde, flate, maskin	5.7	<b>SUM</b>	<b>17 255</b>
Høyde, flate, maskin	2.85		
Temperatur, flate, maskin	53		
Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	27		
Emissivitet, flate, maskin	0.9		
Avgitt varme, konv.	1 746		
Avgitt varme, stråling	2 606		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>4 351</b>		
<b>Horisontalt rør</b>			
Lengde, rør	8.1		
Diameter	2.85		
Temperatur, flate, rør	53		
Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	7 789		
Avgitt varme, stråling	5 115		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>12 903</b>		



Tabell 24.

<b>Transportskruer</b>		<b>SUM</b>	<b>86 328</b>
<b>Horisontal flate opp</b>		<b>Horisontalt rør</b>	
Lengde, rør	176	<b>SUM</b>	<b>86 328</b>
Diameter	0.45		
Temperatur, flate, rør	70		
Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	55 783		
Avgitt varme, stråling	30 544		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>86 328</b>		

Tabell 25.

<b>Kondenseringstårn</b>		<b>SUM</b>	<b>5 375</b>
<b>Horisontal flate ned</b>		<b>Ant</b>	<b>1</b>
Lengde, flate, maskin	1.35	<b>SUM</b>	<b>5 375</b>
Bredde, flate, maskin	1.35		
Temperatur, flate, maskin	65		
Omg. lufts temp.	35		
Omg. flaters temp	35		
Emissivitet, flate, maskin	0.45		
Avgitt varme, konv.	197		
Avgitt varme, stråling	188		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>385</b>		
<b>Horisontal flate opp</b>		<b>Vertikalt rør</b>	
Lengde, flate, maskin	1.35	Lengde, rør	5.8
Bredde, flate, maskin	1.35	Diameter	1.35
Temperatur, flate, maskin	65	Temperatur, flate, rør	53
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	30
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	30
Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45
Avgitt varme, konv.	384	Avgitt varme, konv.	2 642
Avgitt varme, stråling	188	Avgitt varme, stråling	1 776
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>572</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>4 418</b>

Tabell 26.

<b>Spillvarmeinndamper</b>		<b>SUM</b>	<b>5 375</b>
<b>Horisontal flate ned</b>		Ant	1
Lengde, flate, maskin	1.35	<b>SUM</b>	<b>5 375</b>
Bredde, flate, maskin	1.35		
Temperatur, flate, maskin	65		
Omg. lufts temp.	35		
Omg. flaters temp	35		
Emissivitet, flate, maskin	0.45		
Avgitt varme, konv.	197		
Avgitt varme, stråling	188		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>385</b>		
<b>Horisontal flate opp</b>		<b>Vertikalt rør</b>	
Lengde, flate, maskin	1.35	Lengde, rør	5.8
Bredde, flate, maskin	1.35	Diameter	1.35
Temperatur, flate, maskin	65	Temperatur, flate, rør	53
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	30
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	30
Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45
Avgitt varme, konv.	384	Avgitt varme, konv.	2 642
Avgitt varme, stråling	188	Avgitt varme, stråling	1 776
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>572</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>4 418</b>

Tabell 27.

<b>Separatorer</b>			
<b>Vertikalt rør</b>		Ant	8
Lengde, rør	1	<b>SUM</b>	<b>6 797</b>
Diameter	1.5		
Temperatur, flate, rør	53		
Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	508		
Avgitt varme, stråling	344		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>850</b>		

Tabell 28.

<b>Diverse dampør</b>				<b>SUM</b>	<b>28 112</b>
<b>Horisontalt rør</b>		<b>Vertikalt rør</b>		<b>Ant</b>	<b>1</b>
Lengde, rør	50	Lengde, rør	50	<b>SUM</b>	<b>28 112</b>
Diameter	0.1	Diameter	0.1		
Temperatur, flate, rør	110	Temperatur, flate, rør	110		
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30		
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	8 854	Avgitt varme, konv.	8 854		
Avgitt varme, stråling	5 202	Avgitt varme, stråling	5 202		
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>14 056</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>14 056</b>		

Tabell 29. Kjel

<b>Ant</b>
<b>SUM</b>

750 000

Tabell 30

<b>Inndampertrinn</b>					<b>SUM</b>	<b>133 707</b>
<b>Vertikalt rør</b>		<b>Vertikalt rør</b>		<b>Vertikalt rør</b>	<b>Ant</b>	<b>1</b>
Lengde, rør	11.5	Lengde, rør	11.5	Lengde, rør	11.5	<b>SUM</b>
Diameter	2.7	Diameter	2.7	Diameter	2.7	
Temperatur, flate, rør	66	Temperatur, flate, rør	41	Temperatur, flate, rør	80	
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45	
Avgitt varme, konv.	15 582	Avgitt varme, konv.	1 754	Avgitt varme, konv.	25 578	
Avgitt varme, stråling	9 980	Avgitt varme, stråling	1 713	Avgitt varme, stråling	15 485	
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>25 562</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>3 467</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>41 063</b>	
<b>Vertikalt rør</b>		<b>Vertikalt rør</b>		<b>Vertikalt rør</b>		
Lengde, rør	11.5	Lengde, rør	11.5	Lengde, rør	11.5	
Diameter	2.7	Diameter	2.7	Diameter	2.7	
Temperatur, flate, rør	67	Temperatur, flate, rør	67	Temperatur, flate, rør	50	
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45	
Avgitt varme, konv.	16 254	Avgitt varme, konv.	16 254	Avgitt varme, konv.	5 933	
Avgitt varme, stråling	10 352	Avgitt varme, stråling	10 352	Avgitt varme, stråling	4 472	
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>26 605</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>26 605</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>10 405</b>	

Tabell 31

Kanaler for luft til og fra tørker				SUM	106 217
Til kjel, horisontal		Tørke til råstoff-forvarmer, horisontalt		Tørke til råstoff-forvarmer, horisontalt	
Lengde, rør	109	Lengde, rør	36	Lengde, rør	18
Diameter	0.875	Diameter	0.6	Diameter	1
Temperatur, flate, rør	45	Temperatur, flate, rør	62	Temperatur, flate, rør	62
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	25	Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45
Avgitt varme, konv.	10 629	Avgitt varme, konv.	9 020	Avgitt varme, konv.	7 517
Avgitt varme, stråling	15 551	Avgitt varme, stråling	6 972	Avgitt varme, stråling	5 842
Sum avgitt varme	26 179	Sum avgitt varme	15 992	Sum avgitt varme	13 359
Råstoff-forvarmer til kondenseringstårn, horisontalt		Tørke til spillvarmeinndamper horisontalt		Tørke til spillv.innd horisontalt	
Lengde, rør	36	Lengde, rør	35	Lengde, rør	3
Diameter	0.6	Diameter	0.6	Diameter	0.85
Temperatur, flate, rør	58	Temperatur, flate, rør	62	Temperatur, flate, rør	62
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45
Avgitt varme, konv.	7 288	Avgitt varme, konv.	8 769	Avgitt varme, konv.	1 065
Avgitt varme, stråling	5 983	Avgitt varme, stråling	6 785	Avgitt varme, stråling	848
Sum avgitt varme	13 271	Sum avgitt varme	15 554	Sum avgitt varme	1 912
Tørke til spillv.innd horisontalt		Spillv.innd. til tørker, horisontalt			
Lengde, rør	7.5	Lengde, rør	27		
Diameter	0.45	Diameter	0.825		
Temperatur, flate, rør	62	Temperatur, flate, rør	62		
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35		
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	25		
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, rør	0.45		
Avgitt varme, konv.	1 409	Avgitt varme, konv.	9 302		
Avgitt varme, stråling	1 120	Avgitt varme, stråling	8 118		
Sum avgitt varme	2 530	Sum avgitt varme	17 420		

Tabell 32

Tanker				SUM 70 459	
E20, E8, E28		E20, E8, E28 topp		E20, E8, E28, bunn	
Høyde	5	Lengde, flate, maskin	1.8	Lengde, flate, maskin	1.8
Diameter	1.8	Bredde, flate, maskin	1.8	Bredde, flate, maskin	1.8
Temperatur, flate, rør	70	Temperatur, flate, maskin	70	Temperatur, flate, maskin	70
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45
Avgitt varme, konv.	5 308	Avgitt varme, konv.	514	Avgitt varme, konv.	1 002
Avgitt varme, stråling	3 218	Avgitt varme, stråling	447	Avgitt varme, stråling	447
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>8 526</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>961</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 448</b>
Konsentrattank		Konsentrattank topp		Konsentrattank bunn	
Høyde	5	Lengde, flate, maskin	4	Lengde, flate, maskin	4
Diameter	4	Bredde, flate, maskin	4	Bredde, flate, maskin	4
Temperatur, flate, rør	63	Temperatur, flate, maskin	63	Temperatur, flate, maskin	63
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45
Avgitt varme, konv.	8 766	Avgitt varme, konv.	1 578	Avgitt varme, konv.	3 074
Avgitt varme, stråling	5 051	Avgitt varme, stråling	1 459	Avgitt varme, stråling	1 459
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>13 817</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>3 037</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>4 533</b>
Tank mellom F1 og F2		topp		Bunn	
Høyde	1	Lengde, flate, maskin	0.6	Lengde, flate, maskin	0.6
Diameter	0.6	Bredde, flate, maskin	0.6	Bredde, flate, maskin	0.6
Temperatur, flate, rør	105	Temperatur, flate, maskin	105	Temperatur, flate, maskin	105
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35
Emissivitet, flate, rør	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9
Avgitt varme, konv.	890	Avgitt varme, konv.	120	Avgitt varme, konv.	235
Avgitt varme, stråling	1 093	Avgitt varme, stråling	210	Avgitt varme, stråling	210
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 982</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>330</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>444</b>
Tank for dekantervæske		topp		Bunn	
Høyde	1.5	Lengde, flate, maskin	1	Lengde, flate, maskin	1
Diameter	1	Bredde, flate, maskin	1	Bredde, flate, maskin	1
Temperatur, flate, rør	68	Temperatur, flate, maskin	68	Temperatur, flate, maskin	68
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35	Omg. flaters temp	35
Emissivitet, flate, rør	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9
Avgitt varme, konv.	818	Avgitt varme, konv.	123	Avgitt varme, konv.	239
Avgitt varme, stråling	1 057	Avgitt varme, stråling	229	Avgitt varme, stråling	229
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 875</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>352</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>469</b>
G1		G1, opp		G1, ned	
Lengde, flate, maskin	16	Lengde, flate, maskin	4	Lengde, flate, maskin	4
Høyde, flate, maskin	4	Bredde, flate, maskin	4	Bredde, flate, maskin	4
Temperatur, flate, maskin	40	Temperatur, flate, maskin	40	Temperatur, flate, maskin	40
Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30	Omg. lufts temp.	30
Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30	Omg. flaters temp	30
Emissivitet, flate,	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9	Emissivitet, flate, maskin	0.9

maskin					
Avgitt varme, konv.	2 271	Avgitt varme, konv.	400	Avgitt varme, konv.	779
Avgitt varme, stråling	3 588	Avgitt varme, stråling	939	Avgitt varme, stråling	939
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>5 860</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 339</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>1 718</b>
	<b>topp</b>		<b>Bunn</b>		
Høyde	2.3	Lengde, flate, maskin	1.5	Lengde, flate, maskin	1.5
Diameter	1.5	Bredde, flate, maskin	1.5	Bredde, flate, maskin	1.5
Temperatur, flate, rør	45	Temperatur, flate, maskin	45	Temperatur, flate, maskin	115
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	32	Omg. flaters temp	32	Omg. flaters temp	32
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45
Avgitt varme, konv.	384	Avgitt varme, konv.	56	Avgitt varme, konv.	1 753
Avgitt varme, stråling	421	Avgitt varme, stråling	90	Avgitt varme, stråling	799
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>805</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>146</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>2 551</b>
	<b>topp</b>		<b>Bunn</b>		
Høyde	2.3	Lengde, flate, maskin	1.5	Lengde, flate, maskin	1.5
Diameter	1.5	Bredde, flate, maskin	1.5	Bredde, flate, maskin	1.5
Temperatur, flate, rør	45	Temperatur, flate, maskin	45	Temperatur, flate, maskin	45
Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35	Omg. lufts temp.	35
Omg. flaters temp	32	Omg. flaters temp	32	Omg. flaters temp	32
Emissivitet, flate, rør	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45	Emissivitet, flate, maskin	0.45
Avgitt varme, konv.	384	Avgitt varme, konv.	56	Avgitt varme, konv.	110
Avgitt varme, stråling	421	Avgitt varme, stråling	90	Avgitt varme, stråling	90
<b>Sum avgitt varme</b>	<b>805</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>146</b>	<b>Sum avgitt varme</b>	<b>199</b>

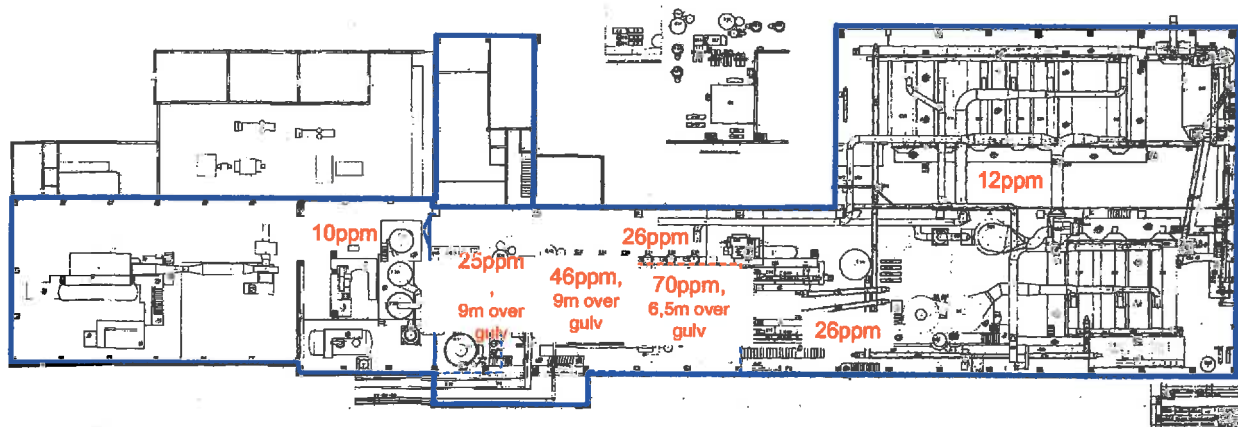
Tabell 33.

Installert effekt	3 050 000 W	El. forbruk under drift er ca	2 400 000 W
			10 % tap?
		Tap fra motorer og annet til omgivelsene	240 000 W



### 9.1.3 Aminkonsentrasjoner

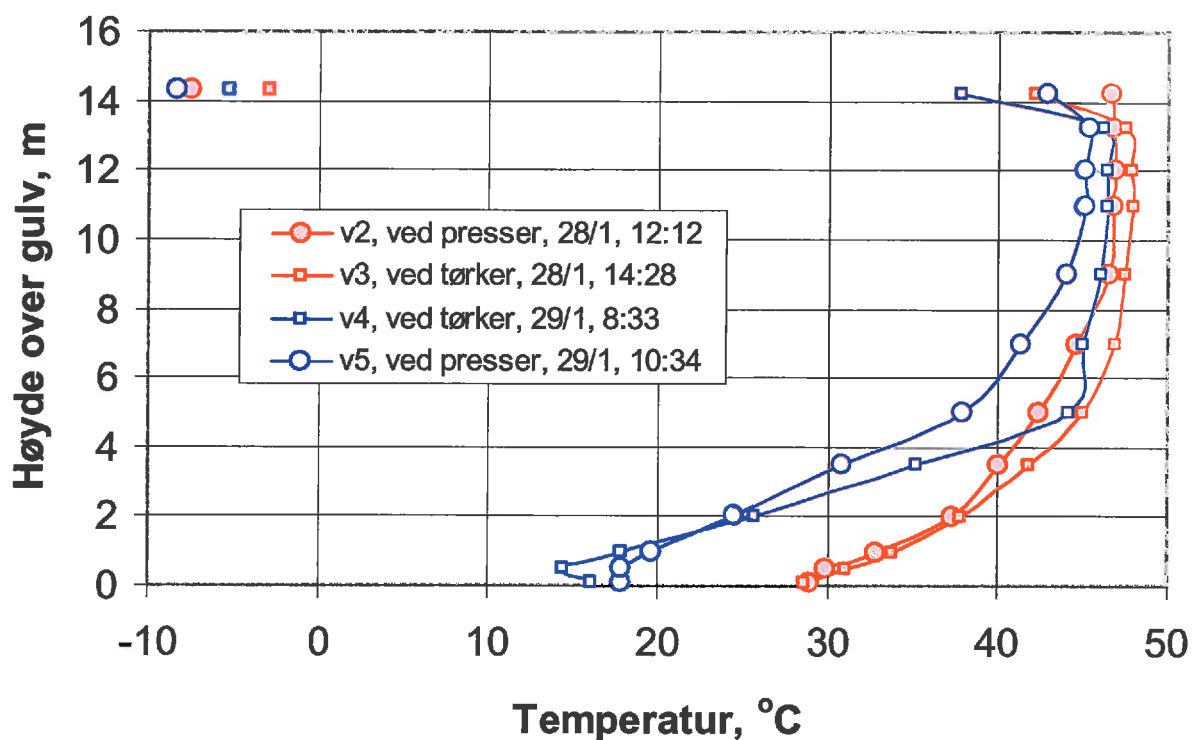
Aminkonsentrasjon ble målt 29. januar ved hjelp av Dräger-rør ulike steder, se Figur 39.



Figur 39. Måling av aminkonsentrasjon

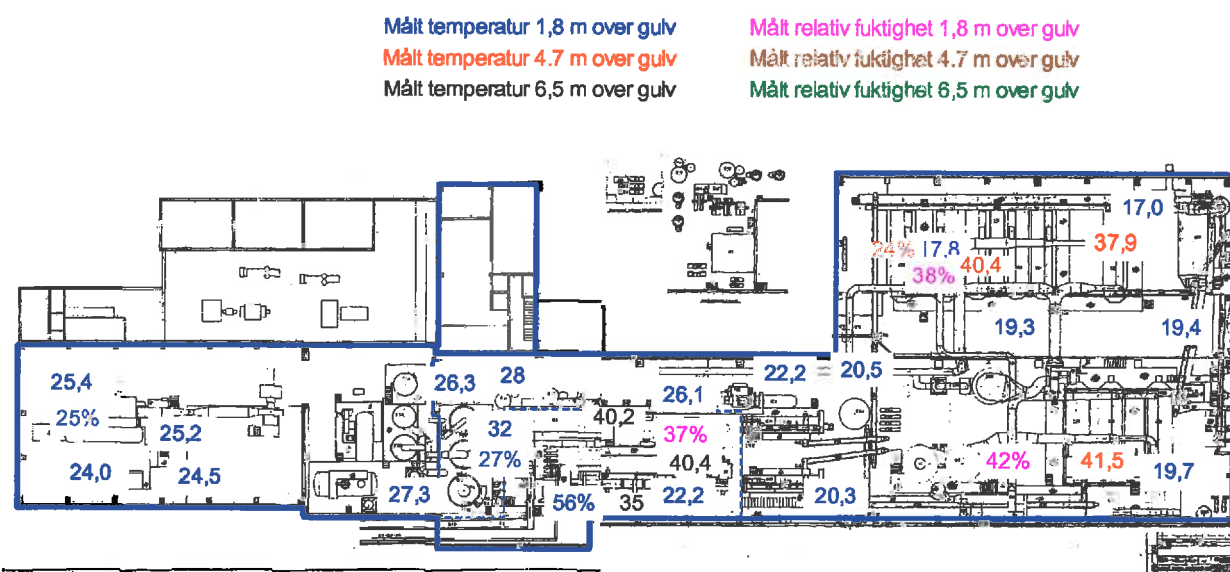
### 9.1.4 Temperaturer

Lufttemperaturer ble målt ved hjelp av to en målesøyle med termoelementer tilknyttet en logger. Denne ble plassert to ulike steder i lokalet, 28. januar ved presse og tørker og 29. januar ved tørker og presse, se Figur 40.



Figur 40. Temperaturer målt ved hjelp av målesøyler plassert to steder i lokalet. Målinger fra to dager.

Det ble også gjort punktmåling av temperatur og fuktighet ulike steder i lokalene. Dette er vist i Figur 41.



Figur 41. Temperaturmålinger i enkeltpunkter





**SINTEF Energi AS**  
SINTEF Energy Research

No-7465 Trondheim  
Telephone: + 47 73 59 72 00  
[energy.research@sintef.no](mailto:energy.research@sintef.no)  
[www.sintef.no/energy](http://www.sintef.no/energy)