LUND UNIVERSITY

Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lindhe, Jonas

2006

Link to publication

Citation for published version (APA):
Lindhe, J. (2006). *Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar*. [Licentiatavhandling, Avdelningen för Installations- och klimatiseringslära].

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Jonas Lindhe

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2006
Rapport TVIT--06/3002

Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Jonas Lindhe

REXAM
BEVERAGE CAN
Europe & Asia

Energimyndigheten

© Jonas Lindhe, 2006

ISRN LUTVDG/TVIT--06/3002--SE(260)
ISSN 1652-6783
ISBN 91-85415-01-4

Avdelningen för installationsteknik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
22100 LUND

Förord

Denna rapport redovisar forskningsprojektet ”Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin” på Lunds Tekniska Högskola (LTH). Syftet med forskningsprojektet är att utveckla en strukturerad arbetsmetod som industrin kan använda sig av för att optimera sin process- och allmänventilation med avseende på energianvändning, arbetsmiljö och yttre miljöpåverkan.

Projektet har varit ett samarbetsprojekt mellan LTH och Rexam Beverage Can i Fosie, Malmö (Rexam). Projektet har finansierats av Energimyndigheten och Rexam. Förutom finansiellt stöd från Rexam har även storskaliga tester genomförts hos dem.

Det har under tidens gång varit många inblandade i projektet. Jag vill därför passa på att tacka alla dem som gjort denna, för mig, spännande resa möjlig. Jag vill speciellt nämna och tacka:

> min huvudhandledare Professor Lars Jensen, utan vars stöd detta projekt inte hade varit möjligt,
>
> Rexams anställda som hjälpt mig i mitt arbete. Ett speciellt tack till Claes Henryson, Björn Persson och Leif Arne Ekdahl som med stort engagemang varit med i den projektgrupp vi haft hos Rexam,
>
> biträdande handledarna, Docent Lars Wadsö och Professor Mats Boghard, för stöd,
>
> referensgruppen bestående av Claes Henryson, Rexam, Björn Persson, Rexam, Jörgen Kjeldgård, Riksorganisationen Sveriges Ventilationsinjusterare, Docent Lars Wadsö, LTH, Magnus Ewritt, Föreningen V, Ulf Zetterlund, Klimat 80 samt Professor Mats Boghard, LTH.

Ett alldeles speciellt tack till min fru Katrin för allt stöd och hjälp som jag fått och till mina barn, Morgan och Miriam. Nu är pappa färdig med sin bok.

När jag var liten frågade min mormor mig vad jag skulle bli när jag blev stor, svaret blev att jag skulle bli fårskalle (forskare). Nu har jag provat på detta!

Flygbild över Rexams anläggning i Fosie.

Innehållsförteckning

Förord 1
Innehållsförteckning 2
1 Inledning 7
2 Industriventilation - Lagstiftning 8
3 Industriventilation - Hälsa 11
3.1 Luftrörelser 11
3.2 Termiskt klimat 12
3.3 Luftföroreningar 14
3.4 Luftflöden 15
3.5 Referenser 16
4 Industriventilation - Historik och utveckling i Sverige 17
4.1 Bakgrund / inledning 17
4.2 Före 1900-talet 17
4.3 År 1900-1929 17
4.4 År 1930–1949 19
4.5 År 1950-1969 20
4.6 År 1970-1979 21
4.7 1980-2000 24
4.8 Slutkommentar 25
4.9 Referenser 27
5 Industriventilation - Systemlösningar 28
5.1 Allmänt 28
5.2 Allmänventilation 29
5.2.1 Omblandande ventilation 29
5.2.2 Deplacerande ventilation 30
5.2.3 Utjämnande ventilation 32
5.2.4 Kolvströmsventilation 33
5.3 Processventilation 35
5.3.1 Lokala utsug 37
5.3.1.1 Överhuv 40
5.3.1.2 Sidohuv 43
5.3.1.3 Bottenutsug 44
5.3.2 Inkapslingar 44
5.4 Referenser 46
6 Målformulering 47
7 Arbetsmetod 49
7.1 Referenser 51
8 Mätprogram 52
8.1 Formulering av mätprogram 52
9 Specifika arbetsmetoder 54
9.1 Energi 54
9.1.1 Elenenergi 54
9.1.1.1 Allmänt 54
9.1.1.2 Tillvägagångssätt 55
9.1.2 Värmeenergi 57
9.1.2.1 Allmänt 57
9.1.2.2 Tillvägagångssätt 59
9.2 Värmekällor 60
9.2.1 Allmänt 60
9.2.2 Identifiera och mäta värmekällor 60
9.2.2.1 Varma ytor 62

9.2.2.2 Varma produkter och processdelar 62
9.2.2.3 Värmeeffektsbidrag genom skillnad mellan tillförd energi och bortförd 62
9.2.2.4 Tillförd effekt – Teoretiskt arbete 64
9.2.2.5 Värmespridare 65
9.3 Luftflöden 65
9.4 Luftföroreningar 65
9.4.1 Traversering 66
9.4.2 Björnring 67
9.4.3 Punktmätningar 67
9.4.4 Luftrörelser i lokalen och kring maskiner 67
9.4.5 Mätstrategi 67
9.4.5.1 Mätpunkter i lokalen 68
9.5 Metodbeskrivningar för inkapslingar 68
9.6 Lokala luftrörelser kring inkapslingar 70
9.6.1 Förutsättningar: 71
9.6.2 Antaganden 71
9.6.3 Analys av inkapsling 71
9.6.3.1 Mål 71
9.6.3.2 Tillvägagångssätt 71
9.6.4 Exempel 75
9.7 Flödesvariationer i inkapsling 77
9.7.1 Förutsättningar 78
9.7.2 Antaganden 78
9.7.3 Analys av inkapsling 78
9.7.3.1 Mål 78
9.7.3.2 Tillvägagångssätt 78
9.7.3.3 Exempel 79
9.8 Temperaturskillnader 80
9.8.1 Termisk påverkan flera punktformiga öppningar 81
9.8.1.1 Förutsättningar 81
9.8.1.2 Antaganden 82
9.8.1.3 Analys av inkapsling 82
9.8.1.3.1 Mål 82
9.8.1.3.2 Tillvägagångssätt 82
9.8.1.3.3 Exempel, punktformiga öppningar 82
9.8.2 Termisk påverkan en stor öppning 83
9.8.2.1 Förutsättningar 83
9.8.2.2 Antaganden 83
9.8.2.3 Analys av inkapsling 83
9.8.2.3.1 Mål 83
9.8.2.3.2 Tillvägagångssätt 83
9.8.2.3.3 Exempel 85
9.9 Referenser 86
10 Nulägesbeskrivning 87
11 Allmänt 88
11.1 Byggnaden 88
11.2 Processen 88
11.3 Energianvändning 90
11.3.1 Elenergi 90
11.3.2 Naturgas 91
11.4 Ventilation 92
11.4.1 Tilluft produktionslokal 92
11.4.2 Frånluft produktionslokal 93
12 Genomförda mätningar 94
12.1 Elenergianvändning 94

12.1.1 Tillvägagångssätt 94
12.1.2 Resultat 94
12.1.3 Kommentarer 98
12.2 Naturgas 101
12.2.1 Tillvägagångssätt 101
12.2.2 Resultat 101
12.2.3 Kommentarer 104
12.3 Luftflöden 105
12.3.1 Tillvägagångssätt 106
12.3.2 Resultat 107
12.3.3 Kommentarer 108
12.4 Lufthastigheter kring luftdon 110
12.4.1 Tillvägagångssätt 110
12.4.2 Resultat 111
12.4.3 Kommentarer 111
12.5 Temperatur och TVOC 112
12.5.1 Tillvägagångssätt 112
12.5.2 Resultat 112
12.5.3 Kommentarer 112
12.6 Björnring 115
12.6.1 Tillvägagångssätt 115
12.6.2 Resultat 115
12.6.3 Kommentarer 115
12.7 Manuella mätningar TVOC 115
12.7.1 Tillvägagångssätt 115
12.7.2 Resultat 115
12.7.2.1 TVOC-halter vid printerugnar 115
12.7.2.2 TVOC intill printrar samt banor mellan printrar och printerugn 116
12.7.2.3 IC-sprutor och banor 117
12.7.3 Kommentarer 118
12.8 Luftrörelser kring maskiner 118
12.8.1 Tillvägagångssätt 118
12.8.2 Resultat 119
12.8.3 Kommentarer 120
12.9 Tenax provtagning 120
12.9.1 Tillvägagångssätt 120
12.9.2 Resultat 121
12.9.3 Kommentarer 127
12.10 Värmelaster, värmespridare 128
12.10.1 Tillvägagångssätt 128
12.10.2 Resultat 129
12.10.2.1 Washer-, printer- och IC-ugnar 129
12.10.2.2 Washerugnar: 132
12.10.2.3 Printerugnar: 133
12.10.2.4 IC-ugnar 134
12.10.2.5 Värmeavgivning från övriga processdelar och försörjningssystem 135
12.10.2.6 Värmespridare 138
12.10.3 Kommentarer 140
13 Sammanfattande analys av anläggning och förslag till åtgärder. 141
13.1 VOC, värmekällor och aerosoler 141
13.1.1 Sammanfattande analys 141
13.1.2 Förslag till åtgärder 142
13.1.2.1 VOC 142
13.1.2.2 Värmekällor 145
13.1.2.3 Aerosoler 146

13.2 Elenergianvändning 147
13.2.1 Sammanfattande analys 147
13.2.2 Förslag till åtgärder 147
13.3 Naturgasanvändning 148
13.3.1 Sammanfattande analys 148
13.3.2 Förslag till åtgärder 148
13.4 Ventilation, luftflöden och klimatet 149
13.4.1 Sammanfattande analys 149
13.4.2 Förslag till åtgärder 150
14 Utvärdering, genomförande och analys av åtgärder 151
15 Utvärdering av åtgärdsförslag 152
15.1 Allmänt 152
15.2 Sammanställning av åtgärder 153
15.3 Prioritering av åtgärder 154
15.4 Genomförande av åtgärder 155
16 Genomförande och utvärdering av åtgärder 157
16.1 Utsug från IC-bana 2 157
16.1.1 Bakgrund 157
16.1.2 Projektering av utsug längs IC-linje 2 157
16.1.3 Utvärdering av åtgärd IC-bana 2 159
16.1.3.1 Mätning med FID 159
16.1.3.2 Mätning med PID 161
16.1.3.2.1 Analys med modell baserad på medelvärden 161
16.1.3.2.2 Analys med modell baserad på momentana mätningar: 163
16.1.3.2.3 Analys av IC-bana 2 164
16.1.3.2.4 Kommentar: 169
16.2 Förbättrat utsug från bodymakers 170
16.2.1 Fördjupad studie av bodymakern 170
16.2.1.1 Beskrivning av bodymakern 170
16.2.1.2 Flödesvariationer i inkapslingen 172
16.2.1.3 Lokala luftrörelser kring inkapsling 172
16.2.1.4 Temperaturskillnader i inkapsling, termiska stigkrafter 172
16.2.1.5 Föroreningar orsakat av meddragning 173
16.2.1.6 Analys av huv 173
16.2.1.7 Förslag till åtgärder på bodymakern 174
16.2.2 Utvärdering av åtgärder på Bodymaker 174
16.2.2.1 Fotografisk utvärdering av åtgärd 174
16.2.3 Analys av en huvs utsugningsflöden genom datormodell 176
16.2.3.1 Ett behovsflöde 177
16.2.3.2 Flera behovsflöden 178
16.2.3.3 Rektangelfördelad störning 181
16.2.3.4 Sned triangelfördelad störning 182
16.2.3.5 Sned kvadratfördelade störningar 183
16.2.3.6 Sned kubisktfördelade störningar 184
16.2.3.7 Normalfördelade störningar 185
16.3 Lokalt klimat med utjämnande ventilation 186
16.3.1 Bakgrund 186
16.3.2 Utvärdering av utjämnande ventilation 186
16.3.2.1 Svar från enkäten 186
16.3.2.2 Kommentarer på enkäten 188
16.3.2.3 Teknisk utvärdering av utjämnande ventilation 189
16.3.2.4 Kommentarer på den tekniska utvärderingen 191
16.4 Förbättrad ventilation i färgrum 192
16.4.1 Bakgrund 192
16.4.2 Utvärdering av förbättrad ventilation 192

16.5 Effektivare tryckluftsanvändning 193
16.5.1 Läckage 193
16.5.2 Produktionsstyrd tryckluft 193
16.5.3 Trycksänkning i ledningsnätet 193
16.5.4 Reducerad tryckluftsanvändning genom förändringar av necker 193
16.5.5 Effektiv kondensatavblåsning 194
16.5.6 Resultat 194
16.6 Avveckla ångpannan och effektivare värmeåtervinning 196
16.7 Bortledning av vakuumelevatorers utblås från lokalen 196
16.7.1 Bakgrund 196
16.7.2 Utvärdering av bortledning av luft från vakuumelevatorerna 197
17 Pågående och under 2006 planerade projekt 198
17.1 Energianvändning 198
17.1.1 Minskad gasanvändning 198
17.1.1.1 Återvinning av värme från ugnsutmatningen IC-ugnar 198
17.1.1.2 Komplettera washerugnarna med värmeåtervinning ur rökgaserna 198
17.1.2 Minskad elanvändning 198
17.1.2.1 Varvtalsstyrning av fläktar IC-ugn 3 och 4 198
17.1.2.2 Optimera värmeåtervinningen från tryckluften 198
17.2 Inomhusklimat 198
17.2.1.1 Optimering av bodymakerns inkapsling 198
17.2.1.2 Fortsatt utbyggnad avseende lokalventilation 198
18 Sammanfattande avslutning och idéer till fortsatt arbete 199

Bilagor:

12.3.1 Luftflöden TA FA

12.5.1 Traverseringar TVOC Temperatur

12.6.1 Björnringar

12.9.1 Provtagningspunkter

12.9.2 Analysresultat tenax

12.9.3 Ämnen tenax

15.1.1 Checklista

15.2.1 Sammanställning åtgärd

16.2.1 Protokoll fotografisk metod

1 Inledning

Många industrier har problem med sin arbetsmiljö, sin energianvändning och sina utsläpp till den yttre miljön. Industrin har krav på sig från myndigheter vad gäller utsläpp till omgivningen samt krav på arbetsmiljön från såväl myndigheter som medarbetare. Ventilationen utgör en viktig del i arbetet med att dels hålla nere föroreningsnivåerna inomhus och dels att på ett effektivt sätt fånga upp förorenad luft och optimera energianvändningen.

Tyvärr används ventilationen många gånger felaktigt och man ser allmänventilation och processventilation som två skilda system utan beröringspunkter. Man låter många gånger allmänventilationen fungera som huvudsystem för att sänka föroreningshalterna i lokalen. Detta medför onödigt höga luftflöden och ibland inkomfortabel arbetsmiljö. Ventilationen är hos många industrier en lågt prioriterad del av anläggningen då det inte har någon direkt koppling till produktionen. Man saknar ofta kunskapen om hur ventilationsanläggningen skall utformas och skötas så det blir en bra anläggning där allmänventilationen skapar ett bra klimat och processventilationen effektivt för bort föroreningar. Ofta ser man inte möjligheterna att använda processventilationen för att minska mängden allmänventilation. Genom att effektivare ta hand om eller föra bort värmekällor kan man minska mängden kompletterande åtgärder såsom kylning och tillsatser av annan primärenergi.

Rapporten är uppdelad i tre delar.

> Första delen (kapitel 1-9), tar i allmänna ordalag, upp ämnen rörande ventilationsanläggningar hos industrin och systemlösningar. Första delen berör lagstiftning, hälsoaspekter och hur vi påverkas av ventilationen samt historik. Den går även mer detaljerat igenom hur man kan arbeta med ventilationsanläggningar i industrin och specifika analysmetoder.
>
> Andra delen (kapitel 10-13) utgörs i huvudsak av en nulägesanalys av Rexams anläggning. Här tillämpas flera av de specifika metoder som tidigare beskrivits. Här beskrivs tillvägagångssättet för att få fram nödvändiga uppgifter, beräkningar samt resultat. Resultaten kommenteras och den andra delen avslutas med en sammanfattande analys och förslag till åtgärder.
>
> Tredje delen (kapitel 14-18) handlar främst om genomförandefasen. En del av de föreslagna åtgärderna från rapportens andra del har genomförts och utvärderats. Här redogörs för hur man kan analysera och utvärdera genomförda åtgärder.

De tre delarna i rapporten beskriver tillsammans ett sätt att arbeta med praktiska ventilationsfrågor hos industrin. Rapporten skall användas som en inspirationskälla och uppslagsverk så att läsaren kan utveckla och skapa sin egen anpassade arbetsmetod för just den anläggningen han arbetar med.

Denna rapport vänder sig främst till produktions- och fastighetsansvariga hos industrin samt konsulter som arbetar med såväl industriventilation som energifrågor inom industrin.

2 Industriventilation - Lagstiftning

1999 fick Sverige en ny miljölagstiftning. Det infördes en miljöbalk där flera miljö- och hälsoskyddslagar samlades under. Miljöbalken gäller för alla verksamheter även sådana som inte är tillståndspliktiga. Miljöbalken omfattar utöver miljöfarlig verksamhet även bland annat kemikaliefrågor och regler för egenkontroll. Egenkontrollen omfattar såväl ansvarsfördelningen hos verksamheten som kontrollrutiner, kontinuerliga riskbedömningar av verksamheten, förteckning över kemiska produkter och ett ansvar att rapportera driftstörningar.

En industri kategoriseras ofta som en miljöfarlig verksamhet. Miljöfarlig verksamhet är all användning av mark, byggnader eller anläggningar som kan medföra olägenhet för människors hälsa eller miljö. När en industri söker tillstånd för att bedriva miljöfarlig verksamhet hos myndigheten prövar myndigheten om tillstånd skall ges och vilka villkor som ska vara med i tillståndet och gälla för verksamheten. Villkoren reglerar yttre utsläppsmängder och anger krav på t.ex. reningsteknik. Tillståndet reglerar också var anläggningen får lokaliseras och verksamhetens omfattning.

Beroende på vilken typ av miljöfarlig verksamhet som bedrivs indelas företaget i en kategori A, B eller C. Kategori A skall tillståndsprövas av miljödomstolen, kategori B tillståndsprövas av länsstyrelsen och C-anläggningar skall anmälas till kommunens miljö- och hälsoskyddsnämnd. En normal större industri ligger i A eller B kategorin. I vilken kategori den enskilda verksamheten skall vara framgår i förordningen SFS 1998:899 om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd.

Tillsynen på verksamheten sker vid kategori A och B av länsstyrelsen och vid kategori C av kommunen. Länsstyrelsen kan delegera tillsynen till kommunen om den anses ha nödvändig kompetens.

Vid en ansökan om miljöfarlig verksamhet skall flera saker anges bland annat beskrivning av verksamheten, utsläppsmängder, enskilda ämnen, avfallshantering, kontrollrutiner och en miljökonsekvensbeskrivning. När tillstånd erhålls skall man förutom egenkontrollen bland annat också varje år upprätta en miljörapport.

Arbetsmiljön hos en industri är det flera lagrum som behandlar. När det är frågan om luftföroreningar är gränsvärdeslistan, AFS 2005:17, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar, och AFS 2000:4, Kemiska arbetsmiljörisker, viktiga att känna till. Gränsvärdeslistan omfattar ca 350 ämnen. Gränsvärdena anges som högsta godtagbara genomsnittshalt i inandningsluften. Gränsvärdena delas upp i två grupper: nivågränsvärde vars genomsnittshalt baseras på en arbetsdag och takgränsvärde, anges normalt som en genomsnittshalt under 15 minuter. I AFS 2005:17 finns utöver gränsvärdeslistan en annan uppdelning av vissa ämnen utifrån dess farliga egenskaper. Uppdelningen utgörs av grupperna A, B, C, D och E.

A: ämnen som inte får hanteras

B: ämnen som endast får hanteras efter tillstånd från arbetsmiljöverket

C: cancerframkallande ämnen

D: sensibiliserande ämnen

E: reproduktionsstörande ämnen

Uppgifter om hur farligt ett ämne är och hur det påverkar sin omgivning är leverantören skyldig att ge. Kan inte leverantören ge tillräcklig information kan man vända sig till kemikalieinspektionen som har tillsynsansvaret över tillverkare och importörer av kemiska produkter. Kemikalieinspektionen har ett produktregister som man i särskilda fall kan få information från.

Vissa typer av industrilokaler omfattas speciellt av SFS 1991:1273, Funktionskotroll av ventilationssystem.

Enligt AFS 2000:4 Kemiska arbetsmiljörisker, skall en riskbedömning av verksamheten utföras där de kemiska ämnena som förekommer hos företaget skall identifieras och bedömas. Med ledning av denna inventering skall man bland annat besluta om lämpliga arbetsmetoder och arbetsutrustning. En verksamhet får inte starta förrän en riskbedömning utförts och nödvändiga åtgärder genomförts. AFS 2000:4 hänvisar till andra lagar och förordningar, såsom vissa av Kemikalieinspektionens regler och föreskrifter, Strålskyddslagen (SFS 1998:220) m.m.

I arbetsmiljölagen finns även bland annat föreskrifter avseende skyddsombud. Skyddsombud skall finnas på arbetsplatser med minst 5 anställda. Skyddsombuden skall bland annat verka för arbetstagaren i arbetsmiljöfrågor.

Det termiska klimatet regleras också av arbetsmiljöverket. I AFS 2000:42 Arbetsplatsens utformning paragraferna 31-33, står det att det skall vara ett lämpligt termiskt klimat. I föreskriften AFS 1997:2, Arbete under stark värme, anges olika värmeindex beroende av arbetets art och om man anses ha värmeträning eller ej. Det anges även hur värmeindexet mäts och beräknas.

Det finns olika standarder för bedömning av såväl komfort och klimat.

- ISO 7730 (Neutrala termiska miljöer - Bestämning av indexen PMV och PPD samt fastställande av betingelser för termisk komfort). Standarden beskriver en metod för bedömning av inomhusklimatet i ”normala” miljöer.

- ISO 7243 (Varmt klimat - Skattning av värmebelastning på människa i arbete med värmeindex WBGT)

- ISO 7933:2004 (Ergonomi för termiskt klimat - Analytisk bestämning och bedömning av värmebelastning genom beräkning av indexet PHS). Standarden beskriver hur man analytiskt kan utvärdera och uppskatta termisk påverkan i varma klimat.

- ISO 11079 (Beräkningar för kalla omgivningar - Bestämning av krav på isolering i kläder)

I AFS 2000:42 Arbetsplatsens utformning, ställs i paragraferna 18-30 också i allmänna ordalag krav på luftkvaliteten och ventilationen.

Klimatet och föroreningskoncentrationer i lokalen påverkas starkt av ventilationens utformning.

Processventilationens utformning, vars uppgift är att föra bort såväl föroreningar och överskottsvärme från värmekällor, påverkar klimatet och behovet av allmänventilation. Dålig eller avsaknad av processventilation innebär ett ökat allmänventilationsflöde för att kompensera för värmekällor och späda ut luftföroreningar.

En effektiv processventilation kan föra bort luftföroreningar i högre koncentrationer så att rening av den förorenade luften är möjlig. På så sätt kan utsläppsnivåer till omgivningen minska.

Allmänventilationen är till för att ventilera lokalen och skapa ett bra klimat och låga föroreningshalter. Allmänventilationen klarar inte av att ta hand om större värme- och föroreningskällor effektivt. Ett bra utformat ventilationssystem är en kombination mellan process- och allmänventilation där dessa samarbetar för ett bra klimat med låga föroreningshalter.

3 Industriventilation - Hälsa

Inomhusmiljön i en lokal bestäms av flera faktorer bland annat byggnadens konstruktion, verksamheten i lokalen och ventilationssystemets utformning. Inomhusmiljön i sin tur påverkar människan på olika sätt. Det är inte ovanligt att man på våra breddgrader vistas ända upp till 90 % av tiden inomhus[1] så därför är det rimligt att anta att inomhusmiljön är en viktig faktor för vår hälsa. Utifrån ett hälsoperspektiv påverkas vi av dels det termiska klimatet och luftkvaliteten dels ljus- och bullerförhållanden.

Människans upplevelse av inomhusmiljön baseras normalt på lukt och temperatur samt intryck från huden. Upplevelsen via huden grundas främst av att vi svettas och hur svetten avdunstar samt av lokala tryck och luftrörelser på och intill huden.

Ventilationen har flera olika uppgifter. Den viktigaste uppgiften är att skapa en luftkvalitet som medger god hälsa och komfort. Människan har olika uppfattning om vad som är komfortabelt och termiskt bekvämt. Vissa individer är mer känsliga än andra. Det kan vara att man reagerar olika för drag, kyla, värme etc.

Vid arbete med inomhusmiljön är det viktigt att inse att det aldrig går att göra alla nöjda, det kommer alltid att finnas några som är mer eller mindre missnöjda med inomhusmiljön. Vid arbete med inomhusmiljön strävar man efter att tillhandahålla ett klimat som tillfredställer större delen av personalen, därefter får man, så långt det är möjligt, göra personliga lösningar. Personliga lösningar kan vara kompletterande klädselplagg, omplacering till annan del av lokalen m.m.

I icke industriella miljöer, t.ex. ett kontor, vet man idag ganska väl vad som uppfattas vara en god miljö avseende inomhusklimatet. Ett bra inomhusklimat anses vara uppnått när minst 80 % är nöjda eller relativt nöjda med miljön[2]. I extrema miljöer, såsom vissa industrier, kylrum etc. är det svårare att entydigt ange ett gott inneklimat. Vid arbete i extrema miljöer är personal ofta mer tåliga vad gäller klimatet. Troligen beror det på att man både mentalt och fysiskt (genom t.ex. klädsel) förberett sig på att miljön skiljer sig från det ”normala”.

3.1 Luftrörelser

Man har i olika forskningsprojekt undersökt hur luftrörelser påverkar människan och vad som påverkar uppfattningen. I artikeln ”Air movement – good or bad?”[3] har Jörn Toftum försökt sammanfattat de rön som finns idag kring hur människan upplever luftrörelser.

Man har identifierat flera faktorer som spelar en avgörande roll vid upplevelsen av luftrörelser från ventilationen. Faktorerna kan delas upp i dels tekniska faktorer dels individbundna faktorer.

Tekniska faktorer:

- Lufthastighet
- Fluktuationer av lufthastighet
- Lufttemperatur

Individbundna faktorer:

- Temperaturkänslighet
- Fysisk aktivitet
- Klädsel
- Dagsform

Vid stillasittande arbete är man extra känslig för luftrörelser och vid temperaturnivåer upp till 23 °C finns det en ökad risk för att individen skall uppleva besvär av drag även vid lägre lufthastigheter. Människor som känner sig kalla klagar oftare på drag än de som upplever temperaturnivån som behaglig eller varm.[3]

Känsligheten för drag avtar med stigande temperatur och luftrörelser upp till 1,6 m/s kan ibland upplevas acceptabla vid temperaturer runt 30 °C. Vid så höga lufthastigheter spelar andra faktorer än temperaturen också in på komforten såsom luftens kraft på huden.

Ventilationsanläggningar är normalt dimensionerade för att ge en jämn komfort. Hos industrin där det ofta förekommer punktvisa värmekällor med både strålnings- och konvektionsvärme kan det vara omöjligt att tillhandahålla en jämn temperatur. Genom att tillåta högre luft-hastigheter kan ofta en god komfort bibehållas. Det är bra om man vid system med höga lufthastigheter, låter individen själv kunna påverka lufthastigheten.

Även luftens riktning påverkar om man upplever en luftrörelse som obehaglig eller ej. Luftrörelser som kommer underifrån vid en temperatur på 23 °C upplevs mer obehagligt än motsvarande luftrörelser ovanifrån. Vid 26 °C upplevs luftrörelser ovanifrån i större utsträckning som obehagligt än motsvarande underifrån.[3]

Den relativa fuktigheten påverkar också hur man upplever komforten. Hög luftfuktighet och temperatur påverkar den kylande effekt svettning kan ge negativt. För att kompensera för detta kan man öka lufthastigheten.

Undersökningar visar stora skillnader på individnivå hur man upplever en god komfort. När man lät enskilda individer själv justera till önskade luftflöden vid givna temperaturer visade resultaten på ett brett spann. Vid 28 °C låg spannet på luftflödena mellan 0,35-1,35 m/s och vid 29,5 °C var spannet 0,55-1,85 m/s.[3]

Om man kort skall sammanfatta resultaten bör man vid 23 °C och lägre ha låga luftrörelser. Vid högre temperaturer samt vid rörligt arbete kan man bibehålla en god komfort genom att betydligt öka lufthastigheten. Luftrörelser runt 0,4 m/s är normalt inga problem att ha vid termiskt neutral miljö och vid varmare miljö kan 0,8-1,6 m/s upplevas som acceptabla. Luftriktningen verkar i viss grad påverka upplevelsen. Den bästa lösningen är att låta den enskilda individen själv styra över luftflödesmängden och luftens inblåsningsriktning.

3.2 Termiskt klimat

Det termiska klimatet och ventilationen är nära knutet till varandra. Människans värmereglering sker utifrån konvektion, strålning, respiration och svettning. Yttre faktorer som påverkar kroppens värmeavgivning är omgivande temperatur, luftrörelser och klädsel.

När kroppen inte är i värmeeffektbalans reagerar den på olika sätt, t.ex. genom ökad blodcirkulation, svettningar och vid kallare klimat genom huttring.

Med termiska komfort menas det tillstånd då människor är tillfreds med den termiska omgivningen.[4] För att bedöma det termiska klimatet använder man sig av PMV-index. PMV anger på en sjugradig skala hur personer förväntas uppleva det termiska klimatet. Skalan är indelad från -3, mycket kallt till +3 mycket varmt. PPD-index, predicted percentage dissatisfied, anger hur stor andel människor som kommer att vara missnöjda med det termiska klimatet. Med PPD bedöms den termiska komforten.[5]

Människan har en ganska klar uppfattning om vad som upplevs vara en behaglig temperatur vid stillasittande arbete inomhus. I skriften Klassindelade klimatsystem, R1 delas inneklimatet upp i tre klasser TQ1 till TQ3.[2] Dessa utgör tre godtagbara inneklimat där TQ1 är den högsta kvaliteten. Denna indelning är bland annat tänkt att användas som krav från byggherren gentemot entreprenörerna, uthyrning av lokaler m.m. Klassindelningen innebär att TQ1 har färre än 10 % missnöjda dvs. PPD <10%, TQ2 har en PPD på 10 % och TQ3 en PPD på 20 %. Man strävar ofta efter att lägst uppfylla TQ2, dvs. 10 % missnöjda[4].

Vintertid TQ2:

- Operativ temperatur mellan 20-24 °C
- Lufthastigheter < 0,15 m/s
- Vertikal temperaturasymmetri < 3 °C
- Horisontell strålningstemperaturdifferans < 10 °C
- Golvtemperatur 19-26 °C

Sommartid TQ2:

- Operativ temperatur mellan 23-26 °C
- Lufthastigheter < 0,25 m/s
- Vertikal temperaturasymmetri < 3 °C
- Horisontell strålningstemperaturdifferans < 10 °C
- Golvtemperatur 19-26 °C

ISO 7730 har också en motsvarande indelning i tre klasser A-C, skillnaden mellan Klassindelade klimatsystem och ISO 7730 är främst PPD nivån. ISO 7730 anger klass A <6 %, B <10 % och C <15 % PPD. Det skiljer sig även lite vad gäller lufthastigheter och strålningstemperaturdifferansen.[6]

I en sammanställning av Seppänen och Fisk[7] avseende människans reaktion på ventilationen visar den bland annat att det termiska klimatet påverkar hur man upplever luftens kvalitet. Höga temperaturer ökar andelen personer med sjuka hus symptom, SBS, och försämrar upplevelsen av luftkvaliteten. Detta påverkar i sin tur både prestationen och produktiviteten hos personalen. En ökad lufthastighet hjälper till att minska den termiska belastningen genom att konvektionen mellan kroppen och omgivningen ökar.

3.3 Luftföroreningar

Inom WHO har man enats om en niopunkters lista[8] avseende rätten till hälsosam luft. Bland annat skriver man att alla har rätt till att andas hälsosam luft och att den som förorenar inomhusluften också är ansvarig för den skada på hälsan som skett och vad det innebär i form av lindring, botemedel och annan kompensation. Den så kallade ”polluters pays principle”.

Luftkvaliteten beror på flera olika faktorer, t.ex. människan, byggnads- och inredningsmaterial, ventilationssystemets utformning och skick samt vilken verksamhet som sker i rummet och uteluftens kvalitet. Man talar generellt om mellan 1000-6000 olika ämnen i inomhusluften.[9] Denna ”gasblandning” är unik för varje lokal vilket gör det svårt att uppskatta luftens kvalité.

Olika typer av lösningsmedel är vanliga i vår omgivning, lösningsmedel används för att lösa upp eller hålla ett ämne i lösning och många avdunstar väldigt snabbt vid rumstemperatur. Det kan vara olika VOC:s, vatten m.m. Egenskaperna att lösa ämnen och att avdunsta gör att man kan använda dem på många olika sätt, t.ex. färger har någon typ av lösningsmedel då man önskar ha färgen flytande vid applicering men efter applicering avdunstar lösningsmedlet och färgen torkar.

Dessa två bra egenskaper är även de egenskaper som gör att människan lättare tar upp lösningsmedel genom främst inandning men även genom direktkontakt. Det som avgör hur stor mängd lösningsmedel som tas upp är ämnets löslighet i blodet och vävnader. Många lösningsmedel är fettlösliga vilket innebär att de sätter sig på platser i kroppen där det finns gott om fett, hjärnan är en sådan plats. Andra kroppsdelar som är känsliga är hjärta, lever, njurarna, huden, ögonen och andningsvägarna.[10]

En annan faktor som spelar roll för mängden lösningsmedel man exponeras för under t.ex. en arbetsdag är ens arbetsuppgift. Tyngre jobb medför en högre andningsfrekvens och därmed också en ökad exponering än för en med lättare arbete.[10]

Föroreningarna kan vara olika typer av gaser såsom VOC:s, processrelaterade föroreningar, aerosoler, mikroorganismer m.m. Alla dessa olika föroreningar gör att luften inomhus är fullt av olika ämnen vars halt och toxicitet skiftar kraftigt. Flera ämnen som var för sig inte är giftiga kan tillsammans bilda nya giftiga föroreningar. Denna typ av sekundär reaktion är väldigt svår att kontrollera och förutse. Det pågår forskning inom det området men det är fortfarande relativt okända processer.

Det är viktigt att identifiera och bli medveten om luftföroreningskällorna. Källorna hos en industri kommer ofta från processen men även byggnaden, uteluftens kvalitet, personalen och ventilationssystemet utgör luftföroreningskällor. Hos en industri är ofta föroreningar från processen den mest betydande källan men även slarv med filterbyten i ventilationsanläggningen, smutsiga kanaler, luftintagens placering m.m. kan utgöra betydande föroreningskällor.

Förekomsten av organiska föroreningar, VOC:s, i luften hos industrin, skiftar kraftigt beroende på vilken typ av tillverkning det är frågan om. Ofta mäter man totalhalten av VOC, så kallat TVOC. Mätning av TVOC-halt är inte tillräcklig för att bedöma luftens eventuella hälsoeffekter och kvalitet. Detta eftersom inte alla VOC föreningar är farliga och TVOC-halten anger endast den totala halten VOC. TVOC mätningar har ändå sitt berättigande för att indikera föroreningskällor, visa koncentrationstrender i lokaler etc. Att kombinera TVOC-

mätningar med mer detaljerade luftanalyser såsom gaskromatografi (GC) i kombination med och massspektrometri (MS) kan vara ett alternativ. Då får man reda på luftens innehåll och ämnenas förekomst i en viss punkt samt att man med hjälp av TVOC mätningar kan identifiera förhöjda halter av VOC:s och på så vis identifiera bra mätpunkter. AFS 2005:17, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar, reglerar tillåtna halter av enskilda ämnen i lokalen. Gränsvärdeslistan tar inte hänsyn till kombinationer av olika ämnen och eventuella risker för sekundära reaktioner som kan ske och dess farlighet.[11]

Gränsvärdena är fastställda utifrån både hälsokrav och ekonomiska parametrar. Det innebär att även om gränsvärdet underskrids kan det ändå vara en hälsorisk på grund av att de ekonomiska aspekterna pressat upp nivån på gränsvärdet.

Hos alla företag skall papper finnas på alla på företaget förekommande kemikalier. Till varje produkt skall det finnas ett varuinformationsblad och företaget ska utföra en riskbedömning för alla farliga kemikaliska ämnen som hanteras.[12]

3.4 Luftflöden

Flera studier visar att det råder ett samband mellan luftflöden och produktivitet. Ökade luftflöden har visats innebära ökad produktivitet och färre sjukskrivningar.[13]

Till exempel har man i en studie varierat temperaturen och luftflöden i ett klassrum. En lägre temperatur och ökade luftflöden från 5,2 l/s till 9,6 l/s per person förbättrade elevernas förmåga till skolarbete.[14] Liknande tester har gjorts i call centers, där man tagit tiden på telefonsamtal, resultatet blev att produktiviteten förbättrades med ökade luftflöden.[15]

I en granskning av artiklar rörande hälsa och ventilation,[16] fann man bland annat att låga luftflöden (< 10 l/s per person) påverkar vår produktivitet och hälsa samt att 25 l/s och person är ett lämpligt tilluftflöde. Den ökande energikostnaden på grund av högre luftflöden uppvägs av hälsovinsterna i form av bland annat lägre sjukfrånvaro.

Hos en industri är det oftast luftföroreningarna och processens termiska last som bestämmer tilluftflöde och inte antalet personer i lokalen.

3.5 Referenser

1. Luften vi andas inomhus, Folkhälsoinstitutet, Sundell J, Kjellman M, 1994:16, Stockholm.

2. Klassindelade inneklimatsystem, R1, VVS tekniska föreningen, 2000, ISBN 91-973834-3-0.

3. Air movement – good or bad? J.Toftum Indoor Air 2004:14 s 40-45.

4. Installationsteknik AK för V, Catharina Warfvinge, Installationsteknik 1996, Lunds Tekniska Högskola.

5. AFS 2000:42 Arbetsplatsens utformning.

6. ISO-FDIS 7730-2005 , Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of the thermal comfort using calculation of the PMW and PPD indices and local thermal comfort criteria. International standard, ISO, Ref.nr. ISO/FDIS 7730:2005€.

7. Summary of human responses to ventilation, O:A Seppenän, W.J Fisk. Indoor Air 2004:14 s. 102 -118.

8. The right to healthy indoor air, Report on a WHO meeting, 15-17 maj 2000, EUR/00/5020494.

9. Sensory pollution sources in buildings, P.Wargocki, Indoor Air 2004 Vol 14 suppl 7, sid 82-91.

10. Riskerna med lösningsmedel, arbetsmiljöfonden, Arbetsmiljöverket 2000_03.

11. AFS 2000:3, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar.

12. Arbetarskyddsstyrelsens meddelande om Nya Föreskrifter om kemiska arbetsmiljörisker, konsekvensbeskrivning, Ref.nr. 15 YKM 402/98.

13. Some quantitative relations between indoor environmental quality and work performance or helath, O.Seppånen och WJ Fisk, Proceedings Indoor air 2005.

14 The effects of classroom air temperature and outdoor air supply rate on the performance of school work by children, P Wargocki et.al, Indoor air 2005.

15. Effects of temperature and outdoor air supply rate on the performance of call center operators in the tropics. Tham KW, Indoor Air 2004.

16. Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European multidisciplinary scientific consensus meeting (EUROVEN), P Wargocki, et.al, Indoor Air 2002:12: 113-128.

4 Industriventilation - Historik och utveckling i Sverige

4.1 Bakgrund / inledning

Denna del beskriver industriventilationens utveckling och vad som delvis påverkat den. Det är ingen komplett beskrivning av utvecklingen utan snarare ”toppen av ett isberg” i detta, vad jag kan se, outforskade teknikhistoriska ämne.

Kapitlet baseras dels på litteraturstudier dels på intervjuer och kontakter med olika personer med stor kunskap inom sitt fack. Jag vill speciellt tacka Eric von Gertten och Nisse Lindkvist som med sina breda erfarenheter och sitt engagemang gjort arbetet väldigt spännande och givande.

Jag har valt att redovisa händelser i kronologisk ordning. Utvecklingen inom Styr- och reglerteknik och hur det påverkat ventilationssystemen tas inte med i denna redogörelse.

4.2 Före 1900-talet

När industrialismen började i mitten av 1800-talet resulterade det i många nya arbetsmiljöer och riskerna för olycksfall i arbetet ökade i de nya miljöerna. År 1881 kom den första arbetarskyddsförfattningen. Förordningen reglerade användningen av minderåriga i fabriker och hantverk[1].

1885 gjorde arbetsförsäkringskommittén en omfattande kartläggning av arbetsmiljön och allteftersom intresset ökade för skyddsfrågor fick man 1889 yrkesfarelagen. Detta ledde till inrättandet av yrkesinspektörer vilkas befogenheter var tämligen begränsade och utan någon formell makt. Vid extremt dåliga arbetsförhållanden kan man tänka sig att inspektören vände sig till hälsovårdsnämnden för hjälp[2].

En yrkeskår som tidigt började se ett samband mellan arbetsmiljö, ventilation och hälsa var typografindustrin. Typograferna ansågs tillhöra en ”finare” del av arbetarklassen med relativt hög lön och bra utbildning vilka man kunde anta skulle ha en lång livslängd jämfört med ”vanliga” arbetare med betydligt tyngre kroppsarbete. Att så inte var fallet uppmärksammades 1883 i typografernas tidning där en undersökning gällande dödsåldern i yrkeskåren publicerades. Den genomsnittliga dödsåldern för typografer mellan 1879 och 1882 visade sig ligga på 36,5 år, jämfört med industriarbetarens genomsnittliga dödsålder på 44,2 år och för hela riket var motsvarande siffra 48 år under samma tidsperiod[3].

Typograferna hade problem med bland annat blyångor och blyhaltigt damm. Blyförgiftning var inte den vanligaste åkomman men de höga blyhalterna hos typograferna blev en inkörsport till många andra sjukdomar såsom reumatism, blodfattigdom, njur-, nerv- och hjärnskador, mentala störningar men främst lungtuberkulos. Det fanns en klar överdödlighet i lungtuberkulos hos typografer jämfört med övriga arbetare[3].

4.3 År 1900-1929

Det skulle ta flera årtionden innan typografbranschen kommit tillrätta med sina problem. Inte förrän på 1920-talet var dödssiffran i tuberkulos nere i samma nivå som hos resten av befolkningen[3].

Viktiga åtgärder som genomfördes för att minska blydammshalten i luften var dels att installera dammsugare, som användes för att suga upp blydammet, istället för som tidigare då man blåst bort dammet med munnen, dels öka luftväxlingen i lokalen.

FABRIKSHYGIEN befordras
väsentligt genom rationell uppvärmning och ventilation.
Frisk luft är förnämsta kampmedlet mot lungtuberkulos.
Frisk och lämpligt uppvärmd luft höjer arbetsintensiteten.
Erhålles billigast genom användning af min
kombinerade varmluftapparat och ytkondensor,
i hvilken det eljes vid kondenseringsångmaskiner och ångturbiner förlorade latenta ångvärmet på rationellt sätt tillvaratages medelst frisk luft till uppvärmning och ventilation af fabrikslokalerna.
Projekt, ingeniörsbesök och kostnadsförslag afgiftsfritt på begäran.
Referenser öfver utförda anläggningar. Svensk tillverkning.
NILS P. PERSSON, Stockholm
Kungsbroplan 2.

Bild 4.3.1. Annonsen kommer ursprungligen från industria år 1909.[3]

1912 ersattes yrkesfarelagen från 1889 och man fick en arbetsskyddslag. I och med detta infördes skyddsombuden. Yrkesinspektören blev nu skyldig att ta kontakt med de utsedda ombuden, där dessa fanns, och låta dem framföra sina synpunkter[4], vilka säkerligen ofta handlade om luftkvalitet och brist på lämpliga ventilationssystem.

Att bygga en ventilationsanläggning i början av 1900-talet ansågs mycket kostsamt. Det fanns utvecklade system med förtillverkade kanaler att köpa men det var i stort sett okänt i Sverige. Fläktarna var av typen axialfläktar och var antingen ångdrivna eller elektriskt drivna[5]. De höga kostnaderna medförde att det inte var särskilt vanligt med mekanisk ventilation och definitivt inte med kanalsystem. Där man ändå valde att försöka göra någon typ av mekanisk ventilation installerades axialfläkten i ett hål i gavelväggen och på så vis evakuerades luften[4].

Hade man tur installerades i motstående gavelvägg ett jalusigaller[5] där tilluften kom in, men tilluften kunde lika gärna komma från otätheter och dörröppningar i byggnaden. Eftersom det ofta saknades uppvärmningsanordningar i industri- och verkstadslokalerna samt att luften till lokalerna ofta tillfördes okontrollerat medförde detta att man hade stora dragproblem.

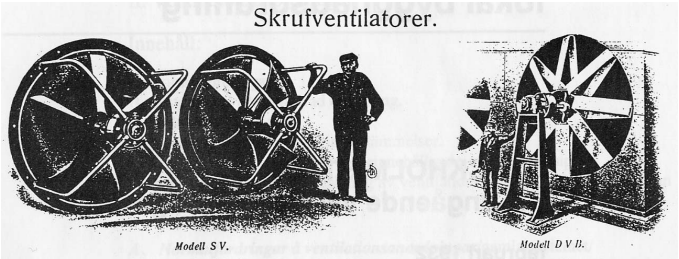


Bild 4.3.2. Bild av en typisk axialfläkt.

Kunskapsnivån inom ventilationstekniken var relativt låg i Sverige. AB Svenska Fläktfabriken, (Fläkt), grundades 1920 och hade 20 anställda. De började arbeta inom ett för landet nästan obefintligt arbetsområde. Det gjordes endast knapphändiga undersökningar av såväl fläktens tekniska data som förutsättningarna där fläkten skulle installeras.

Det fanns inga effektiva lagar att luta sig mot vad gäller arbetsmiljön, man var utlämnad till företagets ekonomiska förutsättningar och vilja till att förbättra arbetsmiljön. En kommentar

som görs i boken ”Verkstadsindustrins arbetsmiljö, Hedemora verkstäder under 1900-talet ”[4] är att ”arbetsmiljön är underordnad lönsamhets- och produktionskraven. Först när dessa äventyras så är arbetsgivaren villig att agera”. En annan kommentar var att man som arbetare var tvungen att finna sig i den miljö som erbjöds. Det var otänkbart som nyanställd att ställa krav och de äldre som arbetat på stället hade oftast varit med om värre arbetsförhållanden, så det kunde vara svårt att få dem med sig.

4.4 År 1930–1949

Arbetsmiljöfrågorna förde en relativt undanskymd tillvaro fram till 1930-talet. Några anledningar till det är sannolikt dels kunskapsbrister dels att den fackliga rörelsen inte var tillräckligt organiserad och stark.

Under 1930- och 40-talet gjordes flera viktiga satsningar inom arbetsmiljöskyddet. En bidragande faktor var att man 1931 och 1938 korrigerade och skärpte arbetsskyddslagen från 1912. 1931 års revidering av arbetsskyddslagen stärkte skyddsombudens roll och 1938 infördes rekommendationer för att det på alla större arbetsplatser borde finnas en säkerhets-kommitté med representanter från arbetsledningen. Detta blev ett lagkrav år 1942 för företag med fler än 100 anställda.

En annan viktig faktor var att facken under denna period var framgångsrika i att teckna avtal avseende arbetsmiljön direkt med arbetsgivaren [2]. Man behövde därför inte utgå från företagets ekonomiska resurser och vad det skulle medföra för företaget, utan det kunde finnas såväl fackliga förhandlade avtal samt lagkrav på arbetsgivaren[4].

I och med att den fackliga rörelsen engagerade sig mer i arbetsmiljöfrågan samtidigt som det socialdemokratiska partiet gick starkt framåt vid riksdagsvalet 1936 ledde det till att arbetsskyddsfrågorna nu även kunde börja drivas på riksnivå[4].

Arbetsgivaren började även uppmärksamma att insatser på arbetsskyddsområdet var företagsekonomiskt lönsamt med hänsyn till kostnaderna för produktionsstörningar, reparationer och upplärning av ersättare. Många av de satsningar man gjorde var mestadels för att förebygga direkta olyckor[4], men även insatser på ventilationssidan förekom.

År 1949 fick man en ny arbetsskyddslag och Arbetarskyddsstyrelsen inrättades och fick ansvar för yrkesinspektionen. Samtidigt fick man en lag som behandlade ventilationen på arbetsplatsen SFS 208/1949 § 20-24. Här påtalas att en ”arbetslokal skall tillföras erforderlig mängd friskluft som med hänsyn till behovet av luftväxling i varje enskilt fall befinnes lämpligast”. Man nämner även att ”tjänliga anordningar skall där så erfordras, finnas för att arbete må kunna äga rum vid lämplig värme och fuktighetsgrad”. Det står även att ”där damm gas eller ånga sprids skall i den mån det är möjligt, arbetsprocessen utföras i sluten apparat”. Det gick också bra att förlägga arbetet i en avskild lokal eller inbyggd plats. Där detta inte var möjligt skulle man anordna ett utsugningssystem[5].

Den nya arbetsskyddslagen och inrättandet av arbetarskyddsstyrelsen var helt klart en markering att samhället såg allvarligare på arbetsmiljön. Dessa bestämmelser tillsammans med påtryckningar från facken leder också till att intresset för både från- och tilluftssystem blir intressant för och vanligare hos industrin under 1930-talet[5]. I boken ”värme ventilation och sanitet” från 1940 ges en god redovisning av tekniknivån på 30- och 40-talen. Man blir förvånad över hur likt det fortfarande är våra nuvarande anläggningar.

Även kompetensen inom ventilationsområdet förbättrades under denna tid. Fläkt blev snabbt mycket framgångsrikt. År 1930 hade Fläkt expanderat från sina 20 anställda till 325 anställda och 1940 var man 1100 anställda och 1950 hade man 2000 anställda. Fläkt kom nu att dominera utvecklingen av ventilationssystem i Sverige och till viss del även hela världen. Denna dominans skulle hålla i sig ända fram till 1980-talet.

På 1930-talet var radiatorverkstaden hos Hedemora Verkstäder en rökig, dragig och bullrig lokal. Man gav då uppdrag till Fläkt att ordna med kanalsystem och rökuppsamlare. Det nya systemet visade sig visserligen inte vara tillräckligt och ända in på 1940-talet vittnade man om rökutsug som inte fungerade. Denna typ av åtgärder var vanlig hos industrin, gavelfläkten kompletteras eller ersätts med ett nytt ventilationssystem uppbyggt av kanaler och punktutsug.

Den tidigare ouppvärmda verkstadslokalen värmdes nu av aerotempers. Aerotempern började bli vanlig hos industrin under 30-talet. Fläkt introducerade aerotempern som en nyhet 1926 i sitt produktutbud[6]. Aerotempern är en enhetsapparat för uppvärmning. Den värmer lokalluften genom att en fläkt cirkulerar lokalluften genom ett värmebatteri.

Någon tidsangivelse när förvärmd tilluft började bli vanligt har inte hittats, men före lamell-batterierna, som sannolikt kom i slutet av 20-talet, användes släta rör i kanalen alternativt monterades vanliga radiatorer in i ventilationskanalen[7]. Värmen tillfördes antingen med ånga eller varmvatten. Huruvida det förekom hos industrin eller om det bara förekom i bostäder framgår ej.

Även radialfläktarna på 30-talet är lika dagens. Det fanns fläkthjul med både framåtböjda, raka och bakåtböjda skovlar. Radialfläkten var dock ända upp till 5 gånger dyrare än axialfläkten. Hur vanligt det var att använda radialfläktar för ventilationsändamål vid denna tidpunkt är svårt att säga. I 1932 års lokala byggnadsordning för Stockholms stad står det i avsnittet ”fläktmaskineri och dess installation” att ”propellerfläkt skall användas, vilken vid stillastående icke spärrar luftens fria passage ut till centralskorsten”, med hänsyn till det och priset på radialfläkten är det sannolikt att den typen av fläkt inte var särskilt vanlig i ventilationssammanhang på 30-talet.

Redan i Fläkt:s katalog från 1941 fanns enhetsaggregat med i sortimentet och aggregatet marknadsfördes under namnet KDC[8]. Priset var förstås högt.

4.5 År 1950-1969

I slutet av 50-talet och större delen av 60-talet, handlade industriventilationen mycket om buller. Man började då uppmärksamma det problem som buller från maskiner, punktutsug och allmänventilation utgjorde hos industrin. I slutet av 50-talet publicerade Fläkt en handledning avseende ljudteknisk planering av fläktanläggningar[10].

1969 startades den första branschspecifika bullergruppen. Det var Mekanförbundet som uppmärksammade bullerproblematiken på allvar och man utarbetade den första buller-standarden för maskiner. Man konstaterade bland annat att luftföringen kring de roterande verktygen kraftigt påverkade ljudnivån från maskinen och dess punktutsug[10]. Bullerproblematiken och utvecklingen för tystare maskiner, ventilation och utsug skedde under hela 60-talet. Det var en av de vanligare arbetsmiljöfrågorna inom t.ex. träindustrin[10].

60-talet kännetecknades av goda tider för svensk industri. Kockums, Fläkt m.fl. var framgångsrika inom respektive genre. Fläkt växte lavinartat och 1960 är man 4750 anställda

inom koncernen. Man sysslade med allt inom luftkvalité och man hade kunder över hela världen.

I mitten av 60-talet började man använda nytt material i kanalsystemen. Ventilationskanalerna i äldre bostadshus kunde bestå av murade kanaler, asbestcement (eternit), gips, papper eller trä[11], men hos industrin hade svartplåtskanalerna dominerat från 30-talet till och med 50-talet. Vid 60-talet ersattes svartplåten med galvade plåtkanaler och i mitten av 60-talet blev de spiralfalsade cirkulära kanalerna, även kallat, spirorör vanliga.

Eternitkanaler förekom fram till början av 60-talet i bostadshus och Nisse Lindkvist på YIT minns att när han anställdes 1964 på Fläkt var en av arbetsuppgifterna att räkna om förfrågningsunderlag där eternitkanalerna föreskrivits till plåtkanaler. Detta gjordes inte utifrån de hälsorisker som eterniten innebar utan för att plåtkanaler var mer praktisk att använda. Inte förrän i början av 70-talet skulle problemen med asbests uppmärksammas ordentligt[12].

I början av 60-talet blev små enhetsaggregat billiga. Detta tillsammans med spirokanalen medförde att en hel del anläggningar byggdes om under 60-talets andra hälft. Ombyggnad skedde främst på kontor och butiker då aggregaten inte hade tillräcklig kapacitet för större industrilokaler. Att installera spirokanaler var inte helt bekymmersfritt. Läckaget kunde vara ända upp till 30 % av det tillförda luftflödet och inte förrän i Fläkt:s katalog från 1974 introduceras packningar vid hopsättning av spirorör. Detta hade föregåtts av en konflikt avseende patentintrång mellan Fläkt och Lindab[12].

I boken om ”Arbetarskyddet hos LM Ericsson i Midsommarkransen 1940 – 1980 talet”, beskrivs ventilationen som ett av de mest uppmärksammade arbetsmiljöproblemen.

Man hade klagomål på drag eller bristande ventilation, sliputrymmen utan lämpliga utsug, och kalla utrymmen vintertid. Man använde även i anläggningen trikloretylen för rengöring, ett ämne som arbetarskyddet redan 1939 varnat för. 1942 protokollfördes första klagomålet hos LM Ericsson avseende trikloretylen och arbetarna ställde då krav på att få gå ut och hämta friskluft även mellan rasterna vilket arbetsgivaren godtog. Ända fram till slutet av 1960-talet var trikloretylenfrågan aktuell hos LM Ericsson. Man hade under den tiden gjort åtgärder i form av förbättrad ventilation och hanteringen hade flyttats till en avdelning med bättre ventilation[13]. Medvetenheten om lösningsmedlens farlighet var fortfarande låg.

År 1969 var den stora gruvstrejken på LKAB. Strejken handlade delvis om arbetsmiljön och var startskottet för uppmärksamheten kring arbetsmiljöfrågor under 70-talet.

4.6 År 1970-1979

I början av 70-talet hamnade bullerfrågorna lite i skymundan och arbetsskyddsfrågorna fick en annan typ av inriktning. Den allmänna debatten i industrisverige kring arbetsmiljön rörde sig nu om hälsovådliga arbetsmiljöer.

De första lösningsmedelslarmen kom 1972/73. Forskningsresultat avseende lösningsmedel och dess skadeverkningar uppmärksammades allmänt i massmedia, vilket fick ett stort genomslag som tillsammans med tidigare strejker resulterade i en översyn av lagstiftningen. Där lösningsmedlen inte gick att ersätta med mindre hälsovådliga kemikalier, var effektiv ventilation och processutsug de viktigaste verktygen man hade för att minska lösningsmedelshalterna i arbetsluften.

Push pull-system och inblåsningstak lanserades på en bredare front som system för att föra bort ångorna från lösningsmedlen. Flera forskningsinstitut inrättades (Arbetarskyddsfonden och Arbetslivscentrum) vars syfte var att kartlägga hälsorisker och komma med förslag till förbättringar[4].

Stora satsningar gjordes inom forskningen för att utveckla bättre utsug och förbättra hanteringen av lösningsmedel. Flera forskare började titta på utformningen av arbetsplatser, luftrörelser och föroreningsspridning, punktutsug, dragskåp m.m. Detta resulterade i nya rekommendationer kring ventilation av arbetsplatsen och användning av punktutsug.

Lackerings-, tryck- och plastindustrin ansågs ha de största problemen. 1976 publicerade Arbetarskyddsfonden, IVF och Sveriges Mekanförbund en sammanfattning av sina erfarenheter kring ventilation vid sprutlackering[14].

1974 skärptes lagstiftningen ytterligare och den första gränsvärdeslistan togs fram. Skyddsombuden på arbetsplatsen fick under vissa omständigheter även befogenhet att stänga arbetsplatsen.

Gränsvärdeslistan är dynamisk och utvecklas hela tiden. Denna lista påverkar direkt industrin då de halter av ett ämne som anges är lagbundna och industrierna är tvungna att hålla sig under halterna. Den nu gällande listan över hygieniska gränsvärden för luft kom år 2005 och heter ”AFS 2005:17 Hygieniska gränsvärden”. [15]

En av de viktigaste förändringarna för reducering av lösningsmedelshalter hos industrin var införandet av vattenbaserade färger och UV-ljushärdande lacker. Övergången till andra färger tillsammans med bättre ventilationssystem har gett oerhörda förbättringar.

1977 började man även oroa sig för det man släppte ut till omgivningen. Det som inte var hälsosamt i lokalen kunde inte heller vara bra att släppa ut i fria luften. Man började studera olika reningsmetoder för främst lösningsmedel. 1977 i tidningen ”Färg och fernissa” fanns att läsa artikeln ”Är fullständig återvinning och recirkulation av lösningsmedel möjligt”. Styrelsen för teknisk utveckling (STU) beviljade Perstorp Regeno 225 000 kronor för att utveckla en metod för lösningsmedelsåtervinning. Detta var tiden då de avancerade reningstekniker av ventilationsluften och processutsug utvecklades och utsläppskraven på industrierna skärptes efterhand.

Det var inte bara processutsug som utvecklades på 1970-talet utan det hände också mycket inom allmänventilationen. 1971 introducerades det första fabriksmonterade kompletta luftbehandlingsaggregatet ”VKBA”[16] av Fläkt som då hade ca 8700 anställda, och året efter kom en utomhusversion ”VKBB”[17]. Detta innebar en effektivare tillverkning och enklare installationer. Luftbehandlingsaggregaten marknadsfördes som snabba och enkla system att installera, man ”bara” satte dem på plats och anslöt aggregatet till elkraft och till ventilationskanalen. Energikrisen 1973 och lagstiftning kring krav på energiåtervinning medförde att ventilationsanläggningarna nu även försågs med värmeåtervinningsbatteri.

Tillverkarna måste ha väntat på ett bra tillfälle att introducera olika typer av värmeåtervinning för samtidigt som energikrisen 1973 kom, introducerade både Fläkt och Munters nya typer av värmeåtervinningssystem. Fläkt introducerade 1973 vätskekopplad värmeåtervinning och frånluftsvärmepump[18]. Fläkt:s första stora värmepumpsinstallation gjordes åt Ikea vid deras etablering i Tyskland ungefär 1975-76. Munters introducerade ungefär vid samma tid den roterande värmeväxlaren till industrin. 1969 hade i och för sig den första roterande

värmeväxlaren monterats för ett laboratorium men lite senare kom varianter för installation hos industrin[19].

1975 kom nya byggnadsbestämmelser avseende energihushållning. I supplementet till SBN 75[20] anges bland annat att större lokaler och industrier med ventilationsförluster överstigande 50 MWh/år skall förses med återvinning. Detta gällde inte retroaktivt, men då den förra epoken av större insatser inom industriventilationen skedde under 1930 - 40-talet, var det nu dags att uppdatera anläggningarna dels utifrån teknisk livslängd, dels utifrån skärpta arbetsmiljökrav och ändrade verksamheter. Man valde då många gånger att även installera värmeåtervinningsanläggningar.

Vid mitten av 70-talet kom även olika typer av flödesregleringar av fläktarna, t.ex. introducerades axialfläktar med ställbara blad, frekvensomvandlare och tyristorstyrning[5].

1975 fick företagen rätt att avsätta stora summor till ”skattefria arbetsmiljöfonder” [10]. Vad detta inneburit för viljan hos industrin att uppdatera sina ventilationsanläggningar är oklart men åtgärder som är ”skattefria” har alltid ansetts vara attraktiva.

1974 introducerades även Dirivent av Fläkt som var en ny typ av omblandande ventilation för industrilokaler där man med hjälp av mindre jetstrålar flyttade stora luftmängder i rummet[21]. Detta medför att man med små kanaler kan transportera större mängder luft. Systemet är speciellt lämplig i lokaler där man inte kan hänga stora kanaler i taket t ex på grund av traverser. Dirivent marknadsförs fortfarande.

Under detta årtionde gjordes många investeringar i ventilationen. Alla var inte så bra då de byggde på stora flöden istället för funktion. Till exempel godkändes en sprutarbetsplats först då den minst höll ett luftflöde på 0,5 m/s över frontytan. Det var lättare att mäta luftflöden än att kontrollera utsugets uppfångningseffektivitet.

I slutet av 1978 sjösatte styrelsen för tekniskutveckling, STU, ett industriventilationsprojekt och godkände vid samma möte ett tiotal projekt vid Träcentrum i Jönköping för Träindustrins arbetsmiljögrupp.[12] De projekt som bedrevs vid Träcentrum i Jönköping hade en klar inriktning att samorientera materialflöden och ventilationsluftflöden genom bra arbetsplatsutformningar som innefattade luftstyrande skärmar och hjälpmedel för materialhantering. Det hela gick ut på att operatören alltid skulle befinna sig i renluftflödet. Detta tänkande visade sig klara avsevärt lägre luftflöden och därmed lägre energikostnader.[10]

En annan utmärkande sak för 1970-talets ventilation var att många industribyggnader byggdes med platta tak. Det ansågs att platsen inomhus var för dyr att upplåta åt ventilationsanläggningar och därför placerades aggregat och stamkanaler på taket. Detta höll i sig tills man fick de rekordkalla vintrarna i slutet av 70-talet då man fick problem med installationerna på taken. Takinstallationer är något som är på väg tillbaka och frågan är om man glömt vad som gjorde att man frångick detta eller om man anpassat utrustningen.

I 1978 års katalog från Fläkt presenterades korsströmsvärmeväxlare som en nyhet[22] och ungefär 1980 introducerades deplacerande don av Bahco. Deplacerandeventilation var ett helt nytt tänkande vad gällde industriventilation. Det skulle bli en skarp konkurrens och ett informationskrig mellan Fläkt:s omblandade system och Bahco:s deplacerande och det skulle hålla i sig fram till 1987 då Bahco:s ventilationsdel köptes av Fläkt.

4.7 1980-2000

Under 1980- och 1990-talet stagnerar utveckling inom ventilationssystemen. Fläkt köptes av ABB 1988 och hade då ca 20 000 anställda. 1991 påbörjas det som kallats slakten av Fläkt. En omfattande omorganisation görs och Fläkt:s kompetensbank styckas upp och sprids inom företaget. Man övergick från att ha större centrala utvecklingsavdelningar till mindre självgående resultatenheter där kompetensen från utvecklingsavdelningarna petades in där de passade. Detta ledde till en snabb urlakning av kompetens inom företaget och utvecklingen avstannade då det inte fanns några större centrala pengar för forskning och utveckling. Fläkt försvinner ganska snart från marknaden och en världsledande koncern inom luftteknik var spridd med vinden[6].

Arbetsmiljöproblemen uppmärksammades inte på samma sätt under 80- och 90-talet. Den stora utvecklingen inom ventilationen under 1980-talet och fram till idag har styr- och reglerföretagen stått för. De förfinar och optimerar sina styrsystem till ventilationen och en mer exakt och sofistikerad styrning ger effektiviseringsvinster i form av minskad energianvändning och minskat slitage[23].

1980 publicerade Arbetarskyddsfonden, IVF och Sveriges Mekanförbund skriften ”Mekanisering för en förbättrad arbetsmiljö vid sprutlackering. Dagens teknik och utvecklingspotential”. I detta arbete nämner man bland annat de hälsoproblem en lackerare utsätts för, dels lösningsmedelsångor, dels drag och förslitningar. Man konstaterar att det förekommer mekaniserad lackering med hjälp av ”robotar”. Dessa var emellertid inte så effektiva, gav mycket lackförluster och missade ytor. Detta medförde en hel del manuella bättringsarbeten vilket ofta skedde i, ur arbetsmiljösynpunkt, dåliga lokaler[24].

Robotens intåg gjorde att man kunde tillåta utrymmen med sämre arbetsmiljö då ingen människa är närvarande under någon längre tid. Man flyttar arbetaren från föroreningskällan till ett kontrollrum där man tillhandahåller en hög temperatur- och luftkvalité[10].

1980-81 gjorde Yrkesinspektionen i Linköping en riktad tillsyn på sprutmålningsanläggningar i distriktet. Syftet var att studera arbetet och hjälpa till med råd och anvisningar för att minska de yrkeshygieniska riskerna. Sammanfattningsvis konstaterades att det ofta saknades avdunstningszoner, torkrum och tillräckliga utsug. Man konstaterade också att även där tillräckliga utsug fanns krävdes det många gånger extra skyddsutrustning på grund av. de ämnen som fanns i färgen såsom blykromater, epoxi och isocyanater[25].

1990 började ”Aktivent” ventilationssystem introduceras av Fläkt till svenska industrin. Aktivent kom ursprungligen från Finland och var vanligt i livsmedelsbranschen, främst i slakterier. De problem man hade på slakterierna var att man i arbetslokalen ur livsmedelsskäl var tvungen att hålla en låg temperatur samtidigt som man var skyldig att tillhandahålla en god arbetsmiljö. Aktiventens föregångare bestod av perforerade plaströr som hängdes upp i taket och fördelade kyld luft jämt över produkterna. Detta system introduceras nu till andra industrier i form av perforerade stålkanaler. Med detta system kan man skapa zoner med friskluft där personalen arbetar och systemet är populärt att installera i såväl små som stora lokaler. Ventilationsdon typ aktivent finns numera även som textilkanaler.

Avregleringen på elmarknaden 1996 innebar ett nytt startskott för energieffektiviserings-åtgärder hos industrin. Elenergibolag av storlek erbjöd gratis energieffektiviserings-utredningar hos industrin om man köpte sin elenergi av dem. Det gjordes många utredningar och ventilationen hade en given plats i dessa. Man lade fram olika optimeringsförslag av

ventilationen. Enklare förslag genomfördes hos industrierna men många mer omfattande förslag blev liggande. Några av anledningarna till detta var dels att industrin hade minskat sin egen servicepersonal, så det fanns varken tid eller resurser att genomföra större förändringar, dels var kravet på återbetalningstiden för en åtgärd många gånger orimligt kort. Man accepterade inte återbetalningstider på 5-10 år. Åtgärderna skulle helst ha ett års återbetalningstid så den rymdes inom den vanliga driftsbudgeten. Detta är förutsättningar som idag är i princip oförändrade. Det som sannolikt påverkat företag så att ekonomin delvis fått en något lägre inverkan är införandet av miljöledningssystem t.ex. ISO 14 000 hos företagen. I miljöledningssystemen krävs det att man arbetar med ständiga förbättringar vilket då även kan tala för att man väljer att genomföra mindre lönsamma, men miljöeffektiva projekt.

4.8 Slutkommentar

Det är intressant att se att det är många faktorer som påverkar utvecklingen inom en bransch. Med utveckling menas inte bara teknisk utveckling utan lika mycket en faktisk utveckling. Värmeåtervinningssystemen utvecklades en tid innan de introducerades på marknaden, ur en teknisk synvinkel är detta tidpunkten för utvecklingen av värmeåtervinningssystemen, men för industriventilationens utveckling generellt skedde utvecklingen när den introducerades på marknaden dvs. ungefär samtidigt som oljekrisen 1973.

Man kan även spekulera om vad som kom först, uppfinningen eller behovet. Ser man åter på introduktionen av värmeåtervinningssystemen hade tekniken funnits i flera år men först när energipriserna höjdes blev det lönsamt att installera värmeåtervinning och tekniken introducerades. Därmed fanns tekniken redan före behovet. Värmeåtervinning med hjälp av en korsströmsvärmeväxlare utvecklades och introducerades däremot under 70-talet. Det fanns behov för billigare och effektivare återvinningssystem för mindre luftbehandlingsaggregat. Lösningen blev att sammanbygga till- och frånluft till en enhet och montera en korsströmsvärmeväxlare i enheten. Ser man på lösningsmedelsproblematiken under samma tidsperiod skedde det mycket forskning inom området under 70-talet och nya rön kommer fram i mitten och slutet av 70-talet. Detta tyder på att behovet uppmärksammades före uppfinningen.

Generellt sett har alla större förändringar av arbetsmiljön och arbetsmiljölagstiftningen sedan 1930-talet påverkat industriventilationens utveckling på något sätt. Före 30-talet fanns det ingen direkt lagstiftning att luta sig emot och bedömningen om vad som var en god arbetsmiljö var klart subjektiv. Yrkesinspektören kom och inspekterade och behövde egentligen inte lyssna på hur arbetarna upplevde arbetsmiljön. Direkta olyckor sågs i statistik men otjänliga lokaler med bristande ventilation och uppvärmning syntes inte, och därför var bedömningen av luftkvalitén beroende av vem som utförde inspektionen.

I och för sig innebar skärpningen av lagstiftningen på 30-talet inga direkta kvalitetskrav men facken började sluta avtal avseende arbetsmiljön, skyddsombuden fick komma till tals och inrättandet av säkerhetskommittéer medförde allmänt en ökad medvetenhet för arbetsmiljöfrågorna. När arbetsgivaren även tittade på produktionsbortfall och kostnader att ersätta personal blev det mer intressant att göra något.

Man förvånas över att först ca 100 år efter industrialismens intåg dvs. 1949 kom den första lagstiftningen avseende luftkvalitet på arbetsplatsen. Gränsvärdeslistan infördes 1974 och fortfarande är lagstiftningen något trubbig, det finns inte så mycket att sätta emot då gränsvärdena många gånger är generöst satta. Gränsvärdena baseras dels utifrån hälsovådlighet och dels vägs även ekonomiska och tekniska faktorer in.

En viktig orsak till att det tog så lång tid innan man fick ner dödligheten inom typografkåren var att åtgärder i form av installation av en ventilationsanläggning var ekonomiskt och produktionsmässigt tunga att genomföra. De större förändringarna såsom förbättrad luftväxling genomfördes många gånger inte förrän man bytte till nya produktionslokaler eller genomförde större omändringar i produktionsutrymmet.

När det görs satsningar inom ventilationen hos en industri är det viktigt att dessa blir bra. Det är ofta en stor investering man gör. Denna investering kommer sedan i skymundan då produktionen startar och förändras. Många gånger är det svårt att genomföra ombyggnader efter det att anläggningen tagits i drift eftersom man inte tål de produktionsbortfall en större förändring av en ventilationsanläggning kan medföra. Vidare är det vanligt att allteftersom produktionen utvecklas och förändras, anpassas inte ventilationen till förändringen. Den glöms ofta bort då kompetensen inom företaget är produktionsanpassad och man har inte erforderlig kunskap om kringsystemen såsom ventilation och uppvärmning.

Styr och regler är det som de senaste åren stått för den huvudsakliga utvecklingen inom ventilationen. Hur länge det kommer att vara så är det ingen som vet, men om man lyssnar på vad det talas om och ser på vad som utvecklas, handlar det om att styr och regler tillsammans med den traditionella ventilationstekniken tar fram nya koncept inom främst behovsstyrd ventilation. I den behovsstyrda ventilationen har det enskilda luftdonet inbyggd intelligens nog för att fatta egna beslut baserat på de data donet samlar in via sina sensorer. Detta finns idag utvecklat och går att installera i sin anläggning.

Man pratar även om möjligheterna att rena rumsluften så mycket att varken tilluft eller frånluft behövs. På så vis skulle värmeenergiförlusterna minska betydligt. Detta är dock en teknik som ännu inte existerar. Man talar även om luftkvalité och någon typ av kvalitetsmärkning av luften. Hur ren luft behöver vi, vad är vi beredda att betala för den osv.

Det verkar som om man i perioder om 30-40 år gör omfattande förändringar på ventilationssystemen. Det man gjorde på 30- och 40-talet byggdes om på 60-, 70-talet. Vi har nu kommit till början av nästa period och det är därför viktigt att de anläggningar vi bygger upp idag blir flexibla och lätt anpassade.

4.9 Referenser

1. Uppsats skriven i kursen Personalarbetets innehåll och metoder, Göteborgs universitet, ”Skyddsombud, Möjligheter och begränsningar för skyddsombud verksamma inom SKTF”, Maj 2002.

2. Telefonkontakt med Docent Lars Berggren på Historiska institutionen på Lunds universitet, 22/3-04.

3. Gamla typer och nya produktionsförhållanden : om rationalisering och medbestämmande, åldrande och solidaritet bland typografer i Sverige från slutet av 1800-talet till omkring 1960 / Lars Olsson, 1986.

4. Verkstadsindustrins arbetsmiljö : Hedemora verkstäder under 1900-talet / Maths Isacson, 1990.

5. Ventilation förr och nu : en handbok och regelsamling för ventilationskontroll / sammanställd av Ulla Orestål, Svensk Byggtjänst 1992.

6. AB Svenska Fläktfabriken, Miljöföretaget som försvann. Karl Hugo Andersson, ISBN 91-631-3141-2.

7. Värme Ventilation och Sanitet, del 1, 1940 Stockholm.

8. Svenska Fläktfabrikens katalog 1941.

9. Bullermätstandard för maskiner Sveriges Mekanstandardisering SMS 965.

10. Möte och flera samtal och brevväxlingar med Eric von Gertten.

11. Ventilation Kap 7 installationstekniks utbildningsmaterial.

12. Möte med Nisse Lindkvist på YIT, 23/3-04.

13. Arbetarskyddet på LM Ericsson i Midsommarkransen 1940-1980 / Bill Sund, 1992.

14. Nr 32 i arbetarskyddsfondens serie sammanfattningar, 1976.

15. Samtal med Marianne Walding på arbetsmiljöverket, den 2/4-04.

16. Svenska Fläktfabrikens katalog 71.

17. Svenska Fläktfabrikens katalog 72.

18. Svenska Fläktfabrikens katalog 73.

19. Möte med Munters, ISBN 91-86440-06-3.

20. SBN 75.

21. Svenska Fläktfabrikens katalog 74.

22. Svenska Fläktfabrikens katalog 78.

23. Möte och samtal med Jörgen Mårtenssson, VD och grundare av Elektrologik i Lomma 26/3-04.

24. Nr 270 i arbetarskyddsfondens serie sammanfattningar, 1980.

25. Riktad tillsyn på sprutmålningsanläggningar, Yrkesinspektionen Linköpingsdistrikt, 1981.

5 Industriventilation - Systemlösningar

5.1 Allmänt

Hos en större industri finns ofta flera olika ventilationsanläggningar som arbetar efter olika systemlösningar. Vilka systemlösningar som installerats och varför beror dels på anläggningens ålder, tidigare erfarenheter och inblandade rådgivare när den enskilda anläggningen byggdes och givetvis vad man önskar uppnå med den specifika anläggningen.

Man kan dela in ventilationssystemen i två huvudgrupper, allmänventilation och processventilation. Dessa är två skilda system som ofta verkar parallellt med varandra i en och samma lokal. Att de är två skilda system utgör många gånger rent organisatoriskt ett problem. Systemen arbetar i samma lokal och påverkas därför mer eller mindre av varandra. Problemet är att det ofta inte är samma personer och företag som levererar de olika systemen vilket gör att det finns en uppenbar risk att man inte tar hänsyn till de olika systemen när man anlägger eller bygger om ett system. Detta gör att det inte är ovanligt att systemen motverkar varandra istället för att dra nytta av de olika systemens möjligheter att samverka.

Anledningen till att man installerat processventilation är för att effektivt fånga upp och transportera bort föroreningar och värme från processen så att man minimerar människors exponering av farliga ämnen och kan tillhandahålla ett bra termiskt klimat åt arbetstagaren. Processventilationen är alltid placerad nära föroreningskällan i form av olika typer av punktutsug eller inkapslingar. Processventilationen har också till uppgift att fånga in luftföroreningar så koncentrerat som möjligt, vilket underlättar eventuell rening av den evakuerade luften.

Allmänventilationens uppgift är att dels tillföra ny fräsch luft till lokalen men även transportera bort de föroreningar som eventuellt punktutsugen inte klarade att fånga in. Allmänventilationen hjälper även till att skapa ett bra klimat på arbetsplatsen genom att värma och kyla luften i industrilokalen.

Somliga ser allmänventilationen som en ersättare till processventilationen. Detta är beklagligt och måste så långt möjligt undvikas. Allmänventilationen skall normalt inte klara av att kyla bort stora värmeöverskott från processanläggningen utan den värmelasten bör process-ventilationen eller ett lokalt kylsystem ta hand om. Allmänventilationen är inte heller avsett för att föra bort större mängder luftföroreningar. Att använda allmänventilationen som process-ventilation är många gånger ineffektivt och dyrt.

Onödigt höga luftflöden för att hålla nere föroreningshalter eller temperaturer i arbetslokalen kostar såväl elenergi för fläktarbetet som värmeenergi i form av ökade uppvärmnings-kostnader av tilluften.

I detta avsnitt redogörs det för de vanligare systemlösningarna som förekommer hos industrin, dess funktion och uppbyggnad gås igenom och för- och nackdelar kommenteras. Självdrag tas inte upp här då det inte förekommer i någon större utsträckning hos industrins produktions-lokaler.

5.2 Allmänventilation

Allmänventilationen delar man in i olika kategorier beroende av de ventilationsprinciper ventilationssystemet arbetar efter. Nedan beskrivs de fyra vanligt förekommande principerna, omblandande, deplacerande, utjämnande och kolvströmsventilation.

Det finns ett par krav/rekommendationer avseende industrilokaler som man bör/skall uppfylla.[7]

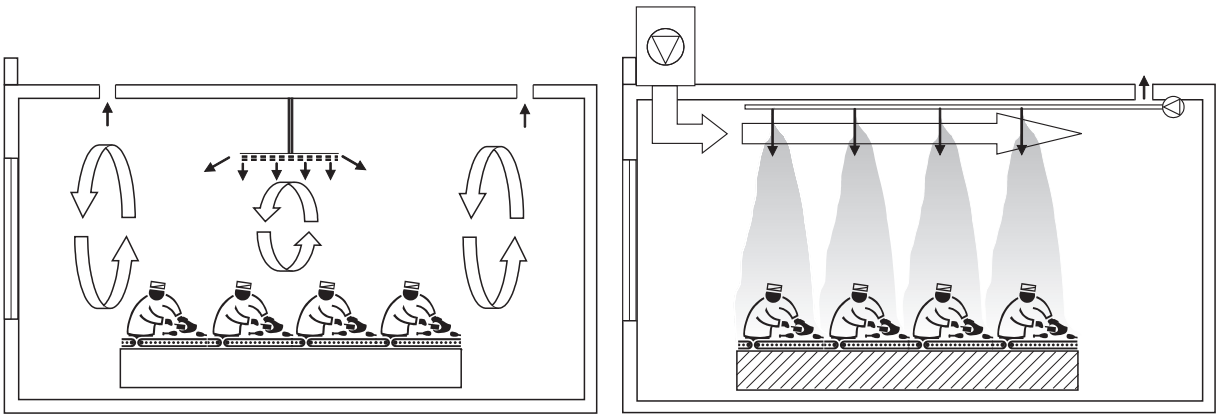
- Lufthastigheten i vistelsezonen bör vara < 0,15 m/s under uppvärmningssäsongen annars < 0,25 m/s. Vid högre temperaturer kan högre hastigheter tillåtas.
- Yttemperaturen på golv bör vara mellan 16-27 ºC.
- En operativ temperatur >18 ºC och en operativ temperaturdifferens i vistelsezonen <5ºC, alternativt 2-3 ºC/m.[1]
- Arbetsmiljöverkets gränsvärdeslista får ej överstigas.[8]

När man skall dimensionera en allmänventilationsanläggning finns det flera faktorer att ta hänsyn till bland annat[1]

- Värme-/kylbehov
- Föroreningskällor, placering och styrka
- Önskad arbetsmiljö avseende temperatur, luftkvalitet
- Önskade luftrörelser i lokalen och placera don och utsug efter det
- Värmelaster och rörelser i lokalen som kan störa luftflödet
- Processens och arbetsplatsens utformning, så att inga svåra hinder är i vägen
- Befintliga och tänkta processutsug och dess placering

5.2.1 Omblandande ventilation

Vid omblandande ventilation strävar man efter en fullständig omblandning av luften i rummet. Detta medför att temperaturskillnaden i rummet är låg och eventuella föroreningar är jämt fördelade i rummet. Detta kan uppnås genom att tilluften tillförs rummet i hög hastighet via tilluftsdon placerade i tak eller vägg ovanför vistelsezonen. Den höga hastigheten orsakar luftrörelser så att det sker en omblandning av luften i rummet. Det finns två vanliga typer av omblandande ventilation ”vanlig” omblandande och dirivent. Bilden 5.2.1 visar det två olika typerna av omblandande ventilation.



Figur 5.2.1. Omblandande ventilation, vanlig t.v. dirivent t.h.

Skillnaden mellan vanlig omblandande ventilation och dirivent är att dirivent används vid höga takhöjder där det annars kan vara svårt att få en total omblandning. Det är även lämpligt när man inte kan tillåta större kanalinstallationer i taket. Dirivent har både vertikala och horisontella luftstrålar som styr tilluftflödet och på så vis kan tilluften fördelas och transporteras i lokalen[9].

Vid omblandande ventilation i lokaler med större föroreningskällor måste flödena avpassas efter godtagbara föroreningsnivåer i vistelsezonen. Omblandande ventilation går ut på att späda ut föroreningarna. I praktiken kommer föroreningshalten alltid att vara högre i närheten av föroreningskällan.

Omblandande ventilation är vanligt förekommande och används när man skall föra bort större värmelaster med låga föroreningshalter i luften. Systemet går även att kombineras med olika typer av kylsystem i lokalen såsom fancoils, kylbafflar etc.

För att undvika drag i vistelsezonen är valet av tilluftsdon avgörande, En avvägning måste göras mellan placering, kastlängd och riktning. Ventilationsanläggningen dimensioneras normalt så att luftstrålens högsta hastighet är högst 0,2 m/s när den når vistelsezonen.

En fördel med omblandande ventilation är att temperaturen på tilluften kan tillföras betydligt under- eller övertempererad jämfört med rumsluften utan att man får problem med drag i vistelsezonen. Anledningen till detta är att inblåsningshastigheten är hög i tilluftsdonet och det bildas en luftstråle. Denna luftstråle orsakar en medejektering av omgivande luft så att tilluften späs ut och temperaturen kommer snabbt att närma sig rummets. På så vis kan man lättare hålla önskad temperatur i vistelsezonen än vid deplacerande ventilation.[1]

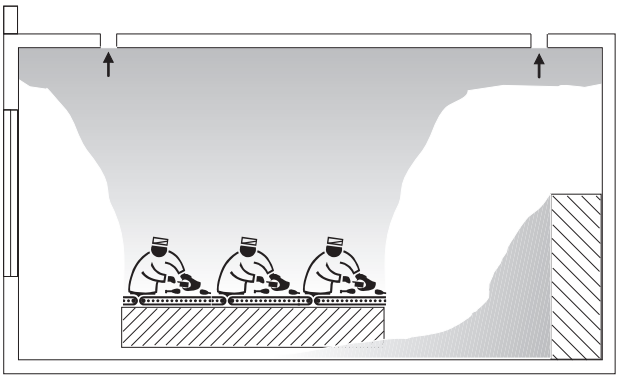
Vid placering av frånluftsdonen bör hänsyn tas till föroreningskällorna. Helst skall frånluftsdonen placeras ovanför källorna strax under tak. På så vis kan eventuella förorenade luftströmningar orsakade av konvektionsströmmar direkt föras bort utan större spridning.

5.2.2 Deplacerande ventilation

Deplacerande ventilation är vanligt förekommande hos industrin. Deplacerande ventilation används vid måttliga värmelaster i kontorsutrymmen men hos industrin är det vanligt med högre värmelaster. Detta fungerar väl i en industrilokal med högre takhöjder då det finns utrymme att lagra större tempererade och förorenade luftvolymer i undertaket än på ett

kontor. Vid högre kylbehov kan man komplettera systemen med någon typ av strålnings-kylare, t.ex. passiva kylbafflar eller kyltak vars räckvidd är begränsad.

Deplacerande ventilation utnyttjar den densitetsskillnad som luften har vid olika temperaturer. Densiteten på luft är hög vid låga temperaturer och låg vid högre temperaturer. Det innebär att kall luft lägger sig på en lägre nivå och kommer då att tränga undan den varmare luften vilken kommer att stiga uppåt. Eventuella föroreningar i luften följer då med den uppåtgående luftströmmen och det bildas två zoner i rummet, en undre renare zon, och en övre förorenad zon. Den deplacerande ventilationen tillför därför luften undertempererad i låg hastighet genom större don i golvnivå, se bild 5.2.2. De deplacerande donen är betydligt större i storlek än t.ex. omblandande ventilation, anledningen till det är dels för att undvika drag eftersom man placerar donet i golvnivå i närheten av personalen och dels vill man undvika högre hastigheter på luften vilket skulle kunna leda till en omblandning av luften. För att undvika problem med drag bör man inte överskrida 0,15 m/s i vistelsezonen[3].



Figur 5.2.2. Deplacerande ventilation.

Det bildas en temperaturgradient i den rena zonen. För stora temperaturskillnader är inte bra ur arbetsmiljösynpunkt. Rekommenderad maximal temperaturgradient per m är 2 °C/m vid stillastående arbete och 3 °C/m vid stående fysiskt arbete för att man inte skall uppleva obehag[1].

Den undertempererade rena zonens höjd kommer att hamna där värmelasternas uppåtgående konvektionsflöden är lika stora som tilluftflödet. Ovanför den rena zonen finns en omblandad förorenad zon.

Gränslinjen mellan den rena och den förorenade zonen bestäms utifrån brukarmönstret. Har man mestadels sittande aktivitet så kan man nöja sig med att den rena zonen sträcker sig 1,1 m över golv, sker arbetet däremot stående så bör den rena zonen nå minst 1,8 m över golv[1]. Man kan även tänka sig en lägre nivå beroende på att konvektiva uppåtgående luftströmmarna bildas när den renare och kallare luften träffar en människa. Det innebär att ren luft från golvnivå stiger uppåt längs kroppen och utgör på så vis ett visst skydd gentemot föroreningar i omgivande luft.

Även produktionsprocesser kan lokalt påverka gränslinjen mellan ren och förorenad luft. Processen kan orsaka vertikala nedåtgående luftrörelser t.ex. transportband som går vertikalt genom lokalen kan orsaka luftströmmar som drar med sig föroreningar från den högre förorenade zonen till vistelsezonen. Man kan även tänka sig att man vill utnyttja den varmare luften som hamnar i taknivån för processändamål, och man suger därför med en fläkt varm

förorenad luft till processen. Det är i dessa fall viktigt att se till att den förorenade luften inte kommer ut till vistelsezonen utan evakueras genom ett punktutsug eller skorsten.

En annan faktor som kan komma att påverka effekten av deplacerande ventilation är om man behöver ett kompletterande kylsystem för att klara av värmelaster. I lokaler med större värmekällor kan man frestas att installera ett system som kyler luften inne i lokalen och inte tilluften. En sådan åtgärd kräver stor eftertanke. Alla typer av kylsystem som bygger på att man kyler den uppvärmda luften som finns i lokalens övre del är risken stor att den nedåtgående kylda luften drar föroreningar med sig och man får en typ av lokalt omblandande ventilation med höga halter av föroreningar. Istället kan man använda sig av strålningskylare typ kyltak eller passiva kylbafflar. På grund av dess korta räckvidd måste kylbafflarna placeras i närheten av där man vill kyla. Strålningskylare påverkar luftens temperatur i mycket liten utsträckning vilket medför att varm luft fortsätter stiga medan fast materia påverkas och man upplever kyla. Med sådant system påstår man sig kunna nå kyleffekter runt 100 W/m^2.[4]

Det som begränsar deplacerande ventilation som system i en industrilokal är vilken temperaturgradient man kan acceptera och hur stora luftflöden anläggningen kan ge till lokalen kontra vilken kyleffekt som ventilationen förväntas ge. Är kylbehovet högre än vad man kan klara av att skapa utan att överstiga temperaturgradienten och dragrisken så bör man se efter andra sätt att ventilera på.

För att dimensionera ett deplacerande ventilationssystem bör man utöver tidigare nämnda faktorer också klargöra följande:

- Bestämma på vilken nivå gränslinjen mellan ren och förorenad luft skall vara.
- Beräkna storleken på konvektionsströmmarna som kommer att gå genom gränsskiktet.

Fördelarna med deplacerande ventilation är flera, främst är det ur luftkvalitets synpunkt. Ett riktigt utfört system ger en snabb borttransport av föroreningar från vistelsezonen och därmed en zon med låga halter av föroreningar.

Nackdelarna är dels att det kräver en högre inblåsningstemperatur än vad t.ex. omblandande ventilation kräver vilket ger en längre uppvärmningsperiod. Kyleffekten begränsas också av den högre inblåsningstemperaturen.

En annan nackdel är att de deplacerande donen tar mer plats i vistelsezonen än omblandande system. Det innebär att det inverkar på golvytan på ett annat sätt än vid omblandande ventilation och dess placering kan vara besvärlig.

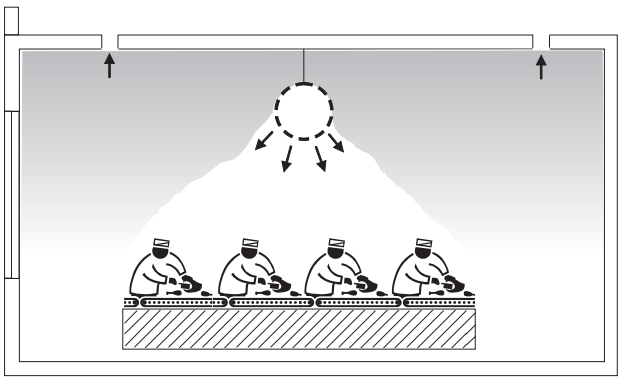
5.2.3 Utjämnande ventilation

Utjämnande ventilation är ett relativt nytt system som fungerar i de flesta lokaler. Med utjämnande ventilation är det möjligt att skapa zoner med god luftkvalitet och arbetsmiljö där behov finns. Systemet bygger på att tilluften blåses genom horisontellt monterade don med låg inblåsningshastighet som placerats ovanför arbetsarean. Luften tränger ner i vistelsezonen och när den träffar en värmekälla vänder luften och börjar stiga uppåt. Man kan lokalt placera ett frånluftsdon i golvnivå för att fånga de föroreningar som saknar stigkraft och även placera frånluftsdon i taket för att föra bort förorenad varm luft.

Det går även att ta tillvara på värme från en värmekälla genom att placera tilluftsdonet så att det blåser över källan och ut i vistelsezonen. Detta förutsätter dock att källan inte förorenar luften på annat sätt än termiskt. På så vis minskar de konvektiva strömmarna och den uppvärmda luften används för att värma vistelsezonen.

Det är viktigt att gränslinjen mellan förorenad och ren luft ligger ovanför tilluftsdonet, annars kommer förorenad luft att medejekteras ned i vistelsezonen då den nya rena luften blåses in. För att säkerställa så att förorenad luft inte tränger in i vistelsezonen gäller samma villkor som för deplacerande ventilation dvs. tilluftsflödena skall vara lika stora som konvektionsflödena på den nivå där man vill att gränslinjen ska vara.[1]

Donen kan vara av textilier eller perforerade kanaler. Storleken på öppningarna, tätheten på materialet kan skilja sig och donen kan även förses med dysor för att man skall kunna uppnå en god luftkvalitet och arbetsmiljö. Figur 5.2.3 visar principen för hur ett utjämnande ventilationssystem kan vara uppbyggt och fungerar.



Figur 5.2.3. Ventilationssystem typ utjämnande ventilation.

Fördelarna med detta system är bland annat:

- Möjlighet att skapa lokala komfortzoner med individuella krav.
- Lokalt stor kyleffekt
- Skapar lokala ”rena” zoner med låga halter av föroreningar.

För att dimensionera ett sådant system är det också viktigt att:[1]

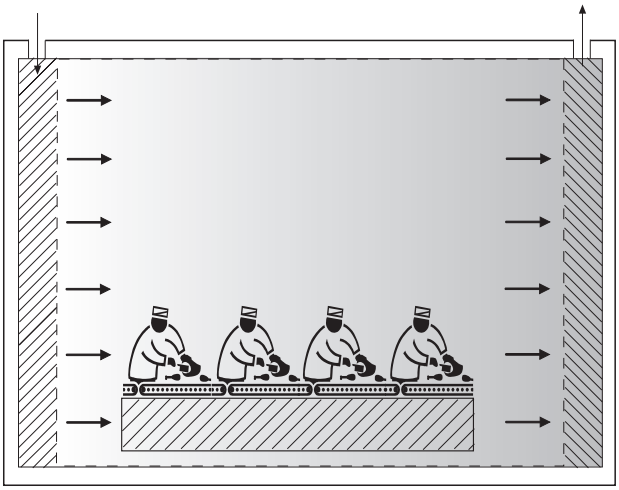
- Lokalisera föroreningskällor
- Bestäm hur tilluft skall placeras i förhållande till källorna och önskad strömningsbild i lokalen.

5.2.4 Kolvströmsventilation

Kolvströmsventilation är den minst vanliga typen av allmänventilation och förekommer främst i lokaler med mycket höga luftkvalitetskrav, såsom olika typer av renrum.

Genom att tillföra och bortföra luft genom två motstående sidor i rummet transporteras föroreningarna med i luftströmmens riktning och ut genom frånluften. På så vis minskar

risken för att skadliga föroreningar når personalen eller processen som man vill skydda. figuren 5.2.4 visar schematiskt hur ett sådant ventilationssystem kan se ut och fungerar.



Figur 5.2.4. Kolvströmsventilation.

Kolvströmsventilation används när man måste skydda processen från föroreningar såsom vid t.ex. tillverkning av känsligt elektroniskt material eller biolab där prover inte får förorenas. Är processen i sig farlig räcker inte kolvströmsventilationen för att skydda personalen utan då är man hänvisad till dragskåp eller inkapslingar.

Att ventilera enligt kolvströmsprincipen kräver större byggnadstekniska åtgärder och stora luftflöden jämfört med andra system. Lufthastigheten ligger ofta runt 0,4-0,5 m/s för att luftströmningen inte skall störas av eventuella värmelasters konvektionsströmmar med lägre hastighet. Det kräver också planering av produktionsanläggningen inne i den ventilerade lokalen så att de saker man vill skydda från föroreningar inte placeras nedströms i förhållande till föroreningskällan. Många gånger tillförs därför luft genom ett perforerat tak och förs bort genom ett perforerat golv, Föroreningskällan placeras på en nivå under eller bredvid processen och på så vis passerar föroreningarna förbi processen utan att denna förorenas. Det är också viktigt att arbetsplatsen och processen utformas på ett sådant sätt att de inte utgör några större hinder för luftrörelsen, på så vis undviker man att det skapas lokala turbulenta luftströmmar vilka riskerar höjda föroreningshalter i luften.

Lufttillförseln sker över en stor yta och därför kommer luftens volymflöde att vara högt. Även den höga lufthastigheten kan ställa till det vad gäller upplevelse av drag. Det är därför viktigt att hålla en behaglig temperatur alternativt kompletterande klädsel så att man undviker obehag[1].

Kolvströmsventilation arbetar ofta med stor mängd återluft, mellan 95 – 99 %. Den nya luften som tillförs anläggningen filtreras och värms av fläktarnas överskottsvärme. I vissa fall kan det finnas ett behov av att kyla luften i rummet för att det vid hög återluftsmängd tillförs för lite kall luft utifrån för att klara av att kyla bort värmeutvecklingen från dels processen och dels den temperaturhöjning fläkten ger.

Fördelen med kolvströmning är möjligheten till att hålla höga luftkvalitetskrav. Svårigheterna med kolvströmning är dels att skapa ett jämt hastighetsfält med liten omblandning dels att tillföra luften på sådant sätt att luften fördelas jämt över hela filterytan vilket ofta utgör en dominerande del av undertaket.

En annan svårighet är att neutralisera de termiska krafterna vilka också medför en risk för obalans och omblandning. En temperaturskillnad på 1 grad eller mer i lokalen gör att luften ”kantrar” med följd att omblandning sker. Det ställer därmed höga krav dels på tilluften men även krav på värmeavledning från värmekällor etc.

Nackdelarna är just svårigheten att skapa ”kolveffekten” det ställer höga krav på såväl konstruktören som brukaren. Energiåtgången är högre för detta system jämför med konventionell omblandande eller deplacerande ventilation och det kräver större byggnadstekniska insatser.

5.3 Processventilation

Processventilationens uppgift är att föra bort föroreningar och värme från förorenings- och värmekällorna innan den förorenade luften hinner blanda sig med och förorena luften i vistelsezonen. Det finns flera olika typer av infångningsanordningar vilka vi valt att dela in i två huvudgrupper:

- lokala utsug
- inkapslingar

De lokala utsugen kännetecknas av att källan är öppen mot omgivningen och föroreningarna fångas in genom olika anpassade huvar. Huvarna kan kombineras med olika luftarrangemang såsom luftridåer och riktade tilluftsdon för att få en bättre effektivitet. Svetsutsug är exempel på ett lokalt utsug. Inkapslingar omger hela eller större delar av föroreningskällan. Blästerskåp är ett exempel på en inkapsling.

Ett utsug eller inkapsling har till skillnad från allmänventilationen en högre grad av specialanpassade lösningar för att klara av sin uppgift på ett bra sätt. För att dimensionera lokala utsug eller inkapslingar på ett bra sätt använder man sig av vissa generella beräkningsuttryck. Dessa beräkningssätt beskrivs dels i detta avsnitt men även under kapitlet specifika arbetsmetoder kapitel 9, där metoder för vissa typer av utsug/inkapslingar tas upp mer detaljerat.

Ett utsug placerat i en lokal påverkar väldigt lite de luftströmmar som finns i lokalen. Ett illustrativt exempel är att det utan problem går att blåsa ut ett tänt ljus men det är så gott som omöjligt att suga in så mycket luft så ljuset slocknar. Hur det kommer sig att det är skillnad på hur stor inverkan man har på luftens rörelse om man suger eller blåser genom ett hål beror på följande samband:

Lufthastigheten i en fri stråle, under förutsättning att $x > \Psi A_0^{0,5}$, från en cirkulär öppning beskrivs matematiskt som[5]:

$$v_x = v_o \Psi A_0^{0,5} / x \qquad (m/s) \qquad (5.3.1)$$

Motsvarande beräkning av lufthastighet kring en utsugsöppning formuleras enligt följande:

I rummet

$$v_x = v_o A_o/(4\pi x^2) \quad (m/s) \quad (5.3.2)$$

På en vägg

$$v_x = v_o A_o/(2\pi x^2) \quad (m/s) \quad (5.3.3)$$

I en kant

$$v_x = v_o A_o/(\pi x^2) \quad (m/s) \quad (5.3.4)$$

I ett hörn

$$v_x = v_o A_o/(0{,}5\pi x^2) \quad (m/s) \quad (5.3.5)$$

v_x Den hastighet luftstrålen eller utsuget ger upphov till vid avståndet x (m/s)

v_o Luftstrålens hastighet vid kontraktionstvärsnittet (m/s)

Ψ Faktor vars storlek bestäms av öppningens form (-)

A_0 Arean vid det kontrakterande tvärsnittet, (m^2)

x Det avstånd från öppningen där luftstrålens hastighet är v_x (m)

Den stora skillnaden vid utsug och inblåsning är just volymen som berörs, vid inblåsning blåser luftstrålen genom en smal öppning och växer allt eftersom luft medejekteras och hastigheten avtar. Centrumhastigheten vid inblåsning är omvänt proportionellt mot avståndet från öppningen och vid utsugning är luftstrålens hastighet proportionellt med volymströmmen men omvänt proportionellt med kvadraten på avståndet från öppningen. Detta innebär att vid utsugning och inblåsning genom samma hål blir påverkan på luftrörelser i djupled mer än 30 gånger större vid inblås än för utsug.

Det innebär att hastigheten kring en utsugsöpppning avtar starkt med avståndet från sugöppning och därför förlitar man sig ofta till andra faktorer än att man skall kunna suga till sig föroreningar. En av dessa faktorer är konvektiva strömmar orsakade av t.ex. en värme-källa. Genom att placera ett punktutsug, utsugshuv, i konvektionsströmmens väg fångas föroreningen lättare in.

För att kunna veta hur stort utsugsflödet bör vara i utsuget finns det vissa vedertagna tumregler.

- Hastigheten till utsuget bör minst vara 0,3 m/s vid föroreningen man önskar infånga om den inte har någon konvektiv luftström att följa.

- Utsugsflödet skall vara lika med eller större än de konvektiva luftströmmar källan medför.

Dessa tumregler är grova och kan kompletteras ytterligare med speciellt anpassade formler för just den lösningen man valt. I avsnittet specifika arbetsmetoder beskrivs flera sådana anpassade metoder, som ytterligare ökar effektiviteten.

5.3.1 Lokala utsug

Ett lokalt utsug kan se ut hur som helst. Det finns ingen enhetlighet utan den kan vara helt anpassad efter föroreningskällans utseende till att se ut som en traditionell huv.

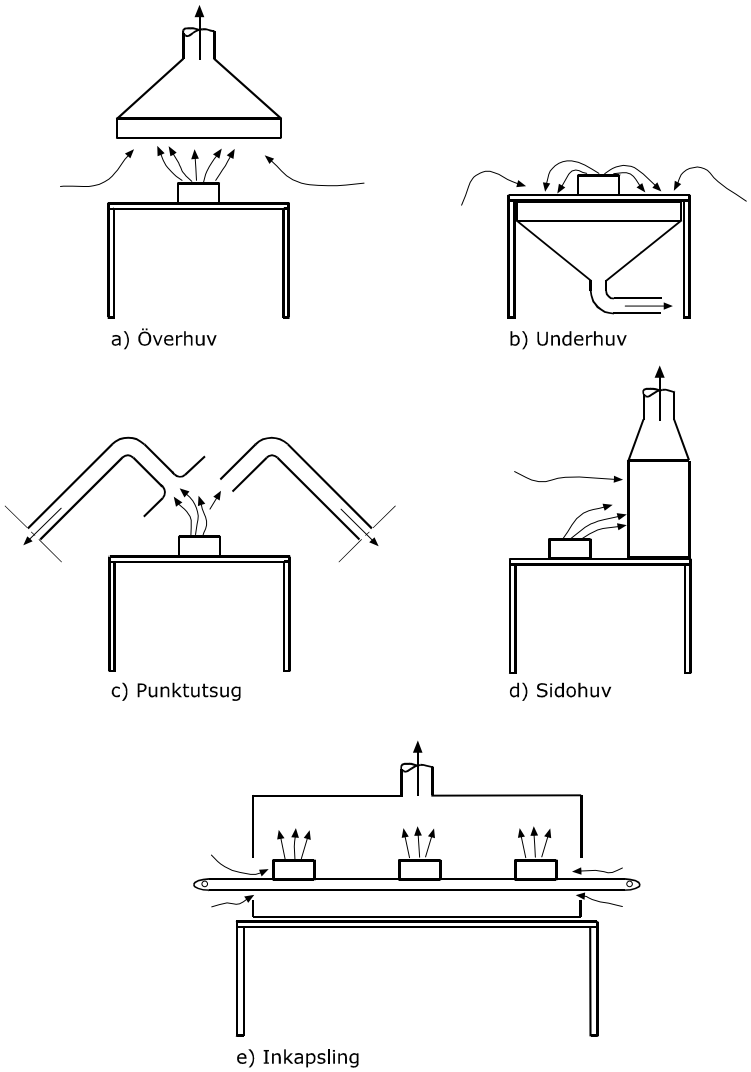
Innan man designar sitt utsug måste man förvissa sig om de rådande förutsättningar som gäller på platsen. Det är viktigt att man tar hänsyn till faktorer som påverkar luftströmningen kring föroreningskällan[1]:

- Konvektionsströmmar
- Tvärströmmar i rummet
- Luftstrålar, t.ex. tryckluftsstrålar, kylluft från motorer m.m.
- Processens påverkan på föroreningsspridningen, meddragning, roterande delar etc.
- Tillgängligheten för ersättningsluften, att denna kan tillföras obehindrat.

När man kartlagt och fått en uppfattning om de rådande förutsättningarna är det dags att designa utsuget. Vad gäller utformning och placering av utsug finns det vissa saker som man bör känna till som påverkar utsugets effektivitet[1]:

- Utsuget skall placeras så nära föroreningskällan som möjligt, utan att den för den delen hindrar arbetet.
- Utsuget skall placeras längs föroreningens naturliga strömningsväg.
- Välj en utsugsprincip som inte negativt påverkar arbetet. Annars finns risken att den inte kommer att användas.
- Kontrollera hur arbetstagaren arbetar i processen och kontrollera så att utsuget placeras så att operatören inte utsätts för förorenade luftströmmar, utan att andningsregionen är i ett oförorenat område.

Det finns många olika typer av lokala utsug. figur 5.3.1 visar en sammanställning av några av de vanligare typerna.



Figur 5.3.1. Vanligt förekommande lösningar av lokala utsug.

Man kan definiera ett utsugs effektivitet på flera sätt, t.ex. kan det vara förhållandet mellan infångad mängd föroreningar och alstrad mängd föroreningar eller infångad volymström förorenad luft i förhållande till storleken förorenad volymström. Hur man väljer att definiera effektiviteten beror mycket på vad som är möjligt att mäta alternativt beräkna på ett vettigt sätt.

Ett utsugs design och effektivitet påverkar givetvis föroreningshalterna i lokalen men också energianvändningen. Ett dåligt utformat utsug kräver ett större utsugsflöde för att uppnå samma effektivitet som ett utsug med en bra utformning. Med tanke på att det är svårt att suga till sig föroreningar så kommer ett dåligt utsug kräva mycket större utsugsvolymer och därmed ett större fläktarbete för att nå samma verkningsgrad. Det större fläktarbetet innebär en ökad elenergianvändning och de ökade luftflöden innebär ett större värmeenergibehov för att värma tilluften. Genom att designa utsuget väl och placera det smart kan dessa kostnader minimeras.

Det finns små knep för att förbättra ett utsugs effektivitet. Genom att så långt det är möjligt begränsa utsugsområdet förbättras utsugets infångningsområde i djupled. T.ex. kan man, istället för att bara använda sig av en rörända som utsug, förse röränden med flänsar och på så vis reduceras nödvändigt utsugsflöde betydligt.

Erforderliga utsugsflöde q_v för att få en infångningshastighet v_x med ett avstånd x från utsugsöppningen beräknas med hjälp av ekvationerna 5.3.2 – 5.3.5 tillsammans med kontinuitetsvillkoret, ekvation 5.3.6 ger det ekvationerna 5.3.7-5.3.10:

$$q = v_0 A_0 \qquad (m^3/s) \qquad (5.3.6)$$

I rummet

$$q = vx\ 4\pi x^2 \qquad (m^3/s) \qquad (5.3.7)$$

På en vägg

$$q = vx\ 2\pi x^2 \qquad (m^3/s) \qquad (5.3.8)$$

I en kant

$$q = vx\ \pi x^2 \qquad (m^3/s) \qquad (5.3.9)$$

I ett hörn

$$q = vx\ 0{,}5\pi x^2 \qquad (m^3/s) \qquad (5.3.10)$$

q *Volymflöde* (m^3/s)

A_0 Arean vid det kontrakterade tvärsnittet, πr^2 (m^2)

v_x Den hastighet luftstrålens eller utsuget ger upphov till vid avståndet x (m/s)

v_0 Luftstrålens hastighet vid kontraktionstvärsnittet (m/s)

A_0 Arean vid det kontrakterade tvärsnittet, πr^2 (m^2)

x Det avstånd från öppningen där luftstrålens hastighet är v_x (m)

En vanlig typ av utsug är någon slags huv. Huven kan finnas i laboratoriemiljö men även ute i processen. Det finns flera olika typer av huvar som beroende av dels omgivningen och dels krav på tillgänglighet utformas och arbetar på olika sätt.

Man brukar dela in dem i olika kategorier beroende av dess uppbyggnad och arbetssätt[1]:

- överhuv
- sidohuv
- bottenutsug

5.3.1.1 Överhuv

Överhuven kan liknas med en köksfläkt. Huven placeras över källan och utsugsvolymen anpassas efter det volymflöde av förorenad luft som finns där huven skall placeras och vilka egenskaper den förorenade luften har. En överhuv förutsätter att föroreningen följer någon typ av konvektiva luftströmmar eller har sådana egenskaper som gör att föroreningen rör sig uppåt i höjdled. Typiska sådana processer är där föroreningen är någon typ av värmekälla alternativt alstras under värmeutveckling, svetsrök etc.

Det är som nämnts tidigare väldigt svårt att suga till sig föroreningar, huvar placeras istället i föroreningens naturliga transportväg och infångas och borttransporteras innan den hunnit förorena lokalen.

Självfallet vill man placera huven så nära källan som möjligt och helst montera sidoskärmar på så många sidor som möjligt. Ju närmare man kommer och ju fler sidoskärmar man har desto effektivare blir utsuget samtidigt som det krävs lägre utsugsflöden. Huven kan också göras mindre i storlek jämfört med en huv utan några sidor som är placerad långt från källan.

Ibland används huvar i processer där föroreningen inte har någon konvektiv luftström att dras med i. När detta är fallet får man se till att hålla en lufthastighet som kompenserar för yttre störningar. En tumregel som man brukar ange är 0,3 – 0,5 m/s över den öppningsarea som bildas mellan huven och processen. Det är alltså viktigt att undersöka de yttre störningarna särskilt noga när man har icke konvektiva föroreningskällor. Detta resulterar ofta i höga utsugsvolymer vilket gör att man bör se efter andra alternativ om det är möjligt.

För att beräkna den volymström som krävs för att nå en önskad lufthastighet mellan föroreningskällan och huven används kontinuitetsvillkoret, ekvation 5.3.6, där man med arean och hastigheten menar frontarean och fronthastigheten. Ekvationen används då det saknas konvektiva strömmar som föroreningen kan följa.

Vid konvektiva luftströmmar kan man beräkna vilken utbredning föroreningen har samt dess volymström på den nivån man tänkt placera huven. Då får man en bild av hur stor huv som krävs och till viss del erforderligt utsugsflöde. Storleken på föroreningsströmmen beror dels på föroreningskällans utbredning dels på vilken höjd över källan man placerar utsuget. De konvektiva luftströmmarna medejekterar luft allteftersom luftströmmen stiger och en plym med förorenad luft växer fram.

Vid beräkning av de konvektiva volymflödena beror det på vilken typ av föroreningskälla det rör sig om, vilka störande luftströmmar som finns samt hur stor värmeeffekten är.

Nedan redovisas fyra olika formler för att beräkna det konvektiva volymflödet beroende av vilken typ av föroreningskälla det rör sig om[1]:

Punktkälla

$$q_v = 5{,}5 \cdot 10^{-3}\, \Phi^{1/3}\, (y+y_p)^{5/3} \quad (m^3/s) \qquad (5.3.11)$$

Linjekälla

$$q_v = 1{,}4 \cdot 10^{-2}\, \Phi^{1/3}\, (y+y_p) \quad (m^3/sm) \qquad (5.3.12)$$

Horisontell yta

$$q_v = 5{,}0 \cdot 10^{-3}\ \Phi^{1/3}\ (y+d)^{5/3}\ (m^3/sm) \qquad (5.3.13)$$

Vertikal yta

$$q_v = 2{,}8 \cdot 10^{-3}\ (T_m - T_e)^{2/5}\ h_y^{6/5}\ (m^3/sm) \qquad (5.3.14)$$

q_v Volymflöde (m^3/s)

Φ Konvektiv värmeeffekt (W)

y Avstånd från värmekälla (m)

y_p Avstånd från tänkt punktkälla (m)

d Värmekällans bredd (m)

T_m Ytans medeltemperatur (K)

T_e Omgivningstemperatur (K)

h_y Ytans höjd (m)

Föroreningens utbredning är beroende av avståndet till föroreningskällan. Den förorenade plymens tillväxt antas ske med en vinkel på 25º från källan. Vid en utbredd föroreningskälla beräknas källan till en motsvarande punktkälla placerad bakom den utbredda källan med avståndet y_p.

Avståndet mellan den utbredda källans ovansida och punktkällan kan förenklat antas ligga mellan 1,7-2,1 diametrar av värmekällan[2].

Föroreningsfrontens bredd vid en viss höjd blir då:

$$b_k = 2\ \tan(12{,}5°)\ (y+y_p) \quad (m) \qquad (5.3.15)$$

Yttre störningar påverkar en huvs effektivitet starkt. Drag, luftstrålar m.m. är faktorer som påverkar huvens utformning. För att kompensera för inverkan överdimensioneras ofta huven till att vara större än den verkliga föroreningens utbredning. På så vis kommer föroreningen även om det förekommer drag att fångas in. För att vara på den säkra sidan kan man genom att beräkna den konvektiva plymens centrumhastighet beräkna hur långt i sidled föroreningen hamnar vid yttre störning.

Plymens centrumhastighet påverkas av värmekällans storlek och beräknas genom[6]:

$$v_c = 0{,}128(\Phi/(y+y_p))^{(1/3)} \quad (m/s) \qquad (5.3.16)$$

När centrumhastigheten är beräknad och storleken på störningen är uppmätt kan man beräkna hur mycket plymen högst rör sig i sidled och då ser man om man riskerar att hamna utanför huven.

Erfarenheter visar att en överhuvs minsta bredd bör vara:

$$b = b_k + 0{,}8\,y \qquad (m) \qquad (5.3.17)$$

b Huvens bredd (m)

b_k Föroreningens utbredning vid underkant huv (m)

För att ytterligare öka en huvs effektivitet och göra den mindre känslig för luftströmmar kan man montera sidoskärmar. Vid användning av sidoskärmar är det möjligt att minska på utsuget av erforderliga volymströmmar. Detta används ofta för att minska utsugsbehovet när man inte har några konvektiva luftströmmar. Förekommer det konvektiva strömmar så bestämmer de oftast utsugsbehovet.

Exempel:

Beräkna en huvs dimensioner och utsugsflöde över en cirkelformad värmekälla på 500 W vars diameter är 0,2 m och höjd 0,1 m. Huven kan placeras 1,25 m ovanför källan. Det förekommer en tvärgående störning, en luftström, som är 0,4 m/s.

Först beräknar vi avståndet från den tänkta punktkällan som den verkliga värmekällan har med hjälp av tidigare nämnda antagande att avståndet från punktkällan till den utbredda källan är 1,7-2,1 av den utbredda källans diameter.

$$y_p = 2{,}1D - h_y \;\Rightarrow\; y_p = 2{,}1 \cdot 0{,}2 - 0{,}1 = 0{,}32\ m$$

Det förorenade volymflödet beräknas med ekvation 5.3.11

$$q_v = 5{,}5 \cdot 10^{-3} \Phi^{1/3} (y + y_p)^{5/3} \;\Rightarrow\; q_v = 5{,}5 \cdot 10^{-3} \cdot 500^{1/3} \cdot (1{,}25 + 0{,}32)^{5/3} = 0{,}093\ m^3/s$$

Detta innebär att volymflödet måste vara lika med eller större än 0,093 m^3/s för att transportera bort föroreningarna.

Huvens storlek fås genom att beräkna storleken på den konvektiva förorenade plymen vid huvens undersida, detta görs med ekvation 5.3.15 och 5.3.17.

$$b_k = 0{,}44(y + y_p) \;\Rightarrow\; b_k = 0{,}44 \cdot (1{,}25 + 0{,}32) = 0{,}69\ m$$

$$b = b_k + 0{,}8y \;\Rightarrow\; b = 0{,}69 + 0{,}8 \cdot (1{,}25 + 0{,}32) = 1{,}69\ m.$$

Skulle man kunna placera huven närmare t.ex. 0,5 m från källan minskar det förorenade volymflödet och huvens storlek betydligt till endast:

$$q_v = 0{,}031\ m^3/s$$

$$b = 0{,}77\ m$$

Detta visar hur viktigt det är att komma nära källan. Ju närmare källan desto mindre huv men framförallt blir utsugsbehovet betydligt lägre.

En kontroll av hur de yttre störningarna påverkar den förorenade plymen utförs. Till att börja med beräknas plymens lägsta hastighet med ekvation 5.3.16:

$$v_c = 0{,}128(\Phi/y+y_p)^{(1/3)} \Rightarrow v_c = 0{,}128(500/(1{,}25+0{,}32))^{(1/3)} = 0{,}086\ m/s$$

Den yttre störningen påverkar med 0,4 m/s och plymens centrumhastighet stiger med lägst 0,86 m/s. Med huven placerad 1,25 m ovanför föroreningen tar det 1,25/0,86 = 1,45 sekunder för föroreningen att nå huven. Störning på 0,4 m/s kommer att flytta plymen i sidled 0,4·1,43= 0,58 m från centrum. Plymen får då en utbredning på 1,01 m från centrum nedströms störningen. Huven är rekommenderad att vara 0,85 m åt alla håll från centrum. Det innebär att huven inte är tillräckligt stor för att fånga in hela plymen utan huvens radie skall justeras till att lägst vara minst 1,01 m . Är störningen hela tiden konstant kan man välja att flytta huven motsvarande längd, dvs. 0,58 m, nedströms störningen.

5.3.1.2 Sidohuv

Vid processer där man måste komma åt den förorenande källan ovanifrån eller där föroreningen inte går uppåt utan åt sidan använder man sig inte av överhuvar utan sidohuvar. Detta kan vara vid t.ex. vissa typer av sprutmålning, smältverk m.m.

Figur 5.3.1 visar en typisk sidohuv. Sidohuvens effektivitet påverkas av samma faktorer som överhuven. Dimensionering av sidohuvar kan vara knepigare om det finns konvektiva luftströmmar. Sidohuven kräver ett större utsugsflöde än en överhuv vid konvektiva luftströmmar då sidohuven måste suga till sig föroreningen.

För att kunna dimensionera en sidohuv behöver man ta reda på vilken sughastighet man behöver vid föroreningskällan för att kunna suga till sig föroreningen. Utifrån det kan man beräkna erforderligt utsugsflöde med hjälp av ekvation 5.3.18.

$$q_v = v_x(5x^2+A) \qquad (m^3/s) \qquad (5.3.18)$$

q_v Erforderligt volymflöde (m^3/s)

v_x Sughastighet vid föroreningskällan (m/s)

x Avståndet från sidohuvens öppning och föroreningskällan (m)

A Sidohuvens öppnings area (m^2)

Ekvationen 5.3.18 är väldigt lik ekvation 5.3.8 där man justerat formeln från $2\pi x^2$ till $5x^2+A$.

En sidohuvs infångningsförmågan kan förbättras genom att komplettera med någon typ av luftström som blåser föroreningen mot sidohuven. Detta förutsätter dock att sidohuven klarar av att föra bort hela det luftflöde och den medejekterade luft som blåses mot den, detta kallas push/pull system.

5.3.1.3 Bottenutsug

När man har en process som man måste komma åt från alla sidor och ovanifrån eller att man har nedåtgående konvektiva strömmar kan man använda sig av ett bottenutsug. Ofta är källan direkt placerad mot bottenutsugets öppning och då kan erforderligt utsugsflöde beräknas enkelt med ekvation 5.3.11.

Är däremot föroreningskällan placerad en bit från bottenutsuget beräknas utsugsflödet med ekvation 5.3.7.

Sughastigheten vid föroreningskällan måste vara så stor så att den kan vända motriktade luftströmmar och övervinna andra störningar. Dessa beräknas på samma sätt som för överhuvar.

Bottenutsug med konvektiva nedåtgående strömmar kräver mindre utsugsflöden än när huven skall suga till sig föroreningen. Erforderligt utsugsflöde beräknas på samma sätt som för en överhuv med konvektiv strömning.

5.3.2 Inkapslingar

Inkapslingar är den typ av utsug som är effektivast. En inkapsling omsluter helt den förorenande processen och har mindre öppningar som produkten transporteras ut genom alternativt är föroreningskällan helt skilt från omgivningen under drift och produkten tas ut genom en öppning som bara öppnas när produktionen står stilla.

En inkapsling är helt anpassad efter föroreningskällan. Det finns inget standardutseende vilket är vanligare vid t.ex. huvar.

En helt tillsluten inkapsling behöver inget utsug mer än när man ska öppna inkapslingen och då man på ett säkert sätt måste kunna evakuera föroreningarna. Normalt har man alltid ett visst frånluftflöde för att hålla ett undertryck i inkapslingen. På så vis riskerar man inte ett utläckage av föroreningar vid eventuella otätheter såsom runt en öppning etc.

I vissa processer använder man tryckluft och då får man ett övertryck i inkapslingen om denna inte evakueras och i vissa processer vill man kunna ventilera inkapslingen, t.ex. om produktionen är rökig eller dammig, för att kunna se processen. I dessa fall förses inkapslingen med separata till- och frånluftskanaler och föroreningarna ventileras bort utan att komma ut i lokalen. Många tillslutna inkapslingar har bara separerat frånluftsystem och tilluften tas från rummet och tillförs genom mindre öppningar eller spalter på inkapslingen.

Vid design eller utvärdering av en inkapsling finns det vissa samband man måste känna till och fakta som skall vägas samman. Här redogörs kortfattat om inkapslingar och mer detaljerade metodbeskrivningar av inkapslingar redogörs för i avsnittet 9.5.

Skillnaden mellan t.ex. en huv och en inkapsling är att inkapslingen utformas för att vara så tät som möjlig. Detta medför att det inte ges möjlighet att komma i direktkontakt med föroreningskällan inne i inkapslingen. En huv utformas däremot på sådant vis att man kan komma i direktkontakt och arbeta med föroreningskällan. Ett vardagsexempel på skillnaden mellan inkapsling och huv är till exempel hushållsspisen och köksfläkten. Ugnen i spisen är en inkapsling som hindrar värmen från att ”smita” iväg från inkapslingen och på så vis kan vi hålla önskad temperaturen i ugnen. Köksfläkten däremot fångar upp föroreningar från

matlagningen och för bort dem genom kraftigt utsug, samtidigt kan vi komma åt att vispa i grytan och vända på steken. Köksfläkten är ett exempel på en huv.

Inkapslingar används på många platser, allt från större processindustrier vars inkapslingar kan vara hela processteg till små inkapslingar i hobbyverkstaden såsom ett blästringsskåp.

För att hålla föroreningarna inne i inkapslingen strävar man efter att alltid ha ett undertryck i inkapslingen. Önskad tryckdifferens över inkapslingen åstadkommes dels genom justering av utsugsflöden och dels genom optimering av öppningsareor.

Tilluftsflöde kan ske på många sätt. På många inneslutningar finns ingen separat mekanisk tilluft utan den tillförs genom de öppningar som finns i inkapslingen. Detta flöde styrs då av utsugsflödet. Sker det däremot en mekanisk tillförsel av luft till inkapslingen får denna aldrig vara större än frånluftflödet. Tryckluftillförsel i inkapslingen är ett exempel på mekanisk tilluft som måste tas med i beräkningarna, detta beskrivs närmare i avsnitt 9.7 under specifika metodbeskrivningar.

Många gånger är det frågan om att leda bort oljedimman som delvis förångats i samband med bearbetning av produkten. Oljedimman har då blivit varm och tillsammans med konvektionsströmmar från produkten stiger föroreningarna mot toppen av inneslutningen. Inkapslingen bör vara tät och frånluftsflödet måste vara så högt att man inte riskerar få övertryck vid de öppningar som finns i inkapslingen orsakade av luftens termiska krafter. Detta beskrivs närmare i avsnitt 9.8. Temperaturskillnader.

Öppningar som är oönskade såsom springor i inneslutningen eller gamla bulthål utgör läckareaor. Beroende av dess storlek och placering kan de ha en stor betydelse för en inneslutnings effektivitet. För att kompensera för läckareorna och minimera risken för övertryck vid någon av öppningarna optimeras frånluftflöde och öppningarnas storlek. Stora öppningar och ofrivilliga läckareor vittnar om en okunskap hur en inkapsling fungerar.

Plötsliga flödesvariationer inne i inkapslingen kan vara ett stort problem. Den plötsliga flödesförändringen påverkar tryckbalansen i inkapslingen, om det inte kompenseras för den genom ökade frånluftsflöden. Flödesförändringar utgör troligen en av de svåraste delarna vid optimering av en inkapsling. Hur man angriper detta beskrivs i avsnittet flödesvariationer i inkapslingar i avsnitt 9.7.

Det är nödvändigt med öppningar i en inkapsling för att få ut produkten. Öppningarnas storlek beror dels på produkten som skall genom öppningen men även på vilka störningar som finns i inkapslingen. Förekommer det t.ex. pulsationer så kan frånluftflödet tvingas vara så högt att mindre öppningar medför höga lufthastigheter över öppningarna vilket i sin tur kan medföra negativa störningar i produktionen i form av problem med att mata ut produkten eller negativ påverkan på t.ex. en lackeringssprutas sprutbild etc.

Öppningarnas storlek är en avvägning av dels lufthastigheten genom öppningen och nödvändig kompensation av alla störningar sammanvägda gentemot varandra.

5.4 Referenser

1 Ventilation Ståbi, 2:a udgave, 1996, ISBN 87-571-1982-1.

2 Industrial Ventilation Design Guidebook. 2001, ISBN 0-12-289676-9.

3 Installationsteknik AK för V, Catarina Warfvinge, -1996 .

4 A gudie to energy efficent ventilation, 1996, ISBN 0 946075859.

5 Ventilationsteknik, utdrag ur utbildningsmaterial i installationsteknik FK VT-05.skrivet av Anders Svensson Byggnadsfysik Lunds tekniska högskola.

6 Ventilasjonsteknisk håndbok, Eimund Skåret, 2000, ISBN.82-536-0714-8.

7 Boverkets byggregler, BBR, Boverket 2002, ISBN 91-7147-718-7.

8 AFS 2000: 3 Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar publikation från Arbetsmiljöverket.

9. Fläkts produktkatalog 1988.

6 Målformulering

För att kunna arbeta på ett bra och effektivt sätt är det viktig att man vet vad som förväntas av en och vilka mål som man skall arbeta mot. Man kan formulera dem själv eller få dem formulerade. Detta är i sig inte unikt utan något de flesta människor gör i någon form dagligen. Man sätter upp mål för sina matinköp och man förväntas genomföra dem. Skillnaden kan tyckas vara stor mellan några triviala inköp och större projekt med flera kollegor inblandade och det är det på många sätt men det faller alltid tillbaka på mål och förväntningar. Skillnaden ligger i det ansvar och press som vi lägger på oss själva och den tenderar att öka med storleken på projektet, dess omfattning och budget.

Det kan finnas huvudmål och delmål. Huvudmålet är det övergripande målet som man arbetar mot och delmål är mindre, men viktiga steg på vägen mot huvudmålet.

Att formulera mål gör att man lättare kan behålla fokus. Ett mål skall vara klart och tydligt och inte gå att missuppfatta.

För dem som arbetar i någon typ av projekt är målet avgörande för att man skall få med sig och motivera sina medarbetare i sin strävan. Ett klart och tydligt mål underlättar för medarbetarna att ta till sig informationen så att även de vet vad man skall arbeta mot. Det finns allmänt formulerade mål såsom minskad energianvändning, och mer specificerade mål såsom att den årliga energianvändningen skall reduceras med 20 % jämfört med föregående år.

Ett allmänt mål kan vara lika bra som specificerade mål, det beror mycket på hur stor utmaningen är. Ett specificerat mål fungerar många gånger bättre då man kämpar mot ett visst specifikt resultat, en siffra, men den kan också verka hämmande då alla medarbetare kanske inte känner att målet är nåbart och därmed inte känner samma entusiasm. Det är hela tiden frågan om en balansgång mellan det som är för enkelt och det som upplevs omöjligt.

Målet för detta projekt är att ta fram förslag till en arbetsmetod vilken industrin kan använda sig av för att optimera sin process och allmänventilation med avseende på energianvändning, arbetsmiljö och yttre miljöpåverkan. Detta är vårt huvudmål med projektet, det är allmänt skrivet och svårt att sätta siffror på. Däremot finns det andra mål skrivna som är mätbara såsom att hitta åtgärder för att minska utsläpp av VOC:s över tak till ca 40 ton/år. Delmålen i detta projekt kan vara allt från enskilda metodbeskrivningar och tester till tryckning av rapporten ni just nu läser.

När man formulerar sina mål kan några frågor ställas för att bättre få kontroll över målen.

- Vad vill jag uppnå?
- Hur skall jag nå dit?
- Kan projektet delas upp i viktiga delmoment?
- Vad påverkar min möjlighet att nå satta mål?
- Hur skall man göra för att undvika eller minimera problem för att nå målen?
- Nyckeltal att arbeta mot?

Utifrån det arbete vi gjort hos Rexam har målen hos Rexam formulerats som:

Vad vill vi uppnå?

Huvudmål: Minska energianvändningen och förbättra den yttre och inre miljön genom lägre okontrollerade utsläpp av VOC:s till omgivningen samt förbättra det termiska klimatet.

Delmål 1: Få en överblick över energiflöden, luftföroreningar och värmekällor och hur de är fördelade i processen och i rummet.

Delmål 2: Utifrån vunna erfarenheter identifiera, prioritera och genomföra åtgärder så att huvudmålet nås.

Hur skall vi nå delmål 1:

Genom att göra en inventering av processen, klarlägga hur energin fördelar sig i lokalen och mäta luftföroreningsnivåer. Detta kräver en hel del olika typer av mätningar och kvalificerade uppskattningar.

Hur skall vi nå delmål 2:

Genom att analysera resultaten från delmål 1 och väga samman det med andra erfarenheter.

Vad påverkar mina möjligheter att nå uppsatta mål:

Ekonomin, möjligheter till förändring utan produktionsstörningar, övertyga andra om att åtgärden är riktig, möjligheter att mäta.

Nyckeltal:

Nyckeltal från liknande anläggningar finns inte att tillgå, men statistik om vissa förbrukningar finns.

Målformuleringen ligger sedan till grund för t.ex. framtagningen av ett mätprogram m.m.

7 Arbetsmetod

Att beskriva en detaljerad arbetsmetod som går att tillämpa på alla industrier oavsett storlek, verksamhet etc. är omöjligt då skillnaderna mellan utformningen av anläggningarna är stora. Däremot kan en allmän övergripande metod/angreppssätt och hur man kan arbeta med den vara till stor hjälp för att nå ett organiserat projektarbete.

I detta avsnitt anges ett förslag till generell arbetsmetod. För att kunna tillämpa metoden och få önskad detaljeringsgrad tillhandahåller vi olika detaljerade metoder för att kunna utvärdera de enskilda delarna hos industrin. De detaljerade metoder som passar in på aktuellt projekt tillsammans med den universella arbetsmetoden bildar den anpassade arbetsmetoden för just den anläggningen.

Det finns flera olika varianter på arbetsmetoder som avser energianvändning hos industrin. Någon renodlad metod för effektivisering och optimering av industriventilation har ej hittats utan vi har tittat närmare på arbetsmetoder avseende effektivare energianvändning. Att det saknas arbetsmetoder för industriventilation beror sannolikt på att man ser den som en del i industrins energianvändning och behandlas på samma sätt som alla andra delar hos industrin vid ett effektiviseringsprojekt. Detta gör att man tittar isolerat på ventilationsanläggningen och hur man kan effektivisera den genom t.ex. värmeåtervinning, minskade flöden etc. Det är ovanligt att man ser den som ett verktyg för att åstadkomma minskad energianvändning i stort.

Ventilationsanläggningens uppgift är att dels tillhandahålla en bra komfort för brukarna samt föra bort föroreningar. För att på ett effektivt sätt lyckas med det utgör energianvändningen och luftföroreningar viktiga faktorer.

Luftrörelserna i rummet påverkas starkt av värme- och föroreningskällor. Genom att kartlägga energianvändningen, luftföroreningars förekomst och luftflöden kan man i sin tur identifiera anläggningens värmekällor och föroreningskällor. Kan man isolera olika föroreningskällor och hindra dem att spridas i lokalen kan man ofta minska ventilationsbehovet betydligt.

Det marknadsförs flera olika arbetsmetoder för energikartläggning, skillnaden mellan dem är många gånger små. Metoderna bygger på en kartläggnings- och analysfas som följs av åtgärdsförslag. Skillnaden utgörs ofta av en genomförandedel där vissa företag erbjuder att utföra och även samfinansiera åtgärder.

En arbetsmetod som skiljer sig från de övriga är energiledningssystem. Arbetsmetoden skiljer sig främst i omfattning från de andra.

Den 1 juli 2004 infördes skatt på processrelaterad el. Skatten innebär att företag skall betala 0,5 öre/kWh elenergi. Den 1 januari 2005 infördes även en möjlighet för många energi-intensiva företagen att få skattebefrielse om de kan visa att man aktivt arbetar med att minska sin elenergianvändning. För att kunna få skattebefrielse har staten tagit fram ett program för energieffektivisering i energiintensiva företag (PFE) som om det följs ger företagen möjlighet till skattereduktion. En viktig del av detta program är att man måste införa ett energiledning-system. PFE strävar efter att effektivisera energianvändningen såväl kort som långsiktigt och i den långsiktiga delen är energiledningssystem viktigt.

Energiledningssystem arbetar långsiktigt och kräver olika rutiner, t.ex. för inköp och inför ombyggnader m.m. Det kräver att man hela tiden arbetar med sin anläggning för att ständigt

förbättra den och effektivisera sin energianvändning. En stor del av energiledningssystemet utgörs av kartläggning, analys och åtgärdsförslag samt genomförande och utvärdering av genomförda åtgärder. Systemet omfattar hela verksamheten och inte bara tillverknings-processen utan även t.ex. inköp av utrustning och tjänster, att man formulerar en energipolicy och ger möjligheterna till energieffektivisering. Det skall finnas en handlingsplan med mätbara och tidsatta energimål.

Är man intresserad av att veta mer om energiledning och PFE har Energimyndigheten i egenskap av tillsynsmyndighet information om detta. Energimyndigheten har flera olika skrifter om energiledning och PFE, t.ex. Handbok för energiledningssystem[1], Handbok för kartläggning och analys av energianvändning.[2] Förordningen om PFE är STEMFS 2004:7.[3]

En generell arbetsmetod för industriventilation med avseende på luftkvalitet och energi skiljer inte sig så mycket från ett vanligt energieffektiviseringsarbete.

Den generella arbetsmetoden är indelad i 8 st delar:

1. Målformulering
2. Mätprogram
3. Kartläggning
4. Analys av insamlade data
5. Åtgärdsförslag
    a. Långsiktiga
    b. Kortsiktiga
6. Genomförande av åtgärder
7. Utvärdering
8. Erfarenheter

Alla punkter behandlas mer eller mindre omfattande i denna rapport. Kartläggningen av anläggningen är den klart viktigaste delen i metoden. En bra genomförd kartläggning ger en trygghet i att ta rätt beslut. Erfarenheter är sannolikt den del som oftast glöms bort. Man kan alltid lära sig av att reflektera över ett genomfört arbete. Vad har gått bra och mindre bra, varför gick det som det gick, vad kan vi förändra till nästa gång. Erfarenheter är den del som inte omnämns särskilt ofta men som även berör otekniska delar i projektet såsom kommunikation och information om projektet.

Analys av data och åtgärder ger ofta sig själv vid en bra genomförd kartläggning. I detta projekt har flera åtgärder fått stå tillbaka eftersom man inte hinner med allt. Det är nödvändigt att sålla åtgärderna, annars riskerar de som arbetar med det att gå under i sitt arbete för att klara av allting på en gång.

7.1 Referenser

1. Handbok för energiledningssystem, Energimyndigheten, 2004.

2. Handbok för kartläggning och analys av energianvändning, Tips och råd från energimyndigheten, Energimyndigheten, 2004.

3. STEMFS 2004:7, Statens energimyndighets föreskrifter och allmänna råd om program för energieffektivisering.

8 Mätprogram

Ett mätprogram skall dels belysa hur mätningarna är tänkta att genomföras, dels säkerställa så att tillräckliga och kvalitativa data erhålls. Mätprogram ingår många gånger som en viktig del i de specifika arbetsmetoder man arbetar med för att nå de uppsatta målen. Det innebär att i stora projekt med flera delprojekt utgör mätprogrammet ofta en integrerad del av själva arbetsmetoden man valt att arbeta med.

Vid själva upprättandet av mätprogrammet skall, om det finns, olika mätmetoder värderas utifrån vad vi behöver veta och hur detaljerat vi behöver veta det. Det är viktigt vid upprättande av ett mätprogram att ta sig tid att verkligen fundera kring vad målet är med mätningarna.

Några viktiga frågor att fundera kring vad gäller mätprogrammets utförande är:

- Vad vill jag veta?
- Hur vill jag veta det?
- Hur noga vill jag veta det?
- Finns det faktorer som påverkar när det är lämpligt att genomföra mätningar?
- Finns det någon mätstandard för det jag vill göra?
- Finns det någon annan som gjort liknande mätningar vars erfarenheter kan komma till nytta?

8.1 Formulering av mätprogram

Beroende av vad man är intresserad av att få reda på är det självfallet olika saker som skall mätas. Det är viktigt att identifiera vilka parametrar som är ”styrande” i det aktuella projektet.

Ofta har industrin flera problem, dels kan lokalerna upplevas varma, man kan ha problem med föroreningar i luften, man upplever drag m.m. Då är det bra att problemen rangordnas efter hur viktiga de är, dvs. vilka parametrar som är styrande, och hur dessa inbördes är rangordnade. En sådan rangordning är nödvändig då det starkt påverkar ens angreppssätt på problemen.

Innan man genomför ett större mätprojekt bör man, om det är möjligt, testa mätprogrammet i en mindre skala för att se så det är rätt utformat. Man kan t.ex. avgränsa mätprogrammet till att omfatta en mindre del av anläggningen alternativt kan man reducera antalet mätpunkter i lokalen. Görs denna test är möjligheten att tidigt upptäcka eventuella brister och svårigheter i mätprogrammet stort, utan att man för den delen förlorat onödigt mycket tid.

Vad gäller Rexams anläggning är målen klara och de har redogjorts för i avsnitt 6. Målen utgör i detta fall de styrande parametrarna, dessa har vi valt att rangordna som följer:

- Luftföroreningar i form av VOC i luft
- Höga temperaturer i lokalen
- Energianvändning

För att erhålla anläggningens status skall vi ta reda på/klargöra följande:

- Energianvändning för ventilation, värme och el
- VOC:s
    - Föroreningskällor
    - Vilka är föroreningarna
    - Mängder av föroreningar
    - Fördelningen av föroreningar mellan olika processdelar
- Värmelaster
- Punktutsug
- Luftflöden, till- och frånluft

Under kapitlet 9, specifika arbetsmetoder i rapportens andra del finns det mer i detalj beskrivet hur man kan genomföra olika typer av mätningar.

9 Specifika arbetsmetoder

I detta avsnitt beskrivs specifika arbetsmetoder som man kan använda för att analysera sin anläggning. Detta är självfallet inte det enda sätt att göra det på, man kan välja att anpassa metoderna så de bättre passar ens behov. Man kan också använda metoderna som inspirationskällor för att ta fram egna arbetsmetoder.

En del av arbetsmetoderna är väldigt omfattande med kostsamma mätningar vilket ibland kan avskräcka. Många gånger kan man med sunt förnuft, sinnen och uppfinningsrikedom komma väldigt långt. T.ex. är man ute efter att identifiera källor går det, om föroreningen har en säregen doft, lukta sig till de större föroreningskällorna. Visserligen avtrubbas luktsinnet efter hand men vill man bara ha reda på var de är och inte kvantifiera dem i siffror så finns det ingen anledning att lägga en massa pengar på utrustning och provtagning. Detta gäller generellt, man skall inte göra en undersökning noggrannare än vad som krävs om det medför extraarbete eller högre kostnader. Däremot skall man inte heller undervärdera behovet av mätningar, det går inte att uppskatta eller lukta sig till allt utan det krävs även mer eller mindre noggranna mätningar.

9.1 Energi

Genom att få en överblick över hur energianvändning är fördelad hos industrin samt hur anläggningen drivs får man dels reda på vilka storförbrukarna är dels ges möjligheter att jämföra processer mellan varandra och identifiera skillnader i energianvändning. Uppgifterna används sedan för att prioritera områden där man bedömer att det kan finnas möjligheter till energieffektiviseringsåtgärder. Det går sällan att göra allt hos en industri på en gång utan man måste prioritera var man skall lägga kraften. Då är en energiinventering bra för att snabbt få sig en bild av hur stor del av den totala energianvändningen den del man väljer att jobba med har samt dess betydelse utifrån ett energiperspektiv.

Man bör dela upp den totala energianvändningen i lämpliga grupper, t.ex. el- och värmeenergi, olika bränsleslag, återvunnen energi och primärenergi.

9.1.1 Elenenergi

9.1.1.1 Allmänt

Elenergianvändningen är många gånger relativt konstant hos en industri över året. Industrier är ofta ganska okänsliga för årstiderna då processen och dess kringutrustning står för den klart dominerande energianvändningen och skiftningar i klimatet påverkar inte den totala energianvändningen så mycket. Fluktuationer i elenergianvändningen påverkas mer av stillestånd såsom haverier, underhållsperioder och ordersvängningar än av årstiderna. Genom att kontrollera hur mycket elenergianvändningen fluktuerar över året kan man snabbt utläsa om det finns något förbrukningsmönster såsom t.ex. fluktuationer för årstiden eller om det går att utföra mätningar när som helst utan att behöva göra några korrigeringar.

Många gånger utgörs stora delar av elenergianvändningen av motordrifter av olika slag såsom löpande band, pumpar och fläktar. Ibland domineras energianvändningen av ett visst processteg såsom elugnar eller tryckluftskompressorer.

För att få reda på en maskins effekt går det att mäta effekten med mätinstrument för eleffekt. Instrumentet justerar för eventuell fasförskjutningen själv. I många processer är det praktiskt omöjligt att göra den typen av mätningar då det kan sitta skydd för eller så kan det vara svårt

att komma åt att mäta på alla tre faser och nollan under drift. En variant som är enklare är att endast mäta över någon av faserna och sedan räkna om till effekt. Det finns osäkerheter i denna typ av mätning dels kan faserna vara snedbelastade dels finns det en osäkerhet i mätningen då man inte vet hur stor fasförskjutningen är. Snedbelastade faser brukar man emellertid vara duktig på att undvika eftersom de enskilda större effektlasterna, såsom elmotorer m.m. är trefas-kopplade från början vilket ger en jämn last. Fasförskjutningen skiftar kraftigt beroende på vad man mäter på. Vet man att den klart dominerande energianvändningen utgörs av en typ av drift t.ex. motordrifter kan man grovt skatta och kompensera för fasförskjutningen utifrån någon motors märkplåt, datablad eller erfarenhetsvärde.

När effekten är uppmätt är maskinens driftsätt avgörande för att man ska kunna beräkna energianvändningen. För att erhålla energianvändningen under en tidsperiod t.ex. ett år multipliceras effekten med drifttiden. Går processen kontinuerligt är detta inget problem men vid till exempel varvtalsreglering eller maskiner vars reglering slår till och från är det svårare. Man kan då välja att logga effekten med en datalogger som registrerar strömnivån alternativt maskinens till och frånslag över en längre period och se om det går att utläsa ett mönster i driftsättet alternativt erhåller man en rimlig medeleffekt.

Är maskinen varvtalsreglerad t.ex. med en frekvensomvandlare kan effekten skifta kraftigt. Då är man tvungen att logga strömnivåerna under en längre tid för att bilda sig en uppfattning om hur stor medeleffekten kan vara.

9.1.1.2 Tillvägagångssätt

Man börjar med att titta på vilka uppgifter som redan finns såsom statistik avseende energianvändning för hela anläggningen och för enskilda maskiner, om det finns. Utifrån en sådan studie är det möjligt att se hur mycket energianvändningen pendlar över året och eventuella förbrukarmönster framträder. Dessa ligger sedan till grund för när i tiden man bör göra sina mätningar för att få rättvisande uppgifter.

Många energibolag har möjlighet att ge detaljerade upplysningar vad gäller abonnentens elenergianvändning. Det går ofta att få ut värde på använd energi per timme och ibland ännu tätare om man meddelat i förväg att man är intresserad av det. Detta gör att man kan använda sig av sådana uppgifter för att kontrollera att det rådde en normal produktion när man utförde sina mätningar. Man kan även kontrollera rimligheten av de uppmätta effekterna då summan av deleffekterna bör stämma någorlunda överens med den totala uppmätta effekten.

För att få reda på hur elenergianvändningen är fördelad börjar man med att dela upp produktionsanläggningen i flera delar. Uppdelningen skall vara tillräckligt detaljerad så man kan använda uppgifterna men inte för detaljerade då det blir ett väldigt tungt och omfattande arbete. Man kan tänka sig göra uppdelningen efter t.ex. olika processteg, fysisk placering etc. Ofta ter det sig naturligt hur uppdelningen skall ske.

Rexam har kontinuerlig produktion och inga större skiftningar i elenergianvändningen över året. Ventilationen går kontinuerligt och processen likaså. Detta innebär att man kan göra mätningarna vid normal produktion och utan några större justeringar. Uppmätta effekter alternativt strömnivåer antas inte skifta i någon större utsträckning. Vid varvtalsreglerade maskiner kan effekten/strömmen skifta kraftigt beroende på produktionen. Om sådana maskiner finns bör man ta hänsyn till dessa och bilda någon typ av uppmätt alternativt uppskattat medelvärde på effekten.

En svårighet hos Rexam är att flera av processutrustningens kontrollskåp är utformade så att de inte går att öppna under drift samt att det sitter skydd över matningarna. I de fall kan det vara svårt att mäta framförallt utan att orsaka driftavbrott. Mätningarna utfördes då på olika sätt bland annat från ställverket. Ibland gick det att mäta strömnivåerna över en eller flera faser så beräkningarna baseras på den typen av mätningar och inte rena effektmätningar. En självklarhet är att man inte får bryta mot de säkerhetssystem som finns för att man skall få mätvärden och man skall inte heller utföra mätningar om man inte har rätt behörighet och kunskap för att göra det.

När uppdelningen är gjord upprättas ett protokoll och mätningarna genomförs. Mätningar bör göras flera gånger och vid olika tillfällen. På så vis har man större möjlighet att upptäcka eventuella pendlingar i strömnivån.

När man genomför mätningarna kommer man att upptäcka att det som var klart och enkelt på pappret inte alltid är lika enkelt i verkligheten. Det kan finnas skydd, säkerhetsföreskrifter, konstruktioner etc. som försvårar och ibland omöjliggör mätningar. I sådana fall kan man vara tvungen att göra vissa uppskattningar.

Uppskattningar kräver eftertanke. Det är sällan en apparat använder så mycket elenergi som dess märkning anger. För att uppskatta hur hög effekt som förbrukaren kräver kan effekten uppskattas utifrån det arbete apparaten skall utföra. För att få energianvändningen måste även drifttiden uppskattas. Detta kan också vara svårt och ett sätt att få en uppskattning av drifttiden är att tala med dem som jobbar i processen om maskinens driftsätt.

När mätningar genomförts och uppskattningar gjorts bör man summera sina uppmätta effekter och jämföra dem med energileverantörens uppgifter under mätperioden. På så vis kan man snabbt se om det finns några större avvikelser.

Därefter beräknas och redovisas data samt att eventuella tolkningar kan utföras. Har man t.ex. flera liknande produktionslinjer kan man jämföra dem mellan varandra. Genom att identifiera eventuella avvikelser i energianvändning mellan de olika linjernas processteg kan man hitta effektiviseringsområden. Man bör ta hänsyn till eventuella skillnader i produktionsmängder.

Redovisning av data kan göras på många sätt såsom i tabellform och olika typer av diagram.

Kort sammanfattas arbetsmetoden i punktform:

- Studie av befintliga data
- Dela upp process i önskat antal delar
- Upprätta ett protokoll/ mätprogram
- Testa mätprogrammet
- Genomför mätningar/ gör uppskattningar
- Kontrollera gentemot befintliga data
- Tolka och redovisa

I rapportens andra del redovisas mätningar och arbeten som gjorts hos Rexam vad gäller elenergifördelningen.

9.1.2 Värmeenergi

9.1.2.1 Allmänt

Detta avsnitt handlar om värmeenergi i form av primärenergi och kontrollerad värme-återvinning. Värmeenergi från värmelaster tas upp i ett separat avsnitt.

Värmeenergin används för att producera värme såsom att värma produkter i en ugn, olika medior, lokaler m.m. Att använda värmeenergi för att driva motorer är numera högst ovanligt men det förekommer. Ett exempel är ångturbindrivna nödpumpar som används för att klara kortare strömavbrott hos vissa känsliga industrier.

Många industrier har både stora värmebehov samtidigt som man har ett värmeöverskott. För att veta hur värmeenergin fördelar sig i anläggningen och för att få reda på om det går att utnyttja energin bättre krävs det att man gör en inventering så man får en uppfattning om hur värmeenergiflödena går i anläggningen.

Värmeöverskott är vanligt och utgör ett bekymmer för industrierna. Det kan både vara kostsamt och krångligt att bli av med värmeöverskottet. Kyltorn är kostsamma i drift och det föreligger ofta en hälsorisk, såsom legionella, vid drift och skötsel av sådana. Avgörande för att kunna tillgodogöra sig överskottsenergi är att den håller en temperaturnivå som efterfrågas i processen. Har man mängder av ljummet vatten hjälper inte det om man har behov av varmt vatten, möjligtvis kan det ljumna vattnet förvärma vattnet som skall bli varmt eller använda det som en värmesänka åt en värmepump. Detta faktum är bra att ha med sig när man utformar sin anläggning. Kanske kan man utforma processen för att klara lägre temperaturer eller så att temperaturen på spillvärmen från ett processteg håller en tillräckligt hög temperaturnivå för att kunna återanvändas i andra processer.

En inventering av hur energiflödena fördelar sig i anläggningen och eventuella temperaturnivåer, ger en bra överblick av hur behoven ser ut och hur de fördelar sig. Det framgår då om det finns möjlighet att återvinna energi m.m.

Första steget vid en inventering kan vara att dela upp värmeenergin i lämpliga delar såsom efter bränsletyp (gasenergi, återvunnen energi m.m.) eller som värmeenergifördelningen vid olika processteg.

Värmeenergianvändning i form av uppvärmning av lokaler, värmning av tilluft etc. kan ofta uppskattas baserat utifrån befintlig statistik såsom statistik över bränslemängder/energimätare m.m. Alternativt kan uppmätta temperaturnivåer och flöden ligga till grund för detta. Saknas statistik är man tvungen att göra mätningar under en period för att se hur energibehoven skiftar. Saknas statistik för förbrukare som är väderberoende såsom lokalens uppvärmnings-behov räcker det inte att mäta effektbehovet under en kortare period utan värmeenergibehovet måste beräknas. Denna beräkning kan vara omfattande och kräver en god kännedom om själva objektet. Nedan redogörs för de olika stegen för att beräkna uppvärmningsbehovet:[1]

Värmeflödet ut från byggnaden utgör våra förluster. Förlusterna är dels transmissionsförluster Q_t, dels ventilationsförluster Q_v. Värmeflödet in i byggnaden utgörs dels av byggnadens uppvärmningssystem P_u, dels av gratisvärme P_g i form av värmeutveckling från verksam-heten och personalen inne i byggnaden samt solinstrålning. Det vi är intresserade att få reda på är uppvärmningssystemets energibehov E.

Alla dessa flöden såväl positiva (värmeflöde in i byggnad) som negativa (värmeflöde ut ur byggnad) strävar efter att vara i balans med varandra.

Transmissions och ventilationsförlusterna är beroende av omgivande temperatur. Ju större temperaturskillnaden är mellan inom- och utomhustemperaturen, ju större blir förlusterna.

Någonstans finns det en gränstemperatur T_g där det inte behövs något extra tillskott av värme från värmesystemet utan gratisvärmen klarar av att täcka upp värmebehovet. Gränstemperaturen infaller då summan av gratisvärmen dvs. värmeutvecklingen och solinstrålningen är lika stor som byggnadens transmissions och ventilationsförluster.

Transmissionsförlusterna är temperaturberoende och utifrån en gradtimmetabell får man reda på hur lång tid som temperaturen understiger gränstemperaturen T_g i förhållande till ute temperaturen T_u. Gradtimmar anger det specifika värmeenergibehov, dvs. temperatur-skillnaden T_g-T_u multiplicerat med den tid under vilken skillnaden råder. Multipliceras gradtimmarna med byggnadens specifika värmeförluster fås byggnadens energibehov:

$$E=QG_t(T_g,T_u) \quad (Wh) \qquad (9.1.1)$$

E Energibehov (Wh)

Q Specifik värmeeffektsförlust (W/ºC)

$G_t(T_g,T_u)$ gradtimmar (ºCh)

Att beräkna transmissionsförlusterna kräver kännedom om objektet avseende dess uppbyggnad:

$$Q_t= Q_{köldbryggor}+U_1A_1+\ldots+U_nA_{n\ldots} \quad (W/ºC) \qquad (9.1.2)$$

U U-värde på värmeavgivande yta (W/m^2)

A Ytans totala area (m^2)

Byggnadens ventilationsförluster beräknas som:

$$Q_v= \rho c_p q_{vent}(1-v)d+ \rho c_p q_{läckaget} \quad (W/ºC) \qquad (9.1.3)$$

ρ Densitet (kg/m^3)

c_p Värmekapacitet, (J/kgK)

q_{vent} Ventilationsflöde (m^3/s)

v Återvinningsaggregatets effektivitet, (%)

d Drifttid (%)

$q_{läckaget}$ Läckageluftflöde (m^3/s)

Primärenergi är ofta inga större problem att få reda på. Är det frågan om gasenergi och hur den fördelar sig i processen finns det ofta flödesmätare hos de enskilda förbrukarna. Av dem kan man utläsa gasanvändningen och beräkna energibehovet för aktuellt processteg. Man kan

läsa av gasförbrukningen under olika tidsintervall för att få reda på om effekten pendlar mycket med tiden. Vid mätningar måste man ha kontroll på planerade stillestånd så att inte energianvändningen mäts vid ett onormalt stopp såsom längre tids haveri eller underhåll. Ibland finns det rutiner för avläsning vad gäller energianvändning på enskilda större förbrukare, statistiken kan man använda för att få en överblick hur energin fördelar sig.

Det finns ofta strypventiler med mätuttag för mätning av medieflöde alternativt pumpar med manometrar som man med hjälp av pumpens pumpkurva kan använda sig av för att få fram flödet i en krets. Är flödet och temperaturdifferansen känt kan man enkelt beräkna värmeeffektbehovet momentant eller så kan man få ett medelvärde efter en längre tids loggning. Effekten beräknas med hjälp av ekvation 9.1.4.

$$P = mc_p \Delta T \qquad (W) \qquad (9.1.4)$$

P Effekt (W)

m Massflöde (kg/s)

c_p Värmekapacitet (J/kgK)

ΔT Temperaturskillnad på mediet, in och utgående temp från förbrukaren (K)

Med denna formel tillsammans med andra data går det relativt väl att se hur värmeenergin fördelar sig inom anläggningen. En exakt på kWh rätt fördelning kan man inte förvänta sig. Beroende på hur omfattande och noga man gör mätningarna kan man komma bra nära sanningen.

Det är svårt att få fram energibehovet hos förbrukare vars behov hela tiden pendlar, alternativt har ojämn drifttid. Man får då mäta under en längre tid och se om det uppstår ett visst mönster som man kan ta fasta på. Finns inget mönster har man i alla fall ett bra medelvärde att göra sina beräkningar utifrån.

9.1.2.2 Tillvägagångssätt

Den primärenergi man använder för uppvärmning är naturgas. Värmeenergianvändning för uppvärmning baseras på avläsning av aktuell pannas gasförbrukning per år. Då det finns separat gaspanna för uppvärmning av tilluft går det enkelt att ta reda på årlig energi-förbrukning baserat på tidigare statistik.

Tyvärr finns det inte separata flödesmätare på alla processugnar men då de är av samma typ och produktionen är likartad mellan linjerna så har fördelningen avseende tillförd värmeenergi uppskattats utifrån detta.

Efter att ha summerat ihop effekterna med deras drifttider jämfördes detta med den årliga naturgasförbrukningen som finns sparat sedan tidigare. De visade sig stämma väl överens med varandra. Summeringen fungerar som en enkel rimlighetskontroll så man effektmässigt inte hamnat alldeles tokigt. Här finns en osäkerhetsfaktor vad gäller fördelningen av gasenergi mellan de ugnar som inte har några flödesmätare eftersom den totala energianvändningen inte säger något om den interna fördelningen. Men då produktionen är kontinuerlig utan större förändringar så bedömde vi risken för missvisning som relativt låg. Mätningarna gjordes under flera månader med avläsningar vid olika tidpunkter och skillnaden i effekt var små vid de olika avläsningstillfällena.

En sammanställning av resultaten och tillvägagångssättet finner du under redovisningen för arbetet som gjorts hos Rexam i avsnittet som handlar om naturgas i rapportens andra del kapitel 12.2.

9.2 Värmekällor

9.2.1 Allmänt

Det finns många olika typer av värmekällorna hos en industri. De skiftar i storlek och intensitet, allt från en liten elmotor till stora processmaskiner eller kemiska reaktions-processer. En värmekälla som inte tas omhand via kylsystem eller punktutsug belastar arbetsmiljön genom att temperaturen höjs i lokalen. Arbetsmiljön påverkas också på andra sätt, dels ökar avdunstningen av föroreningar med stigande temperatur vilket påverkar föroreningshalten i lokalen, dels påverkas personalens arbets- och koncentrationsförmåga negativt av högre temperaturer. Viss värme från värmekällor är bra, då de utgör en del av uppvärmningen av lokalen och då behöver man inte tillföra extra värmeenergi i form av primärvärme för uppvärmning, men det förutsätter att värmen tillförs på rätt sätt. Problemen med värmekällor är att de ofta tillför för mycket värmeenergi på fel ställen. Värmekällorna är punktvisa och ofta felplacerade för att kunna ge ett bra inneklimat. Värmekällorna påverkar även starkt allmänventilationens möjligheter att fungera effektivt, genom att de påverkar luftrörelsen i lokalen.

Det är många gånger lönsamt att återvinna värme från värmekällor. Återvinningen kan vara såväl vätske- som luftbaserad och användas för uppvärmning av t.ex. tilluft, processteg m.m. Det viktiga vid återvinning av värmeenergi är att man får en lämplig temperaturkvalité på den återvunna värmen så den går att använda till det man önskar värma.

Värmekällorna är en av de vanligaste faktorerna som negativt påverkar allmänventilationens funktion och underskattas ofta vid dimensionering av ventilationssystemet. Allmänventilationen skall inte i någon större grad användas som processventilation för att kyla processen och föra bort höga halter föroreningar. Detta skall först och främst lösas på annat sätt, genom punktutsug eller olika typer av kylsystem.

Det är viktigt att få kontroll över var värmekällorna finns och hur stora de är. I en industri med hundratals motorer och andra värmealstrare måste man hitta en lämplig detaljnivå. Ofta räcker det att dela upp värmekällorna efter naturliga steg i processen, finns det specifika processdelar som är stora värmekällor kan dessa detaljstuderas separat.

Det finns även apparater som i sig inte producerar några större mängder värme men som sprider värme från värmekällor till lokalen. Exempel på sådana är fläktar och tilluftsdon. Ett felplacerat tilluftsdon som blåser över en värmekälla sprider värme och eventuella föroreningar, vilket gör det svårt att effektivt fånga in källan. Ett annat exempel är olika typer av processer där fläktar suger luft från en högre nivå i lokalen där det är varmare och mer förorenat och sedan blåser ut luften i arbetsarean. Detta är en typ av indirekt värmekälla och föroreningsspridare som inte är så vanlig men där den finns påverkas inneklimatet kraftigt.

9.2.2 Identifiera och mäta värmekällor

Att få fram en värmekällas storlek är många gånger svårt, det kräver uppskattningar och mätningar. En sak att komma ihåg när man letar värmekällor är att i det mesta arbete som utförs övergår större delen av den tillförda energin till värmeenergi. Det innebär att om man gjort en inventering avseende elenergi och värmeenergi kan man många gånger identifiera

värmekällorna. Energikrävande processer alstrar också mycket spillenergi som gör dem till värmekällor. Andra typer av värmekällor är t.ex. kemiska processer där värme bildas genom kemiska reaktioner utan tillförsel av några större mängder primärenergi samt apparater där återvunnen energi används istället för primärenergi. Dessa är värmekällor som man riskerar att förbise om man endast tittar på den primära energifördelningen.

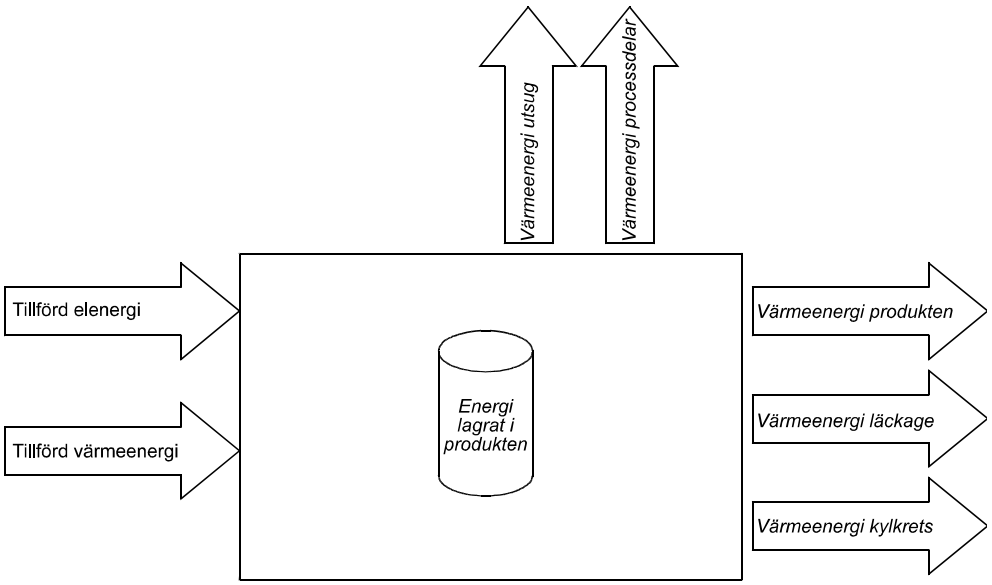
Ett annat sätt att identifiera värmekällor är att mäta temperaturnivåer. Dels kan man mäta lufttemperaturen i lokalen. Genom att mäta temperaturen kontinuerligt medan man går genom lokalen får man en uppfattning om det finns lokalt förhöjda temperaturer. Detta säger inget om storleken på värmekällorna utan mer var man har problem. Man kan även mäta luft- och yttemperaturer på maskiner och på så vis kan man identifiera värmekällor. Temperaturerna kan mätas med allt från en kontakttermometer till en värmekamera. En värmekamera är en dyr investering men det går att hyra en kamera eller köpa en sådan tjänst. Med den kan man snabbt få en uppfattning om var de stora värmekällorna finns.

Ett tredje sätt att uppskatta en värmekällas storlek är att räkna ut hur stor energiåtgången är för att göra ett arbete utan förluster och sedan jämföra det med verklig tillförd energimängd. Skillnaden mellan dem blir då storleken på värmekällan.

En värmekälla kan ha försetts med någon form av system för att leda bort värmen, denna värmeeffekt får man i sådana fall dra ifrån om man är intresserad av att få reda på den värmeeffektsdel som sprider sig till omgivningen. Genom att mäta temperaturen och massflödet på den del som kyler anläggningen såsom ett punktutsug eller kylvattenkretsar kan man räkna ut bortförd värmeeffekt och skillnaden mellan värmekällans storlek och bortförd effekt är källans värmeeffektbidrag till omgivningen.

Att beräkna värmelasters storlek skiljer sig inte mellan olika industrier, i grunden handlar det om att detaljstudera energiflödena. Även om processerna är väldigt olika är principen och grundformlerna de samma oavsett vilken process det rör sig om.

Den värmekälla man vill räkna ut storleken på kan man med fördel se som en box med in- och utflöden av energi enligt figur 9.2.1 nedan:



Figur 9.2.1. Energiflöden in och ut från en värmekälla.

Värmekällans storlek är skillnaden mellan tillförda och bortförda energier. Har man identifierat värmeförlusterna till omgivningen och vad som orsakar det ser man oftast vad som saknas för att minska värmelasten såsom t.ex. avsaknad av punktutsug, isolering m.m.

Beroende av vilken typ av värmekälla det är beräknas värmeeffektens storlek på olika sätt. Här följer en kort redogörelse för att bestämma olika värmekällors storlek.

9.2.2.1 Varma ytor

Många gånger utgörs värmelasten av en större varm yta t.ex. ett ugnshölje. Hur mycket värmeenergi som avgår till omgivningen är beroende av strålnings- och konvektionsegenskaper hos ytan och omgivningen.

För att beräkna en ytas värmeavgivning används följande formel:

$$P_{konv}=A\alpha(T_L - T_y) \qquad (W) \qquad (9.2.1)$$

A Ugnsyta (m^2)

α 10 (W/m^2K)

T_y Ytans temperatur (K)

T_L Luftens temperatur (K)

α-värdet är ett värmeövergångstal och anger hur stor värmeeffekt som avges från ytan till omgivningen. Värmeövergångstalen kan skifta kraftigt beroende av olika omgivande faktorer samt materialegenskaper. En rimlig nivå på α-värdet vid övergång mellan en varm yta och luft, då man tar hänsyn både till strålning och konvektion, är 10 W/m^2K [2].

9.2.2.2 Varma produkter och processdelar

Produkter och transportband som kommer ut från t.ex. en ugn belastar lokalen med värme. Hur stor värmeeffekten är från produkterna och banden kan beräknas med effektformeln 9.1.4.

När den varma produkten kommer ut från en ugn börjar den direkt att avge värme till sin omgivning genom konvektion och strålning. Mäter man temperaturen på produkten vid utmatningen och den temperatur den har när den svalnat samt hur stort massflödet är kan man beräkna produktens värmebidrag till omgivningen. Har man ett transportband genom ugnen beräknas dess värmeeffekt på samma sätt, man mäter temperaturdifferensen mellan bandets utlopp och inlopp till ugnen och beräknar bandets massflöde och tar reda på materialets värmekapacitet.

9.2.2.3 Värmeeffektsbidrag genom skillnad mellan tillförd energi och bortförd

I ugnar och inkapslingar kan man beräkna värmebidraget till omgivningen genom att beräkna skillnaden mellan tillförd energimängd och bortförd. I en ugn är tillförd energimängd den energimängd bränsle som stoppats in och bortförd är den energimängd som bortförts via rökgaserna. Skillnaden mellan dessa är värmebidraget och skall då vara summan av alla värmeförluster såsom värmeläckage från ugnen, värme som produkter och band för ut m.m. Detta är ett betydligt enklare sätt att beräkna förlusterna än att beräkna värmeeffekten från ugnsytor produkter etc. Det kan vara svårt i vissa fall att få rättvisande siffror, dels måste till-

och bortförd energi mätas samtidigt dels kan man t.ex. i lackeringsugnar råka ut för att gaser från lacken till viss del deltar i förbränningen.

Rökgasförlusterna beräknas som skillnaden mellan luftens värmeinnehåll i lokalen T_L och värmeinnehållet i rökgaserna T_r som tillsammans med rökgasens massflöde ger den värmeförlust som rökgaserna utgör.

För beräkning av värmeinnehållet har följande formel används:

$$h=c_{pl}T+x(r+c_{pv}T) \qquad (J/kg) \qquad (9.2.2)$$

c_{pl} Specifik värmekapacitet för luft (J/kgK)

T Rökgastemperatur (K)

r Ångbildningsvärme (J/kg)

x Vattenånga per kg torr luft (kg/kg)

c_{pv} Specifik värmekapacitet för mättad vattenånga (J/kgK)

Ekvationen 9.2.2 är energiekvationen för fuktig luft. Vid förbränning bildas bland annat vattenånga som man också kan ta hänsyn till. På grund av höga rökgasflöden kan denna del anses vara försumbar. Ugnar för torkning har ett högt luftflöde så andelen vatten från förbränning blir väldigt liten i förhållande till luftens vatteninnehåll. Är det däremot en panna för uppvärmning skall luftflödena vara små genom pannan för att den skall vara så effektiv som möjligt. Då bör man ta hänsyn till vattenångan från förbränningen. För att få reda på mängden vattenånga i luften så används följande förhållande:

$$RH=x/x_m \qquad (-) \qquad (9.2.3)$$

RH Relativ fuktighet (-)

x Vattenånga per kg torr luft (kg/kg)

x_m Mättnadsånghalt (kg/kg) tas ur tabell.

Allmänna gaslagen säger att $p_1V_1/T_1=p_2V_2/T_2$. Detta innebär att då temperaturen förändras samtidigt som trycket är konstant förändras volymen i motsvarande grad och därmed även densiteten då volymitet och densitet är omvänt proportionellt.

Beräkning av rökgasens densitet:

$$\rho_r=(1,2\cdot 293)/T_r \qquad (kg/m^3) \qquad (9.2.4)$$

T_r Rökgastemperatur (K)

Rökgasförlusten P_r beräknas som:

$$P_r=\rho_r q_{rök}(h_r-h_f) \qquad (W) \qquad (9.2.5)$$

ρ_r Rökgasens densitet (kg/m^3)

$q_{rök}$ Rökgasflöde (m^3/s)

h_r Värmeenergiinnehåll rökgaser (J/kg)

h_f Värmeenergiinnehåll förbränningsluft (J/kg)

Tillförd bränsleeffekt beräknas utifrån uppmätt bränsleförbrukning vid mättillfället multiplicerat med bränslets värmeinnehåll.

Värmebidraget till omgivningen blir då:

Värmelast = Tillförd bränsleeffekt – Rökgasförlusten

9.2.2.4 Tillförd effekt – Teoretiskt arbete

Ibland kan det vara mycket svårt att beräkna en apparats värmebidrag till lokalen. Ett sätt är att mäta apparatens effektbehov och sedan teoretiskt beräkna hur mycket ett förlustfritt utfört arbete skulle behöva. Differensen mellan dessa är apparatens värmeförluster. Det kan t.ex. vara en press där produkten pressas och värme frigörs i form av friktion vilket leds bort dels genom förångning av dragoljor och kylning med kylsystem och dels genom att produkten blir varm.

Genom att betrakta pressen som en sluten låda med in och utgående energiflöden kan man få fram dess värmebidrag.

Först mäts maskinens effektbehov. En press som är elektriskt driven är det eleffekten som är tillförd effekt.

Värmeförlusterna från en press utgörs bland annat av varma dragoljor. Hur stor del av den tillförda effekten som bortleds den vägen är en enkel beräkning. Har man ett cirkulerande dragoljesystem mäter man flöde och temperaturdifferenser. Då dragoljor är en olja/vatten suspension där vatten utgör merparten antar vi att suspensionens värmekapacitet är densamma som vatten. Dragoljans kyleffekt beräknas med ekvation 9.1.4 där temperaturdifferansen är före och efter utfört arbete.

En annan värmeförlust är den värme som bortleds via punktutsug. Genom att även där mäta flöde och temperaturer kan man beräkna värmeförlusten genom punktutsuget på samma sätt som vid rökgasförluster med ekvation 9.2.5. Med den förändringen att det istället för värmeinnehåll i rökgaser och förbränningsluft används värmeinnehållet i utsug och omgivande luft.

Tredje förlusten är produkten som blir uppvärmd. Beräkningen för detta redovisas för under rubriken, varma produkter och processdelar i avsnitt 9.2.2.2 i detta kapitel.

Att beräkna det teoretiska arbetet är svårt, då det kräver fördjupade kunskaper i deformation av ett material. Detta redogörs det för mer detaljerat i kapitlet 12.10 Värmelaster i rapportens andra del.

När alla energiflöden är mätta och beräknade fås värmebidraget till lokalen genom:

Värmebidrag= Tillförd effekt – Bortförda effekter

9.2.2.5 Värmespridare

Värmespridare är egentligen ingen värmekälla på så vis att den tillför några större mängder värmeenergi, däremot så transporterar och sprider den värme från ett ställe till ett annat. Ett exempel kan vara fläktar som suger luft från en högre nivå och har sitt utsläpp av varm förorenad luft till en omgivning med helt andra temperaturer och föroreningshalter.

Värmespridarens värmeeffekt beräknas på samma sätt som för punktutsug i avsnittet ovan.

En kartläggning av värmespridare har gjorts hos Rexam. Detta beskrivs närmare i kapitel 12.10 i rapportens andra del.

9.3 Luftflöden

Att mäta luftflöden i en industribyggnad skiljer sig ofta från andra byggnader. Ventilationskanaler är ofta placerade högt upp under taket, Takhöjder på 9 m är inget ovanligt. Kanaldimensionerna är förhållandevis stora. Rektangulära plåtkanaler med sidomått på 2 m är inte ovanligt hos en större industri. Även murade eller på annat sätt uppbyggda jättekanaler förekommer. De stora dimensionerna och dess placering gör det många gånger svårt att mäta luftflöden. Ett vanligt problem är att hitta lämpliga mätsträckor som uppfyller de krav som mätmetoderna anger[2]. Till exempel om man skall göra en luftflödesmätning med Prandtlrör behövs det enligt standarden 6 hydrauliska diametrar före mätplanet och 2 hydrauliska diametrar efter. Detta innebär att en rektangulär kanal på 2x1 m behöver en total raksträcka på ca 10,5 m utan några störningar såsom avstick krökningar m.m. Vid en rund kanal med diametern 800 mm krävs det en raksträcka på ca 6,4 m utan störningar. I Byggforskningsrådets skrift ”Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer” beskrivs de mätmetoder som rekommenderas för alla typer av ventilationsmätningar. Metoderna anger hur en mätning skall utföras och hur en mätsträcka skall se ut.

Om man är tvungen att göra ett avsteg från metoderna t.ex. för att raksträckorna är för korta måste man vara medveten om att avsteg från standarden påverkar mätnoggrannheten. Hur stor avvikelsen blir är omöjligt att säga men vid ett avsteg från mätmetoden är det extra viktigt att man bedömer rimligheten hos mätvärdet. Det går ofta att göra någon typ av kontroll. Om man t.ex. mätt avstick på en stam så kan uppmätta summerade värden från avsticken jämföras mot en mätning av det totala luftflödet i början av stamkanalen.

Man kan också använda sig av andra mätmetoder såsom spårgasmätning. Spårgasmätning är en mätmetod som gynnas av kanaler med många böjar då man får effektivare inblandning av spårgasen . Problemen med denna metod är att den dels kräver relativt avancerad utrustning, dels måste man vara säker på att man har en homogen gasblandning i kanalen och dels kan det vid höga luftflöden gå åt stora mängder spårgas. För att få en homogen gasblandning krävs det långa blandningssträckor. Exempelvis krävs det för att komma ner till en mätonogrannhet under 10 % i en rak kanal upptill 60 gången den hydrauliska diametern[3]. Det är sällan det förekommer kanaler som inte har några avstick på en sådan lång blandningssträcka.

9.4 Luftföroreningar

Luftföroreningar i arbetslokalen är för flera industrier ett problem. Allt från svetsrök till lösningsmedel i andningsluften är saker som förekommer hos de flesta industrier. I Sverige finns en gränsvärdeslista där skadliga ämnen finns upptagna och försedda med någon typ av gränsvärde som inte får överskridas. Den nu gällande gränsvärdeslistan heter AFS 2000:03

Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar och tillhandahålls av Arbetsmiljöverket.

Föroreningar i form av främmande ämnen påverkar såväl ventilationsbehovet som designen av ventilationssystemet. Vanligt förekommande föroreningar är så kallade VOC:s, organiska lösningsmedel. En egenskap som dessa har är att de förångas vid låga temperaturer vilket många gånger är den egenskap man söker.

För att identifiera föroreningskällor samt se hur föroreningshalterna skiftar i lokalen kan man använda olika metoder. Det finns flera olika instrument för att mäta VOC:s allt från gaskromatografi där man analyserar enskilda ämnen till mätningar av den totala mängden VOC nämligen TVOC i enklare handhållna apparater.

Vilken eller vilka sätt man väljer att använda är beroende av detaljeringsgraden. Vill man få reda på enskilda ämnens koncentration är det ofta gaskromatografi man använder. Räcker det med att få reda på TVOC- koncentrationen kan enklare instrument såsom en flamjonisationsdetektor, FID eller en fotojonisations detektor PID användas. Dessa instrument finns som små handhållna instrument och de har en snabb svarstid vilket är värdefullt om föroreningskoncentrationen pendlar.

Nackdelen med instrumenten är att de endast ger TVOC och den ppm-halt de visar är beroende av hur lätt ämnet joniseras i det spektra som instrumenten mäter och efter vilken gas instrumentet kalibrerats för. Detta innebär att instrumenten inte bör användas som analys-instrument utan mer för att indikera TVOC:ns skiftningar i lokalen och för att hitta källor. Man måste också vara medveten om att i och med att den ger en totalhalt av TVOC så kan koncentrationerna av enskilda ämnen skifta kraftigt utan att det ger utslag på instrumentet, när en koncentration av ett ämne minskar kanske ett annat ökar i motsvarande grad.

Vill man veta hur höga halter av ett ämne som finns eller se vilka föroreningar i gasform som finns i luften är gaskromatografi med en masspektrometer ett mycket bra alternativ. Gaskromatografer är känsliga analysinstrument som till sin storlek och uppbyggnad inte lämpar sig för fältanalyser. Man använder sig av så kallade Tenax-rör för insamling av ett prov som sedan skickas till ett laboratorie för analys i en gaskromatograf. Denna metod är mycket noggrann och man får reda på vilka ämnen som förekommer och man har möjlighet att kvantifiera dem om så önskas. Nackdelen med gaskromatografen är att det inte går att mäta kontinuerligt, utan resultaten visar hur det såg ut i provtagningspunkten vid en viss tidpunkt. En annan nackdel är att det är en kostsam metod. Analyserna kostar relativt mycket. Ett sätt är att man endast tar ett fåtal prover med Tenax-rör för att få reda på vilka ämnen som förekommer och sedan gör mer omfattande mätningar med en PID eller FID.

Här följer en kortare beskrivning av olika metoder för att mäta föroreningar i luft, då främst VOC. I rapportens andra del beskrivs det arbete som utförts hos Rexam och hur det gått till.

9.4.1 Traversering

För att få en bild av och en uppfattning om hur luftkvaliteten avseende VOC och temperatur skiftar i lokalen är ett bra alternativ att mäta kontinuerligt genom lokalen, traversera. Med t.ex. en PID och en temperaturlogger kan man få en bra överblick om var det finns förhöjda föroreningshalter och temperaturer. Genom att samtidigt mäta var man är någonstans i lokalen kan resultaten ritas in på en planritning över lokalen och processen. Det framgår då var förhöjda föroreningshalter och temperaturer finns i lokalen och med dessa uppgifter

tillsammans med processkännedom kan man bilda sig en uppfattning om värme- och föroreningskällor.

Detta är ett snabbt sätt att indikera var källorna finns. Det är en grov men snabb metod som fungerar relativt väl. Det finns några saker man måste komma ihåg när man använder sig av denna metod. Föroreningshalten är avståndsberoende från källan, det innebär att man måste vara relativt nära källan för att kunna se den som en klar topp. Man kan också missa en källa då föroreningen kan följa luftrörelserna och termiken. Det innebär att varma föroreningar kan stiga relativt snabbt uppåt. Men i det stora hela så fungerar denna metod relativt väl som en snabb metod för att bilda sig en uppfattning om luftkvaliteten och dess skiftningar i lokalen.

9.4.2 Björnring

För att detaljstudera t.ex. ett processteg kan man med samma utrustning som vid traversering gå runt ett enskilt processteg istället för en hel lokal. Detta är ofta steget efter en traversering där man identifierat vissa platser med förhöjda halter och mer i detalj vill ha reda på var källan finns.

9.4.3 Punktmätningar

Där det inte går att komma åt med traverseringsutrustningen eller att man vill gå runt och ”lukta” med apparaten för att ännu noggrannare bestämma källstyrkorna kan man gå runt med instrumentet och mäta väldigt nära och ibland inne i processutrustningen. På så vis får man en ännu bättre bild över var de förhöjda halterna finns och tillsammans med en rökflaska kan man även till viss del se hur föroreningarna rör sig. Detta är värdefullt att få reda på när man avser att göra punktvisa åtgärder såsom t.ex. lokala utsug.

9.4.4 Luftrörelser i lokalen och kring maskiner

För att få en helhetsbild över föroreningsrörelser och spridning är det värdefullt att också mäta luftens hastighet och riktning i lokalen och kring maskiner. På så vis får man en uppfattning om hur föroreningarna rör sig och hur snabbt de späds ut av omgivande luft. Ett enkelt sätt är att använda sig av rök och en lufthastighetsgivare. Genom att med röken se hur luften rör sig kan man mäta rörelsen med lufthastighetsmätaren. Då givarna ofta är riktningsberoende är detta en grov metod som kräver att man känner vindriktningen. Vill man ha mer exakta mätningar finns det givare som är riktningsoberoende men man får fortfarande använda sig av rök för att få reda på luftens riktning.

Det är bra att mäta lufthastigheten på flera olika nivåer i höjdled då dessa kan skifta kraftigt.

9.4.5 Mätstrategi

Genom att kombinera olika mätsätt kan man få väldigt god uppfattning om luftkvaliteten i sin anläggning.

Att börja med en traversering genom lokalen längs med processlinjer ger en snabb överblick över hur föroreningshalterna och temperaturen skiftar i lokalen samt indikerar var källor finns någonstans.

Efter traversering kan man mäta manuellt eller med björnring runt de processteg som visar förhöjda halter.

Vill man veta vilka föroreningar man har att göra med kan man även ta något Tenax-prov som skickas iväg för analys. Vill man urskilja vilka föroreningar som kommer från olika processteg kan man, genom att hitta markörer (specifika ämnen som bara finns i ett processteg), spåra var någonstans föroreningarna kommer ifrån. Detta är ett mycket omfattande och kostsamt sätt. Hos Rexam har ett första sådant försök genomförts med relativt gott resultat. Det finns vissa specifika ämnen som bara förekommer vid ett visst processteg och dess utbredning kan studeras genom de olika Tenax-prov som tagits i lokalen. Detta beskrivs mer utförligt i avsnittet 12.9 i rapportens andra del.

9.4.5.1 Mätpunkter i lokalen

Vid all typ av mätning är det avgörande för resultaten att hitta lämpliga mätpunkter och representativa mätsträckor. Vid traversering mäter man kontinuerligt så då är man inte lika beroende av specifika punkter men det är viktigt att mätsträckan är representativ.

9.5 Metodbeskrivningar för inkapslingar

För att en inkapsling skall bli bra och effektiv krävs det att den dels är tillräckligt tät dels förses med ett avpassat utsug för bortledning av föroreningarna som finns inne i inkapslingen. Inkapslingens effektivitet kan mätas på flera sätt. Den viktigaste parametern är självfallet uppfångningsförmågan dvs. hur stor del av föroreningarna vi lyckas hindra från att sprida sig utanför inkapslingen. En annan parameter är hur energieffektiv inkapslingen är. Med energieffektiviteten ser man till inkapslingens ”marginaler” i form av verkliga utsugsflöden och öppningsareor kontra teoretiska möjliga utsugsflöden och potentiella öppningsareor.

En inkapslings effektivitet påverkas starkt av olika typer av störningar. I listan nedan anges några vanliga störningar för inkapslingar som man bör få kontroll över och kompensera för.

1. Lokala luftrörelser utanför inkapslingen
2. Temperaturskillnader
3. Flödesvariationer i inkapsling
4. Meddragning av luft vid in- och utmatning av processgods från inkapslingen

Utläckage från fallen 1 och 2 förhindras genom att alltid ha ett lägre tryck invid öppningar inuti inkapslingen än utanför.

Vid luftrörelser kring inkapslingar är det lägsta yttre tryck utanför inkapslingen som bestämmer det tryck som krävs i inkapslingen för att förhindra utläckage. I den öppning med det lägsta yttre trycket strävar man efter att hålla ett balanserat tryck över öppningen och på så vis kan det inte ske något läckage ut från inkapslingen. Inströmning av luft kommer då att ske genom alla andra öppningar med en positiv tryckskillnad. Det nödvändiga frånluftsflödet kan beräknas med uppgifter om alla öppningars storlek och tryckskillnad över respektive öppning.

Vid en temperaturskillnad mellan inkapsling och omgivning uppstår det vertikala tryckskillnader inne i inkapslingen. Vid högre temperaturer inne i inkapslingen än utanför ökar trycket med höjden i inkapslingen. I inkapslingens nedre delar blir det ett undertryck som beror på frånluftsflödet och öppningarnas storlek och i inkapslingens övre del bildas ett övertryck. Övertrycket kan elimineras med ett tillräckligt stort frånluftsflöde och genom minskade öppningsareor. Det nödvändiga frånluftsflödet kan beräknas med uppgifter om alla

öppningars storlek och tryckskillnader mellan omgivande luft och inkapslingen. Tryckskillnaden över de olika öppningarna bestäms i sin tur av deras höjdläge i förhållande till neutrallagret och den termiska gradienten. Med neutrallager menas den nivå där trycket är noll, dvs. den nivå där det varken råder över- eller undertryck.

Vid flödesvariationer i inkapslingen måste det konstanta frånluftsflödet vara större än det processkapade varierande tilluftsflödet. Detta är något som ofta förbises och frånluftsflödet är endast något större än medelflödet för det processkapade tilluftsflödet.

Meddragning skapar vid in- och utmatning av processgods ett förorenat flöde som till en del kan motverkas av ett samtidigt motriktat flöde till inkapslingen. Problemet är att finna ett rimligt flöde för att motverka meddragningsflödet.

Onödigt stora öppningar, dåligt tätade inkapslingar, huvar m.m. orsakar ett läckage av föroreningar. Det är därför viktigt att en inkapslings öppningar är väl avvägda.

Första steget vid en analys/design av en inkapsling är att ta reda på så mycket som möjligt om det processteg som skall inkapslas och även klargöra om det finns några yttre faktorer som påverkar.

Några vanliga faktorer man bör utreda för att analysera eller kontrollera en inneslutning är:

- Till- och frånluftsflöden
- Temperatur i inneslutning och omgivning
- Öppningars areor och placering
- Läckage
- Plötsliga flödesvariationer i inkapslingen
- Lokala luftrörelser utanför inkapslingen
- Föroreningskällans egenskaper och form

Till sin hjälp för att förbättra en inkapsling infångningseffektivitet har man dels ett utsugsflöde från inkapslingen att justera dels öppningsareor att anpassa.

Utsugsflödet måste vara tillräckligt stort för att kompensera för dels de aktiviteter som sker inne i huven dels för att hindra läckage till omgivningen genom såväl nödvändiga öppningar som oönskade läckor. Det kan ibland vara svårt att hitta ett läge där alla störningsfaktorer är kompenserade för, utan att det ger en negativ påverkan i produktionen. Till exempel kan det finnas problem med flödesvariationer inne i inneslutningen som gör att man får ett övertryck i inkapslingen. Försöker man kompensera fullt ut för plötsliga flödesförändringar kanske hastigheter genom öppningarna i inkapslingen blir så hög att tillverkningsprocessen inne i inkapslingen påverkas negativt. Det kan vara en lackeringsutrustning vars sprutbild påverkas av höga luftflöden genom öppningen. Det är därför mycket fråga om avvägningar när man tittar på en inkapsling.

För att hålla föroreningarna inne i inkapslingen strävar man efter att ha ett undertryck i inkapslingen. Önskad tryckdifferens över inkapslingen åstadkommes dels genom justering av utsugsflöden och dels genom optimering av öppningsareor.

Målet med inkapslingen är att det inte skall komma ut föroreningar från inkapslingens öppningar. Vid temperaturskillnader mellan inkapsling och omgivningen uppstår termiska krafter såsom självdrag och dubbelriktade strömningar vilket, om det inte fås under kontroll, kommer att förorena omgivningen. Dessa fenomen beskrivs närmare i avsnittet 9.8 om temperaturskillnader.

När produkten passerar ut genom en inkapsling följer det alltid med mer eller mindre mängder föroreningar. Dessa dras med ut genom öppningen och hur mycket som dras med beror på flera faktorer såsom produktens utformning, öppningens storlek och djup, motriktade luftströmmar genom öppningen m.m. Denna typ av störning kan vara stor men hur man behandlar den på ett bra sätt återstår att lösa och kräver ytterligare forskning.

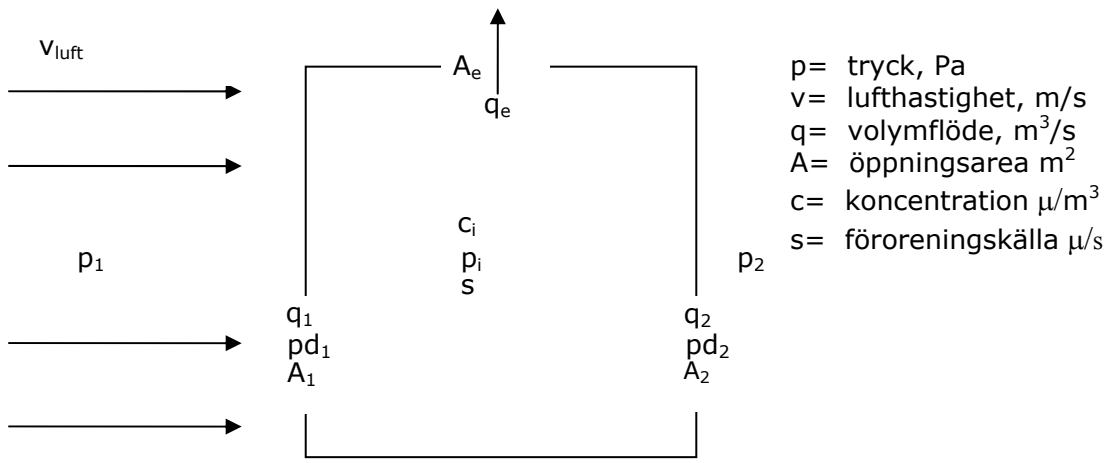
Utvärdering av inkapslingar är svårt. Förekommer föroreningen endast på en plats som inkapslats kan man mäta föroreningar i såväl utsug som omgivningen och utifrån det se skillnader före och efter en åtgärd. Men många gånger är det svårt att göra så. Då det kan finnas störningar i form av andra liknande inkapslingar. För att utvärdera en inkapsling kan man använda sig av fotografiska metoder. Dessa metoder kvantifierar inte hur mycket som fångas in men man ser skillnader före och efter en åtgärd. Man kan använda fotografiska metoder för att hitta ett optimum genom att fotografera vid olika åtgärder såsom olika utsugshastigheter och öppningsstorlekar.

9.6 Lokala luftrörelser kring inkapslingar

Inkapslingens öppningar kan utsättas för olika störningar i form av luftrörelser. Yttre störningar kan orsakas av till exempel en konstant ”påblåsning” från ventilationssystemet, en tillfällig störning såsom en nära passage av arbetare/produkter intill öppningen eller genom korsdrag i lokalen. Inre störningar kan vara fläktkylda motorer och processrörelser. Det hastighetsfält som luftrörelsen bildar kring inkapslingen innebär att det på lovartsidan blir övertryck medan det på läsidan bildas ett undertryck. Tryckens storlek är beroende av inkapslingens utformning och luftens hastighet. Inkapslingen är fullt jämförbar med hur en byggnad påverkas av vinden och byggnadens formfaktorer. En formfaktor anger hur stor del av den fria luftens dynamiska tryck som påverkar väggen. Om en byggnad eller inkapsling har en enda öppning får man inga problem med trycket men vid flera öppningar kan det uppstå tvärdrag.[4] Tvärdrag uppstår när inkapslingen har två eller flera öppningar placerade på varsin sida om inkapslingen se figur 9.6.1.

9.6.1 Förutsättningar:

I kommande resonemang förutsätts att inkapslingen ser ut som figur 9.6.1.



Figur 9.6.1. Typfall lokala luftrörelser sett från sidan.

9.6.2 Antaganden

Följande antaganden har gjorts vid beskrivning av typfallet:

- Luftvolymen i inkapslingen är homogen.
- Det råder ingen temperaturskillnad mellan inkapsling och utanför
- Öppningarnas sammanlagda storlek är så små att de inte påverkar formfaktorerna.

9.6.3 Analys av inkapsling

9.6.3.1 Mål

Målet är att beräkna det lägsta utsugsflöde som krävs för att garantera att inget läckage till omgivningen förekommer.

9.6.3.2 Tillvägagångssätt

När man tittar på inkapslingen måste man bilda sig en uppfattning av vad som händer och vad som krävs för att nå målet. När det sker luftrörelser utanför inkapslingen kan det uppstå tvärdrag orsakat av den tryckdifferans mellan inkapslingens trycksida p_1 och läsidan p_2. I detta fall kan man föra ett resonemang kring hur trycknivåerna är runt inkapslingen och hur dessa nivåer inverkar på läckage från inkapslingen.

De tryck som blir i punkten p_1 och p_2 skapas av luftens dynamiska tryck, p_d. Trycken beräknas med hjälp av det dynamiska trycket och en formfaktor. Formfaktorn justerar det beräknade dynamiska trycket beroende på inkapslingens utseende och placering.

Trycket vid inkapslingen kommer att vara högst i punkten p_1. Detta medför att så länge trycket i inkapslingen p_i är lägre än trycket p_1 kommer inget att läcka ut den vägen. När inget utsug sker från inkapslingen kommer trycket att vara lägst bakom inkapslingen, p_2, detta medför att det sker en passage av luft genom inkapslingen och ett läckage av föroreningar

motsvarande föroreningskällans styrka multiplicerat med luftflödet som dras med ut genom öppningen A_2. Med detta enkla resonemang kan man säga:

För att kunna nå det uppsatta målet är det trycket p_2 som måste motsvaras eller understigas i inkapslingen för att hindra ett läckage till omgivningen. Det kräver då att utsugsflödet i förhållande till inkapslingens öppningar är så högt att man genom det dynamiska trycket skapar en trycksänkning i inkapslingen som högst motsvarar trycket p_2, dvs. $p_i=p_2$.

Skulle, $p_1 \geq pi > p_2$ kommer det inte ut några föroreningar från öppning 1 A_1. Viss del av föroreningen bortförs via utsuget och viss del av föroreningarna kommer att tryckas ut genom öppning 2 A_2. Föroreningslasten s till lokalen blir då:

$$s=c_i q_2 \qquad (\mu/s) \qquad (9.6.1)$$

s Föroreningslasten ($\mu m^3/s$)

c_i Föroreningshalt (μ)

q Volymflöde (m^3/s)

Skulle $p_1>pi=p_2$ kommer inga föroreningar ut i lokalen och föroreningslasten till lokalen blir noll och föroreningslasten i utsuget blir $q_e c_i$ där $q_e=q_1$ och $q_2= 0$.

Som nämnts tidigare är trycknivåerna beroende av det dynamiska trycket samt formfaktorn. För att erhålla det tillstånd då $p_1>pi=p_2$ beror det på följande samband:

$$Pd=\rho v^2/2 \qquad (Pa) \qquad (9.6.2)$$

P_d Dynamiskt tryck (Pa)

v Mediehastighet, (m/s)

ρ Densitet (kg/m^3)

$$P= CPd \qquad (Pa) \qquad (9.6.3)$$

C formfaktor

Formfaktorns storlek ligger oftast mellan 1-(-1) och är dels beroende av luftens riktning i förhållande till inkapslingen och dels till inkapslingens utformning. De formfaktorer som anges är formfaktorer för större byggnader. Där är öppningarna små i förhållande till den totala ytan. För att vara säker på den formfaktor man använder bör flödet genom den aktuella sidans öppning vara mycket lägre än det totala luftflöde som trycker mot den aktuella sidan, dvs. $Av>>q$, A är väggarea, v luftens hastighet intill inkapsling, q är flödet genom inkapslingens aktuella öppning. Formfaktorn kommer annars att vara missvisande och ge ett mer extremt tryck mot vad det är i verkligheten. Olika formfaktorer anges i Tabell 9.6.1.[5]

Tabell 9.6.1 Formfaktorer för en byggnad.

Vind riktning	Byggnads yta	20° takresning
Normal riktning	Fasad vindsida	0,6
	Fasad läsida	-0,3
	Gavel	-0,7
	Tak vindsida	-0,7
	Tak läsida	-0,4
Vind under 45°	Fasad vindsida	0,4
	Fasad läsida	-0,5
	Gavel vindsida	0,3
	Gavel läsida	-0,4
	Tak vindsida	-0,5
	Tak läsida	-0,5
Parallell vind	Fasad	-0,4
	Gavel vindsida	0,7
	Gavel läsida	-0,1
	Takyta	-0,4

Det tryck p som fås med hjälp av formfaktorn anger ett medeltryck på ytan. Lokala skiftningar i trycket förekommer. Vill man göra en mer noggrann beräkning krävs det någon typ av simulering av tryckförhållandet.

För att nå vårt mål att inga föroreningar skall slippa ut ur inkapslingen beräknas först trycken i punkten 1 och 2 med ekvationerna 9.6.2 och 9.6.3.

Tryckdifferansen mellan punkt 1 och 2 motsvarar det undertryck som måste skapas i inkapslingen p_i för att hindra läckage över någon av öppningarna. Undertrycket p_i skapas genom utsug från inkapslingen q_e och det dynamiska tryck som blir över öppningarna. Vid lägsta utsugsflöde är hastigheten genom öppning 2 noll uttrycket blir då:

$$\rho v_1^2/2=(C_{trycksida}-C_{läsida})\rho v_{luft}^2/2 \text{ (Pa)} \qquad (9.6.4)$$

Enligt kontinuitetsvillkoret är:

$$q=Av \qquad (m^3/s) \qquad (9.6.5)$$

q Volymflöde (m^3/s)

A Öppningsarea (m^2)

v Hastighet i öppning (m/s)

Genom att ersätta v_1 i ekv 9.6.4 med q_1/A_1 och sedan lösa ut q_1 och kompensera för kontraktion i öppningen erhålls det lägsta erforderliga utsugsflöde som krävs för att kompensera det tryck luftrörelsen kring inkapslingen orsakar eftersom då $q_2=0$ är $q_1=q_e$

$$q_e=\psi A_1(C_{trycksida}-C_{läsida})^{0,5}v_{luft} \qquad (m^3/s) \qquad (9.6.6)$$

ψ kontraktion

Ekvationen anger det utsugsflöde som krävs för att skapa det undertryck i inkapslingen som krävs för att trycket i inkapslingen skall bli lika med trycket på inkapslingens läsida, vilket är det villkor som skall uppfyllas för att nå en effektivitet på 100 %.

Man måste komma ihåg att detta flöde kompenserar endast för störningen som luftrörelserna åstadkommer, ofta finns flera andra störningar vars betydelse måste vägas gentemot denna. Det innebär att om det förekommer störningar som är kraftigare än denna så riskerar man ändå att få ett visst läckage av föroreningar.

Om de krav som ställs på inkapslingen anger ett minimikrav avseende kapslingens effektivitet kan utsugsflödet justeras. Ekv 9.6.7 visar sambandet mellan föroreningskällan och utsugsflödet. Inkapslingens effektivitet är förhållandet mellan föroreningskällan s och den mängd förorening som bortförs via utsuget, q_ec_i. Nedan redovisas hur inkapslingens utsugseffektivitet a kan, under förutsättningen att bakgrundshalten anses vara noll i den fria luften, anges till:

$$a= q_e/q \qquad (-) \qquad (9.6.7)$$

a Utsugseffektivitet (-)

q Volymflöde (m^3/s)

Då $q_e=q_1-q_2$ ger det att:

$$a=1-q_2/q_1 \qquad (-) \qquad (9.6.8)$$

Föroreningskällan är summan av koncentrationen i inkapslingen multiplicerat med det totala inflödet i inkapslingen:

$$s=c_i(q_1+q_2) \qquad (\mu/s) \qquad (9.6.9)$$

Flödena q_1 och q_2 är beroende av den tryckskillnad som blir mellan trycket på respektive sida av inkapslingen och trycket i inkapslingen:

$$q_1 = A_{e1}(2(p_1-p_i)/\rho)^{0,5} \qquad p_1>p_i \qquad (m^3/s) \qquad (9.6.10)$$

$$q_2 = A_{e2}(2(p_i-p_2)/\rho)^{0,5} \qquad p_i>p_2 \qquad (m^3/s) \qquad (9.6.11)$$

$$A_e = \Psi A \qquad (m^2) \qquad (9.6.12)$$

A_e Effektivarea (m^2)

Ψ Kontraktion

Vi antar att trycket är 1 i punkten p_1 och 0 i punkten p_2 då blir:

$$q_1 = A_{e1}(2(1-p_i)/\rho)^{0,5}$$

$$q_2 = A_{e2}(2p_i/\rho)^{0,5}$$

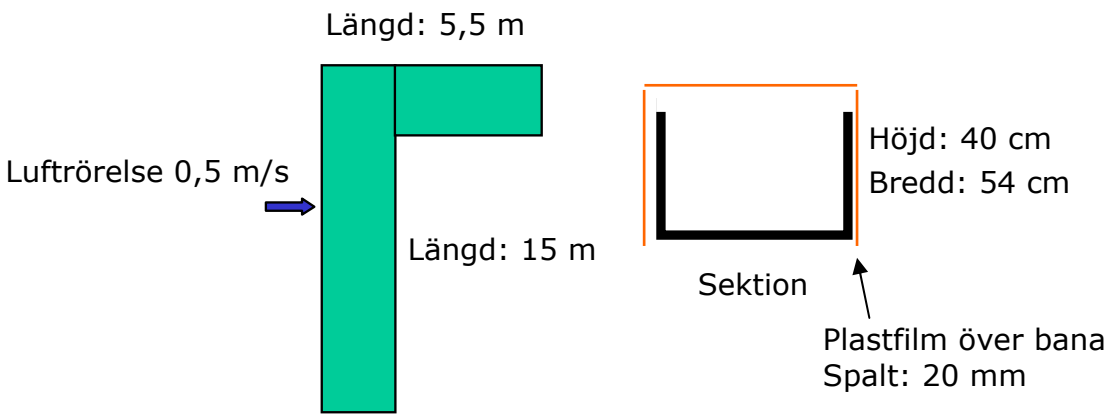
$$1 \leq p_i \leq 0$$

effektiviteten blir då:

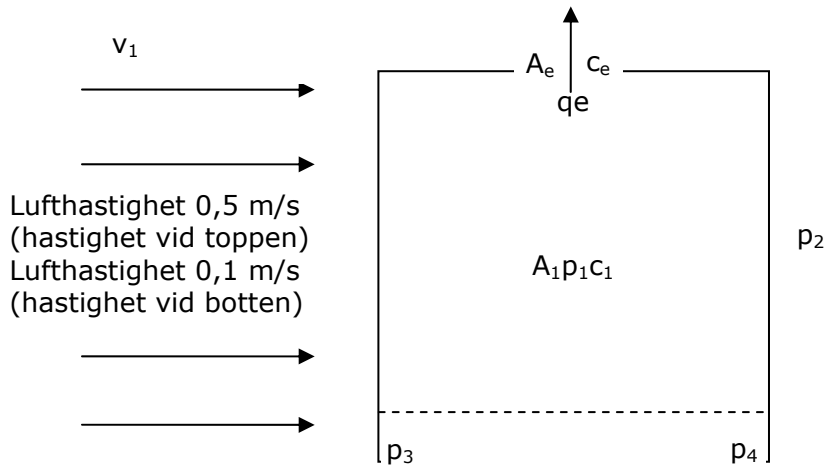
$$a=f(p_1)=1-((A_{e2}(2p_i/\rho)^{0,5})/(A_{e1}(2(1-p_i)/\rho)^{0,5}) = 1-(A_{e2}/A_{e1})p_i^{0,5}/(1-p_i)^{0,5}$$

9.6.4 Exempel

Mellan IC-spruta och IC-ugn, linje 2, transporteras ”blöta” burkar längs ett transportband, se figur 9.6.2. Detta band är 15 m långt och en bredd på 0,54 m. Det utsug som installerats är endast monterat längs med den 15 meter långa delen, och är den del som omfattas av vår analys. Längs transportbandets långsida förekommer luftrörelser på uppemot 0,5 m/s. Vi ska ta reda på vilket det lägsta utsugsflöde är för att kompensera för luftens egen kraft?



Figur 9.6.2. Principskiss över transportband mellan IC-spruta 2 och IC-ugn 2.



Figur 9.6.3. Sektionsbild över inkapslingen mellan IC-bana och IC-ugn linje 2, sett från sidan.

Det finns totalt fyra öppningar i inkapslingen och ett utsug, dels finns det två spaltöppningar i underkant bana dels finns det två gavlar. Den uppskattade effektiva läckarean är uträknad till 0,62 m^2 vid en kontraktion på 0,6.

$$p = C\rho\, v_1^2/2 \qquad (Pa)$$

Formfaktorerna hämtas från figurer eller tabeller[1&2] och för spaltöppningarna är de angiven till -1,2 på trycksidan och -0,5 på läsidan. För gaveln är formfaktorn satt till -0,7 och läsidan till -0,3.

Vi börjar med att studera öppningarna i gaveln och på läsidan.

$p_1 = -0{,}7\cdot(0{,}1^2\cdot 1{,}2)/2 \Rightarrow -0{,}0042$ Pa

$p_2 = -0{,}5\cdot(0{,}1^2\cdot 1{,}2)/2 \Rightarrow -0{,}0018$ Pa

$\Delta p = p_2 - p_1 \Rightarrow 0{,}0024$ Pa

Då vi inte skall ha någon genomströmning genom öppning 2 tas inte den arean upp.

$$q_e = A_{e1}((2\Delta p)/\rho)^{0,5}$$

$q_e = 0{,}3\cdot((2\cdot 0{,}0024)/1{,}2)^{0,5}$

$q_e = 0{,}008$ m^3/s

Görs motsvarande beräkningar för 0,5 m/s blir den slutgiltiga utsugsflödet 41 l/s. Detta innebär att vi måste ha ett utsugsflöde för att kompensera för inkapslingens gavelöppning och inkapslingens baksida på 8-41 l/s.

För spaltöppningen blir motsvarande beräkning:

p_3= -1,2·(0,1^2·1,2)/2 => -0,0072 Pa

p_4= -0,5·(0,1^2·1,2)/2 => -0,003 Pa

$\Delta p = p_2 - p_1$ => 0,0042 Pa

q_e= 0,3·((0,0042·2)/1,2)^{0,5}

q_e= 0,025 m^3/s

Görs motsvarande beräkningar för 0,5 m/s blir den slutgiltiga utsugsflödet 125 l/s Detta medför att skall man fullt ut kompensera för såväl spaltöppningar som gavel och baksidesöppningar skall man ha ett utsugsflöde på mellan 33-166 l/s.

Idag sugs det med ett flöde på ca 340 l/s vilket skall räcka för att kompensera för att kompensera för trycksänkningen i underkant vid en lufthastighet på 0,5 m/s.

Man är hela tiden tvungen att göra avvägningar, I detta fall använder vi oss av en befintlig fläkt och det har därför inte gått att optimerat utsugsflödet för sin uppgift utan ”det blir vad det blir”. Våra beräkningar visar att det finns utrymme för att sänka flödet om man vill. Även öppningsarean i såväl gavel som sidorna överstiger klart de 10 % som vi antagit för att formfaktorerna skall vara riktiga. Det innebär att uträkningen är grov.

9.7 Flödesvariationer i inkapsling

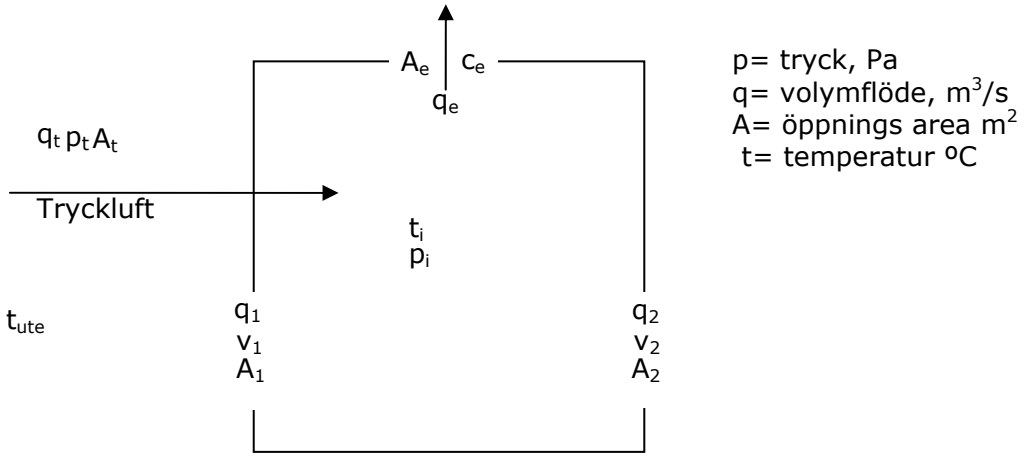
När en tillverkningsprocess omges av en inkapsling påverkas inkapslingens funktion av hur tillverkningen sker. Förekommer det att tryckluft tillförs in till inkapslingen eller att man har en plötslig värmeutveckling till exempel vid svetsning påverkar detta inkapslingen och de olika händelserna i inkapslingen är störningar som det måste kompenseras för. Störningarna som ofta är plötsliga, resulterar i flödesvariationer inne i inkapslingen. Flödesändringen påverkar dels inkapslingens effektivitet dels driftekonomin.

Den plötsliga flödesförändringen kan orsaka övertryck i inkapslingen vilket medför att föroreningar trycks ut från inkapslingens öppningar/läckor och förorenar omgivningen. Utsugsflödet bör därför vara i samma eller i vart fall nära det totala momentanflöde den plötsliga flödesförändringen och övriga konstanta flöden orsakar. Det innebär att även om medelflödet per tidsenhet är lågt kan det momentana flödet vara betydligt högre vilket tvingar oss till ett högt utsugsflöde med en högre driftskostnad i form av värme- och elenergiförluster.

Detta kapitel redovisar hur man kan angripa en plötslig flödesstörning och det görs utifrån ett typfall, se figur 9.7.1.

9.7.1 Förutsättningar

I kommande resonemang förutsätts att inkapslingen ser ut som figur 9.7.1.



Figur 9.7.1. Typfall lokala luftrörelser sett från sidan.

9.7.2 Antaganden

Följande antaganden har gjorts vid beskrivning av typfallet:

- Luftvolymen i inkapslingen är homogen.

9.7.3 Analys av inkapsling

9.7.3.1 Mål

Vi börjar med att definiera målet med analysen. Målet är att beräkna lägsta utsugsflöde som krävs för att garantera att inget läckage till omgivningen förekommer.

9.7.3.2 Tillvägagångssätt

När man tittar på inkapslingen måste man ta reda på vad som sker i inkapslingen och vad som ligger bakom det som sker. Vid flödesvariationer är det viktigt att få reda på hur stor luftvolym som tillförs och under vilken tidsperiod. Vid en termisk utvidgning behöver vi få reda på hur stor volymförändringen är.

Gasflödet genom ett munstycke är bland annat beroende av tryckförhållandet mellan absolut-trycken p_i och p_t. Om p_t är minst två gånger större än p_i kommer lufthastigheten genom munstycket att bli ljudhastigheten.[6] Man har då nått det kritiska tryckförhållandet då hastigheten är konstant och detta inträffar då lufthastigheten är densamma som ljudhastig-heten i den smalaste sektionen.

Densiteten på luft i atmosfärstryck och 20 °C grader är 1,2 kg/m^3. Med detta kan man sedan beräkna volymflödet som tryckluften innebär genom:

$$q = G/\rho \qquad (m^3/s) \qquad (9.7.1)$$

q Volymflöde (m^3/s)

G Massflöde (kg/s)

ρ Densitet (kg/m^3)

Skulle temperaturen skilja sig från 20 °C måste luftflödet justeras med hjälp av ekvation 9.7.2 som baseras på allmänna gaslagen:

$$q_1/T_1=q_2/T_2 \qquad (9.7.2)$$

q_1 Luftflöde tillstånd 1 (m^3/s)

T_1 Temperatur vid tillstånd 1 (K)

q_2 Luftflöde vid tillstånd 2(m^3/s)

T_2 Temperatur vid tillstånd 2 (K)

Efter att ha beräknat massflödet och omvandlat det till volymflöde och anpassat det till aktuell temperatur har vi fått fram den luftvolym vi måste kompensera för i vår inkapsling för att hindra läckage orsakat av plötslig flödesförändring.

Orsakas flödesökningen av en plötslig värmeutveckling t.ex. vid svetsning är det erforderliga luftflöde som behövs bortföras volymskillnaden mellan de två olika temperaturnivåerna.

För att kunna beräkna volymskillnaden måste vi veta hur stor värmeeffekt som tillförs processen. Vid svetsning antar vi att själva svetsströmmen är den dominerande förbrukaren i svetsaggregatet. Det innebär att den värmeeffekt som frigörs i inkapslingen motsvarar den eleffektnivå som svetsaggregatet använder vid svetsning, vilket går att mäta.

Då värmeutvecklingen (100% konvektion) och svetsens eleffekten antas motsvara varandra beräknas flödesförändring som eleffekten motsvarar genom:

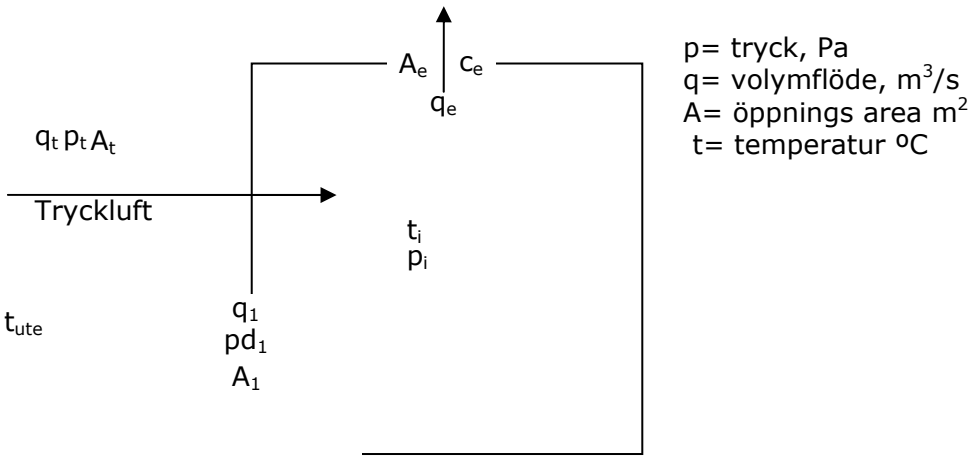
$$q_2= q_1+2{,}9\cdot 10^{-6} P \qquad (m^3/s) \qquad (9.7.3)$$

q Volymflöde (m^3/s)

P Tillförd effekt (W)

9.7.3.3 Exempel

I ett av Rexams processteg (bodymaker) pressas aluminiumplåten till grundformen av en burk. Detta sker inuti en inkapsling där man tillsätter en dragolja vid pressningen. Efter det att aluminiumet formats till en burk trycks den bort från verktyget med hjälp av tryckluft. Inkapslingens uppgift är att hindra oljedimma och varmluft att läcka ut från inkapslingen till omgivningen. Därför behöver vi veta lägsta erforderliga utsugsflöde för att hindra ett läckage orsakat av plötslig flödesförändring i inkapslingen.



Figur 9.7.2. Typfall lokala luftrörelser, sett från sidan.

Under en arbetscykel sker en flödesökning i form av friblåsande tryckluft, p_t, 7 bar under 100 grader av de 360. Utblåsningshålets effektiva area A_t är 50 mm^2. Tryckluftstemperaturen är 25ºC och temperaturen i inkapslingen är 39ºC.

För att beräkna hur mycket extra luft tryckluften innebär för inkapslingen beräknas flödet med hjälp av kontinuitetsvillkoret. Vi vet arean och hastigheten är kritisk dvs, ljudhastigheten.

$$q=A_e v \qquad (m^3/s) \qquad (9.7.4)$$

q=0,00005·332=0,0166 m^3/s

För att anpassa flödet till verklig temperatur använder vi oss av 9.7.2

q_{39}=0,0166·312/298=0,0174 m^3/s

När munstycket blåser fritt så blåser den med ett flöde motsvarande 17 l/s luft. Maskinen jobbar i en arbetscykel om 360 grader där tryckluften blåser under 100 av dessa grader. Det innebär att medelflödet blir 100/360 delar av 17 liter/s, dvs. ca 5 l/s. Medelflödet på maskinen är uppmätt genom flödesmätare till 24 l/s det innebär att 19 l/s blåser kontinuerligt från maskinen i form av andra processdelar som behöver tryckluft samt läckage. För att minimera läckaget från inkapslingen innebär det att man skall ha ett utsugsflöde på lägst 36 l/s (17+19) för att kompensera för tryckluften.

9.8 Temperaturskillnader

I en inkapsling kan olika störningar uppstå som orsakas av skillnader i temperatur och densitet på luften i och omkring inkapslingen. Störningarna är självdrag och dubbelriktad strömning.

Självdrag uppstår när en inkapsling har två eller flera öppningar som är placerade på olika nivåer.[7&8] Självdrag måste man kompensera för om man strävar efter att minimera spridning av föroreningar från inkapslingen till omgivningen. Utan kompensering kommer trycket inne i inkapslingen att både ha ett över- och undertryck jämfört med omgivningen. Detta orsakas av

den temperatur- och densitetsskillnad som råder mellan inkapsling och omgivning. Det innebär också att någonstans i inkapslingen finns ett skikt där differenstrycket mellan omgivningen och inkapslingen är noll, detta skikt benämns neutrallager.

Problem med dubbelriktad strömning kan uppstå i inkapslingar med större öppningar.[9] Dubbelriktad strömning är även det ett resultat av den skillnad i densitet som kan råda mellan luften inne i inkapslingen och omgivningen. Luften med högst densitet strömmar in genom öppningens nedre del och den luft med lägst densitet strömmar ut i öppningens övre del, gränsen mellan in och utgående flöde är i detta fall vårt neutrallager. Dubbelriktad strömning kan ses som ett specialfall av självdrag.

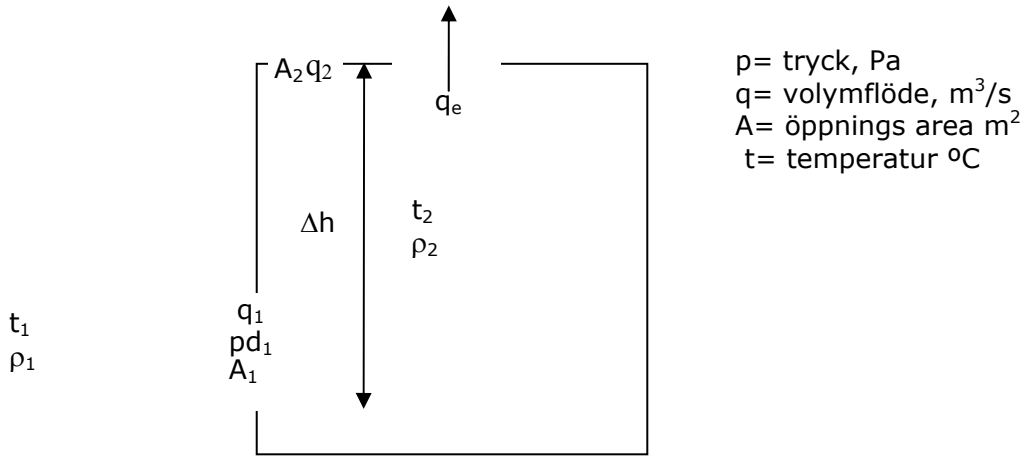
Inkapslingens flödesbalans bestämmer neutrallagrets nivå/läge. När neutrallagrets läge är högre eller lägre än öppningen sker endast in- eller utströmning genom öppningen. Vid fallet självdrag gäller det att påverka neutrallagrets läge till att hamna i samma nivå som den övre öppningens övre del och vid dubbelriktad strömning skall neutrallagret vara högre än öppningens övre del för att förhindra läckaget ut från inkapslingen.

Sker det någon typ av yttre störning av trycknivåerna kommer neutrallagret att justera sig i höjdled så att en ny balansnivå uppnås. Detta sker t.ex. vid inkoppling av ett utsug till inkapslingen. Ett ökat luftutsug från inkapslingen ökar tryckförlusten över inkapslingens öppning vilket i sin tur ger ett ökat undertryck. Även minskade öppningsareor ökar undertrycket vid konstant utsug eftersom tryckförlusten över inkapslingens öppning ökar. Erforderligt utsugsflöde alternativt minskad öppningsarea kan beräknas, beräkningsgången redovisas i avsnitten 9.8.1, ”Termisk påverkan flera punktformiga öppningar” och 9.8.2 ”Termisk påverkan en stor öppning”. Avsnittet Termisk påverkan flera punktformiga öppningar behandlar självdrag och avsnittet om Termisk påverkan en stor öppning behandlar dubbelriktad strömning.

9.8.1 Termisk påverkan flera punktformiga öppningar

9.8.1.1 Förutsättningar

I kommande resonemang förutsätts att inkapslingen ser ut som figur 9.8.1.



Figur 9.8.1. Typfall flera öppningar sett från sidan.

9.8.1.2 Antaganden

Följande antaganden har gjorts vid beskrivning av typfallet:

- Temperaturen i inkapslingen är alltid högre än omgivande temperatur.
- Temperaturen är homogen i inkapslingen.

9.8.1.3 Analys av inkapsling

9.8.1.3.1 Mål

Vi börjar med att definiera målet med analysen. Målet är att beräkna det lägsta utsugsflödet som krävs för att garantera att inget läckage till omgivningen förekommer.

9.8.1.3.2 Tillvägagångssätt

För att nå målet skall tryckskillnaden över den övre öppningen vara noll och undertrycket vid den nedre öppningen är då lika med den termiska tryckskillnaden mellan den övre och den nedre öppningen.[10] Den termiska tryckskillnaden är lika med tryckfallet i öppningen, vilket är lika med det dynamiska trycket i den effektiva öppningsarean, dvs. öppningsarean justerad för kontraktion.

Detta innebär att

$$(\rho_1-\rho_2)g\Delta h=\rho_1(q_1/A_{e1})^2/2$$

$$q_1= q_e= A_{e1}(2(\rho_1-\rho_2)g\Delta h/\rho_1)^{0,5} \qquad (m^3/s) \qquad (9.8.1)$$

A_e Effektiv öppningsarea (m^2)

ρ_1 Luftens densitet utanför inkapsling (kg/m^3)

ρ_2 Luftens densitet innanför inkapsling (kg/m^3)

g Tyngdacceleration (m/s^2)

Δh Höjdskillnad mellan öppningarna (m)

9.8.1.3.3 Exempel, punktformiga öppningar

Bodymakerns inkapsling har två öppningar, ett inlopp i toppen av inkapslingen och ett utlopp vid sidan. Vi är intresserade av erforderligt utsugsflöde för att förhindra utläckage från inkapslingen orsakat av självdragskrafter. Höjdskillnaden mellan inlopp och utlopp är 0,35 m, öppningsareornas storlek är 0,42 m^2 vardera. Temperaturen har uppmätts till 39 °C i inkapslingen och 20 °C utanför. Bestäm erforderligt utsugsflöde för att hindra utläckage.

För att nå målet krävs det att neutrallagret flyttas så att det hamnar på samma nivå som den översta öppningens övre kant.

Med ekvation 9.8.1 beräknas utsugsflödet, kontraktionen på öppningen är antagen till 0,6:

$$q_1= q_e=A_{e1}(2(\rho_1-\rho_2)g\Delta h/\rho_1)^{0,5}=0,6\cdot 0,42\cdot(2(1,18-1,13)\cdot 9,81\cdot 0,35/1,18)^{0,5}$$

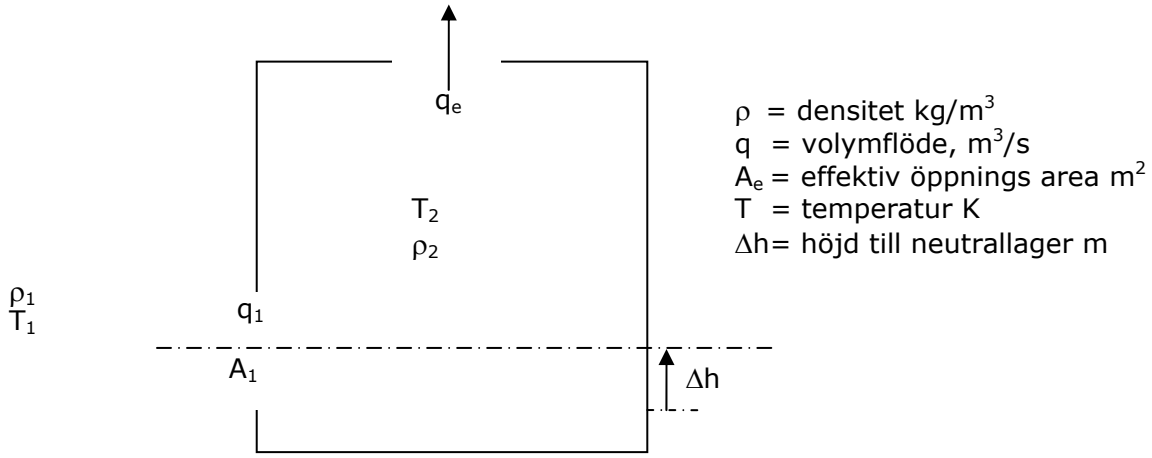
$$q_1=0,136\ m^3/s$$

Detta innebär att kompensering för självdragskraften kräver ett utsugsflöde på hela 136 l/s. Då det visat sig att det på ett enkelt sätt går att minska A_1 markant ned till en effektiv hålarea på ca 0,07 m^2 skulle det i detta fall innebära ett erforderligt flöde på lägst 38 l/s.

9.8.2 Termisk påverkan en stor öppning

9.8.2.1 Förutsättningar

I kommande resonemang förutsätts att inkapslingen ser ut som figur 9.8.2.



Figur 9.8.2. Typfall stora öppningar, sett från sidan.

9.8.2.2 Antaganden

Följande antaganden har gjorts vid beskrivning av typfallet:

- Temperaturen i inkapslingen är alltid högre än omgivande temperatur.

9.8.2.3 Analys av inkapsling

9.8.2.3.1 Mål

Vi börjar med att definiera målet med analysen. Målet är att beräkna lägsta utsugsflöde som krävs för att lyfta neutrallagret till en nivå där inget utläckage till omgivningen sker.

9.8.2.3.2 Tillvägagångssätt

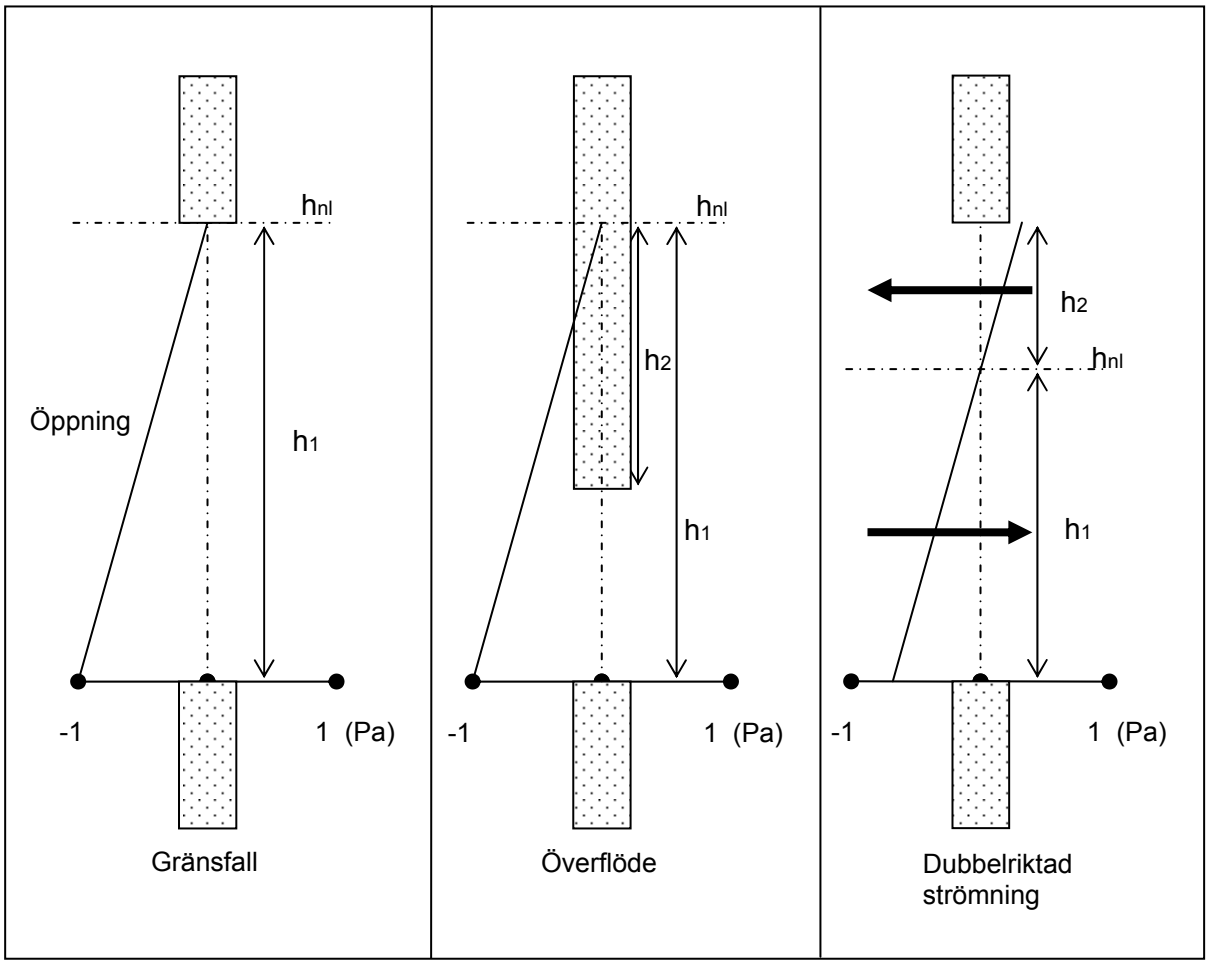
Lägsta utsugsflöde fås när neutrallagret ligger på samma nivå som öppningens övre kant. Inflödet i inkapslingen kan beräknas genom integration över öppningen för intervallen (0,h) och för öppningens bredd B (se ekvation 9.8.1). ψBh är det samma som den effektiva arean A_e och h-z är detsamma som Δh.

$$q_1 = q_e = \psi \int_0^h B\sqrt{2\,g(\rho_1 - \rho_2)(h - z)/\rho_1}\;\; dz \qquad (9.8.2)$$

$$q_1 = q_e = 2/3\; A_e\; \sqrt{2gh(\rho_1 - \rho_2)/\rho_1} \qquad (9.8.3)$$

Då vi i detta fall är intresserade av lägsta utsugsflöde som krävs för att förhindra utläckage från inkapslingen ansätter vi neutrallagrets höjd till samma som öppningens.

Med ekvation 9.8.3 är det möjligt att beräkna erforderligt utsugsflöde som krävs för olika placeringar av neutrallagret. Nedan redovisas tre fall vilka illustreras med figur 9.8.3.



Figur 9.8.3. Visar tre olika typfall där man med ekvation 9.8.3 kan beräkna utsugsflödet, sett från sidan.

Gränsfall: Detta fall illustrerar vår ursprungliga önskan, dvs. lägsta utsugsflöde för att hindra utläckage. Neutrallagret hamnar i kant med öppningens ovansida. Denna beräkning redovisas i avsnitten ovanför.

Överflöde: I detta typfall vill man få en marginal, så neutrallagret har placerats ovanför öppningen. Beräkningen görs då i två steg där steg 1 är att beräkna erforderligt flöde som krävs om öppningen hade varit lika stor som h_1. Det andra steget är att beräkna det flöde som skulle ha krävts för att kompensera för den tillstängda arean. Differensen mellan q_1 och q_2 blir då det erforderliga utsugsflödet.

Dubbelriktad strömning: Här vill man placera neutrallagret någonstans i öppningen, h och därför vill vi veta erforderligt utsugsflöde. På samma sätt som i fall 2 ser vi det som en tvåstegsraket där vi beräknar vårt inflöde i inkapslingen utifrån höjden h_1 och sedan beräknar vi utflöde från inkapslingen q_2 med höjden h-h_1. Då ekvation 9.8.3 baseras på inströmmande flöden måste man vid utgående flöden skriva om formeln så att densiteterna byter plats och ett minustecken sätts in i uttrycket under rottecknet, vilket visar motsatt riktning, enligt ekvation 9.8.4:

$$q_2 = q_{ut} = 2/3 A_e \sqrt{-2gh(\rho_2 - \rho_1)/\rho_2} \qquad (m^3/s) \qquad (9.8.4)$$

Skillnaden mellan q_1 och q_2 blir det erforderliga utsugsflödet.

9.8.2.3.3 Exempel

Antag att vi har en öppning i inkapslingen på 1·1 m, temperaturen utanför är 25 °C och inne 39 °C. Vi vill ha reda på erforderligt utsugsflöde q_e då neutrallagret hamnar i kant med öppningens övre del. (Gränsfall).

Först beräknas luftens densitet vid aktuell temperatur:

$\rho_2/\rho_1=T_u/T_i$

ρ_2=1,13 kg/m^3

ρ_1=1,18 kg/m^3

T_2= 312 K

T_1=298 K

Därefter beräknas erforderligt utsugsflöde med ekvation 9.8.3

$q_1=q_e=2/3A_{e1}\sqrt{2gh\,(\rho_1-\rho_2)/\rho_1}$ (m^3/s)

$q_1=q_e=2/3\cdot 0{,}6\cdot 1\cdot 1\cdot\sqrt{2\cdot 9{,}81\cdot 1\cdot\ (1{,}18-1{,}13)/1{,}18}=0{,}282$ m^3/s

Detta är det utsugsflöde som krävs för att lyfta neutrallagret till önskad nivå.

9.9 Referenser

1. Värmebehovsberäkning, Kursmaterial i installationsteknik FK, VT 2005, Lars Jensen, Catarina Warfvinge, Lund.

2. Installationsteknik AK för V, Catarina Warfvinge, Lunds Universitet 2000.

3. Metoder för mätning av luftflöden i ventilationsinstallationer, ISBN 91-540-5827-9, Byggforskningsrådet, T22:1998.

4. Ashrae fundamentals kap.16, Airflow around buildings och kapitel 26,Ventilation and infiltration, Driving mechanisms for ventilation.

5. Danvak, Varme og klimateknik, grundbog. 1 udgave, 2 oplag 1992, ISBN: 87-982652-5-3.

6. Tryckluftshandboken Upplaga 6, Atlas Copco Compressor AB, -98, ISBN 91-630-6996-2.

7. AIVC Guide to energy efficient ventilation. S.214 ISBN 0 946075859.

8. Varme og Klimatteknik, Danvak ISBN 87-982652-5-3, S 342.

9. Vädring i skolor, Birgitta Nordquist, 1998, ISSN 1103-4467.

10. Natural ventilation of a room with vents at multiple heights, SD Fitzgerald, A.W Woods, University of Cambridge.

10 Nulägesbeskrivning

Rapportens andra del utgörs främst av en nulägesbeskrivning av Rexam vilket redovisar statusen på anläggningen och beskriver det inventeringsarbete som utförts hos Rexam. Här redovisas de beräkningar, metoder och övergripande analyser av anläggningen som utförts.

Det börjar med en beskrivning av byggnaden och processen. Sedan ges en översiktlig beskrivning av energianvändningen i anläggningen och ventilationsanläggningens uppbyggnad samt en analys av dessa.

Det redovisas detaljerat för de metoder som man valt att använda för att på ett bra sätt beskriva anläggningen. Det har utförts många olika typer av mätningar, energirelaterade mätningar, mätningar rörande arbetsmiljön såsom temperatur, föroreningsnivåer, luftrörelser utsläpp m.m.

Alla genomförda mätningar redovisas i tre steg:

1. Tillvägagångssätt
2. Resultat
3. Kommentarer

Denna del av rapporten avslutas med en sammanfattande analys av anläggningen och flera förslag på åtgärder till förbättringar av anläggningen eller arbetsmiljön.

11 Allmänt

11.1 Byggnaden

Byggnaden togs i bruk 1980 och är en typisk större industribyggnad. Byggnaden är en kopia av en liknande anläggning i Florida. Som en konsekvens av att byggnaden till största delen kopierats har den inte fullt ut anpassats efter vårt rådande klimat. Man har t.ex. problem med friskluftsintagen till tilluften i produktionsbyggnaden. Luftintagen är inte anpassade för regn och snö så filterbankarna blir tidvis genomblöta, snöfyllda och igenfrysta.

Byggnaden är 520 m lång, varav 325 m av byggnaden har en bredd på 125 m och resterande 195 m av byggnaden har en bredd på 58 m. Byggnaden innehåller produktionslokal, lagerlokaler och kontor.

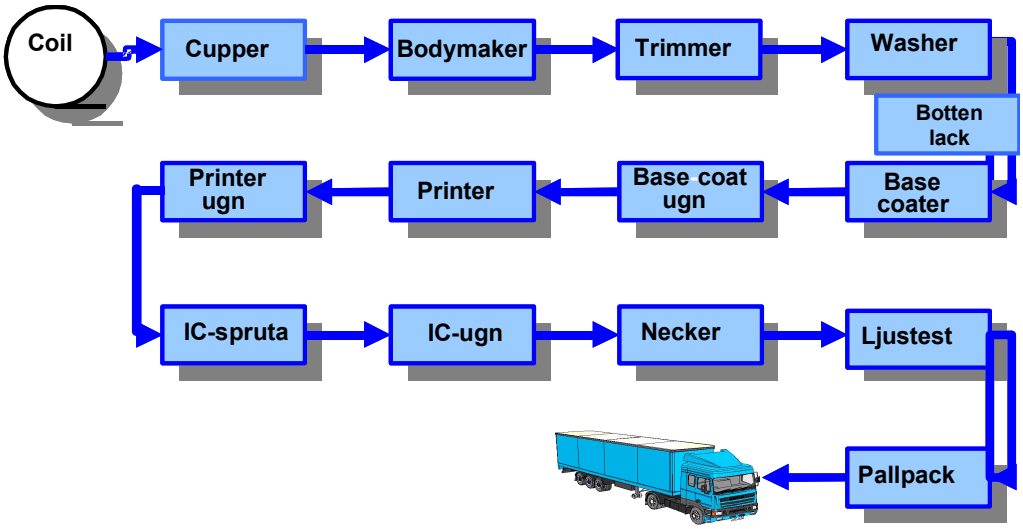
Produktionslokalen utgör en mindre del av byggnaden och är 115 m lång, 58 m bred och 17 m hög. Väggarna är av dubbla betongelement med 80 mm isolering mellan elementen, vilket ger en total väggtjocklek på 220 mm. Taket består av 50 mm betongelement med utvändig 100 mm:s isolering och pappbetäckning. I taket finns ett flertal öppningar såsom brandluckor, skorstenar och frånluftsutsläpp.

Den del av byggnaden som projektet i huvudsak berör är produktionslokalen. Denna lokal är uppbyggd i tre plan, våning 1, 1,5 och 2. Våning 1 och 2 skiljs åt med ett betongbjälklag. Plan 1,5 är ett så kallat mellanplan i undertaket på våning 1. Detta är ett plan av typen gallergolv som sträcker sig över större delen av produktionslokalen.

11.2 Processen

Produktionen går kontinuerligt. Produktionspersonalen jobbar i kontinuerligt treskift. Produktionen är väldigt intensiv och hela anläggningen står still ca 3 dagar per år. I rapporten räknas det med att drifttiden normalt är 8 760 timmar.

Produktionen sker i fyra liknande processlinjer. Slutprodukten är 33, 45 och 50 cl aluminiumburkar vilka har tillverkats, bearbetas och lackeras i ett flertal processteg. Hela produktionen sker automatiskt vilket innebär att personalen i normalfall inte kommer i kontakt med produkten. Flödesschemat nedan visar en processlinjes huvudsakliga uppbyggnad.



Figur 11.2.1. Flödesschema burkproduktion.

I cuppern stansas en aluminiumkopp ur en aluminiumplåt (coil). Koppen skickas vidare till bodymakern och trimmern där koppen pressas i tre steg för att få formen av en aluminiumburk. Därefter jämnas burkens kant till. I washern tvättas burken ren från beläggningar såsom dragoljor etc. Tvätten sker i 7 blöta steg. Kemikalierna som används i washern är olika tensider och syror. I washerns sista steg beläggs burken med ett friktions-förebyggande medel innan den går vidare för att torkas i washerugnen. Medlet är till för att underlätta burkarnas transport genom olika banor och band som finns i processen. Efter washern läggs det på ett lacklager i botten på burken. Lackens skall skydda underlaget som burken sätts på, t.ex. ett bord, från att missfärgas av aluminiumet.

I basecoatern läggs en vit grundlack på burken. Basecoating omfattar inte alla burkar, år 2002 var det endast 6,3 % av burkarna som trycktes med grundfärg (5,0 % år 2003, 4,6 % år 2005). De burkar som fått grundfärg härdas därefter i en basecoaterugn för att sedan gå vidare till printern. I printern får burken sin dekor och ett lager klarlack, därefter härdas burken i printerugnen. Man kan trycka med upp till åtta olika färger på en burk. Efter det att burken försätts med dekor läggs det på en klarlack, over varnish, som skyddar dekoren från nötning.

För att burken och drycken inte skall påverka varandra lackeras burken invändigt av IC-sprutan (internal coating). IC-sprutorna har två munstycken där det ena munstycket sprutar mot burkens botten och det andra mot burkens mantelyta samtidigt som den roterar. Efter IC-sprutan härdas burken i IC-ugnen.

Neckern är uppbyggt i 14 – 15 steg beroende på linje. Necker formar toppen på burken och ger burken sin slutgiltiga form. Ljustestern är en optisk täthetskontroll som alla burkar måste passera. Om burken inte godkänns i ljustestern kasseras den. Alla kasserade burkar återvinns och pressas till balar i skrotpressen.

En godkänd burk går sedan till pallpak för att paketeras på en pall. En pall rymmer 6 000 st burkar och väger ca 90 kg.

Produktionen uppgick till knappt 2,194 miljarder burkar 2002, (2,194 år 2003, 2,256 år 2004, 2,302 år 2005). Årsproduktionen utgjordes 2002 till ca 70 % av 50 cl burkar och ca 30 % av

33 cl burkar, med undantag för en produktion av 45 cl burkar för den japanska marknaden i en mycket liten upplaga (0,2 %).

En burk väger ca 15 gram och har en tjocklek som skiftar mellan 0,1 – 0,2 mm beroende av burkstorlek och var på burken man mäter.

Färg och lackmängd per burk skiljer sig beroende på storlek och dekor. IC-lack ligger mellan 0,75-0,9 gram per burk, basecoater färg skiftar mellan 0,3-0,4 gram per burk, OV-lack (over vanish) 0,35-0,5 gram per burk och färg skiftar mellan 0,03-0,06 gram per burk.

11.3 Energianvändning

Man kan dela upp Rexam fabrikens energianvändning i fem huvuddelar:

- Processen, den energianvändning som enskilda maskiner i processlinjen använder.
- Försörjningssystem: den energianvändning som krävs för att produktionen skall fungera såsom, tryckluft, centralvakuum, processlokalens ventilation, reningsanläggning, kyltorn m.m.
- Kontor, energianvändningen i kontorsdelarna och köket.
- Lager, energianvändningen i lagerareorna vilket i huvudsak utgörs av belysning.
- Övrigt process m.m., det är den post där den övriga energianvändning som inte uppmäts men som används i Fosiefabriken. Det är förbrukare som har egna matningar och inte matas från större kontrollskåp såsom vissa banor, vakuumfläktar, mindre ventilationsaggregat m.m.

Övrigt process m.m. beräknas som skillnaden mellan uppskattad effekt och summerad uppmätt ”effekt”.

11.3.1 Elenergi

Rexams totala elenergianvänding uppgick år 2002 till 59 GWh. Elenergianvändningen är relativt jämt fördelat över året. I tabell 11.3.1 visas hur elenergianvändningen var fördelad månadsvis för år 2002-2005.

Tabell: 11.3.1. Elenergianvändningen för år 2002-2005.

Månad	År 2002 (GWh/mån)	År 2003 (GWh/mån)	År 2004 (GWh/mån)	År 2005 (GWh/mån)
Januari	5,1	5,0	5,1	4,9
Februari	4,6	4,5	4,9	4,5
Mars	5,2	5	5,1	5,0
April	5	4,9	4,7	4,8
Maj	4,8	4,9	4,9	4,7
Juni	4,8	4,6	4,6	4,7
Juli	5	4,8	4,8	4,8
Augusti	4,9	4,9	4,8	4,8
September	4,8	4,6	4,8	4,7
Oktober	5,1	5,0	5,0	4,9
November	5	4,7	4,8	4,7
December	4,6	4,8	4,5	4,5
Totalt	58,9	57,7	58	57

11.3.2 Naturgas

Naturgas används dels för uppvärmning av byggnaden och dels i processens härdugnar och washers dessutom används en liten del i den katalytiska reningsanläggningen (CTP).

Förbrukningen av naturgas uppgick år 2002 till 3 010 772 m^3 vilket motsvarar ca 32,5 GWh, (35,0 Gwh år 2003, 33,5 GWh år 2004, 33,5 GWh år 2005).

Naturgasförbrukningen uppdelat på enskilda produktionsmaskiner för år 2002, visas i diagram 11.3.2.

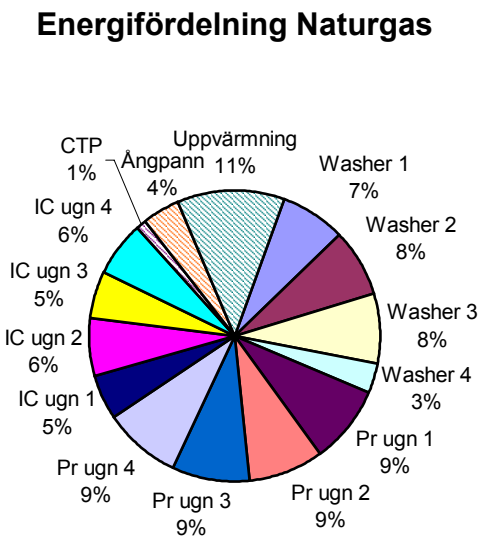


Diagram 11.3.2. Fördelning av naturgas mellan de olika förbrukarna.

De streckade partierna visar de gasförbrukare som inte är direkt kopplade till processen utan utgör delar av de så kallade försörjningssystemen.

11.4 Ventilation

Produktionslokalen ventileras i huvudsak av tre tilluftsaggregat och fem frånluftsaggregat. Mindre frånluftsaggregat utgör också enskilda processdelar, såsom ugnar etc.

Det finns många mindre ventilationsaggregat i övriga delar av byggnaden. Dessa aggregat ventilerar andra delar i byggnaden än produktionslokalen. Projektet har avgränsats till produktionslokalen och dess ventilation i kombination med processen, därför har någon djupare analys av aggregat utanför produktionslokalen inte utförts då de bedöms sakna betydelse för projektet.

Någon centralstyrning eller övervakning av hela ventilationssystemet saknas, luftflödena regleras ej.

11.4.1 Tilluft produktionslokal

Tilluften till byggnadens produktionsdel tillförs via tre stora fläktaggregat, TA 31, 32 och 33 där TA 31 är försett med både värmebatteri och värmeåtervinning. Värmeåtervinning sker genom ett vätskekopplat batteri som är sammankopplat med frånluftsfläkten FA 31. TA 32 är försett enbart med värmebatteri och TA 33 har ingen uppvärmning av något slag.

Det finns ett annat värmeåtervinningssystem som återvinner värme från tryckluftskompressorernas kylkrets. Denna återvinning omfattar många fläktaggregat och däribland TA 31 och 32. Denna återvinning är kopplad till hela husets värmekrets och berör alla värmeförbrukare.

Samtliga av produktionslokalens fläktaggregat är av fabrikatet Bahco och installerades då fabriken byggdes 1980. Fläktarna har varit försedda med ledskenreglering vilket man valt att ta bort. Den enda reglering/förändring av luftflödena sker när TA 33 varvas ner vintertid

vilket görs genom byte av remskivor. All injustering av luftflöden sker på handmanövererade spjäll som sitter före tilluftsdonen.

TA 31 försörjer produktionslokalens nedre våning med tilluft, uppmätta luftflöden ligger på 180 000 m^3/h.

TA 32 försörjer andra våningen med tilluft, uppmätta luftflöden ligger på 195 000 m^3/h.

TA 33 används främst sommartid för att sänka temperaturen i lokalen. På vintern varvas fläkten ner alternativt stängs. TA 33 är kopplad så den antingen blåser in i TA 31:s huvudkanal eller till sitt eget kanalsystem, med tilluftsdon placerade längs med väggen på ena långsidan av andra våningen. Detta är det driftfall som var när mätningarna genomfördes. Flödet från TA 33, är ca 135 000 m^3/h, när den blåser genom sitt egna kanalsystem. Någon utvärdering av luftflödet när TA 33 kopplats mot TA 31:s kanalsystem är inte gjord.

Tilluftsdonen är i huvudsak av typen deplacerande don tillverkade av Bahco. De deplacerande donen är 30 till antalet varav 13 på våning 1 och 17 på våning 2, på två platser har även kastdon installerats.

11.4.2 Frånluft produktionslokal

Produktionslokalens frånluftsystem är uppbyggt av 5 större aggregat och två mindre aggregat.

FA 31 är den största frånluftsfläkten, den suger sin luft från första våningen genom fyra stycken filterförsedda frånluftsdon. Till FA 31 är även punktutsug anslutna från linje 3 & 4:s bodymakers samt samtliga färgutsug från printrar och basecoaters. Utsugen är försedda med egna mindre fläktar vars utblås mynnar ut i FA 31:s kanalsystem. Luftflödet från FA 31 ligger på 185 000 m^3/h varav flödena från färgutsugen är 20 000 m^3/h. Flödena från punktutsugen har inte gått att mäta.

FA 31 och TA 31 har ett vätskekopplat värmeåtervinningssystem mellan varandra med värmeåtervinningsbatterier placerade i fläktrummen. Hur effektiv värmeåtervinningen är har inte varit möjligt att mäta.

FA 32-35 är fläktar av samma typ och prestanda. Fläktarna är monterade på processlokalens tak och de suger sin luft från processlokalens andra våning. Fläktarnas sammanlagda luftflöden är 108 000 m^3/h.

De två mindre fläktarna FA 12:1 och FA 12:2 är placerade ute på taket och suger sin luft från våning 1 intill cupperna. Deras luftflöden har uppskattats till 18 000 m^3/h.

12 Genomförda mätningar

För att beskriva nuläget i Fosiefabriken har ett flertal mätningar genomförts. Nedan följer en redovisning av större delen av de mätningar som utförts inom projektet.

12.1 Elenergianvändning

Rexam använde år 2002 59 GWh elenergi och det finns tre 10 kV ställverk. Den abonnerade effekten är 7200 kW och man faskompenserar till cosφ 0,97.

Mätningarna är genomförda efter det att lockproduktionen stängdes för nedmontering i månadsskiftet maj/juni.

12.1.1 Tillvägagångssätt

Strömstyrkan för större enskilda maskiner såsom cupper, printer etc. har uppmätts. Mätningarna är utförda med en tångamperemeter (Fabrikat APPA, typ 39R) som lagts runt faserna till kontrollskåpens matningsledningar. Uppmätt strömstyrka baseras antingen på ett medelvärde av strömnivån mellan de tre faserna och där det inte varit möjligt har endast strömnivån över enskilda faser mätts. Någon djupare mätning av enskilda maskindelar såsom fläktar, pumpar etc. har inte gjorts i detta skede. De flesta maskintyperna har mätts vid minst två tillfällen för att se eventuella fluktuationer.

12.1.2 Resultat

Resultaten från mätningarna redovisas i nedanstående tabeller. Siffrorna visar strömförbrukning i ampere. Tabell 12.1.1 visar strömstyrkan hos de olika processdelarna uppdelat per linje, och tabell 12.1.2 visar respektive försörjningssystems strömförbrukning.

Tabell 12.1.1. Uppmätta strömnivåer i processen.

	L1 A	L2 A	L3 A	L4 A
Cupper	63	64	63	68
BM	*450*	*450*	*450*	*450*
Washer	175	130	132	170
Printer	66	109	132	57
Pr-ugn	42	27	150	140
IC-sprutor	7	7,5	33	7,5
IC-ugn	50	35	48	56
Necker 1	50	29	25	25
Necker 2	-	26	54	25
Ljustest	5	5	12	3
Summa	908	882,5	1099	1001,5

0

Tabell 12.1.2. Uppmätta och antagna strömnivåer i försörjningssystemet.

	A
Venturi	15
C-vakuum	147
Kyltornen	121
CTP	100
TA31	220
TA32	200
FA31	186
FA32	20
FA33	20
FA34	20
FA35	20
TA33	68
Kompr 1-7	*7·320*
Pallpak	40
Pressfilter	66
Skrotutsug Cupper	99
Skrotpress	60
Biofilter	170
Summa	3812

Några av maskinerna har det inte varit möjligt att mäta strömnivån på. De har då antagits förbruka lika mycket ström som motsvarande typ på någon av de andra linjerna. Ett sådant fall redovisas med kursiv text i respektive tabell och är streckade i stapeldiagrammen. Strömstyrkan har inte mäts hos alla bodymakers då strömstyrkan hos de bodymakers som mätts visat sig ligga relativt konstant har det värdet antagits gälla alla 28 bodymakers. Siffran för respektive linjes bodymakers är ett medelvärde från uppmätt ström på 4 bodymakers, en

från varje linje. Medelvärdet har sedan multiplicerats med 7 som är det antal bodymakers som finns på varje linje.

Vad gäller tryckluftskompressorerna har vi valt att enbart mäta på två av dessa, nämligen kompressor 1 och 4. Skillnaderna mellan kompressorerna bedöms vara små. Vid normaldrift står en kompressor standby.

För att få en bättre överblick och möjlighet att lättare jämföra de olika linjernas elanvändning visas strömfördelningen per linje och maskin i stapeldiagrammet nedan.

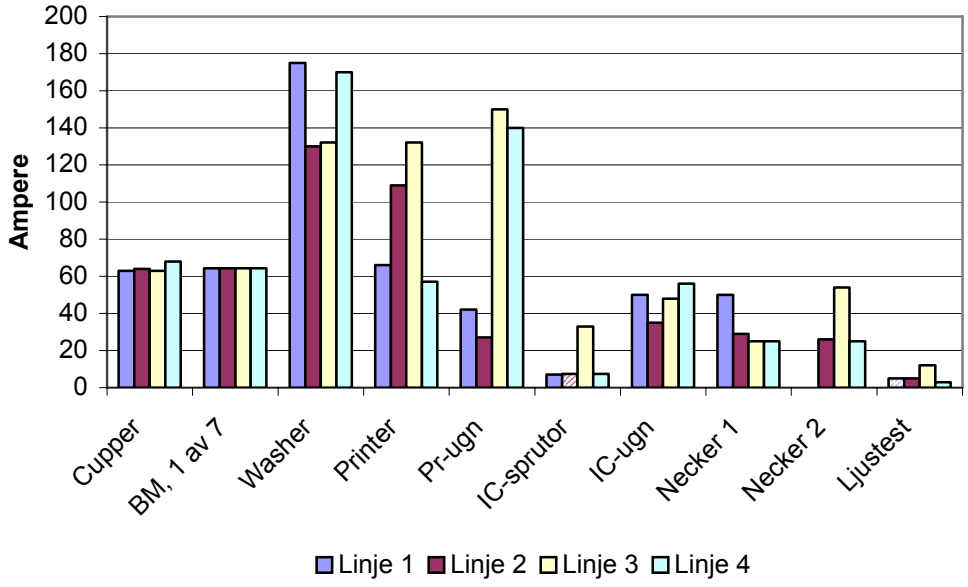


Diagram 12.1.1. Jämförelse mellan de olika processlinjernas uppmätta och antagna strömnivåer.

Då linjernas produktionsvolym inte skiljer sig nämnvärt och processutformningen är likartad kan man jämföra de olika processdelarnas strömnivåer mot varandra och fundera kring skillnaderna i effektbehov.

En felkälla är givetvis produktionshastigheten vid mättillfället. Mätningarna genomfördes då maskinerna var i drift men produktionshastigheten fluktuerar till viss del, detta påverkar de maskiner som hastighetsregleras efter produktionsvolymen såsom printrar och neckers.

Diagram 12.1.2 visar motsvarande diagram för försörjningssystemen :

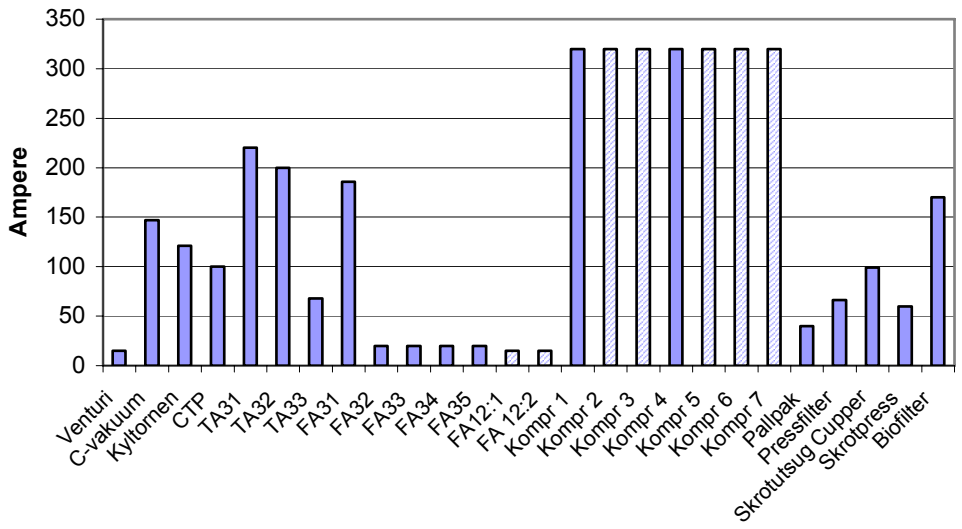


Diagram 12.1.2. Uppmätta och antagna strömnivåer i försörjningssystemen.

Försörjningssystemen går inte att dela upp i processlinjer och kan därför inte jämföras per linje. Försörjningssystemen servar alla fyra linjerna utan möjlighet till särskiljning.

Som framgår av stapeldiagrammet för försörjningssystemen är tryckluftskompressorerna den klart största enskilda förbrukaren. För att få det överskådligt redovisas strömförbrukningen för var och en av kompressorerna.

Utöver processen och försörjningssystemen har strömstyrkan för kontoret och lagret uppmätts. Kontorets sammanlagda strömnivå uppmättes till 150 A och motsvarande siffra för lagret var 340 A. Dessa uppskattas tillsammans utgöra 5 % av Rexam:s totala elenergianvändning.

Den totala effektförbrukningen låg runt 6 700 kW vid mättillfällena. De mätningar som gjorts avser enskilda maskiners strömnivå. Eftersom den enskilda maskinens reaktans eller impedans inte är känd är inte eventuell fasförskjutnings storlek känd.

Vid beräkning av eleffekten har det antagits att någon fasförskjutning inte sker. Eleffekten beräknas enligt ekvation 12.1.1. där cosφ=1.

$$P=U\cdot I\cdot\sqrt{3}\cos\varphi \qquad (W) \qquad (12.1.1)$$

U Spänning (V)

I Strömstyrka (A)

Summeras de uppmätta förbrukarna blir det för processen 3 900 A försörjningssystemen 3 800 A, kontoret 150 A och lagret 350 A. Motsvarande effekter blir för processen 2 700 kW och försörjningssystemen 2 600 kW, kontoret 100 kW och lagret 250 kW. Utifrån ovan angivna antaganden samt att det krävs 6,7 tryckluftskompressor för att hålla igång processen innebär det att delen ”övrigt process m.m.” blir 1050 kW.

I diagram 12.1.3 redovisas effektfördelningen baserat på ovan redovisade uträkningar.

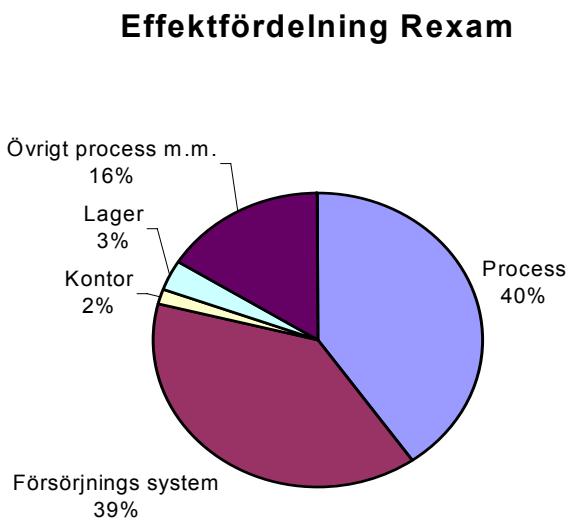


Diagram 12.1.3. Eleffektfördelningen inom Rexam, Fosie.

Multipliceras effektbehovet vid mättillfällena 6 700 kW med antalet drifttimmar, 8 760 timmar, blir det 58,5 GWh vilket stämmer bra överens med Rexam:s årliga elenergianvändning, 58,9 GWh (2002). Den verkligt totala drifttiden är inte 8 760 timmar men den ligger bra nära då det endast är ett fåtal produktionsstopp under året. Som ett grovt riktmärke utgår vi från att uppmätta strömstyrkor och fördelningen över de olika huvuddelarna stämmer tillräckligt bra.

12.1.3 Kommentarer

Vid en jämförelse av uppmätta strömnivåer mellan linjerna, finns det processteg där strömnivån skiljer sig mellan linjerna. Cupper och bodymakers är de processteg med lägst skillnad.

De största elenergianvändarna inom processen är bodymakerna. En enskild bodymaker har i och för sig inte ett så stort effektbehov men i och med att det finns 7 st bodymakers per linje blir effekbehovet högt.

Någon reglering av hastigheten görs ej på bodymakers. De går antingen på- eller avlastade. Det finns två bodymakers som är frekvensomvandlade men det är en kvarleva efter ett test man genomfört för några år sedan och frekvensomvandlaren används endast som en slags mjukstart av maskinen.

Skillnaden i effektbehov mellan olika washers är stora, Washer 1 och 4 har ett effektbehov på ca 120 kW vardera medan Washer 2 och 3 har ett effektbehov runt 90 kW vardera. Skillnaden blir sammanlagt ca 60 kW vilket motsvarar ca 525 MWh/år vid kontinuerlig drift.

Det kan finnas olika faktorer som förklarar skillnaderna. En tänkbar faktor kan vara att elpannan som varmhåller washerbaden är kopplad på washer 4:s kontrollskåp samt att den nyinstallerade bottenlackugnen får sin matning från washer 1:s kontrollskåp.

Printern bestämmer produktionshastigheten. Printerns hastighet styrs genom likriktare och ställs in av printerföraren, med undantag av den nya printern på linje 1 vars hastighet styrs av frekvensomvandlare. Det innebär också att de uppmätta strömnivåerna som avlästs hos respektive printer påverkas av hastigheten printern hade vid mättillfället. Detta har inte beaktats vid mätningen, säkert är att printern varit i drift vid mätningen och vad vi upplevt hållt en normal hastighet.

Det innebär att uppmätt strömstyrka till printrarna är osäker men mätningarna visar ändå så pass stora skillnader att det kan vara intressant att titta närmare på dem. Skillnaderna är uppemot 100 % i effektbehov (45 kW, gamla printer 1 jämfört med 90 kW printer 3).

Någon större skillnad mellan printrarna är det inte med undantag för den nya printern på linje 1. Det finns olika anledningar till att strömförbrukningarna skiftar. Några kan vara att en pinkedja av någon anledning går trögt, att vissa färgverk sitter för hårt mot printern etc.

Printerugnarnas effektbehov skiljer kraftigt mellan olika linjer. Linje 1 och 2 som är de äldsta printerugnarna har en femtedel så högt effektbehov som linje 3 och 4. Linje 1 och 2 behöver ca 30 respektive 20 kW vid drift medan Linje 3 och 4 kräver ca 100 kW vardera.

Ugnarna på linje 3 och 4 har en annan uppbyggnad och är dimensionerade för ett högre burkflöde än Linje 1 och 2 (2000 burkar per minut). De nya ugnarna har högre luftcirkulation och burkarna går genom en lufttunnel. För att åstadkomma önskad luftcirkulation och samtidigt hålla kvar burkarna på transportkedjan har tillverkaren installerat flera stora fläktar som blåser från flera håll. Printerugnarna på linje 1 och 2 är dimensionerade för 900 burkar /min men körs med 1 400 burkar per minut. Luften tillförs från endast ett håll mot burkens botten vilket kräver mindre fläktarbete men kräver längre uppehållstid i ugnen. Man kan ändå fundera kring om dessa flöden är nödvändiga eller om man kan minska cirkulationen utan att det påverkar kvaliteten.

IC-sprutorna ligger någorlunda jämt mellan linjerna utom på linje 3. Orsaken till detta är okänd.

IC-ugnarnas elanvändning verkar vara relativt jämn, Linje 2 är något lägre än de andra. Denna ugn är den senast installerade och togs i drift strax före årsskiftet 2002/2003.

Neckrarna och ljustestesterna ligger relativt jämt. Linje 2 neckers var den enda som avvek en del och använde vid mättillfället 1/2 så mycket mer elenergi än övriga neckers.

Då neckerna är frekvensstyrda och styrs efter produktionshastigheten kan detta inverka och vara en felkälla. En annan tänkbar anledning är att matningen till necker 2 skulle komma från necker 1:s kontrollskåp. Detta skulle innebära att strömstyrkan skulle vara dubbelt så hög på necker 1 jämfört med necker 2 vilket stämmer rätt bra. Detta är inte utrett än.

I kategorin försörjningssystem är tryckluftskompressorerna den helt klart största förbrukaren. Av den totala strömstyrkan på 3 800 A uppskattas 2 250 A vara till kompressorerna.
I verkligheten står en kompressor oftast stilla vilket innebär att den totala strömstyrkan blir ca 3 500 A varav kompressorerna står för ca 1 900 A.

Andra förbrukare som sticker ut är de stora fläktarna i ventilationen TA 31 och FA 31 och TA 32. Ventilationens sammanlagda strömbehov uppskattas till ca 800 A. Två av frånluftsfläktarna har det inte gått att mäta strömstyrkan på, FA 12:1 och FA 12:2. Enligt

tillverkarens produktblad kräver fläktarna en strömnivå på 15 A vardera, vilket antagits vara rimligt.

Ventilationens uppbyggnad och energianvändning kommenteras speciellt i kapitel 12.3.

Det finns en del andra stora enskilda förbrukare såsom skrotutsugen, biofilter, pressfilter, centralvakuum och kyltornen.

Kyltornen hör egentligen till tryckluftskompressorernas system då kyltornen används i kompressorernas kylkrets.

Centralvakuumet har ingen automatisk reglering. Vakuumtrycket justeras med ett handmanövererat spjäll. Detta innebär att man sannolikt har ett onödigt högt vakuumtryck och därmed onödigt hög energianvändning.

Det finns en hel del att fördjupa sig i. Genom att hela tiden ställa frågor om varför det ser ut så här och göra mätningar kan man se vilka processdelar man bör titta närmare på/prioritera. Det ger även en indikation på vilken effektiviseringspotential anläggningen har.

Skulle man kunna ha en linje som består av de maskiner med lägst strömnivå skulle strömstyrkan/effektbehovet över linjerna minska med mellan 12 till 39 % beroende på vilken linje man studerar. Summeras skillnaderna skulle fyra sådana linjer minska elenergibehovet med ca 5,3 GWh.

Avsaknaden av ett komplett styr- och övervakningssystem innebär också att man har väl tilltagna marginaler, på så vis får man även en onödigt hög elenergianvändning.

Kontoret och lagret har en strömnivå på ca 150 A respektive 350 A. Förbrukarna på lagret utgörs till större delen av belysningen. Kontorets elanvändning utgörs till större delen av kontorsel såsom el till datorer, belysning, och luftkonditionering. Köket är den största enskilda förbrukaren i kontorsdelen.

Processen och försörjningssystemen står för minst 77 % av den totala elenergianvändningen. Kontoret och lagret står för ca 5 % av elenergianvändningen medan 18 % faller under punkten ”övrigt process m.m.”. Huvuddelen av de 18 % härrör sannolikt från processen. Det är mindre maskiner som anslutits direkt med egen matning utan att gå via en större maskins kontrollskåp. Det kan vara mindre vakuumpumpar, banor etc.

Vid en genomgång av en så pass komplicerad anläggning som denna får det anses vara godkänt att få en ”övrigt”- post på 18 %. Det visar även att anläggningen energianvändningsmässigt består av ett färre antal större förbrukare. 18 % motsvarar en effekt på ca 1 200 kW.

12.2 Naturgas

Rexams totala gasanvändning uppgick år 2002 till 31,9 GWh (värmevärde 10,6 kWh/ m^3) eller 3 miljoner m^3 gas/år.

Naturgasen används till största delen inom processen som bränsle till de olika härdningsugnarna. Naturgasen används även för uppvärmning av lokaler, varmvattenproduktion och en mindre del gas används i den katalytiska reningsanläggningen, CTP.

Målet med inventeringen och uppdelningen av de olika förbrukarna är dels att se vilka de enskilda förbrukarna är, dels se om det finns avvikelser mellan de olika processtegen och hur stora dessa i sådana fall är. Uppgifterna kommer sedan att ligga till grund för att bedöma var det är möjligt att göra större energieffektiviseringsåtgärder och hur stor potentialen kan vara.

12.2.1 Tillvägagångssätt

Flera förbrukare är försedda med egna gasmätare som avlästs under olika tidsperioder. Avläsningar har gjorts efter ca 167, 1 550 och 1 730 timmar. Jämför man medeleffekterna vid de olika tidsintervallen kan man utläsa om förbrukningen är konstant och att maskinerna går utan längre avbrott.

Rexam hade inga rutiner för periodisk avläsning av gasmätarna på processugnarna, washers eller CTP:n, däremot avläses gasförbrukningen på gaspannorna för ångproduktion och uppvärmning en gång per vecka. Under 2005 har anläggningen kompletterats med gasmätare på nästan alla förbrukare och avläsning sker 1 gång per vecka.

Printerugnarna 1,3 och 4, IC-ugn 2 och 3 och Basecoaterugnarna har inga gasmätare. Gasförbrukningen har där uppskattas genom att titta på gasförbrukningen hos en motsvarande ugn på en annan linje.

Utifrån avläsningarna och antaganden avseende gaseffekter på maskindelar som inte gått att avläsa har en årlig gasenergianvändning framräknats. Den uträknade förbrukningen har även jämförts med den totala förbrukning som Rexam haft under 2002 och avvikelsen visar sig vara liten.

12.2.2 Resultat

Gasförbrukarna har indelats i två grupper, process- och försörjningssystem. I processdelen finns washerna, printerugnar och IC-ugnar och försörjningssystemet består av gaspannorna för uppvärmning och ångproduktion samt CTP.

Då ingen av basecoaterugnarna, vid mättillfället, hade någon gasmätare samt att endast 6,3 % av den totala burkproduktionen utgörs av grundmålade burkar uppskattas ugnarnas gasförbrukning vara relativt låg. Om man antar att basecoater och printerugnar förbrukar lika mycket gas då de är i drift skulle det innebära att basecoaterns gasförbrukning skulle bli ca 675 MWh/år då printerugnarna förbrukar ca 10 640 MWh/år.

De förbrukare som är i processen har en förhållandevis jämn effekt. I tabellen 12.2.1 visas de uträknade medeleffekterna för respektive processdel vid olika tidsavläsningar. Avvikelsen mellan 167 och 1 730 timmar är som högst 5 %.

Tabell 12.2.1. Sammanställning av uträknade medeleffekter i olika tidsintervall.

Plats	Antal tim	Medeleffekt kW	Antal tim	Medeleffekt kW
Washer 1	168	262	1730	256
Washer 2	168	273	1730	270
Washer 3	168	280	1730	272
Washer 4	168	127	1730	121
Pr ugn 3	168	313	1730	304
IC ugn 1	168	190	1730	182
IC ugn 4	168	234	1730	227
CTP	-	-	1562	37

De beräkningar och antaganden som gjorts avseende gasförbrukningen baseras på de medeleffekter som erhållits efter 1 562 respektive 1 730 timmar.

De förbrukare som skiftar kraftigt med avseende på effekt över året är ångproduktionen och uppvärmningen.

Förutom väder och vind påverkas gasförbrukningen av hur mycket värme som kan återvinnas från andra håll.

Det finns ett värmeåtervinningssystem där värmeenergin kommer från tryckluftskompressorerna. Systemet är kopplat för varmhållning av washerbaden, tappvarmvatten och uppvärmning av byggnaden. Slutvärmningen av washerbaden görs med ångpannorna.

Beroende av temperaturnivån i återvinningskretsen, returtemperaturerna från uppvärmningskretsen och varmhållningen påverkas möjligheten för värmeåtervinning.

Gasförbrukningen hos CTP:n bedöms vara relativt konstant i tiden då den alltid är i drift och varmhålls av naturgasen.

I diagram 12.2.1 visas hur gasenergianvändingen är över de olika linjerna. kursiverad stapel betyder att förbrukarens energianvändning uppskattats då den inte är försedd med någon gasmätare.

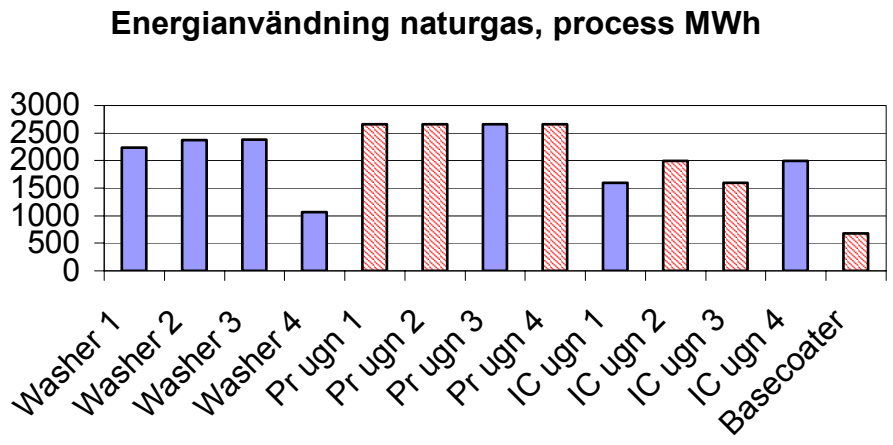


Diagram 12.2.1. Gasenergins fördelning över olika förbrukare i processen.

Samtliga basecoaters (4 st) redovisas som en stapel då dess årliga energianvänding uppskattas vara så låg att de annars inte skulle synas i diagrammet.

Diagram 12.2.2 visar försörjningssystemets energianvändning/år baserat dels på 2002 års uppgifter avseende gasförbrukningarna hos gaspannorna för ång- och värmeproduktion samt den uträknade medeleffekt från CTP:n under 1 730 timmar.

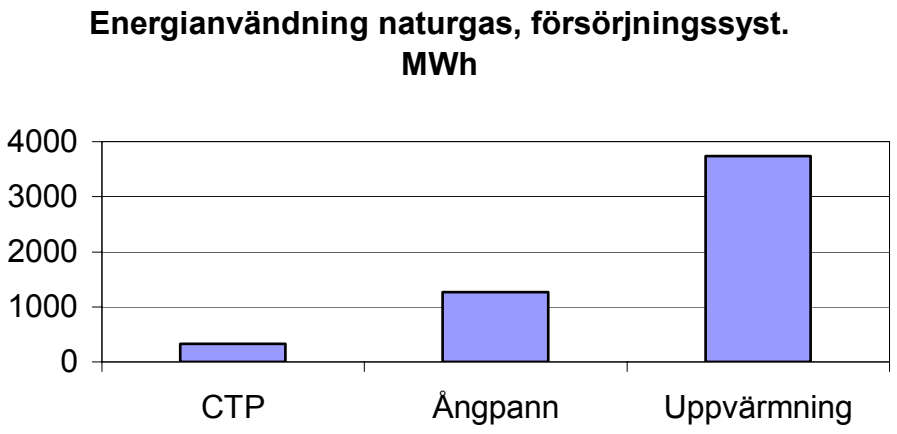


Diagram 12.2.2. Gasenergins fördelning över olika förbrukare i försörjningssystemet.

Den totala energifördelningen av naturgasen visas i diagram 12.2.3 nedan.

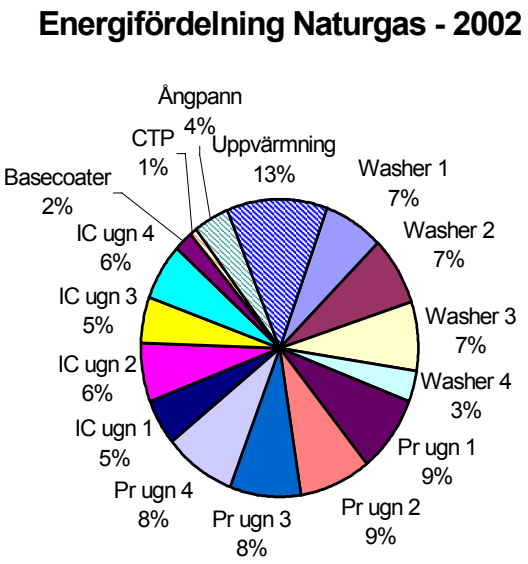


Diagram 12.2.3. Fördelning av naturgas mellan de olika förbrukarna, försörjningssystem streckat.

12.2.3 Kommentarer

Man kan konstatera att processen är som väntat den största naturgasförbrukaren med 84 % av den totala förbrukningen.

Någon skillnad i förbrukningsmönster hos printerugnarna går inte utläsa då förbrukningarna antagits vara lika över alla linjer eftersom endast en av printerugnarna har gasmätare.

Det har däremot uppmätts skillnader mellan två av de fyra IC-ugnarna, IC 1 och 4. Dessa två ugnar är av olika typer och den äldre (IC 1) har en lägre förbrukning än den nya typen av ugn som IC 4 är. En tänkbar anledning till detta kan vara att den nya ugnen ligger i underkant av sin projekterade kapacitet och på så vis kan verkningsgraden vara lägre. Samtidigt arbetar den äldre ugnen med produktionsvolymer långt överstigande den en gång dimensionerade produktionsvolymen. Effekterna på de två andra ugnarna har antagits till samma gasförbrukning som motsvarande IC-ugn har. IC-ugn 2 är av nyare modell och IC-ugn 3 är av äldre modell.

En sak som framgår ur diagrammen är att washer 4 har en hälften så hög gasförbrukning som de andra washerna. Detta beror på att washerugnarna 1-3 har tre brännare och washer 4 har två brännarna. Anledningen är att washerugnarna 1-3 har förlängts vilket inte behövdes på washerugn 4. Det kan vara lämpligt att fundera på vilken värmeeffekt som egentligen behövs på washer 1-3 då produktionen mellan linjerna inte skiljer sig direkt. Man kan troligen minska gaseffekten betydligt i dessa ugnar.

Anta att det går att göra en produktionslinje av de lägsta förbrukarna, det hade inneburit ett minskat gasenergibehov på ca 3 900 MWh. Detta motsvarar en besparing på 12,5 %.

Som en kontroll på gjorda antaganden har den framräknade totala gasförbrukningen på årsbasis jämförts med verkligt uppmätt årlig energianvändning för år 2002. Skillnaderna är mycket små (< 0,5 %). Den uppmätta förbrukningen är 31 914 MWh år 2002, motsvarande

framräknad siffra är 31 196 MWh. Detta tillsammans med att samma ugns typ har samma typ av brännare indikerar att de antagna medeleffekterna sannolikt stämmer väl överens med verkligheten.

Större delen av ugnarna har ingen speciell styrning eller övervakning. Inställningar av spjäll görs manuellt. Kompletteras ugnarna med enklare styr och övervakningssystem kan man sannolikt hålla nere förlusterna ytterligare och därmed öka besparingen. Väljer man att även övervaka och styra på differenstrycket mellan produktionslokalen och ugnarna minskar troligen kassationen i form av burkar som välter vid inmatningen till IC-ugnarna. Tryckskillnaden mellan lokalen och vissa av IC-ugnarna skapar så stora lufthastigheter att burkarna blåses omkull.

Ångpannan vars märkeffekt är 2,5 MW används endast för uppvärmning av washernas bassänger. Effektbehovet för slutuppvärmningen av washerbaden har uppskattats i en tidigare utredning till ca 200 kW. Ångpannans medeleffektbehov har uppmätts till runt 400 kW. Den stora skillnaden mellan uppskattat värmeeffektsbehov på 200 kW och förbrukad värmeeffekt på 400 kW orsakas av den låga verkningsgrad man får vid en rejält överdimensionerad panna.

12.3 Luftflöden

Ventilationen har både ett tillufts- och frånluftssystem. Frånluften kan delas upp i två delar dels en del bestående av traditionella frånluftsfläktar dels en del som är processens frånluft. Med processens frånluft menas de luftmängder som processens maskiner bortför från lokalen.

Tilluften till byggnadens produktionsdel tillförs via tre stora aggregat, TA 31, 32 och 33. Samtliga av produktionslokalen aggregat är av fabrikatet Bahco och installerades då fabriken byggdes 1980.

Fläktarna kapacitetsregleras inte på något sätt mer än att TA 33 varvas ner vintertid med remskivor alternativt stängs av. All justering av luftflöden sker på de spjäll som sitter före tilluftsdonen och görs endast vid en injustering av anläggningen.

TA 31 försörjer produktionslokalens nedre våning med tilluft. TA 32 försörjer andra våningen med tilluft och TA 33 används främst sommartid för att sänka temperaturen i lokalen. Vintertid varvas TA 33 ner alternativt stängs. TA 33 blåser ut sin tilluft till ena långsidan av andra våningen. Det finns möjlighet att koppla om TA 33 så att den blåser in i TA 31:s kanal och på så vis ökar tilluftflödet till den nedre våningen när behov finns. Hur effektiv denna omkoppling är har inte utvärderats.

Produktionslokalens ”traditionella” frånluftssystem utgörs av 5 större aggregat och två mindre aggregat placerade i fronten.

FA 31 är den största frånluftsfläkten och tar sin luft från första våningen genom fyra stycken filterförsedda frånluftsdon. Till FA 31 finns även ett flertal punktutsug anslutna såsom linje 3 och 4:s bodymakers samt färgutsug från samtliga printrar och basecoaters. Punkt- och färgutsugen har egna fläktsystem och fläktarnas trycksidor mynnar ut i FA 31:s kanalsystem.

FA 32-35 är identiska fläktar monterade på produktionslokalens tak. Dessa suger sin luft från undertaket i produktionslokalens andra våning.

På första våningen i fronten, dvs där processens linjer börjar sitter det två mindre frånluftsaggregat FA 12:1 och 2. De tar sin luft intill cupprarna.

12.3.1 Tillvägagångssätt

Forskningsprojektets tyngdpunkt ligger på lokalens ventilation i kombination med processen. Vi har därför valt att avgränsa oss till att enbart titta på produktionslokalens ventilation. Före projektets start hade Rexam påbörjat ett omfattande saneringsarbete av sin tilluft. Kanalerna hade invändig isolering vilken börjat lossna och riskerade att förorena produkten. När saneringen var färdig, i april, uppmättes och injusterades tilluftssystemet. Injusteringen utfördes av entreprenören, Bravida. Resultaten av injusteringen och de uppmätta flödena redovisas i bifogade ritningar i bilaga 12.3.1 Mätningarna gjordes med en SWEMA AIR 300 försedd med prandtlrör.

Frånluftsflödena har uppmätts dels i egen regi med en SWEMA AIR 300 dels med hjälp av företaget Miljöassistans. Miljöassistans mäter två gånger om året bl.a. luftflödena från byggnadens frånluftsfläktar på våning två, FA 32-35, samt rökgasflöden från biofilter och CTP. Luftflödena i frånluftsfläkten FA 31 med tillhörande punkt och färgutsug har uppmätts med prandtlrör samt även samtliga washers från- och rökgasluftflöden.

Ventilationssystemets uppbyggnad och storlek har medfört att det till största delen inte gått att mäta i enlighet med den mätstandard som finns, främst med avseende på att erforderliga raksträckor före och efter mätställe saknas. De erforderliga raksträckorna är beroende av kanalens diameter och med de stora diametrarna det är frågan om, blir kravet på raksträckor omöjligt att uppfylla. Huvudstammarna har mått upp till 3500*1200 mm, kanalerna som går till tilluftsdonen har diametrar på 630, 800 och 1000 mm. Kanalerna mellan frånluftens huvudkanal och donen har måtten 1800*800 mm.

Luftflödena från de två mindre frånluftsaggregaten som är placerade i gången framför cupprarna har uppskattats genom datablad för fläkten. Fläktarna tar sin luft från lokalen och är inte försedda med några filter vilket medför ett litet differanstryck över fläkten.

De frånluftsaggregat som processen utgör är washer-, printer-, och IC-ugnar samt punktutsug från IC-sprutorna. Både printer- och basecoaterugnarnas rökgaser renas i ett biofilter. IC-ugnarnas rökgaser och utsuget från IC-sprutorna renas i en katalytisk reningsanläggning CTP. Rökgasflödena från bägge reningsanläggningarna har uppmätts och omräknats till Nm^3/h, (flöde vid 20 grader Celsius och atmosfärstryck). Washerugnarnas rökgaser renas ej, deras rökgasflöde har mätts separat och omräknats till Nm^3/h.

De rökgasflöden som uppmätts hos CTP, biofilter och washerugnar antas motsvara respektive maskins frånluftsflöde. Skillnaden mellan rökgasflödet och det luftflöde maskinen suger från lokalen anses vara försumbar då förbränningen i ugnarna sker med ett stort luftöverskott. CTP:s och biofiltrets rökgasflöde är uppmätt med precisionsvinghjulsmätare, washerugnarnas rökgasflöde är uppmätta med ett prandtlrör. Samtliga rökgasflöden har omräknats till Nm^3/h.

Det har även utförts lufthastighetsmätningar kring ett tilluftsdon. Målet med mätningen var att bilda sig en uppfattning om vilka lufthastigheter det kommer från donet och hur luftens hastighet skiftar vid olika avstånd och nivåer.

Mätningar har utförts i nio punkter jämt fördelade från golvnivå upp till en höjd av 2,4 m över golv. Lufthastigheten har mätts med en varmtrådsanemometer och mätningarna är utförda intill luftdonet och därefter varje meter vinkelrätt från donet till och med 5 m från don. Två mätningar har utförts från två olika håll.

12.3.2 Resultat

Uppmätta och uppskattade luftflöden i ventilationen redovisas i tabell 12.3.1. De uppmätta luftflödenas mätpunkterna tillsammans med mätdata är inritade i planritningarna i bilaga 12.3.1.

Tabell 12.3.1. Uppmätta och uppskattade (kursivt) ventilationsflöden.

	TA 31 m^3/h	TA 32 m^3/h	TA 33 m^3/h	FA 31 m^3/h	FA32 Nm^3/h	FA33 Nm^3/h	FA34 Nm^3/h	FA35 Nm^3/h	FA12:1 m^3/h	FA12:2 m^3/h
Mätställe 1	12910	7307	18910	38660						
Mätställe 2	21400	13520	19650	34580						
Mätställe 3	13430	9891	19430	39610						
Mätställe 4	20390	36480	18760	39680						
Mätställe 5	12720	28510	18480							
Mätställe 6	20700	15760	19570							
Mätställe 7	12900	25590								
Mätställe 8	12460	12680								
Mätställe 9	12420	15610								
Mätställe 10	12720	8754								
Färgutsug 1				3690						
Färgutsug 2				4018						
Färgutsug 3				3293						
Färgutsug 4				5097						
Färgutsug 5				3357						
Uppmätt flöde i huvudkanal	179000	195900	135000	168500	28260	27250	27720	24230	*18000*	*18000*
Summerat flöde, Mätställen	152050	174102	114800	152530						
Skillnad uppmätt och sammanräknat	15%	11%	15%	9%						

Processens frånluftsflöde redovisas i tabell 12.3.2 nedan. Luftflödena från biofilter och CTP utgör summaflöden av anslutna ugnar och processutrustning. Luftflödena från washers är uppdelade dels i luftflödet från washern och dels från washerugnen.

Några luftflöden har uppskattats, dels luftflödet från fläktarna i fronten FA 12:1 och 2 samt luftflödena från washerna 2-4. Dessa har av olika anledningar inte gått att mäta utan uppskattats. De uppskattade värdena är kursiva i tabellerna.

Tabell 12.3.2. Uppmätta och uppskattade (kursivt) frånluftsflöden i processen.

	Luftflöde m^3/h
CTP (N m^3/h)	16600
Biofilter (N m^3/h)	20500
Washer 1 Rök (N m^3/h)	3900
Washer 1	3500
Washer 2 Rök (N m^3/h)	3000
Washer 2	*3500*
Washer 3 Rök (N m^3/h)	3600
Washer 3	*3500*
Washer 4 Rök (N m^3/h)	4300
Washer 4	*3500*
Centralt skrotutsug	*20000*
Skrotutsug Cupper	23300
Summa	109200

12.3.3 Kommentarer

Avvikelserna i ventilationsmängder mellan de summerade flödena och det flöde som uppmätts i respektive fläkt orsakas dels av instrumentets mätonoggrannhet i kombination med för korta raksträckor före och efter mätpunkterna, dels av läckaget i kanalerna.

Läckaget utgör sannolikt en stor felkälla då det vid en snabb inventering av kanalerna upptäckts flera mindre avstick som inte var tillslutna.

Avvikelserna är trots allt relativt små med hänsyn till att mätningarna inte skett enligt mätstandard. Mätstandardernas mätonoggrannhet skall ge en avvikelse på mindre än 10 % av verkligt värde och våra avvikelser mellan summerat luftflöde och uppmätt luftflöde är som mest 15 % och lägst 9 %.

Förhållandet mellan tilluft och frånluft är olika stort beroende på vilka av flödena man räknar med. Tilluftsflödena baserat på de uppmätta flödena i huvudkanalen är 510 000 m^3/h och motsvarande summa av alla frånluftsflöden är 420 000 m^3/h, en skillnad på 90 000 m^3/h. Räknar man på uppmätta flöden vid olika mätpunkter blir tilluftsflödet 440 000 m^3/h och frånluftsflödet 405 000 m^3/h en skillnad på 35 000 m^3/h.

Här finns även andra osäkerhetsfaktorer som t.ex. brandluckor, huvar och portar som är öppna.

Trots det lägre frånluftsflödet har man problem med undertryck i lokalen. Vad och hur det orsakas av har det än så länge inte gått att finna någon förklaring till. Det som verkar vara en avgörande faktor är olika kombinationer av öppna portar och brandluckor i produktionslokalen. Säkert är att om alla portar är stängda till produktionslokalen råder det ett övertryck på bottenvåningen. Detta tyder på att man har en obalans i luftflödena och att det är ett överskott av tilluft.

Ett test har utförts då trycket i produktionslokalen har övervakats samtidigt som olika kombinationer av öppna och stängda portar har provats.

Tilluftsventilationen på plan 1 är projekterad och injusterad så att de högsta enskilda tilluftsflödena sker genom tre don placerade i mitten av produktionslokalen där flödena ligger runt 20 000 m^3/h och don. Längs ytterkanterna av processens långsida står ett flertal deplacerande don placerade med flöden runt 12 000 m^3/h.

Vid injusteringen av tilluften på plan 2 upptäcktes att större delen av donens injusteringsspjäll på TA 32 var trasiga. Man valde då att i ett första steg endast mäta upp flödena. Flödena i TA 32 skiftar mer mellan varandra än de övriga eftersom injustering inte är möjligt. Det går dock att se att principen för tillförseln av luft sker på samma sätt som på plan 1.

TA 33:s tilluft sker endast längs ena långsidan av produktionslokalen. Luftflöden från TA 33 har fördelats jämt över de 6 tilluftsdonen som finns i TA 33:s kanalsystem. Luftflödena genom vardera don ligger runt 19 000 m^3/h.

För att få ett mått på hur eleffektiv ett ventilationssystemet är kan man beräkna aggregatets SFP värde. SFP betyder ”specific fan power (consumption)” och beräknas genom att både tillufts och frånluftsfläktens eleffekt summeras och divideras med ventilationsflödet, kW/m^3/s. Det finns nyckeltal och rekommendationer utgivna av Svenska Inneklimatinstitutet. I skriften klassindelade luftdistrubutionssystem, R2, delas ventilationen in i olika VAS klasser beroende på en anläggnings SFP. VAS 1500 innebär en anläggning med ett SFP på högst 1,5 kW/m^3/s. Det finns ytterligare två klasser VAS 2500 och VAS 4000.

Med hjälp av uppmätt ström på respektive fläkt och beräkning av dess effekt kan man tillsammans med uppmätt luftflöde beräkna SFP-värdet. SFP har beräknats för enskilda fläktar och för tilluft och frånluft, genom att eleffekten divideras med flödet. SFP värdet för frånluft avser bara den frånluft som relateras till ventilationssystemet och inte processens frånluft. Med SFP värdet kan man jämföra ventilationssystemen med varandra och på så vis få en uppfattning om dess effektivitet. SFP värdet för samtliga fläktar har beräknats och redovisas i tabell 12.4.3.

Tabell 12.4.3. SFP värden för ventilationssystemets fläktar.

	Luftflöde m^3/s	Uppmätt ström (A)	Effekt kW	SFP $kW/(m^3/s)$
TA 31	50	220	152	3,1
TA 32	54	200	138	2,5
TA 33	38	100	69	1,8
FA31	47	186	129	2,7
FA32	8	20	14	1,8
FA33	8	20	14	1,8
FA34	8	20	14	1,8
FA35	7	20	14	2,1
FA12:1	5	9	6	1,2
FA12:2	5	9	6	1,2
ΣTA	142	520	359	2,5
ΣFA	88	266	215	2.4
TA+FA	142*	786	574	4,0

*Det är endast ett av ventilationsflödena som används för beräkning av VAS talet.

Anläggningens totala VAS tal blir 4,0 (TA+FA) men det är i praktiken högre då det frånluftsflöde som processen utgör inte gått att ta med i denna beräkning.

Det har gjorts försök att mäta värmeåtervinningens effektivitet, men utan större framgång. Anledningen till det är att vid det tillfälle mätningen gjordes hade det hunnit bli så pass varmt ute så att återvinningen reglerades ned vid mätningarna p.g.a. det minskade värmebehovet. När det sker går det inte att se hur effektiv återvinningen är då den inte går att utnyttja maximalt.

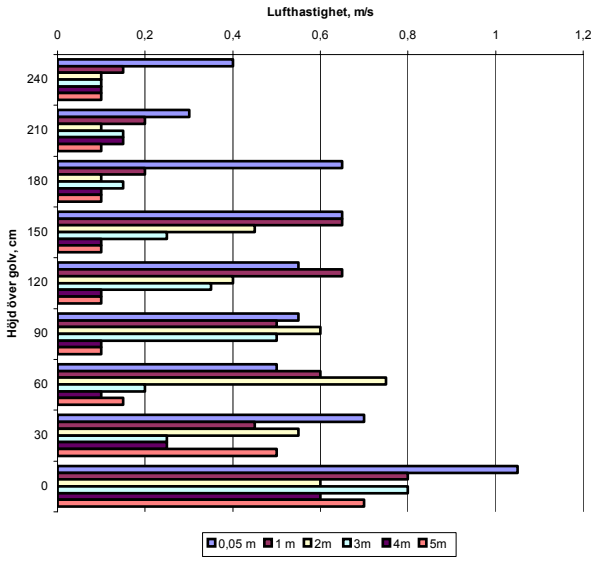
12.4 Lufthastigheter kring luftdon

12.4.1 Tillvägagångssätt

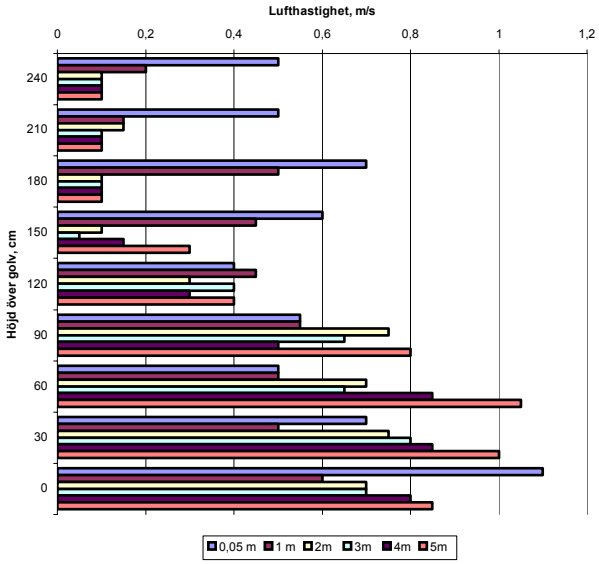
Mätningar av vilka lufthastigheter som råder i närheten av befintligt tilluftsdon har utförts. Mätningarna utfördes på tilluftsdon nummer 4 i bilaga 12.3. Lufthastigheten mättes på 9 olika höjder mellan 0 och 2,4 m och på 6 olika avstånd från tilluftsdonet.

12.4.2 Resultat

Figurerna 12.4.1 och 12.4.2 visar lufthastigheter vid olika nivåer och avstånd från tilluftsdonet. Inblåsningstemperaturen är ca 19 grader och omgivningstemperaturen är ca 25 grader.



Figur 12.4.1. Lufthastighet på olika höjder och avstånd från tilluftsdon. Nordost 55 grader från don.



Figur 12.4.2. Lufthastighet på olika höjder och avstånd från tilluftsdon. Väst 270 grader från don.

12.4.3 Kommentarer

Lufthastigheten kring tilluftsdonet är mycket högt. Besvär orsakade av drag kan uppkomma redan vid 0,15 m/s vid en operativ temperatur mellan 20-24 °C. Vid de mätningar som genomförts kring tilluftsdonet och vissa maskiner, se kapitel 12.4, är lufthastigheter under 0,15 m/s ovanliga. Stora luftrörelser tillsammans med höga temperaturer och kraftig

temperaturdifferans i vistelsezonen bidrar till en ökad negativ upplevelse av inneklimatet. En annan parameter som upplevs negativt, är luftfluktuationer.

12.5 Temperatur och TVOC

12.5.1 Tillvägagångssätt

För att få reda på var och vilka, nivåer av organiska föreningar (TVOC) och temperatur som finns i lokalen har det byggts en mätrigg. Mätriggen mäter dels temperaturen på tre nivåer, 12 cm, 125 cm och 230 cm ovan golv dels TVOC i andningsregionen (ca 170 cm över golvet).

Mätriggen har traverserats genom lokalen och värden har registrerats varje 0,55 m. Resultaten har ritats in som kurvor på en planritning. Traverseringen har utförts med en hastighet av ca 0,5 km/h vilket innebär att det är ungefär 4 sekunder mellan varje mätpunkt. På så vis har instrumenten inte haft problem med att hinna ställa om sig till nya nivåer.

Den relativa fuktigheten har också uppmätts vid olika punkter med en slungpsykrometer.

12.5.2 Resultat

Resultaten från traverseringarna finns inritade på planritningarna. Dessa finns att studera i bilaga 12.5.1.

Till varje traversering finns även ett blad med data om själva produktionen vid traverserings tillfället och vissa faktorer som kan påverka resultaten såsom om någon port eller brandlucka var öppen etc.

Traversringarna är uppritade som kurvor där halten TVOC i ppm anges på höger axel och representeras av gul linje. Temperaturerna redovisas som blå, lila och ljusblå linjer. Blå linje representerar temperaturen vid golvnivå, givaren sitter 12 cm från golvet givaren till den lila linjen är placerad 125 cm ovan golv och ljusblå linjen visar temperaturen 230 cm över golvet.

I bilagan redovisas sammanlagt 9 st av de genomförda traverseringarna i produktionslokalen, varav 5 på bottenplan och 4 för våning 2.

12.5.3 Kommentarer

Det som mäts vid traverseringen är TVOC. Mätinstrumentet som är av typen fotojonisationsdetektor (PID) reagerar olika för olika ämnen beroende på det enskilda ämnets förmåga att påverkas ”joniseras” av ultraviolett strålning. Det innebär att ett högt värde inte automatiskt behöver betyda en hög halt av ett ämne utan det kan lika väl vara en låg halt av ett ämne som reagerar kraftigt när det joniseras.

Instrumentet kalibreras efter gasen isobutan och visar instrumentet 10 ppm när man mäter på gasen toluen är det i verkligheten 5 ppm då toluen reagerar dubbelt så kraftigt som isobutan när det joniseras. Mäter man på ämnet 1-butanol så reagerar den 4 gånger så kraftigt som isobutan och skulle ge ett utslag på 40 ppm TVOC.

Det är därför viktigt att man ser mer på trender och plötsliga förändringar än halter när man använder sig av TVOC mätningar. Den indikerar en händelse och är man mer intresserad av händelsen får man använda en mer detaljerad metod för att se närmare på den såsom t.ex. tenax vilket beskrivs i kapitel 12.9.

Traverseringen garanterar i och för sig inte att man hittar alla föroreningskällor då det är många faktorer som spelar in när man mäter. Det kan vara luftrörelser, tilluftsdon som snabbt späder ut föroreningen, avstånd från källan spelar stor roll m.m. Man kan ändå se tydliga mönster mellan traverseringarna.

Nedan ges kommentarer kring traverseringarna som hänförs till en speciell punkt på någon av ritningarna.

Kommentarer rörande vån 1:

Ritning 3.4:1

1. Mellan linje 1 och 2 syns att printerarean utmärker sig tydligt och främst den nya printern. Noteras bör att detta var strax efter installationen och man kan misstänka att utsugen inte var fullt injusterade, men enligt motsvarande traversering gjord 030531 (3.4:7) återfinns där samma topp.

2. Någon motsvarande topp mellan linje 3 och 4 finns inte. Man ser att TVOC-halten ökar ju närmare printern man kommer men ingen distinkt topp. Detta beror sannolikt på att printer 3 och 4 är förskjutna i förhållande till varandra så att föroreningskällan blir mer utdragen.

3. Temperaturnivåerna mellan linjerna är någorlunda lika vid motsvarande punkt. Den är också någorlunda jämn utmed linjen, med undantag från vissa mindre avvikelser. Punkten 3A visar en temperaturförändring utmed golvet. Denna sänkning kan härledas till en nätdörr med utgång till parkeringen som alltid är öppen. Ett liknande fenomen visas i punkt 3B, denna temperaturförändring syns bäst på 3.4:3, -5 och -7 och kan hänföras till att porten vid vattenreningen är öppen. I och med att både porten vid vattenreningen och nätdörren är öppna och man får en temperatursänkning i båda punkterna kan man anta att det råder ett undertryck i lokalen. Det sker inget tvärdrag utan luft sugs in från bägge ändar av byggnaden.

Mellan linje 4 och väggen uppträder en förhöjning på TVOC:n bakom printern.

Ritning 3.4:3

1. Här syns tydligt printer 1 längs linje 1. Det finns även en topp intill den nya printern som är kvarvarande TVOC:s efter att man precis genomfört ett printerbyte.

2. Det finns en TVOC topp intill IC-sprutorna. Toppen uppträder när burkarna passerat IC-sprutan och skall matas vidare i processen via elevatorer. Själva IC-sprutorna är försedda med punktutsug men inte elevatorerna.

3. På ritningen framträder en barriär längs med bodymakerna. Det tyder på att spridningen av VOC i produktionslokalen sker på olika sätt kring printer 1 jämfört med nya printern. Orsaken till detta kan t.ex. vara att när porten vid vattenreningen är öppen kommer luften in och fördelas ut i lokalen. Luften tar med sig föroreningarna och är den nya printern igång tar de luftmängderna som normalt går mot bodymakerna förorenad luft med sig och när gamla printer 1 är igång så är det den luft som normalt går mot IC-sprutorna som tar föroreningarna med sig. Skillnaden framträder även på de andra ritningarna. På ritningarna 3.4:0 och 3.4:3 är printer 1 igång och på 3.4:1, -5 och -7 är nya printern igång.

4. Generellt sett är bakgrundsnivån av TVOC högre längs linjerna 3 och 4 jämfört med linje 1 och 2. Vad det beror på är inte klarlagt men det kan finnas många orsaker. Några anledningar kan vara att det är tätare mellan bottenvåningen och 1½ planet så föroreningarna har svårare att stiga upp eller så är luften varmare på mellanplanet längs linje 3 och 4 så föroreningarna har svårare att stiga uppåt. Luftrörelserna kan vara betydligt mindre längs linje 3 och 4 än linje 1 och 2. Porten vid vattenreningen är ofta öppen vilket ger en bättre utspädning längs linje 1 och 2. Linje 1 och 2 har både deplacerande don och omblandande ventilation vid IC-sprutorna m.m.

Kommentarer rörande våning 2.

Ritning 3.4:2

1. Temperaturnivån vid golvet ökar plötsligt. Orsaken kan vara öppningar i golvet som medger varmluft från plan 1 att stiga upp till våning 2. Alternativt kan det vara minskad påverkan av TA33:s tilluftdon.

2. Temperaturen ökar vid golvet samtidigt som TVOC nivån börjar stiga. I närheten finns bottenlackens UV-ugn som kan vara en del av orsaken. Att TVOC:n stiger och fortsätter att stiga längs linjen visar att ugnarna bildar en barriär som hindrar tilluften att komma åt att ventilera utrymmet ordentligt. Detta bekräftas av att det mellan dessa linjer inte finns några tilluftsdon som hjälper till att dels hålla igång luften dels att spä ut den förorenade luften i lokalen.

3. Längs venturiarean har man förhöjda halter av TVOC. Den förhöjningen är ihållande och sträcker sig ända bort till inmatningen till IC-ugn 4 där nivån blir betydligt högre p.g.a. lösningsmedelsångor från burkar på väg in i IC-ugnen. TVOC nivån sjunker efter det att inmatningen passerats, den lägre nivån av TVOC kan härledas till tilluftsdonet som är placerat i gången och den barriär som IC-ugn 4 bildar.

4. Vid passage av inmatningen till IC-ugn 3 ökar TVOC kraftigt. Vid inmatningen sitter tryckluftsmunstycken och blåser på burkarna. Detta kan vara en orsak till att TVOC:n ökar kraftigt.

5. Vid IC-ugn 1 uppträder en svag topp precis vid utmatningen. IC-ugn 1 är känd för att ryka och detta ger utslag på instrumentet.

6. De två topparna kännetecknar inmatningarna till respektive printerugn 2 och 3. Ugnarnas tillopp av burkar sker från två motstående håll. Toppen närmast washers kommer från printerugn 3 och toppen närmast IC-ugnar är från printerugn 2. För att verkligen bekräfta att så är fallet har även mätningar traverserats runt enskilda maskiner såsom printerugn 1 och 2. Dessa mätningar redovisas senare i kapitlet.

TVOC nivåerna är lägre längs med washerna, här hanteras inga lösningsmedel, washerna tillsammans med de små luftrörelserna och tilluftsdonen bildar barriärer som hindrar förorenad luft att sprida sig dit. TVOC nivån börjar stiga efter att man passerat washerna.

Temperaturnivåerna ökar ju närmre linje 4 man kommer. Anledningen till detta är att tilluftsfläkten, TA33, blåser in ouppvärmd luft till lokalen längs linje 1.

Det går att ana var tilluftsdonen sitter i anläggningen om man studerar golvtemperaturen kring donen. Temperaturen på omgivningen kring tilluftsdonen påverkas av den kallare tilluften.

12.6 Björnring

12.6.1 Tillvägagångssätt

Samma utrustning och princip som vid traverseringen ovan. Det enda som skiljer är att istället för att traverseringen sker längs med en linje, så görs den runt en maskin. De maskiner där mätningar utförts är printerugn 2 och 3, printer 3 och IC-ugn 4.

12.6.2 Resultat

Resultaten från traverseringarna finns inritade på planritningarna. Dessa finns att studera i bilaga 12.6.1.

Traverseringarna är uppritade som kurvor där halten TVOC i ppm anges på höger axel och representeras av heldragen linje. Temperaturerna redovisas som streck-punktad linje, punktad linje och streckad linje. Streckad linje är golvnivå, mätstället är 12 cm ovan golv, punktad linje är 125 cm ovan golvnivå och streck-punktad linje är 230 cm över golvet.

12.6.3 Kommentarer

Traverseringarna runt printerugnarna visar att vid själva inmatningen är de högsta TVOC-värdena. Vid ugnsutmatningarna fås endast lägre toppar.

Runt printer 3 kan man se att högsta TVOC:s fås på printerns framsida och kortsidan där färgverken är placerade.

IC-spruta 4 har högre TVOC-halt på framsidan med en liten topp ungefär vid mitten av sprutan. TVOC-halten på framsidan minskar ju närmare tilluftsdonet man kommer. Tilluftsdonet är ett deplacerande don man placerat i taket.

12.7 Manuella mätningar TVOC

12.7.1 Tillvägagångssätt

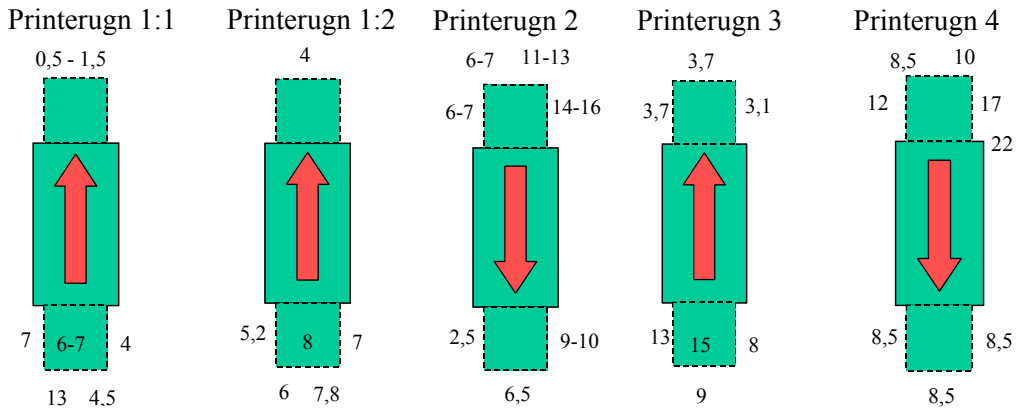
För att mer detaljerat kunna identifiera var på t.ex en maskin VOC:s avges har mer detaljerade mätningar med PID utförts. Detta har utförts genom att man gått med PID:en runt maskinen. På så vis kan man avläsa om VOC-halterna skiljer sig runt maskinen samt identifiera punkter med högre VOC-halter, punktkällor.

12.7.2 Resultat

12.7.2.1 TVOC-halter vid printerugnar

De mätningar som utförts har koncentrerats kring ugnarnas in- och utmatningar, då dessa gett utslag vid traverseringen. De uppmätta halterna av TVOC pendlar kraftigt beroende på vilken ugn man mäter. Vad man generellt kan utläsa är att de ugnar vars in eller utmatning har blåsplåtar monterade är halterna av TVOC betydligt högre framför blåsplåtarna än bakom samt att de högsta halterna uppmätts på den sida inmatningen sker av blöta burkar och då speciellt där luften från blåsplåtarna drar förbi. Blåsplåtar är perforerade luftkanaler som blåser luftstrålar mot burkarna och pinnkedjan burken sitter på och på så vis hindras burken att trilla av från pinnkedjan.

Figuren 12.7.1 visar printerugnarna och vilka halter av TVOC som uppmätts samt var.



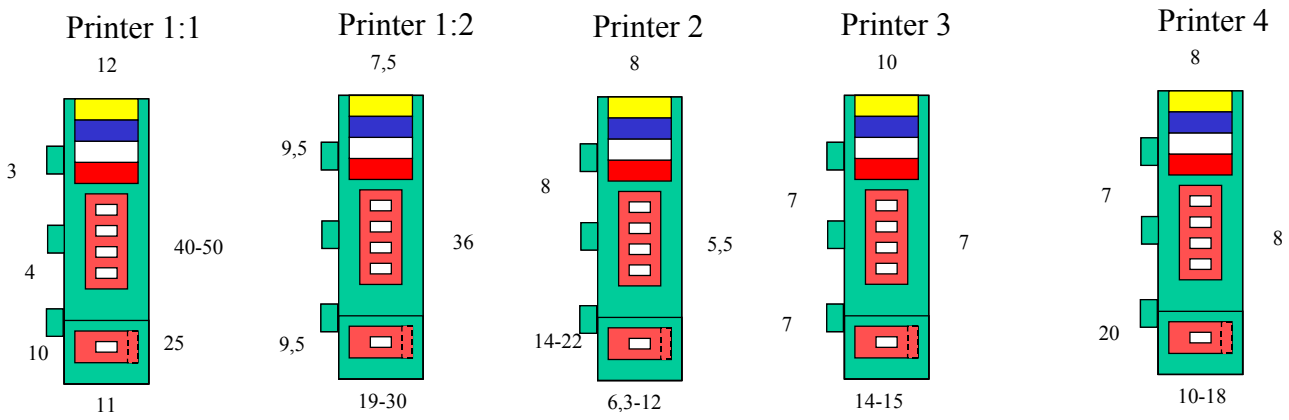
Figur 12.7.1. Uppmätta TVOC-halter kring printerugnar. Pilen anger pinnkedjans rörelseriktning.

Ugnarnas yttemperatur ligger mellan 35-50 °C, med undantag av vissa punkter som t.ex. brännarnas och cirkulationsfläktarnas anslutningar. Ugnarnas medeltemperatur på ytan har uppskattats till 45 °C .

Alla printrarnas in- och utmatningar med undantag för utmatningen vid printerugn 1:2 är kring-byggda med hålplåt för att förhindra olyckor. Utmatningen från printerugn 1:2 sker från toppen av ugnen istället som på de andra ugnarna där utmatningen sker från pannans nedre del.

12.7.2.2 TVOC intill printrar samt banor mellan printrar och printerugn

Mätningarna visar att de höga halterna av VOC:s från printrarna är relaterade till vad som sker vid och efter OV-lacken. Alla printrar saknar ett petskydd som skall vara monterat vilket även skulle kunna skärma av OV-lacken från lokalen och därmed personalen. All vidarematning från printrarna sker på pinnkedjor där burkarna bl.a. blåses på plats med blåsplåtar. Detta innebär att man blåser mycket luft förbi de nylackade burkarna vilket ger en ökad spridning och avdunstning av VOC.



Figur 12.7.2. Uppmätta TVOC-halter kring printrar.

Matningen från printrarna till printerugn 1:1 och printerugn 1:2 sker relativt samlat inom ett område av ca 3,5·1 m på mellanplan. Där används inga blåsplåtar men det finns fläktar placerade i närheten som orsakar större luftrörelser kring uppmatningen, TVOC-halterna är mellan 13-17 ppm.

Matningen till printerugn 2 sker via en längre raksträcka på mellanplan. Raksträckan är till största delen överbyggd med hålplåt. TVOC-halterna på mellanplan längs med raksträckan är 10 –13 ppm men stiger till 30 ppm där pinkedjan ändrar riktning.

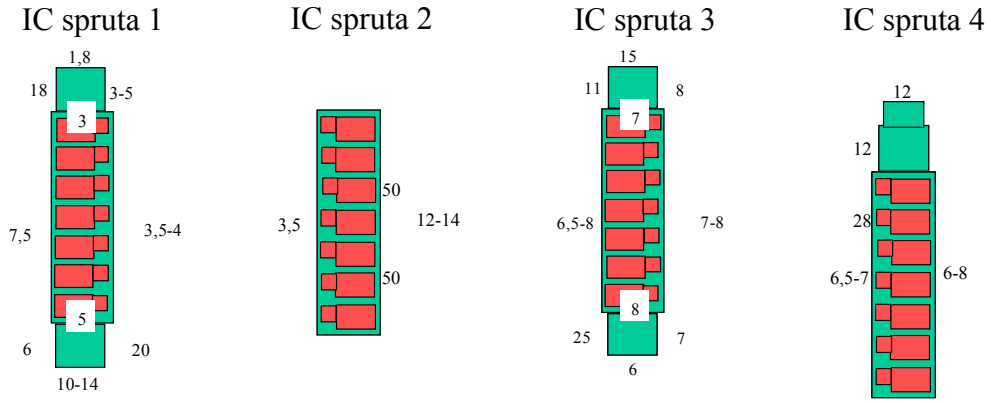
Mellan printer 3 och printerugn 3 är överföringen relativt kort men det finns blåsplåtar hela vägen. TVOC-halterna ligger runt 16 ppm på baksidan av blåsplåten och 17-19 ppm på framsidan.

Matningen till printerugn 4 går relativt rakt genom mellanplan men på mellanplan finns en vakuumfläkt vars utsläpp blåser luft förbi platsen och bidrar till spridning av VOC, TVOC-halterna ligger runt 10-14 ppm.

12.7.2.3 IC-sprutor och banor

Varje linje har en IC-spruta med 7 sprayenheter. Transporten från IC-sprutan till IC-ugnen sker på olika sätt beroende av linje. På linje 1 och 3 sker transporten till ugnarna på våning 2 via lintransportörer. På linje 2 och 4 sker transporterna via transportband till ugnarna. IC-ugn linje 2 är placerad på plan 1 och IC-ugn linje 4 på plan 2 så den transporten sker med ett transportband med en vakuumelevator.

TVOC-halterna har mätts runt maskinerna och på figurerna nedan anges de TVOC-halter som uppmätts.



Figur 12.7.3. Uppmätta TVOC-halter kring IC-sprutor.

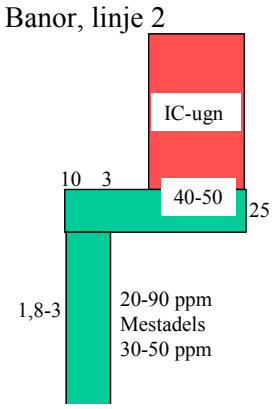
TVOC-halter kring banorna mellan IC-spruta och IC-ugn skiljer sig mycket mellan de olika linjerna.

Linje 1:

Den horisontella transporten på våning 2 sker i golvnivå till IC-ugn 1. Den längsta banan är relativt avskärmad med plåtar och TVOC-halten skiftar mellan 3 och 12 ppm. Den kortare banan är inte kringbyggd alls och halterna runt banan ligger mellan 20 och 40 ppm. Sista transporten in i ugnen sker via en vakuumelevator med en TVOC-halt runt 12-17 ppm. Det finns även ett närbeläget tilluftsdon som blåser över burkarna vid inmatningen och bidrar ytterligare till spridning av VOC:s.

Linje 2:

Transporten från IC-spruta till IC ugn sker via ett transportband. Transportbandet är övertäkt med plast för att avskärma från lösningsmedlen och skydda burkarna mot föroreningar. Transportbandet saknar utsug vilket gör att alla VOC:s som avdunstar från bandet hamnar i lokalen trots att transportbandet är avskärmat. Figuren anger vilka halter som uppmätts längs banorna.



Linje 3:

Matningen till IC-ugn sker via två linbanor. Halterna på mellanplan ligger mellan 9 och 28 ppm beroende av vilken sida man mäter på. På mellanplan finns ett frånluftsdon placerat ca 3,5 m från linbanan och den sida av linbanan som är närmast donet har också den högsta halten.

På våning 2 skiftar halterna kring de horisontella linbanorna beroende på om det kommer burk eller ej. Halterna ligger runt 6,5-14 ppm längs själva linbanan. Vid twistern, platsen där burken vrids från liggande till stående och själva inmatningen till pannan sker, är halterna betydligt högre och ligger mellan 14 och 60 ppm.

Linje 4:

Vakuumelevatorn som transporterar burkarna från våning 1 till våning 2 släpper ut förorenad luft till lokalen. TVOC-halter ligger runt 12 ppm i luften. De mätningar som gjorts ovanför burkarna vid banorna på våning 2 visar på TVOC-halter runt 60-70 ppm.

12.7.3 Kommentarer

Man kan se skillnader i källstyrkor mellan motsvarande apparater på andra linjer. Skillnaderna ligger dels i uppbyggnaden av maskinen samt matningar till och från maskinen och dels luftrörelserna kring maskinen. Där blöta burkar utsätts för häftiga luftrörelser från t.ex. blåsplåtar eller fläktar är VOC:n högre. De stora utsläppen av VOC:s sker kring banorna. Mellan IC-sprutor och inmatningen till ugnen hittar man de högsta TVOC-halterna. Men även kring vidare matningar från printrarna och inmatning till printerugn är det höga halter TVOC. Kring printrar varierar TVOC-halterna beroende på var man mäter och på vilken printer. Generellt sett är halterna höga i närheten av OV-lack och vidarematningarna.

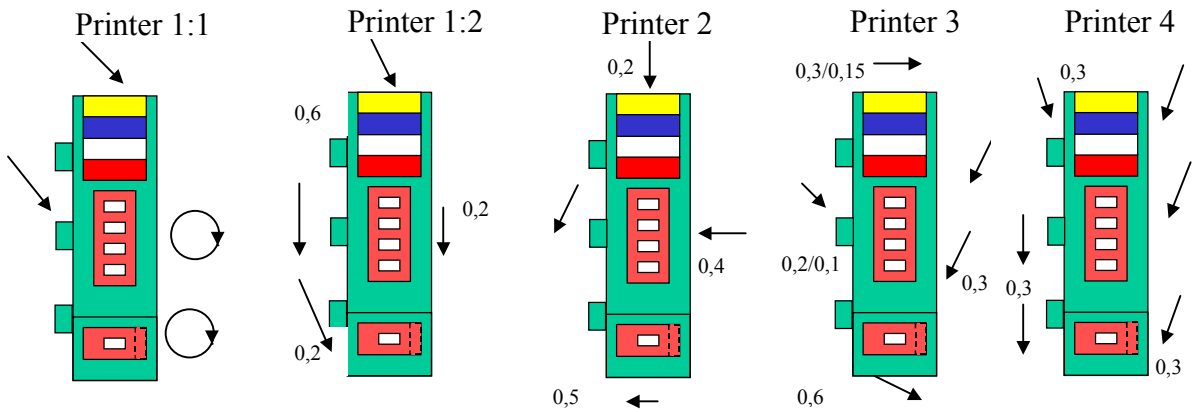
12.8 Luftrörelser kring maskiner

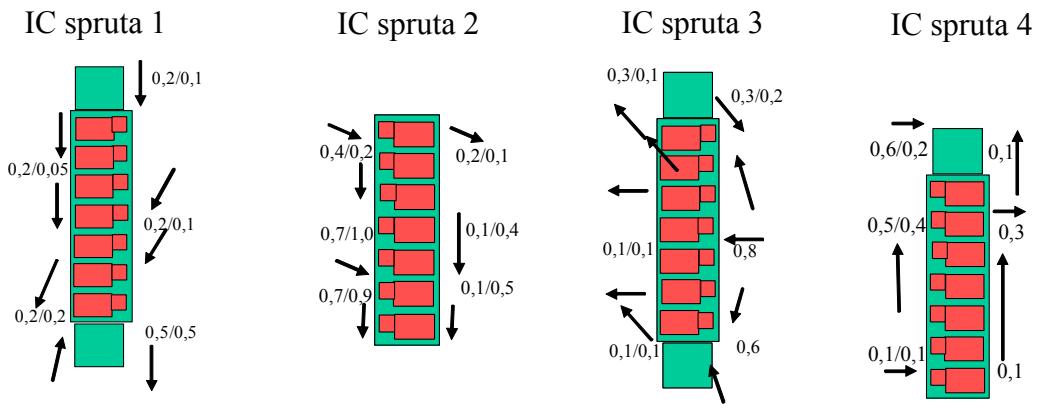
12.8.1 Tillvägagångssätt

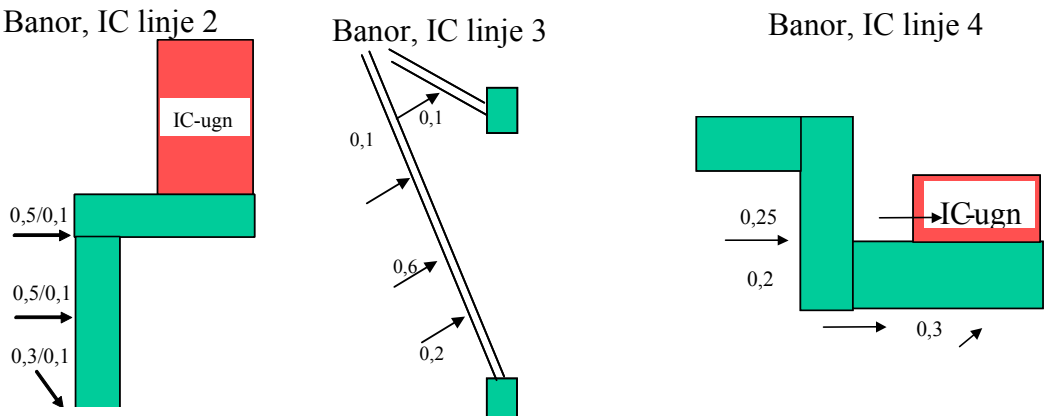
Luftrörelserna kring printrar och IC-sprutor har kartlagts med hjälp av rök och en lufthastighetsmätare, varmtrådsanemometer. Röken används för att bestämma luftens riktning och därefter mäts lufthastigheten med varmtrådsanemometern. På så sätt har lufthastigheten bedömts och riktningen kartlagts.

12.8.2 Resultat

Pilarna runt figurerna över IC-sprutor och printrar anger luftens riktning vid mättillfället. Siffrorna anger lufthastigheten vid två nivåer, golvnivå och 1,2 m över golv. Anges endast en siffra är lufthastigheten uppmätt vid en nivå av 1,2 m över golv.







12.8.3 Kommentarer

Lufthastigheterna kring maskinerna är överlag höga. Man anger att vid lufthastigheter överstigande 0,15 m/s finns risk för att man skall uppleva drag. I ”normala” miljöer såsom kontor, ökar tåligheten för luftrörelser med temperaturen. Det finns undersökningar som visar att hastigheter på 0,8 och ända upp till 1,6 m/s kan upplevas acceptabelt vid temperaturer runt 28-30 °C. Detta innebär att man skall vara medveten om att personalen kan uppleva problem med drag samt att de höga lufthastigheterna kring maskinerna ökar spridningen av VOC:s. Många gånger kan kritiska delar av maskinerna avskärmas alternativt kan tilluftsdon som står alldeles intill en maskin strypas i flödet. På så vis kan man få lägre hastigheter kring maskinernas kritiska punkter avseende VOC:s. Man kan även tänka sig andra lösningar istället för punktvis lufttillförsel vilket anläggningens stora deplacerande don utgör.

Man kan se att luftriktningen och TVOC-halternas styrka bildar ett gemensamt mönster. TVOC-halterna är lägre vid den sida luften kommer ifrån.

12.9 Tenax provtagning

12.9.1 Tillvägagångssätt

Tenaxproverna togs alla på en och samma dag, 2003-06-17. Flödet genom Tenaxröret var 100 ml/min och togs på en höjd av 1,8 m över golvnivå. I varje provtagningspunkt mättes även den relativa fuktigheten, temperatur och TVOC.

Varje provtagningspunkt är utsatt på ritning, se bilaga 12.9.1 samt fotograferade för eventuella ytterligare provtagningar eller ytterligare analyser. Eventuella störningar antecknades i ett protokoll.

Tenax rören skickades för analys till LAQUA-gruppen, Institutionen för Teknik på Högskolan i Kristianstad. Där analyserades proverna av Lennart Mårtensson och Lars Törneby i en gaskromatograf och efterföljande masspektrometer.

De färgtyper och lacker som förekommer i processen analyserades också för att se vilka ämnen de innehåller.

I de varuinformationsblad som bifogas färger och lacker som används i processen anges fem ämnen varav ett av ämnena enbart förekommer i IC-lacken, (Amylalkohol). I tabell 12.9.1 namnges de aktuella ämnena samt vilka hygieniska gränsvärden, enligt AFS 2000:3, som inte får överstigas.

I tabell 12.9.1 används vissa förkortningar. Förkortningarnas betydelse redogörs för nedan.

TGV = Takgränsvärde, ”Hygieniskt gränsvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter”

NGV = Nivågränsvärde, ”Hygieniskt gränsvärde för exponering under en arbetsdag”.

KTV= Korttidsvärde, ”Ett rekommenderat värde som utgörs av ett tidsvägt medelvärde för exponering under en referensperiod av 15 minuter”

(Källa: AFS 2000:3, Hygieniska gränsvärden och åtgärder mot luftföroreningar,)

Tabell 12.9.1. Tabell över de kemikalier som leverantörerna anger i sina varuinformationsblad för färger och lacker.

Kemikalie namn	Andel i produkten (%)	Cas.nr	TGV ppm	NGV ppm	KTV ppm
N-butanol	1-2.5	71-36-3	15	30	-----
Dimethylaminoethanol	2,5-10	108-01-0	-----	-----	-----
Ethylene glycol monobutyl ether	10-25	111-76-2	10	-----	20
Amylalkohol	2.5	30-899-19-5	-----	-----	-----
2-(2-butoxyethoxy)ethanol	1-5	112-34-5	15	-----	30

12.9.2 Resultat

I bilaga 12.9.2 visas en tabell med resultat från de TENAX rör som analyserats. Man har valt att identifierat och kvantifiera 7 st ämnen i proverna.

Fyra av de fem ämnena som anges i varuinformationsbladen återfinns i bilaga 12.9.2 (Amylalkohol, N-butanol, etylen glykol monobutyl ether, 2-(2-butoxyethoxy)ethanol). Di-methylaminoethanol har inte gått att påvisa då just ämnen innehållande aminogrupper är svåra att analysera med denna metod. Anledningen till detta är dels att TENAX har svårt att absorbera denna typ av ämne, vidare är kolonnen som används i gaskromatografen inte lämplig för just detta ämne.

Amylalkohol förekommer endast i IC-lack. Detta syns tydligt när man ser på vilka punkter amylalkohol återfinns. Amylalkohol återfinns på våning 1 i punkterna 1:8-11 och på våning 2 i punkterna 2:6-7 och 2:9-10.

I diagrammen 12.9.1-3 visas resultaten för respektive våning och provtagningspunkt samt för prover tagna i ventilationen.

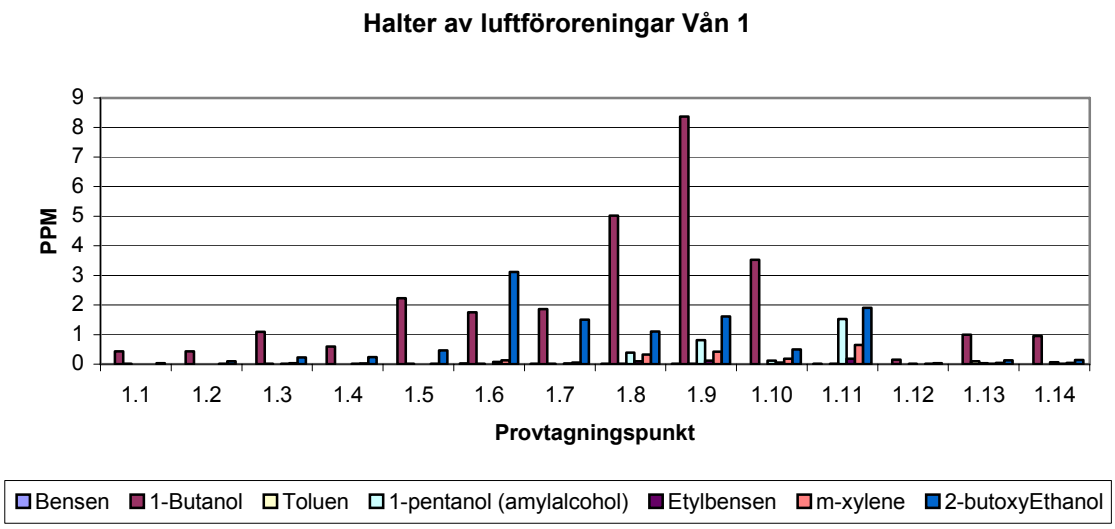


Diagram 12.9.1. Halter av luftföroreningar våning 1.

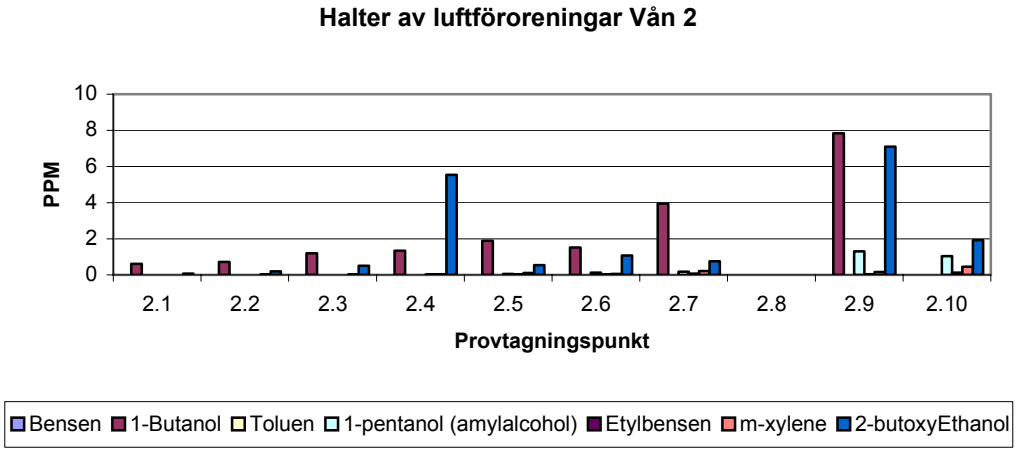


Diagram 12.9.2. Halter av luftföroreningar våning 2.

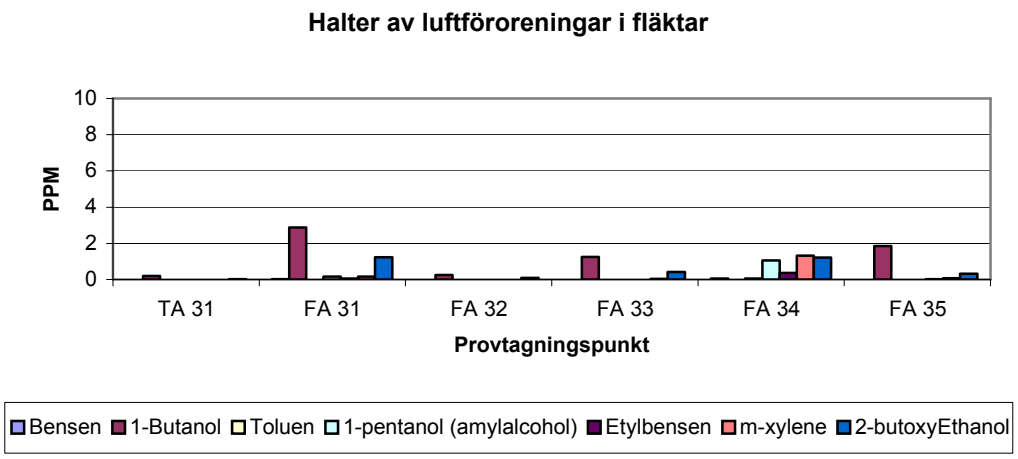


Diagram 12.9.3. Halter av luftföroreningar i fläktar.

I diagrammen 12.9.4-6 nedan är 1-butanol och 2-butoxy ethanol borttagna, skalan är 50 ggr mindre än i föregående diagram för att man enklare skall se skillnader på de ämnen som förekommer i låga halter.

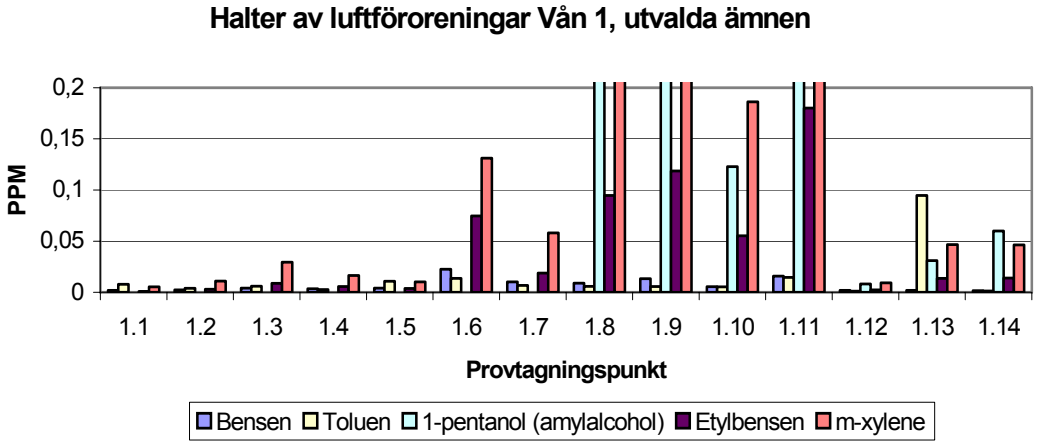


Diagram 12.9.4. Halter av utvalda luftföroreningar våning 1.

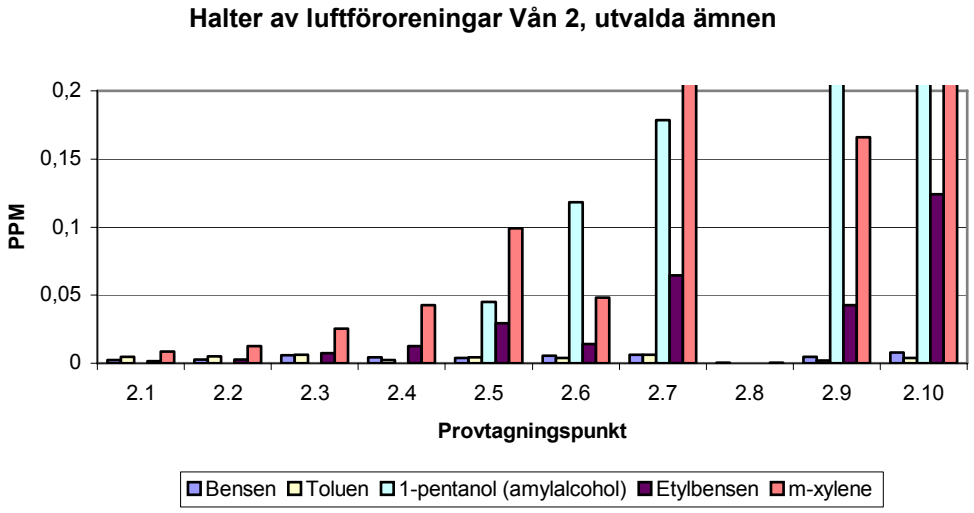


Diagram 12.9.5. Halter av utvalda luftföroreningar våning 2.

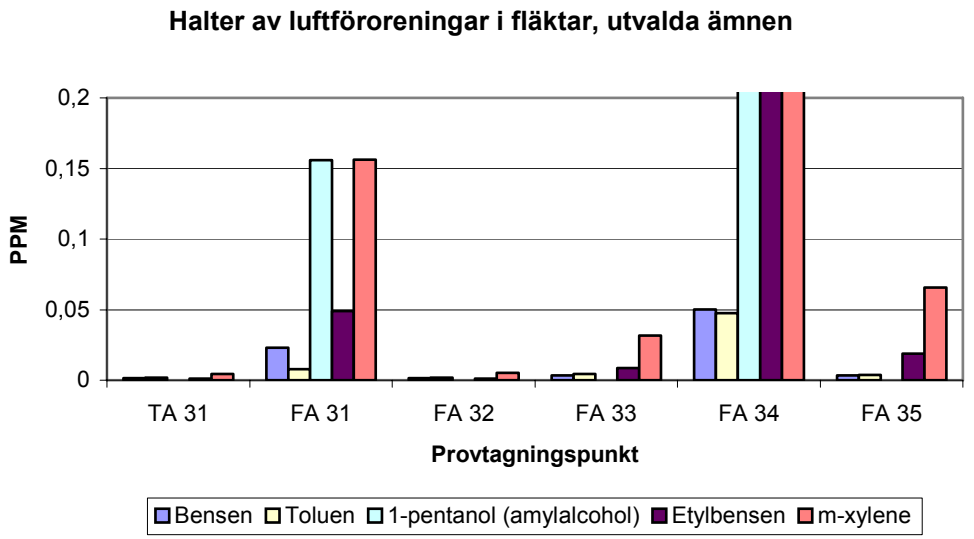


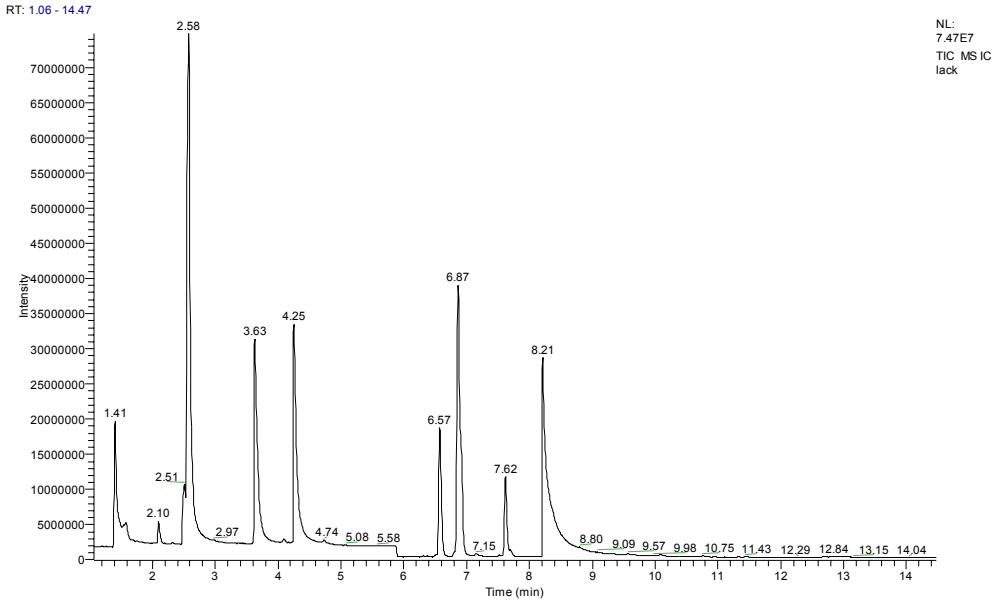
Diagram 12.9.6. Halter av utvalda luftföroreningar i fläktar.

På våning 1 är det inte förrän i punkten 1.6 som man kan se att halterna VOC ökar nämnvärt. Denna punkt är intill printer 1 och 2. Det innebär att spridningen av VOC:s är liten längs med bodymakers alternativt att föroreningen späds ut snabbt i rummet. Man kan undra vad som händer med halterna vid bodymakers när den nya printern är i drift i stället för printer 1. Sannolikt hade VOC-nivåerna varit högre i den arean.

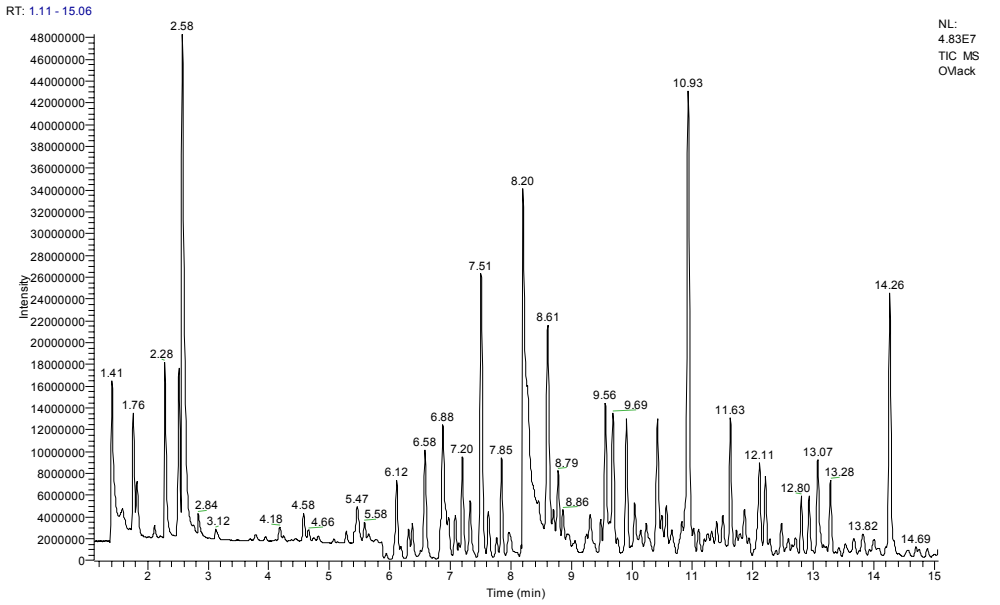
I punkt 1.3 är det förhöjda halter av VOC jämfört med motsvarande punkt 1.4. Detta kan förklaras genom att när provet togs stod mätriggen ca 1,5 m från en korg att slänga använda trasor i. Korgens lock var öppet och de förhöjda VOC värdena bedöms komma därifrån. Som en del i arbetet att minska föroreningarna i luften är det viktigt att inte glömma bort sådana saker som blöta trasor, färgburkar utan lock, kasserade blöta burkar m.m.

I punkten 2.8 har något gjort att TENAX provet inte blivit rätt exponerat. Detta innebär att resultatet från provet inte används.

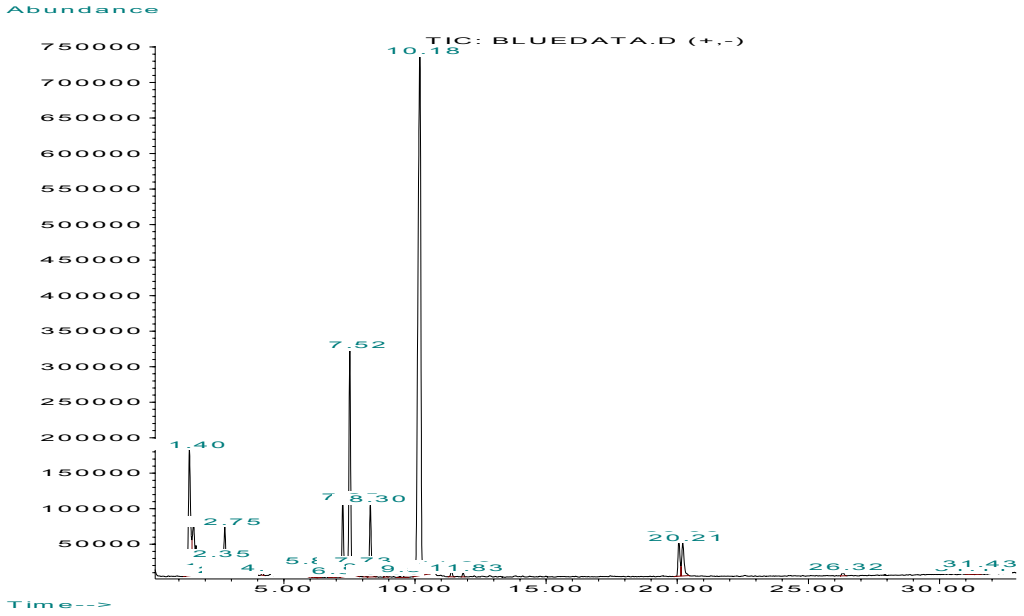
TENAX prover på färger och lacker har tagits och analyserats. Gas från provburkar har sugits genom TENAX rör och på så vis kan man se vilka ämnen som lackerna avger till omgivningen i gasform, proverna har även kvantifierats utifrån de 7 utvalda ämnena. Det är viktigt att komma ihåg att TENAX speglar endast vad som finns i gasform. Fördelningen i en lack kan vara helt annan det som finns i luften ovanför lacken, beroende av det enskilda ämnets egenskaper såsom dess förmåga att övergå i gasform.Kromatogram för lackerna och färgen visas i figurerna 12.9.1, 12.9.2 och 12.9.3.



Figur 12.9.1. Kromatogram för IC-lack.



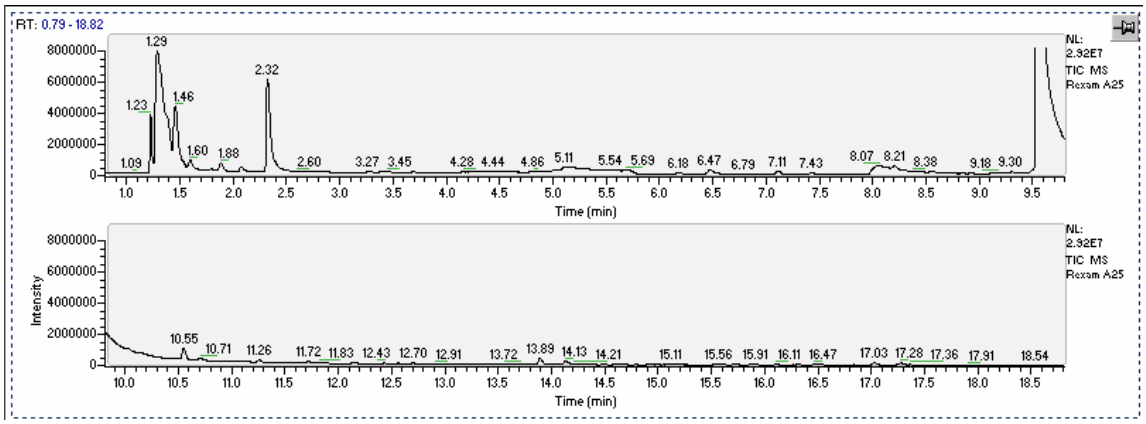
Figur 12.9.2. Kromatogram för OV-lack.



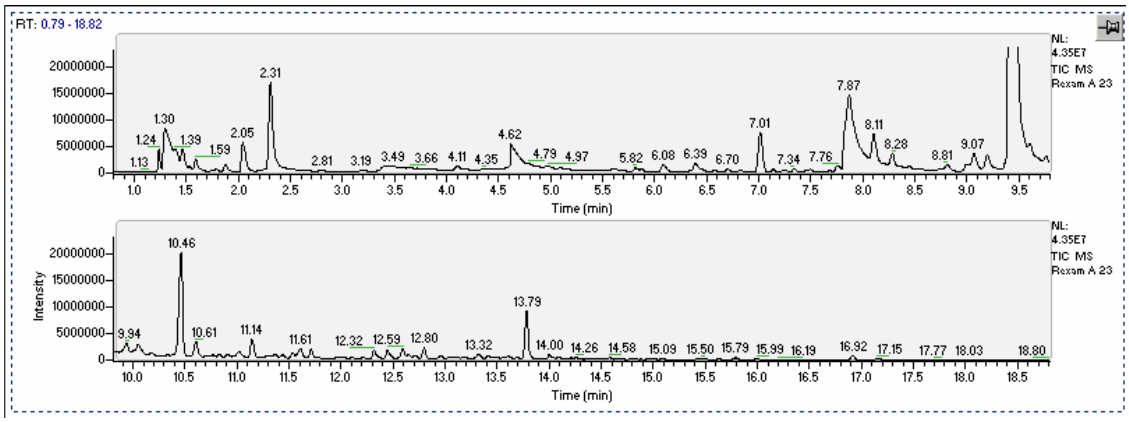
Figur 12.9.3. Kromatogram för färg.

Varje topp motsvarar ett specifikt ämne. Genom att jämföra t.ex. mätningar i luften med varandra kan man se vilka ämnen som finns och hur de sprider sig i lokalen.

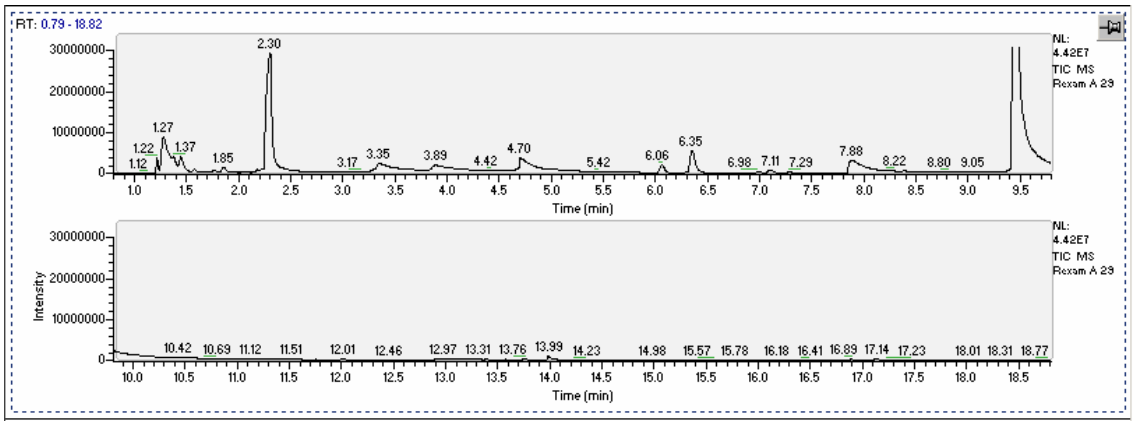
Exempel på kromatogram från prov tagna i produktionslokalen visas i figurerna 12.9.4-12.9.6.



Figur 12.9.4. Kromatogram från provtagningspunkt 1.4.



Figur 12.9.5. Kromatogram från provtagningspunkt 1.6.



Figur 12.9.6. Kromatogram från provtagningspunkt 1.8.

Vid en jämförelse mellan lackernas och färgens kromatogram med kromatogram från produktionslokalen är det viktigt att veta att dessa är förskjutna i tiden mellan varandra. Det innebär att de inte är fullt jämförbara mellan varandra t.ex. är retentionstiden för 1-butanol i analysen av lackerna 2,58 men i produktionslokalen är retensionstiden 2,31.

Topparna i produktionslokalens kromatogram vid ca 4,6-4,7 och 9,5 är kontaminering från packningar hos konditioneringsapparaten.

I bilaga 12.9.3 finns listor över ämnen som ingår i IC- och OV-lack samt i färgen. Någon kvantitativ bestämning av ämnena har ej gjorts.

12.9.3 Kommentarer

Man kan tydligt se var föroreningar orsakade av IC-lack förekommer. Amylalkoholen sprider sig i lokalen kring IC-sprutor, banor och inmatning till IC-ugnarna.

Amylalkoholen återfinns i proverna 1.8-1.14 och 2.5-2.10 med undantag av prov 2.8. Ämnet återfinns även i frånluftfläktarna FA 31 och 34.

I provpunkt 1.12 (pallpak) återfinns visserligen amylalkoholen men i en väldigt låg dos vilket gäller alla de andra ämnena också.

I diagrammen 12.9.4-6 kan man se hur förekomsten av bensen och etylbensen skiftar. Förekomsten av dessa ämnen på våning 1 är främst runt printer och IC-arean. Man bör dock observera att halterna anses vara låga och underskrider med god marginal de gränsvärden som

satts för bensen. På våning två har bensen och etylbensen hittats i proverna 2.5-2.10, med undantag för punkten 2.8 som är en misslyckad mätpunkt. Mätpunkternas placering på våning 2 är runt IC-ugnarnas inmatning, venturiområdet.

I diagram 12.9.1 ser man att TA 31 har en låg halt av n-butanol. Provet i TA 31 speglar den luftkvalitet tilluften har, det innebär att tilluften är svagt förorenad redan då den tillförs. Även små utslag av andra ämnen har erhållits, vilket syns tydligare i diagram 12.9.6.

Vid en jämförelse mellan uppmätta värden från PID:en och analysvärden från GC skiljer de sig betydligt i vissa mätpunkter, se bilaga 12.9.2, kolumnerna, TVOC Tenax och TVOC PID. Anledningen till detta är dels att TVOC:n från GC är endast beräknad för de sju ämnena som kvantifierats samt att PID:en är ett relativt grovt instrument.

Det visar dock att PID:en fungerar utmärkt att använda som ett indikerande instrument för att lokalisera källor dock ej som ett analysinstrument för att bedöma föroreningshalter.

12.10 Värmelaster, värmespridare

I detta avsnitt beskrivs de värmelaster och värmespridare som observerats i produktionslokalen.

Det finns många värmelaster i anläggningen vilka bidrar till den förhöjda temperaturen i processlokalen. Där finns t.ex. fläktar och ugnar. Värmeenergin härör dels från elenergi som övergår till värme, t.ex. värme från elmotorer och processteg, dels från förbränning av naturgas. Vakuumelevatorerna vars uppgift är att med vakuum transportera burkarna från en nivå till en annan. Vissa vakuumelevatorer fungerar som värmespridare i lokalen. Vakuumfläktarna blåser den insugna luften ut i lokalen med en hög hastighet. Luften som är varmare än sin omgivning har dels värmts upp av arbetet i fläkten dels har varmare luft närmare taket sugits in i fläkten och blåses ut i komfortzonen. Vakuumelevatorerna i sig tillför inte så ”mycket” extra energi till lokalen men den sprider värmeenergi till platser och nivåer där man inte önskar mer värme.

För att få en uppfattning om några av värmelasternas storlek så har det genomförts vissa mätningar och beräkningar runt främst ugnarna och den värmelast de orsakar.

För att få en uppfattning om värmespridarnas storlek har dessa identifierats och dess luftflöden uppmätts.

I de maskindelar som inte förbrukar någon naturgas uppskattas 90 % av tillförd elenergi övergå till värme.

12.10.1 Tillvägagångssätt

Att uppskatta värmelaster från enskilda process- och försörjningsdelar är svårt. Avseende ugnarna kan värmelasten beräknas på två sätt. Ett sätt är att se hur mycket energi som tillförs och sedan ser hur mycket energi det finns i rökgaserna. Skillnaden är då den värmeenergi som kommer ut i lokalen. En annan variant är att mäta objektens t.ex. printerugnen, pinkedjans och burkarnas olika ytor, vikt och temperatur. Utifrån de uppgifter man erhållit räknar man ut respektive dels värmetillskott.

Bägge dessa beräkningar har utförts för att se om de ger ungefär samma storlek på värmeeffekten till lokalen.

Rökgasflödena från ugnarna har uppmätts tillsammans med temperaturen. Rökgasens vatteninnehåll har antagits motsvara produktionslokalens med undantag för washerugnarna där även vattnet från burkarna tagits med i beräkningen. Den vattenmängd som naturgaseldningen bidrar till anses vara försumbar eftersom luftöverskottet i ugnarna är extremt stora och den tillförda luftens fuktighet är betydligt högre.

Med dessa uppgifter beräknas rökgasernas värmeinnehåll. Skillnaden mellan rökgasförlusterna och tillförd värmeenergi, är detsamma som hur mycket värmeenergi som kommer ut i produktionslokalen från ugnarna, detta beräkningssätt kallas ”Värmelast v1”.

Värmeenergin från ugnarna utgörs dels av strålning och konvektion från ugnen, men även pinkedjan alt. transportband och burkarna utgör en värmebelastning till lokalen. Detta beräkningssätt kallas för ”Värmelast v2”. Summan av dessa tre effekterna bör vara i samma storlek som för ”Värmelast v1”

Genom att mäta temperaturen på burken och transportbandet före och efter inmatning till ugnen samt konvektionen från ugnarna kan värmelasten som dessa ger till lokalen uppskattas. Genom att mäta burkarnas temperatur efter IC- och washerugnarna kan deras värmeavgivning till lokalen beräknas. Vissa mätningar har också genomförts på bodymakers för att klarlägga dess värmeavgivning.

Värmespridarna har kartlagts och uppmätts. De parametrar som mätts är temperatur och flöde. Alla vakuumelevatorer omfattas inte av detta utan endast de som sprider värme till platser där det inte är önskvärt med ytterligare värme.

12.10.2 Resultat

Allmänna uppgifter / antaganden:

- α-värde på ugnsyta 10 W/m^2
- Burkflöde 20 burk/s och linje
- Burkvikt 15 g/burk
- Lokaltemperaturen: 25 °C
- RF i lokalen: 40 %

12.10.2.1 Washer-, printer- och IC-ugnar

Rökgasförlusterna beräknas som skillnaden mellan luftens värmeinnehåll i lokalen T_L och värmeinnehållet i rökgaserna T_r som tillsammans med rökgasens massflöde ger den värmeförlust som rökgaserna utgör.

För beräkning av värmeinnehållet har följande formel används:

$$h=cp_l \cdot T+x \cdot (r+cp_v \cdot T) \qquad (kJ/kg) \qquad (12.10.1)$$

cp_l	Specifik värmekapacitet för luft ca 1,01 kJ/kgK
T	Gasens temperatur (K)
r	Ångbildningsvärme ca 2500 kJ/kg
x	Mängd vattenånga per kg torr luft
cp_v	Specifik värmekapacitet för mättad vattenånga 1,86 kJ/kgK

Ekvationen 12.10.1 är energiekvationen för fuktig luft. Då luftöverskottet är betydligt större än vad som efodras för att förbränna naturgasen antas den fuktigheten som bildas då naturgas förbränns vara försumbar.

För att få reda på mängden vattenånga i luften så används följande förhållande:

$$RH=x/x_m \qquad (-) \qquad (12.10.2)$$

RH	Relativfuktighet
x	Mängd vattenånga per kg torr luft (kg/kg)
x_m	Mättnadsånghalt (kg/kg) tas ur tabell.

Allmänna gaslagen säger att $p_1 \cdot V_1/T_1=p_2 \cdot V_2/T_2$ detta innebär att då temperaturen förändras samtidigt som trycket är konstant förändras volymen i motsvarande grad och därmed även densiteten då volymitet och densitet är omvänt proportionellt.

Beräkning av rökgasens densitet:

$$\rho_r=(1,2 \cdot 293)/T_r \qquad (kg/m^3) \qquad (12.10.3)$$

Rökgasförlusten P_r beräknas som

$$P_r=\rho \cdot q_{luft} \cdot (h_2-h_1) \qquad (W) \qquad (12.10.4)$$

Värmelast v1 beräknas då som:

$$\text{Värmelast } v_1 = \text{Tillförd gaseffekt} + 0,9 \cdot \text{tillförd elenergi} - P_r \qquad (12.10.5)$$

Värmelast v2 innebär att man beräknar hur mycket värmeavgivning som sker från ugnarna i form av konvektion och strålning samt hur mycket värmeenergi burkarna och printerugnarnas pinkedjor drar med sig ut ur pannan.

För att beräkna ugnsytans värmeavgivning används följande formel:

$$P_{konv}=A \cdot \alpha \cdot (T_L - T_y) \qquad (W) \qquad (12.10.6)$$

A	Ugnsarea (m^2)
α	10 (W/m^2K)
T_y	Ugnens yttemperatur (°C)

Värmeeffekten som burkar och pinkedjor belastar lokalen med beräknas med effekformeln:

$$P=m \cdot c_p \cdot \Delta T \qquad (W) \qquad (12.10.7)$$

P	Effekt (W)
m	Massflöde (kg/s)
C_p	Värmekapacitet, t.ex. 890 för aluminium och 460 för stål, (J/kgK)
ΔT	Differanstemperatur, före och efter ugn (°C)

Fuktigheten i washernas rökgaser beror dels på hur mycket vatten det finns i förbränningsluften dels på hur mycket vatten burkarna för med sig in i ugnen. För att få reda på förbränningsluftens totala vatteninnehåll så har våta burkar tagna precis före ugnen och torra burkar efter ugnen vägts på en våg. Differansen mellan dessa är det vatten som förångas och åker med ut i rökgaserna. I tabell 12.10.1 visas resultaten från genomförd vägning. Mängden avdunstat vatten tillsammans med luftens vatteninnehåll relaterat till rökgasens massflöde ger rökgasernas totala vatteninnehåll samt möjliggör en beräkning av rökgasens energiinnehåll med hänsyn tagen till vattnet från burkarna.

Tabell 12.10.1. Uppmätt vattenmängd in i washer ugn.

Ugn		Vikt på burkar (g)					
Burkstorlek		Burk 1	Burk 2	Burk 3	Burk 4	Burk 5	Medel
Washer 1 50 cl	Våt burk	16,02	15,88	15,48	15,65	15,28	15,66
	Torr burk	13,52	13,35	13,36	13,35	13,36	13,39
	Vatten	2,50	2,53	2,12	2,3	1,92	2,27
Washer 2 50 cl	Våt burk	14,93	14,78	14,76	15,04	14,91	14,88
	Torr burk	13,38	13,39	13,37	13,26	13,36	13,35
	Vatten	1,54	1,4	1,39	1,78	1,55	1,53
Washer 3 33 cl	Våt burk	11,74	11,46	11,51	11,48	11,80	11,6
	Torr burk	10,49	10,23	10,24	10,49	10,5	10,39
	Vatten	1,25	1,23	1,27	0,99	1,3	1,21
Washer 4 50 cl	Våt burk	15,56	15,90	15,84	15,59	15,68	15,71
	Torr burk	13,45	13,77	13,80	13,77	13,77	13,71
	Vatten	2,11	2,13	2,04	1,82	1,91	2,00

12.10.2.2 Washerugnar:

Beräkningar som gjorts för washerugnarna redovisas nedan.

Indata:

		Ugn 1	Ugn2	Ugn3	Ugn4
Temperatur burk efter ugn	^oC	190	190	190	190
Ytmedeltemperatur ugn	^oC	45	45	45	45
Tillförd gaseffekt	kW	256	270	272	121
Rökgastemp	^oC	79	91	105	92
Rökgasflöde	m^3/h	5969	4881	4229	4681
Omgivningstemp	^oC	25	25	25	25
RF i lokalen	%	40	40	40	40
Xm 25° C	kg H_2O / kg luft	0,02034	0,02034	0,02034	0,02034
Vattenmängd från burk	g/burk	2,27	1,53	1,21	2
Total vattenmängd från burk	g/s	45,4	30,6	24,2	40
Total vattenmängd rökgaser	kg H_2O/kg luft	0,0355	0,0315	0,0303	0,0319
Ugnens ytterarea	m^2	73	73	73	73

Beräkningsresultat:

		Ugn1	Ugn2	Ugn3	Ugn4
Rökgasförluster	kW	233	175	150	195
Värmelast v1	kW	23	95	122	-74
Värmeeffekt burk	kW	44	44	44	44
Ugnens värmeavgivning	kW	15	15	15	15
Värmelast v2	kW	59	59	59	59

12.10.2.3 Printerugnar:

Beräkningar som gjorts för printerugnarna redovisas nedan.

Indata:

		Ugn 1	Ugn2	Ugn3	Ugn4
Temperatur burk efter ugn	^oC	150	180	190	190
Ytmedeltemperatur ugn	^oC	45	45	45	45
Tillförd gaseffekt	kW	304	304	304	304
Tillförd elenergi	kW	27	17	94	87
Rökgastemp	^oC	146	154	175	189
Rökgasflöde	m^3/h	5465	3075	6625	7640
Omgivningstemp	^oC	25	25	25	25
RF i lokalen	%	40	40	40	40
Xm 25° C	kg H_2O / kg luft	0,02034	0,02034	0,02034	0,02034
Ugnens ytter area	m^2	131	101	131	131
Pinnkedjans temp utlopp	^oC	140	150	150	160
Pinnkedjans temp inlopp	^oC	130	130	127	135

Beräkningsresultat:

		Ugn1	Ugn2	Ugn3	Ugn4
Rökgasförluster	kW	182	106	250	301
Värmelast v1	kW	146	213	139	81
Värmeeffekt burk	kW	33	41	44	44
Ugnens värmeavgivning	kW	26	20	26	26
Pinkedjans värmebelastn.	kW	22	44	50	55
Värmelast v2	kW	81	101	120	125

12.10.2.4 IC-ugnar

Beräkningar som gjorts för IC-ugnarna redovisas nedan.

Indata:

		Ugn 1	Ugn2	Ugn3	Ugn4
Temperatur burk efter ugn	^oC	190	190	190	190
Ytmedeltemperatur ugn	^oC	40	30	40	30
Tillförd gaseffekt	kW	182	227	182	227
Tillförd elenergi	kW	32	22	30	35
Rökgastemp	^oC	155	169	167	161
Rökgasflöde	m^3/h	7544	6209	4769	5074
Omgivningstemp	^oC	25	25	25	25
RF i lokalen	% kg H_2O / kg luft	40	40	40	40
Xm 25° C	kg H_2O / kg luft	0,02034	0,02034	0,02034	0,02034
Ugnens ytterarea	m^2	104	142	104	142

Beräkningsresultat:

		Ugn1	Ugn2	Ugn3	Ugn4
Rökgasförluster	kw	265	231	176	183
Värmelast v1	kw	-56	16	33	76
Värmeeffekt burk	kw	44	44	44	44
Ugnens värmeavgivning	kw	15	7	15	7
Stålband uppskattad effekt	kw	20		20	
Värmelast v2	kw	79	51	79	51

12.10.2.5 Värmeavgivning från övriga processdelar och försörjningssystem

Bodymakernas totala eleffekt per linje ligger runt 310 kW det vill säga ca 44 kw per bodymaker. Energiåtgången, arbetet, för att ”deformera en kopp till en burk i bodymakern kan grovt beräknas enligt följande:

För att få en uppfattning om hur mycket energi det går åt för omformningen av aluminiumplåten i bodymakern, utförs en beräkning av hur mycket arbete det teoretiskt krävs för att deformera ett aluminiumblock med måtten a, b och c i c riktning till en tredjedel av dess ursprungliga tjocklek. Anledningen till att vi valt att töja plåten till en tredjedel av sin ursprungliga tjocklek är för att så sker med den aluminiumplåt man tillverkar burkarna med. Deformationen sker genom töjning. Genom att räkna ut hur mycket arbete det åtgår att bearbeta aluminium kan man sätta det i relation till den mängd burk som produceras per sekund och räkna om det till arbete per sekund dvs. effekt.

$$W = {}_1\int^f (T_x \cdot a \cdot b/f) \cdot c \, df \qquad (Nm) \qquad (12.10.8)$$

$$W = T_x \; a \; b \; c \; \ln(f) \quad (Nm)$$

W arbete (Nm)

T_x Plasticering (Alu 100) (MPa)

Vid ett burkflöde på 20 burkar per sekund och linje ger det ett volymflöde på:

Volymflöde burk = (20·0,015 kg) / 2700 = 0,0001 m^3/s

Energiåtgången för att deformera dessa burkar blir då

$Effekt_{burk/s}$ = (10^8 J/m^3 · 0,0001 m^3/s * ln(3)) = 10 kJ/s = 11 kW

Effekt per bodymaker = 10 kW / 7 st = 1,6 kW

Detta innebär att av den tillförda effekten på 44 kW har 1,6 kW lagrats som deformations arbete. Resterande mängd är förluster i form av friktion etc. Denna mängd har övergått till värme. Viss del av värmen leds direkt bort via punktutsugen och via dragoljan. En del hamnar i lokalen som värme. Utifrån mätningar på luftflödet och lufttemperaturen från linje 3:s utsug har värmebortledningen via punktutsug beräknats:

Temp i lokalen = 25 ^oC

RF = 40 %

Temp i utsug = 29,5 ^oC

Totalt luftflöde utsug = 7 273 m^3/h

RF = 100%

$$P_{luft} = \rho \cdot q_{luft} \cdot (h_{luften} - h_{utsug}) \qquad (kW) \qquad (12.10.9)$$

P_{luft}=1,16 kg/m3 (vid 29,5 ^oC) · (7273/3600) m^3/s· 56 kJ/kg = 170 kW

Detta innebär att utöver de 10 kW per linje som åtgår i arbete och vilket lagras i burken så bortleds 170 kW värme per linje från lokalen via punktutsug. Resterande mängd värme, 310-170-10= 130 kW per linje hamnar antingen i lokalen som värme eller bortleds via dragoljan.

Mätningar har gjorts på bodymakerns dragoljan. Dragoljan går i ett cirkulerande system och består till största delen av vatten. Mätning av temperatur före och efter på fyra bodymakers samt flödet över dem har mätts. Resultaten sammanställs i tabell 12.10.2. Den bortledda värmeeffekten från bodymakern beräknas med formeln 12.10.7.

Tabell 12.10.2. Sammanställning av bortledd värme från bodymakerna via dragoljor.

Bodymaker	Flöde l/min	Tin/Tut	Värmeeffekt (kW)
21	52	39,9/44,4	16
26	60	39,7/44,6	20
41	51	41,2/45,5	15
46	53	42/45,6	13
Medeleffekt			16

Detta skulle i sådana fall innebära att den totala värmeavgivningen från bodymakern per linje till lokalen blir 310 – 170 – 7·16 = 28 kW. Total värmebelastning från bodymakerna uppgår till ca 110 kW.

Resultatet innehåller många osäkerhetsfaktorer dels i form av att den relativa fuktigheten på den utsugna luften skattats till 100 %. Mätning av luften är inte möjlig då luftströmmen även innehåller vätskepartiklar. Kylningen av dragoljan är något oklar, det finns inget specifikt kylsystem av dragoljan så var värmeenergin tar vägen är oklar. Filteranläggningen är placerad i produktionshallen och den bortförda värmen från bodymakerna borde då återgå till produktionslokalens luft då anläggningen inte kyls separat.

Ugnarnas värmeavgivning till lokalen har redovisats i föregående kapitel och bodymakernas värmebelastning redovisas ovan. Resterande maskindelars bidrag till uppvärmning redovisas nedan i tabell 12.10.3 och 12.10.4. De baseras på ett antagande att 90 % av tillförd elenergi övergår till värme. De maskindelar som anges i tabellen är endast de som saknar annan kylning än lokalluft och som inte har separata utsug till omgivningen. Värmelasten från övrigt process antas vara 50 % av den totala effekten på 1 250 kW, dvs. ca 625 kW övergår till värme i lokalen.

Tabell 12.10.3. Värmelast från maskiner i processen.

Processdel	Linje 1 (kW)	Linje 2 (kW)	Linje 3 (kW)	Linje 4 (kW)
Printer	41	68	82	35
IC-spruta	4	5	21	5
Neckers	31	18/16	16/34	16/16
Ljustest	5	5	9	5
Summa	81	112	162	77

Tabell 12.10.4. Värmeavgivning från försörjningssystemet.

Försörjningssystemet	Effekt (Kw)
TA31	137
TA 32	125
TA 33	42
Kompressorer	130
Pressfilter	41
Centralvakuum	91
Summa	566

Tryckluftskompressorernas värmeavgivning har antagits till ca 130 kW. Kompressorerna kyls av en vätskebaserad kylkrets. Det har antagits att 10 % av den tillförda elenergin kommer ut i lokalen i form av värme från tryckluftskompressorerna och elmotorn, resterande värmeenergi kyls bort via kylkretsen.

Summering av värmelasterna görs i tabell 12.10.5. Värmelasten från ugnarna utgår från beräkningssättet värmelast v2.

Tabell 12.10.5. Summering av värmelaster.

Anläggning	Värmelast (Kw)
Washerugnar, v2	236
Printerugnar, v2	427
IC-ugnar, v2	260
Andra processmaskiner	544
Försörjningssystem	566
Övrigt process	625
Summa	2658

12.10.2.6 Värmespridare

De vakuumelevatorer som uppfattas som värmespridare är de vars fläktutblås är placerade på plan 1. Dessa är till största delen koncentrerade runt necker och IC-arean på linje 3 och 4. Resultaten från de mätningar som genomförts redovisas i tabell 12.10.6. Flödesmätningarna har där det varit möjligt gjorts i kanalen och där det inte gått att göra har luftflödet och temperaturen mätts genom att traversering över filterytan. Omgivningstemperaturen var mellan 27-29 ^{o}C.

Tabell 12.10.6. Mätresultat värmespridare, T står för traversering, K står för mätning i kanal, L för processlinje.

Vakumelevator	Flöde m3/h	Temp ^{o}C	Mätmetod
Vakumelevator ljustest övre L 2	3290	34,5	K
Vakumelevator ljustest undre L 2	2720	34,1	K
Vakumelevator Necker 1 L 2	18230	32,8	T
Vakumelevator Necker 2 L 2	11646	32,9	T
Vakumelevator ljustest L 3	8860	31,7	T
Vakumelevator Necker 2 L 3	14680	33,4	T
Vakumelevator Necker 1 L 3	18100	33,5	T
Vakumelevator ljustest L 4	26040	28,2	T
Vakumelevator Necker L 4	23820	29,5	T
Vakumelevator IC-sputa L 4	13824	31,4	K
Vakumelevator Necker emboss L 4	40134	32,2	T
Summa	181344		

Någon kontinuerlig reglering av undertrycket finns inte, utan undertrycket justeras genom att ett spjäll öppnas eller stängs manuellt. Vakuumelevatorerna suger luft från hela den yta som burkarna står på. Det innebär att de suger stor del av sin luft från de övre regionerna i lokalen som är betydligt varmare än luften i komfortzonen. Detta medför att värmeenergi tillförs komfortzonen på ett oönskat sätt samt att drivenergin som tillförs fläktarna övergår även den till värmeenergi.

För att få en uppfattning om vilken värmeeffekt värmespridarna bidrar med i komfortzonen har en värmeeffektsberäkning gjorts. Denna beräkning baseras på att medeltemperaturen i lokalen där luften tillförs är 29 °C och utifrån ekvation 12.10.9 kan luftens värmebidrag beräknas. Tillsammans med tillförd eleffekt som antas övergå till värme fås den totala värmeeffekten. Eleffekten antas vara motorns märkeffekt.

Tabell 12.10.7. Värmespridarnas bidrag till värmebelastningen i komfortzonen.

	Eleffekt (kW)	Värmeffekt (kW)	Effekt tot (kW)
Vakumelevator ljustestövre L 2	15	6	21
Vakumelevator ljustest undre L 2	15	5	20
Vakumelevator Necker 1 L 2	15	23	38
Vakumelevator Necker 2 L 2	15	15	30
Vakumelevator ljustest L 3	15	8	23
Vakumelevator Necker 2 L 3	15	22	37
Vakumelevator Necker 1 L 3	15	27	42
Vakumelevator ljustest L 4	15	-7	8
Vakumelevator Necker L 4	15	4	19
Vakumelevator IC 4	15	11	26
Vakumelevator Necker emboss L 4	20	43	63
Summa	170	158	328

Som framgår av tabellen skiftar de olika vakumelevatorernas värmebidrag kraftigt. Värmebidraget pendlar mellan 8 och 63 kW. Detta resultat tillsammans med kunskapen om vakuumelevatorernas placering är avgörande för vilka åtgärder som bör genomföras för att minska värmespridarnas påverkan i komfortzonen.

12.10.3 Kommentarer

Att beräkna värmelasten till lokalen från ugnarna genom att titta på rökgasförlusten kontra tillförd energi (värmelast v1) har visat sig vara svårt. Vid beräkning av värmelasten från t.ex. IC-ugnarna blev värmeeffekten högre i rökgasen än vad man tillför i gaseffekt till pannan vid beräkning enlig ”värmelast v1”. En anledningen till detta är att VOC:n från lösningsmedlen har visat sig fungera som bränsle i ugnen och på så vis är egentligen tillförd värmeeffekten högre än bara gaseffekten.

Detta bekräftas även utifrån rökgasanalyser där TVOC:n mätts i rökgaserna med hjälp av en FID. Preliminära resultat visar att större delen av VOC:n in i pannan i form av lösningsmedel från IC-lacken förbränns i pannan. Inte mer än 4 kg av totalt 45 kg lösningsmedel som går in i pannan per timme går ut i rökgaserna och vidare för rening. Resterande mängd förbränns i pannan och på så vis ökar den tillförda energimängden.

Att beräkna värmelasten enligt värmelast v1 kan vara lämplig i ”traditionella” pannor och inte i en pannor där man har många påverkande faktorer såsom VOC-tillskott, transportband, burkar etc.

Det har visat sig bättre att räkna värmelasten enligt värmelast v2. Det bedöms vara ett bättre sätt men kräver en större insats.

Den totala värmelasten uppskattas till ca 2 658 kW eller ca 265 W/m^2 alternativt ca 26,5 W/m^3. Antag att man blåser in luft till lokalen med en temperatur på 15 ^{o}C och att man vill hålla en temperatur i lokalen på 25 ^{o}C. Det skulle då krävas 2 658 kW / (1,01 kJ/kgK·10 K·1,2 kg/m^3) = ca 220 m^3/s alt. ca 790 000 m^3/h 15 gradig luft. Idag tillförs 500 000 m^3/h vid sommaren med en högre inblåsningstemperatur än 15 ^{o}C, detta innebär att lokaltemperaturen hittar en högre jämviktstemperatur än den önskade 25 ^{o}C. Medeltemperaturökningen blir vid det flödet 16 ^{o}C högre än inblåsningstemperaturen.

Värmespridarna ”rundpumpar” varm luft i lokalen. Den varma luften som stigit upp till mellanplan sugs till viss del tillbaka och ökar temperaturen i komfortzonen. En av elevatorerna, vakumelevator IC-spruta L 4, sprider även VOC då insugningsluften dras förbi blöta burkar och VOC:s avgår.

För att kunna minska temperaturen i lokalen måste värmekällorna bortledas så tidigt som möjligt från lokalen.

13 Sammanfattande analys av anläggning och förslag till åtgärder.

Utifrån de mätdata som tagits fram samt saker som observerats vid inventeringen av anläggningen kan man utläsa flera saker. Här nedan görs en kort sammanfattning av anläggningen samt förslag till åtgärder.

13.1 VOC, värmekällor och aerosoler

13.1.1 Sammanfattande analys

Ur arbetsmiljösynpunkt är föroreningskällor av aerosoler, VOC och värme intressant att urskilja. En av industriventilationens främsta uppgifter är att hålla föroreningskoncentrationen i luften i lokalen på en lämplig nivå samt se till att den bortledda förorenade luften kan renas.

Vad gäller VOC framgår det utifrån Tenax och PID mätningar att förhöjda halter av VOC förekommer kring IC-areorna. Förekomsten av amylalkohol, vilket endast finns i IC-lacken, i provtagningspunkterna kring IC-arean och dess närmaste omgivning visar att föroreningen till stor del kommer från IC-arean (se diagrammen 12.9.1 och 12.9.4). Föroreningen håller sig ganska samlad i bakre halvan av lokalen.

Vid närstudier av IC-arean på våning 1, där man med hjälp av en PID har gått runt olika processmaskiner och mätt TVOC-halten, framgår det att höga TVOC-koncentrationerna förekommer på transportbanden mellan IC-sprutor och IC-ugnar. Högsta halterna har uppmätts intill transportband mellan IC-spruta linje 2 och IC-ugn linje 2 och därefter är det linje 4. Dessa två transportband är av samma typ. Burkarna står med insidan exponerad mot omgivningen på ett rullband och matas in i ugnarna.

Transporten mellan IC-sprutor och IC-ugnar linje 1 och 3 sker med linbanor. Linbanorna är konstruerade så att de till viss del fungerar som lock på burkarna vilket medför en mindre exponering av burkens lackerade insida gentemot omgivningen. Detta innebär mindre utsläpp av TVOC dvs. också lägre halter av TVOC kring banorna. Halterna kring linje 1 och 3 är som högst vid anslutning till inmatningen till ugnarna, där övergår man från linbanor till transportband där burkarnas lackerade insida är öppna mot omgivningen.

Även förhöjda halter finns kring printers. Själva färgkistor intill printers utgör inte den största VOC-källan kring printern vilket man lätt kan tro, dessa har (när dom används) relativt effektiva punktutsug. Däremot är OV-lack aggregaten och transporten från printern till ugnen större utsläppskällor av VOC. OV-lack aggregaten är försedda med utsug men eftersom skydds- och avskärmningsplåtar tagits bort helt eller ersatts av galler, hjälper inte OV-lack aggregatets utsug något nämnvärt. Personal har påpekat att man även upplever stark lukt av lösningsmedel från skrotbaljorna intill printern.

De förhöjda TVOC koncentrationerna kring printerugnarnas in- och utmatningar orsakas dels av meddragning från produkten och svårigheter att justera tryckbalansen i ugnen dels av blåsplåtar som ökar luftrörelserna kring burkarna och därmed ökar föroreningsspridningen till lokalen. Printerugn 2 har mer problem än övriga ugnar med att rökgaser följer med ut från ugnens utmatningsöppning.

Problem med aerosoler i form av dragoljor i luften finns i bodymakerarean. Det är en våt process där vätskedroppar dras ut från inkapslingarna. Inkapslingarna har en hel del brister i form av stora öppningar och låga utsugsflöden.

Problem med aerosoler förekommer även intill IC-arean. Det blir ett tunt lager av lackrester efter en tid på maskiner och rör kring IC-arean. Problemen har minskat efter en ombyggnad där man ökat utsugsmängderna kring själva lackeringen och gjort en inkapsling av en bana. Det finns andra åtgärder att göra för att minska problemen med aerosolerna vilka beskrivs under avsnitt 13.1.2.3.

Värmeproblem har man mer eller mindre över hela fabriken. Mellan 25 och 30 °C är en normal temperatur på plan 1. Det har visat sig att flera vakuumelevatorer fungerar som värme- och VOC-spridare då dessa dels suger varm förorenad luft från taket och dels VOC från burkarna på elevatorn och blåser ut det i arbetsarean. VOC-problematiken gäller främst elevatorn vid IC-spruta 4.

Bodymakerns elmotorer är placerade i toppen och motorernas värme stiger upp mot taket men dragoljor, varma burkar och det till viss del öppna cirkulationssystemet bidrar till uppvärmningen.

Ugnarna utgör också stora värmelaster, se avsnitt 12.10.2.2-12.10.2.4. Vid ugnsutmatningar avger de varma burkarna sin värme till omgivningen. Pin-kedjor, transportband från ugnen och själva ugnens yttre yta utgör andra större värmekällor. Vissa typer av transportband som används i de nyare IC-ugnarna tar inte upp värme i någon större utsträckning.

Andra värmekällor är tryckluftskompressorer, washers, diverse större och mindre motordrifter, vakuumpumpar och centralvakuumsystem.

13.1.2 Förslag till åtgärder

13.1.2.1 VOC

Förutom förbättrade tekniska åtgärder kan man för att sänka VOC-koncentrationerna i lokalen söka efter alternativ till traditionell tryckning på burkarna och titta efter andra typer av färger. Detta skulle kunna visa sig vara effektiva alternativ för att sänka VOC-koncentrationerna men det är något som inte behandlas i denna rapport.

Nedan följer flera förslag till åtgärder för att minska föroreningslasterna i lokalen.

1. Inkapsling av banor och processteg

Kapsla in så mycket som möjligt av tryck- och lackeringsprocesser samt transportbanden till ugnarna. Då kan man minska VOC-halterna markant i lokalen. Med effektiva utsug och väldesignade inkapslingar är det många gånger möjligt att nå tillräckliga VOC-halter för att reningsanläggningen skulle kunna rena den bortförda luften bra.

Ett test har utförts med en provisorisk inkapsling mellan IC-spruta och IC-ugn på linje 2 vilken har visat sig vara effektiv. Liknande inkapsling kan göras på linje 4 samt fortsatt utbyggnad längs linje 2 där inkapslingen kan gå hela vägen fram mot ugnens inmatning.

En sannolikt bra lösning man bör överväga vid IC-ugn 2 och 4 är att låta ugnarnas primärluftsfläktar fungera som utsugsfläktar och låta de suga luft från inkapslingen. På så vis

kommer den förorenade luften till befintlig reningsanlägning utan att denna belastas med ytterligare gasflöden. Föroreningarna kommer även att till viss del förbrännas direkt i ugnen.

Mellan IC-sprutor och IC-ugnarna på linje 1 och 3 kan de vertikala transporttornen kapslas in med t.ex. någon typ av rullgardin och ett utsug placeras i tornens topp. Det är också möjligt att kapsla in transporten in till IC-ugn 3.

Transporten mellan IC-spruta 1 och IC-ugn sker i golvnivå på vån 2. Den består av två banor efter lintransportören. Den längre banan är kringbyggd och försvårar därför luftväxling mellan burkarnas blöta insida och omgivningen medan den kortare banan saknar omgivande plåtar vilket medför en ökad luftväxling och VOC avgång. Transportsträckan är kort men VOC-halterna kring banan är höga. En komplettering med plåtar hade minskat turbulensen i burken och därmed avgången av VOC.

Förbättrade utsug/inkapslingar på IC-sprutorna. Detta är en åtgärd som till viss del genomförts sedan detta projekt startade. Ur säkerhetssynpunkt byggdes det punktutsugssystem som fanns vid lackeringssprutorna om, med ökade flöden som följd. Därmed fick man en ökad uppfångning av lackrester och VOC. Ytterligare förbättring kan man få genom att kapsla in sprutorna helt eller delvis. Idag finns det ett fåtal sprutor på linje 2 som är inkapslade.

Strax före IC-ugn 3 svängs burkarna, från att ha transporterats liggande till att stå upprätt. Vid denna manöver används bl.a. tryckluft som blåser på burkarna för att se till så inga stopp sker på vägen. Luftstrålen från tryckluften orsakar höga halter av VOC kring inmatningen. Antingen bör tryckluften ersättas med något annat t.ex. vibratorer alternativt skall man kapsla in inmatningen mer och rikta om eller minska munstycket/mängden luft.

2. Stänga av eller ändra tilluftsdon

Ett deplacerande don med höga lufthastigheter intill IC-ugn 1 blåser över de blöta burkarna vilket bidrar till en ökad spridning av VOC. Detta don kan antingen riktas om eller stängas helt.

3. Punktutsug

De fördjupade mätningarna, punktmätningar, visar att höga halter VOC förekommer på framförallt IC-spruta 2:s baksida. Där finns en springa på mitten av maskinen som relativt enkelt skulle kunna förses med en utsugsspalt.

4. Minska utsläpp av VOC:s till lokalen från vakuumelevatorer

VOC-spridning från vakumelevatorer sker främst från vakuumelevatorerna efter IC-spruta 1 och 4. Vakuumelevatorn på linje 4 har som en första åtgärd förts ut på taket. Den stora vinsten med det är att den förorenade luften inte släpps ut i lokalen och exponerar personalen. TVOC-koncentrationen är relativt låg då luftflödet genom elevatorn är högt vilket späder ut föroreningen. De relativt måttliga föroreningskoncentrationerna kan göra luften svårare att rena.

VOC från vakuumelevatorn efter IC-spruta 1 sprids i och för sig till lokalen men föroreningen hamnar utanför vistelsezonen på våning 2 då utblåset är riktat upp mot taket och luften är övertempererad. Vill man kan luften föras ut genom taket på samma sätt som på linje 4. Då personaltätheten är låg på våning 2 och det finns normalt ingen personal i den delen av lokalen så har åtgärden bedömts vara lågt prioriterad.

Transporten mellan printer 4 och printerugnen sker relativt rakt men på mellanplan är ett utblås från en vakuumelevator riktad så att en luftstråle blåser rakt på pin-kedjan vilket ökar luftrörelserna kring den förorenande transporten. Den bästa lösningen vore en avskärmning av något slag, alternativt att rikta om elevatorns utblås.

5. Bottenutsug skrotbaljor

Intill printerna finns skrotbaljor med blöt kasserad burk från printerna. Personalen har påtalat stark lukt av lösningsmedel och punktmätningar visar att skrotbaljorna utgör en VOC-källa. Föroreningskällans storlek bedöms vara relativt liten men i och med närheten till personalen upplever man den som obehaglig. Genom att komplettera skrotbaljorna med ett bottenutsug kan emissionerna minska betydligt. Denna åtgärd har prövats på en av baljorna.

Ett problem som kvarstår är när burken skjuts med tryckluft från pin-kedjan till skrotbaljan. Då blir luftflödet och impulsen på luften så hög att bottenutsuget inte klarar av att ta hand om det vilket ger en tillfällig höjning av VOC-halten intill personalen. Ett annat problem är att designa anslutningen till utsuget så att det håller för den tuffa behandlingen som skrotbaljorna utsätts för.

6. inkapsling på OV-aggregat

Punktmätningar kring printern visar också att TVOC-halterna är högst intill OV-lackaggregaten och längs transporten från printern till ugnen. Intill färgkistorna är halterna måttliga vilket tyder på att de punktutsug som finns där fungerar väl samt att färgerna verkar avge mindre föroreningar än lackerna.

Man bör montera täta inkapslingar på OV-aggregaten så att de punktutsug som finns där kan verka effektivt. Idag gör det ingen större nytta i och med att det får luft överallt ifrån och inte bara från OV-aggregatet.

7. Vindskydd för att avskärma pinkedjor

Man kan sätta upp vindskydd kring pin-kedjor, för att på så vis föroreningsmässigt skärma av de blöta burkarna på pin-kedjorna från vistelsezonen. Pin-kedjorna omges idag av galler eller hålplåtar på våning 1 och dessa skulle kunna bytas ut/kompletteras med täta plåtar alternativt plexiglas. På så vis minskas VOC-emissionerna i vistelsezonen.

8. Minska luftrörelser kring printers

Vissa tilluftsdon, t.ex. mellan printer 1:1 och 1:2 blåser luft förbi printern ut till arbetsarean. Genom att stänga av donet och komplettera med ventilation av utjämnande typ, där man skapar ett lokalt klimat, kan VOC-koncentrationerna i arbetsarean minska. Denna åtgärd fungerar sannolikt väl vid både IC-arean och printer-arean. Åtgärden minskar inte föroreningslasten totalt i byggnaden utan lokalt vid arbetsplatsen.

9. Tryckstyrning av ugn samt punktutsug vid utmatning

Avgaser i ugnarna dras med burkarna ut till lokalen. Man har problem med att balansera trycket i ugnarna av olika anledningar. En reglering av ugnstrycket tillsammans med någon typ av punktutsug vid utmatning för att fånga upp eventuella rökgaser hade kunnat minska föroreningslasten. Inledande försök har gjorts att försöka hålla trycket i lokalen konstant för att på så vis kunna justera ugnarna efter ett givet yttre tryck.

13.1.2.2 Värmekällor

1. Optimera punktutsug och inkapslingar

Att effektivisera utsug och inkapslingar hos bodymakerna minskar både värmelaster och aerosoler till lokalen. Genom att minska inkapslingarnas öppningsareor samt omfördela luftflödena från huven till inkapslingen hos bodymakern kan mer värmeenergi och aerosoler bortledas. Huven bör förlängas mot trimmern samt tätas mot inkapslingsväggen. Det har gjorts ombyggnader av några av bodymakerna och det planeras flera.

2. Förvärma luft med hjälp av ugnsutmatning

Skärma av ugnsutmatningarna och använd dessa som kylzoner. Genom att använda brännarnas primärluftfläktar som utsugsfläktar kommer luften att vara förvärmd vilket då både minskar värmelasten och naturgasanvändningen. Denna åtgärd är lämplig på alla IC- och washer-ugnar.

3. Anslut printers till centralvakuum

Separata vakuumfläktar som lokalt alstrar värme är placerade intill printerarean. I mån av kapacitet i det centrala vakuumsystemet kan de lokala vakuumfläktarna tas bort och printerna anslutas till centralvakuumet istället.

4. Ändra utblås från vakuumelevatorer

Vakuumelevatorernas utblås bör inte vara placerade i vistelsezonen. Antingen kan man vända utblåsningen så att den sker uppåt eller i vissa fall kan man leda ut den över tak. Fördelen med att leda ut utblåset via taket är att man kan minska allmänventilationen med motsvarande mängd luft och på så vis även minska energibehovet. Vakuumelevatorerna är till stor del placerade i närheten av befintliga frånluftsdon och skulle därför enkelt kunna ersätta delar av frånluftsanläggningen. En påbörjad åtgärd för detta är bortledning av Dinon, vakuumelevatorn efter IC-ugn 2 samt vakuumelevatorerna före IC-ugn 4. Dessa elevatorer hade tidigare sina utblås i vistelsezonen och belastade den med såväl värme som föroreningar då de dels suger varm förorenad luft från taket och dels fångar in VOC från burkarna på elevatorn.

5. Optimera bodymakerna

Bodymakerareans värmelaster kommer ut i lokalen dels via varma burkar dels genom värmeavgivning från maskinerna. Bodymakerns elmotorer är placerade i toppen och motorernas värme stiger upp mot taket men dragoljor, varma burkar, och det till viss öppna cirkulationssystemet som dragoljan cirkulerar i bidrar till uppvärmningen. Genom att optimera utsug och inkapsling kan värmekällan bortledas mer effektivt.

6. Minska ugnarnas värmelast

Ugnarna utgör stora värmelaster. Vid ugnsutmatningar avger de varma burkarna sin värme till omgivningen. Pin-kedjor, transportband från ugnen och själva ungsytan utgör de större värmekällorna. Vissa typer av transportband som används i de nyare IC-ugnarna tar inte upp värme i någon större utsträckning men stålband och pin-kedjor för ut betydande mängder värme till omgivningen. När man byter band på ugnarna kan man försöka använda band med låg värmeupptagningsförmåga. Att tilläggsisolera de äldre ugnarna hade minskat värmeavgivningen till omgivningen. Detta bedöms dock vara kostsamt och komplicerat.

7. Effektivisera tryckluftsanvändningen

En effektivare tryckluftsanvändning minskar värmelasten från tryckluftsanläggningen i motsvarande grad som anläggningens effekt minskar. Det har genomförts flera effektiviserande åtgärder vilket minskat tryckluftsanvändningen med över 30 % och därmed även tryckluftens värmelast i motsvarande grad.

8. Hantering av trasor etc.

Förbrukade trasor kastas i speciella lockförsedda korgar. Dessa lock plockas allt som ofta bort för att det enklare skall gå att kasta trasorna i korgarna. Detta ökar spridningen av VOC. Den enklaste åtgärden är att göra så att locken ej går att tas bort. Ett dyrare alternativ är att göra fasta platser för korgarna med utsug. Denna problematik gäller även öppna färgburkar som tidvis står lite varstans i printerarean.

9 Förbättrade utsug vid arbetsbänk

Rengöring av vissa delar till printern sker på intilliggande arbetsbänk. Denna har ett, oftast trasigt punktutsug, som mest är till besvär. Genom att fälla in ett bottenutsug i arbetsbänken där rengöringen sker kan exponeringen av VOC:s vid rengöring sänkas betydligt. Man kan då även låta trasor som används ligga på det utan att föroreningar som avdunstar från trasan hamnar i lokalen.

13.1.2.3 Aerosoler

1. Förbättra inkapsling och utsug på bodymakers

Föroreningar i form av vätskedroppar kommer främst från bodymakern. Inkapslingen som skall hindra vätskedroppar från dragoljan att hamna i lokalen har flera brister. Inkapslingen har bland annat onödigt stora öppningar vilket innebär ökade risker för läckage och ökade utsugsbehov.

Huven som placerats mellan inkapsling och trimmern är något underdimensionerad och sluter inte tätt mot inkapslingen vilket innebär att det blir ett läckage till omgivningen mellan utmatning och huv. Huvens bredd är tillräcklig men den skulle behöva förlängas till att följa med en bit ned mot trimmern.

Utsugsflöden från inkapsling och huv är snedfördelat. Huven har högst utsugsflöden. Huven skulle klara sig, efter en ombyggnad, med betydligt lägre flöde. Inkapslingen är i behov av högre utsugskapacitet vilket skulle kunna frigöras från huven. Även utsugsrören är i minsta laget på inkapslingen.

Genom att minimera läckareorna på inkapsling, förlänga befintlig huv och omfördela utsugsflödet mellan huv och inkapsling kan man minska mängden aerosoler i lokalen.

2. Kompletterande utsug IC-spruta

En annan aerosolkälla är IC-sprutorna. Dessa har kompletterats med förbättrade utsug i form av ökade flöden men inkapsling av själva sprutanläggningen hade varit bra. Det finns inkapslingar gjorda på ett fåtal sprutanläggningar vid IC 2. En full utbyggnad av inkapsling hade sannolikt minskat mängden aerosoler och VOC till omgivningen.

13.2 Elenergianvändning

13.2.1 Sammanfattande analys

El användningen är relativt jämt fördelat mellan processen (36 %) och försörjningssystemen (41 %). Kontor (2 %) och lager (3 %) utgör endast en mindre del av den totala energianvändningen. 18 % av elenergianvändningen har inte gott att exakt härleda till någon förbrukare. Sannolikt härrör sig dessa till process- och försörjningssystemen då vissa kring-maskiner såsom vakuumelevatorer etc. sannolikt har egna matningar från ställverket till undercentraler som inte uppmätts.

De största enskilda energianvändaren är tryckluftskompressorerna och bodymakers.

Eleffektbehovet mellan linjerna skiljer sig i vissa processteg. Största skillnaderna finns vid printerugnarna. Även mellan washerugnar och IC-sprutor skiljer det sig mellan linjerna.

I avsnitt 12.1 har det mer detaljerat redogjorts för hur elenergin fördelar sig hos Rexam.

13.2.2 Förslag till åtgärder

1. Effektivare tryckluftsanvändning

Den största elenergianvändaren är tryckluftskompressorerna. En djupare analys av tryckluftsanvändningen och hur den fördelar sig har resulterat i flera åtgärdsförslag varav vissa har genomförts och vissa planeras att genomföras. Nedan följer några exempel på möjliga åtgärder:

> En ombyggnad av de största tryckluftsförbrukarna, neckrarna, till att bli snålblåsande har reducerat det totala tryckluftsbehovet kraftigt. Även rutiner för läckagesökning har införts.
>
> En annan åtgärd är behovsstyrd tryckluft vilket innebär att tryckluftillförseln till enskilda maskiner stängs av när det inte finns något behov av tryckluft. Anläggningen planeras kompletteras med detta inom kort.
>
> Förbättrat styrsystem för kompressorvärmen, vilket ger snävare temperaturintervall, har man nyligen investerat i. En ytterligare komplettering till frekvensstyrd kompressor skulle kunna göra tryckstyrningen snävare.
>
> De flesta maskiner kräver inte så höga tryck som man har i nätet, försök att sänka trycket och att utnyttja boosters har genomförts men vissa delar av anläggningen är underdimensionerad för att klara av att ge tillräckligt flöde och tryck. En kompletterande ringmatning av tryckluft till pallpak och eventuellt ut till Samhall skulle möjliggöra ytterligare trycksänkningar i nätet.
>
> Ackumuleringen är bristfällig i nätet vilket ger trycksänkningar vid snabba uttag. Huruvida en ökad ackumulering är nödvändig eller ej efter ombyggnad av de stora luftförbrukarna kvarstår att utreda.

2. Behovsstyrda cirkulationsfläktar printer ugn 3 och 4

Det finns två olika typer av printerugnar. Den nyare typen som installerats på linje 3 och 4 är de som har högst eleffektbehov. Skillnaden på ugnarna är främst luftcirkulationen i ugnarna.

Genom att varvtalsreglera cirkulationsfläktarna kan man minska elenergibehovet utan att man sannolikt för den delen äventyrar kvaliteten på dekoren. Ugnarna är designade för större burkflöde än vad som går igenom. Det innebär att fläktarna cirkulerar för maximalt produktionsflöde när man egentligen kör betydligt lägre burkflöde genom ugnen.

3. Dokumetera printernas strömnivå

Skillnaderna i eleffekt mellan printerna kan bero på olika inställda produktionshastigheter vid mättillfällena. Detta bör klargöras. Andra saker som påverkar effektförbrukningen är hur stort tryck som ställts in mellan tryckvalsarna och spindelhjulet. Även lagerproblem på löphjul för pin-kedjor samt kedjans längd påverkar effektbehovet. Pin-kedjans längd går inte att göra något åt men tidiga lagerproblem och för höga tryckinställningar kan identifieras genom att man dokumenterar strömnivån på printers vid en referenshastighet och ser om den skiljer sig mot tidigare uppmätta effekter.

4. Anslut printers till centralvakuum

Intill några av printrarna finns det separata vakuumpumpar. Dessa pumpar kan till viss del tas bort och anslutas till det centrala vakuumsystemet.

5. Styrning av centrala vakuumanläggningen

Det saknas kontinuerlig styrning och övervaking av vakuumtrycket. Genom att frekvensreglera vakuumpumpen till att hålla önskat undertryck, istället för som idag, att man en gång ställer in önskat tryck med ett spjäll, minskar energianvändningen.

6. Minskade luftflöden

Minskade luftflöden och tryckfall genom ventilationsanläggning resulterar i minskat energibehov till ventilationsanläggningen. I avsnittet 13.4.2 föreslås sådana åtgärder.

13.3 Naturgasanvändning

13.3.1 Sammanfattande analys

Naturgasanvändningen har beskrivits mer i detalj under rubriken 12.2 Naturgas. Naturgasen används i huvudsak av processugnarna. Resterande mängd gas används för uppvärmning och för rökgasrening. Den största skillnaden mellan linjernas processteg är washerugn 4 jämfört med de andra washerna. Washerugn 4 utmärker sig med mindre än halva effektbehovet jämfört med resterande ugnar. Skillnaderna mellan IC-ugnarna härrör från vilken typ av ugn det är. De äldre IC-ugnarna 1 och 3 har lägre effektbehov än de modernare IC-ugnarna 2 och 4.

I början av projektet använde man en ångpanna för uppvärmning av washerbaden. Detta system har byggts om så att ångpannan har kopplats från anläggningen.

13.3.2 Förslag till åtgärder

1. Ombyggnad av kompressorkrets

Värme från tryckluftskompressorerna återvinns i viss grad. Den används för värmning av washers, tappvarmvatten, uppvärmning av lokalerna etc. Washerna och uppvärmningen av tilluften styrs av trevägsblandningsventiler och ger höga returtemperaturer tillbaka till kylkretsen. Genom att bygga om till tvåvägsreglering av washerna och en förbättrad reglering

för uppvärmning av lokalerna kan en ökad temperaturkvalitet uppnås vilket ökar återvinningspotentialen. Andra fördelar med ökad återvinning är minskad användning av kyltornen. Detta ger dels ekonomiska vinster i form av minskad elenergianvändning dels minskad kemikalieanvändning med de hälsofördelar det innebär.

2. Förvärma primärluften till ugnarna

Denna åtgärd har beskrivits som åtgärd 2 i avsnitt 13.1.2.2

3. Behovsstyrd rökgasfläkt

En mycket lönsam åtgärd borde vara att styra avgasfläktarna från färg- och lack-härdningsugnar på VOC-koncentration och explosionsgräns. På så vis säkerställer man ett minimalt rökgasflöde genom ugnarna och undviker olyckor. Eftersom burkflödena skiftar genom ugnen skiftar även VOC-koncentrationerna. Idag är rökgasflödet statiskt och bidrar till onödiga rökgasförluster. I tabellerna 12.10.2.2-12.10.2.4 kan man se att skillnaderna i rökgasflödena genom ugnarna skiftar en del mellan varandra beroende på hur de injusterats och vilken marginal man har.

4 Ersätt ångpanna

Värmeeffektbehovet för uppvärmning av washers uppskattas till 200 kW. För att tillgodose värmebehovet använde man sig av en ångpanna med en märkeffekt på 2,5 MW. Ångpannan var mycket överdimensionerad vilket medförde onödiga förluster samt att temperaturnivån i washerna är sådana att det egentligen inte finns behov av den temperatur som värmning med en ångpanna kan ge. Ångpannan bör därför ersättas av en vanlig mindre panna. Denna åtgärd har genomförts, det återstår dock en del ytterligare arbete att optimera anläggningen.

13.4 Ventilation, luftflöden och klimatet

13.4.1 Sammanfattande analys

Produktionslokalen har både till- och frånluft. I lokalen råder ofta en tryckobalans som orsakas av den stora temperaturskillnaden mellan ute och inne i kombination med byggnadens höjd och öppningar. Dessa faktorer bidrar till att det ofta råder undertryck i lokalen trots att tilluftflödena är högre än frånluften. Flera brandluckor på taket är öppna för att ventilera ut föroreningar från processen vilket orsakar stora luftflöden genom byggnaden utöver de som fläktarna också bidrar med.

Man har problem med intagsgallerna på tilluften som inte klarar av att avskilja regn och snö från luften utifrån. Detta medför problem med filterbankerna och påverkar trycket och kapaciteten i anläggningen.

13.4.2 Förslag till åtgärder

1. Konstant tryck i produktionslokalen relativt omgivande ytor

Balansera trycket på ventilationsanläggningen i produktionslokalen i relation till omgivande ytor. Genom att få ett balanserat tryck i lokalen kan man uppnå flera fördelar. Man undviker drag genom öppningar till utrymmen som gränsar till produktionslokalen, därmed minskar risken för produktionsstörningar för att burkar välter på grund av drag vid passage genom öppningarna. Vid ett konstant tryck optimeras också utsugsflödena genom frånluftsfläktarna då man tillgodogör sig de utsugsflöden som orsakas av processen såsom vakuumelevatorer. Detta innebär ett lägre energibehov för ventilationsanläggningen.

2. Nya intagsagaller

För att säkerställa luftflöden in i lokalen samt minska risken för problem med insugsfilter bör nya intagsgaller monteras som är dimensionerade för att leda bort vätskedroppar och snö. Man har problem idag med att filterbankerna på TA 31-33 blir blöta vid regn och fylls med snö vintertid. Detta påverkar kapaciteten negativt och ger onödigt höga tryckfall. Filtrens kvalitet påverkas sannolikt också.

3. Minimera onödiga öppningar i klimatskalet

Taket på produktionshallen har flera öppningar i form av gamla huvar som inte används längre. Genom att stänga till dessa öppningarna minskar det okontrollerbara läckaget och möjligheterna att nå ett balanserat tryck i produktionslokalen ökar. Detta projekt har utförts.

4. Förbättrat lokalt utsug i färgrum

I det rum där tryckfärgens nyans bryts till saknades det en ordentlig ventilation. Mycket höga halter av TVOC uppmättes vid tester. Rummet har kompletterats med ett enklare punktutsug samt att gamla trasor inte förvaras i rummet utan i en container utanför.

5. Skapa lokala klimat

Det kommer alltid att finnas större värmelaster i anläggningen som påverkar temperaturen på arbetsplatsen och ventilationens funktion. Som ett komplement till arbetet med att tidigt fånga in värmelasterna kan man skapa bra lokalt klimat kring arbetsplatsen. Det går att skapa lokala klimat till exempel genom att använda horisontella takplacerade textildon över arbetsarean. Detta håller på att byggas ut längs med bodymakerarean med goda erfarenheter så här långt.

Ett första mindre lyckat test gjordes längs IC-area 3 och 4. Denna ombyggnad byggde på kastdon vilket fick till följd att man tidvis upplever drag på arbetsplatsen.

14 Utvärdering, genomförande och analys av åtgärder

Rapportens tredje del redogör för hur man kan gå tillväga efter det att man sett vilka möjligheter som finns för en effektivare energianvändning och förbättringar av den inre och yttre miljön. Här redogörs dels för hur man fördjupat bedömer de olika åtgärderna och svårigheterna med att prioritera dem dels genomförandet av åtgärderna och hur man tekniskt kan utvärdera den.

Det första kapitlet i denna del av rapporten, kapitel 15, ”Utvärdering av åtgärdsförslag”, beskriver i allmänna ordalag några av de svårigheter man kan drabbas av när man tar fram åtgärdsförslag. I kapitlet presenteras även en mall för att kommunicera åtgärdsförslagen så att de är lätta att förstå. Att kunna presentera åtgärder på ett sakligt och begripligt sätt är helt avgörande för om man dels skall kunna få med sig medarbetarna i arbetet dels kunna redogöra för fördelarna med åtgärderna och få finansiering för dem av beslutsfattarna.

I kapitel 15 berörs även hur arbetet med att prioritera åtgärderna går till samt erfarenheter vid genomförandet av åtgärder.

I kapitel 16, ”Genomförande och utvärdering av åtgärder”, beskrivs och utvärderas en del av de åtgärder som genomförts hos Rexam. Det kan upplevas väldigt specifikt för Rexams anläggning i Fosie, men åtgärderna kan förekomma på många andra typer av industrier. Arbetsmetoderna är liknande vare sig det rör sig om burkproduktion eller ej. Självfallet kan det behövas göras mindre anpassningar av metoderna men rapporten skall ses som en inspirationskälla mer än som något som skall följas slaviskt.

15 Utvärdering av åtgärdsförslag

15.1 Allmänt

Efter att man bekantat sig med anläggningen och fått en uppfattning om hur produktionen fungerar kan man fundera över vilka tekniska möjligheter det finns för att förbättra anläggningen. För att kunna bilda sig en uppfattning av anläggningen har man genomfört en inventering och statusbedömning av anläggningen. Med de erfarenheter och kunskaper man fått leder det till formulering av ett flertal åtgärdsförslag. När man arbetar fram åtgärdsförslagen behöver man inte i det första skedet bry sig om ekonomiska faktorer utan enbart fokusera på vilka förbättringar åtgärden ger. Den ekonomiska analysen kommer i ett senare skede då man analyserar åtgärden utifrån uppsatta kriterier kontra ekonomiska parametrar för att få bästa utdelning från insatt kapital.

Att ta fram åtgärdsförslag kan vara svårt. Arbetar man som konsult känner man ofta att det ställs höga krav från beställaren. Konsulten förväntas föreslå sådana åtgärder som kunden redan känner till men som ännu ej genomförts men också åtgärder som kunden inte tänkt på, för att konsulten skall behålla sin trovärdighet som specialist. Åtgärderna skall vara lönsamma och helst vara lätta att genomföra.

Det innebär att den som har haft kortast tid på sig att lära känna anläggningen, det vill säga konsulten, förväntas ha de bästa och flesta åtgärderna. Det finns vissa fördelar med att som konsult komma utifrån. Man har erfarenheter av andra liknande anläggningar, man har en annan syn på anläggningen än de som jobbat där under en längre tid och man har ofta teoretiska kunskaper inom området. Detta tillsammans ger konsulten den av kunden efterfrågade specialistkunskapen.

Konsultens roll är många gånger att pedagogiskt sammanställa och bedöma vad olika personer på företaget ser för brister i anläggningen. En mycket viktig del i arbetet med att bedöma anläggningen är att dels lyssna och tala med personal på flera olika nivåer inom företaget för att få reda på saker om anläggningen som anses vara felaktiga och dels få idéer på förbättringar. Erfarenheterna från samtalen tillsammans med den egna bedömningen av anläggningens tekniska tillstånd leder ofta till väldigt bra och välgrundade åtgärdsförslag.

Man har ibland hjälp av någon typ av checklista när man diskuterar en större anläggning. Checklistan kan utformas som ett formulär som man fyller i tillsammans med utvalda personer inom företaget. Utifrån formuläret får man dels grunddata om processen såsom tillverkningsår, förbrukningsdata, styrning m.m. dels fungerar formuläret som en minneslapp så att man inte glömmer någon väsentlig uppgift. Ett exempel på ett sådant formulär över en processmaskin visas i bilaga 15.1.1.

För att kunna värdera åtgärdsförslagen måste de sammanställas och utvärderas utefter de kriterier man önskar uppnå. Kriterierna kan till exempel vara produktionshöjande åtgärder, effektivare energianvändning, lägre kostnader och miljöförbättrande åtgärder.

15.2 Sammanställning av åtgärder

En sammanställning av en framtagen åtgärd skall ge den information som behövs för att värdera åtgärden utifrån uppsatta premisser.

Ett exempel på vad en sammanställning kan innehålla ges nedan:

- **Bakgrund**
  I bakgrunden ges en kort beskrivning av objektet och dess funktion. Man anger även bedömda/uppmätta data och eventuellt objektets nuvarande driftskostnad.

- **Objekt**
  Här anges endast vilken maskin eller processteg som avses. Det skall anges på sådant sätt att det inte går att missuppfatta vilka delar som avses.

- **Åtgärdsförslag**
  Här beskrivs kort åtgärden och vad åtgärden innebär.

- **Besparings/effektiviserings potential**
  Här anger man hur mycket man uppskattar att åtgärden sparar i t.ex. kronor, kWh/år.

- **Kostnad**
  En kostnadsuppskattning av åtgärden. Om man är osäker på kostnaden för åtgärden kan man ofta tillsammans med andra diskuterar sig fram till en rimlig nivå. Det är viktigt att ange hur man uppskattat kostnaden för att genomföra åtgärden, utifrån egna erfarenheter eller via någon typ av offert eller liknande.

- **Lönsamhet**
  Här görs det en ekonomisk bedömning av åtgärden, till exempel rak pay off tid eller någon typ av alternativ investering med viss avkastning etc.

- **Tidsåtgång**
  Här anges uppskattad tidsåtgång för att genomföra åtgärden. Tidsåtgången bör vara uppdelad i olika grupper såsom konsulttimmar, projektledning, kontroll, tid för entreprenörerna samt företagets egna tidsåtgång för att genomföra projektet.

- **Arbetsmiljö**
  Här anges vilken påverkan åtgärden uppskattas ha på arbetsmiljön.

- **Miljövinst**
  Här presenteras den positiva eller negativa miljöpåverkan som åtgärden antas innebära. Görs med fördel i ett diagram. För att bedöma en anläggnings miljöpåverkan avseende energianvändning kan man använda olika erfarenhetsvärden. Ett exempel på sådana erfarenhetsvärden finns i boken, Miljöanpassad effektiv uppvärmning och elanvändning, en bok i Milen-serien, Energimyndigheten och Naturvårdsverket, ISBN 91-620-4899-6.

- **Övrigt**
  Övriga kommentarer kring åtgärden som inte kan sättas in under någon annan punkt.

I bilaga 15.2.1 visas ett exempel på en sådan sammanställning.

Man skall givetvis anpassa redovisningen av åtgärden efter sina behov. Det är viktigt att redovisningen görs på sådant sätt att den kan värderas utifrån de kriterier som angetts som bedömningskriterier för projektet.

Arbetet med att göra en sammanställning av en åtgärd kan göras hur omfattande som helst. Detta är dock inte tanken med åtgärdsförslagen. De flesta gångerna vet man inte exakt vilken effekt en åtgärd kommer att ge, man måste då göra en uppskattning. Åtgärdens omfattning påverkar hur mycket tid man lägger på åtgärdsförslaget och dess effekter. Man kan inte förvänta sig 100 % överensstämmelse mellan ett åtgärdsförslag och verkligheten. Vid större projekt kan åtgärdsförslagen senare kompletteras med förundersökningar om man väljer att gå vidare med åtgärden. Förundersökningen detaljstuderar åtgärden och dess effekter för att ytterligare klargöra åtgärdens effekter och minimera risken för felsatsningar.

15.3 Prioritering av åtgärder

När man kommit så långt som att välja vilka åtgärder man skall fortsätta arbeta med är det sunt att i ett första steg välja ut ett fåtal åtgärder att gå vidare med. Man har kanske flera åtgärdsförslag som man gärna vill genomföra på en gång. Det kan leda till problem att påbörja alla åtgärderna på en gång. Dels riskerar man att slita ut sig själv och andra och dels riskeras kvaliteten på åtgärderna vilket i sin tur leder till att åtgärden inte kommer att fungera som det var tänkt. Man bör istället välja ut ett fåtal åtgärder att fokusera på och göra dem så färdiga som möjligt innan man börjar med ytterligare åtgärder. Vilka man väljer är upp till en själv eller gruppen man arbetar med. Man kan välja slumpvist bland de åtgärder man valt gå vidare med eller utifrån vissa kriterier såsom lönsamhet, arbetsmiljö etc. Ett sätt som kan vara bra är att renodla åtgärderna till en viss process, såsom till exempel tryckluftsproduktion. Fördelen med detta är framförallt att det lättare går att fokusera på en processuppbyggnad vilket gör det lättare att förutse problem.

I Rexams fall var fokus på arbetsmiljön, ventilationen och energianvändningen. Prioriteringar görs utifrån åtgärder som påverkar ventilationsanläggningens funktion samt förbättrar arbetsmiljön och som minskar energianvändningen. Faktorer som begränsar möjligheterna att genomföra åtgärderna var dels ekonomiska men även rent praktiska såsom möjlighet att göra förändringar utan att påverka produktionen och tidsåtgången för inblandade. Det är ofta så i ett energieffektiviseringsarbete på en arbetsplats att det sällan finns folk som bara sysslar med den typen av effektivisering och som kan lägga hela sin arbetstid på detta utan effektiviseringsarbetet läggs ofta som en extra uppgift utöver de normala arbetsuppgifterna man redan har.

Hos Rexam beslöt man att prioritera ett par av alla de förslagna åtgärderna som vi kommit fram till. Dessa blev då:

- Förbättrade utsug på utvalda platser
    - Inkapsling av bana mellan IC-spruta 2 och IC-ugn 2.
    - Åtgärder för förbättrade utsug vid bodymakers
    - Utsug från skrotbaljor

- Åtgärder på ventilationen
    - Skapa lokalt klimat med utjämnande ventilation
    - Förbättra ventilation i färgrum
    - Konstanttryckhållning i produktionslokalen
- Energieffektivisering
    - Effektivare tryckluftsanvändning
    - Avveckla ångpannan och effektivare värmeåtervinning
- Värmelaster
    - Bortledning av vakuumelevatorers utblås från lokalen

15.4 Genomförande av åtgärder

Att genomföra åtgärder är ofta en efterlängtad del av projektet. Nu ska allt jobb man lagt ner för att få fram relevanta åtgärder och ordnat finansiering för förverkligas. Man upptäcker nu att det som såg enkelt ut på pappret kan vara svårt i verkligheten. Flera åtgärder kan vara enkla att genomföra men man måste vara beredd på att någon åtgärd är betydligt besvärligare, på grund av oförutsedda faktorer. Det kan till exempel vara långa leveranstider, ekonomiska och tekniska parametrar och mänskliga faktorer.

Hur minimerar man då oförutsedda problem? Ett bra förarbete minimerar de oförutsedda faktorerna betydligt men allt går inte att förutse och man kan inte lägga hur mycket tid som helst på förarbetet. En vanlig faktor är att projektet blir dyrare än vad man kalkylerat med från början. En annan faktor som är viktig när man genomför ett projekt är att tänka på brukaren.

När vi genomförde ombyggnad av ventilationen hos Rexam från en deplacerande ventilation till en lokalt anpassad utjämnande ventilation var målet från början att luftflödena skulle vara fasta. Detta genomfördes men efter ett tag kom det klagomål om att vissa upplevde drag. Vid en närmare undersökning visade det sig att någon/några hade gjort egna justeringar på injusteringsspjällen och anpassat luftflödena så det bäst passade dem. Detta medförde att de som var känsliga för drag upplevde obehag. Den första åtgärden var att justera in luftflödena till ursprunglig nivå och sedan fysiskt låsa fast spjällen så de inte gick att ändra. Efter en tid återkom klagomålen. Vid en kontroll visade det sig att man tagit sönder låsen och återigen justerat upp luftflödena. Efter flera turer med problem där enskilda personer på eget initiativ gjort justeringar för att passa dem bäst så fann vi en lösning där ett konstanttrycksdon samt ett handmanövererat spjäll installerades. Resultatet blev att anläggningen fick en flödesbegränsning både uppåt och nedåt, då spjället inte är helt tätt, med möjlighet att anpassa flödet efter den enskildes behov. Klagomålen har efter det minskat på den linje där dessa installerats.

Detta var för oss ett oförutsett problem som tog mycket tid i anspråk och orsakade onödigt lidande, sjukskrivning och fackliga förhandlingar. Vad kan man då göra för att undvika detta?

Det är alltid svårt då någon/några faktiskt saboterar en anläggning. När man tittar tillbaka på problemet och rannsakar sig gjordes det flera fel i början. Dels skulle personalen informerats tydligare och en organisation för att snabbt fånga upp klagomål skulle funnits.

Man skulle också insett att det inte går att tillgodose allas önskemål, man uppskattar att det är rimligt att 15-20 % aldrig kommer att vara fullt nöjda med klimatet. Med den kunskapen måste man se till den större allmänheten och snabbt och effektivt försöka hitta lösningar för de 20 % som får problem. Det kan vara kompletterande klädsel om man upplever drag, andra lokala lösningar eller omplacering för de som vill ha högre luftflöden. Dragkänsliga personer kan kanske jobba i samma skift så att önskemålen sammanfaller. En annan viktig del är kommunikation. Man skulle kunna informerat bättre om ombyggnaden och agerat snabbare när klagomålen kom genom en dialog. Man hade kunnat inrätta rutiner för att rapportera åsikter kring anläggningen. Det är viktigt att ta åsikter på allvar men samtidigt komma ihåg att man inte kan tillfredställa allas önskningar. Man borde också i ett tidigt skede ha reagerat kraftigare mot sabotaget. Till slut blev det en hållbar lösning där det verkar som om minst 80 % av personalen kommer att vara nöjda.

16 Genomförande och utvärdering av åtgärder

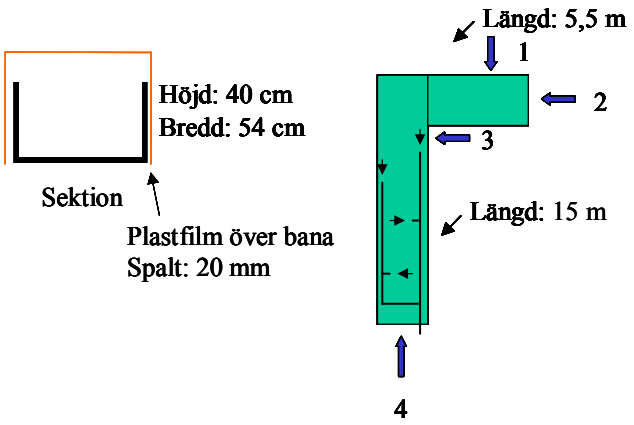
16.1 Utsug från IC-bana 2

16.1.1 Bakgrund

Vid inventering av processen identifierades transportsträckan mellan IC-sprutor och IC-ugnar som en föroreningskälla av VOC. Som ett inledande försök bestämdes att man skulle kapsla in en del av transportbandet mellan IC-sprutorna på bana 2 och IC-ugn 2. Inkapslingen skulle vara av enklare typ. En plastfilm hängdes över banan och ett utsug monterades och projekterades för att ge en fronthastighet över inkapslingens öppningar på minst 0,2 m/s.

16.1.2 Projektering av utsug längs IC-linje 2

Storlek och förutsättningar:



Figur 16.1.1. Skiss över IC-bana 2 och utsugningssystemet.

Höjden och bredden på inkapslingen är 0,4 respektive 0,54 m. Banans totala längd är 20,5 m. Inkapslingen består av plastfilm som hängs över banan. Inkapslingen är inte helt tät. Det finns öppningar på kortsidorna och visst läckage sker undertill på inkapslingen.

För att kunna dimensionera utsugen måste erforderligt luftflödet bestämmas. Genom att mäta upp kända hålareor längs ”tunneln” och ange en önskad fronthastighet genom dem kan luftflödet beräknas enligt kontinuitetsvillkoret, ekvation 9.6.5. Rekommendationer säger att man bör sträva efter en fronthastighet över öppningar på 0,2-0,5 m/s. Målet är att sträva efter att hålla en fronthastighet på lägst 0,2 m/s. Då endast utsug, i detta första steg, kommer att ske från den längre raksträckan är det fronthastigheten över öppningsareorna 2, 3, 4 och spalten som bestämmer utsugsflödet. Enligt nedanstående tabell innebär det ett teoretiskt luftbehov på lägst 0,25 m^3/s.

Tabell 16.1.1. Storlek på öppnings- och läckageareor (figur 16.1.1.) samt erforderliga luftflöden.

Punkt	Bredd m	Hålarea m^2	Fronthastighet m/s	Luftflöde m^3/s
1	2,50	1,0	0,2	0,20
2	0,54	0,2	0,2	0,04
3	0,54	0,2	0,2	0,04
Spalt	0,04	0,6	0,2	0,12
4	0,54	0,2	0,2	0,04
Summa		2,2		0,45

För att välja lämplig kanalstorlek och dimensionera fläkten måste vissa parametrar bestämmas. I detta fall är lufthastigheten i kanalen en avgörande faktor. Man vill sträva efter att hålla en hög kanalhastighet som ligger på ca 15-20 m/s i kanalerna. Anledningen är att man ur säkerhetssynpunkt inte vill riskera sedimentering av stoft i kanalen vilket skulle kunna orsaka dammexplosioner. Det bestämdes att anläggningens kanalsystem skulle dimensioneras för att klara av hela luftflödet på 0,45 m^3/s för att man enkelt skall kunna bygga ut anläggningen.

Utifrån luftbehovet och erforderlig lufthastighet projekterades två parallella stammar med totalt fyra utsug jämt fördelade över bandet.

Tabell 16.1.2. Beräkning av lufthastigheter i kanalsystem.

Utsugs-punkt	utsugsflöde m^3/s	Dimension don mm	Area m^2	Utsugshast m/s	Kanalflöde m^3/s	Kanal dimension mm	Area m^2	Lufthast m/s
Huvudkanal					0,45	200	0,031	14,32
1	0,11	100	0,008	14,32	0,22	125	0,012	18,33
2	0,11	100	0,008	14,32	0,11	100	0,008	14,32
3	0,11	100	0,008	14,32	0,22	125	0,012	18,33
4	0,11	100	0,008	14,32	0,11	100	0,008	14,32

Motståndet i kanalerna beräknades och det totala tryckfallet i ledningen blir ungefär 780 Pa vid ett luftflöde på 0,45 m^3/s.

I detta första skede utnyttjades en befintlig fläkt för att suga från anläggningen. Fläktens maximala utsugsflöde uppmättes till 0,34 m^3/s vilket skulle innebära en genomsnittlig fronthastighet på 0,27 m/s över öppningarna.

16.1.3 Utvärdering av åtgärd IC-bana 2

Efter det att inkapslingen byggts och kopplats till utsuget har två typer av utvärderingar utförts en där TVOC-utsläppen mätts med FID och en där TVOC-utsläppen mätts med PID.

Utvärderingen med FID går ut på att mäta hur mycket TVOC i kg/år som leds bort från inkapslingen genom utsugsfläkten. Denna siffra kan då ställas i relation till den sammanlagda utsläppsmängden som man tidigare släppt ut via allmänventilationen.

Utvärderingen med PID går ut på att se hur effektivt utsugsflödet är så att man får ett så bra utbyte av anläggningen som möjligt samt klargöra vad som händer om vissa parametrar förändras.

16.1.3.1 Mätning med FID

Mätningarna har utförts av en ackrediterad provtagningsfirma som använt sig av en FID för att mäta totalhalten VOC i utsugsluften. Mätningarna har utförts under kortare intervaller då produktionen varit igång. Samtidigt som mätningarna genomförts har även produktionshastigheten från IC-sprutorna loggats för att på så vis kunna relatera uppmätta halter TVOC till ett materialflöde. Med den uppmätta TVOC-koncentrationen och burkflödet kan man beräkna föroreningshalt per burk och totalt bortförd mängd av TVOC per år räknat på en total burkproduktionsmängd av 470 miljoner burk per år på linje 2.

Vid tre olika tillfällen har mätningar utförts, resultaten av mätningarna redovisas i tabellerna 16.1.3-16.1.5. Skillnaderna beror på flera osäkerheter såsom burkflöde, utsugsflöde och inkapslingens täthet. Den viktigaste parametern är inkapslingens skick vid provtagningen, då inkapslingen är provisorisk skiljer sig skicket på inkapslingen mellan provtagningarna. Mätningen 040827 hade ingen täckning av banan undertill vilket de andra hade. Det innebär skillnader i verkliga öppningsareor som det inte tagits hänsyn till. Vid de sista mätningarna fanns det täckning av undersidan men plastfolien som utgör inkapslingen hade suttit uppe en tid vilket kan ha ökat läckareorna då plasten har fått mer skador. Hur mycket som man rimligt kan förväntas leda bort genom inkapslingen är sannolikt någonstans mellan 1 600- 4 000 kg/år.

Tabell 16.1.3. Resultat av FID mätningar 040827.

IC 2		
Flöde	1920	Nm^3/h
PPM medel	82,8	ppm
Flaskproduktion	29176	st
TOC	133,1	$\mu g/m^3$
Mättid:	180	s
Flöde per sekund	0,53	m^3/s
Burkprod/s	27,0	burk/s
Förorening/s	71,0	µg/s
Förorening/burk	2,6	µg/burk
Total burkproduktion/år	470000000	st
Total utsläpp/år	1235,6	kg/år

Tabell 1.6.1.4. Resultat av FID mätningar 041214.

IC 2		
Flöde	1590	nm^3/h
PPM medel	305	ppm
Flaskproduktion		
TOC	490,4	$\mu g/m^3$
Mättid:	600	s
Flöde per sekund	0,44	m^3/s
Burkprod/s	21,0	burk/s
Förorening/s	216,6	µg/s
Förorening/burk	10,3	µg/burk
Total burkproduktion/år	470000000	st
Totalt utsläpp/år	4843,0	kg/år

Tabell 1.6.1.5. Resultat av FID mätningar 050518.

IC 2		
Flöde	1460	nm^3/h
PPM medel	126	ppm
Flaskproduktion		
TOC	202,6	$\mu g/m^3$
Mättid	420	s
Flöde per sekund	0,4	m^3/s
Burkprod/s	24,2	burk/s
Förorening/s	82,2	µg/s
Förorening/burk	3,4	µg/burk
Total burkproduktion/år	470000000	st
Totalt utsläpp/år	1596,3	kg/år

Oavsett vilken siffra som är riktig är åtgärden lyckad då den ger en god minskning av VOC-utsläppen till lokalen och därmed förbättrar arbetsmiljön. Den bortledda mängden skall jämföras med att Rexam har ett tillstånd att släppa ut 55 ton VOC per år. Det innebär att denna åtgärd, på en av linjerna och delar av en banan, ger mellan 3-7 % reducering av VOC utsläppen. En förfinad inkapsling som täcker hela banan skulle komma att ge ett ännu bättre resultat.

16.1.3.2 Mätning med PID

Det har genomförts flera mätningar med PID i inkapslingen. Denna utvärdering går ut på att genom enklare modellering kunna förutsäga hur förändringar av vissa parametrar påverkar inkapslingens funktion. Det är önskvärt att kunna förutsäga vad som händer i en inkapsling när förutsättningar förändras. Modellen skall också möjliggöra en bedömning av hur mycket mer förorening som inkapslingen kan fånga in samt vad som krävs för det. Utifrån detta kan man sedan bedöma om utsuget är förorenings- och kostnadseffektivt. Här redogörs för fyra olika modeller varav tre av modellerna härrör från en och samma grundmodell och en fjärde medelvärdesmodellen, är en enklare typ av modell.

Man börjar med att formulera sin modell och därefter görs en regressionsanalys eller funktionsminimering. Regressionsanalys är ett statistiskt verktyg där man utifrån ett antal verkliga mätningar hittar samband mellan faktorer som antagits påverka resultatet. I detta fall söker vi sambandet mellan föroreningskoncentration och burkflöde (föroreningskällan). Målet är att kunna beskriva och därmed förutsäga hur mycket föroreningar som fångas in vid olika utsugsflöden och produktionsmängder från inkapslingen.

16.1.3.2.1 Analys med modell baserad på medelvärden

Ett sätt att beskriva hur stora mängder föroreningar som uppfångas av en inkapsling kan göras genom att mäta utsugningsflödet, föroreningsnivå i utsugningsluften och i omgivningen. Detta ger följande uttryck:

$$q_{voc} = q_e\,(c - c_b) \qquad (\mu m^3/s) \qquad (16.1.2)$$

q_{voc} Föroreningsflöde ($\mu m^3/s$)

q_e Utsugsflöde (m^3/s)

c Koncentration av förorening i inkapsling och utsug (μ)

c_b Koncentration av förorening i omgivningen (μ)

Resultatet säger inget om hur effektivt utsuget fångar in föroreningar från källan eftersom föroreningskällans storlek i detta fall är okänd, då någon hänsyn till variationer i burkflödet, källan, inte tas.

Ett bättre mått är att beräkna volym förorening per burk V_b. Parametern säger fortfarande inget om den totala mängden förorening från burken men den tar hänsyn till skillnader i burkflöde. På så vis kan vi bygga upp samband för att kunna förutsäga vad skillnader i burkflöden och utsugsflöden medför i form av uppfångad mängd förorening. Parametern V_b kan skattas med medelvärden för burkflödet b_m och föroreningsnivån c_m under ett givet tidsintervall, vilket blir följande uttryck:

$$V_b\, b_m = q_e\,(c_m - c_b) \qquad (\mu m^3/s) \qquad (16.1.3)$$

V_b Föroreningsvolym per burk ($\mu m^3/st$)

b_m Medelvärde burkflöde under en tidsperiod (st/s)

c_m Medelkoncentration av förorening i inkapsling under en tidsperiod (μ)

Om burkflödet, ventilationsflödet och föroreningsnivån i bakgrunden är konstanta, kommer även föroreningsnivån i utsuget att vara konstant. Effektiviteten, räknat som volym förorening per burk, kan skattas med god noggrannhet.

Om burkflödet varierar uppstår mätfel som uppskattas för att korrigera skattningen med medelvärden. En enkel förändring är en plötslig stegändring i burkflödet en annan variant är en steglös ändring, en ramp uppåt eller neråt.

För att korrigera för stegändringen tar vi hänsyn till att det finns en viss tröghet hos inkapslingen innan det nya jämviktstillståndet nås. Detta beror på inkapslingens volym i förhållande till ventilationsflödet. Kvoten mellan V och q är luftomsättningstiden eller inkapslingens tidskonstant T. Denna tröghet medför att ändringar i burkflödet inte syns direkt i form av motsvarande förändring av föroreningsnivån i inkapslingen och utsugningsluften. Uttrycket (16.1.3) kan ge fel skattning av V_b. Det vill säga, medelvärdesmetoden är känslig om produktionen vid mättillfället inte är konstant eller tillräckligt lång så att förändringar tas ut av den medelvärdesbildande mätperioden.

16.1.3.2.1.1 Analys av en stegändring:

Antag att burkflödet är b under tiden t och därefter 0. Föroreningsnivån är c fram till t och avtar därefter mot c_b. Luftomsättningstiden antas vara T. Den integrerade föroreningsnivån kan beräknas, under förutsättning att mättiden t_{mes} efter t är flera gånger längre än luftomsättningstiden T så att hela avklingningsförloppet är med i mätningarna. Medelkoncentrationen ges då av:

$$c_m = (c - c_b)\,(t + T) / t_{mes} + c_b \qquad (\mu) \qquad (16.1.4)$$

Medelflödet b_m ges av

$$b_m = b\,t / t_{mes} \qquad (st/s) \qquad (16.1.5)$$

Vid ett normaliserat fall kan t_{mes} sättas till 1 vilket ger:

$$b_m = b\,t \qquad (st/s) \qquad (16.1.6)$$

Skattningen av V_b enligt (16.1.3) blir nu följande:

$$V_m = q_e(c_m - c_b) / b_m = (q_e\,(c - c_b) / b)\,(1 + T/t) \qquad (16.1.7)$$

Notera att $(q\,(c-c_b) / b)$ är den rätta skattningen och därför blir T/t det relativa felet.

16.1.3.2.1.2 Analys av steglös ändring

Vid en steglös ändring av burkflödet $b(t)$ kan detta beskrivas som följer (mätningen startar för t=0)

$$b(t) = b(0) + k\,t \qquad (st/s) \qquad (16.1.8)$$

Eftersläpningen i föroreningsnivå i utsugningsluften och i inkapslingen blir då tidsmässigt lika med luftomsättningstiden T efter ett mindre insvängningsförlopp, vars fullständighet ges av $exp(-t/T)$. Detta innebär att föroreningsnivån i utsugningsluften kan skrivas som:

$$c(t) = V_b\,(b(0) + k\,t - k\,T(1 - e^{-t/T}))/q_e + c_b \qquad (\mu) \qquad (16.1.9)$$

Antag att t/T är oändligt stort då blir $exp(-t/T)=0$ vilket ger att medelföroreningsnivån kan skrivas som:

$$c_m = ((c(0) + c(t))/2) = V_b/q_e\ (2\ b(0) + k\ t - 2\ k\ T)/2 + c_b \quad (\mu) \qquad (16.1.10)$$

och för burkflödet fås

$$b_m = (b(0) + b(t))/2 = (2\ b(0) + kt\ )/2 \quad (st/s) \qquad (16.1.11)$$

Skattningen av V_m enligt (16.1.3) blir följande:

$$V_m = q_e\ V_b\ (\ 2b(0) + kt - 2kT))/\ q_e\ (2b(0) + kt) \quad (\mu m^3/st) \qquad (16.1.12)$$

och efter förenkling fås:

$$V_m = V_b\ [\ 1 - kT/(\ b(0) + kt/2\ )\ ] \quad (\mu m^3/st) \qquad (16.1.13)$$

Uttrycket ovan visar att det relativa felet ges av den andra termen i parentesen. Om $b(0) = 0$ fås att felet är $2T/t$, vilket är snarlikt det för en stegändring.

16.1.3.2.2 Analys med modell baserad på momentana mätningar:

Genom att analysera vilka faktorer som påverkar mängden bortförd VOC kan vi formulera vår modell. Modellen utgår från en flödesbalans för föroreningar i inkapslingen $\mu m^3/s$, där de parametrar som antas påverka föroreningsnivån i inkapslingen c är bakgrundsnivån av förorening runt inkapslingen c_b, emissionsmängd per burk V_b, produktionsflöde $b(t)$, inkapslingens volym V och ventilationsflödet q_t som är det totala ventilationsflödet som passerar genom inkapslingen . Modellen beskriver fysikaliskt föroreningsnivån i inkapslingen. Modellsambandet 16.1.14 utgör den fysikaliska grundmodellen.

$$Vdc(t)/dt = -\ q_t\ c(t) + q_t\ c_b + V_b b(t) \quad (\mu m^3/s) \qquad (16.1.14)$$

$c(t)$ Föroreningsnivå,(µ)

c_b Föroreningsnivå för bakgrund, (µ)

$b(t)$ Burkflöde, (antal/s)

V Volym över banan i inkapslingen, (m^3)

q_t Ventilationsflöde,(m^3/s)

V_b Föroreningsvolym per burk som uppfångas,(μm^3)

Modellen 16.1.14 förutsätter att det är fullständigt omblandat i inkapslingens volym (V).

Modellen säger att föroreningsnivån i inkapslingen beror på den bortförda mängden förorening $(-q_t c(t))$ och den tillförda mängden förorening $((q_t\ c_b) + (V_b\ b(t)))$. När vi nu bestämt de parametrarna som inverkar på föroreningsnivån och hur de påverkar den är det dags för regressionsanalysen. Det vill säga att identifiera sambanden mellan de olika parametrarna och verkligheten.

Modellen 16.1.4 är en differentialekvation som kan lösas för fall där burkflödet antas vara konstant under ett tidssteg $(t+Ts)$. Detta ger följande:

$$c(t+T_s\ ) = a\ c(t) + (1-a)\ c_b + (1-a)\ V_b\ b(t)/q_t \quad (\mu) \qquad (16.1.15)$$

där modellfaktorn/konstanten *a* är:

$$a = exp(-q_t\ T_s/V) \qquad (-) \qquad (16.1.16)$$

Uttrycket 16.1.15 anpassas till tillgängliga mätdata på olika sätt. Då det är frågan om att beskriva förhållandet mellan föroreningsnivån *c* i förhållande till burkflödet *b(t)* är dessa och den ventilerade volymen *V* över inkapslingen kända. Däremot vill man ta reda på ventilationsflödet *q,* föroreningsvolym per burk V_b och bakgrundsnivån c_b. Bakgrundsnivån c_b kan man välja om den skall vara känd eller inte. Med parametern ventilationsflöde *q* ingår utsugsflödet från inkapslingen samt övriga läckageflöden från inkapslingen.

I nedan redovisade fall används två varianter av modellsambandet 16.1.15. I figurerna 16.1.2 till 16.1.4 har bakgrundsnivån c_b angetts till 0 och q_t och V_b söks. I figurerna 16.1.5 till 16.1.7 söks c_b, q_t och V_b.

Nu kan man jämföra hur väl grundmodellen beskriver verkligheten beroende på hur många parametrar som är kända samt jämföra grundmodellen mot medelvärdesmodellen, 16.1.3. Modellparametrarna bestäms genom minsta kvadratmetoden eller funktionsminimering.

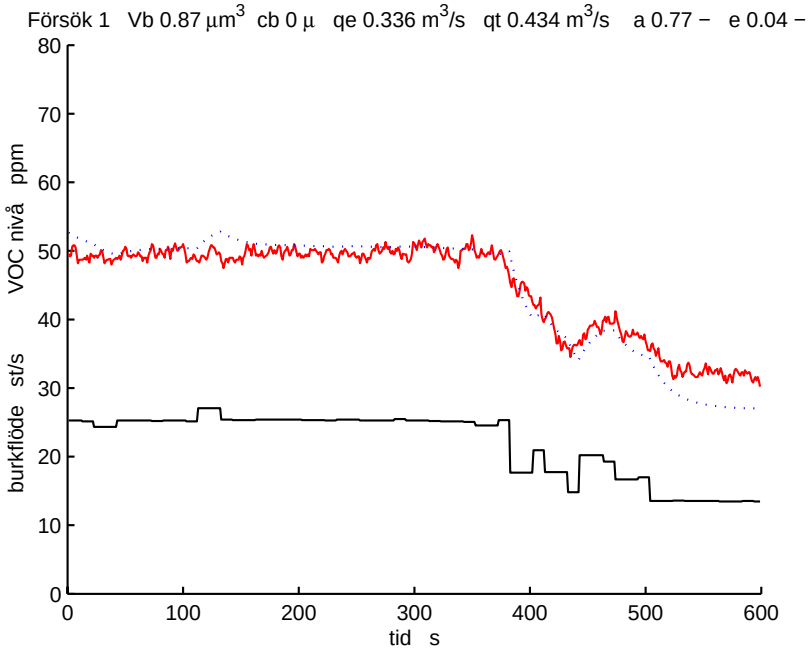
Tabell 16.1.6. Sammanställning av resultat från modellering med medelvärdesmetoden.

Datum	Utsugsflöde q_e, m^3/s	VOC per burk V_b μm^3
041012	0,336	0,686
	0,225	0,524
	0,15	0,418
	0,091	0,297
041124	0,335	0,7
	0,248	0,609
	0,157	0,494
	0,094	0,342
041209	0,34	0,860
	0,251	0,761
	0,207	0,651
	0,097	0,472

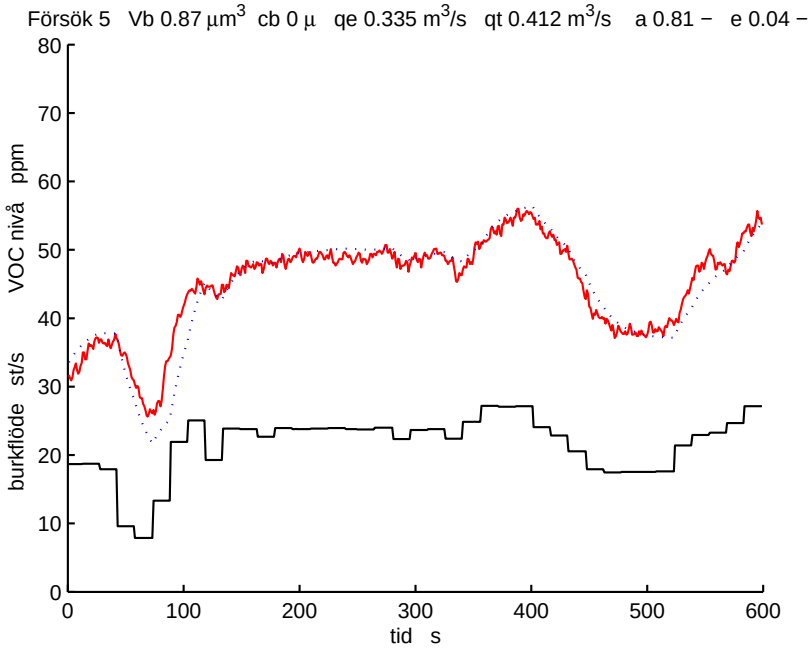
16.1.3.2.3 Analys av IC-bana 2

Figurerna nedan redovisar några av de modelleringar som utförts med hjälp av mätningarna på IC-bana 2 efter att banan kapslats in med plastfolie. Den heldragna linjen är uppmätta resultat och streckade linjen är vad modellen ger för resultat. Inkapslingen skiljer sig mellan de olika mätningarna. Mätningarna har utförts vid tre olika tillfällen 041012, 041124 och 041209. Skillnaden mellan inkapslingarna är att vid den första inkapslingen var banan endast täkt med plastfolie som inte slöt tätt mot sidorna och botten. Vid den andra mätningen tätades sidorna på inkapslingen, genom att plasten tejpades mot banan. Vid den sista mätningen är

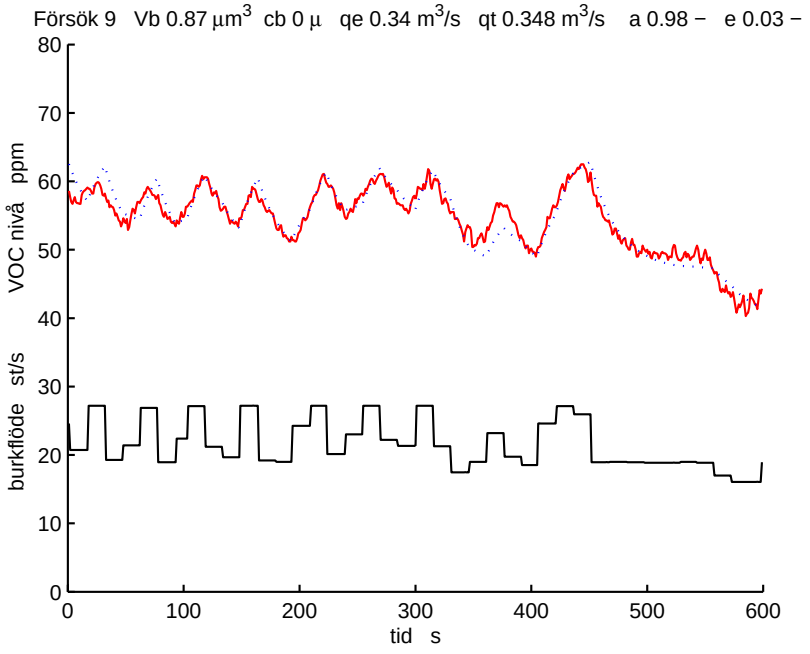
både sidorna och botten tätade. Tätningarna är utförda med tejp och plastfolie och är provisoriska men bedöms vara relativt goda.



Figur 16.1.2. Resultat från modellering av mätningar 041012, c_b=0, q_e=336 l/s. Heldragen linje anger mätresultat och streckad linje modellresultat.



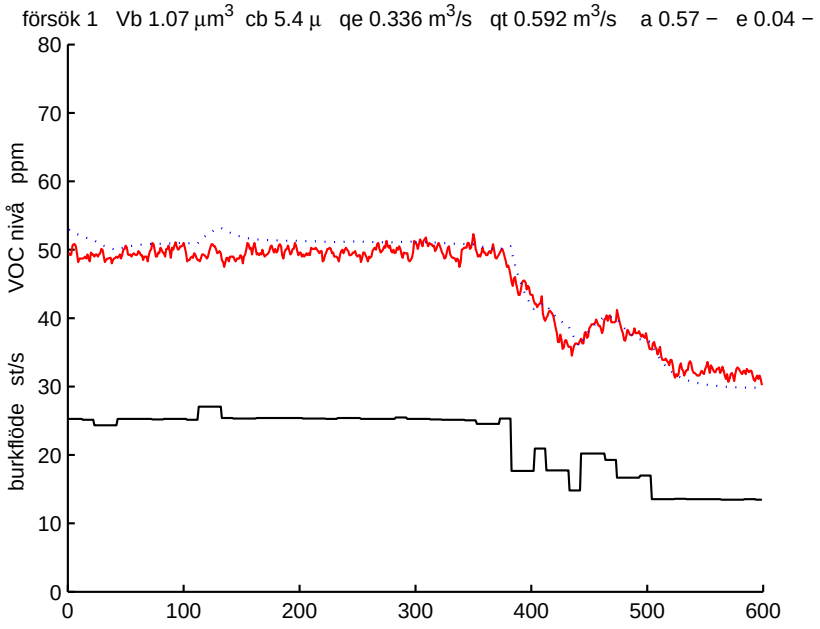
Figur 16.1.3. Resultat från modellering av mätningar 041124, c_b=0, q_e=335 l/s. Heldragen linje anger mätresultat och streckad linje modellresultat.



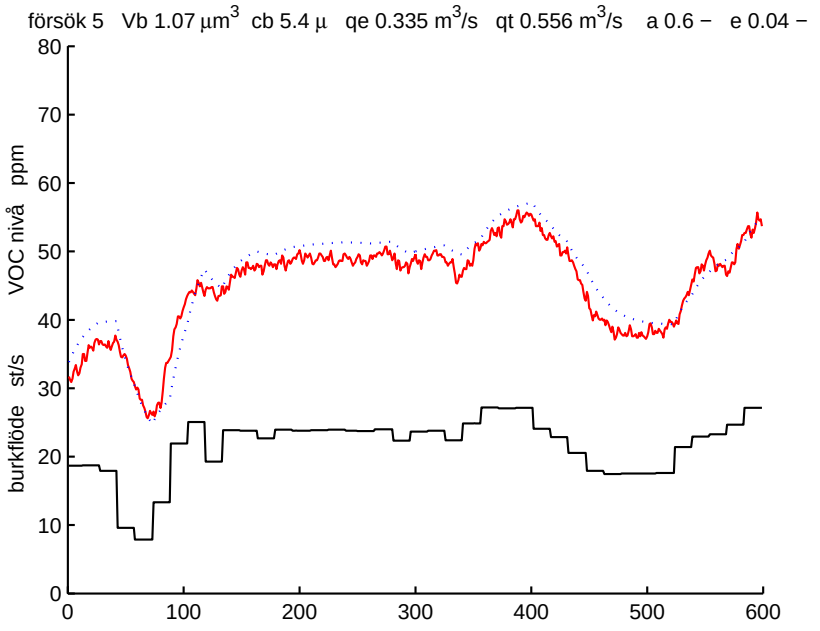
Figur 16.1.4. Resultat från modellering av mätningar 041209, c_b=0, q_e=340 l/s. Heldragen linje anger mätresultat och streckad linje modellresultat.

Tabell 16.1.7. Sammanställning av resultat från modellering vid c_b=0

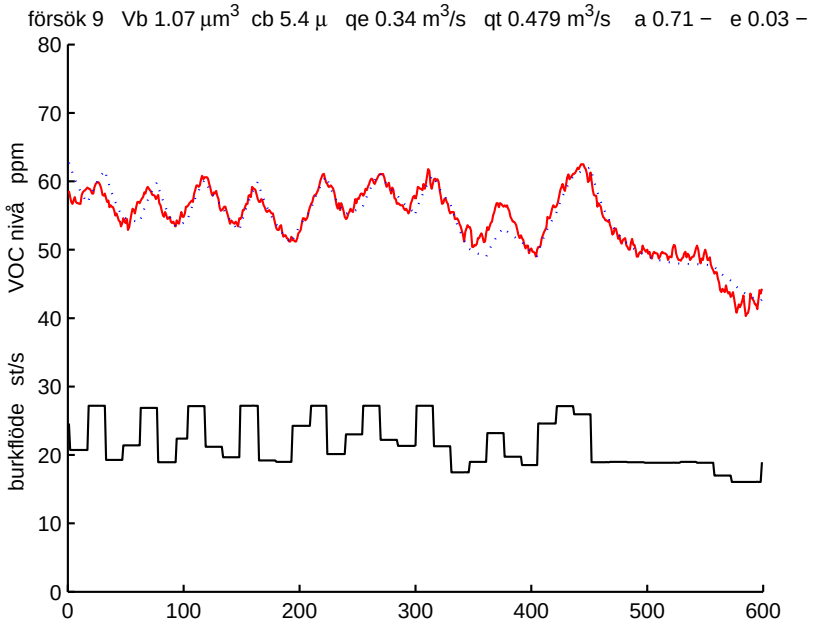
Modellsamband Sökta parametrar	Utsugsflöde q_e, m^3/s	Ventilationsflöde q_t, m^3/s	Bakgrundsnivå förorening c_b, µ	VOC per burk V_b μm^3	Effektivitetsfaktor a, -
V_b, q_t 041012	0,336	0,434	0	0,87	0,77
	0,225	0,372	0	0,87	0,6
	0,15	0,312	0	0,87	0,48
	0,091	0,262	0	0,87	0,35
041124	0,335	0,412	0	0,87	0,81
	0,248	0,248	0	0,87	0,7
	0,157	0,275	0	0,87	0,57
	0,094	0,239	0	0,87	0,39
041209	0,34	0,348	0	0,87	0,98
	0,251	0,28	0	0,87	0,9
	0,207	0,277	0	0,87	0,75
	0,097	0,195	0	0,87	0,5



Figur 16.1.5. Resultat från modellering av mätningar 041012, q_e=336 l/s.
Heldragen linje anger mätresultat och streckad linje modellresultat.



Figur 16.1.6. Resultat från modellering av mätningar 041124, q_e=335 l/s.
Heldragen linje anger mätresultat och streckad linje modellresultat.



Figur 16.1.7. Resultat från modellering av mätningar 041209, q_e=340 l/s. Heldragen linje anger mätresultat och streckad linje modellresultat.

Tabell 16.1.8. Sammanställning av resultat från modellering vid fritt c_b.

Modellsamband Sökta parametrar	Utsugsflöde q_e, m^3/s	Ventilationsflöde q_t, m^3/s	Bakgrundsnivå förorening c_b, µ	VOC per burk V_b μm^3	Effektivitetsfaktor a, -
V_b, c_b, q_t 041012	0,336	0,592	5,4	1,07	0,57
	0,225	0,516	5,4	1,07	0,44
	0,15	0,415	5,4	1,07	0,36
	0,091	0,345	5,4	1,07	0,26
041124	0,335	0,556	5,4	1,07	0,6
	0,248	0,477	5,4	1,07	0,52
	0,157	0,363	5,4	1,07	0,43
	0,094	0,309	5,4	1,07	0,3
041209	0,34	0,479	5,4	1,07	0,71
	0,251	0,386	5,4	1,07	0,65
	0,207	0,37	5,4	1,07	0,56
	0,097	0,259	5,4	1,07	0,37

16.1.3.2.4 Kommentar:

Kurvorna visar att modellen väl beskriver inkapslingens egenskaper och effektivitet *a*. Effektiviteten anges som kvoten mellan q_e och q. Jämför man olika mätningarna från samma mättillfälle ser man att lägre utsugsflöden ger lägre effektivitet, vilket är väntat. Även skillnader i inkapslingen tätning påverkar utsugets effektivitet *a*. Effektiviteten stiger allt eftersom inkapslingen förbättras. Är utsugsflödet q_e lika med det totala ventilationsflödet q_t innebär det att läckaget från inkapslingen är noll. Om så skulle vara fallet finns det en risk för att anläggningen överventileras. Detta kan man kontrollera genom att se vad som händer om man ökar eller minskar ventilationsflödet. Vid ett ökat ventilationsflöde kommer VOC-nivån att sjunka omvänt proportionellt som förändringen i ventilationsflödet med hänsyn tagen till eventuell föroreningsnivå för bakgrunden dvs. $q_1/q_2=(c_2-c_b)/(c_1-c_b)$.

Man kan fråga sig om det är så att man behöver fånga in alla föroreningar. Man kan kanske tillåta ett visst läckage som allmänventilationen tar hand om. Kostnaden för att ventilera bort en del av föroreningsläckaget $c(q-q_e)$ genom allmänventilationen kanske understiger kostnaden för att evakuera hela föroreningen genom inkapslingen/huven. Detta analyseras i avsnittet 16.2.3.

16.2 Förbättrat utsug från bodymakers

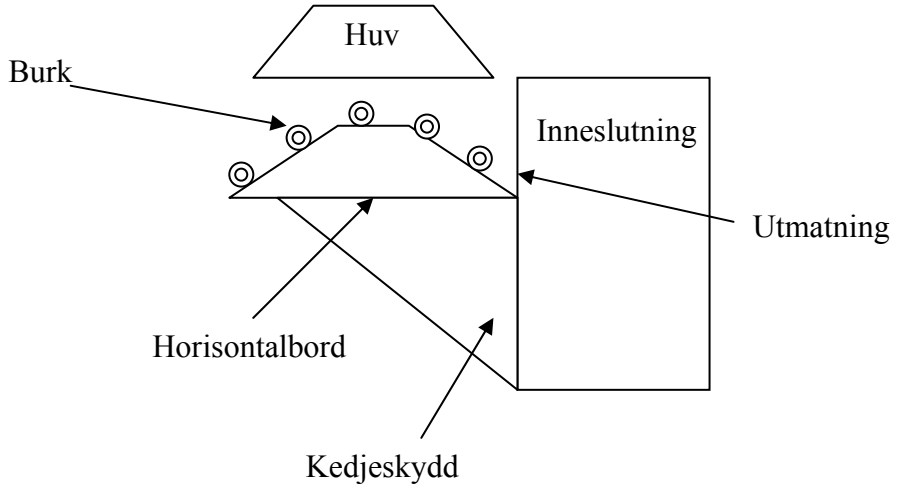
Vid inventering av anläggningen ser man enkelt att inkapslingarna och huvarna på bodymakerna är bristfälliga. Detta framgår dels av att oljedimma dras med ut från inkapslingen och dels av att viss mängd av oljedimman smiter förbi huven vilken skall föra bort oljedimman som kommer ut från inkapslingen eller som avdunstar från burken. Vidare ser man att arbetsområdet har en tunn oljefilm på alla rör och maskiner. På vissa ställen bildas även oljedroppar som droppar ned på golvet, vilket rengörs dagligen för att förhindra halkolyckor.

Oljedimman och burkarna som kommer ut från bodymakern är varm och utgör dels en föroreningskälla och dels en värmekälla till lokalen.

Som en fortsatt del av inventeringen utfördes en fördjupad analys av bodymakerna vilket ledde till ett åtgärdspaket som genomfördes på en av bodymakerna för utvärdering.

Nedan följer redovisning av den fördjupade studien och utvärderingen av åtgärderna.

16.2.1 Fördjupad studie av bodymakern



Figur 16.2.1 Principskiss över framsida bodymaker.

Målet med den fördjupade studien är att se vilka möjligheter det finns för att minska spridningen av oljerök från bodymakern till lokalen. Detta skulle leda till en bättre arbetsmiljö, minskade produktionsproblem samt lägre värmelaster.

Ett flertal iakttagelser har gjorts och ett förslag till åtgärdspaket har tagits fram.

16.2.1.1 Beskrivning av bodymakern

Bodymakern har en kapslad enhet där själva verktyget är placerat och bearbetningen sker. Vid bearbetningen utvecklas värme och temperaturen i inneslutningen ligger mellan 32-39 °C.
I toppen av inneslutningen sitter ett utsug som skall fånga upp och hindra medryckning av oljerök till omgivningen. Utsugsflöde från inneslutningen skiftar mellan bodymakerna då utsugen inte är ordentligt injusterade. Dessutom saknar linje 1 helt möjligheter för injustering

av utsugsflödet från själva inneslutningen. Uppmätta utsugsflöden från bodymaker 22 var 55 l/s från inneslutningen och 144 l/s från huven.

Vid bearbetningen använder maskinen även tryckluft inne i inneslutningen. Mätning av tryckluftsflöden över en bodymaker har utförts och medelflödet uppmättes till ca 24 l/s vid drift. Med denna tillförsel av tryckluft till inneslutningen och ovan angivna utsug blir det bortförda nettoluftflödet sammantaget 26 l/s (55-24).

Inneslutningen har ett flertal läckor, dels nödvändiga öppningar för utmatning av burk men också en stor del onödiga öppningar. Flera bulthål, större hål och onödigt stor utmatningsöppning bildar tillsammans en så kallad läckarea. Storleken på läckarean påverkar vilket utsugsflöde som behövs för att hålla kvar oljeröken inne i inneslutningen. I tabellen nedan redovisas representativa läckareor.

Tabell 16.2.1. Redovisning av läckareornas storlekar.

Plats	Håldiam (mm)	Bredd (mm)	Höjd (mm)	Antal (st)	Kontraktions koefficient (-)	Effektiv hålarea (m^2)
Bulthål	22			12	0,6	0,003
Runt hål långsida	170			2	0,6	0,027
Runt hål långsida	110			1	0,6	0,006
Öppning horisontalbord		940	350	1	0,6	0,197
Hål ovansida inneslutning		190	150	1	0,6	0,017
Total effektiv läckarea						0,250

Den effektiva hålarean är den uppmätta arean justerad för kontraktion. Kontraktionen är antagen till 0,6.

I avsnitten 9.5-9.8 beskrivs olika faktorer som påverkar en inkapsling och hur dessa faktorer analyseras.

Synlig oljedimma kommer från inneslutningens utmatning där oljedimman dras med burkarna när de lämnar inneslutningen. Oljedimma kommer även från horisontalbordet och genom en öppning i ovansida inneslutning.

Huven efter inkapslingen verkar fungera relativt bra. Huven har två helt öppna sidor och två mer eller mindre täckta. Efter att luftrörelserna kontrollerats med rök, framgår det att rök som släpps strax utanför huvens långsida sugs in i utsuget. Vid kortsidorna är förhållandena sämre, röken stiger förbi huven och fångas inte in av huven. Anledningen till detta är dels de termiska stigkrafterna som den varma burken ger samt den luftrörelse som genereras av utmatningsanordningens rörelse. Huven är placerad ca 20 cm ovanför källan och den har en bredd på 42 cm och en längd på 95 cm. Huven är 20 cm hög och har en rak nedre kant på 6 cm. Burken har en bredd på ca 18 cm och dess utmatningsanordning har en bredd på ca 19

cm. Burken och öppningen utgör föroreningskällan och är centralt placerat under huven. Det finns en glipa på huvens kortsida mellan huv och inneslutning som är ca 9 cm. I glipan ser man att oljerök smiter förbi huven och ut i lokalen.

16.2.1.2 Flödesvariationer i inkapslingen

Vid prover med rök, framgår det att det förekommer ett pulserande tryck inne i inneslutningen. Rent spontant kan man tycka att det vid ett nettounderskott av luft inte borde vara möjligt att övertryck bildas. Förklaringen till detta är att tryckluftsanvändningen inte är konstant utan sker i intervall. Bodymakern arbetar i arbetscykler om 360 grader och av den cykeln blåses tryckluft ut från ett 5 mm stort hål under 100 grader av arbetscykeln eller 100/360 delar. En bodymaker producerar i medeltal 3,79 burkar/s när den är i produktion. Under 100/360 delar blåser maskinen och burken åker av verktyget och lägger sig på transportkedjan för att sedan åka vidare i processen. I avsnitt 9.7.3.3. visas hur man beräknar hur stort det pulserande flödet är samt hur stort det kontinuerliga tryckluftsflödet är. Beräkningen i avsnitt 9.7.3.3. visar på en momentan flödesförändring från verktyget på 17 l/s och 19 l/s kontinuerligt tryckluftsflöde.

Detta innebär att om man avser att kompensera för den plötsliga flödesförändringen krävs ett utsug från inneslutningen motsvarande lägst 36 l/s. Vill man även garantera att man alltid har ett visst frontflöde över läckareorna måste det flödet också adderas till. Detta innebär att om man ska kompensera för flödesförändringen och ha en fronthastighet på 0,3 m/s på befintlig anläggning med en effektiv öppningsarea på 0,25 m^2 måste utsuget från inkapslingen lägst vara 111 l/s. Lyckas man däremot reducera de effektiva läckareorna till 0,1 m^2 med bibehållen fronthastighet på 0,3 m/s blir motsvarande flöde 66 l/s.

Detta visar vilken kraftig påverkan öppningsareorna har på utsugsflödena.

16.2.1.3 Lokala luftrörelser kring inkapsling

Vad gäller tryckskillnader orsakade av lokala luftrörelser utanför inkapsling så påverkas inte inkapslingarna på bodymakerna av detta då luftrörelserna kring inkapslingen är sådana att alla öppningar hamnar i samma riktning i förhållande till luftrörelserna.

16.2.1.4 Temperaturskillnader i inkapsling, termiska stigkrafter

Temperaturskillnaderna mellan utanför och inne i inkapsling är stora. Eftersom det finns öppningar på två olika nivåer i inkapslingen påverkas inkapslingens effektivitet av detta. För att få reda på hur stort läckageflödet är och hur det påverkas av de termiska stigkrafterna beräknas läckageflödet genom inkapslingens övre öppning.

Temperaturskillnaden mellan luften i inkapslingen och omgivningen uppmättes till 11 °C. Luften i inkapslingen uppmättes till 36 °C och temperaturen utanför var 25 °C. Höjdskillnaden, i vertikalled, mellan öppningarna är 0,35 m. Med hjälp av ekvation 9.8.1 beräknas utflödet från inkapslingen som orsakas av de termiska stigkrafterna.

$$q_1 = q_e = A_{e1}(2(\rho_u - \rho_i)g\Delta h/\rho_i)^{0,5} = 0,017\cdot(2\cdot(1,16-1,11)\cdot 9,81\cdot 0,35/1,11)^{0,5} = 9,5 \text{ l/s}$$

Detta innebär att läckageflödet orsakat av termiska stigkrafter är 9,5 l/s. Luften som läcker ut från hålet kommer från inkapslingen vilket innebär att det tidigare lägsta nettoutsugsflödet genom utmatningen justeras till ca 26,5 l/s (36-9,5). För att hindra läckage genom den övre öppningen krävs stora utsugsflöden. Detta är inte aktuellt på denna anläggning då det enklaste är att täta öppningen istället.

16.2.1.5 Föroreningar orsakat av meddragning

Detta är en faktor vars påverkan idag är okänd. Hur stor påverkan är beror troligen på utmatningsöppningens storlek och djup. Även burkens utformning kan tänkas påverka hur stor meddragning av oljedimma som sker från inkapslingen.

16.2.1.6 Analys av huv

Det är viktigt att ta reda på av vilken typ föroreningskällan är. Det viktigaste att få reda på är om man kan utnyttja konvektiva luftströmmar som orsakas av föroreningskällan. Konvektiva luftströmmar förekommer när föroreningskällan är varm och det bildas en uppåtgående plym av föroreningar. Saknas konvektiva strömmar måste utsugsflödet anpassas så att man får en viss utsugshastighet vid källan.

I detta fall förekommer det konvektiva luftströmmar som orsakas av de varma burkarna samt oljedimma. För att se om huven är tillräckligt bred måste dels utbredningen på den luftplym som värmekällan bildar och dels storleken på det uppåtgående luftflöde som värmekällans luftplym bildar beräknas.

Konvektionsströmmen beräknas olika beroende av vilken typ av källa det rör sig om, t.ex. en linjekälla, punktkälla eller en horisontell eller vertikal källa. Vi ser på vår källa som en linjekälla och använder ekvationen 5.3.12.

För att beräkna värmeeffekten under huven som genereras av varma aluminiumburkar mäts temperaturen på burkarna. Burkarna håller en temperatur på 75 °C vid utloppet och hinner svalna till 30 °C innan den lämnar huven. En burk väger 15 gram och har en specifik värmekapacitet på 0,89 kj/kgK. Med hjälp av ekvation 9.1.4. och ett burkflöde på 3,79 burkar/s innebär det att värmelasten blir 2,3 kW.

$$P=m\ c_p\ (t1-t2) \Rightarrow P=3{,}79\cdot 0{,}015\cdot 0{,}89\cdot(75-30)= 2{,}3\ kW$$

Med ekvation 5.3.12. beräknas konvektionsströmmens storlek till:

$$q_v = 1{,}4\ 10^{-2}\ \Phi^{1/3}\ (y+y_p) \Rightarrow 0{,}014\cdot 2{,}3^{1/3}\cdot(0{,}2\cdot(0{,}96\cdot 2{,}1))=0{,}075\ m3/(s\cdot m)$$

Vårt utsugsflöde i huven uppmättes till 144 l/s dvs betydligt högre än konvektionsströmmen på 75 l/s. Det finns osäkerheter i konvektionsströmmens storlek då det sker en viss avdunstning av dragoljor från burken. Det medför att det egentligen är en blandning mellan konvektion och avdunstning. Fördelningen mellan konvektion och avdunstning är i detta fall okänt, men storleken på konvektionsströmmen har beräknats som om det enbart förekom konvektion.

För att kontrollera att huven har en tillräcklig storlek använder vi oss av ekvationerna 5.3.15 och 5.3.17. Vi gör ett antagande att punktkällans placering är 2,1 diametrar av värmekällan bakom värmekällan och plymens bredd blir då efter 20 cm:

Kortsida huv:

$$b_k = 2\ \tan(12{,}5°)\ (y+y_p) \Rightarrow 2\ \tan(12{,}5°)\ (20+2{,}1\cdot 18)= 25{,}5\ cm$$

$$b = b_k+0{,}8\ y \Rightarrow 0{,}255+(0{,}8\cdot 0{,}2)= 0{,}415$$

Bredden på huven är idag 42 cm och uppfyller precis önskad bredd på huven. Motsvarande beräkning längs långsidan där längden på källan är 1 m ger en önskad huvbredd på 117 cm bredden är idag 95 cm.

Sammanfattningsvis är huven tillräckligt bred på kortsidan men den behöver förlängas på långsidan till att gå ut ytterligare 23 cm för att klara av att fånga in föroreningar som burken ger ifrån sig utanför inneslutningen. Utsugsflödet från huven är onödigt stort. Viss del av luftflödet skulle kunna omdirigeras till inkapslingen för att på så vis minska dess föroreningslast.

16.2.1.7 Förslag till åtgärder på bodymakern

- Minimera läckageytorna. Ett flertal läckareor finns på inneslutningen och det är fullt möjligt att täta dem alternativt minska dem rejält. Bulthål och röröppningar ät lätta att täta. Svårare delar att täta är dels öppningen vid burkutmatning och dels öppningen för transportkedjans retur. Det är möjligt att montera en horisontell plåt vid utmatningen från inkapslingen och mot trimmern.
- Omfördela utsugsflöden från huv till inkapsling då inkapslingen utgör föroreningskällan och har ett för litet utsug.
- Det är extra viktigt att täta läckageareor i toppen av bodymakerns inkapsling för att minimera inverkan av termiska stigkrafter.
- Komplettera linje 1 så att utsugsfördelningen mellan huv och inkapsling kan genomföras. Det saknas spjäll för justermöjligheter av utsugshuv.
- Täta glipa mellan huv och inneslutning.
- Förläng huven så att den följer burken ner till trimmern.

16.2.2 Utvärdering av åtgärder på Bodymaker

16.2.2.1 Fotografisk utvärdering av åtgärd

Som en första åtgärd gjordes en pilottest på bodymaker 22. Åtgärden fokuserade på inkapslingen och bestod i att minimera läckareorna. Den totala läckarean uppgick när projektet inleddes till 0,378 m^2 och efter tätning uppgick det till 0,101 m^2.

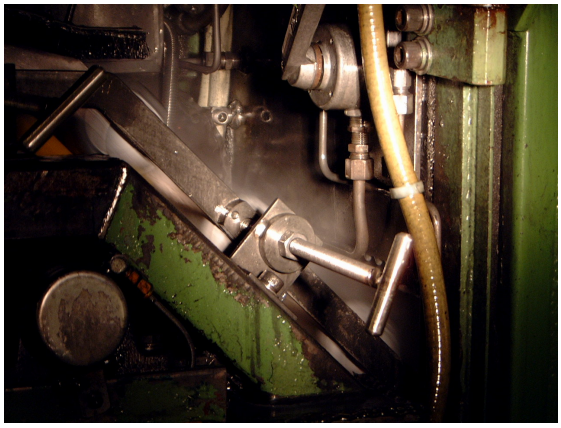
Inkapslingarna fotograferades före och efter åtgärd och inkapslingens utsugsflöde ändrades i olika steg. Efter varje flödesförändring fotograferades inkapslingen.

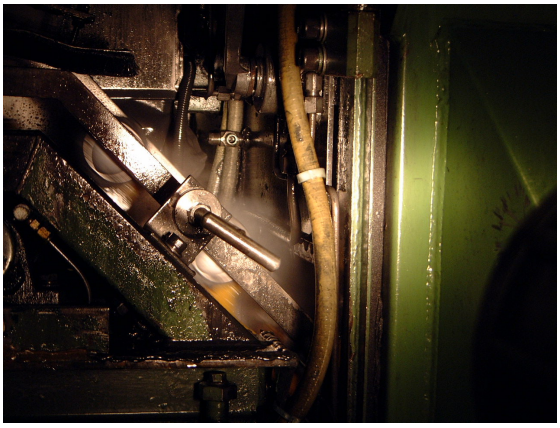
Kamerautrustningen ställdes upp så att inkapslingen belystes kraftigt med ett nästan parallellt ljus i förhållande till kameran och på så vis reflekterade röken ljuset. Reflektionen gör att man tydligare kan se röken. Protokoll från de två mättillfällena finns som bilaga 16.2.1

Bilderna redovisas nedan.

Före 55 l/s

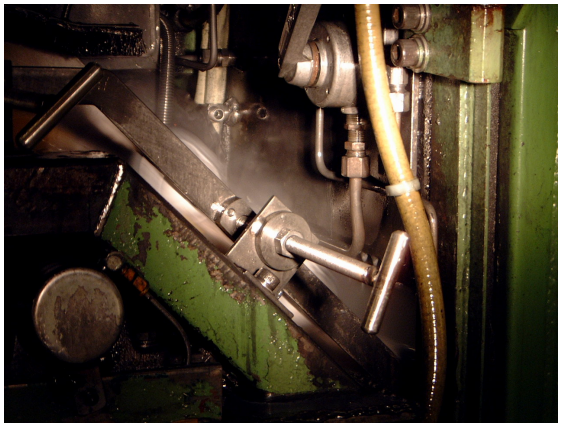
Efter 56 l/s





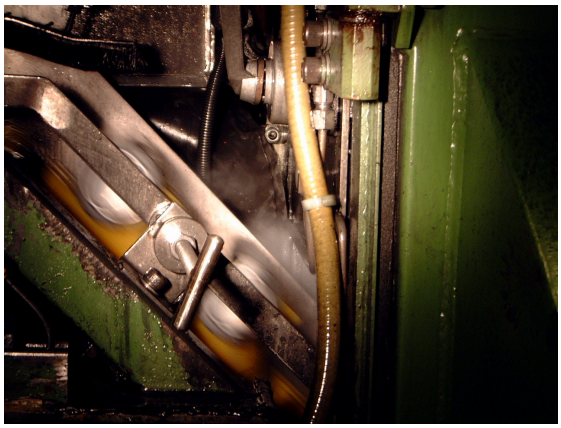
Före 73 l/s

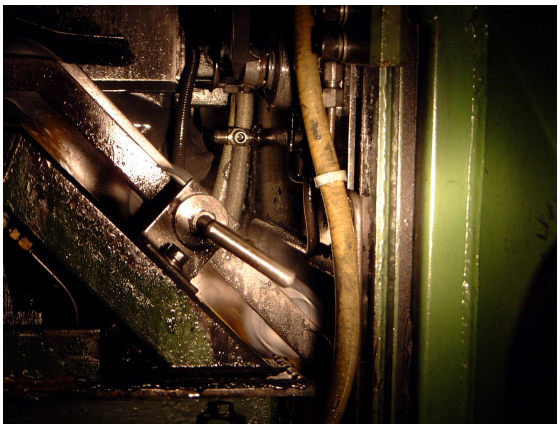
Efter 74 l/s



Före 105 l/s

Efter 104 l/s





Före 147 l/s

Efter 134 l/s

Man ser skillnader i mängd rök som kommer ut ur inkapslingen för och efter åtgärd. Med tanke på att det krävs 66 l/s i utsugsflöde för att uppnå de eftersträvade 0,3 m/s över

öppningsarean efter åtgärd ser man även att det inte är tillräckligt för att minska oljedimman tillräckligt. Det fortsätter att komma ut oljedimma från inkapslingen och inte förrän flödet ökats till över 74 l/s är det acceptabelt och vid 100 l/s är det bra. Detta beror på den meddragning av oljedimma som orsakas av burken. Den faktorn tar man normalt inte hänsyn till vid dimensionering av inkapslingar trots att den många gånger kraftigt påverkar inkapslingens funktion. Vi har inte funnit några uppgifter kring detta fenomen och de som rådfrågats har inte heller kunnat ge ett bra svar på hur man skall beräkna och utforma sin anläggning för att kompensera för detta. Detta är ett område som kräver ökad kunskap!

16.2.3 Analys av en huvs utsugningsflöden genom datormodell

Vid dimensionering av ett utsug är det intressant att veta om man med utsuget skall fånga in alla föroreningar eller om man kan tillåta ett visst läckage vid t.ex. tillfälliga störningar.

Är det rimligt att ha ett utsugsflöde så att det kompenserar för en händelse som kanske inträffar ett par gånger om dagen, såsom att en port öppnas eller en truck passerar? Om man kan tillåta ett visst läckage från sin huv eller inkapsling så kan man komma ifrån stora kontinuerliga utsugsflöden med höga uppvärmnings- och driftskostnader som följd. Det högre utsugsflödet för att kompensera även för en tillfällig störning skall jämföras med att man låter allmänventilationen ta hand om den sista mängden av föroreningen. De utsugsflöden som krävs för att kompensera för en störning benämns hädanefter behovsflöden.

Det som absolut avgör om man kan tillåta ett visst läckage av föroreningar är typen av förorening. För förorening där man absolut inte vill tillåta någon form av bakgrundshalt i omgivningsluften är denna metod ointressant. Det är viktigt att man bestämmer ett högsta tillåtna gränsvärde av föroreningen i lokalen, c_p. Gränsvärdet kan sättas utifrån företagets egen policy eller utifrån myndighetskrav, gränsvärdeslistan. För att få fram det dimensionerande utsugningsflödet måste behovsflödenas storlek och frekvens vara kända. Målet är att minimera det totala ventilationsflödet, dvs. summan av inkapslingens utsugsflöde q_e och allmänventilationens q_a, under det givna villkoret att gränsvärdet inte får överstigas. Målet gäller under förutsättning att kostnaden för utsugs- och allmänventilationsflödena är lika.

Det förutsätts att det valda utsugningsflödet q_e är konstant i tiden. Den föroreningsspridning som sker till lokalen för behovsflöden större än det valda utsugningsflödet q_e måste spädas ut med en ökning av allmänventilationen q_a för att klara kraven på tillåtna gränsvärden.

Ett antal olika fall kommer att undersökas. Det allra enklaste fallet är ett enda behovsflöde med en given frekvens och storlek. Andra fall som undersökts närmare är rektangel-, triangel-kvadrat-, kubiskt- och normalfördelade behovsflöden.

Analysen kommer att ske med följande beteckningar för olika ingående variabler:

- q_e Utsugningsflöde (m^3/s)
- q_s Behovsflöde (m^3/s)
- f_s Relativ frekvens för behovsflöde q_s (-)
- p Föroreningsflöde ($\mu m^3/s$)
- p_s Spritt föroreningsflöde ($\mu m^3/s$)
- c_p Gränsvärde för föroreningsnivå (μ)
- q_p Utspädningsflöde (m^3/s)
- q_a Ökat allmänventilationsflöde (m^3/s)
- q_t Totalflöde q_e+q_a (m^3/s)

Föroreningsflödet p måste för fallet utan någon huv spädas ut med ett utspädningsflöde q_p för att klara gränsvärdet c_p. Detta ger följande samband:

$$p = q_p \, c_p \qquad (\mu m^3/s) \qquad (16.2.1)$$

16.2.3.1 Ett behovsflöde

Hur stor del av föroreningsflödet som sprids till lokalen beror på hur stor del av behovsflödet q_s som utsugsflödet q_e för bort:

$$p_s = p \, (q_s - q_e) / q_s \qquad q_e \leq q_s \qquad (\mu m^3/s) \qquad (16.2.2)$$

Detta flöde sprids under den relativa frekvensen f_s och kräver en ökad allmänventilation q_a som späder ut förorening till den tillåtna gränsvärdesnivån c_p, vilket ger sambandet:

$$q_a \, c_p = p \, (q_s - q_e) \, f_s / q_s \qquad q_e \leq q_s \qquad (\mu m^3/s) \qquad (16.2.3)$$

Uttrycket kan förenklas genom att utnyttja (16.2.1), vilket ger följande uttryck för den ökade allmänventilationen:

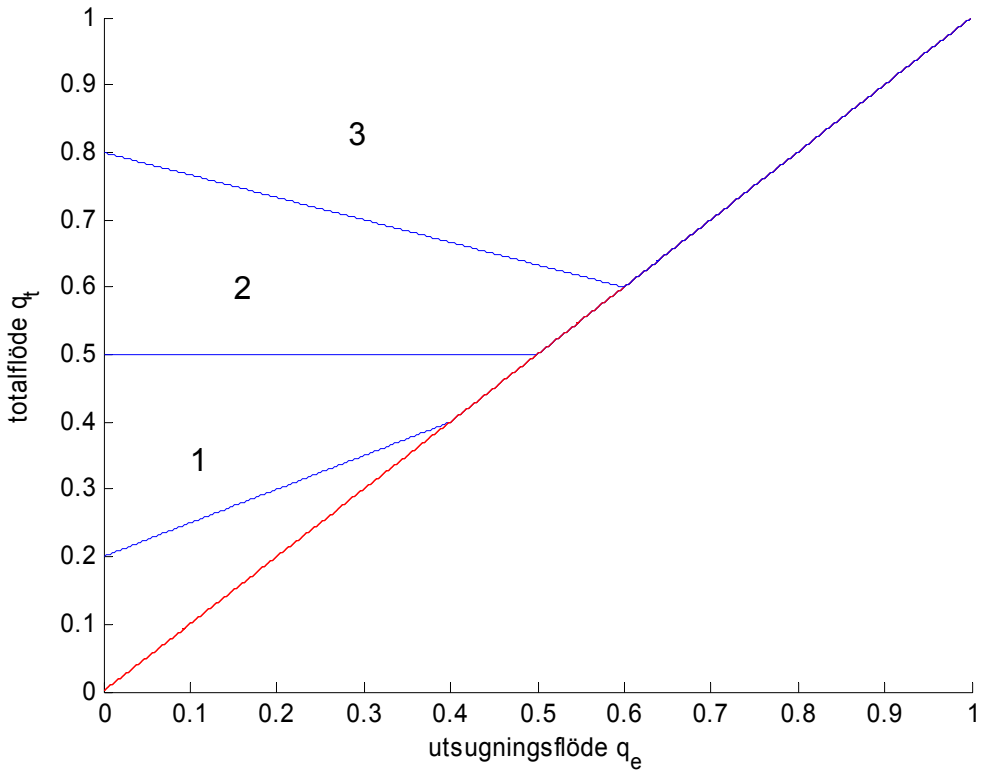
$$q_a = f_s \, q_p \, (1 - q_e / q_s) \qquad q_e \leq q_s \qquad (m^3/s) \qquad (16.2.4)$$

Totalflödet, summan av utsugningsflödet och det ökade allmänventilationsflödet kan skrivas som en funktion av utsugningsflödet q_e:

$$q_t = q_e + f_s \, q_p \, (1 - q_e / q_s) \qquad q_e \leq q_s \qquad (m^3/s) \qquad (16.2.5)$$

Totalflödet är enligt (16.2.5) en linjär funktion av utsugningsflödet q_e för intervallet $(0,q_s)$. För detta fall finns det två lösningar att utsuget slopas $q_e = 0$ och att totalflödet blir $q_t = q_a = f_s \, q_p$ eller att utsugningsflödet q_e görs lika med behovsflödet och totalflödet då blir $q_t = q_s$.

Om $f_s \, q_p$ är lika med eller mindre än den ökade allmänventilationen q_a och är mindre än behovsflödet q_s skall inget utsug användas och omvänt. Detta kan visas med tre exempel på totalflöde q_t som funktion av utsugningsflöde q_e, vilka redovisas i figur 16.2.2 för tre olika behovsflöden 0,4; 0,5 och 0,6 m^3/s med motsvarande frekvens 0,2; 0,5 respektive 0,8 och med utspädningsflödet $q_p = 1 \, m^3/s$.



Figur 16.2.2. Totalflöde som funktion av utsugningsflöde för tre olika behovsflöden 0,4; 0,5 och 0,6 med motsvarande frekvens (f_s) 0,2; 0,5 respektive 0,8, q_p= 1 m^3/s.

Kurva 1 i figur 16.2.2 utgör kurvan för fallet då behovsflöde är 0,4 och en frekvens på 0,2 med förutsättningen att q_p=1 m^3/s. Kurvan visar att utan något utsug behövs det 0,2 m^3/s för att endast med allmänventilationen kompensera för föroreningen. Installeras ett utsug kommer det att medföra ett större totalflöde för att kompensera för störningen än om man kan tillåta att allmänventilationen tar hand om föroreningen.

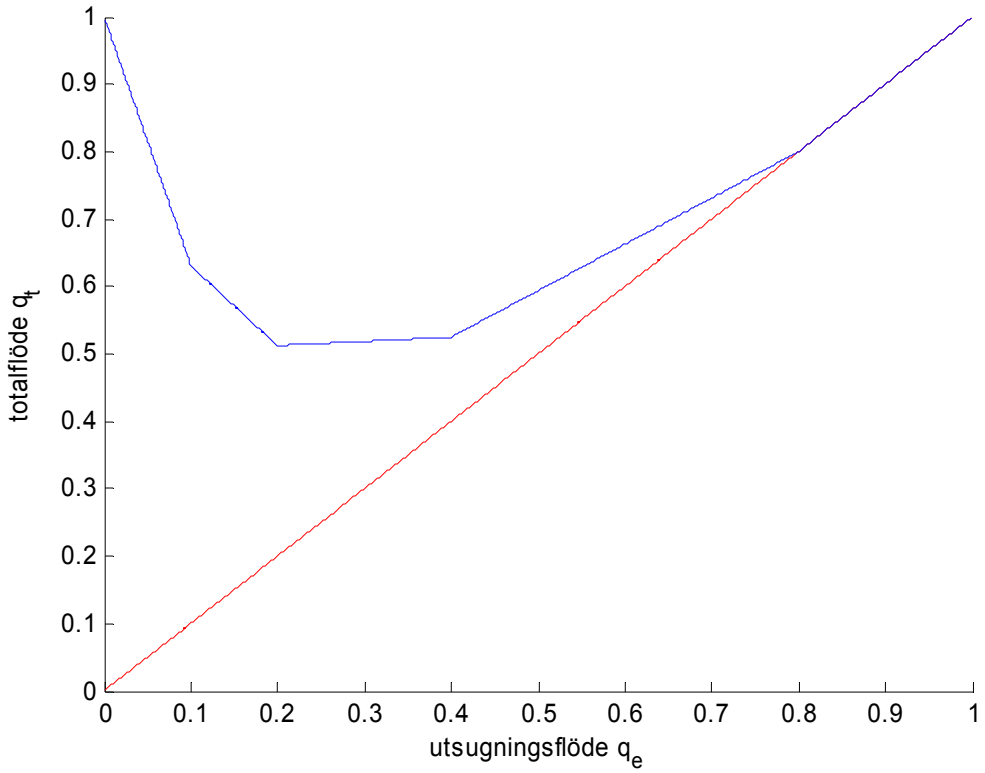
Kurva 2 i figur 16.2.2 visar kurvan vid behovsflöde och frekvens på 0,5. Detta visar att det inte spelar någon roll om man använder någon huv eller ej. Totalluftflödet blir detsamma fram till dess att utsugsflödet q_e är lika med behovsflödet q_s.

Kurva 3 i figur 16.2.2. visar kurvan vid behovsflöde 0,6 och en frekvens på 0,8. Denna visar att även ett litet utsugsflöde minskar behovet av det totala flödet q_t. Detta innebär att i detta fall är det en god investering att installera en huv, under förutsättning att kostnaderna för allmänventilationsflödet är densamma som för utsugsflödet.

16.2.3.2 Flera behovsflöden

Vad blir resultatet vid flera behovsflöden med olika storlek och frekvens? Uttrycket (16.2.5) kan användas genom att addera fler termer för den ökade allmänventilationen som de olika störningarnas orsakar. Notera att om utsugningsflödet q_e är större än behovsflödet q_s finns det inget behov av allmänventilation för att kompensera för störningen eftersom all förorening tas om hand av utsugsflödet q_e.

Nedan redovisas ett framräknat exempel med behovsflöden q_s 0,1; 0,2; 0,4 och 0,8 med motsvarande samma frekvens *fs*=0,25 för alla flöden.



Figur 16.2.3. Totalflöde som funktion av utsugningsflöde för behovsflödena 0,1; 0,2; 0,4 och 0,8 med frekvensen f_s=0,25 för alla flöden q_p=1 m^3/s.

Resultatet visar att det är effektivt att installera ett utsug fram till behovsflöde 0,2 därefter blir totalluftflödet högre med en huv än utan. Detta gäller under förutsättningen att kostnaden för utsugsflödet q_e och allmänventilationsflödet q_a är densamma.

Det är viktigt att komma ihåg att det som skall minimeras är inte totalflödet q_t utan den totala produktionskostnaden för de två luftflödena q_e och q_a.

Skiljer sig kostnaden per volymenhet mellan utsugsflödet q_e och q_a kan man kompensera för det i sina beräkningar genom att komplettera ekvation 16.2.5 till följande uttryck:

$$K = (k_t+k_e)\, q_e + (k_t+k_f)\, q_a \qquad q_a \leq q_s \qquad (kr/s) \qquad (16.2.6)$$

k_t Kostnad tilluftflöde (kr/m^3)

k_e Kostnad utsugsflöde (kr/m^3)

k_f Kostnad frånluftsventilationsflöde (kr/m^3)

K Totala kostnaden för process- och allmänventilationen (kr/s)

Det använda utspädningsflödet kan också tolkas som ett viktat flöde med faktorn f som tar hänsyn till olika kostnaderna för utsugs och allmänventilation vilket ger:

$$K= q_e + f\, q_a \qquad q_a \leq q_s \qquad (m^3/s) \qquad (16.2.7)$$

$$f=(k_t+k_f)/(k_t+k_e) \qquad (-) \qquad (16.2.8)$$

Fem olika fördelade behovsflöden har undersökts och redovisas i figurerna 16.2.4-16.2.8. För de fyra första fallen kan frekvensfunktionen skrivas som:

$$f(x)=(n+1)(1-x)^n \quad n=0,1,2,3 \qquad (16.2.9)$$

Det femte fallet utgår från en normalfördelad frekvensfunktion med är normalfördelat med medelvärdet m=0 standardavvikelsen s=0,2.

Medelvärdena kan beräknas genom:

$$m=1/(n+2) \qquad (16.2.10)$$

$$m_{norm/2}= \sigma(2/\pi)^{0,5} \qquad (16.2.11)$$

De två tidigare redovisningarna, figur 16.2.2 – 3, av totalflödet q_t som funktion av utsugsflödet q_e hade ett förhållandevis lågt utspädningsflöde q_p = 1 m^3/s jämfört med störningens behovsflöde. Detta gjordes för att enklare kunna beskriva avvägningen mellan utsugsflöde och ökad allmänventilation. I den fortsatta analysen kommer utspädningsflödet att varieras från 1-100 m^3/s jämfört med ett största behovsflöde q_s =1 m^3/s.

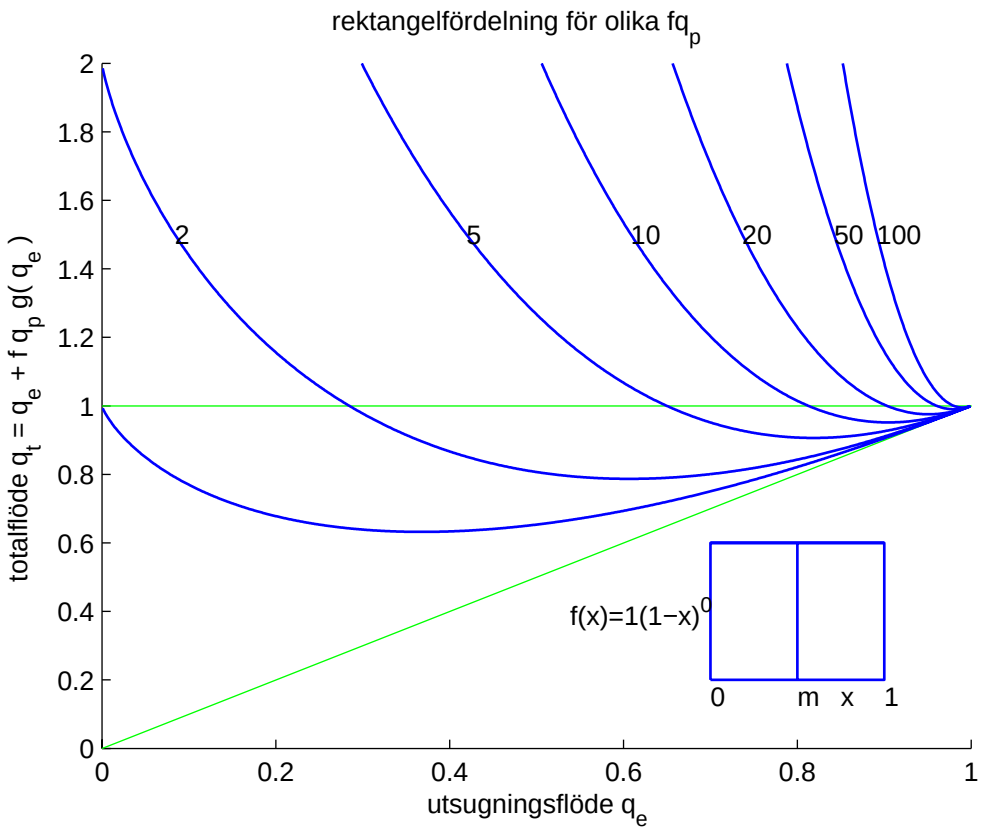
Först beräknas det ökade allmänventilationsflödet genom att integrera allmänventilationen med avseende på behovsflöden större än utsugsflöden.

$$q_a=f(q)q_p(1-q_e/q_s) \qquad (m^3/s) \qquad (16.2.12)$$

$$q_a=\int_{qe}^{qs} q_p f(q)(1-q_e/q)\, dq \qquad (m^3/s) \qquad (16.2.13)$$

16.2.3.3 Rektangelfördelad störning

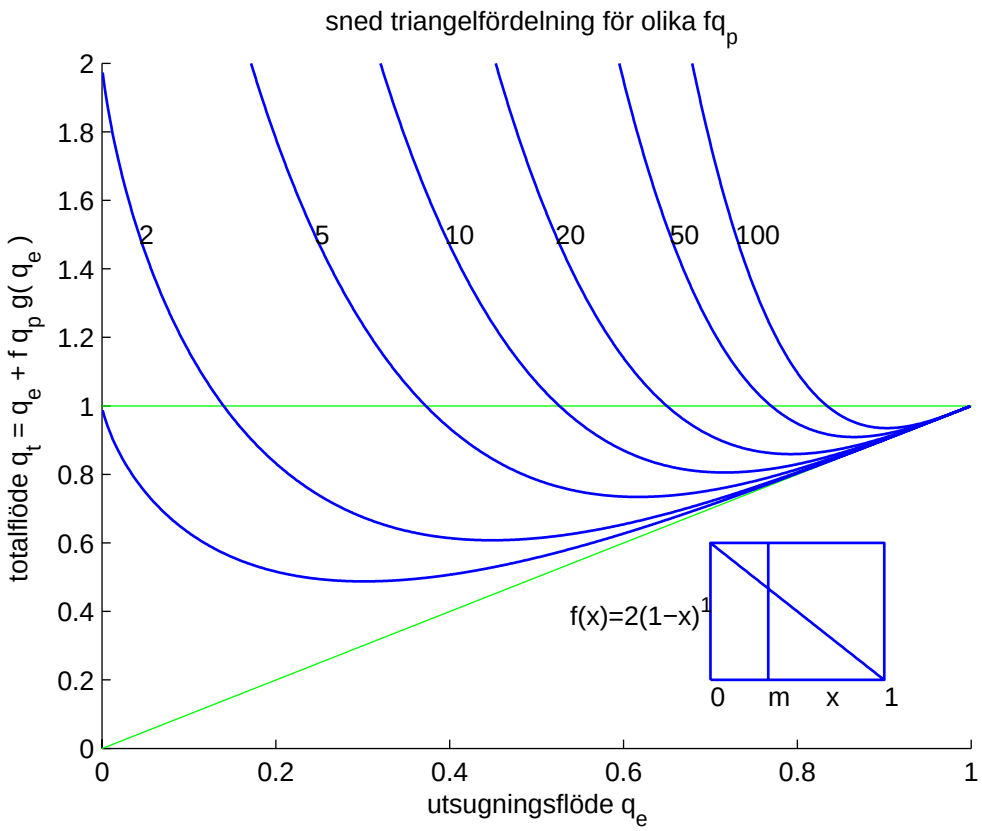
Antag att störningar förekommer inom ett givet intervall med samma frekvens. Detta innebär att störningen är rektangelfördelad. Frekvensfunktionen är konstant i givet intervall. En enkel analys görs för detta fall.



Figur 16.2.4. Rektangelfördelat behovsflöde, fq_p=1-100 m^3/s.

16.2.3.4 Sned triangelfördelad störning

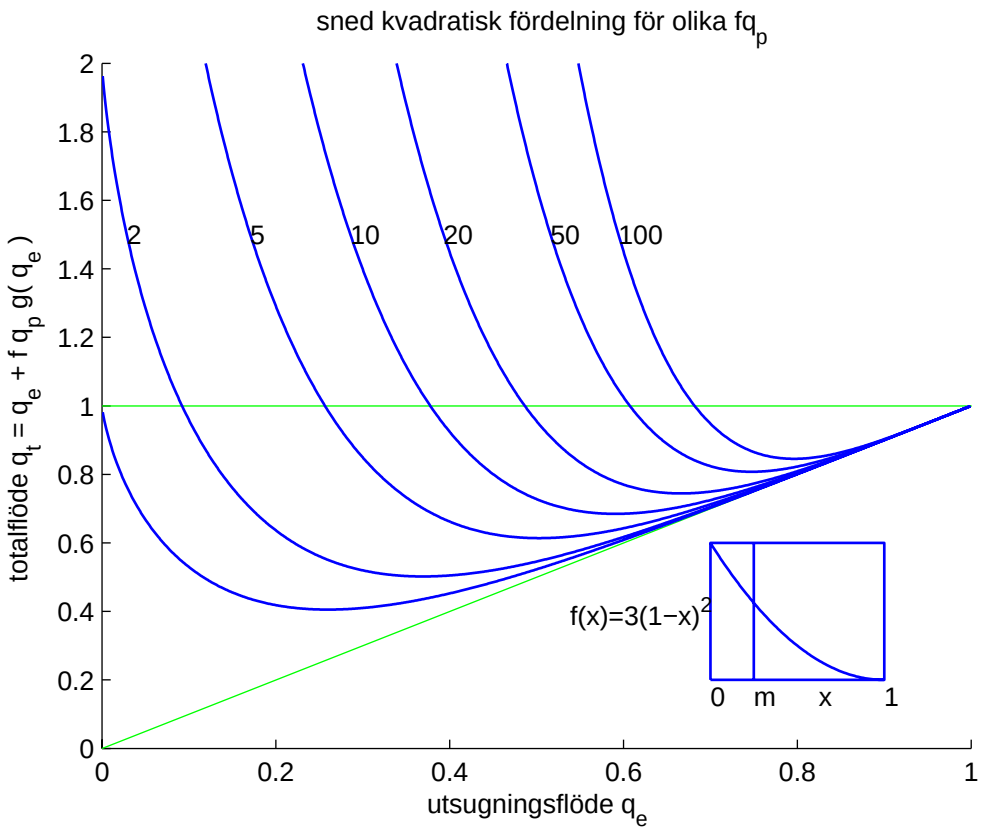
Antag att störningar förekommer inom ett givet intervall med linjärt avtagande frekvens för ökande behovsflöde. Detta innebär att störningen har en sned triangelfördelning. En enkel analys görs för detta fall.



Figur 16.2.5. Sned triangelfördelad störningar, fq_p=1-100 m^3/s.

16.2.3.5 Sned kvadratfördelade störningar

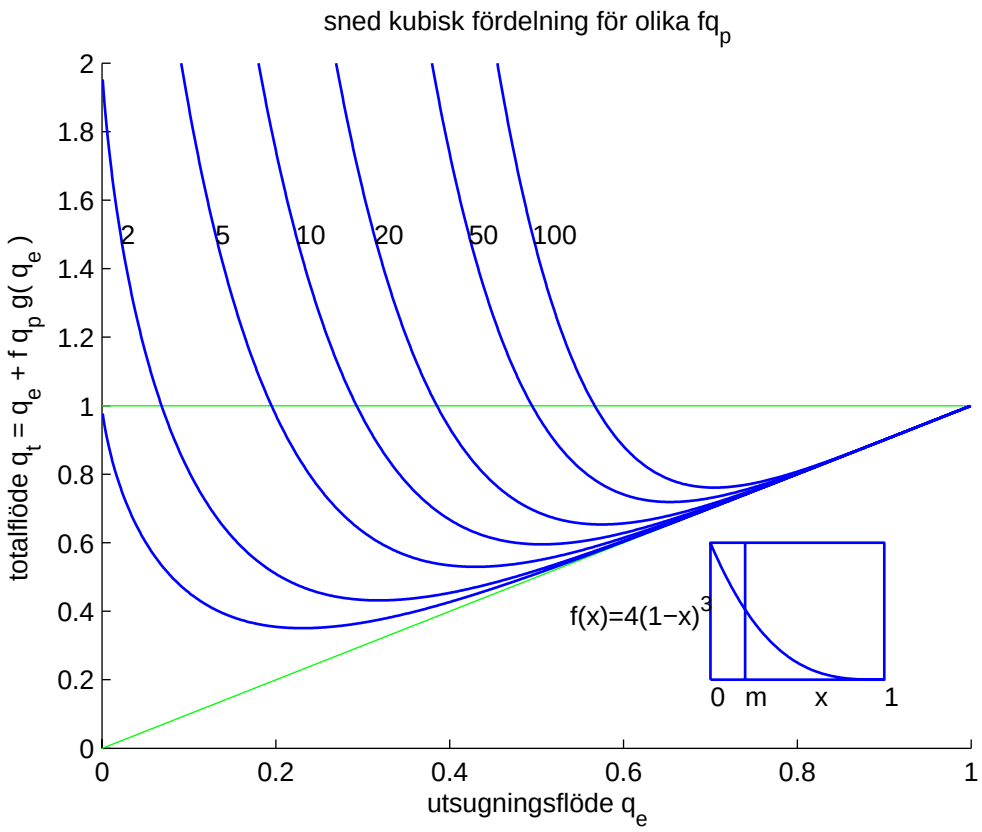
Antag att störningar förekommer inom ett givet intervall med kvadratiskt avtagande frekvens för ökande behovsflöde. Detta innebär att störningen har en sned kvadratisk fördelning. En enkel analys görs för detta fall.



Figur 16.2.6. Sned kvadratiskt fördelade störningar, fq_p=1-100 m^3/s.

16.2.3.6 Sned kubisktfördelade störningar

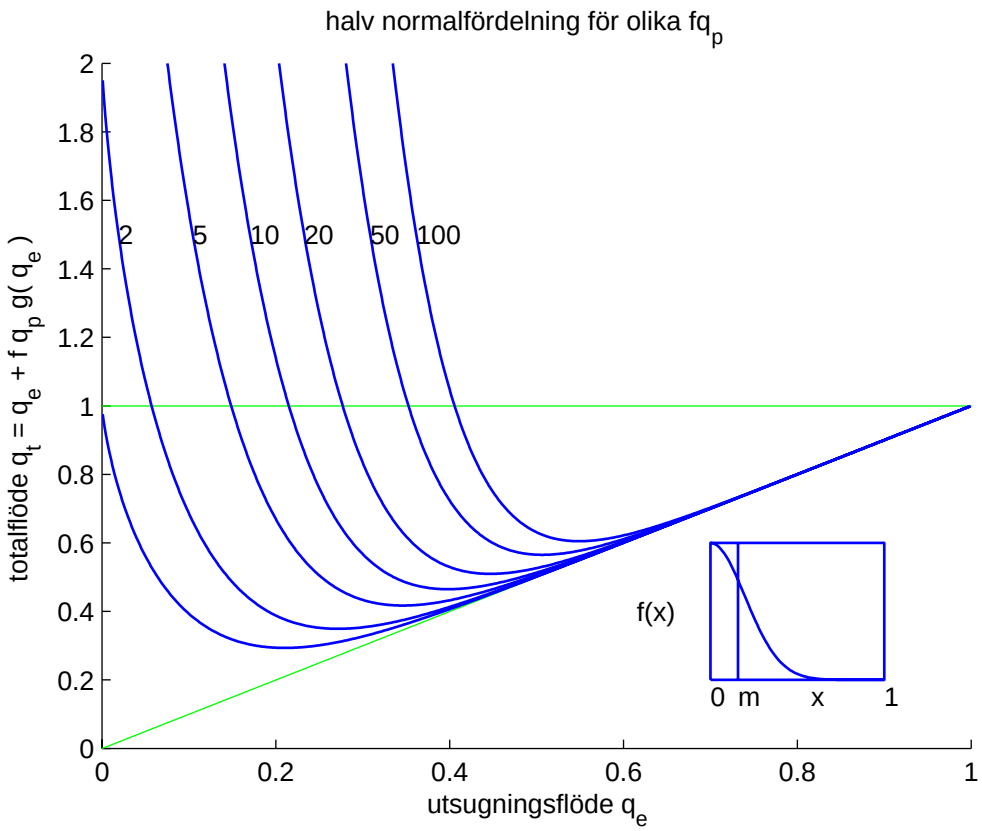
Antag att störningar förekommer inom ett givet intervall med kubiskt avtagande frekvens för ökande behovsflöde. Detta innebär att störningen har en sned kubiskfördelning. En enkel analys görs för detta fall.



Figur 16.2.7. Sned kubiskt fördelade störningar. fq_p=1-100 m^3/s.

16.2.3.7 Normalfördelade störningar

När ett antal olika slumpvariabler summeras brukar resultaten ofta bli normalfördelade. Vi har valt att dela normalfuktionen på hälften vilket går bra då den andra hälften är en spegling av den studerade.



Figur 16.2.8. Normalfördelade störningar, fq_p=1-100 m^3/s.

Kommentar:

Denna metod kan användas för att bestämma lämpligt evakueringsflöde för kända störningar med kända behovsflöden, känd frekvens, nödvändigt ventilationsflöde och föroreningsgränsvärde vid arbete utan punktutsug.

För en huv eller inkapsling med endast en störning visar det sig att det bara finns två varianter av lösningar. Dessa är en huv som tar hand om alla föroreningar eller att inte använda någon huv. I figur 16.2.2. framgår det att vid behovsflöden understigande 0,5 lönar det sig inte att installera en huv utan det totala luftflödet q_t kommer alltid att vara lägre utan huv än med. Vid behovsflöden överstigande 0,5 är det bra att installera ett utsug då totalflödet q_t kommer att vara som lägst då utsugsflödet q_e är lika med behovsflödet q_s. Lönsamheten i en sådan ombyggnad gäller under förutsättning att kostnaderna för allmän- och processventilationen är samma.

För en huv med flera störningar finns det ofta ett optimalt utsugsflöde där utsugsflödet från huven q_e är större än 0 och mindre än det största behovsflödet. I och med att man bestämt ett gränsvärde kan en avvägning göras mellan luften som evakueras genom utsuget och den extra luft som behövs genom allmänventilationen för att uppfylla gränsvärdet.

Samtliga kurvor i figurerna 16.2.4-16.2.8, visar att det finns ett optimalt utsugsflöde, men om utsugningsflödet q_e är förhållandevis stort är vinsten ringa jämfört med att ha ett utsugningsflöde som är lika stort som det största behovsflödet. Beroende på storleken på utspädningsflödet kan ändå vinsten vara märkbar när behovsflödena är höga.

De fem frekvensfunktionerna har olika medelvärden och man ser att ju lägre medelvärdet är desto större är möjligheterna för optimering.

Är det känt i tiden när störningen inträffar och att den är stationär kan man tänka sig ett variabelt utsugsflöde som kompenserar för störningen, det vill säga behovsstyrt utsug.

16.3 Lokalt klimat med utjämnande ventilation

16.3.1 Bakgrund

Arbete i bodymakerarean utförs mellan linje 1 och 2 samt mellan linje 3 och 4. Arbetsareorna ventileras med sex deplacerande don. Donen är placerade bakom maskinerna och luften måste passera maskinerna för att komma till och ventilera arbetsarean. Detta innebär att luften måste passera föroreningskällorna innan den kommer in i arbetsarean. Luften som till slut når arbetsarean har både blivit uppvärmd och förorenad av bodymakerna. De totala luftflödena från donen är sammanlagt 92 000 m^3/h dvs. 46 000 m^3/h och arbetsarea.

Personalen upplevde besvär med temperaturen, vilket sommartid kunde stiga till över 30 °C. Man upplevde också att luften var förorenad. Önskemålen var främst att man ville ha större luftrörelser för att sänka upplevelsen av temperaturen samt självfallet en lägre temperatur i arbetsarean. Det bestämdes att man skulle försöka skapa ett lokalt klimat i arbetsarean.

Målet var att tillföra luften direkt till arbetsarean. Eftersom man ville tillföra luften jämt över arbetsytan föll valet på horisontella takplacerade don. Efter samtal och studiebesök hos Pågens i Malmö och Unilever Bestfoods i Helsingborg bestämdes det att man skulle prova horisontellt monterade textilkanaler i arbetsarean.

Som ett inledande prov monterades tre textilkanaler i bredd i taket på arbetsarean mellan linje 1 och 2. Efter monteringen utfördes en utvärdering som dels byggde på en enkät och dels på temperaturmätningar.

16.3.2 Utvärdering av utjämnande ventilation

16.3.2.1 Svar från enkäten

Nedan redovisas svaren utifrån den enkät som personalen längs BM-arean 1 & 2 fått besvara. Svarsfrekvensen var hög, 22/24 personer lämnade in svar, varav en av enkäterna var inlämnad men inte ifylld.

Resultatet redovisas dels som procent och dels som antal personer. Det innebär att siffrorna under vardera svarsalternativ först anger hur stor procent som markerat detta alternativ och siffran efter anger antalet personer (33 %/7st).

1. Hur upplever ni att luften vid er arbetsplats är med det nya ventilationssystemet jämfört med det gamla?

Mycket friskare	Ganska friskare	Varken eller	Mer unken	Mycket mer unken
33/7	52/11	14/3	0	0

2. Upplever ni mer eller mindre besvär av drag med det nya systemet jämfört med det gamla?

Mycket mer besvär	Lite mer besvär	Varken eller	Mindre besvär	Inget besvär
5/1	29/6	29/6	19/4	14/3

3. Upplever ni att temperaturen runt arbetsplatsen blivit bättre eller sämre jämfört med det gamla?

Mycket bättre	Bättre	Varken eller	Sämre	Mycket sämre
19/4	57/12	24/5	0	0

4. Hur upplever ni att luftkvaliteten vid er arbetsplats är med det nya ventilationssystemet?

Mycket bra	Ganska bra	Varken eller	Dålig	Mycket dålig
19/4	48/10	24/5	10/2	0

5. Upplever ni drag med det nya systemet?

Mycket besvärad	Lite besvärad	Varken eller	Mindre besvärad	Obesvärad
5/1	33/7	33/7	5/1	24/5

6. Upplever ni att textilkanalerna som systemlösning är bättre än det gamla systemet?

Mycket bättre	Bättre	Varken eller	Sämre	Mycket sämre
24/5	76/16	0	0	0

Under ”övriga synpunkter” har följande saker skrivits:

> Öppna för luften.
>
> Vill kunna reglera luftflödet själv.
>
> Öppna för fullt, det är lika varmt nu som i somras 29 °C.
>
> Jobba vidare på ventilationen.
>
> Varför har ni minskat på luftmängden in det borde varje skiftlag för sig kunna ställa in individuellt. Många med mig vill ha mer luft in för att kunna hålla nere värmen. Man ska inte (bara för att en eller två personer gnäller) försämra för alla andra.
>
> Driftsäkerheten verkar lite varierande då den inte fungerar tillfredställande alltid, eller kanske det bottnar i att linjepersonalen ändrar på grejorna. Annars är systemet mycket bättre än vad det var tidigare.
>
> Tycker det är konstigt att ”huvudreglaget” är nästan helt avstängt med hänglås. Dessutom vredena till textilkanalerna ute på linje 1 & 2 också nästan helt avstängda. Meningen med textilkanalerna försvinner nästan helt när allt är avstängt. Verkar precis som om när några ”gnäller” så lyssnar man på dom men inte på övriga som tycker om en bättre och friskare arbetsplats.
>
> Om vissa gav fan i och stängde luften så vore allt bra och byta ut dom gamla textilkanalerna till samma sort som dom siste ni satte upp.
>
> Jag vill inte besvara denna enkät eftersom ventilationssystemet inte har provats under sommarmånaderna.

16.3.2.2 Kommentarer på enkäten

Svarsfrekvensen var väldigt bra, 22 stycken av 24 möjliga lämnade in enkäten.

Utifrån svaren i enkäten kan man utläsa att alla som svarat upplever att textildonen är ett uppskattat system, alla har angett att systemlösningen är bättre eller mycket bättre.

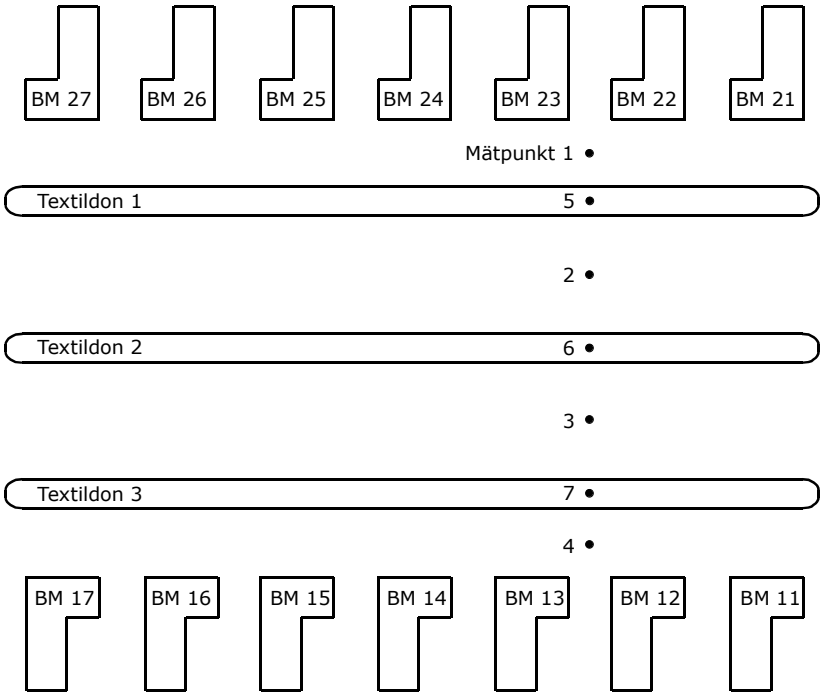
En del av personalen tycker att det drar mer om textildonen än det gamla och var tredje person upplever besvär av det. Anledningen till detta är att några medarbetare själva ändrat på luftflödesmängderna så att väldigt mycket luft blåstes in och orsakade stora luftrörelser. Möjligheterna att påverka luftflödesmängderna har numera begränsats. Genom att det installerats konstanttrycksdon och ett handmanövererat spjäll begränsas luftmängden inom ett visst intervall. Det handmanövererade spjället möjliggör anpassning av luftmängderna inom intervallet. På så vis kan var och en anpassa flödena från strumporna efter sina egna behov men med en begränsning inom ett visst luftflödesintervall.

Nästan alla, 88 %, upplevde att luften var friskare eller mycket friskare. Ingen tyckte att den blivit sämre jämfört med det gamla systemet. 57 % tyckte att luftkvaliteten vid arbetsplatsen var bra eller mycket bra med det nya systemet där ca 34 % tyckte att den var varken eller eller dålig.

De som skrivit något under egna synpunkter handlar nästan alla om luftmängderna. Fritt tolkat kan man säga att det finns ett önskemål om att reglera luftmängderna själva. Problemet har varit att det inte satts en rimlig maxgräns för vilka mängder man kan tillåta blåsa in. Detta är något man gjort idag.

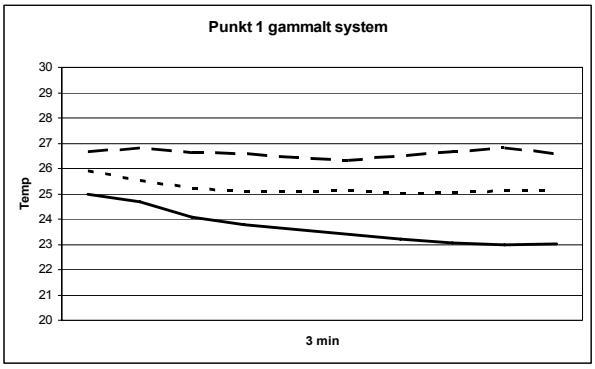
16.3.2.3 Teknisk utvärdering av utjämnande ventilation

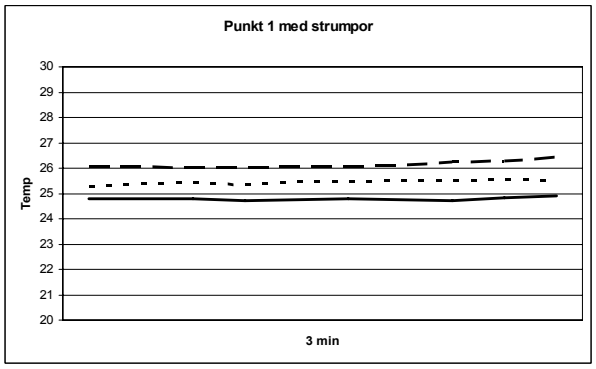
En enklare teknisk utvärdering har också genomförts där temperaturen mätts på tre olika nivåer, golvnivå, 125 och 230 cm ovan golv. Nederkanten på textildonen är strax ovanför 230 cm. Mätpunkterna är placerade mellan och direkt under strumporna. Totalt 7 st mätpunkter när strumporna är inkopplade och 4 st utan strumporna. Mätningarna har utförts under produktion och med tre minuters mättid vid varje punkt. Punkternas placering framgår av skissen nedan. Resultatet av detta visar att temperaturen i arean blir betydligt jämnare med textildon än utan.

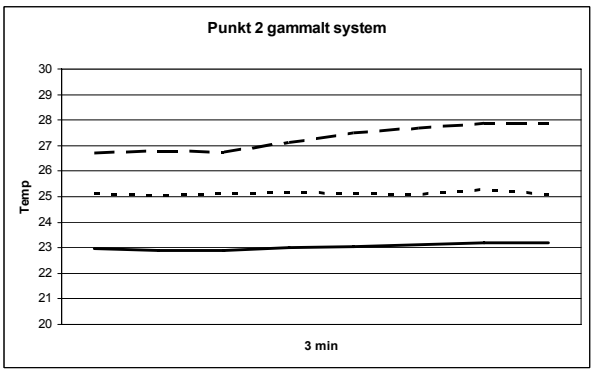


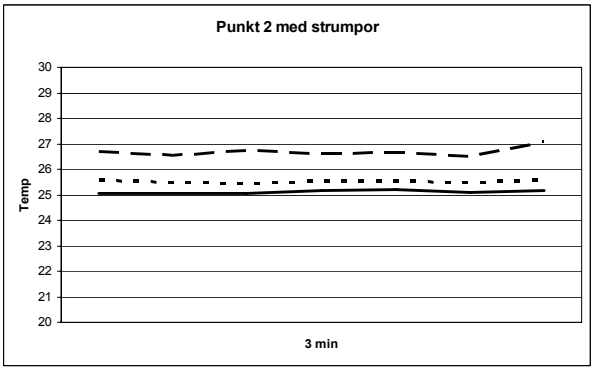
Figur 16.3.1. Provtagningspunkter i bodymakerarea.

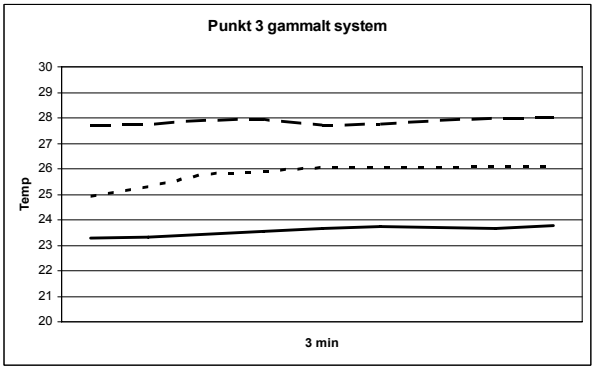
I diagrammen nedan redovisas temperaturprofilen och streckad linje är 230 cm ovan golv, punktad linje är 125 cm ovan golv, heldragen linje är i golvnivå:

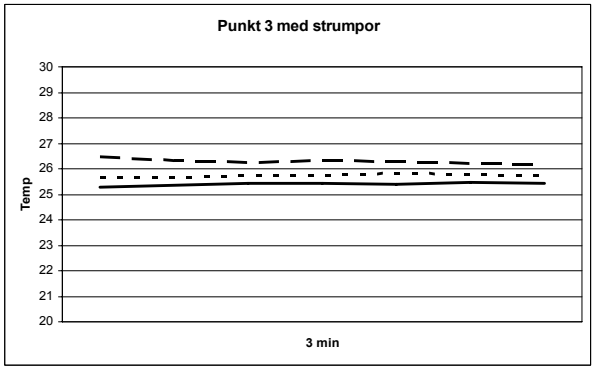


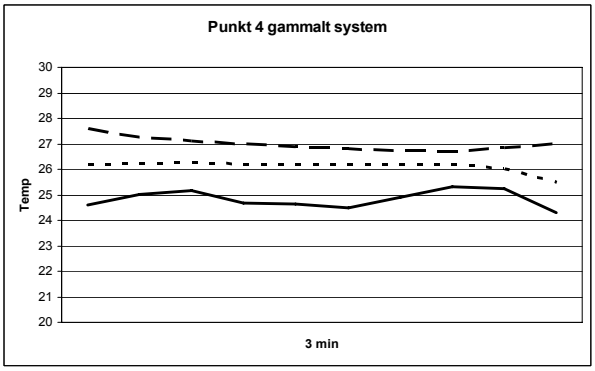


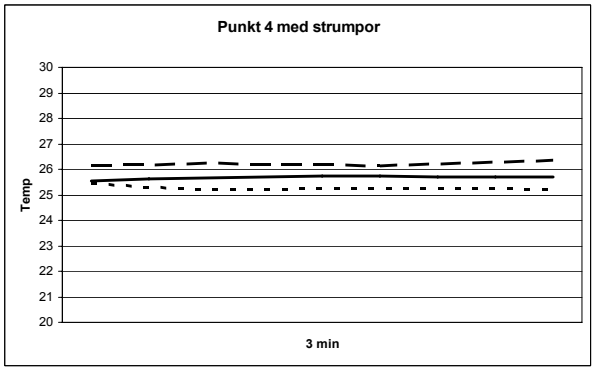


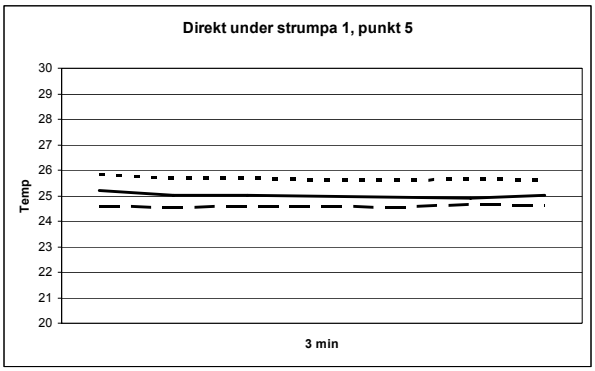


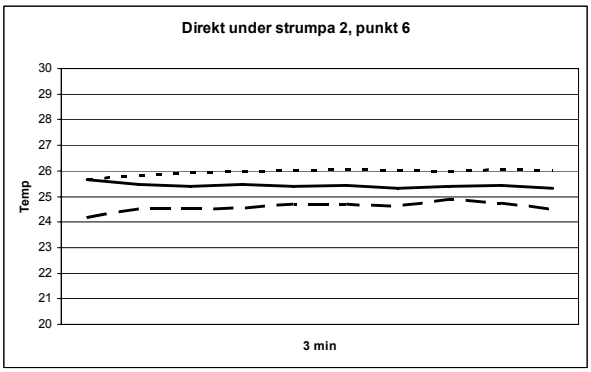


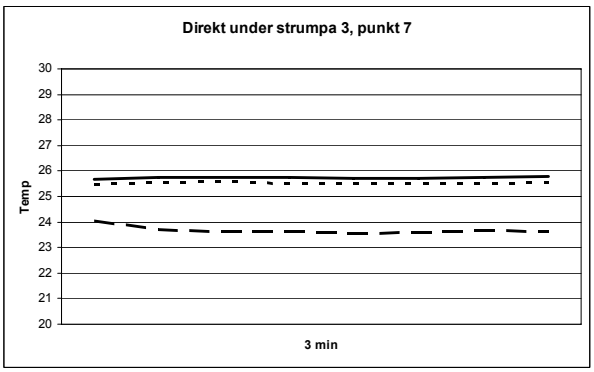












16.3.2.4 Kommentarer på den tekniska utvärderingen

Den tekniska utvärderingen visar att strumporna jämnar ut den vertikala temperaturprofilen, med textildonen blir temperaturskillnaden i höjdled ca 1-1,5 °C. Den högre temperaturnivån sjunker. Utan textildon är den vertikala temperaturskillnaden uppemot 5 °C.

16.4 Förbättrad ventilation i färgrum

16.4.1 Bakgrund

För att få den rätta färgnyansen vid trycket på en burk bryts tryckfärgerna till de rätta nyanserna. Denna brytning görs på plats av färgleverantören som hyr ett utrymme i fabriken. Denna lokal har en undermålig ventilation vilket uppmärksammades efter klagomål från personalen. För att dokumentera TVOC-nivåerna samt se vad olika åtgärder skulle innebära utfördes TVOC-mätningar med hjälp av en PID vid tre olika tillfällen. Det första tillfället var innan någon åtgärd. Vid andra tillfället hade som en första omedelbar åtgärd rutiner för hantering av använda trasor införts vilket innebar att dessa inte förvarades i lokalen. Vid tredje mättillfället hade frånluftsventilation installerats och hål i vägg tagits upp för tilluftstillförsel från intilliggande lokal. Ventilationen var från början tänkt att vara någon slags huv men det accepterades inte av brukarna som förordade installation av flera frånluftsdon kring brytningsmaskinerna. Frånluftsflödena uppmättes till 998 m^3/h och innebär ca 10 omsättningar per timme. Detta skall jämföras med den så gott som obefintliga ventilation som fanns tidigare. Resultaten från de tre mättillfällena visas i diagram 16.4.1.

16.4.2 Utvärdering av förbättrad ventilation

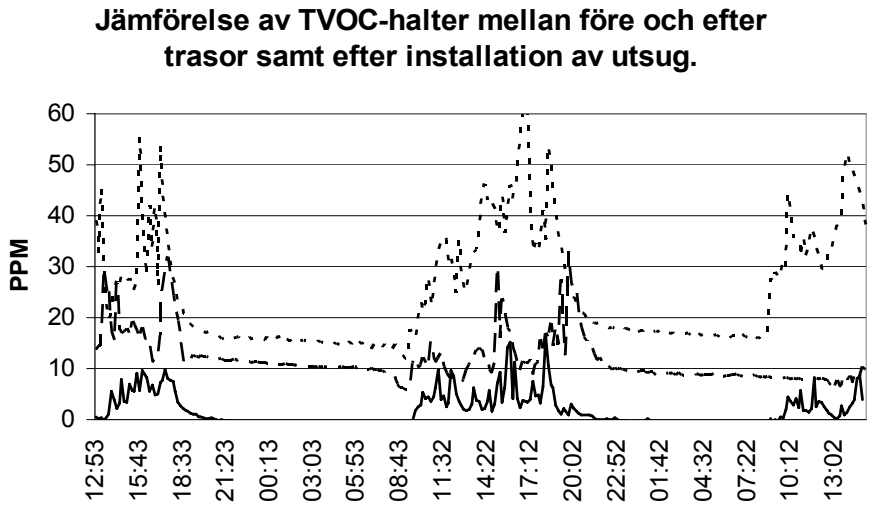


Diagram 16.4.1. Uppmätta TVOC-halter före och efter åtgärder. Punktad linje: före åtgärd, streckad linje: borttagna trasor, heldragen linje: installerat utsug.

Den första mätningen innan någon åtgärd visar mycket höga halter av TVOC. Det finns endast gränsvärden för TVOC i petroleum produkter (AFS 2000:3 sid 67), vilket inte är tillämpbart i detta fall. Men eftersom mätningarna visade på väldigt höga halter samt att man fått klagomål från brukaren bestämdes det att omgående göra åtgärder för att få ner TVOC-halten i lokalen. Första åtgärden var att införa rutiner så att använda trasorna inte låg kvar inne i lokalen utan att använda trasor lades i slutna behållare utanför lokalen. Denna åtgärd genomfördes omgående. Därefter kompletterades lokalen med ordentlig frånluftsventilation i form av ett punktutsug vid färgblandningsmaskinerna.

Resultaten visar att åtgärden med att införa rutiner för använda trasor visade sig vara effektiv och de allra högsta lösningsmedelsnivåerna sjönk markant. TVOC-nivån var ändå för hög och efter installation av frånluftsventilation har TVOC-nivåerna reducerats till mer acceptabla nivåer.

16.5 Effektivare tryckluftsanvändning

Den enskilt största elenergianvändaren är tryckluftskompressorerna. När projektet startade hos Rexam krävdes det 6,7 kompressorer för att hålla igång processen. En tidigare inventering av anläggningen hade föreslagit ett flertal åtgärder och möjligheter, med dessa i minnet påbörjades arbetet med att minska tryckluftsanvändningen. Fem åtgärder prioriterades:

- Läckage
- Produktionsstyrd tryckluft
- Trycksänkning i ledningsnätet
- Reducerad tryckluftsanvändning genom förändringar av necker
- Effektiv kondensatavblåsning.

16.5.1 Läckage

En läckagesökning dels med akustiska hjälpmedel dels genom att gå runt och med handen känna sig för längs slangar och lokala kondensatfällor resulterade i att flera läckor hittades och markerades. De flesta läckorna åtgärdades och ströks från en lista över läckorna. Rutiner för periodisk läckagesökning har upprättats på främst processutrustningen, för att på så vis undvika längre tids läckage.

16.5.2 Produktionsstyrd tryckluft

Vid driftstopp på en linje fortsätter printer, basecoater, necker och ljustest att blåsa tryckluft, trots att behov saknas. Alla maskiner utom ljustestern vars luftförbrukning är låg, har numera kompletterats med utrustning som stänger lufttillförseln till maskinen när det inte sker någon produktion i maskinen, så kallad produktionsstyrd tryckluft.

16.5.3 Trycksänkning i ledningsnätet

Det är endast ett fåtal av maskinerna som kräver ett tryck på 6 bar vilket hålls i anläggningen. Flera olika alternativ till trycksänkning studerades såsom att sänka trycket generellt, förse känsliga maskiner med boosters, dela upp nätet i ett högtrycksnät och ett lågtrycksnät, ökade ackumuleringsvolymer samt att anpassa maskiner.

Att sänka trycket borde i sig vara en enkel åtgärd men det mötte motstånd ute på anläggningen. Man ville vara på den säkra sidan så man inte riskerade hamna under erforderliga tryck vid plötsliga större uttag.

Detta kan tolkas som att man dels har för liten ackumulering i nätet dels för stora tryckfall i ledningsnätet i förhållande till luftbehovet. Detta gör att man är tvungen att tillgodoräkna sig den ackumulering som ledningsnätet bidrar med för att kunna driva sin process. Arbetet med att sänka trycket har efter motståndet avstannat tills dess att anläggningen minskat det totala tryckluftsbehovet genom bland annat en planerad ombyggnad av neckers till snålblåsande teknik. När detta slutförts kan man återuppta arbetet med ett tryckluftssystem med betydligt högre tillgänglig kapacitet eftersom mindre luftmängder används och storleken på de plötsliga luftuttagen blir mindre.

16.5.4 Reducerad tryckluftsanvändning genom förändringar av necker

Det processteg med den största luftförbrukaren är neckern. Neckern är uppbyggd av flera steg där burkens övre del formas. Tryckluften används i denna formningsprocess. Det har tagits fram ny teknik för att minska luftåtgången genom att luften återvinns mellan olika steg. En sådan ombyggnad reducerar luftbehovet markant. Ombyggnad av samtliga neckers har nyligen slutförts.

16.5.5 Effektiv kondensatavblåsning

Tidigare hade några av kyltorkarna tidsstyrd kondensatavblåsning vilket innebar att varannan minut öppnade en ventil under 3,5 sekunder för att låta kondensatet blåsas ut till avlopp.

Genom att ersätta den tidsstyrda kondensatavblåsningen mot en kondensatstyrd ventil, typ Bekomat, bortleds kondensatet utan att tryckluft går förlorad.

16.5.6 Resultat

Någon utvärdering av vad de enskilda åtgärderna medfört i minskad tryckluftsanvändning är många gånger svårt att göra men nedan följer en värdering av några av åtgärderna. Den åtgärden med den klart största effekten är ombyggnaden av neckrarna. Denna ombyggnad genomfördes under hösten och vintern 2005-2006. Ombyggnaden av neckerna har medfört att tryckluftsanvändningen till neckerna minskat från 81 m^3/min till 29 m^3/min. Detta har angetts motsvara en besparing på ca 3 310 MWh/år.

I diagram 16.5.1 visar den övre kurvan antalet kompressorer som producerar tryckluft, det vill säga man kan utläsa hur mycket tryckluftsanvändningen gått ner sedan 2003.

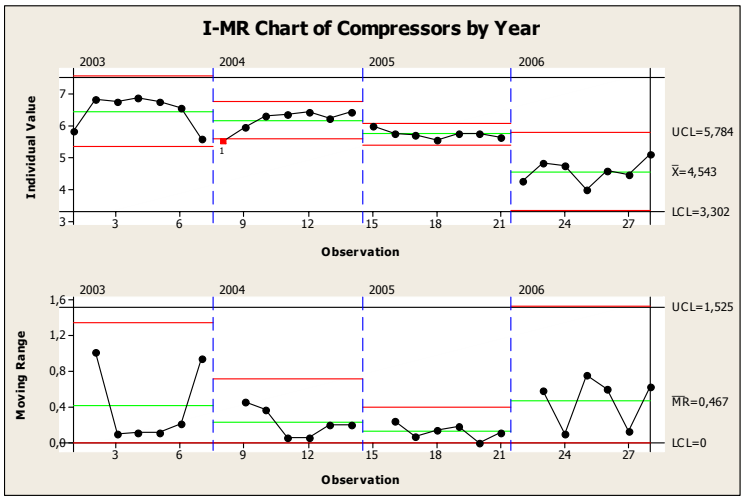


Diagram 16.5.1. Tryckluftsanvändning 2003-2006.

Diagram 16.5.2 visar hur tryckluftsanvändningen förändrats efterhand som ombyggnad av neckers har skett.

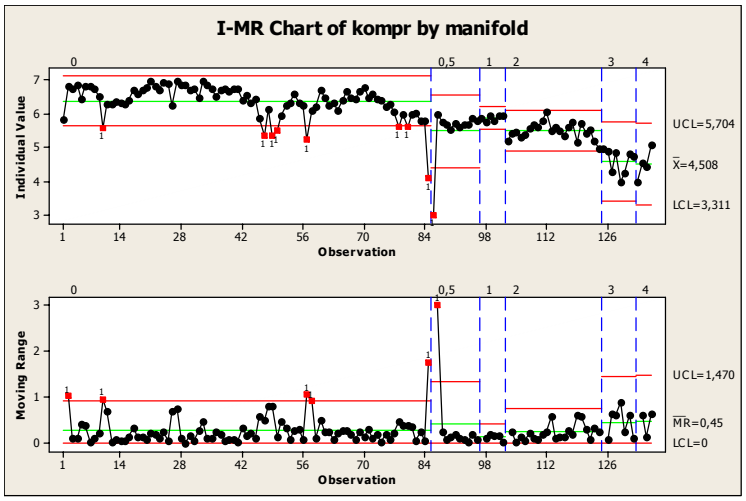


Diagram 16.5.2. Antal inkopplade kompressorer före under och efter ombyggnad av neckers.

Den produktionsstyrda tryckluften inverkar också på tryckluftsanvändningen. Med hjälp av befintligt centralt övervakningssystem har tryckluftsanvändningen genom komplettering med magnetventiler utvärderats. Diagrammen 16.5.3 och 16.5.4 visar tryckluftsanvändningen före och efter åtgärd på printrarna.

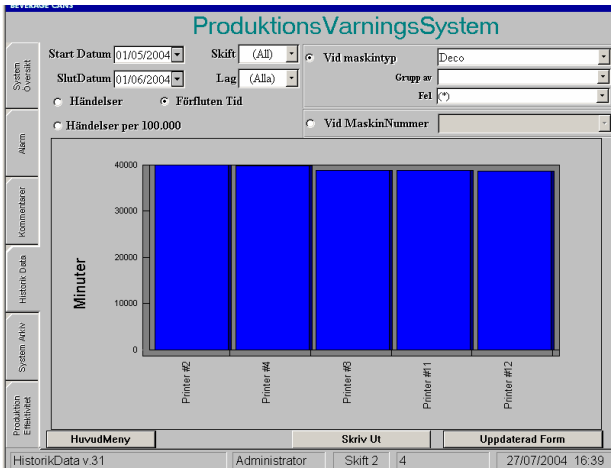


Diagram 16.5.3. Tryckluftsanvändningen före åtgärd.

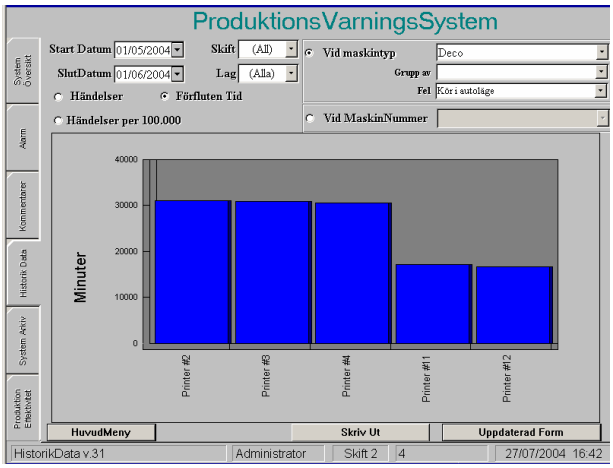


Diagram 16.5.4. Tryckluftsanvändningen efter åtgärd.

Denna åtgärd innebär en besparing på ca 300 MWh/år enbart på printerna. Motsvarande siffror för necker har baserat på drifttid beräknats till ca 1 400 MWh/år.

Tryckluftsanvändningen har minskat markant och från 6,7 kompressorer använder man nu 4,6 kompressorer. En reduktion med 2,1 kompressorer vilket ger en besparing på över en miljon kronor per år i minskade energikostnader, service och reparationskostnaderna.

Att sänka trycket i tryckluftsnätet är ett arbete som kommer att återupptas under året. Eftersom det totala luftbehovet minskat markant är tillgänglig kapacitet i ledningssystemet bättre och plötsliga större uttag har även minskat. Detta innebär att risken för trycksänkningar i ledningsnätet har minskat och därför är riskerna att utrustning slutar fungera på grund av för lågt tillgängligt tryck mindre.

16.6 Avveckla ångpannan och effektivare värmeåtervinning

Ett projekt som till viss del påbörjats i ett tidigare skede efter tidigare kontakter med Rexam var att återvinna värme från tryckluftsanläggningen. För att värma vätskorna i washerna återvinns värme från tryckluftkompressorerna och en ångpanna med en märkeffekt på 2,5 MW används för att slutvärma washerna. Värmeeffektbehovet för att slutvärma washerna uppskattades till ca 250 kW. Värmeenergin från ångpannan värmeväxlades i en ångvärmeväxlare. Hela anläggningen bedömdes som sliten och kraftigt överdimensionerad. Förslag på åtgärder var att dels genom ombyggnad av washerns värmekrets få en så stor temperaturdifferans som möjligt över washerna dels ersätta ångpannan med en mindre till effektbehovet bättre anpassad värmepanna.

Genom en ökad differenstemperatur över washerna ökar möjligheten att återvinna spillvärme från tryckluftskompressorerna till att värma washern med.

Ångpannan ersattes med en elektrisk värmepanna. Anledningen till att valet föll på en elektrisk elpanna var enkelheten att installera och placera. Elpannans maximala effekt är 350 kW och den placerades bredvid processen utan några större förändringar.

Elpannan ska egentligen enbart fungera som en reservpanna då värmeöverskottet från tryckluftskompressorerna skall användas mer än vad som är möjligt idag. Problemen med kompressorkretsens värmeöverskott är att temperaturkvaliteten idag är för låg på kylvattnet. Genom en förbättrad styrning hos tryckluftskompressorns kylvatten så att denna garanterat kan hålla minst 90 °C kan man återvinna mer energi till washern. Ett annat pågående projekt som syftar till att minska tryckluftsanvändningen har också påverkat möjligheterna att återvinna värme. Det kvarstår en del optimeringsarbete för att anläggningen skall fungera optimalt. Dels skall styrningen av framledningstemperaturen från kompressorerna förbättras, dels skall styrningen till värmningen av vätskorna ändras. Främst skall värmeventilerna till vätskorna ändras från trevägsblandningsventilen till tvåvägsventiler för att öka temperatur differensen vilket möjliggör ökad återvinning. Inte förrän detta är fullt utbyggt vet vi hur effektiv åtgärden är.

16.7 Bortledning av vakuumelevatorers utblås från lokalen

16.7.1 Bakgrund

Det finns flera anledningar till att leda bort luften från vakuumelevatorerna. Några av vakuumelevatorerna har förhöjda halter av VOC i utblåsningsluften och fungerar dels som värmespridare och dels som föroreningsspridare. En annan anledning är att det är möjligt att reducera luftflödet genom allmänventilationen eftersom vakuumelevatorerna istället skulle fungera som frånluftsfläktar.

Som ett första steg bestämdes det att prioritera två vakuumelevatorer. Det var elevatorer som var de största värme- och föroreningsspridarna. Den ena vakuumelevatorn kallas Dinon och den andra är vakuumelevatorn efter IC-spruta linje 4.

Dinon är placerad direkt efter IC-ugn 2 och transporterar burkarna upp till andra våningen. Burkarna är varma då de kommer till Dinon vilket medför förhöjda temperaturer i arbetsarean då Dinons utblås var riktat ditåt. Denna vakuumelevator är främst en värmespridare.

Vakuumelevatorn efter IC-spruta linje 4 transporterar nylackerade blöta burkar till andra våningen. Vakuumelevatorns utblås var placerad i arbetsarean. Detta innebar att den luft som sögs in genom vakuumelevatorn passerade blöta burkar som emitterade VOC och blåste därefter ut förorenad luft till arbetsarean.

16.7.2 Utvärdering av bortledning av luft från vakuumelevatorerna

Luftflödet från Dinon pendlar kraftigt beroende på hur många burkar som täcker vakuumbandet. Vid en mätning vid hög bandtäckning, vilket får anses vara normalt, var utsugsflödet 19 800 m^3/h och den bortförda luften hade en temperatur på 30,0 °C vid en omgivningstemperatur i lokalen på 22,7 °C. Den bortförda värmelastens storlek beräknas med ekvation 9.1.4. vilket blir:

$$P=19800/3600\cdot 1,2\cdot 1000\cdot (30-22,7)= 48\ 180\ W$$

Detta innebär att värmelasten i lokalen har minskats med ca 48 kW. Denna värmelast hade en relativt lokal påverkan intill arbetsarean vid IC-ugn 2 samt IC-spruta 2 vilket resulterat i lägre temperaturer i den arean.

Uppmätt luftflöde genom vakuumelevatorn efter IC-spruta linje 4 var 14 300 m^3/h och den bortförda luften hade en temperatur på 27,5 °C vid en omgivningstemperatur i arbetsarean på 22,4 °C. Vid beräkning av värmelasten enligt ekvation 9.1.4. innebär det en bortförd värmebelastning på 24,5 kW.

För att få reda på hur mycket VOC som förs bort från lokalen har en mätning av mängden TVOC utförts. Mätningen har gjorts med en FID och resultatet redovisas i tabell 16.7.1. Föroreningarna gick tidigare ut i lokalen och exponerade personalen innan den fördes bort med allmänventilationen. Nu förs den direkt ut över taket. I detta första skede har den förorenade luften inte kopplats in på någon reningsutrustning. Mätningarna gjordes under en tiominustersperiod då både föroreningskoncentration och produktionsmängd loggades. En bortförd medelföroreningsnivå/burk beräknades och multiplicerades med den totala burkproduktionen linjen uppskattades ha på ett år. Skillnaden mellan tidigare redovisat utsugsflöde och det i tabellen beror på skillnader i bandtäckning på vakuumelevatorn.

Tabell 16.7.1. Sammanställning av TVOC mätningar på vakuumelevator.

IC 4		
Flöde	11780	Nm^3/h
PPM medel	24,5	
Flaskproduktion		
TOC	39,396	µg/m^3
Mättid:	600	s
Utsugsflöde/sekund	3,3	m^3/s
Burkprod/s	16,6	burk/s
Förorening/s	129,0	µg/s
Förorening/burk	7,8	µg/burk
Total burkproduktion/år	458000000	st/år
Totalt utsläpp/år	3564,8	kg/år

Resultatet visar att vakuumelevatorn för bort ca 3 550 kg VOC per år.

17 Pågående och under 2006 planerade projekt

17.1 Energianvändning

Den senaste tidens kraftigt ökande energipriser har lett till att Rexam ser över sina anläggningar över hela världen. Under det senaste året har energieffektivisering verkligen börjat tas på allvar och man har flera pågående/planerade projekt på gång hos Rexams Fosiefabrik. Några av de planerade åtgärderna är:

17.1.1 Minskad gasanvändning

17.1.1.1 Återvinning av värme från ugnsutmatningen IC-ugnar

Man planerar att installera huvar ovanför washerugnarnas utmatning och låta gasbrännarnas primärluftsfläktar suga från huven. På så vis får man en viss förvärmning av luften vilket sänker gasanvändningen.

17.1.1.2 Komplettera washerugnarna med värmeåtervinning ur rökgaserna

Man har idag långt framskridna planer att installera värmeåtervinning från washerugnarnas rökgaskanaler. Den återvunna energin skall användas för att till viss del värma washerbaden.

17.1.2 Minskad elanvändning

17.1.2.1 Varvtalsstyrning av fläktar IC-ugn 3 och 4

Man har inledningsvis provat att varvtalsreglera cirkulationsfläktarna för att se om det är möjligt att minska fläktarbetet. Projektet pågår och några resultat finns ej ännu.

17.1.2.2 Optimera värmeåtervinningen från tryckluften

Man skall ändra till flödesreglering med tvåvägsventiler i washerbaden för att maximera temperaturdifferansen och möjliggöra ytterligare energiåtervinning från kompressorerna och på så vis även minska användningen av elpannan.

17.2 Inomhusklimat

17.2.1.1 Optimering av bodymakerns inkapsling

Det pågår en optimering av alla inkapslingar hos bodymakerna för att minimera utsläpp av oljedimma till omgivningen.

17.2.1.2 Fortsatt utbyggnad avseende lokalventilation

Man planerar en fortsatt ombyggnad av lokalventilation.

18 Sammanfattande avslutning och idéer till fortsatt arbete

Vid de inledande diskussionerna kring projektet insåg vi ganska snart att det skulle bli ett omfattande arbete att ta fram en helt generell arbetsmetod avseende analys och arbete med ventilationsanläggningar hos industrin.

Att utforma en enda arbetsmetod gemensam för alla industrier bedömdes som en omöjlig uppgift. Främsta anledningen till det är att varje industri är unik vilket påverkar metodens utformning. För att finna en lösning på detta valde vi att utforma arbetsmetoden som en övergripande arbetsmetod (kapitel 7) där man med hjälp av flera olika specifika metoder (kapitel 9) kan anpassa arbetsmetoden till att fungera på den egna anläggningen.

Rapporten utformades i tre olika delar:

första delen (kapitel 1-9), tar i allmänna ordalag, upp ämnen rörande ventilationsanläggningar hos industrin. Första delen berör lagstiftning, hälsoaspekter, historik. Den går även mer detaljerat igenom hur man kan arbeta med ventilationsanläggningar i industrin och specifika analysmetoder.

Andra delen (kapitel 10-13) utgörs i huvudsak av en nulägesanalys av Rexams anläggning. Här tillämpas flera av de specifika metoder som tidigare beskrivits. Här beskrivs tillvägagångssättet för att få fram nödvändiga uppgifter, beräkningar samt resultat. Resultaten kommenteras och den andra delen avslutas med en sammanfattande analys och förslag till åtgärder.

Tredje delen (kapitel 14-18) handlar främst om genomförandefasen. En del av de föreslagna åtgärderna från rapportens andra del har genomförts och utvärderats. Här redogörs för hur man kan analysera och utvärdera genomförda åtgärder.

Den främsta målgruppen för rapporten är produktions- och fastighetsansvariga hos industrin samt konsulter som arbetar med liknande frågor inom industrin. Utformningen av rapporten gör det möjligt att använda den som ett ”praktiskt” uppslagsverk och inspirationskälla.

Man kan tycka att en del av metoderna är ganska simpla och kanske rent av grova. Detta motiveras med att arbetet skall kunna utföras av personer med allmänna tekniska kunskaper och inte av experter. Ett krav från Energimyndigheten var att rapporten skulle vara populärvetenskapligt och pedagogiskt skriven.

Rapporten redogör för en del av de problem som man kan råka ut för vid arbete med en industris ventilationsanläggningar. Rapporten beskriver flera olika metoder för utvärdering av olika faktorer och delar som påverkar en industris ventilationsanläggning. Några exempel är:

Inkapslingar
En inkapslings effektivitet påverkas starkt av olika typer av störningar. Rapporten beskriver olika sätt att analysera en inkapsling beroende på vilken typ av störning som finns (avsnitt 9.5). I listan nedan anges några vanliga störningar för inkapslingar som man bör få kontroll över och kompensera för.

- Lokala luftrörelser utanför inkapslingen
- Temperaturskillnader
- Flödesvariationer i inkapsling
- Meddragning av luft vid in- och utmatning av processgods från inkapslingen

Analys av en huvs utsugningsflöden
Vi tittar också inledande på om det är rimligt att med en huv fånga in alla föroreningar från en föroreningskälla. Man kan kanske tillåta ett visst läckage som allmänventilationen tar hand om. På så vis kanske den totala kostnaden för att ventilera byggnaden understiger kostnaden för att evakuera hela föroreningen genom inkapslingen/huven. Detta analyseras i avsnitt 16.2.3.

Lokalisera föroreningskällor
I avsnitt 9.4 och 12.5-12.9 redogörs för och tillämpas olika metoder för att lokalisera föroreningskällor. För att snabbt få en uppfattning om var det eventuellt finns förhöjda föroreningshalter i lokalen har en traversering genom lokalen utförts med ett instrument som mäter TVOC. Med dessa uppgifter tillsammans med processkännedom kan man bilda sig en uppfattning om föroreningskällornas läge.

Identifiera och mäta värmekällor
Värmekällor i en lokal inverkar dels på luftrörelser och dels på föroreningshalt och inomhusklimat i en lokal. I avsnitt 9.2 och 12.10 redovisas och tillämpas metoder för att bestämma värmekällornas storlek.

Kartläggning av energianvändning inom en industrianläggning
Flera olika metoder för att kartlägga energianvändningen i en anläggning beskrivs i avsnitt 9.1. Resultaten av och kommentarer kring den energiinventering som utförts hos Rexam redovisas i avsnitt 12.1-12.2

För drygt tre år sedan, då projektet startade kändes det som om det var gott om tid för att genomföra projektet. Med facit i hand har långt från alla ambitioner hunnit genomföras, det finns så mycket mer som skulle behöva undersökas och testas. Jag har dock insett att även om man har oändligt mycket tid till sitt förfogande så hinner man inte med oändligt många projekt, det kommer alltid att finnas frågor som söker sina svar.

Några sådana frågor som dykt upp under projektets gång och som kräver ytterligare forskning:

Meddragning av föroreningar från inkapsling. När vi tittade närmare på inkapslingar och hur man skulle analysera dessa så formades en idé om hur man skulle kunna minimera en inkapslings utsugsflöde. Idén grundade sig i att ju längre tids exponering av ren luft produkten får vid inkapslingens utmatning desto mindre meddragning av föroreningar ut från inkapslingen blir det. Exponeringstiden utökas genom att förlänga inkapslingens utmatningsöppning. Vid ett testförsök där man med en modell av en inkapsling gjorde avklingningsförsök med en spårgasanalysator, visade det sig att förlängda utmatningsöppningar hade en motsatt effekt. Detta berodde dels på att produkten i kombination med förlängningen av utmatningsöppningen fungerade som en pump och på så vis ökade meddragning av föroreningar dels att inflödet till inkapslingen var otillräckligt. Ett annat problem som uppstod var mätonoggrannhet vid luftflödesmätningar i inkapslingens utsug. Det ansågs inte finnas utrymme för att inom detta projektet klargöra sambanden mellan öppningarnas utformning, produkternas inbördes avstånd och hur dessa påverkar meddragningseffekten. Det är dock viktiga samband att klargöra då det påverkar alla typer av inkapslingar såsom processutsug, ugnar m.m.

Ett annat projekt är **konstanttryckhållning av industrilokaler**. Tryckobalanser i industrilokaler inverkar bland annat på ugnars balansering, utsugens effektivitet, föroreningshalter och luftrörelser i lokalen. Efter en inledande undersökning och några försök var vi av tidsbrist tvungna att lämna detta delprojekt. Det finns flera mättekniska faror som man skulle behöva undersöka närmare. Vid konstantryckshållning av en byggnad påverkas det uppmätta differenstrycket mellan lokalen och den fria luften kraftigt av vindförhållanden och givarens placering. Vid inledande försök hos Rexam fick man stora och snabba pendlingar i trycket mellan lokalen och ute. Efter en tids funderingar kom vi fram till att det berodde på var referenspunkten utanför byggnaden var placerad. Placeras givaren nära byggnaden påverkas givaren kraftigt av den tryckpåverkan vinden har på byggnaden. Detta är samband som behöver klargöras ytterligare. Man kan fråga sig hur balanserat trycket är i en byggnad då givaren av praktiska skäl ofta placeras så att den påverkas av vindförhållandena.

En inledande undersökning gjordes också av vilka möjligheter det finns för att på ett säkert sätt **minska rökgasflödesmängderna** och därmed också förlusterna från lackeringsugnar. I en lackeringsugn håller man normalt höga omsättningsflöden för att säkerställa att inte halten av lösningsmedel från produkten blir för hög i rökgaserna. Vid för höga halter lösningsmedel föreligger det en explosionsrisk i ugnen. Det finns ett stort behov av att finna en lösning så man på ett säkert sätt kan minska rökgasflödena hos industrier med denna typ av process. Det skulle påverka företagens energianvändning och minska dess miljöpåverkan.

Det saknas en **utväderingsmetod för att kontrollera att utsugsflödet från en huv är rätt**. I avsnitt 16.2.3. frågar man sig om man vid dimensionering av ett utsug skall fånga in alla föroreningar eller om det kan tillåtas ett visst läckage vid till exempel tillfälliga störningar. Att dels veta hur stort läckage som är acceptabelt och dels kontrollera att man har rätt utsugsflöde från huven hade varit värdefull information att få vid optimering av ett utsug.

I projektet har även kontakter med andra företag tagits. Responsen har varit blandad. Vid flera av kontakterna upplever jag att det är väldigt pressade tider hos industrin och slimmade organisationer. Det fokuseras på produktionen och den är man duktig på. Det som ligger utanför har man många gånger inte längre någon kontroll över. Den egna personalen som ansvarade för byggnaden och ventilationen finns inte längre utan har rationaliserats bort. Man köper in viss service för att hålla liv i ventilationen men någon överblick eller plan för anläggningen saknas. Detta har troligen lett till att det hos flera industrier finns anläggningar som fungerar dåligt, utan att för den delen vara felaktiga. Det är frågan om kompetens och att ta sig tid till att sätta sig in i sin anläggning. Att läsa denna rapport kan ses som ett första steg i rätt riktning så jag ber att få gratulera er som nu kommit till rapportens sista rader.

// Jonas Lindhe

Lund 2006

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

Bilageförteckning

12.3.1 Luftflöden TA FA
12.5.1 Traverseringar TVOC Temperatur
12.6.1 Björnringar
12.9.1 Provtagningspunkter
12.9.2 Analysresultat tenax
12.9.3 Ämnen tenax
15.1.1 Checklista
15.2.1 Sammanställning åtgärd
16.2.1 Protokoll fotografisk metod

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27

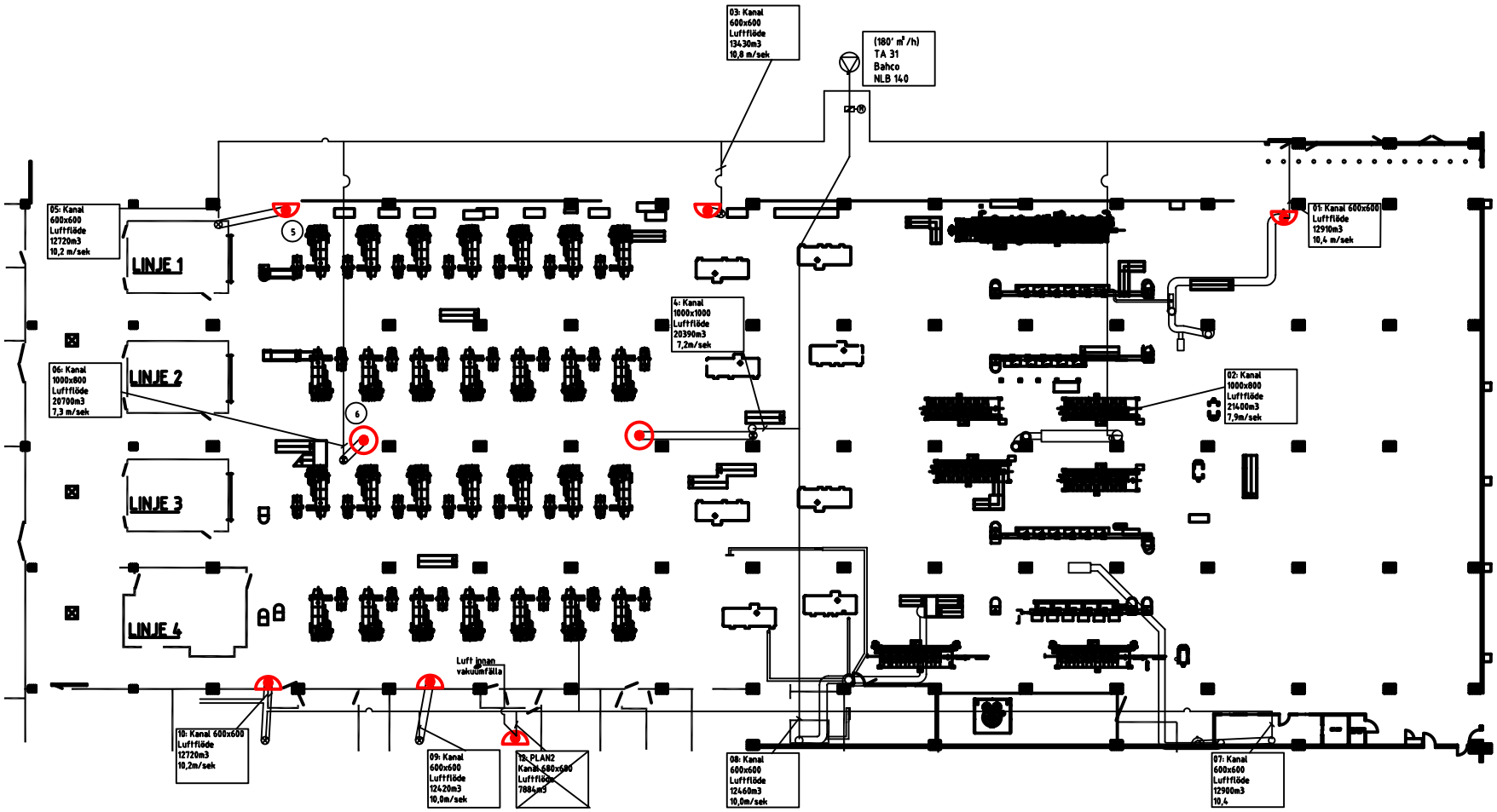
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

Bilaga 12.3.1 Luftflöden TA FA

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

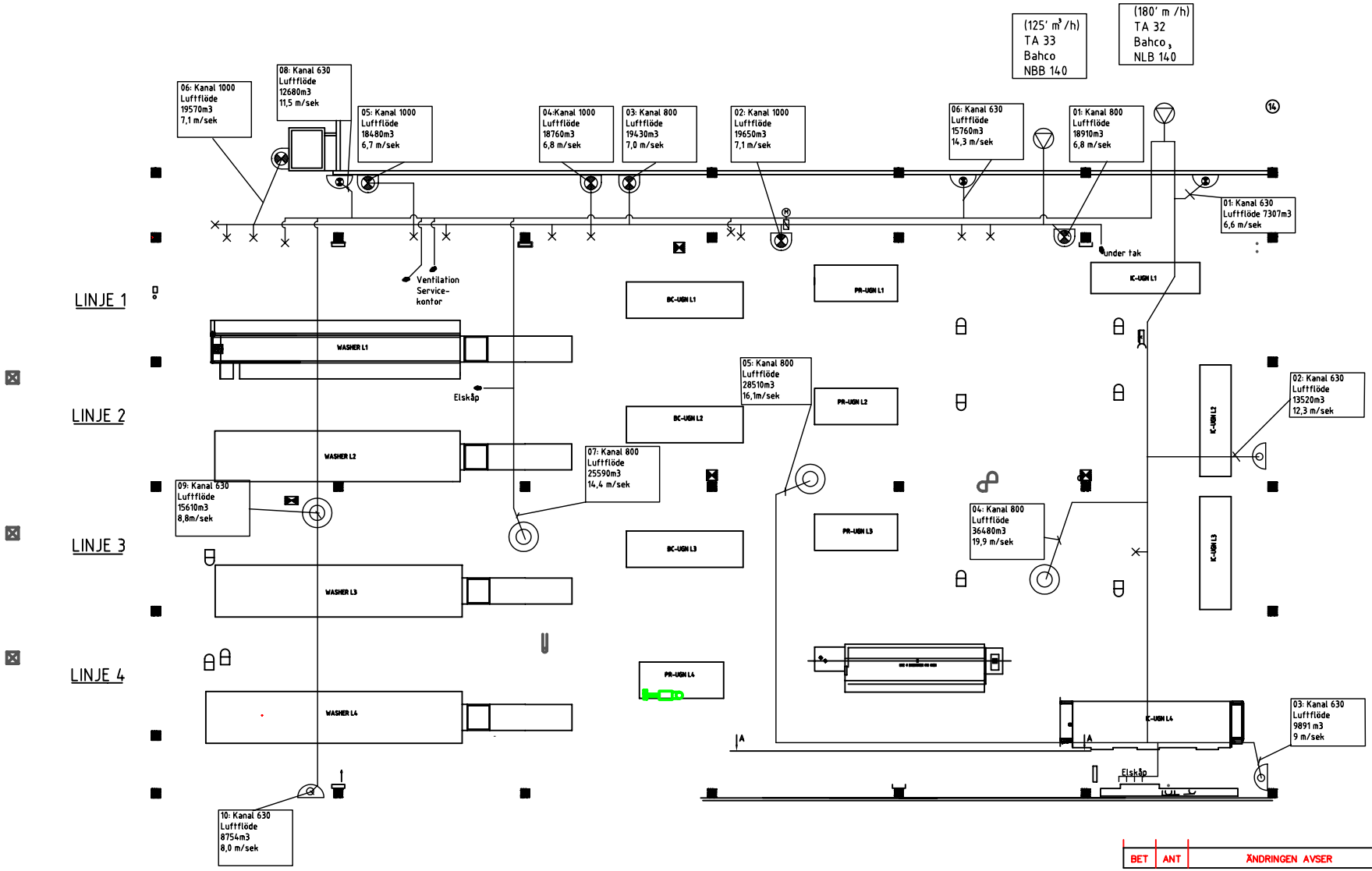
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Mätpunkter och resultat avseende ventilationssystemet

Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	TA Vån 1	



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

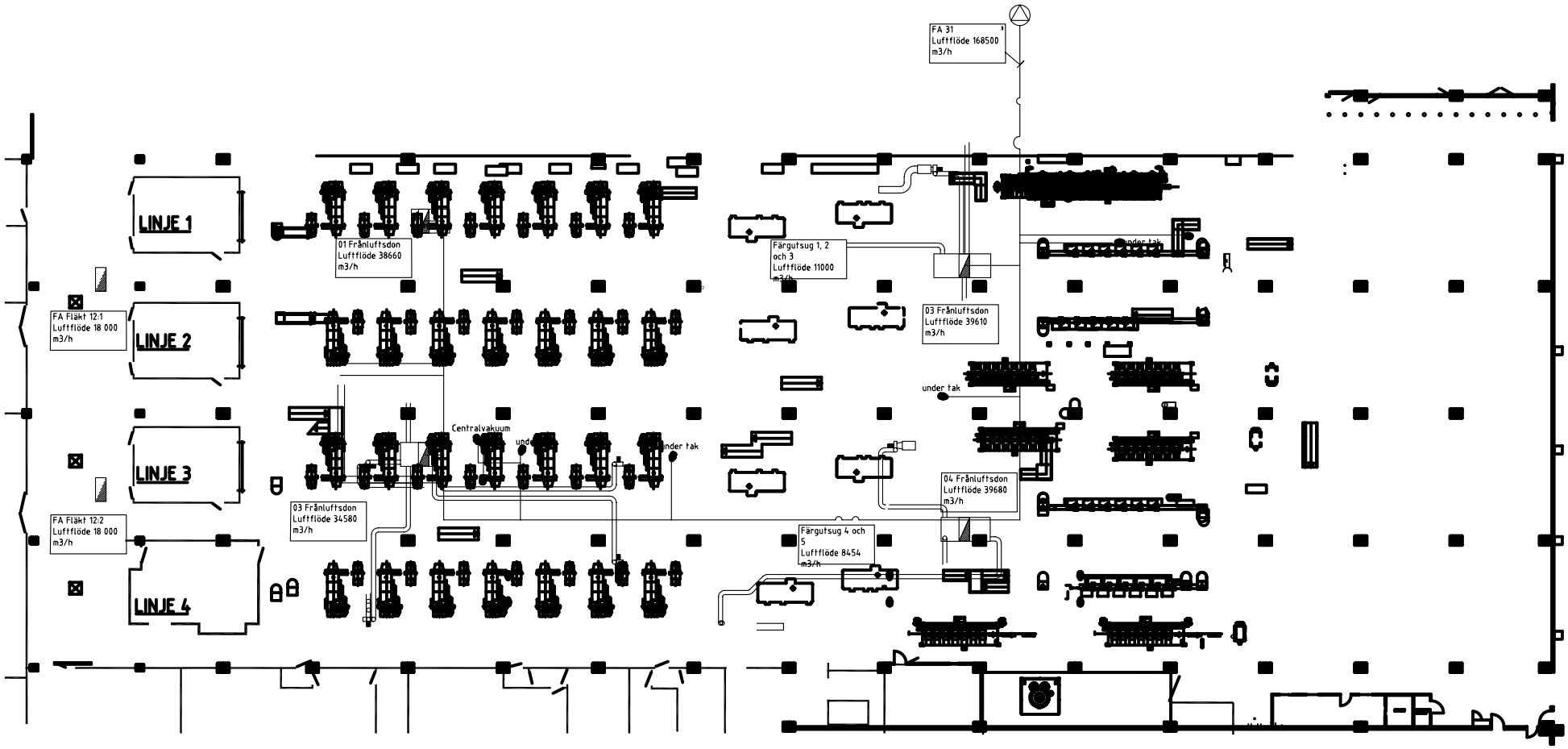
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Mätpunkter och resultat avseende ventilationssystemet

Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	TA Vån 2	



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

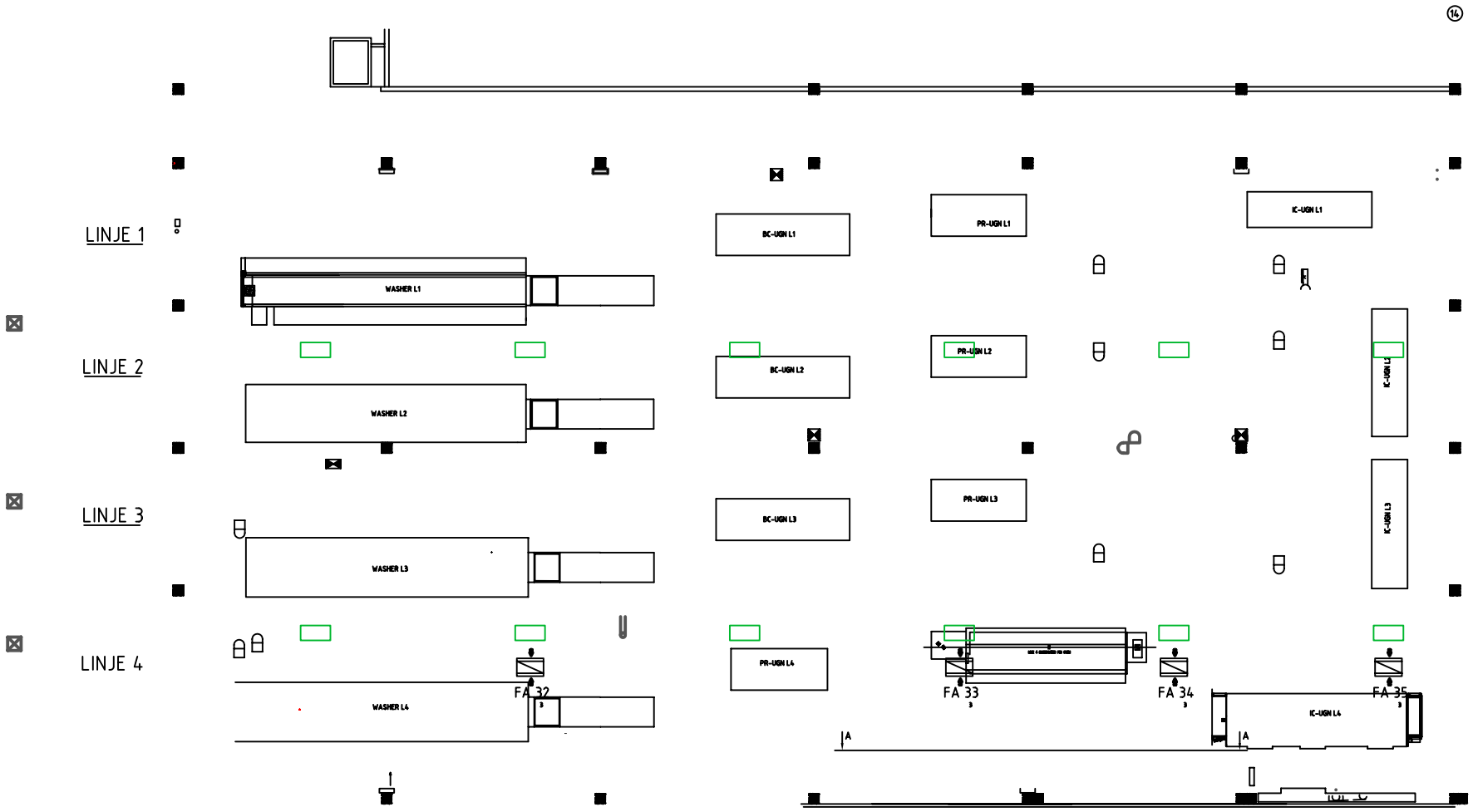
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Mätpunkter och resultat avseende ventilationssystemet

Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	FA Vån 1	



FA 32	FA 33	FA 34	FA 35
Luftflöde	Luftflöde	Luftflöde	Luftflöde
28260 m3tg/h	27250 m3tg/h	27720 m3tg/h	24230 m3tg/h

BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Mätpunkter och resultat avseende ventilationssystemet

Upprättad 2003-10-01

SKALA XXXX

RITNINGSNUMMER FA Vån 2

ÄNDR BET

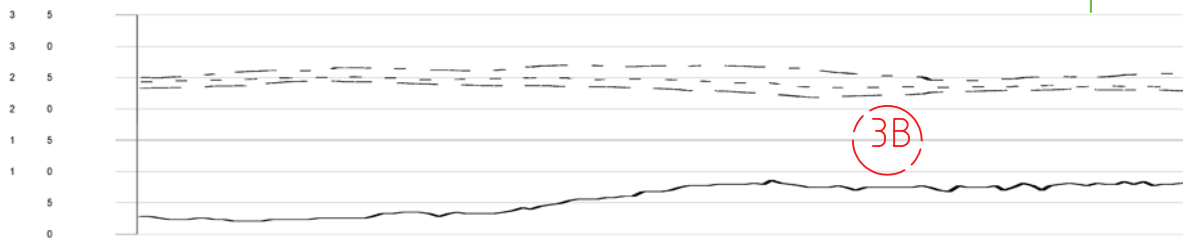
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

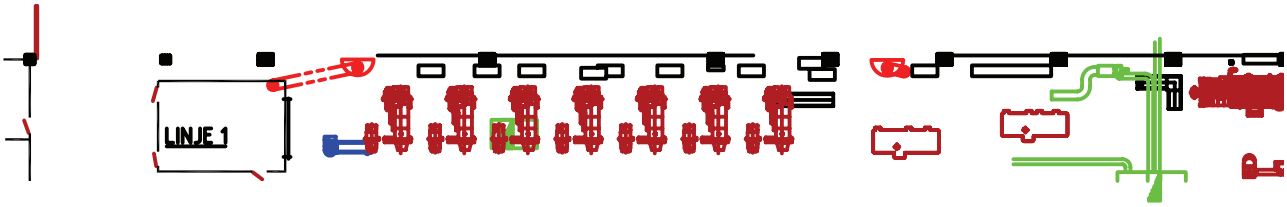
Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

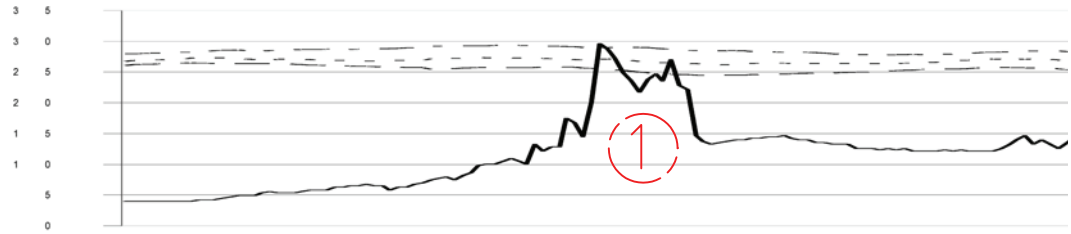
Bilaga 12.5.1 Traverseringar

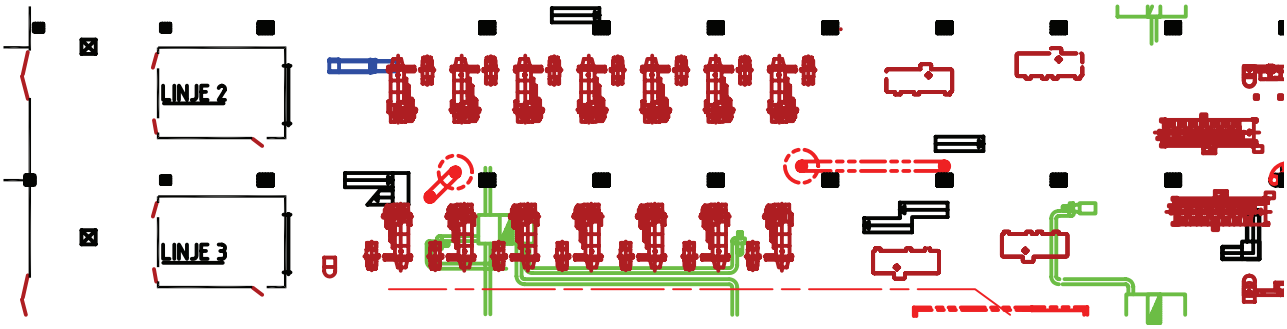
Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

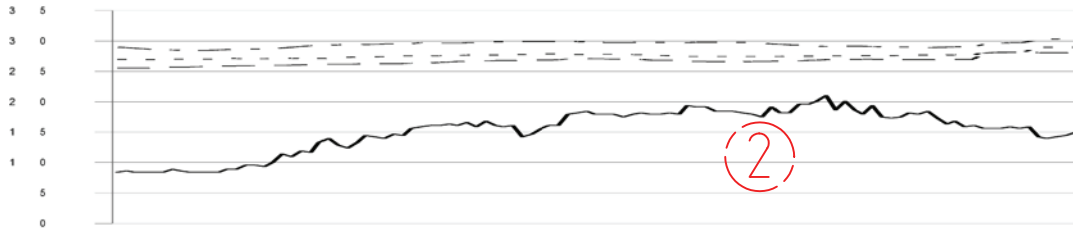
Lund 2006-04-27

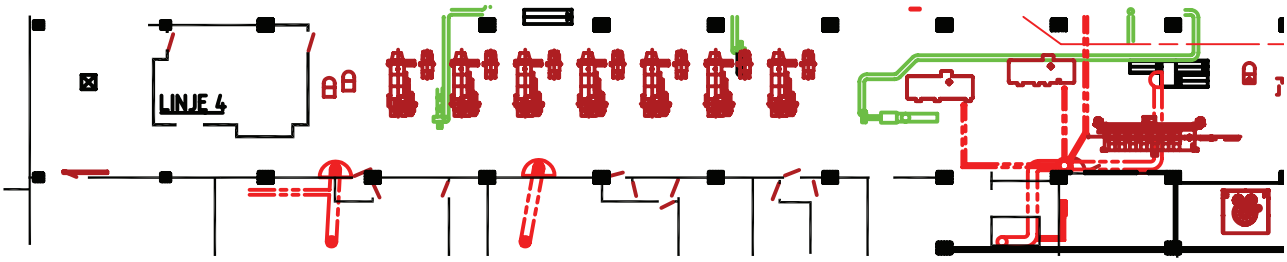

3B

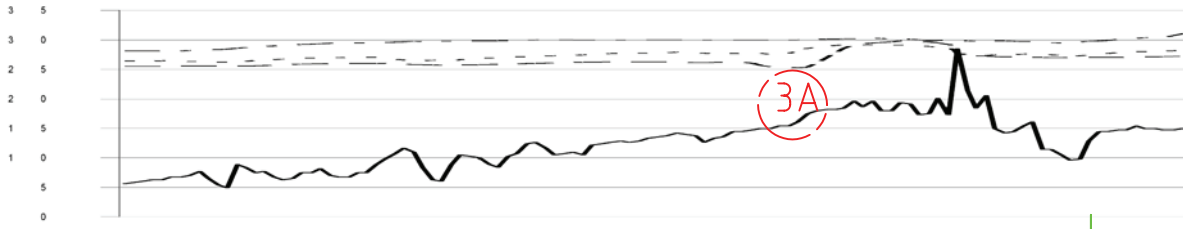

LINJE 1

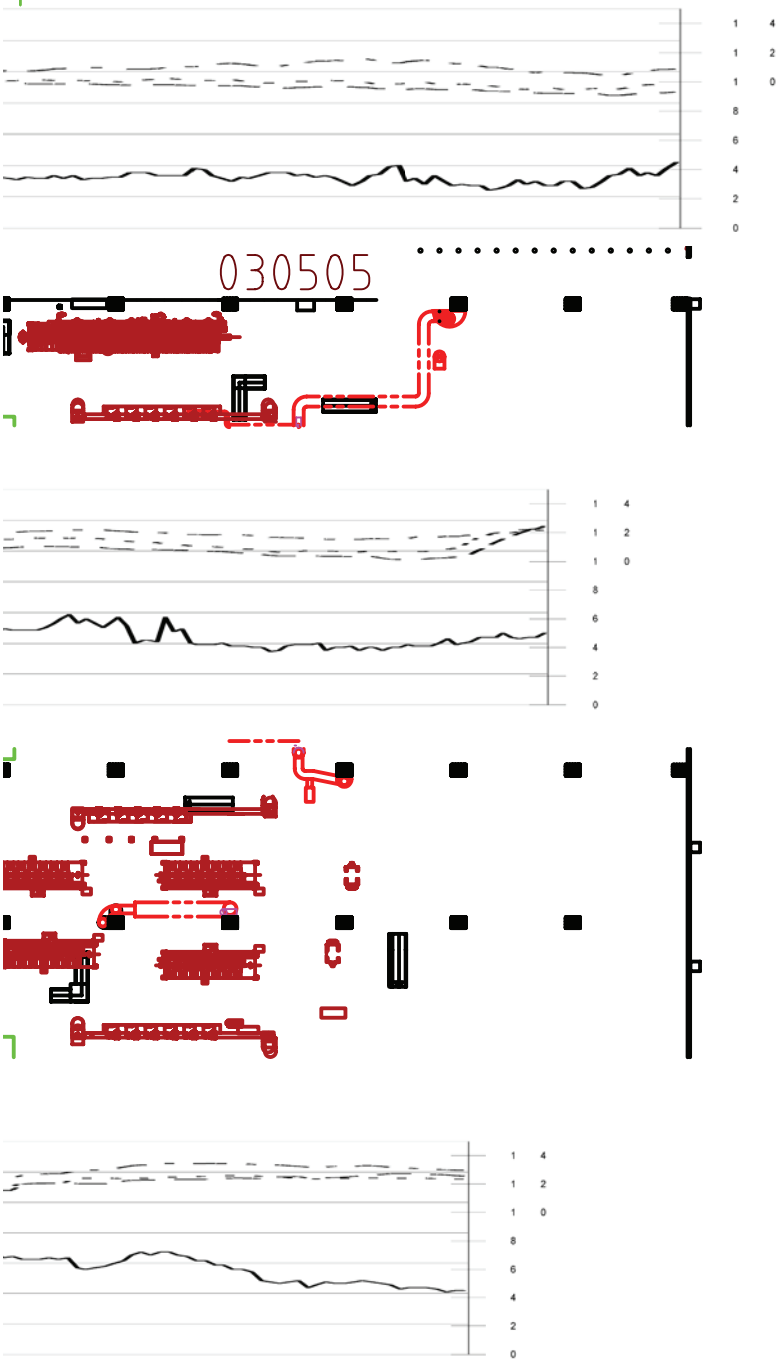

1

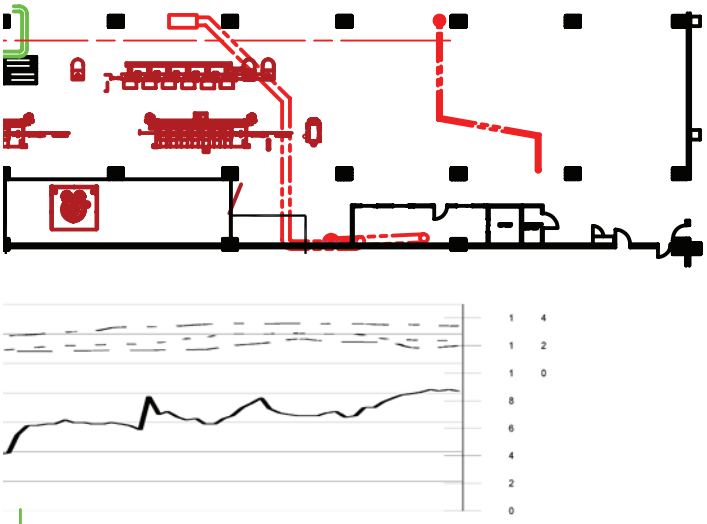

LINJE 2
LINJE 3


2


LINJE 4


3A





BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

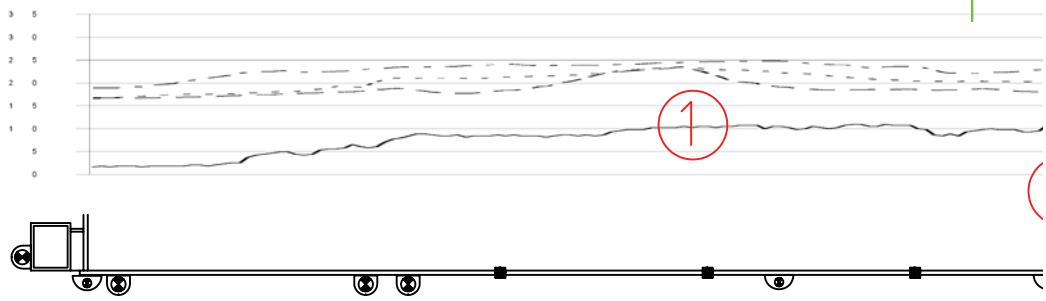
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

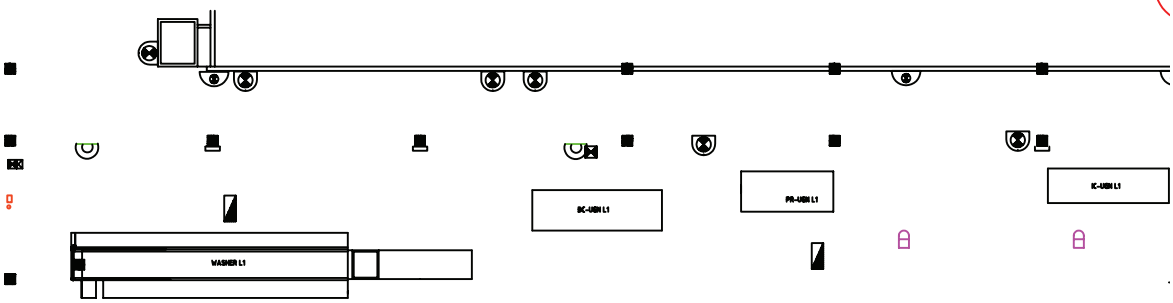
Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

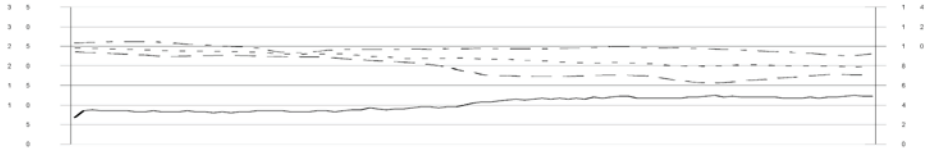
Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:1	



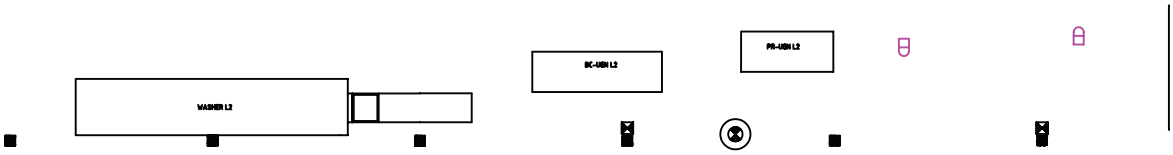


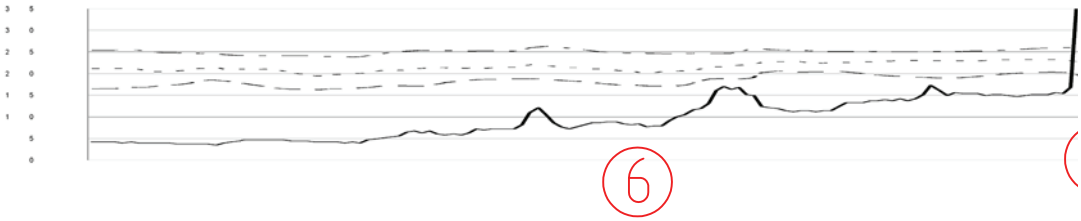
LINJE 1



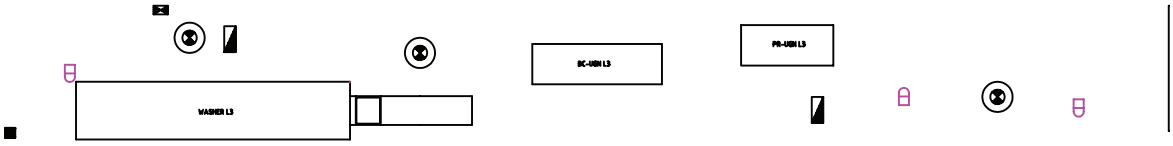
030505

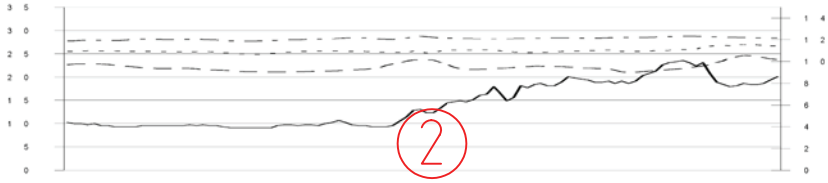
LINJE 2



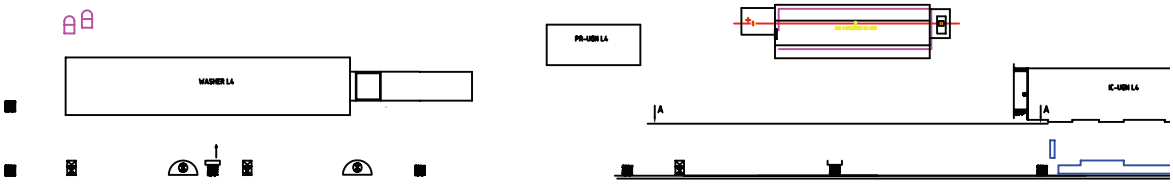


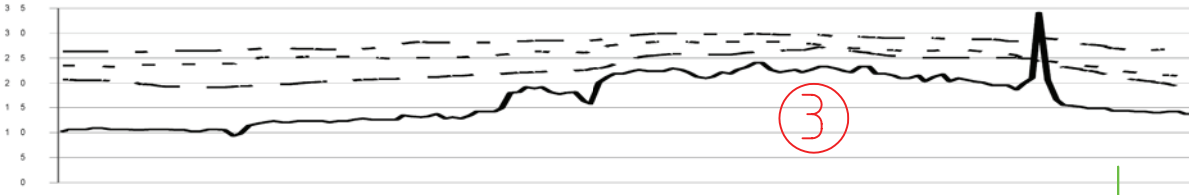
LINJE 3

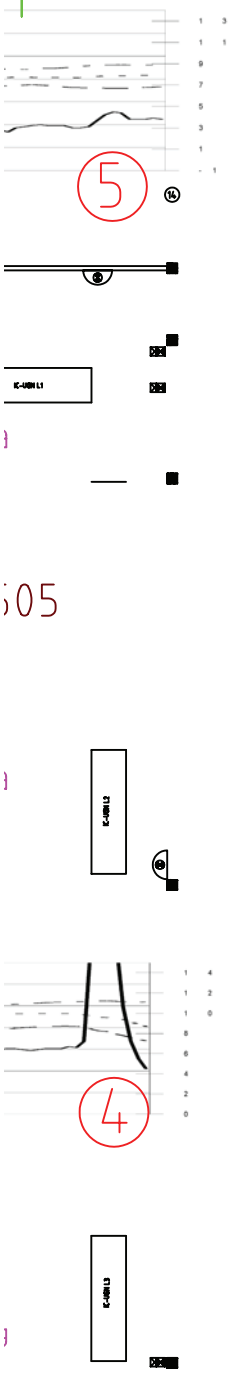




LINJE 4







BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

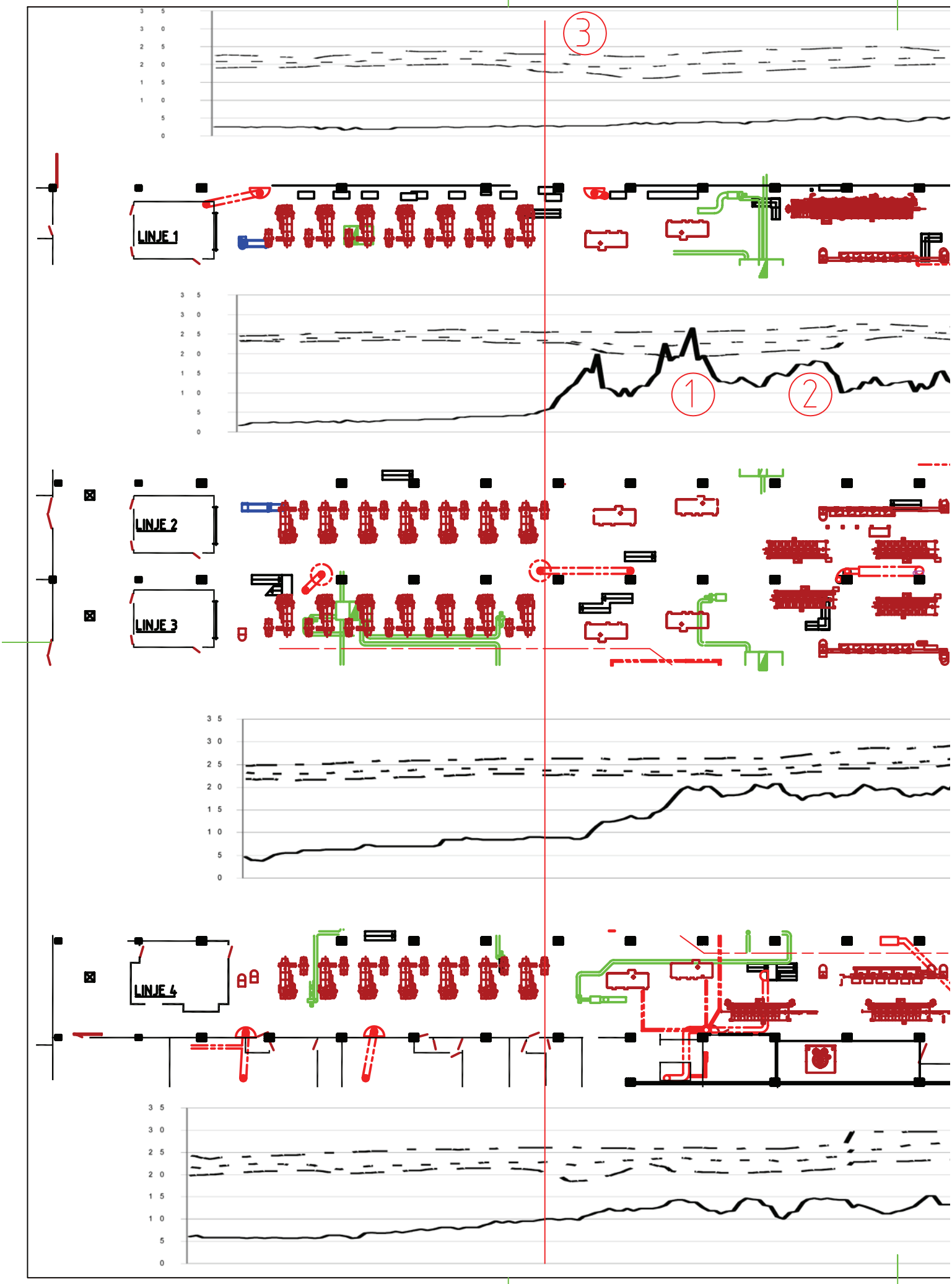
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

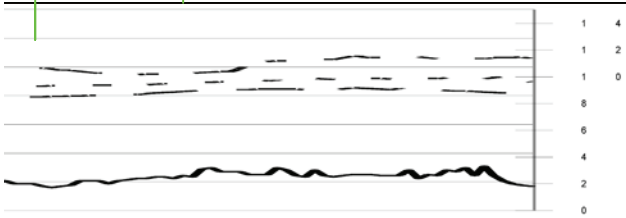
Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

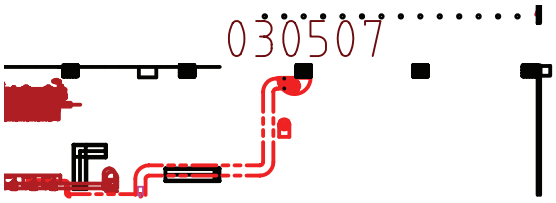
Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

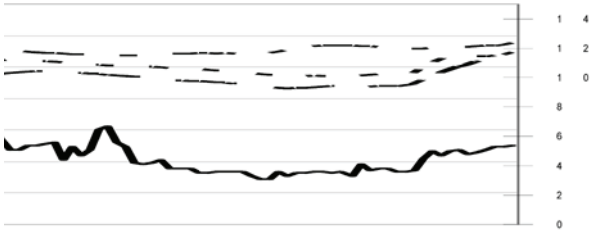
Upprättad 2003-10-01

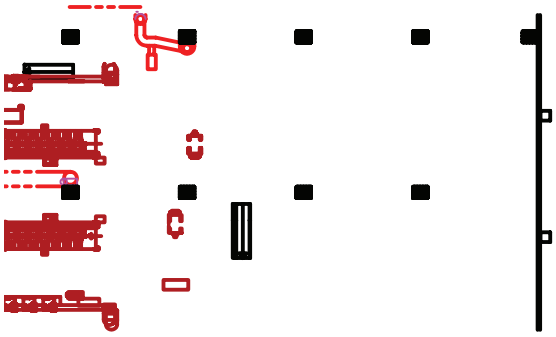
SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:2	

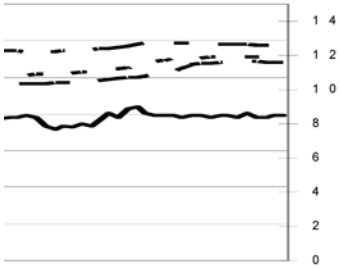

3
LINJE 1
1
2
LINJE 2
LINJE 3
LINJE 4

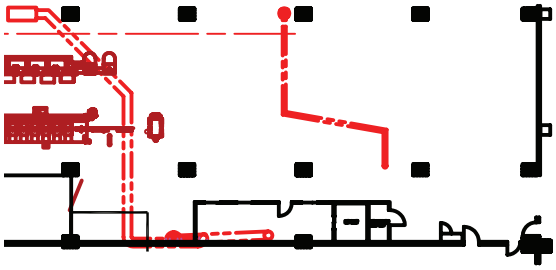


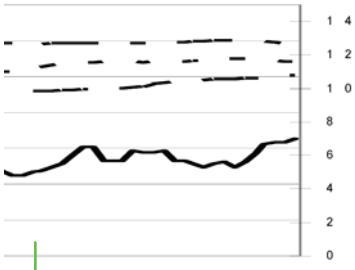












BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

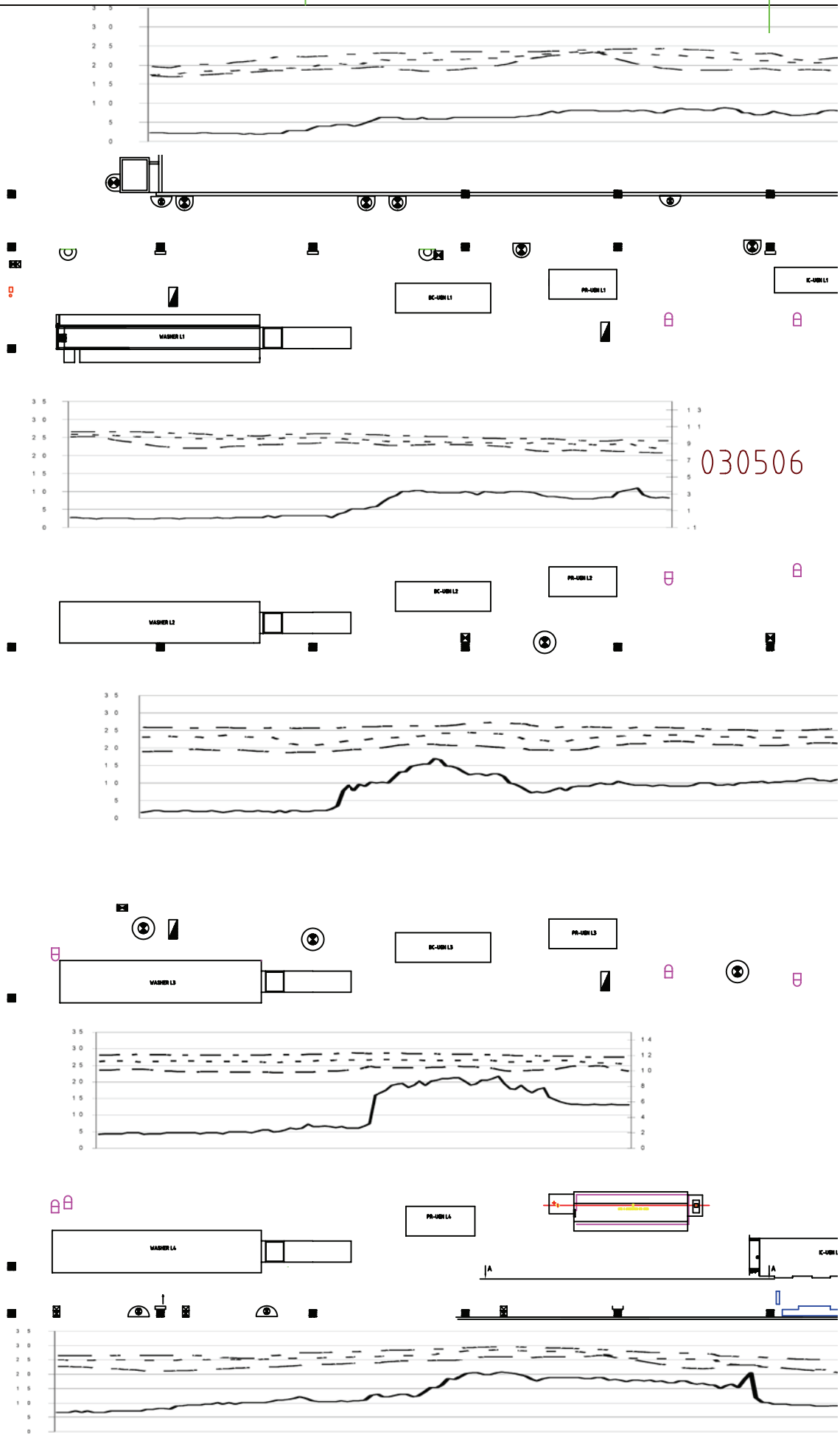
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

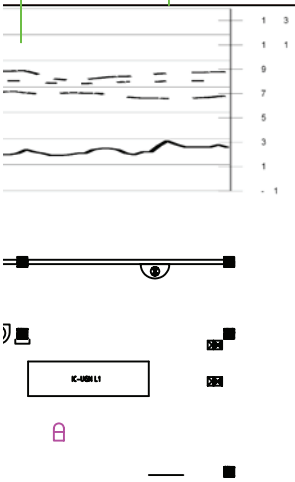
Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

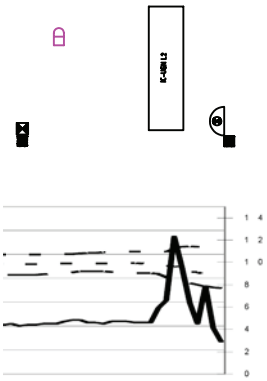
Upprättad 2003-10-01

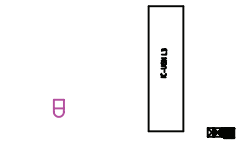
SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:3	

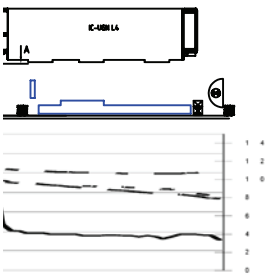

LINJE 1
WASHER L1
BC-UGN L1
PR-UGN L1
IC-UGN L1
030506
LINJE 2
WASHER L2
BC-UGN L2
PR-UGN L2
LINJE 3
WASHER L3
BC-UGN L3
PR-UGN L3
LINJE 4
WASHER L4
PR-UGN L4
IC-UGN L



506







BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

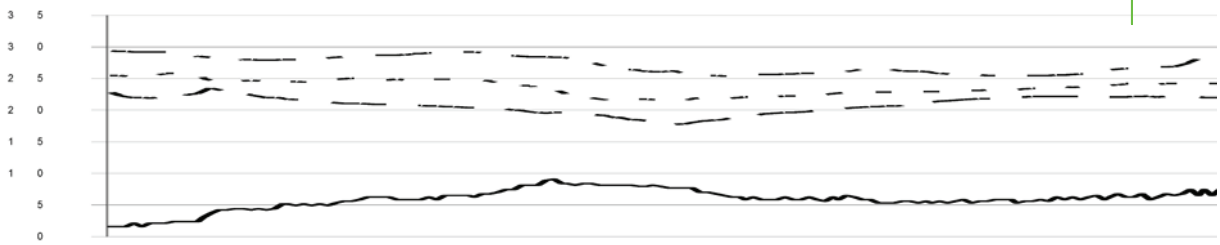
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

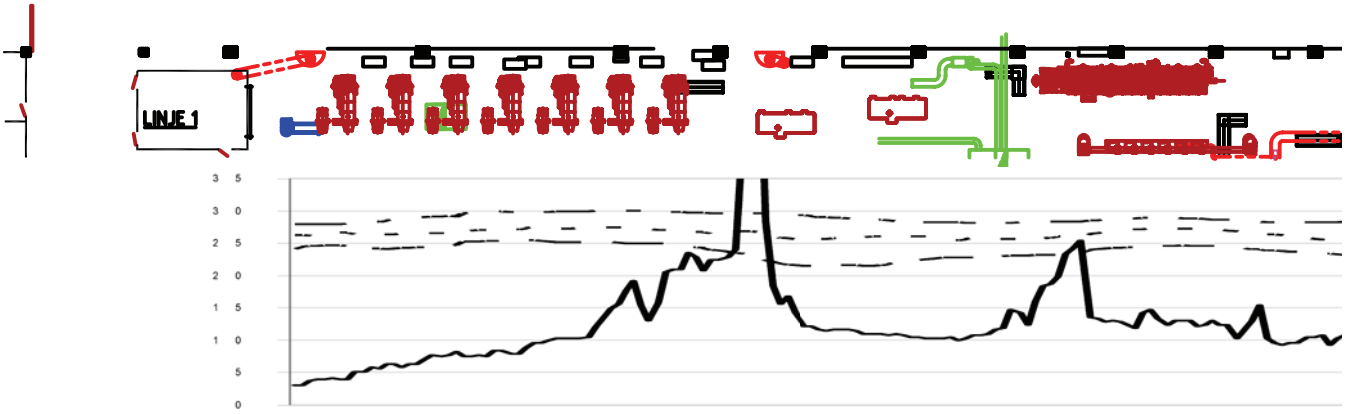
Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

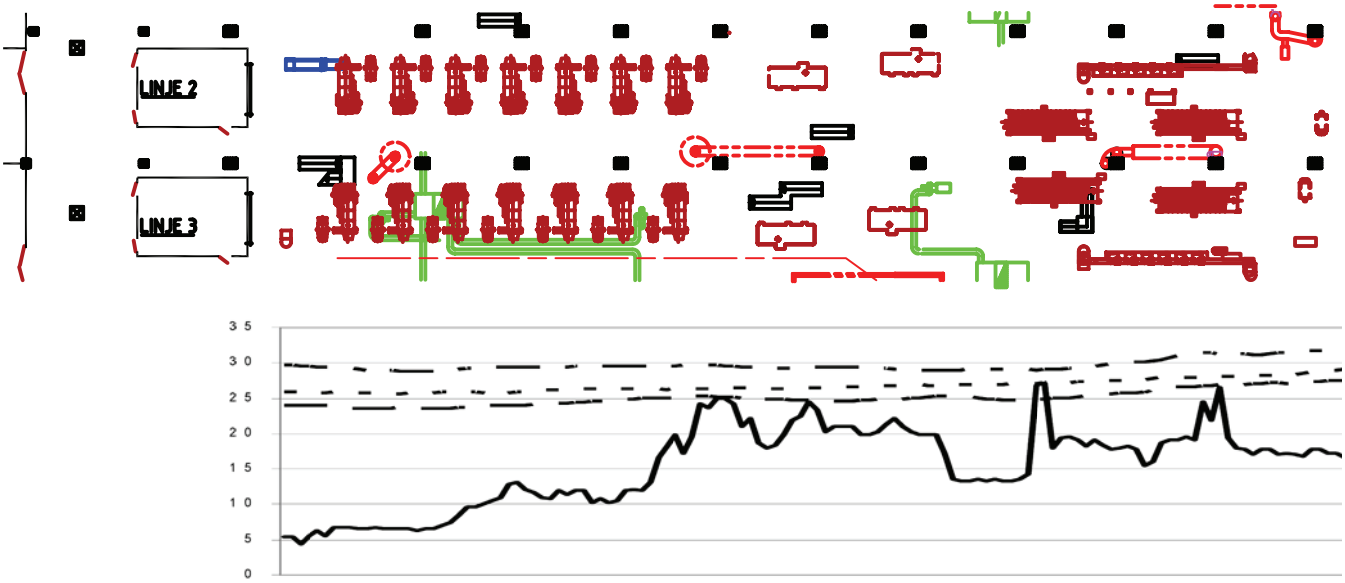
Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

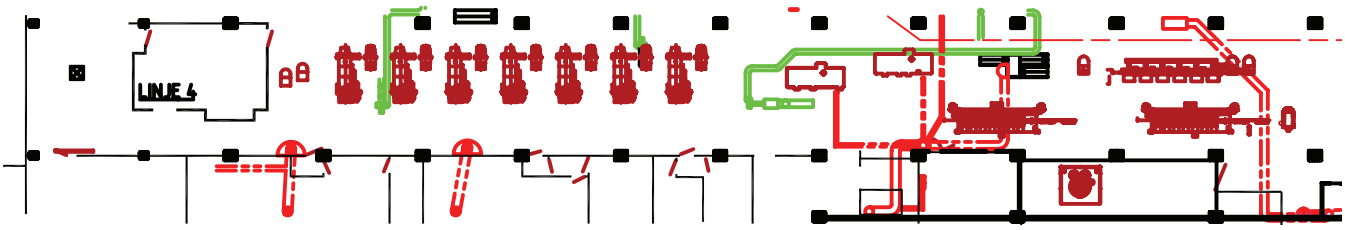
Upprättad 2003-10-01

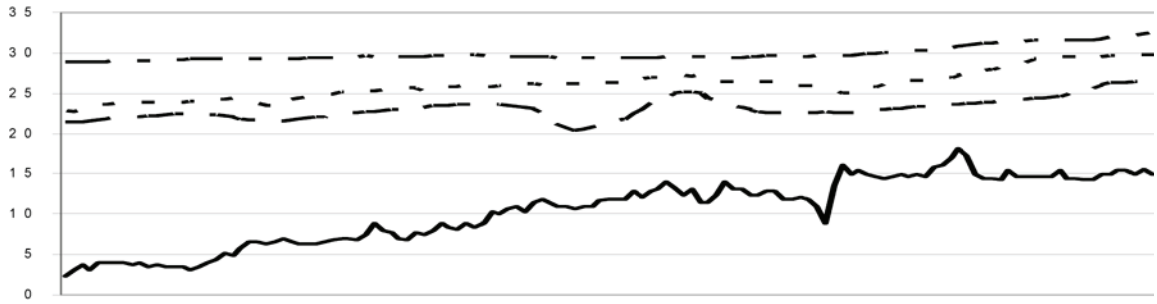
SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:4	

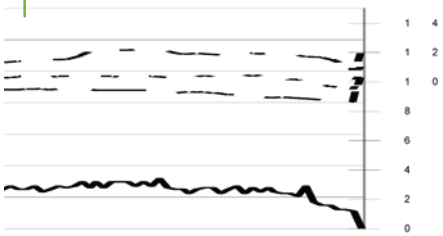

35
30
25
20
15
10
5
0


LINJE 1
35
30
25
20
15
10
5
0

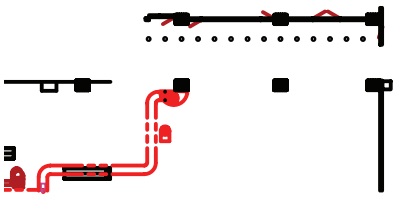

LINJE 2
LINJE 3
35
30
25
20
15
10
5
0

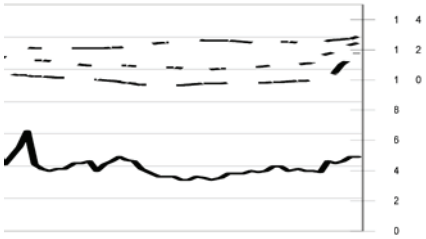

LINJE 4

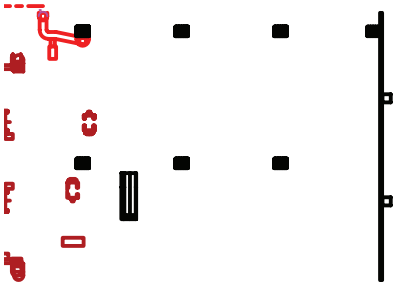

35
30
25
20
15
10
5
0

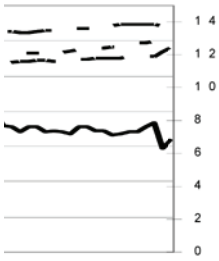


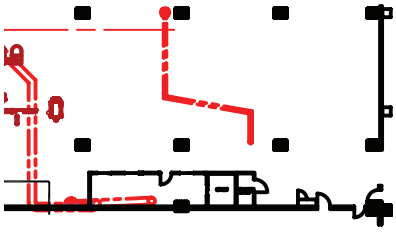
030508

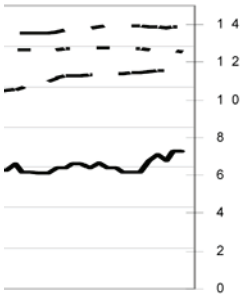












BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

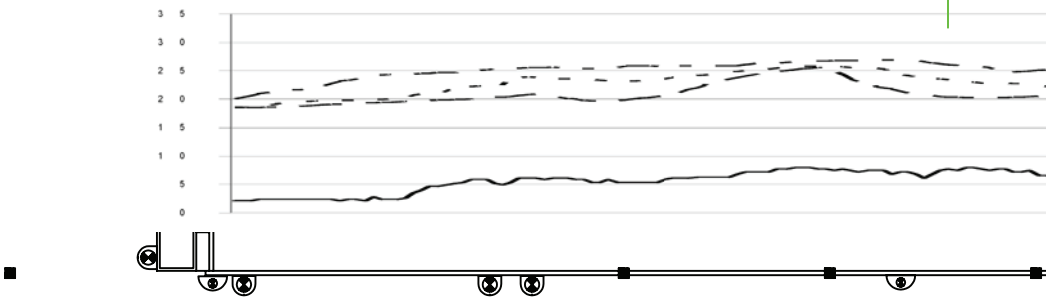
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046–222 20 00

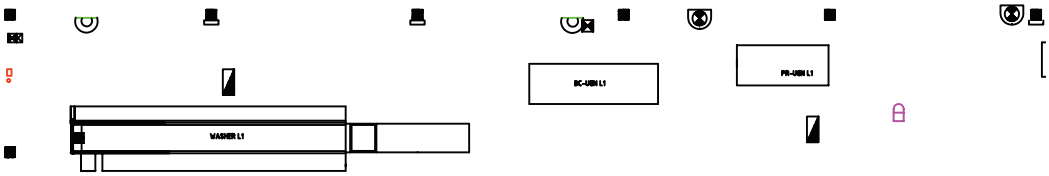
Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän– och processventilation hos industrin

Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

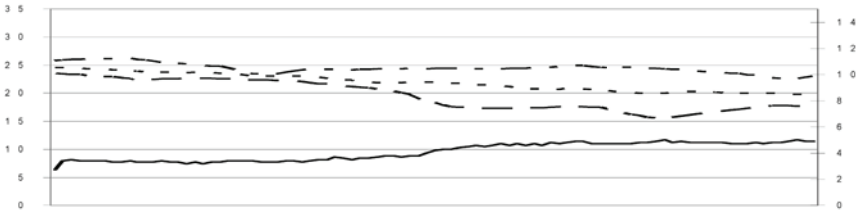
Upprättad 2003–10–01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:5	



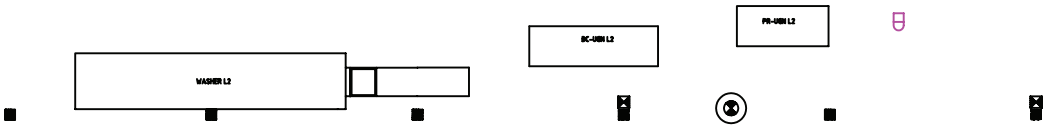


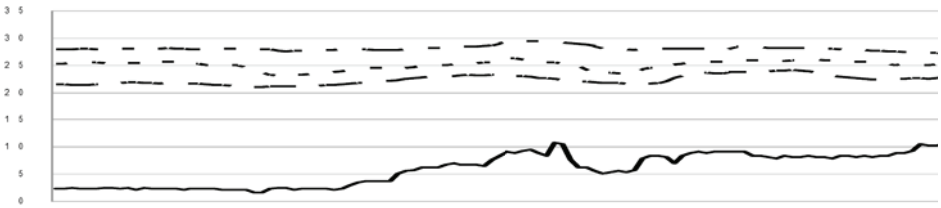
LINJE 1



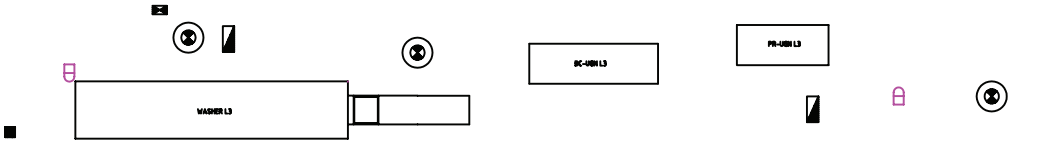
0305(

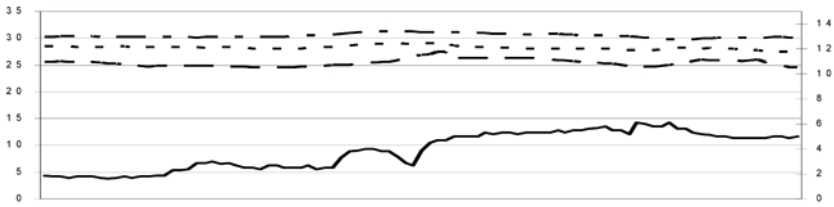
LINJE 2



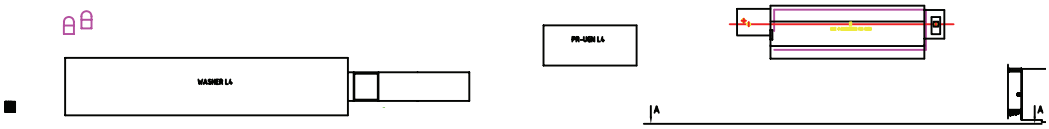


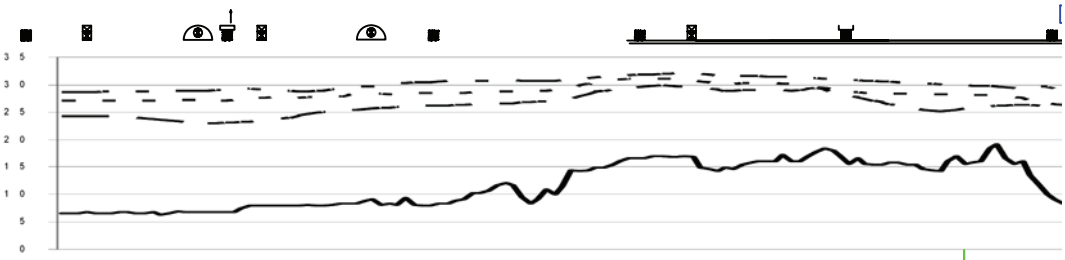
LINJE 3

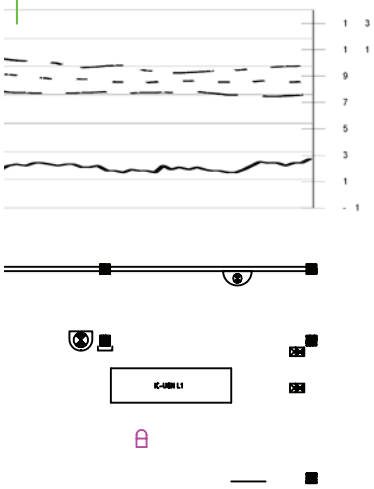




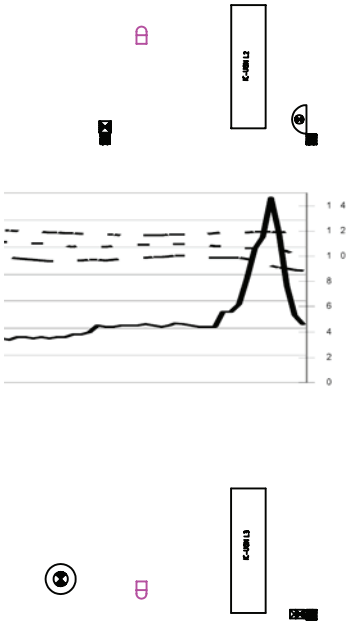
LINJE 4

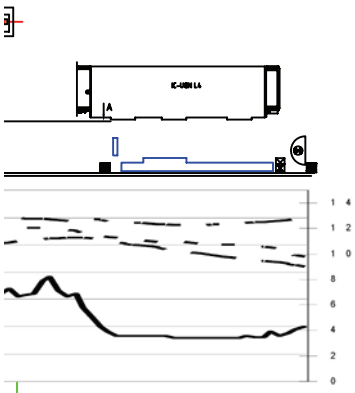






030508





BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

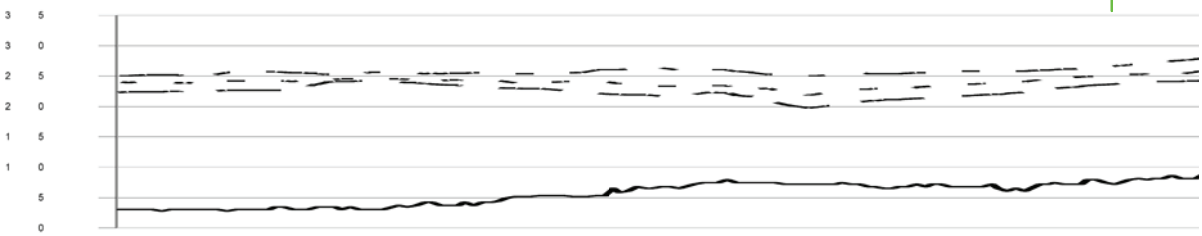
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046–222 20 00

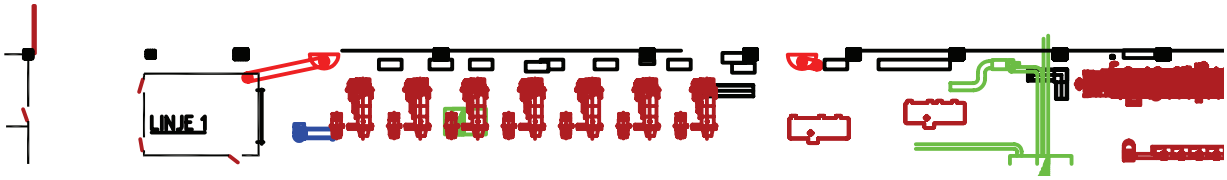
Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän– och processventilation hos industrin

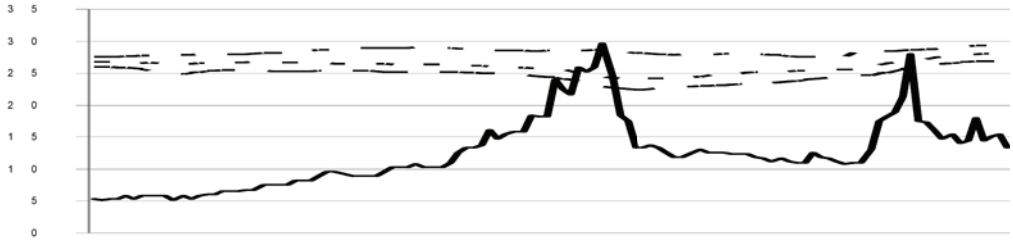
Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

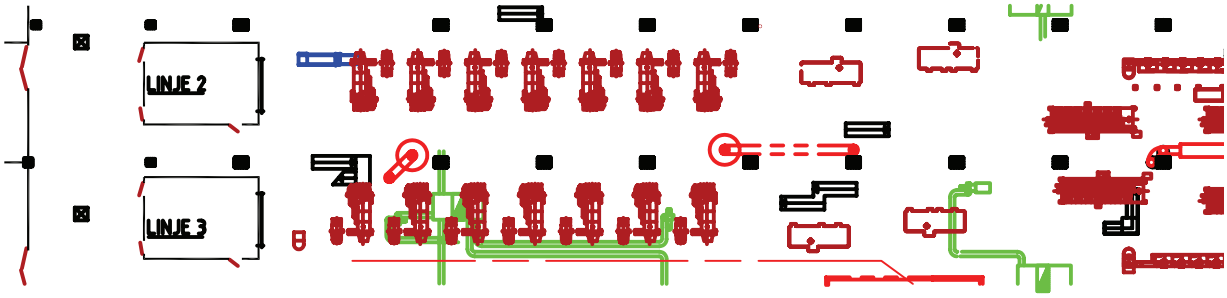
Upprättad 2003–10–01

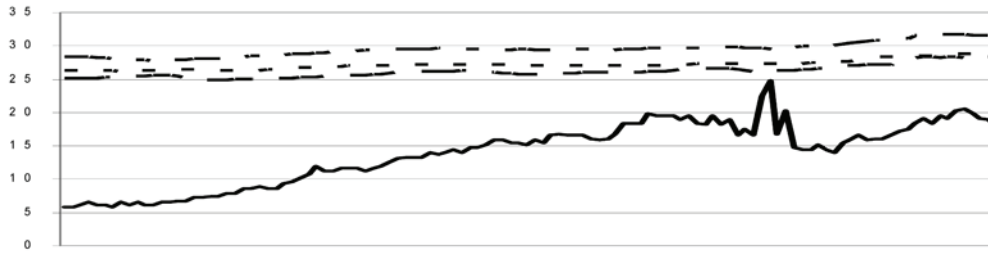
SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:6	

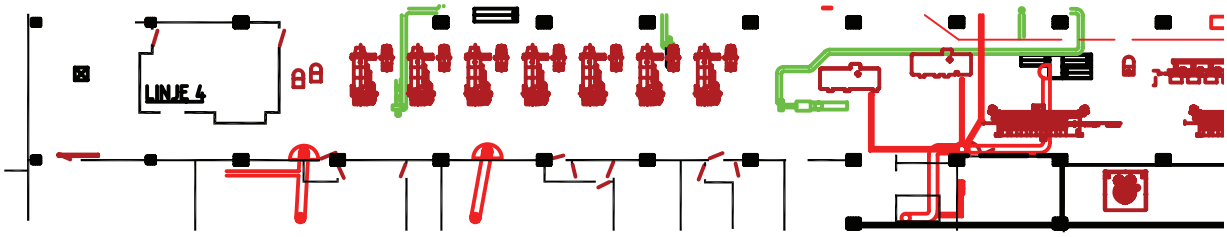

35
30
25
20
15
10
5
0

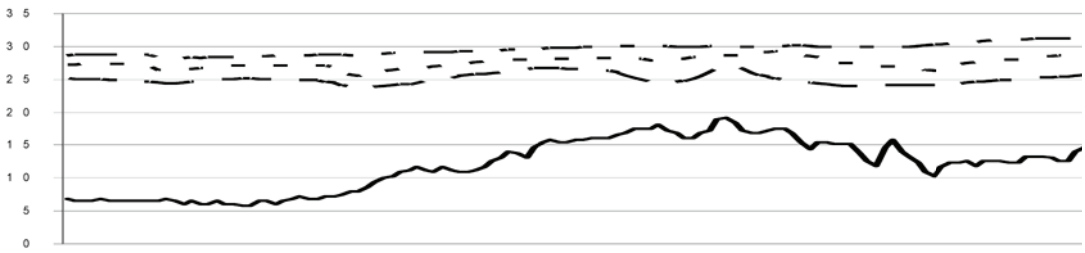

LINJE 1

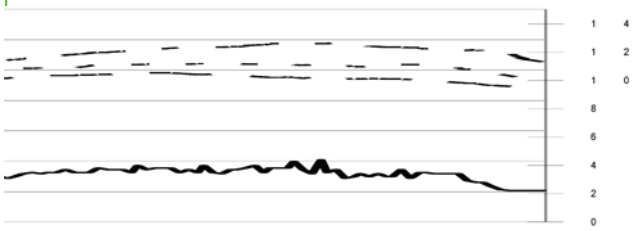

35
30
25
20
15
10
5
0


LINJE 2
LINJE 3

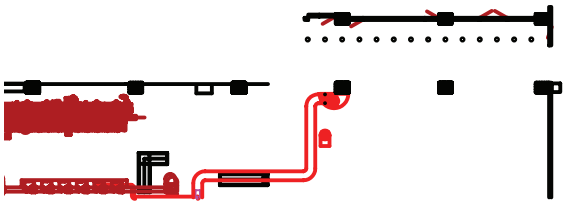

35
30
25
20
15
10
5
0

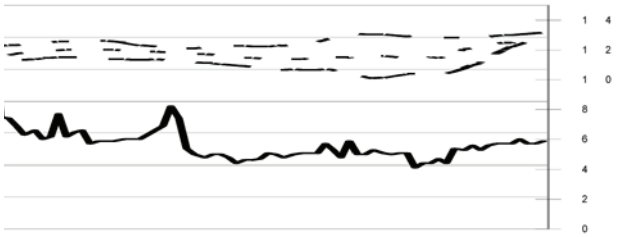

LINJE 4

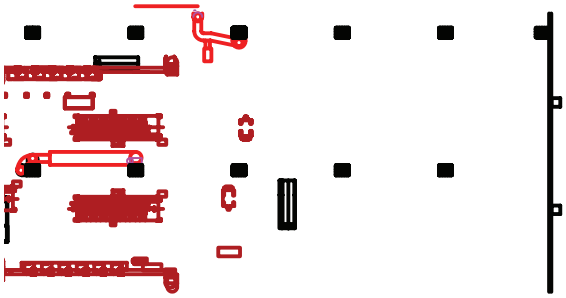

35
30
25
20
15
10
5
0

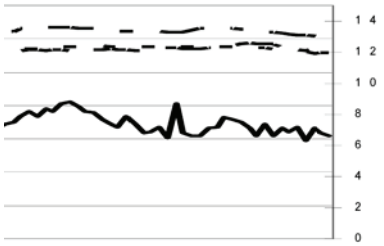


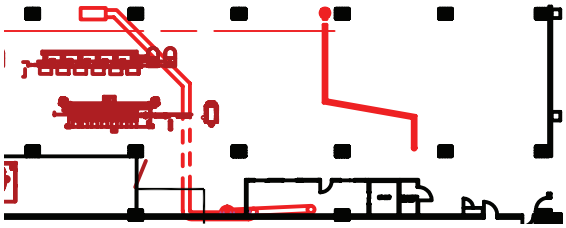
030531

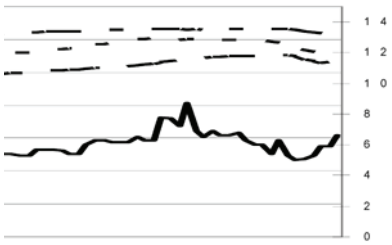












BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

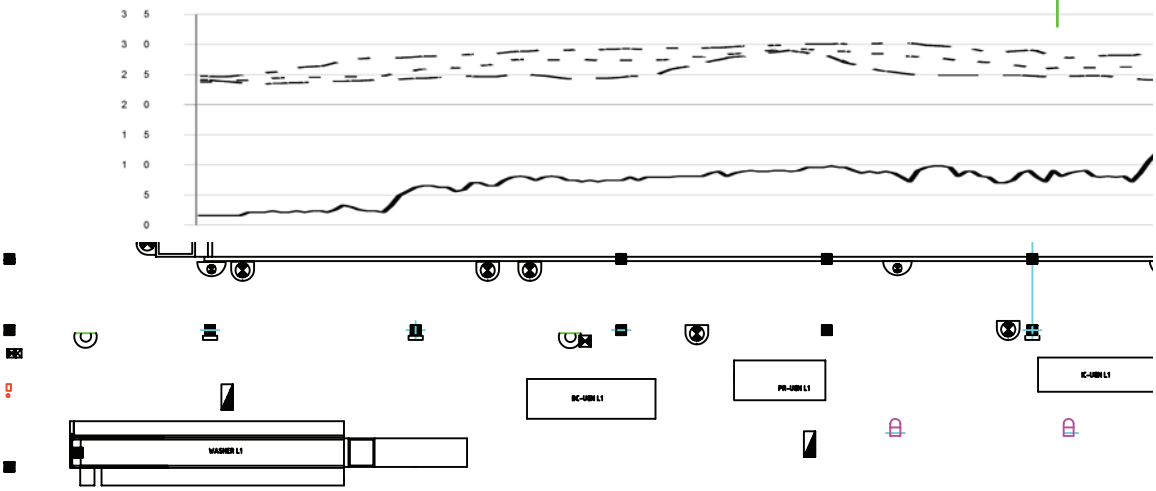
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046–222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän– och processventilation hos industrin

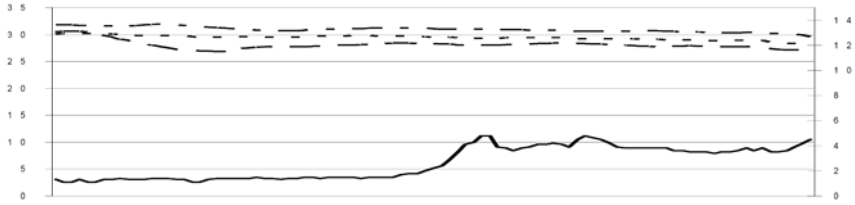
Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

Upprättad 2003–10–01

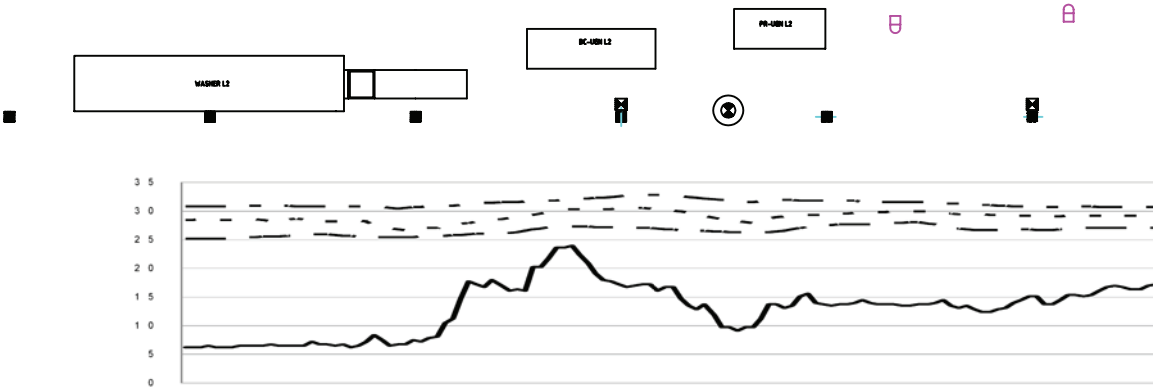
SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:7	



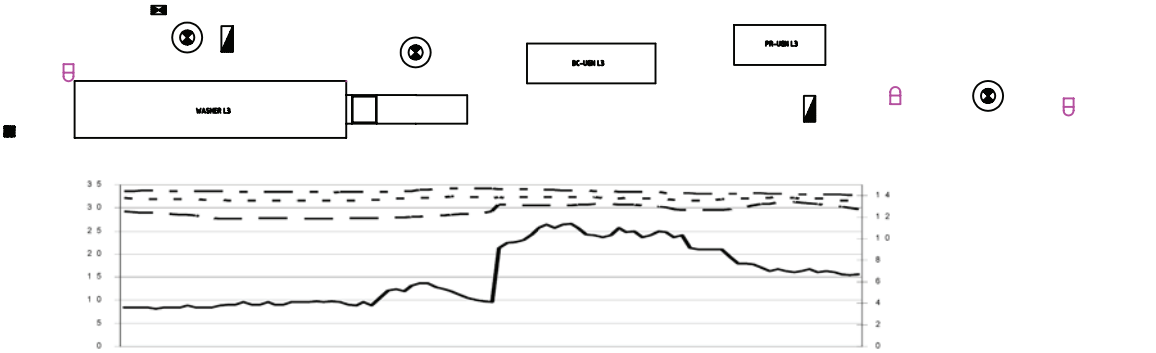
LINJE 1



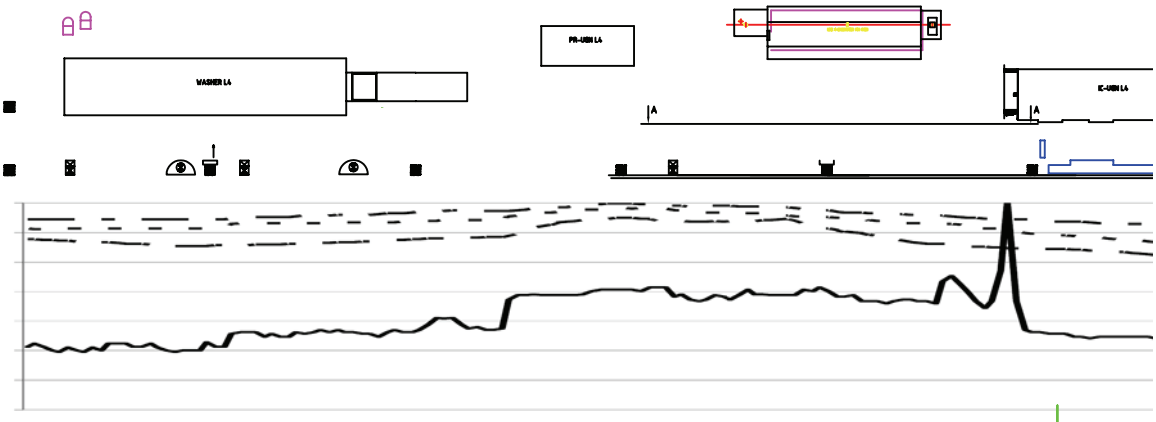
LINJE 2

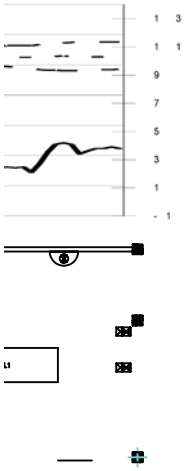


LINJE 3

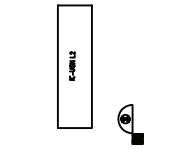


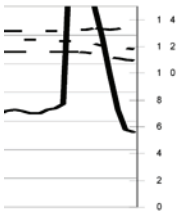
LINJE 4

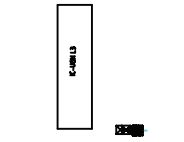


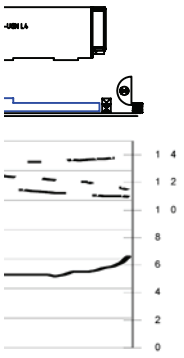


030531









BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

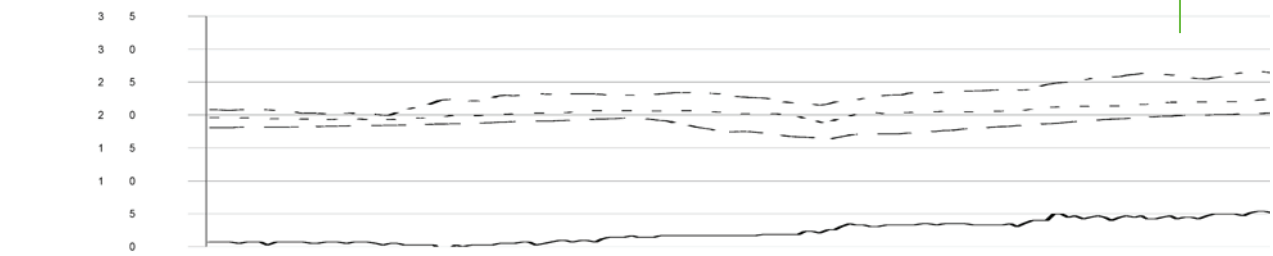
Avd: Installationsteknik

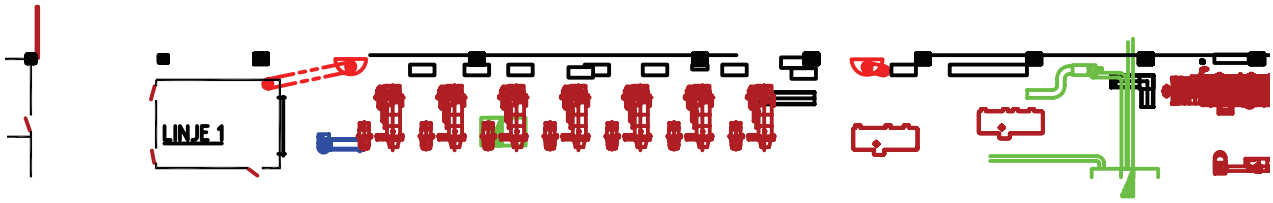
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

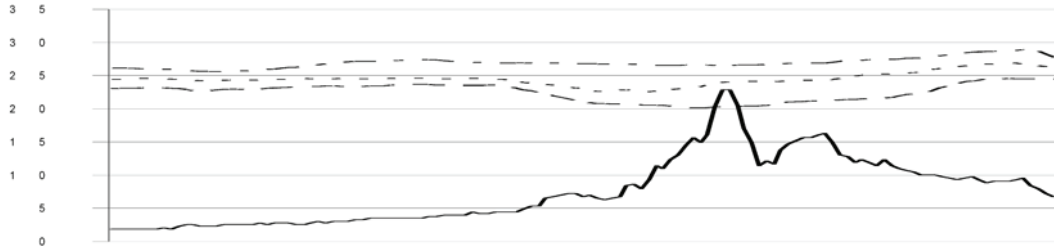
Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

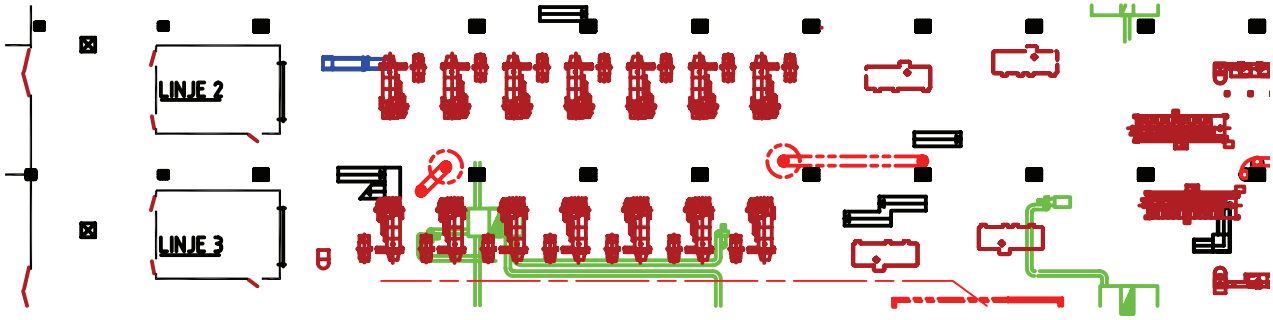
Upprättad 2003-10-01

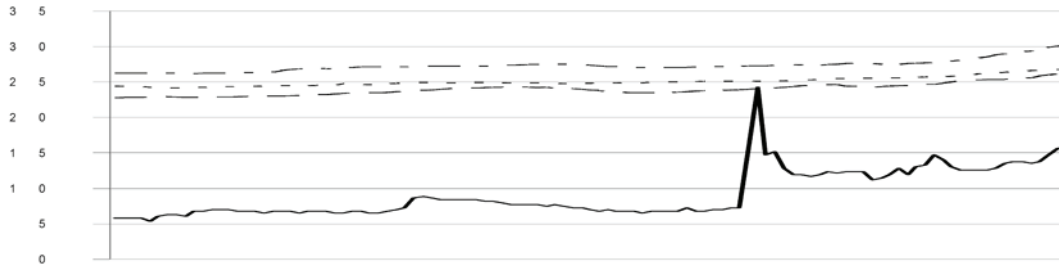
SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:8	

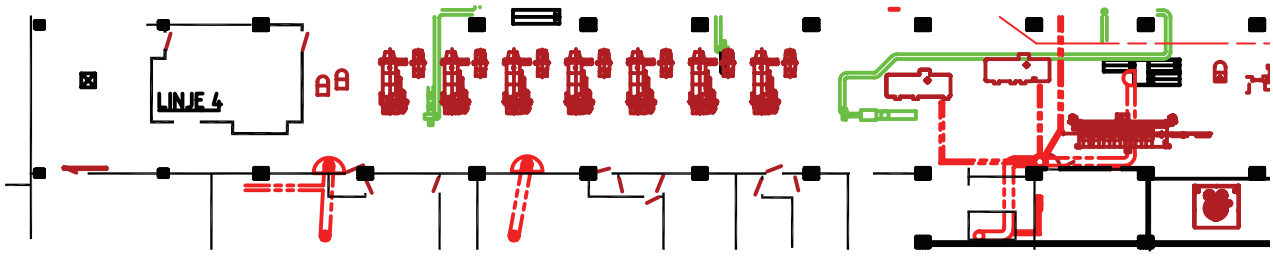

35
30
25
20
15
10
5
0

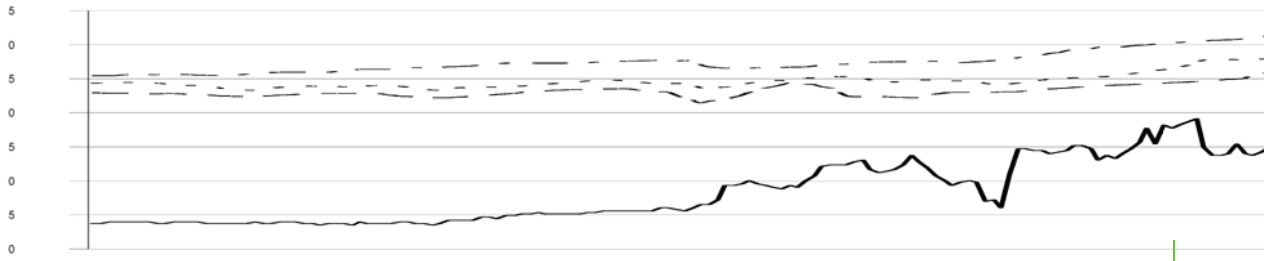

LINJE 1

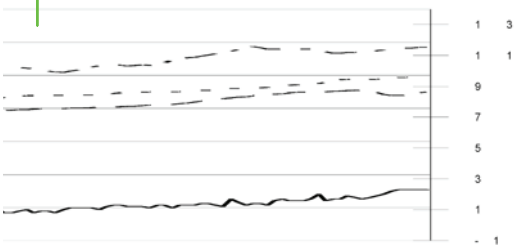

35
30
25
20
15
10
5
0

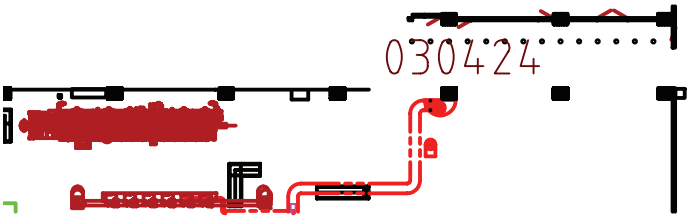

LINJE 2
LINJE 3

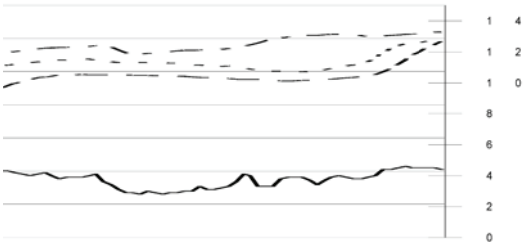

35
30
25
20
15
10
5
0

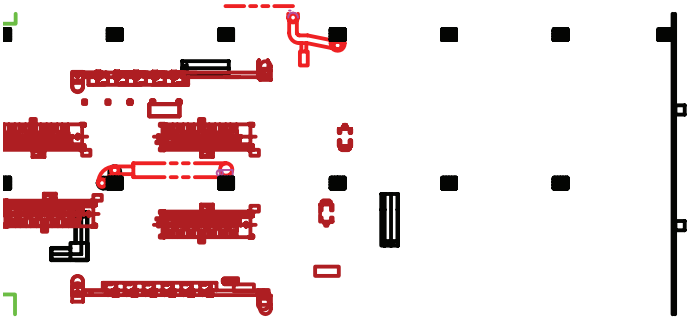

LINJE 4

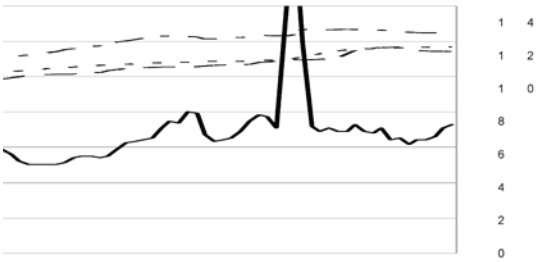

5
0
5
0
5
0
5
0

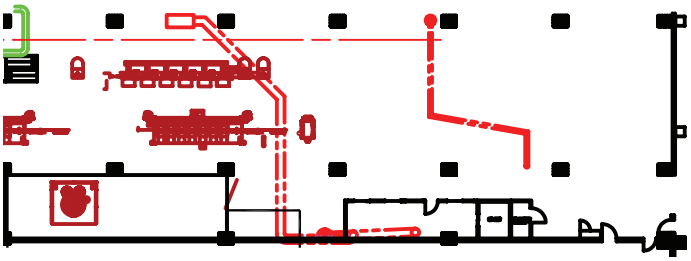


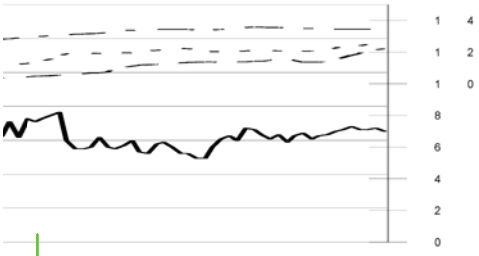












BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Resultat från traversering hos Rexam, Fosie

Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	3.4:9	

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

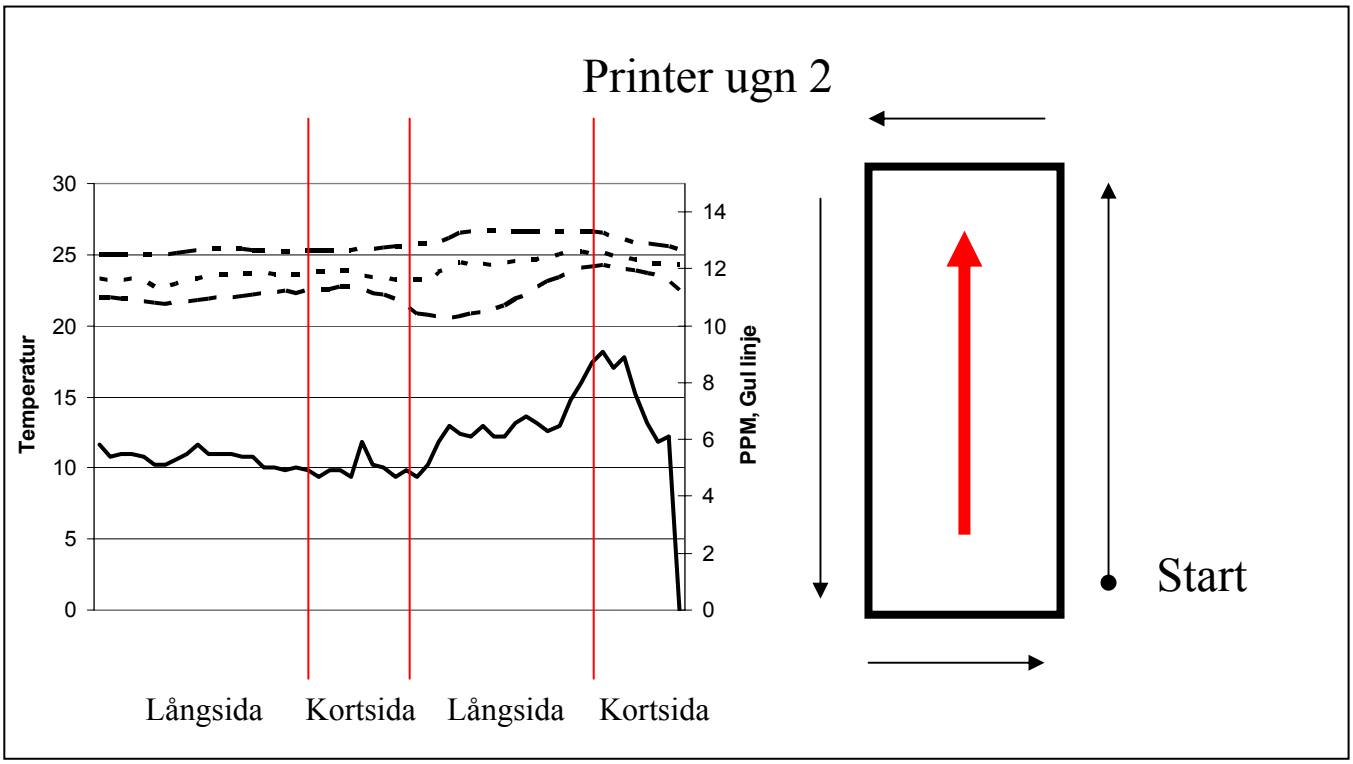
Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

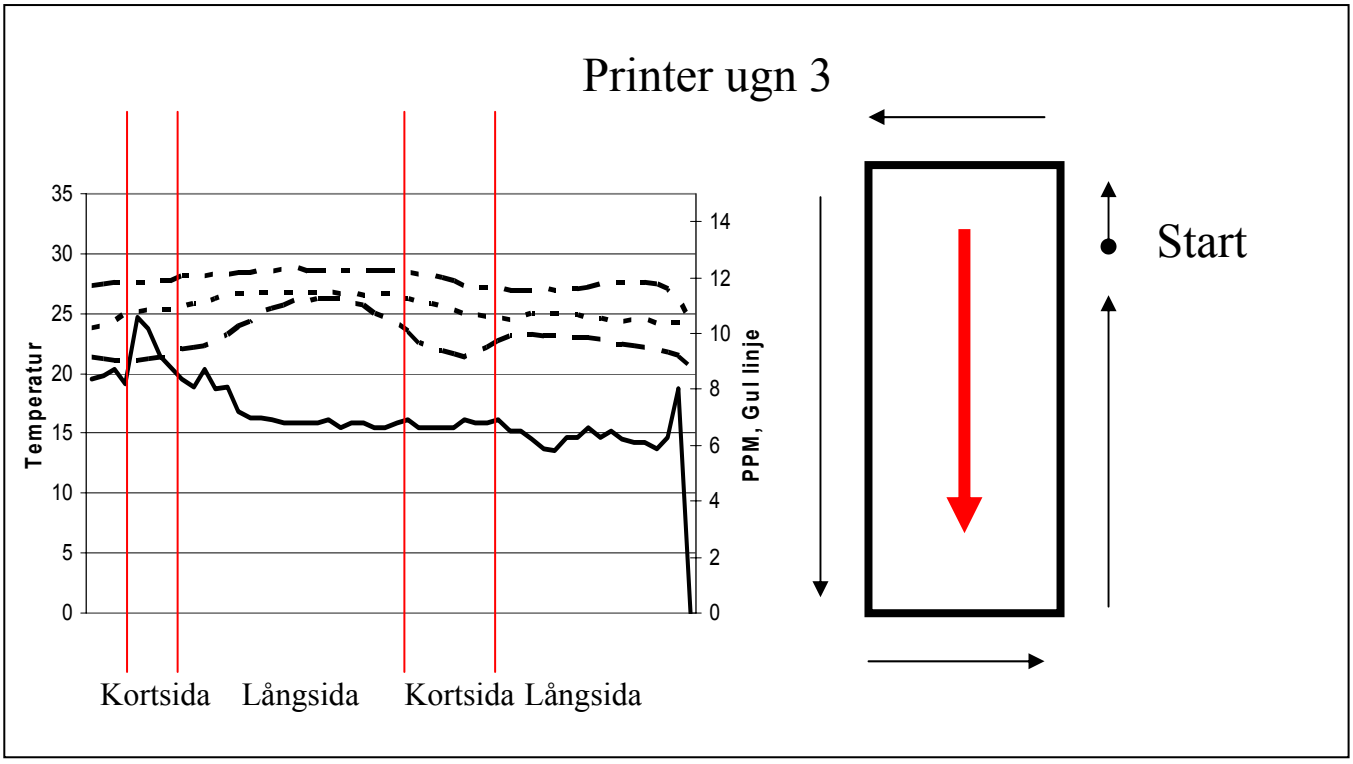
Bilaga 12.6.1 Björnringar

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

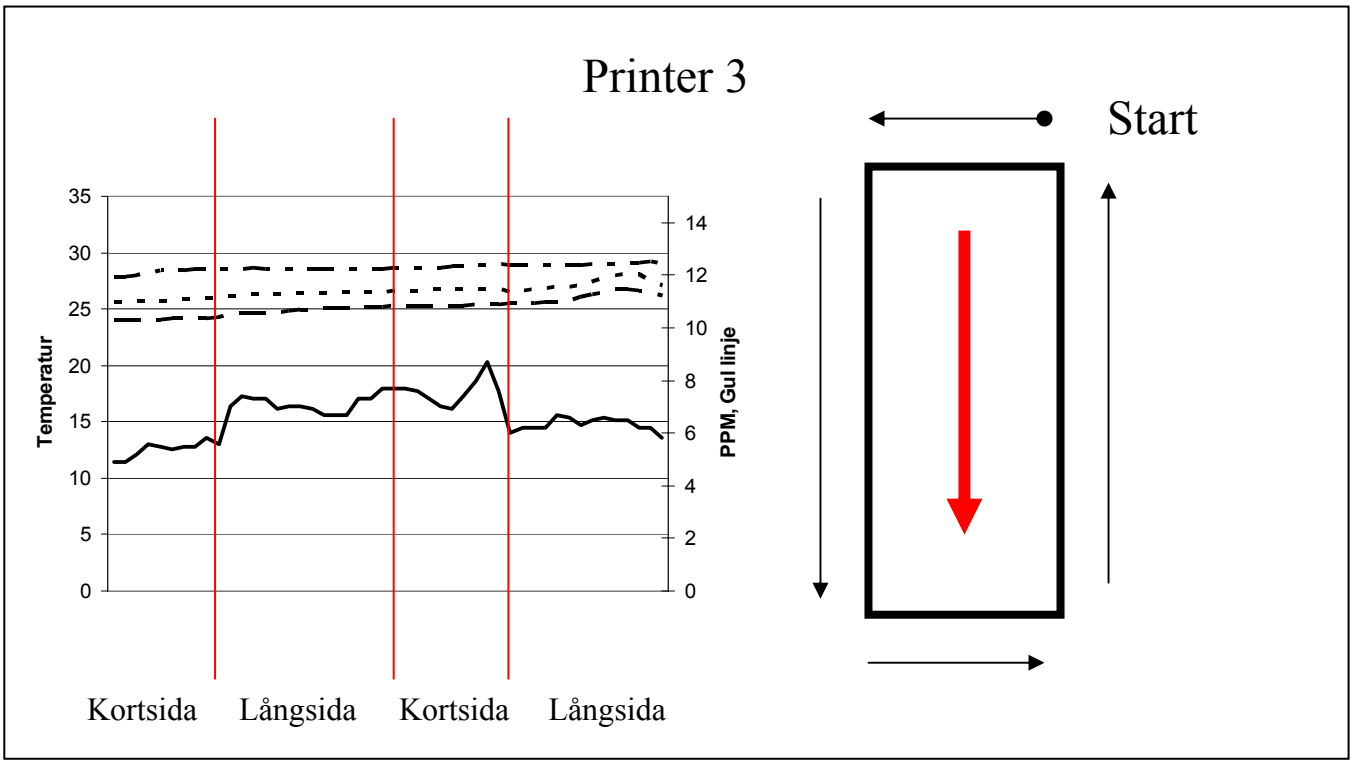
Lund 2006-04-27

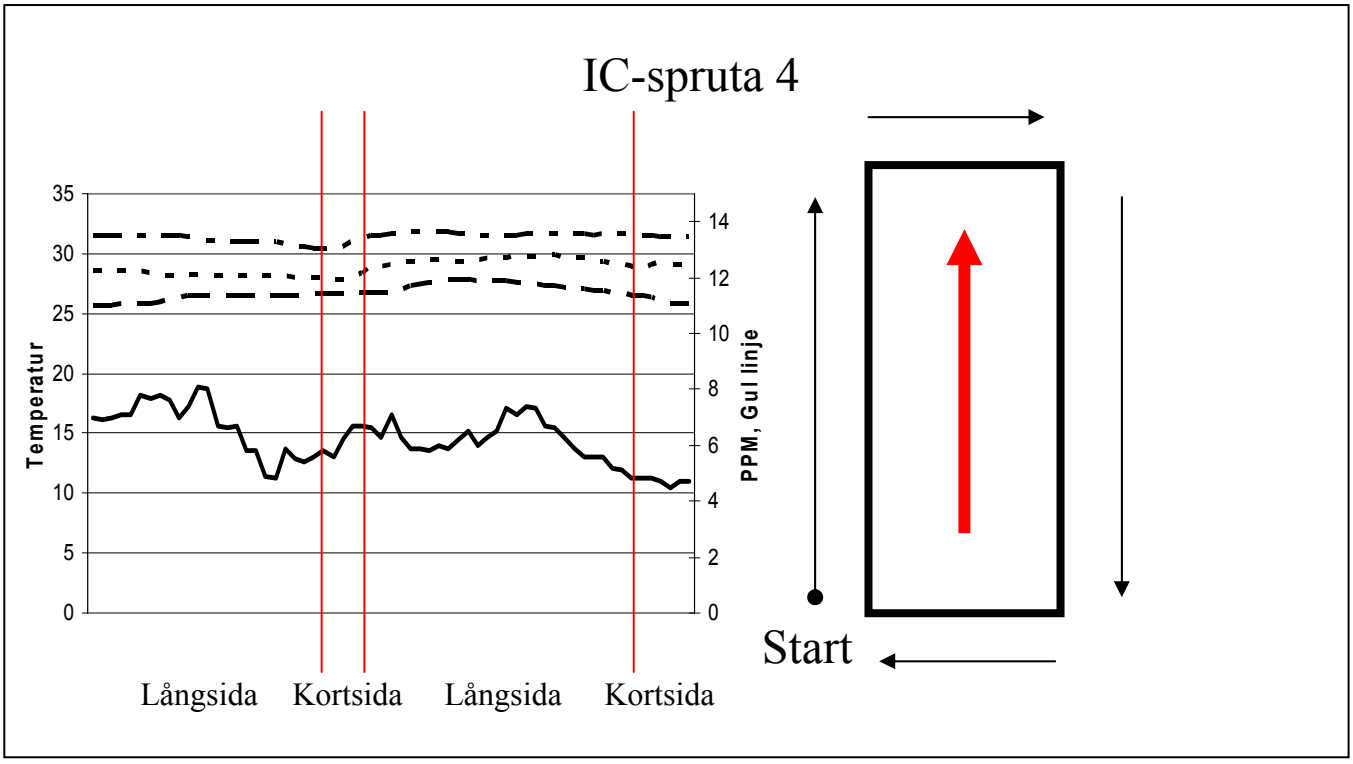
Björnring runt printer ugn 2 och 3





Björnring runt printer 3 och IC-spruta 4





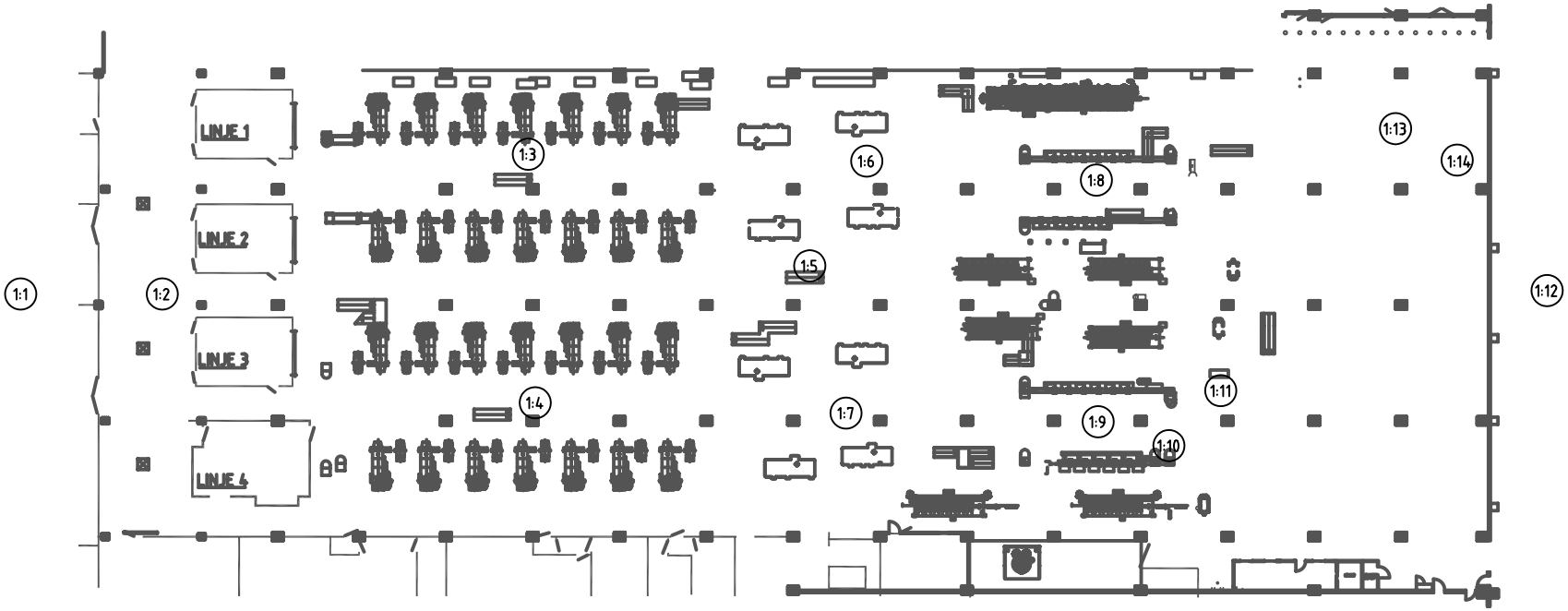
LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

Bilaga 12.9.1 Provtagningspunkter

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

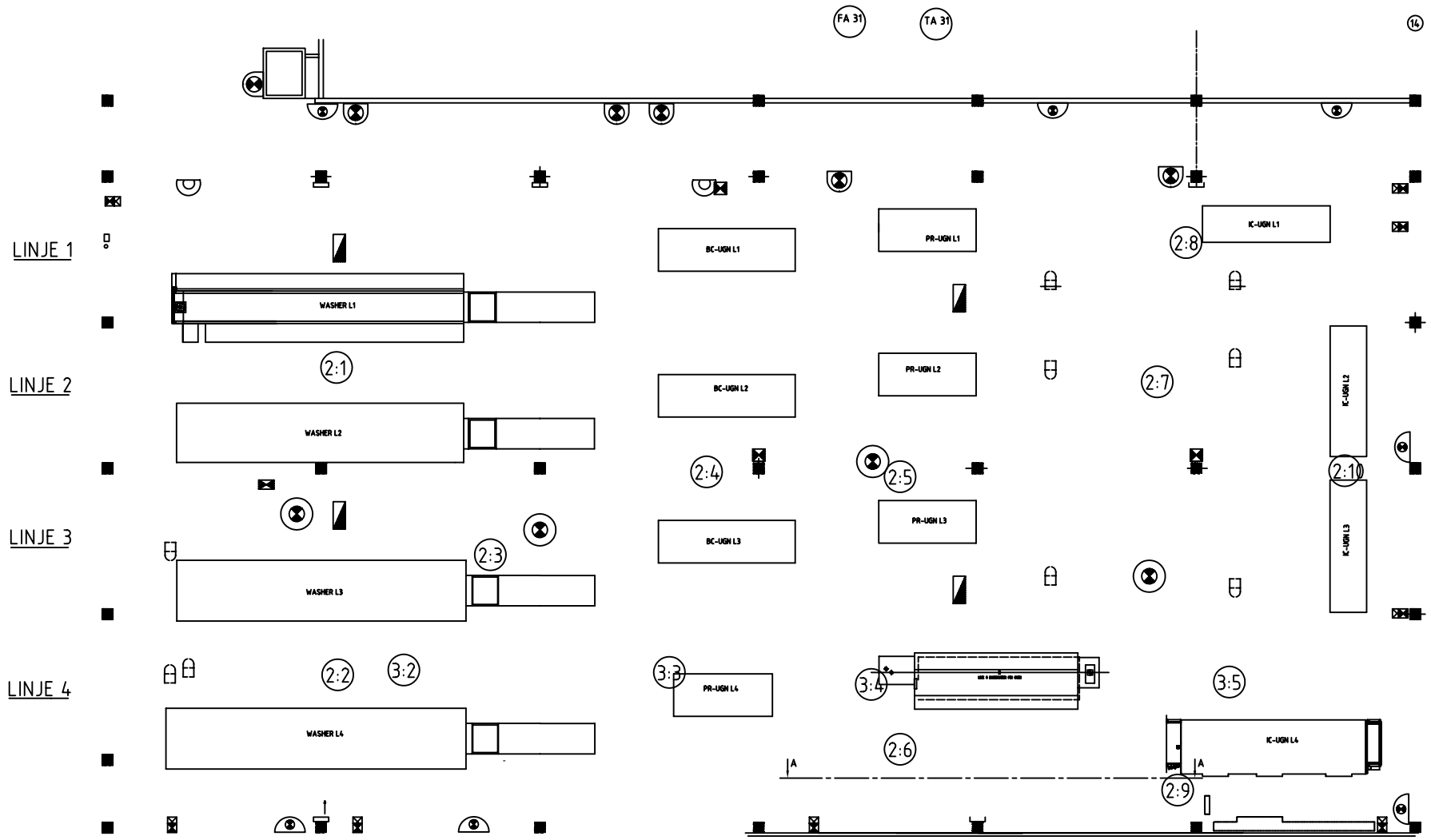
Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Provtagningspunkter TENAX

Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	Vån 1	



BET	ANT	ÄNDRINGEN AVSER	SIGN	DATUM

Lunds Tekniska Högskola
Box 118
Postnr 221 00 Lund
Telefon 046-222 20 00

Avd: Installationsteknik
Projekt: Metod för optimering av allmän- och processventilation hos industrin

Provtagningspunkter TENAX

Upprättad 2003-10-01

SKALA	RITNINGSNUMMER	ÄNDR BET
XXXX	Vån 2	

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

Bilaga 12.9.2 Analysresultat tenax

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27

Analysresultat, TENAX

Alla proverna har baserats på 0,50 liter luft genom röret

		Bensen		1-butanol		Toluen		1-pentanol (amylalcohol		Etylbensen		m-xylene		2-butoxyEthanol, (Ethylene glycol		TVOC Tenax	TVOC PID
Provpunkt	**Prov**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**µg/m3 Luft**	**ppm**	**ppm**	**ppm**
1.1	A 70	6,07	0,002	1295,80	0,427	29,96	0,008	N/F		3,78	0,001	22,82	0,005	134,94	0,028	1,75	0,20
1.2	A 33	7,45	0,002	1324,99	0,437	14,82	0,004	N/F		12,46	0,003	47,55	0,011	458,50	0,095	1,87	1,80
1.3	A 26	13,39	0,004	3322,12	1,096	22,36	0,006	N/F		38,14	0,009	127,82	0,029	1094,23	0,226	4,67	5,80
1.4	A25	10,84	0,003	1815,70	0,599	10,11	0,003	N/F		24,48	0,006	71,25	0,016	1174,73	0,243	2,68	6,80
1.5	MI 023	13,16	0,004	6750,32	2,227	40,71	0,011	N/F		16,65	0,004	44,16	0,010	2271,62	0,470	9,46	13,00
1.6	A 23	71,95	0,023	5297,73	1,748	51,74	0,014	N/F		324,19	0,075	569,35	0,131	15047,17	3,113	10,55	15,10
1.7	A 37	32,09	0,010	5644,56	1,862	25,19	0,007	N/F		81,83	0,019	251,60	0,058	7267,22	1,503	9,17	9,10
1.8	A 29	28,27	0,009	15200,16	5,014	21,82	0,006	1389,54	0,385	411,16	0,095	1403,47	0,323	5317,37	1,100	22,76	9,60
1.9	MI 023	42,52	0,013	25369,85	8,369	20,98	0,006	2940,91	0,815	515,07	0,119	1822,79	0,420	7789,14	1,611	38,21	10,60
1.10	A 38	17,23	0,005	10681,54	3,524	19,75	0,005	442,89	0,123	240,13	0,055	808,76	0,186	2388,07	0,494	15,19	20,00
1.11	MI 023	50,40	0,016	N/F		54,76	0,015	5507,36	1,527	782,31	0,180	2832,73	0,652	9226,89	1,909	7,38	9,80
1.12	MI 024	6,09	0,002	474,57	0,157	3,83	0,001	29,42	0,008	10,62	0,002	39,77	0,009	174,84	0,036	0,70	1,30
1.13	A 40	5,83	0,002	3022,26	0,997	356,28	0,095	111,53	0,031	59,15	0,014	203,10	0,047	629,54	0,130	4,32	10,30
1.14	A 34	4,68	0,001	2879,39	0,950	4,25	0,001	215,98	0,060	60,28	0,014	201,64	0,046	655,55	0,136	4,18	10,30
2.1	A 35	7,05	0,002	1867,92	0,616	17,33	0,005	N/F		6,70	0,002	36,71	0,008	352,11	0,073	2,56	2,31
2.2	A 28	8,88	0,003	2193,07	0,723	19,77	0,005	N/F		11,64	0,003	53,57	0,012	902,41	0,187	3,12	3,00
2.3	A 39	18,18	0,006	3628,81	1,197	23,42	0,006	N/F		32,44	0,007	110,77	0,026	2493,70	0,516	5,39	4,60
2.4	MI 023	13,83	0,004	4051,20	1,336	9,50	0,003	N/F		54,02	0,012	185,12	0,043	26780,08	5,540	11,48	10,20
2.5	A 46	12,78	0,004	5765,42	1,902	15,56	0,004	162,78	0,045	127,75	0,029	429,61	0,099	2637,35	0,546	8,44	8,40
2.6	A 58	17,56	0,005	4607,06	1,520	15,26	0,004	426,56	0,118	62,00	0,014	209,00	0,048	5210,99	1,078	7,69	9,90
2.7	A 36	19,69	0,006	11944,81	3,940	23,95	0,006	643,19	0,178	279,79	0,064	954,12	0,220	3654,29	0,756	17,35	8,90
2.8	A 45	1,22	0,000	15,50	0,005	0,66	0,000	N/F		0,26	0,000	1,85	0,000	N/F		0,02	14,20
2.9	A 42	15,31	0,005	23750,65	7,835	7,13	0,002	4722,95	1,309	185,16	0,043	721,13	0,166	34268,81	7,089	43,51	10,10
2.10	A 44	24,60	0,008	N/F		15,06	0,004	3745,37	1,038	538,04	0,124	1990,32	0,458	9300,94	1,924	5,71	12,90
FA 31	A 41	73,70	0,023	8725,30	2,878	29,38	0,008	561,59	0,156	213,02	0,049	678,09	0,156	5949,83	1,231	13,51	7,20
FA 32	A 32	4,62	0,001	759,06	0,250	6,65	0,002	N/F		5,34	0,001	23,19	0,005	402,09	0,083	1,10	0,90
FA 33	A 27	11,15	0,003	3807,27	1,256	16,87	0,004	N/F		36,99	0,009	138,41	0,032	2071,91	0,429	5,53	4,10
FA 34	A 24	160,16	0,050	N/F		179,43	0,048	3811,82	1,057	1637,18	0,377	5741,85	1,322	5925,91	1,226	5,56	7,10
FA 35	A 30	10,35	0,003	5608,62	1,850	14,13	0,004	N/F		82,51	0,019	285,22	0,066	1518,06	0,314	7,81	4,90
TA 31	A 31	4,67	0,001	615,46	0,203	6,89	0,002	N/F		4,14	0,001	20,27	0,005	92,55	0,019	0,84	-2,30

Molvikt (g/mol)	78,10	74,12	92,14	88,20	106,20	106,20	118,20

N/F not found

Vid omräkning från mg/m3 till ppm antogs luftens temperatur till 25 °C.

Korrektionsfaktor, PID	0,50	4,01	0,51	3,20	0,54	0,44	1,10
Gränsvärden, NGV (AFS 2000:3)	0,50	15,00	50,00		50,00		10,00

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Nulägesbeskrivning Rexam, Fosie

Bilaga 12.9.3 Ämnen tenax

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27

Tabell 1 IC-lack

Ämne	RT	Ämne	RT
2-butanon	2,10	m-Xylen	6,87
Bensen (spår)	2,51	o-Xylen	7,62
2-metyl-1-butanol	3,63	Styren	7,70
1-pentanol	4,25	2-butoxyetanol	8,21
Etylbensen	6,57		

Tabell 2 OV-lack

Ämne	RT	Ämne	RT
2-propanol	1,76	2-metyloktanol	8,61
Tert-butylalkohol	1,82	2-metyl-3-etylheptan	8,79
Isobutylalkohol	2,28	etyl-dimetylcyklohexan	8,86
Bensen	2,52	4-etyloktan	9.31
1-butanol	2,58	?-metylnonan	9.48
2-pentanone	2,84	?-metylnonan	9,56
Metakrylsyra metylester	3,12	?-metylnonan	9,69
1,3-dimetylcyclohexan	4,18	?-metylnonan	9,91
n-oktan	4,58	metyl-isopropylcyklohexan	10,05
1,2-dimetylcyclohexan	4,66	?- metyl-?-propylcyklohexan	10,42
1,3,5-trimetylcyklohexan	5,47	?-metyl-?-propylcyklohexan	10,57
etylcyklohexan	5,58	n-dekan	10,93
1,2,4-trimetylcyklohexan	6,12	?,?-dimetylnonan	11,50
?-metyloktan	6,31	?,?-dimetylnonan	11,63
?-metyloktan	6,37	?- metyl-?-propylcyklohexan	11,72
Etylbensen	6,58	sec-butylcyklohexan	12,11
m-xylen	6,88	butylcyklohexan	12,21
metylcyklooktan	7,08	?-metyldekan	12,80
?-etylmetylcyklohexan	7,20	?-metyldekan	12,92
?-etylmetylcyklohexan	7,33	?-metyldekan	13,07
n-nonan	7,51	?-metyldekan	13,28
o-xylen	7,63	tert-butylfenyleter	13,67
?-etylmetylcyklohexan	7,85	n-undekan	14,26
Butoxyetanol	8,20		

Tabell 3 Färg

Ämne	RT
Nitrogen	1,401
1-Propen-2-ol, acetate	1,747
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-	1,987
Butanal	2,12
1-Propanol, 2-methyl-	2,346
1-Butanol	2,534
2-Ethylacrolein or 2-Butenal, 2-methyl-, (E)-	2,748
Methane, dimethoxy-	3,355
Methyl Isobutyl Ketone	3,894
1-Penten-3-ol	4,182
Furan, tetrahydro-3-methyl-	5,698
Acetic acid, butyl ester	5,865
Heptane, 2,4-dimethyl-	5,998
2-Buten-1-one, 1-(2-hydroxy-4,6-dimethoxyphenyl)-	6,119
Cyclohexanol, 2-amino-, cis-	6,335
2-Propanol, 1-(2-propenyloxy)-	6,883
Ethylbenzene	7,249
p-Xylene	7,516
1-Methoxy-2-propyl acetate	7,727
n-Butyl ether	8,071
Benzene, 1,3-dimethyl-	8,3
Propanoic acid, anhydride	8,859
3H-1,2,4-Triazole-3-thione, 1,2-dihydro-5-methyl- or 3H-1,2,4-Triazole-3-thione	9,508
1,3-Propanediol, 2,2-dimethyl- and 2-Propanol, 1-butoxy-	10,184
1,3-Dioxepane, 5-methyl-2-pentadecyl-	11,394
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	11,835
2-Butanol, 3,3'-oxybis- and Dipropylene glycol	20,062
2-Propanol, 1,1'-[(1-methyl-1,2-ethanediyl)bis(oxy)]bis-	20,212
1,2-Benzenedicarboxylic acid, 4-methyl-, dimethyl ester	26,321
Naphtho[1,8-de]-m-dioxin, 2,2-diphenyl-	31,114
Phenol, 2,4,6-tris(1,1-dimethylethyl)-	31,425

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Utvärdering Rexam, Fosie

Bilaga 15.1.1 Checklista

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27

Namn:

Egenskaper processen:

Allmänt	Mål	Problem	Åtgärder
Historik?			
Nyckeltal?			
Placering?			
Värmekällor, strålning, konvektion, Ventilation, annat?			
Emmissionskällor?			
Var tar föroreningarna vägen, spridning?			
Energislag, mängd, etc.			
Används lösningsmedel?			
Tillgänlighet? Rumslig.			
Ventilation			
Processventilation			
Komfortventilation			
Punktutsug			
Tilluft, förekomst, typ			
Frånluft			
Arbetsmiljö			
Termisktklimat			
Luftrörelser, drag?			
Myndighetskrav / interna			
Buller			
Belysning			
Åtgärder			
Minska energianvändning, Värmekällor etc.			
Luftflöden?			
Vad bör man mäta?			
Hur fångar vi upp föroreningarna bäst!!			
Hur sänker vi värmeavgivningen? Styr och regler, energi optimering m.m.			

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Utvärdering Rexam, Fosie

Bilaga 15.2.1 Sammanställning åtgärd

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27

2006-05-18
Jonas Lindhe

ÅTGÄRD 1
Installation av face manifolds på neckrarna

BAKGRUND

I neckern formas burkens övre del för att passa locket. Vid formningen används tryckluft för att blåsa av, styra och hålla fast burkarna.

Neckrarna är de största enskilda tryckluftsförbrukarna med uppskattad luftförbrukning på ca X m^3/min.

OBJEKT

- Neckern

ÅTGÄRDSFÖRSLAG

1. Bygg om Neckern till snålblåsande system.

Det finns idag ett färdigt system som neckerna kan kompletteras med som kallas face manifold som skall halvera tryckluftsbehovet.

BESPARINGS- / EFFEKTIVISERINGSPOTENTIAL

En sänkning av luftbehovet kring neckerna med 50 % skulle minska det totala tryckluftsbehovet med ca 30%. det skulle innebära en motsvarande reducering av energibehovet och en minskad underhållskostnad samt en förbättrad produktionssäkerhet. Vid ett kompressor haveri kommer det alltid att finnas flera kompressorer som är redo för att backa upp havererade enheter.

Det minskade kylbehovet från kompressorerna minskar kyltornsdriften och därmed även kemikalietillsatserna.

ARBETSMILJÖ

Värmelasten från kompressorerna kommer att minska samt dess buller belastning. Huruvida detta kommer att märkas eller ej är svårt att bedöma. Däremot kommer kompressorernas totala kylbehov att minska. Detta kommer att märkas i form av minskad kyltornsdrift vilket innebär minskad kemikaliehantering och risk för legionella bakterier.

KOSTNAD FÖR ÅTGÄRD

Kostnad för ombyggnad av neckerna till facemanifold uppskattas till:

Objekt	Bedömd kostnad
Materialkostnad	-
Arbetskostnad, montage	-
Stilleståndskostnad	-
Summa investering	**-**

Ombyggnaden görs under ett längre underhållsstopp vilket innebär att ombyggnaden påverkar stilleståndstiden nämnvärt.

PAY-OFF TID

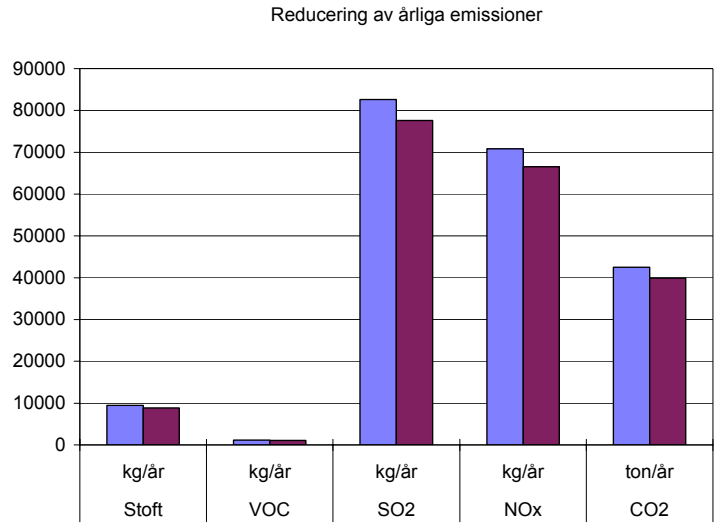
Åtgärden har en rak pay off tid på X år.

TIDSÅTGÅNG

Själva installationen uppskattas till X timmar, dock måste viss planering och uppmätning av neckrarna utföras vilket uppskattas till X timmar.

MILJÖVINST

I följande diagram redovisas den totala miljöpåverkan som minskad energianvändningen medför före respektive efter åtgärd:



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Lunds universitet

Utvärdering Rexam, Fosie

Bilaga 16.2.1 Protokoll fotografisk metod

Projekt: Utvärdering och optimering av industriventilationsanläggningar

Lund 2006-04-27

Filmning och fotografering av inkapsling, Datum: 2004-12-10
Test BM 22

Sekvens	Swema	Q l/s	Fotonr	Ti	Tu	BM öppna spjäll	Övrigt
01	01	55	01-03		24,4	Alla öppna	
02	02	81	4-6	34,9		BM 27, 26 stängda	
03	03	123	7-10	32,5		BM 27,26, 25 och 24 stängda	
04	04	196	11-14	30,1		BM 27,26, 25, 24, 23,21 stängda	
05	05	147	15-18	31,5		BM 27,26, 25, 24, 23 stängda	
06	06	105	19-23	32		BM 27,26, 25 stängda	
07	07	73	24-27	33,3		BM 27 stängda	

Övriga kommentarer: Öppningar: Utmatningsbord: 0,8·0,33 + 0,14·0,33 = 0,3102 m^2 Topp: 0,15*0,15 =0,0225m^2 Öppningar på sidorna: 0,0451 m^2

Filmning och fotografering av inkapsling, Datum: 2005-04-01
Test BM 22

Sekvens	Swema	Q l/s	Fotonr	Ti	Tu	BM öppna spjäll	Övrigt
01	01	44	1-6		24,8	Alla öppna	Fel Temp mätuttag på BM
02	02	56	7-9			BM 27, 26 stängda	
03	03	94	10-14			BM 27,26, 25 och 24 stängda	
04	04	134	15-19	33,4	25,7	BM 27,26, 25, 24, 23,21 stängda	
05	05	104	20-24	34,6	25,7	BM 27,26, 25, 24, 23 stängda	
06	06	74	25-30	35,5	25,5	BM 27,26, 25 stängda	
07	07	51	31-39	36,8	26	BM 27 stängda	
08	08	8	40-45	37,7		Inkapsling 22 stängd.	

Övriga kommentarer: Öppningar: Utmatningsbord: 0,1*0,10 + 0,14*0,33 = 0,056 m^2
Öppningar på sidorna: 0,0451 m^2