

# Energi- och miljöanalys av processavdelning

Examensarbete på Metso Minerals Wear Protection i Trelleborg

Patrik Jönsson  
Måns Nestrup



**LUNDS TEKNISKA  
HÖGSKOLA**  
Lunds universitet

Januari 2006  
Examensarbete  
Avdelningen för Energihushållning  
Institutionen för Energivetenskaper  
Lunds Universitet  
Box 118  
SE-221 00 LUND  
<http://www.vok.lth.se>

## Sammanfattning

Detta examensarbete har gått ut på att göra en energi- och miljöanalys i processhallen på företaget Metso i Trelleborg. Processhallen består av två stycken pressgrupper. Vår uppgift var att i första hand göra en undersökning på hur stor energiförbrukningen är för dessa pressar i dagsläget, samt ta reda på hur mycket vulkrök som släpps ut. Efter att detta genomförts skulle vi sedan försöka utforma ett system för att minska energiförbrukningen och samtidigt göra arbetsmiljön bättre för operatörerna vid pressarna, dvs. minska operatörernas exponering av vulkrök samt sänka temperaturen på arbetsplatserna.

För att göra dessa förändringar på bästa sätt kom vi fram till att man skulle sätta höj- och sänkbara kåpor på pressarna i pressgrupp 1. På liknande sätt skulle man ha en kåpa som bestod av en utskjutbar duk över pressborden i pressgrupp 2. Från dessa kåpor byggs sedan ett kanalsystem för att ventileras ut så mycket värme och vulkrök som möjligt från lokalen. Kåporna skyddar också operatörerna mot strålningsvärme som upplevs som obehaglig.

För att genomföra detta projekt använde vi oss av dataprogrammet PFS som är utformat för att göra simulationer över ventilationssystem. Simuleringar gjordes med olika dimensioner på rör och med olika arbetstryck från aggregatet. För att få ett stabilt system i pressgrupp 1 har simuleringarna visat att rören skall ha en dimension på 500 mm och att aggregatet skall arbeta med maximalt tryck. I pressgrupp 2 får man enligt våra simuleringar ett stabilt system oavsett arbetstryck på aggregatet. Vi anser dock att utventilerade volymer är tillfredställande om man halverar arbetstrycket på aggregatet.

Då energikostnaderna för det nya systemet beräknats jämfördes dessa med dagen system. Resultatet vi kom fram till då var att med det nya systemet skulle man kunna göra en energibesparing på ungefär 450 000 kronor om året beroende på vad man använde för arbetstryck och rördiameter. Med anläggningschefens hjälp gjordes också en prisuppskattning på vad det nya systemet skulle komma att kosta. En rimlig siffra bedömdes vara 4 500 000 kronor. Detta skulle innebära en paybacktid på 10 år för företaget.

Det nya systemet skulle också innebära att man skapar ett jämnare arbetsklimat i processhallen sett över hela året. Detta innebär att man skulle ha möjlighet att undvika de temperaturtoppar som man har under sommarhalvåret. Det nya systemet skulle möjligen också kunna leda till en reducering av sjukfrånvaron.

## Förord

Detta examensarbete har utförts under hösten och vintern år 2005 för Lunds Tekniska Högskola och Metso Minerals Wear Protection i Trelleborg. Arbetet är ett led i vår utbildning inom maskinteknik med inriktning mot energihushållning. För att kunna utföra detta projekt har vi haft god hjälp av personal på Metso. Vi vill framförallt framföra ett stort tack till operatörerna som har bemött oss med öppna armar och tagit sig tid att svara på våra frågor. Personal i ledande positioner såsom Vesa Ikonen, Seppo Luukkonen och Rolf Svensson skall också ha ett stort tack för uppoffringar av värdefull tid och information. Inom universitetet vill vi framföra ett stort tack till framför allt Lars Jensen, institutionen för installationsteknik, som har hjälpt oss med ventilationssimuleringar och lärt oss hur beräkningsprogrammet PFS är utformat. Utan hans insatser hade vi inte fått så realistiska resultat på våra beräkningar. Slutligen har Lennart Thörnqvist, vår handledare på LTH varit till ovärderlig hjälp när det gäller att ge tips och råd för arbetets fortskridande och utformning.

Ett stort tack till er alla!

Lund            2005-12-08

Patrik Jönsson

Måns Nestrup

<b>1 BESKRIVNING AV EXAMENSARBETE.....</b>	<b>5</b>
1.1 NUTIDSBEKRIVNING.....	5
1.1.1 Företagsverksamhet.....	5
1.1.2 Processbeskrivning.....	5
<b>2 FABRIKSBEKRIVNING.....</b>	<b>6</b>
2.1 ARBETSBEKRIVNING.....	6
2.1.1 Pressgrupp 1.....	6
2.1.2 Pressgrupp 2.....	7
2.2 UPPVÄRMNING AV KALLAGER.....	7
2.3 ÅNGSYSTEMET.....	8
2.4 ARBETSKLIMAT.....	8
2.5 VENTILATION.....	8
2.5.1 System.....	8
2.5.2 Energiåtervinning.....	9
2.5.3 Beräkning av energiåtervinningen.....	10
<b>3 VULKRÖK.....</b>	<b>11</b>
3.1 HÄLSORISKER.....	11
3.1.1 Exponering av vulkrök.....	11
3.2 LUFTVÄGS- OCH HUDSJUKDOM I GUMMIINDUSTRIN.....	11
3.3 BERÄKNING AV VULKRÖK FRÅN PROCESS.....	12
<b>4 VÄRMEÖVERFÖRING TEORI.....</b>	<b>14</b>
4.1 KONVEKTIV VÄRMEÖVERFÖRING.....	14
4.1.1 Naturlig konvektion.....	14
4.1.2 Forcerad konvektion.....	14
4.2 VÄRMEÖVERFÖRING GENOM STRÅLNING.....	15
4.3 VÄRMEKAPACITIVITET.....	15
4.4 VÄRMELEDNINGSFÖRMÅGA.....	15
<b>5 VÄRMEUTBYTET FRÅN PG1 OCH PG2 I NUVARANDE SYSTEM.....</b>	<b>16</b>
5.1 KONVEKTIVT VÄRMEUTBYTE.....	16
5.1.1 Pressgrupp 2.....	16
5.1.2 Beräkningar.....	16
5.1.3 Pressgrupp 1.....	18
5.1.4 Beräkningar PG1.....	20
5.2 VÄRMEUTBYTE GENOM STRÅLNING.....	21
5.2.1 Pressgrupp 2.....	21
5.2.2 Beräkningar PG2.....	21
5.2.3 Pressgrupp 1.....	23
5.3 SAMMANSTÄLLNING AV VÄRMEUTBYTET.....	25
<b>6 FÖRSLAG PÅ FÖRBÄTTRINGAR AV NUVARANDE SYSTEM.....</b>	<b>26</b>
<b>7 VENTILATIONSSIMULERINGAR.....</b>	<b>27</b>
7.1 TRYCKFALL/FÖRLUSTER I VENTILATIONSKANALER.....	27
7.1.1 Friktionsförluster.....	27
7.2 METOD.....	28
7.3 PRESSGRUPP 1.....	28
7.3.1 Tillvägagångssätt.....	28
7.3.2 Resultat nuvarande system.....	29
7.3.3 Nya systemets utförande.....	29
7.3.4 Resultat stängda pressar.....	31
7.3.5 Resultat öppna pressar.....	32
7.3.5.1 Simulering med 150 Pa och 400 mm kanaler.....	33
7.3.5.2 Simulering med 300 Pa och 400 mm kanaler.....	35
7.3.5.3 Simulering med 150 Pa och 500 mm kanaler.....	38
7.3.5.4 Simulering med 300 Pa och 500 mm kanaler.....	40
7.3.5.5 Slutsats.....	43

7.4 PRESSGRUPP 2.....	43
7.4.1 Tillvägagångssätt.....	43
7.4.2 Nuvarande system.....	44
7.4.2.1 Resultat.....	45
7.4.3 Nya systemets utförande.....	45
7.4.4 Resultat.....	46
7.5 SAMMANSTÄLLNING AV SIMULERINGAR.....	47
7.5.1 Pressgrupp 1.....	47
7.5.2 Pressgrupp 2.....	48
<b>8 ENERGIBERÄKNINGAR PÅ NYA SYSTEMET.....</b>	<b>49</b>
8.1 STRÅLNINGSENERGI.....	49
8.2 KONVEKTIV ENERGI.....	49
8.3 TOTALA ENERGILÄCKAGET FÖR SYSTEMEN.....	49
8.4 VENTILATIONEN.....	50
<b>9 MILJÖ.....</b>	<b>53</b>
9.1 INTERN MILJÖ.....	53
9.1.1 Pressgrupp 1.....	53
9.1.2 Pressgrupp 2.....	53
9.2 EXTERN MILJÖ.....	54
<b>10 EKONOMISKA BERÄKNINGAR.....</b>	<b>55</b>
10.1 PROCESSEKONOMI.....	55
10.2 INVESTERINGSKOSTNAD.....	55
10.1.1 Material.....	55
<b>11 SLUTSATSER OCH DISKUSSION.....</b>	<b>57</b>
<b>12 REFERENSFÖRTECKNING.....</b>	<b>58</b>
<b>13 ÖVRIG LITTERATUR.....</b>	<b>59</b>
<b>14 BILAGOR.....</b>	<b>60</b>

# 1 Beskrivning av Examensarbete

Patrik Jönsson och Måns Nestrup har tilldelats ett examensarbete på Metso Minerals i Trelleborg. Arbetet går ut på att genomföra en miljö- och energianalys av två pressgrupper i processhallen. Detta innebär att dagens process skall analyseras för att se om man genom olika system kan göra arbetsklimatet bättre för operatörerna samtidigt som en besparing av energi möjliggörs.

## 1.1 Nutidsbeskrivning

### 1.1.1 Företagsverksamhet

Metso Minerals (Wear Protection) anläggningar finns i Trelleborg och Ersmark. Deras produkter består av slitskydd, siktmedia, godsslang, transportband, tillbehör till transportörer, infodringar till betongblandare, barktrummor och kvarnar. Produkterna används främst vid berg- och mineralhantering, och säljs på den globala marknaden.

### 1.1.2 Processbeskrivning

I Trelleborgsanläggningen utförs huvudsakligen tre processer. Dessa innefattar gummi, polyuretan och metaller. För produkter som innehåller gummi krävs vid framställning en vulkningsprocess som håller en temperatur på 140-160°C. Denna process utförs i en gemensam processhall och är uppdelad i pressgrupp 1 och 2.

Processen som behandlar polyuretan utförs på en avskild välventilerad avdelning, detta på grund av att det vid formgjutningen frigörs isocyanater. Borden som formgjutningen sker på är 120°C varma.

Metallerna som ingår i produkterna går igenom en avdelning som kallas ”klistringen”. I denna avdelning blåstras metallen och beläggs med ett klister för att vidhäftningen vid vulkningen skall bli så optimal som möjligt.

## 2 Fabriksbeskrivning

### 2.1 Arbetsbeskrivning

#### 2.1.1 Pressgrupp 1

Operatören laddar pressen med metaller och gummi. I detta skede används traverser som hjälpmedel. Efter detta moment stängs pressen och vulkningsprocessen startar under högt tryck. Beroende på produktens utformning tar denna process allt från en, till ett antal timmar. Under denna tid är ytorna som överför värmen till lokalen relativt små i jämförelse med ytorna vid öppen press. Dock sker det ett värmeutbyte med omgivningen genom strålning och konvektion. Då vulkningen är klar öppnas pressarna och pressen töms. Vid öppnings-, tömnings-, och rensningsskedet använder man sig av spett, kniv, truck och traverser. Operatören exponeras i detta skede för strålningsvärme och konvektiva värmen från produkten och formen. Vulkroken som operatören exponeras för tillförs också dessa moment. Orsaken till att exponeringen fortsätter efter öppningen, är den höga temperatur som produkten har när man påbörjar efterbearbetningen. Vulkningsprocessen på produktens yta fortsätter alltså tills temperaturen har sjunkit till ca 120°C. Operatören utför efterbearbetningen direkt efter tömningen. Den höga temperaturen i materialet underlättar resningen, eftersom materialet då är mjukt. Temperaturen i pressarna är ca 160°C och regleras med trycksatt ånga. Hur pressarna i pressgrupp 1 ser ut kan ses nedan i bild 2-1.



*Bild 2-1: Bild över några av pressarna i pressgrupp 1.*

## 2.1.2 Pressgrupp 2

De pressar som står i pressgrupp 2 är så kallade tremeterspressar. De kallas så för att man i dessa pressar kan vulka stora mattor av gummi. Pressen laddas med gummi på en avsvältnad form som sedan rullas in i pressen. Samtidigt som man rullar in en ny laddning i pressen rullas en färdigvulkad produkt ut på andra sidan. Presstiden kan variera från en timme till ett antal timmar. Under pressningen är värmeförlusterna för denna typ av press minimala. De stora värmeförlusterna uppkommer vid avsvälning av formarna. Innan formen kan laddas med nytt gummi måste man låta den svalna under 20-50 minuter. Detta görs för att undvika förvulkning av gummit. Avsvältningsprocessen märks av i form av att omgivningen kring dessa pressar håller en hög temperatur.

Produkten som kommer ut från pressen rensas omgående och lyfts med hjälp av traverser upp på pallar. När produkten lyfts upp från formen kommer stora mängder vulkrök från produktens undersida. Detta körsätt innebär att det i stort sätt alltid pågår en avsvältningsprocess vid denna typ av press. Nedan visas en bild över hur halva delen av en press i pressgrupp 2 ser ut (bild 2-2).



*Bild 2-2: Bild över halva delen av en press i pressgrupp 2.*

## 2.2 Uppvärmning av kallager

Kallagret värms idag upp av upphettat vatten från naturgaspannan. Vattnet värmeväxlas med luft som befinner sig i närheten av värmefläktarna. Dessa är uppsatta längs väggarna på kallagret. Enligt Vesa Ikonen, anläggningschef på Metso, tillförs upphettat vatten separat till vardera värmefläkten. Att vissa av värmefläktarna upplevs som om de blåser kallluft beror på att avlastnings- och utlastningsportar står öppna stora delar av arbetsdagen. Värmeväxlingen är dimensionerad för uppvärmning



av befintlig luft i lokalen och inte för uteluft. Idag finns totalt 14 stycken värmefläktar för uppvärmning av lagret, inklusive packstationen.

## 2.3 Ångsystemet

Ångan produceras i en ångpanna och köps från Sydkraft. Ångan tillför värme till produktionen under olika tryck som uppgår till 10, 7 och 4 bar.

Under de kalla månaderna tillförs extra värme till tilluften. Totalt för hela uppvärmnings- systemet förbränner man idag naturgas som uppgår till ca 10 GWh/år (se tabell 2-1), varav den största energimängden tillförs produktionen i form av ånga med 10 bars tryck. Ångan värmer formarna i pressarna till ca 160°C. I pressarna finns ångfällor som leder bort kondensat från systemet till en kondensattank. I tanken sker flashning ner till 1 bar, innan vattnet leds tillbaka till matarvattentanken. För flödesschema se *bilaga 1*.

Månad	Jan	Feb	Mars	April	Maj	Jun	Juli	Aug	Sept.	Okt	Nov	Dec
MWh	1 331	1099	1205	779	644	728	298	531	627	686	916	1007

*Tabell 2-1: Energiförbrukning per månad under 2004.*

Ur tabell 2-1 kan man utläsa att extra energi har förbrukats för uppvärmning av tilluften under fem månader av året. Man kan även utläsa att temperaturen i processhallen troligen var högst under augusti månad.

## 2.4 Arbetsklimat

Som tidigare nämnts är arbetsklimatet periodvis mindre bra. Dessa perioder är kopplade till utomhustemperaturen, då man använder sig av luften för att dels sänka temperaturen och påskynda evakuering av vulkröken.

För att arbetsklimatet skall vara acceptabelt blåses 100 000 m<sup>3</sup> friskluft in i processhallen var timme och lika stora volymer processgas ventileras ut från taknivå. Temperaturen på tilluften är ca 19°C om inte lufttemperaturen utomhus är högre. För att nå upp till 19°C under den kalla årstiden behöver man tillföra extra värme, det vill säga att energiåtervinningen från frånluften inte räcker till. Värmen tas från pannan i form av ånga, som sedan värmeväxlas med vatten. Det uppvärmda vattnet värmeväxlas sedan med tilluften.

## 2.5 Ventilation

### 2.5.1 System

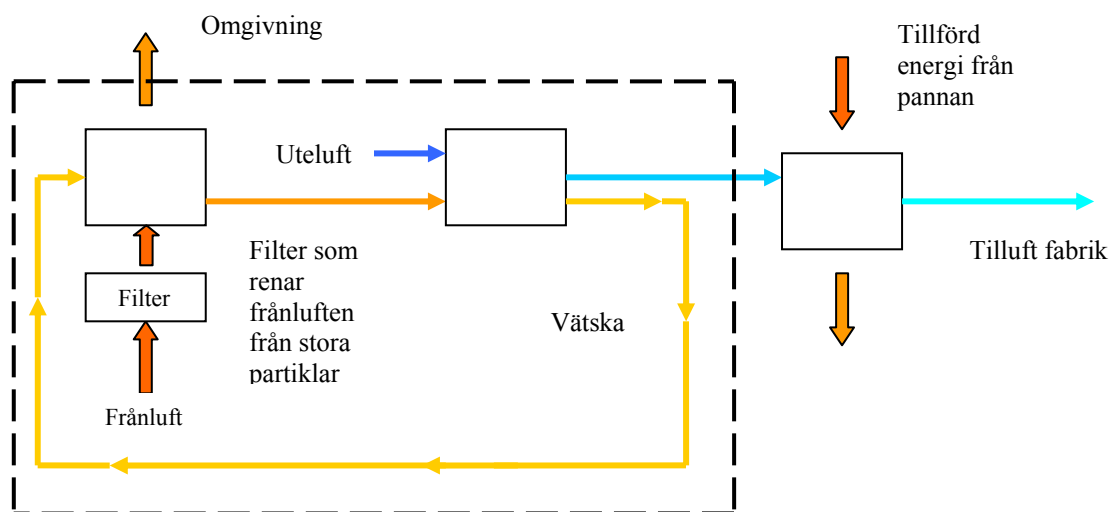
Ventilationen från processhallen sker genom ventilationstrummor som är placerade i taknivå. Det finns totalt 6 st trummor vid tidigare beskrivna pressgrupper. Systemet bygger på att man låter värme och vulkrök pressas upp i taket med hjälp av tilluften.

Denna volym lägger sig då i en spalt som är omkring tre meter bred från taknivå räknat. Volymen ventileras successivt ut från lokalen. Med detta system krävs att det är högt till tak för att operatörerna skall uppleva en ren miljö. Det är dock en något för låg taknivå över de pressar som står längst in i hallen för att detta skall vara fullt möjligt.

Det finns ytterligare ett problem med detta system och det är bärbalkarna i taket. Dessa skapar luftfickor som delvis hindrar en optimal utrymning från processhallen. Enligt Vesa Ikonen hade detta system varit mer än tillräckligt för att skapa ett bra arbetsklimat, om operatörerna hade kunnat arbeta i processen som det var tänkt,<sup>1</sup> det vill säga öppna och ladda en press åt gången. Detta gör man inte idag, då operatörerna kan ha upp till 10 st pressar under tömning och laddning samtidigt. Mängden vulkrök och värme som skall utrymmas ökas på så sätt under vissa perioder under arbetsdagen. Naturligtvis är det en bidragande orsak till ett försämrat arbetsklimat.

## 2.5.2 Energiåtervinning

För att återvinna en del av den värme som ventileras bort från processhallen har man byggt upp ett värmeväxlarpaket som är placerat på taket. Totalt i detta paket ingår det två värmeväxlersystem som är vätskekopplade (figur 2-1). Utöver dessa växlare ingår det en extra direkt värmeväxlare. Anledningen till detta är att värmeväxlingen som sker genom vätska inte är tillräcklig för temperaturhöjningen i tilluften då det är kallt utomhus. Detta system har man för att man inte får, eller vill, värmeväxla tilluften direkt med nedsmutsad processgas.



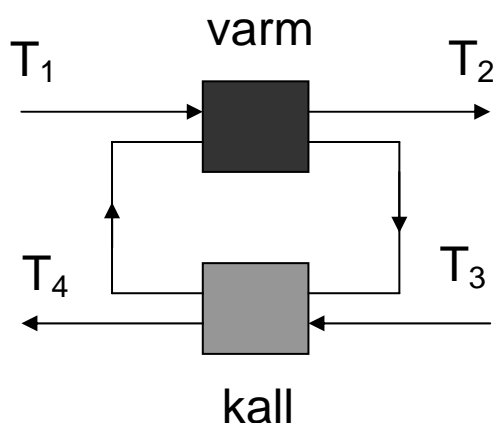
**Figur 2-1:** Schema över en vätskekopplad värmeväxlare (streckad kontrollvolym) som är kopplad till en direktverkande värmeväxlare.

För att ytterligare försäkra sig om att utsläppt processgas inte blandar sig med tilluften är insuget beläget på ett bra avstånd från frånluften. Detta är naturligtvis inte bra ur energihänseende, men sett till den inre miljön är det bra.

<sup>1</sup> Samtal med Vesa Ikonen, anläggningschef på Metso Minerals

### 2.5.3 Beräkning av energiåtervinningen

De värmeväxlare (VV1, VV2) som involveras i detta arbete är vätskekopplade och det totala luftflödet för vardera aggregatet är ca 80 000 m<sup>3</sup>/tim *se bilaga 1*. För att få en uppfattning om storleken på energiåtervinningen, beräknas temperaturverkningsgraden för värmeväxlingen med frånluften. Värmeväxlarsystemet är uppbyggt enligt figur 2-2.



Figur 2-2: Bild över värmeväxlarsystemet

Temperaturverkningsgraden anger värmeväxlarens förmåga att överföra värme, alltså förhållandet mellan utnyttjad temperaturskillnad och maximalt tillgänglig temperaturskillnad.

Det är framförallt de värmeväxlade ytornas storlek och värmetekniska egenskaper som är avgörande för värmeväxlarens förmåga att återvinna värme. Hur stor mängd värme som kommer att överföras i drift bestäms av verkningsgraden samt till- och frånluftsflödenas storlek.

Temperaturverkningsgrad:

$$\eta = \frac{T_4 - T_3}{T_1 - T_3}$$

Mätningar av dessa temperaturer har gjorts under ett tidigare projekt (tabell 2-2).<sup>2</sup>

Värmeväxlare	T <sub>1</sub> (°C)	T <sub>2</sub> (°C)	T <sub>3</sub> (°C)	T <sub>4</sub> (°C)	η (%)
VV1	26	19	5	15	47,6
VV2	23	18	5	15	55,6

Tabell 2-2: Uppmätta temperaturer vid värmeväxlarna

Temperaturverkningsgraden visar att ett rimligt antagande ligger på 50 % för dessa värmeväxlare.

<sup>2</sup> Förprojektering av ventilationsanläggning och ångsystem på Svedala Trellex AB, E. Attenius, H. Ingesson, J. Nilsson, F. Sveider, Avd. för Kemisk Apparatteknik, Lunds Tekniska Högskola, Malmö 990511

## **3 Vulkrök**

### **3.1 Hälsorisker**

Många anställda inom gummiindustrin utsätts för vulkrök, som innehåller ca 250 olika ämnen. En del av dessa ämnen är cancerframkallande. Under de senaste åren har också allergi och hudbesvär inom branschen ökat.

Mot denna bakgrund har Yrkes- och miljömedicinska kliniken (YMK) i Lund genomfört ett forskningsprojekt om arbetsmiljön inom gummiindustrin. Olika belastningssjukdomar har också studerats.

#### **3.1.1 Exponering av vulkrök**

Många arbetare inom gummiindustrin exponeras dagligen för vulkrök. Denna består av hundratals ämnen, varav flera kan ge upphov till cancer, luftvägssjukdomar och hjärt-kärlsjukdomar. Det är därför av stor vikt att kunna mäta hur stor exponeringen av dessa ämnen är för arbetarna.

Olika strategier har traditionellt använts för att kartlägga exponeringen i gummiindustrin. En strategi har varit att mäta luftburna partiklar samt vad som kallats gummirök, det vill säga de partiklar som går att lösa i cyklohexan. I många fall har dock exponeringen varit så komplex, att mätningar inte har kunnat utföras. Detta har lett till alltför få mätvärden av exponeringen i gummiindustrin.

I det projekt som utfärdats av YMK har man valt att använda en mer utförlig strategi. Man har mätt nitrosaminer i och partiklar i luft. Dessutom har man i luften mätt bensen, toluen och aldehyder. Man har även valt ut vissa biomarkörer i urin som kan ge indikationer om exponering. De halter av nitrosaminer, anilin och TTCA (tiotiazolidin-2-karboxylsyra) som då påträffats avses spegla exponeringen av vulkrök.

Man har funnit att vid flera företag finns en hög exponering för nitrosaminer. Halterna av bensen, toluen och aldehyder var mycket låga och exponeringen för dessa ämnen innebär förmodligen ingen hälsorisk. Då det gäller partiklar kommer fortsatta studier visa vilken eventuell hälsoeffekt de har.<sup>3</sup>

### **3.2 Luftvägs- och hudsjukdom i gummiindustrin**

I flera äldre men även senare undersökningar som gjorts har gummiindustriarbetare haft en ökad risk att drabbas av luftvägssjukdomar som kronisk bronkit, emfysem och astma; det gäller inte minst vulkaniserare och blandningsarbetare. Det finns också rapporter om sänkt lungfunktion och ökad förekomst av symtom från ögon och luftvägar.

---

<sup>3</sup> [www.ymed.lu.se](http://www.ymed.lu.se), Hälsorisker i gummiindustrin, Bulletin Årgång 21 (2003) Nr 1, sid 3

De flesta publicerade undersökningar om luftvägssjukdom inom gummiindustrin, hänför sig till arbetsmiljöer som i den industrialiserade delen av världen idag tagits bort. Men även om ogynnsamma arbetsmiljöer delvis eliminerats kan gummiindustriarbete alljämt innebära en risk, inte minst vid peroxidvulkning, som ökat i omfattning. Vid Yrkes- och miljömedicinska kliniken i Lund har gummiindustriarbetare, såväl kvinnor som män, med påtagliga nedre luftvägs-, ögon- och nässjukdomar utgjort en relativt vanlig patientkategori. Sådana patienter har ofta arbetat med vulkning eller med efterarbete efter vulkning.

Gummiindustriarbete är också förenat med risk för hudsjukdom.

I den undersökning som gjordes av YMK kunde man dra slutsatserna att vulkaniserarna oftare hade hostattacker och besvär av rinnande, kliande och svidande ögon än de referenter som deltagit i projektet. Gummiarbetarna med ögonsymtom hade högre halter av nitrosaminer i luften än de utan symtom, de med hosta lite högre nitrosamin- och dammhalter. Gummiarbetarna hade något sämre lungfunktion än referenterna.

Sammanfattningsvis hade vulkaniserare mer besvär med ögonirritationer och hosta och lite sämre lungfunktion än referentpersonerna. ”Vanlig” allergi eller rökning förklarar troligen inte dessa skillnader. En orsak till ögonsymtomen tycks kunna hänga samman med nitrosamin-exponering och därmed med saltvulkning med nitritsalt.<sup>4</sup>

### 3.3 Beräkning av vulkrök från process

Enligt miljörapporten 2004 är summan av aerosoler- och gasformiga substanser i vulkröken uppmätta till 0.05 vikt%.<sup>5</sup> I rapporten uppges den totala vikten av vulkat gummi vara 2800 ton per år.

Den totala vikten på vulkröken som lämnade processen uppgick till:

$$\text{Vikt\%} \times \text{massan vulkat gummi} = 0.0005 \times 2800 = 1.4 \text{ ton / år}$$

Vulkröken lämnar processen vid öppning av press och vid svalning av produkt utanför pressen.

I pressgrupp 1 och 2 arbetar man 3-skift, vilket enligt avtal inte tillåter arbete under helgdagar. För företaget innebär detta att antalet dagar utan produktion, uppgår till ca 1.5 vecka. Utöver detta hålls tillverkningen stängd två veckor under sommaren, då service utförs på produktionsutrustningen. Totalt innebär detta ett produktionsbortfall på 3.5 veckor under 2004.

Antal timmar som processen är igång under året visas i tabell 3-1.

---

<sup>4</sup> [www.ymed.lu.se](http://www.ymed.lu.se), Luftvägssjukdom i gummiindustrin, Bulletin Årgång 21 (2003) Nr 1, sid 4

<sup>5</sup> Miljörapport 2004, Metso Minerals

Veckodag	Processtid/dag (tim)	Processtid/vecka (tim)	Processtid/år (tim)
måndag-torsdag	24	96	4656
fredag	12	12	582
söndag	7	7	339,5
<b>Summa</b>		<b>119</b>	<b>5 771,5</b>

*Tabell 3-1: Processtid dag, vecka, år*

För att få en uppfattning om hur mycket vulkrök som evakueras med dagens ventilationssystem, så beräknas en snittmängd på följande sätt:

$$\frac{kg}{timmar / \text{år}} = \frac{1400}{5771,5} = 0.25 \text{ kg / tim}$$

Detta värde speglar inte verkligheten fullt ut, då emitterad vulkmängd är beroende av antalet pressar som öppnas och gummikvalitet.

## 4 Värmeöverföring teori

Den transport av värmeenergi som inträffar då det finns en temperaturskillnad mellan två kroppar, eller inom och samma kropps olika delar, kallas värmeöverföring. För att denna värmetransport ska uppstå behöver kropparna inte vara i kontakt med varandra, men däremot måste en skillnad i temperatur existera. Så länge värmeskillnader finns, kommer värmen att transporteras i riktning från den varma till den låga temperaturen.

Värmeöverföring sker i princip på tre olika sätt: ledning, konvektion och strålning. Då vi i detta projekt i huvudsak har använt oss av de två sistnämnda principerna kommer dessa förklaras i närmast följande avsnitt. I praktiska fall överförs värme på mer än ett av dessa tre sätt samtidigt, även om något av eller några av dessa kan vara helt dominerande.<sup>6</sup>

### 4.1 Konvektiv värmeöverföring

När en fluid strömmar utmed en fast kropp eller inuti en kanal under förutsättningen att temperaturerna för fluiden och den fasta kroppen är olika, kommer värmeutbytet att påverkas av fluidens makroskopiska rörelse. Denna typ av värmeutbyte benämns konvektion. Beroende på hur den makroskopiska rörelsen åstadkommes, talar man om forcerad konvektion eller naturlig konvektion.

#### 4.1.1 Naturlig konvektion

Om en uppvärmd kropp befinner sig i en fluid kommer värme att överföras från kroppen till den omgivande fluiden genom konvektion. Den varma kroppen värmer upp den omgivande fluiden alldeles intill ytan genom värmeledning. Temperaturskillnader i fluiden resulterar i en densitetsskillnad, vilket i sin tur leder till en uppåtgående rörelse och därmed en energitransport. Denna värmeöverföringsmekanism benämns naturlig konvektion. En större temperaturdifferens ger en större densitetsskillnad, vilket leder till högre strömningshastighet och därmed större värmeflöde.

#### 4.1.2 Forcerad konvektion

Om fluidrörelsen åstadkommes av yttre anordningar såsom pumpar, fläktar etc. talar vi om forcerad eller påtvingad konvektion. Värmeflödet från kroppen är då större än vid naturlig konvektion.

---

<sup>6</sup> Kompendium i värmeöverföring, Bengt Sundén, Avd. för Värmeöverföring, Lunds Tekniska Högskola

## 4.2 Värmeöverföring genom strålning

Värme kan också transporteras med elektromagnetisk strålning som inte kräver något energibärande medium. Strålningsutbytet mellan två ytor är i själva verket maximal när inget medium finns i utrymmet mellan ytorna. Värmeutbyte genom strålning kan inträffa mellan två ytor, mellan en yta och en gas, eller kan involvera växelverkan mellan åtskilliga ytor och fluiden som upptar området mellan ytorna.

Strålningen är alltså den värme man känner i solen eller när man håller handen en bit ovanför en varm platta. Den elektromagnetiska strålning som är av betydelse vid värmeöverföring kallas ofta infraröd (IR) strålning och har våglängder som är något längre än synligt rött ljus. Vid rumstemperatur är värmestrålningen i regel obetydlig men blir helt dominerande vid högre temperatur. När temperaturen stiger blir våglängderna hos strålningen också allt kortare och en del blir synligt ljus. Detta märker vi genom att föremål som blir riktigt varma börjar lysa svagt rött, de glöder.

## 4.3 Värmekapacitivitet

Värmekapacitivitet är en fysikalisk storhet som anger ett ämnes förmåga att magasinera termisk energi, eller annorlunda uttryckt, ett ämnes termiska ”tröghet”. Värmekapacitivitet betecknas  $C$  och anges i kilojoule per kilogram (kJ/kg) vid en temperaturdifferens av en kelvin (K) eller grad Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ).

## 4.4 Värmeledningsförmåga

Ett materials värmeledningsförmåga är mängden värme som passerar på en tidsenhet genom en areaenhet av ett material, när temperaturskillnaden mellan materialets båda sidor är en enhet. Värmeledningsförmågan betecknas  $\lambda$  och mäts i SI-enheten  $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ .



## 5 Värmeutbytet från PG1 och PG2 i nuvarande system

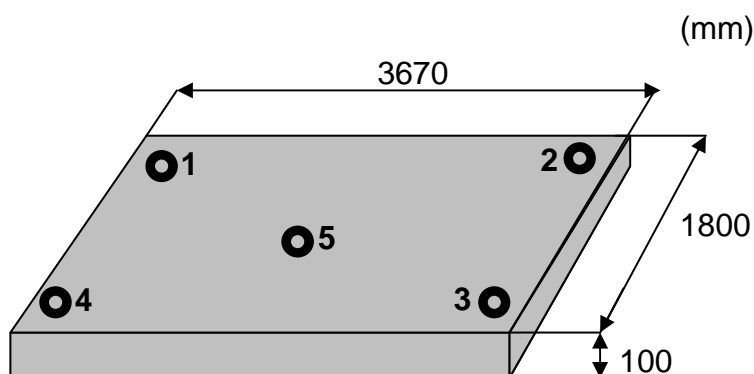
### 5.1 Konvektivt värmeutbyte

#### 5.1.1 Pressgrupp 2

I denna pressgrupp pågår minst två stycken avsvalningsprocesser då båda pressarna är produktiva. Vid avsvalnigen ändras temperaturen med tiden, det vill säga att det råder en instationär värmeöverföring mellan formen och omgivande luft. Värmeförlusterna till omgivningen sker då det inte finns något forcerat flöde genom naturlig konvektion. Luften absorberar energi från formen och stiger uppåt med hjälp av stigningskrafter som uppkommer genom densitetsskillnader mellan kall och varm luft. Formen utstrålar också värme till omgivande material (stolar, bord, operatörer etc.), genom strålning.

#### 5.1.2 Beräkningar

För att genomföra beräkningar på värmeutbytet krävs en del indata, som mättes upp vid pressgruppens ena press. Temperaturen uppmättes med lasertermometer i fem punkter på formens yta vid öppningstillfället och efter 60 min (se figur 5-1). De uppmätta temperaturerna i de fem punkterna i figur 5-1 finns redovisade i tabell 5-1.



Figur 5-1: Ytan som avsvagnar vid varje avsvalningsprocess.

Punkt	Tid (0 min)	Tid (60 min)
1	139,7	69,2
2	140,7	68,1
3	141,2	68,2
4	140,8	67,1
5	147,2	70,5

Tabell 5-1: Uppmätta temperaturer i de fem punkterna på formens yta.

Medeltemperaturen på formens yta blir således:

$$T(0) = 141,92^\circ\text{C}$$

$$T(60) = 68,62^\circ\text{C}$$

Ytan, A, som är i kontakt med omgivande luft:

$$A = \text{ovansida} + \text{undersida} + \text{formsidorna} = (2 \times 3,67 \times 1,8) + (2 \times 0,1 \times 3,67) + (2 \times 0,1 \times 1,8) = 15,4 \text{ m}^2$$

Volymen, V, på formbordet:

$$V = \text{formlängd} \times \text{formbredd} \times \text{formtjocklek} = 3,67 \times 1,8 \times 0,065 = 0,43 \text{ m}^3$$

Karakteristiska längden, L:

$$L = \frac{V}{A} = \frac{0,43}{15,4} = 0,028 \text{ m}$$

Materialet som formen är tillverkat av antas vara av låglegerat stål med låg nedsmutsningsgrad.

#### **Materialdata:**

$$\lambda = \text{värmekonduktivitet} = 45 - 50 \frac{W}{mK}$$

$$\alpha = \text{värmeövergångskoefficient} = 2 - 10 \frac{W}{m^2 K}$$

$$\alpha_{\text{Medel}} = \frac{\alpha_{\text{Hög}} + \alpha_{\text{Låg}}}{2} = \frac{2 + 10}{2} = 6 \frac{W}{m^2 K}$$

$$Cp = \text{värmekapacitet} = 0,46 \frac{kJ}{kg \times K}$$

Värmeövergångskoefficientens värde kan man beräkna med hjälp av Prandtl, Grashofs och Nusselt, men värdena hamnar i detta intervall enligt Daniel Eriksson.<sup>7</sup> Variationen beror på om värmeutbytet sker på ovan- (hög värde) eller undersidan (låg värde) av formen.

$$\rho = \text{densitet} = 7840 \frac{kg}{m^3} \Rightarrow m = \text{massan} = V \times \rho \approx 3400kg$$

För att använda sig av termodynamikens första lag, som lyder:

***Bortförd energi = ändringen av kroppens inre energi – tillfört arbete***

---

<sup>7</sup> Samtal med Daniel Eriksson, Avd. för värmeöverföring, Lunds Tekniska Högskola

måste man försäkra sig om att kroppens temperatur är likformig i hela kroppen. Detta görs genom att kontrollera att BIOT-talet  $< 0,1$ . (Tillfört arbete (ånga) vid pressgruppen är noll vid avsvälningen).

$$Bi = \frac{\alpha \times L}{\lambda} = \frac{6 \times 0,028}{45} = 0,0037 < 0,1$$

Termodynamikens första lag ger med dessa värden:

$$Q = m \times C_p \times (T_0 - T_{60}) = 3400 \times 0,46 \times (141,92 - 68,62) = 114,65 MJ \approx 32 kWh$$

Cirka två avsvälningsprocesser är igång samtidigt, vilket ger 64 kWh, som kyls bort med omgivande luft under en processtimme. Om man då har 5 771,5 processtimmar under ett år och antar 5000 avsvälningsprocesser under ett år fås totalt:

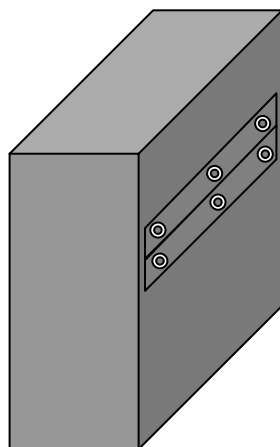
$$\text{Antal avsvälningar} \times Q = 5000 \times 64 \approx 320 MWh$$

Det bör dock påpekas att inga energibesparingar kan göras, då ingen energi tillförs denna process.

### 5.1.3 Pressgrupp 1

Värmeutbytet i denna grupp är stationärt, då konstant temperatur uppnås genom tillförsel av ånga. Det största värmeutbytet sker mellan pressytor och omgivande luft. Givetvis finns värmeutbyte mellan pressram och omgivande luft, men med tanke på hur det nya systemet skall se ut, är dessa ytor inte nödvändiga att utföra beräkningar på.

Temperaturen mättes upp i sex punkter på formens kant, enligt figur 5-2.



*Figur 5-2: Mätpunkterna på formens kant.*

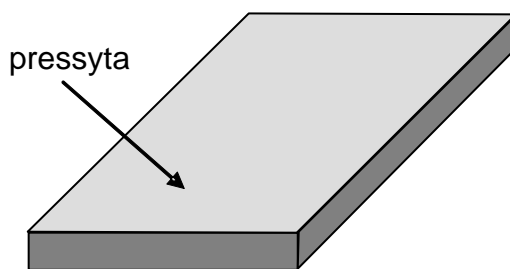
Det visade sig att det fanns en temperaturdifferens mellan dessa mätpunkter. En medeltemperatur för formens kanter har därför beräknats med hjälp av mätpunkterna. Enligt Bengt Lundström är temperaturen i pressytan 5-6°C högre än vad den är ute i

kanterna.<sup>8</sup> Arean på formens kant är också uppmätt för varje press. Resultaten finns tabulerade i tabell 5-2.

Press nr.	Grind	Medeltemp. Kant. (°C)	Area kant (m <sup>2</sup> )
7	Ja	139,8	1,17
19	Nej	133	0,72
8	Nej	118	4,20
2	Nej	137	4,50
3	Nej	149,4	2,40
4	Nej	147,4	4,20
1	Nej	149,7	4,56
15	Nej	145,7	2,97
16	Nej	134,1	2,85
11	Nej	144,8	4,50
10	Nej	135,4	4,50
20	Nej	144,8	2,80
21	Nej	143,4	2,80
17	Ja	142,7	3,63
18	Ja	141,7	3,60
12	Ja	140,8	1,32
5	Ja	145,7	1,32
6	Ja	150,2	1,32
<b>Medelvärde</b>		<b>141,3</b>	<b>2,73</b>

Tabell 5-2: Medeltemperaturen och areorna på formkanten.

Pressytans area (se figur 5-3) varierar mycket så en kvalificerad uppskattning av medelarean gjordes med hjälp av operatörerna.



Figur 5-3: Pressytan i en halv form

En yta har i genomsnitt en area ( $A_{\text{pressyta}}$ ) som är 2 m<sup>2</sup>. Med två formhalvor blir den totala genomsnittliga värmeöverförande pressytan 4 m<sup>2</sup> vid öppen press. Pressarna är öppna ca 28 % av processtiden, enligt en studie gjord av Johan Ågehäll.<sup>9</sup>

<sup>8</sup> Samtal med Bengt Lundström, arbetsledare på Metso Minerals

<sup>9</sup> Utredning av energi- och materialflöden, Johan Ågehäll, Examensarbete 990520, Avd. för Kemisk Apparatteknik, Lunds tekniska högskola

### 5.1.4 Beräkningar PG1

Värmeövergångstalet ( $\alpha$ ) kan beräknas på samma sätt som i tidigare.

$$\alpha_H = 6 \frac{W}{m^2 K}$$

$$\alpha_V = 5 \frac{W}{m^2 K}$$

Temperaturen ( $T_{L1}$ ) mellan pressytorna mättes upp till 40,8°C i press 8.

Temperaturen ( $T_{L2}$ ) är uppmätt 1m från pressen och uppgick till 25,6°C.

$$\text{Medeltemperatur}(T_F) = \frac{T_{L1} + T_{L2}}{2} = 33,2^\circ C$$

Temperaturen ( $T_K$ ) är i genomsnitt 141,6°C

Temperaturen ( $T_P$ ) blir enligt Bengt Lundström, arbetsledare på

Metso: 141,6 + 6 = 147,6°C

Arean för pressytan ( $A_P$ ) är i genomsnitt 4 m<sup>2</sup>

Arean för kanterna ( $A_K$ ) är i genomsnitt 2,73 m<sup>2</sup>

$$\text{Värmeutbytet } Q = A \times \alpha \times (T - T_{\text{omgivning}})$$

Öppen press:

$$Q_O = A_P \times \alpha_H \times (T_P - T_F) + A_K \times \alpha_V \times (T_K - T_{L2}) = 5,92 \text{ kW}$$

Stängd press:

$$Q_S = A_K \times \alpha_V \times (T_K - T_{L2}) = 1,58 \text{ kW}$$

Totala energiutbytet mellan formar och omgivning under 1 timme:

$$W = (Q_O \times \text{procent}_{\text{öppen}} + Q_S) \times \text{tid} \times \text{antalpressar} = (5,92 \times 0,28 + 1,58) \times 1 \times 19 = 61,51 \text{ kWh}$$

För att få det totala värmeflödet per press under 1 år, krävs en definition av antalet timmar som energi tillförs pressarna. På Metso anses kostnaden bli lägre om man inte stänger ner energitillförseln till pressarna under helger och helgdagar. Pressytorna står då emellertid i pressläge. Under två sommarveckor stängs dock energitillförseln ner då underhåll utförs.

$$S = \text{antaltimmar} / \text{år} = \text{veckor} \times \text{dagar} \times \text{timmar} = (52 - 2) \times 7 \times 24 = 8400 \text{ tim} / \text{år}$$

$$Z = \text{processtid} / \text{år} = 5771,5 \text{ tim} / \text{år}$$

$$\frac{W}{\text{År}} = S \times Q_S + (\text{procent}_{\text{öppen}} \times Z) \times Q_{\dot{O}} = 22,84 \text{ MWh} / \text{år och press}$$

För pressgrupp 1 blir det totala energiutbytet:

$$\frac{W}{\text{år}} \times \text{antalpressar} = 22,84 \times 19 = 434 \text{ MWh} / \text{år}$$

## 5.2 Värmeutbyte genom Strålning

### 5.2.1 Pressgrupp 2

För att mäta strålningsvärmen från pressarna i pressgrupp 2 mättes på samma sätt som tidigare temperaturen i fem punkter på pressytan. Temperaturerna mättes upp i ett intervall av 5 minuter. De resultat som uppmättes redovisas i tabellen nedan (tabell 5-3).

Denna typ av energi värmer inte luften, vilken består av syre och kväve. Däremot sker en uppvärmning av de ytor som strålarna träffar. Temperaturdifferensen mellan dessa ytor bestämmer storleken på värmeutbytet.

Mätningar av temperatur har därför gjorts på vissa ytor i processhallen såsom t.ex. pressramar, tak och avfallsbingar.

### 5.2.2 Beräkningar PG2

$$T_0 = \text{Genomsnittstemperatur} = 29,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\sigma = \text{Stefan-Boltmann's konstant} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W} / \text{m}^2 \text{ K}^4$$

$$E_B = \text{Totala emitterade strålningsenergin från en svartkropp}$$

$$\varepsilon = \text{Emissivitet}$$

Emissiviteten för stål är  $\varepsilon_1 = 0,7$  och för en svartkropp  $\varepsilon_2 = 1$ .

För att beräkna strålningsvärmen användes sedan följande formel:

$$\dot{Q}_1 = A_1 \frac{E_{B,1} - E_{B,2}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1}$$

Punkt	T(min)	0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
1		140	138	132	126	122	119	116	112	111	108	104	104
2		141	136	131	127	123	121	117	113	111	108	105	104
3		139	138	132	128	125	122	118	116	113	109	107	105
4		139	138	133	128	124	121	118	115	112	108	106	104
5		147	145	141	138	137	133	130	127	126	124	121	120
<b>MedelT.</b>		<b>141,2</b>	<b>139</b>	<b>133,8</b>	<b>129,4</b>	<b>126,2</b>	<b>123,2</b>	<b>119,8</b>	<b>116,6</b>	<b>114,6</b>	<b>111,4</b>	<b>108,6</b>	<b>107,4</b>
<b>Q (kW)</b>		<b>5,53</b>	<b>5,37</b>	<b>4,99</b>	<b>4,69</b>	<b>4,47</b>	<b>4,27</b>	<b>4,05</b>	<b>3,85</b>	<b>3,73</b>	<b>3,54</b>	<b>3,37</b>	<b>3,30</b>

Tabell 5-3: Temperatursänkning och strålningsenergi (per yta) i pressgrupp 2 under 60 minuter

De beräknade resultaten visas nedan i diagramform, se diagram 5-1 och 5-2.

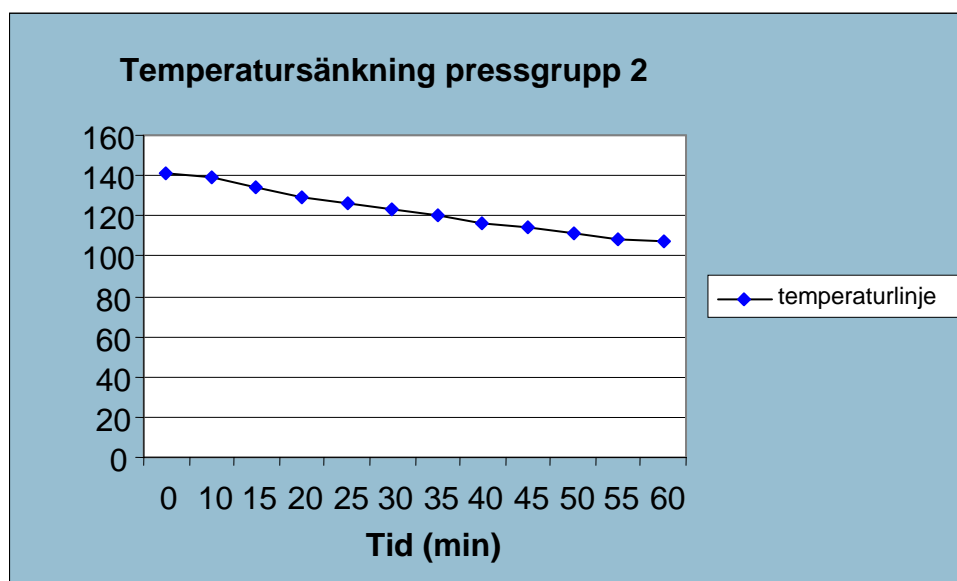


Diagram 5-1: Temperatursänkning i pressgrupp 2.

Mätningarna gjordes på form S-flex 3,2 hål, vilken är den största formen som används idag.

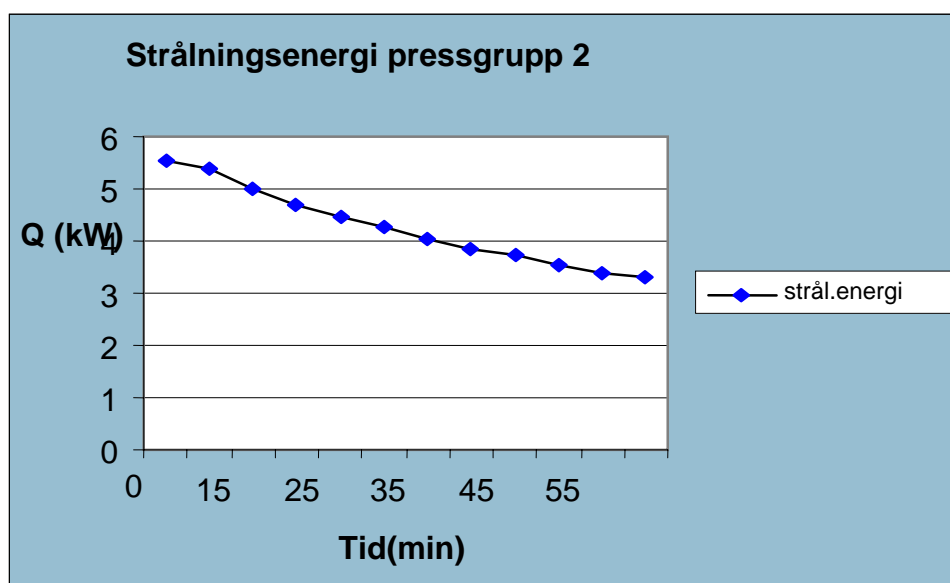


Diagram 5-2: Strålningen från pressgrupp 2.

För att kunna beräkna energiläcketaget per år måste vissa förenklingar göras. Vi antar att vi får rimliga värden på värmeflödet om vi använder ett medelvärde.

$$\dot{Q}_{medel} = 4,26 \text{ kW}$$

Processtiden och antalet svalningsprocesser följer samma resonemang som för den konvektiva värmen.

$$\frac{W}{\text{År}} = \dot{Q}_{medel} \times \text{antalet svalningsprocesser} = 4,26 \times 5000 = 21,32 \text{ MWh / år och yta}$$

Det finns en ovansida och en undersida på formen som strålar, så totala energin beräknas till:

$$\left(\frac{W}{\text{År}}\right)_{TOT} = \frac{W}{\text{År}} \times \text{antal pressar} \times \text{antal ytor} = 21,32 \times 2 \times 2 = 85,3 \text{ MWh / år}$$

### 5.2.3 Pressgrupp 1

I beräkningarna av strålning från pressgrupp 1 har vi valt att inte ta med dem pressar som har grindar. Detta gör vi därför att vi antar att strålningen inte tränger igenom det plexiglas som grindarna är uppbyggda av. Den beräknade strålningen kommer från kanterna av pressarna, då strålningsutbytet är lika med noll mellan pressytorna vid öppen press.

Beräkningarna är gjorda med samma data som för pressgrupp 2, det enda som skiljer är genomsnittstemperaturen:

$$T_0 = 33 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Press nr	T(K)	A(m <sup>2</sup> )	Q (W)
19	406,15	0,72	526,5
8	391,15	4,2	2 437,73
2	410,15	4,5	3 485,3
3	422,55	2,4	2 199,9
4	420,55	4,2	3 750,00
1	422,85	4,56	4 196,22
15	418,85	2,97	2 592,48
16	407,25	2,85	2 117,79
11	417,95	4,5	3 880,91
10	408,55	4,5	3 406,91
20	417,95	2,8	2 414,78
21	416,55	2,8	2 367,58
<b>Q<sub>tot</sub> (W)</b>			<b>33 376,1</b>

Tabell 5-4: Strålningsenergi från kanterna av pressarna.



Per år motsvarar detta ett energiläckage:

$$S = \text{antaltimmar} / \text{år} = \text{veckor} \times \text{dagar} \times \text{timmar} = (52 - 2) \times 7 \times 24 = 8400 \text{tim} / \text{år}$$

$$\frac{W}{\text{År}} = Q_{\text{tot}} \times S = 33376,1 \times 8400 = 280,36 \text{MWh} / \text{År}$$

De pressar som har grind förlorar, med vårt antagande, bara strålningsenergi från formkanterna då pressarna är öppna.

Press nr	T(K)	A(m <sup>2</sup> )	Q(W)
7	412,95	1,17	942,44
17	415,85	3,63	3 042,90
18	414,85	3,60	2 976,60
12	413,95	1,32	1 078,07
5	418,85	1,32	1 152,15
6	423,35	1,32	1 222,65
<b>Q<sub>tot</sub> (W)</b>			<b>10415</b>

Tabell 5-5: Strålningsenergi från kanterna av pressarna.

$$\frac{W}{\text{År}} = Z \times \text{andel}_{\text{öppen}} \times Q_{\text{tot}} = 5771,5 \times 0,28 \times 10415 = 16,83 \text{MWh} / \text{år}$$

Strålningsutbytet från pressyta vid öppning av press förekommer på 10 av pressarna i pressgrupp 1, då formen matas ut på ett bord vid lossning av produkt.

Temperatur på pressyta och areor *se konvektiva beräkningar*.

$$\dot{Q}_1 = A_1 \frac{E_{B,1} - E_{B,2}}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \Rightarrow 3,55 \text{ kW}$$

Vi antar att den totala tiden som formen ligger utanför pressen motsvaras av den totala tiden som en press är öppen under ett år.

$$\frac{W}{\text{År}} = 0,28 \times 5771,5 \times 3,55 = 5,74 \text{MWh} / \text{år och press}$$

Totalt läckage beräknas till 57,40 MWh / år

### 5.3 Sammanställning av värmeutbytet

De energiförluster som vi har beräknat är endast sådana som går till luften och omgivande materia i presshallen. Vi har inte beaktat energiförluster i form av ångläckage, flashning etc.

Energiförlust	pressgrupp 1	pressgrupp 2	
konvektion	434	320	
strålning	354,59	85,3	Total värmeutbyte
Summa (MWh/år)	788,59	405,3	1194

*Tabell 5-6: Sammanställning av värmeförluster från formar i pressgrupp 1 och 2.*

För att få en uppfattning om storleken på det totala värmeutbytet, så skulle denna värmemängd vara tillräcklig för att värma upp ca 75 stycken normala hus (150 m<sup>2</sup>) under ett år.<sup>10</sup>

---

<sup>10</sup> [www.stem.se](http://www.stem.se), Energimyndighetens hemsida, 050920

## 6 Förslag på förbättringar av nuvarande system

Med nutidsbeskrivningen som bakgrund har vi funderat ut ett tänkbart system med målsättning att uppnå ett bättre arbetsklimat med lägre energiförbrukning. Med dagens system kyls den konvektiva värmen från pressarna med den uppvärmda tilluften. Sedan låter man denna värmeväxlas med tilluften för att återvinna en del av den nedkylda värmen. I energihänseende är detta inte bra.

Ett annat problem är att ångan i formarna övergår till kondensat snabbare då formens ytor är i kontakt med luft som kyls med tilluften. Det betyder att om man kan höja temperaturen på den luft som formens ytor kommer i kontakt med, behöver man inte tillföra ny energi lika ofta som man gör idag, för ångan kommer inte att kondensera lika snabbt.

Vulkröken som operatörerna exponeras för släpps ut vid tidigare beskrivna moment. För att reducera exponeringen kommer vi att försöka skapa ett system som leder bort en del av vulkröken vid öppningen av pressarna.

Om man bygger kåpor över de ytor som annars kommer i kontakt med nedkyld luft, skulle detta innebära att man kan åstadkomma förbättringar i jämförelse med dagens system, se bild 7-1 sidan 30 och bild 7-2 sidan 44. För att försäkra sig om att vulkröken kanaliseras ut från processhallen när pressarna öppnas, skapar man ett forcerat flöde med hjälp av fläktar vid öppningen av pressarna. Detta flöde kommer att kyla formen, och även produktens yta något. Teoretiskt skulle detta innebära att vulkningsprocessen på produktens yta kommer att avstanna fortare än idag. Under tiden som produkten vulkas, kommer luften att bli varmare under kåpan. Hur varmt och vilka energibesparingar som detta system skulle innebära kommer vi att beräkna.

Med detta system förhindrar man stora delar av den värme och vulkrök, som man idag evakuerar med stora volymer frånluft och tilluft, att sprida sig ut i processhallen. Man skulle kunna reducera volymerna frånluft från taket och därmed också tilluften in i processhallen.

## 7 Ventilationssimuleringar

### 7.1 Tryckfall/förluster i ventilationskanaler

Kunskaper om strömningsmönster och tryckförluster i ventilationssystemets komponenter är viktiga vid dimensionering av ventilationsanläggningar. Felaktig uppskattning av tryckförlusterna kan leda till injusteringsproblem och inkorrekta val av aggregatstorlek.<sup>11</sup>

Den totala tryckförlusten i ett kanalsystem utgörs av tryckförluster och lokala förluster. Vid mätningar av tryckförluster i ventilationskomponenter kan inte dessa skiljas åt, utan det erhållna värdet blir den totala tryckförlusten:

$$\Delta p_t = \Delta p_f + p_d$$

$\Delta p_t$  = Den totala tryckförlusten i komponenten [Pa]

$\Delta p_f$  = Friktionsförlusten i komponenten [Pa]

$\Delta p_d$  = Den dynamiska tryckförlusten i komponenten [Pa]

Förlusterna orsakas då fluidens mekaniska energi övergår till värme. Friktionsförluster förekommer i hela kanalsystemet och uppstår på grund av fluidens viskositet, medan dynamiska förluster uppstår då luftflödet störs av ändringar i flödets riktning eller area.

#### 7.1.1 Friktionsförluster

Man har funnit att den del av tryckförlusterna som härrör från friktion i en rak rörledning med cirkulärt tvärsnitt kan uttryckas som:

$$\Delta p_f = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2 \cdot \rho}{2}$$

eller

$$\Delta p_f = \lambda \cdot \frac{8}{\pi^2} \frac{l \cdot Q^2 \cdot \rho}{d^5}$$

$\lambda$  = Moodys friktionsfaktor [-]

$l$  = Rörets längd [m]

$d$  = Rörets diameter [m]

---

<sup>11</sup> Tryckfallsutredning av T-rör, A. Kocovic, C. Fält, Examensarbete, Avd. för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2004

$v$  = Luftens hastighet [m/s]  
 $\rho$  = Luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]  
 $Q$  = Volymflöde [m<sup>3</sup>/s]

Ekvationen ovan visar att friktionsförlusterna är mycket känsliga för förändringar i storlek av kanalens tvärsnittsarea, då den är omvänt proportionell med kanaldiametern med exponent fem. Luftens viskositet orsakar att fluidpartiklar intill kanalväggen stagnerar. Med ökande avstånd från väggen blir fluidpartiklarna successivt mindre påverkade av ytan så hastigheten kan öka till ett maximum. Detta sker i regel vid kanalens centrumlinje.<sup>12</sup>

## 7.2 Metod

För att göra nödvändiga ventilationssimuleringar har vi använt oss av ett simuleringsprogram som heter PFS, för programkod se *bilaga 2,3*. Detta program ger bl.a. information om massflöde, volymflöde, temperaturer och hastigheter i ventilationskanalerna. Simuleringen som är gjord bygger på dagens ventilation. Indata är hämtad från ritningar från Metso som vi har fått ta del av. Vissa antagande har gjorts angående tryckfall över filter och dylikt.

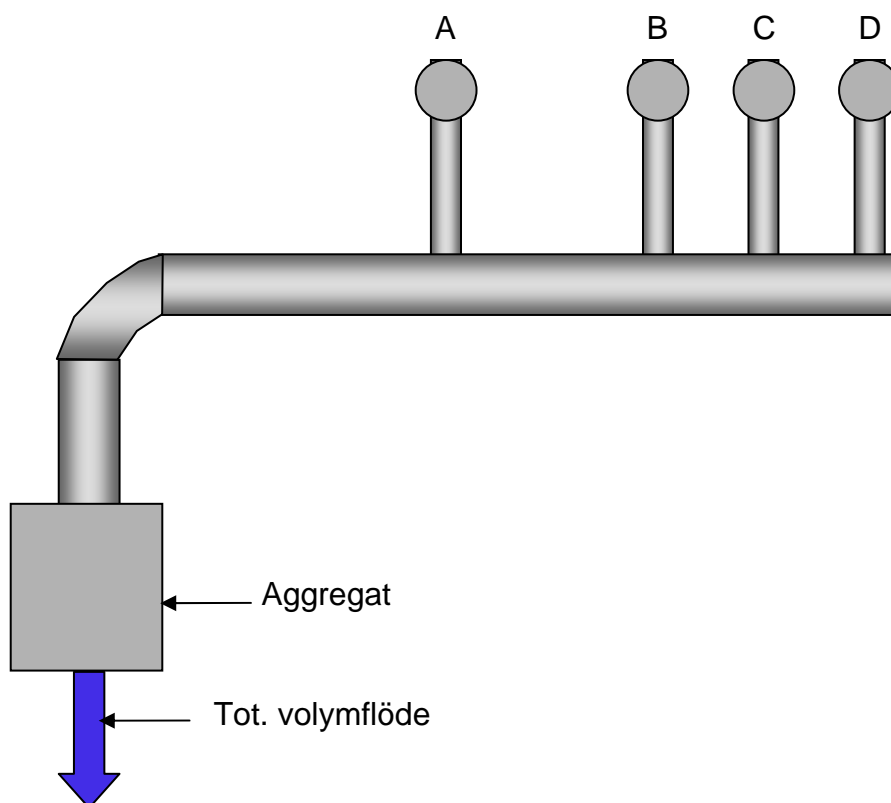
## 7.3 Pressgrupp 1

### 7.3.1 Tillvägagångssätt

Vi började med att simulera dagens system, för att få en uppfattning om volymerna som ventileras ut från vardera ventilationstrumman. Figur 7-1 visar hur ventilationskanalerna ser ut på taket. För att se hur påbyggnaden av det nya systemet kommer att påverka flödena, har vi simulerat systemet med alla pressar i pressläge och slumpmässigt öppna pressar. Det aggregat som ventilerar pressgrupp 1, är ett hel- och halvfartsaggregat. Vid helfart jobbar aggregatet mot ett undertryck på 300 Pa och vid halvfart 150 Pa.

---

<sup>12</sup> Energiteknik, Henrik Alvarez, Studentlitteratur 2003



Figur 7-1: Schematisk bild över hur ventilationskanalen ser ut på taket

### 7.3.2 Resultat nuvarande system

Helfart (300 Pa)

Trumma	A	B	C	D	Huvudkanal
Diameter (mm)	800	800	800	800	1500/1250
Volymflöde (m <sup>3</sup> /s)	7,34	6,16	6,09	5,79	25,38

Tabell 7-1: Resultat från simulering av dagens ventilationssystem.

Halvfart (150 Pa)

Trumma	A	B	C	D	Huvudkanal
Diameter (mm)	800	800	800	800	1500/1250
Volymflöde (m <sup>3</sup> /s)	5,15	4,32	4,25	4,05	17,77

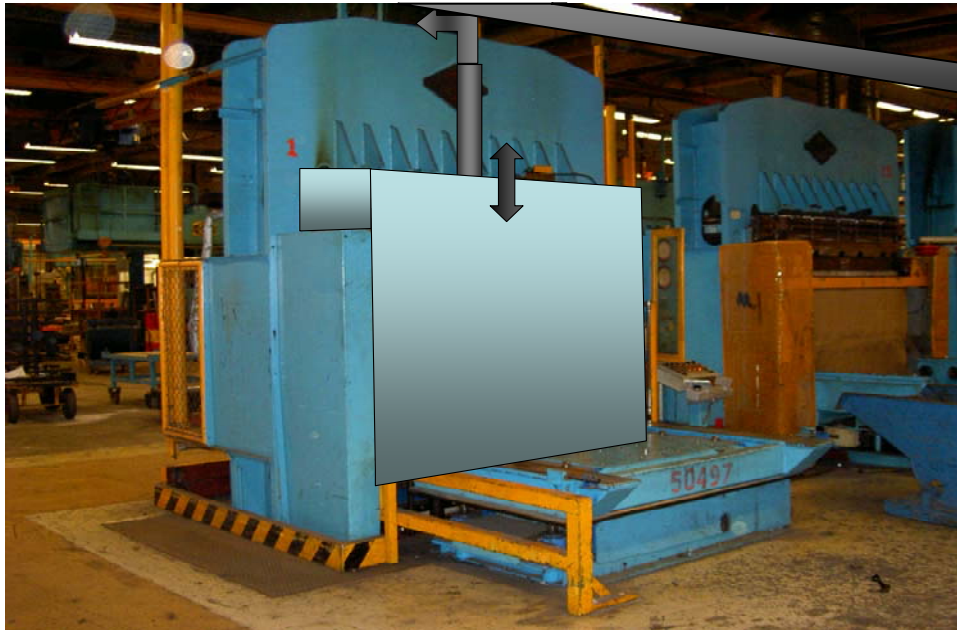
Tabell 7-2: Resultat från simulering av dagens ventilationssystem.

### 7.3.3 Nya systemets utförande

Vårt system bygger på att man skall använda sig av dagens ventilationstrummor, på så sätt att man kopplar på kanaler. Dessa kanaler skall vara anslutna till kåporna vid

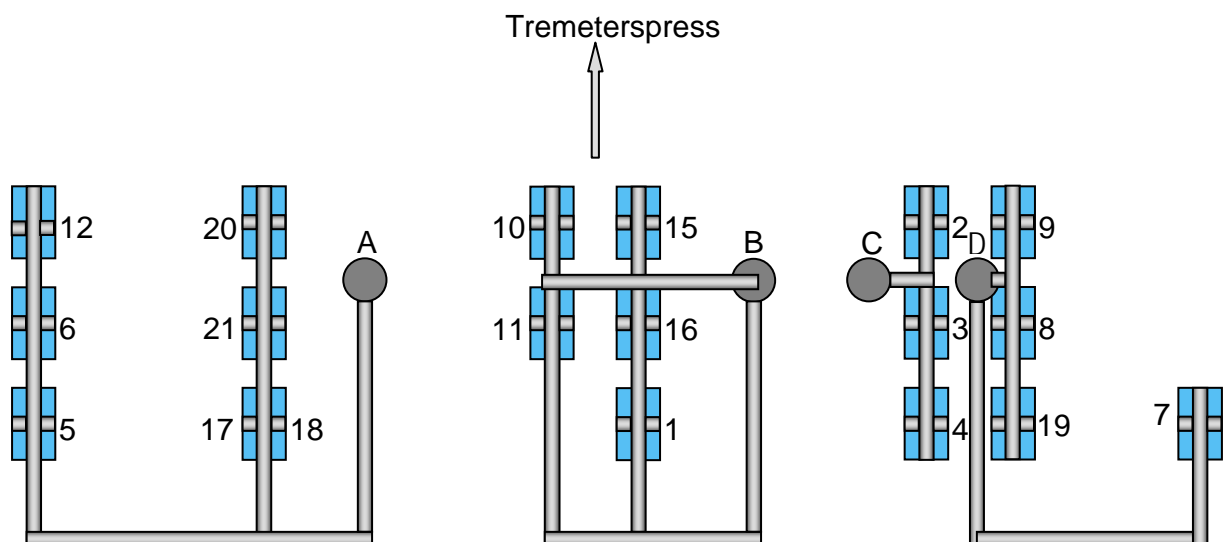
pressarna, enligt bild 7-1 nedan. För att höja temperaturen under kåporna är kanalerna försedda med spjäll. Med spjällen kan flödet ökas när pressarna öppnas.

Påbyggnaden kommer naturligtvis att påverka volymflödena i dagens ventilationssystem, men frågan är om det behövs samma volymflöden med det nya systemet, då mängden värme och vulkrök kommer att minska i processhallen.



*Bild 7-1: Bild över kåpornas anslutningar till nya kanaler.*

Bedömningar gjordes av utrymmet i produktionslokalen för att få plats med det nya kanalsystemet till pressgrupp 1. Hur de nya kanalerna ska dras framgår av figur 7-1.



*Figur 7-1: Möjligt schema över ett kanalsystem fram till trummorna.*

Simuleringen är gjord för 300 Pa och 150 Pa och med rör som har en diameter på 400 och 500 mm. Vi har även testat vad som händer i systemet när man öppnar olika pressar.

Systemet har även körts med och utan isolering, för att se hur mycket temperaturen vid värmeväxlaren påverkas.

Stamkanalen och förgreningen fram till dagens trummor antar vi är isolerade, med värmeövergångskoefficient på 5 W/m<sup>2</sup>K. Kanaler som är oisolerad har värmeövergångskoefficient på 10 W/m<sup>2</sup>K. Simuleringen är utförd med en utetemperatur på 5°C och lufttemperatur vid taknivå på 30°C.

### 7.3.4 Resultat stängda pressar

**Alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 150 Pa (400 mm kanaler).**

E.F = efter förgrening

Otemperatur = oisolerad

Trumma	A	E.F.A	B	E.F.B	C	E.F.C	D	E.F.D	Värmeväxling
<b>Diameter (mm)</b>	800	800	800	800	800	800	800	800	
<b>Vol. flöde (m<sup>3</sup>/s)</b>	3.85	4.54	3,74	3,76	3,75	4,06	3,35	3,86	16,47
<b>Temperatur (°C)</b>		34,3		33,0		32,5		31,9	<b>31,6</b>
<b>Otemperatur (°C)</b>		33,2		31,9		32,1		31,0	<b>29,7</b>

*Tabell 7-3: Resultat då alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 150 Pa (400 mm kanaler).*

Genomsnittliga volymflödet under kåporna är 0,042 m<sup>3</sup>/s

Genomsnittliga temperaturen på luften när den lämnar kåpan är 71,6°C

**Alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 300 Pa (400 mm kanaler).**

Trumma	A	E.F.A	B	E.F.B	C	E.F.C	D	E.F.D	Huvudkanal
<b>Diameter (mm)</b>	800	800	800	800	800	800	800	800	1500/1250
<b>Vol. flöde (m<sup>3</sup>/s)</b>	5.64	7,01	5,12	6,17	5,12	5,72	5,06	5,92	24,86
<b>Temperatur (°C)</b>		34,5		33,4		33,2		32,8	<b>31,6</b>
<b>Otemperatur (°C)</b>		33,4		32,2		32,0		31,2	<b>30,2</b>

*Tabell 7-4: Resultat då alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 300 Pa (400 mm kanaler).*



Genomsnittliga volymflödet under kåporna är 0,070 m<sup>3</sup>/s  
 Genomsnittliga temperaturen på luften när den lämnar kåpan är 59,1°C

**Alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 150 Pa (500 kanaler).**

Trumma	A	E.F.A	B	E.F.B	C	E.F.C	D	E.F.D	Huvudkanal
<b>Diameter (mm)</b>	800	800	800	800	800	800	800	800	1500/1250
<b>Vol. flöde (m<sup>3</sup>/s)</b>	3,85	5,03	3,51	4,32	3,54	4,00	3,49	4,15	17,51
<b>Temperatur (°C)</b>		35,5		34,3		32,7		32,0	<b>31,5</b>
<b>Otemperatur (°C)</b>		34,5		32,9		32,3		31,1	<b>30,7</b>

*Tabell 7-5: Resultat då alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 150 Pa (500 mm kanaler).*

Genomsnittliga volymflödet under kåporna är 0,074 m<sup>3</sup>/s  
 Genomsnittliga temperaturen på luften när den lämnar kåpan är 58,4°C

**Alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 300 Pa (500 kanaler).**

Trumma	A	E.F.A	B	E.F.B	C	E.F.C	D	E.F.D	Huvudkanal
<b>Diameter (mm)</b>	800	800	800	800	800	800	800	800	1500/1250
<b>Vol. flöde (m<sup>3</sup>/s)</b>	5,52	7,05	5,02	6,18	5,07	5,73	5,01	5,96	24,91
<b>Temperatur (°C)</b>		35,4		32,7		32,4		32,1	<b>31,2</b>
<b>Otemperatur (°C)</b>		34,5		32,9		32,3		31,1	<b>30,7</b>

*Tabell 7-6: Resultat då alla pressarna står i pressläge, aggregatet jobbar mot 300 Pa (500 mm kanaler).*

Genomsnittliga volymflödet under kåporna är 0,111 m<sup>3</sup>/s  
 Genomsnittliga temperaturen på luften när den lämnar kåpan är 45,6°C

### 7.3.5 Resultat öppna pressar

För att göra en så verklighetstrogen simulering som möjligt, diskuterade vi möjliga scenarier med Vesa Ikonen. Vi kom då fram till att press 5, 6 och 12 skall kunna öppnas oberoende av övriga systemet, då dessa oftast har vulktider som är kortare än för de övriga pressarna. Simuleringen som gjordes innan diskussionen visar att systemet är instabilt om man öppnar fler än fem pressar utöver press 5, 6 och 12. Instabilitet i detta fall innebär att ventilerad processgas trycks in under närbelägna kåpor och kan i värsta fall komma ut i processhallen. Vi kom fram till att simulering

med fyra pressar som öppnas borde räcka för att kunna göra en möjlig bedömning av systemet.<sup>13</sup>

För att få en överskådlig blick över hur flödena påverkas då pressen är i pressläge respektive öppen, har vi i tabellform och diagramform redovisat flödena för stängd respektive öppen press.

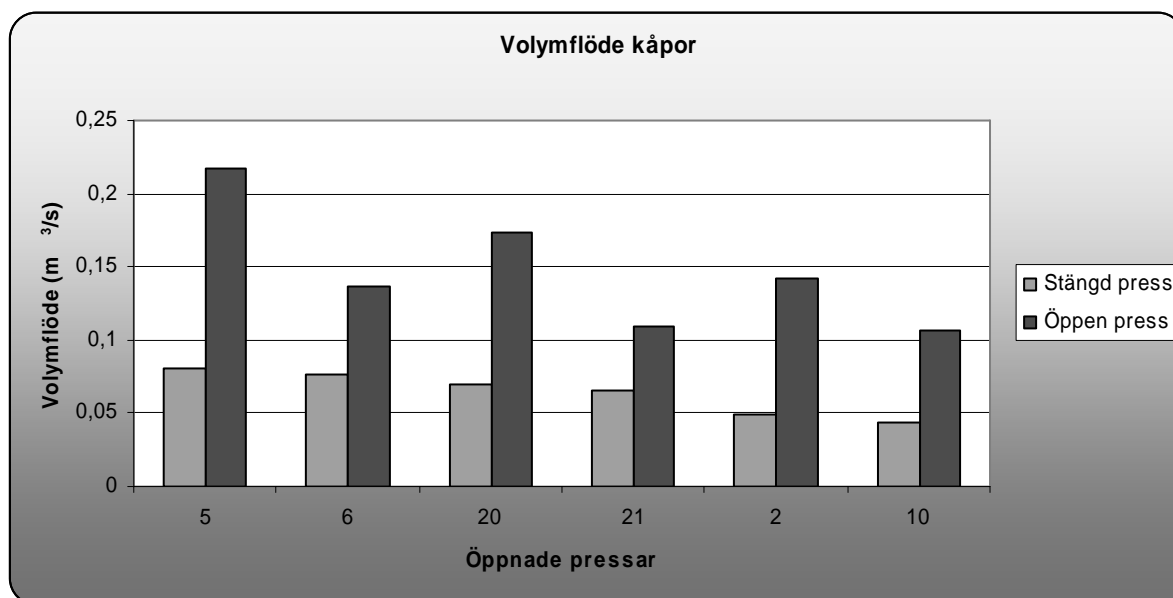
### 7.3.5.1 Simulering med 150 Pa och 400 mm kanaler

**Press 5, 6, 20, 21, 2 och 10 står i öppet läge, de andra står i pressläge.**

**Halvfart 150 Pa**

press	5s	5ö	6s	6ö	20s	20ö	21s	21ö	2s	2ö	10s	10ö
<b>Volym (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,08	0,217	0,076	0,136	0,069	0,174	0,066	0,109	0,049	0,142	0,044	0,107

*Tabell 7-7:* Press 5, 6, 20, 21, 2 och 10 står i öppet läge, de andra står i pressläge.



*Diagram 7-1:* Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 12, 10, 11, 15 och 16 står i öppet läge, de andra står i pressläge**

**Halvfart 150 Pa**

press	5s	5ö	12s	12ö	10s	10ö	11s	11ö	15s	15ö	16s	16ö
<b>Volym (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,08	0,218	0,074	0,127	0,044	0,089	0,044	0,130	0,048	0,081	0,047	0,119

*Tabell 7-8:* Press 5, 12, 10, 11, 15 och 16 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

<sup>13</sup> Samtal med Vesa Ikonen, Anläggningschef på Metso

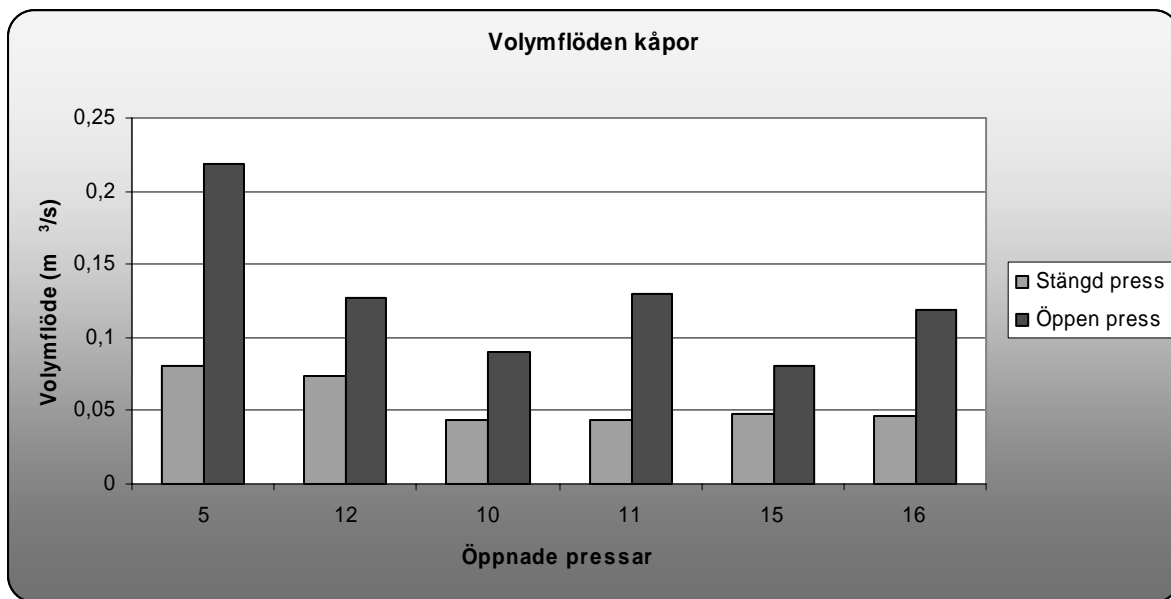


Diagram 7-2: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

Press 5, 12, 7, 8, 19 och 17 står i öppet läge, de andra står i pressläge  
Halvfart 150 Pa

press	5s	5ö	12s	12ö	7s	7ö	8s	8ö	19s	19ö	17s	17ö
Volym (m³/s)	0,08	0,218	0,074	0,126	0,053	0,151	0,048	0,078	0,049	0,113	0,064	0,196

Tabell 7-9: Press 5, 12, 7, 8, 19 och 17 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

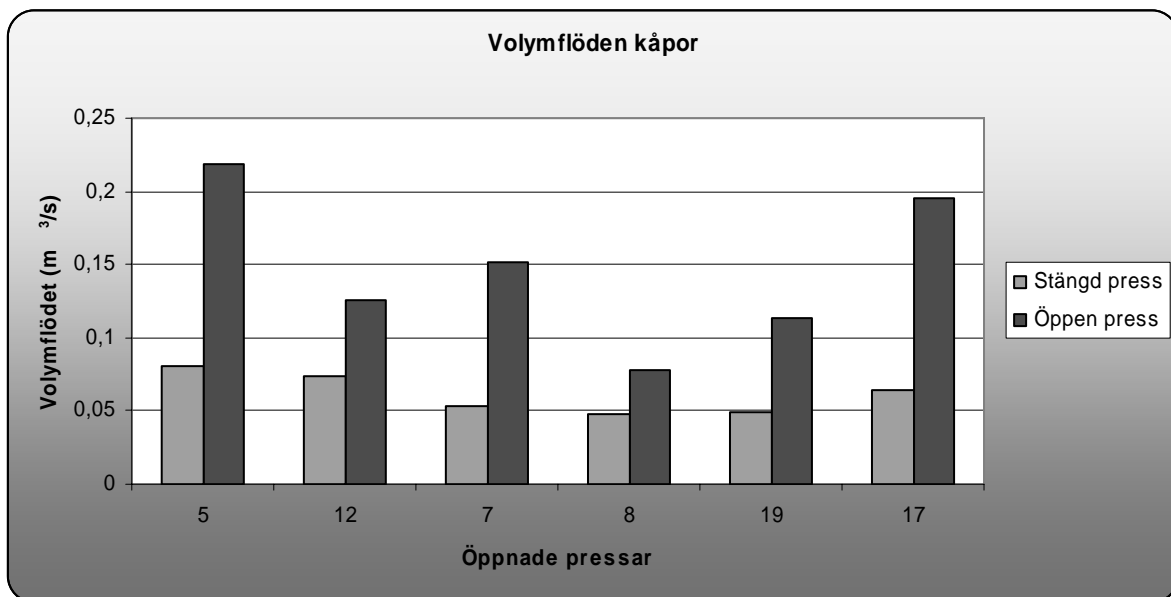


Diagram 7-3: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 12, 7, 8, 4, 3 och 2 står i öppet läge, de andra står i pressläge**  
**Halvfart 150 Pa**

press	5s	5ö	12s	12ö	7s	7ö	8s	8ö	4s	4ö	3s	3ö	2s	2ö
Volym (m <sup>3</sup> /s)	0,08	0,218	0,074	0,127	0,053	0,150	0,048	0,127	0,047	0,065	0,048	0,093	0,049	0,112

Tabell 7-10: Press 5, 12, 7, 8, 4, 3 och 2 står i öppet läge, de andra står i pressläge

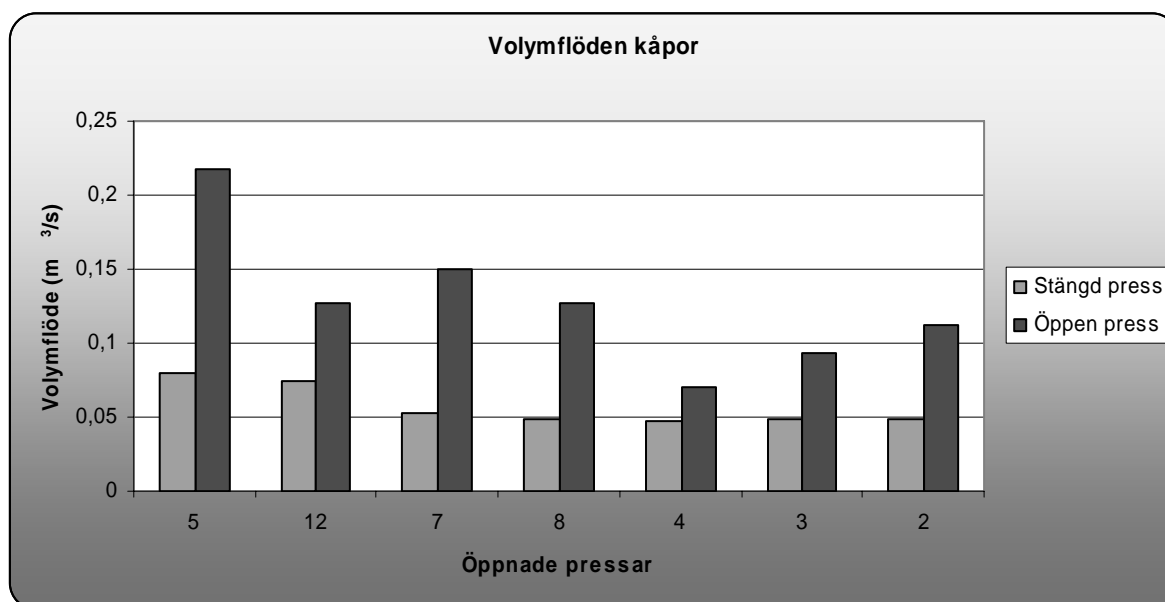


Diagram 7-4: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

Om man simulerar systemet med 150 Pa arbetstryck, kommer man fram till att det är stabilt för många olika kombinationer av 4 stycken öppna pressar plus press 5, 6 och 12. Dock finns det kombinationer då fler pressar öppnas som skapar instabilitet i systemet.

### 7.3.5.2 Simulering med 300 Pa och 400 mm kanaler

För att se skillnaden mellan halvfart och helfart i systemet har vi utfört simuleringen med samma kombinationer.

**Press 5, 6, 20, 21, 2 och 10 står i öppet läge, de andra står i pressläge**  
**Halvfart 300 Pa**

press	5s	5ö	6s	6ö	20s	20ö	21s	21ö	2s	2ö	10s	10ö
Volym (m <sup>3</sup> /s)	0,113	0,31	0,107	0,193	0,093	0,206	0,091	0,140	0,068	0,20	0,082	0,13

Tabell 7-11: Press 5, 6, 20, 21, 2 och 10 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

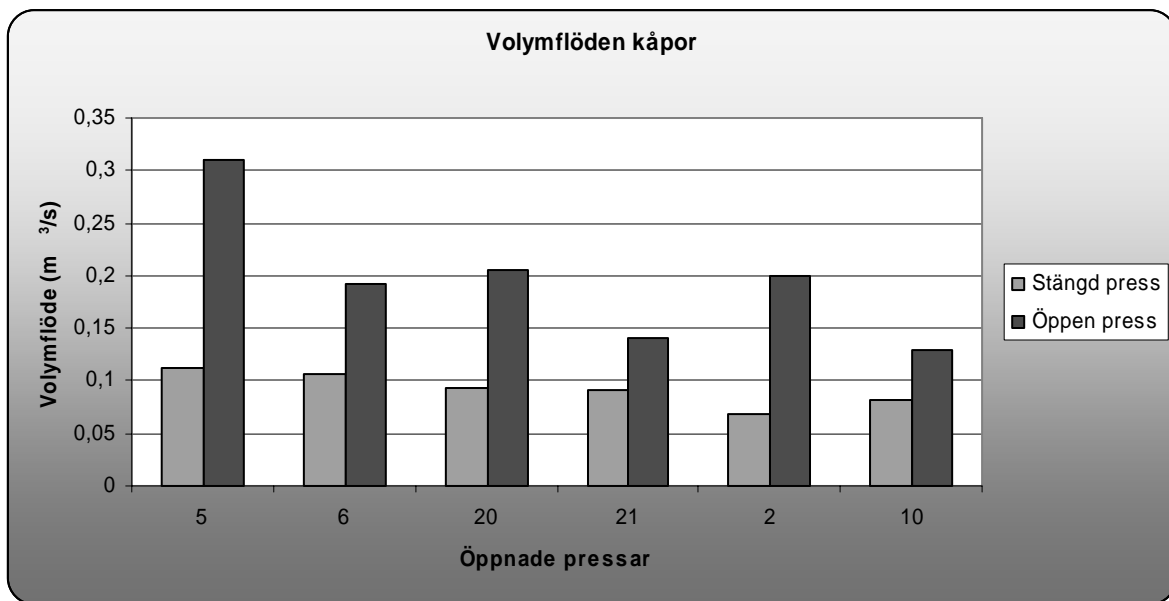


Diagram 7-5: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

Press 5, 12, 10, 11, 15 och 16 står i öppet läge, de andra står i pressläge  
Halvfart 300 Pa

press	5s	5ö	12s	12ö	10s	10ö	11s	11ö	15s	15ö	16s	16ö
Volym (m³/s)	0,113	0,312	0,105	0,181	0,082	0,131	0,083	0,191	0,073	0,121	0,075	0,17

Tabell 7-12: Press 5, 12, 10, 11, 15 och 16 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

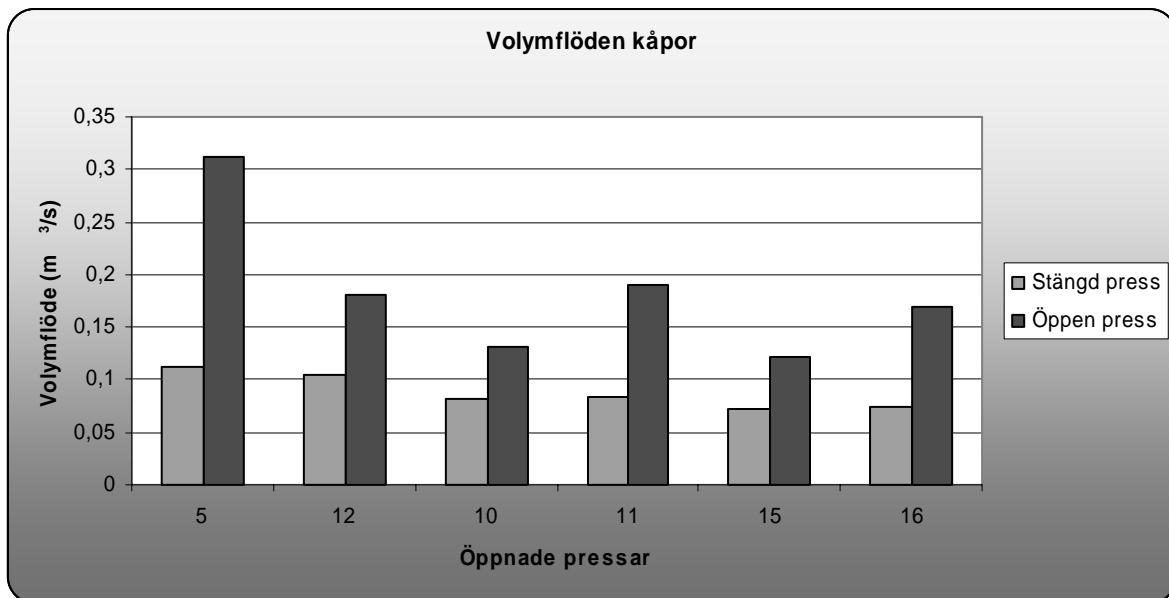


Diagram 7-6: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

Press 5, 12, 17, 19, 8 och 7 står i öppet läge, de andra står i pressläge  
Helfart 300 Pa

press	5s	5ö	12s	12ö	17s	17ö	19s	19ö	8s	8ö	7s	7ö
Volym (m³/s)	0,113	0,312	0,105	0,181	0,098	0,28	0,069	0,166	0,068	0,114	0,075	0,21

Tabell 7-13: Press 5, 12, 17, 19, 8 och 7 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

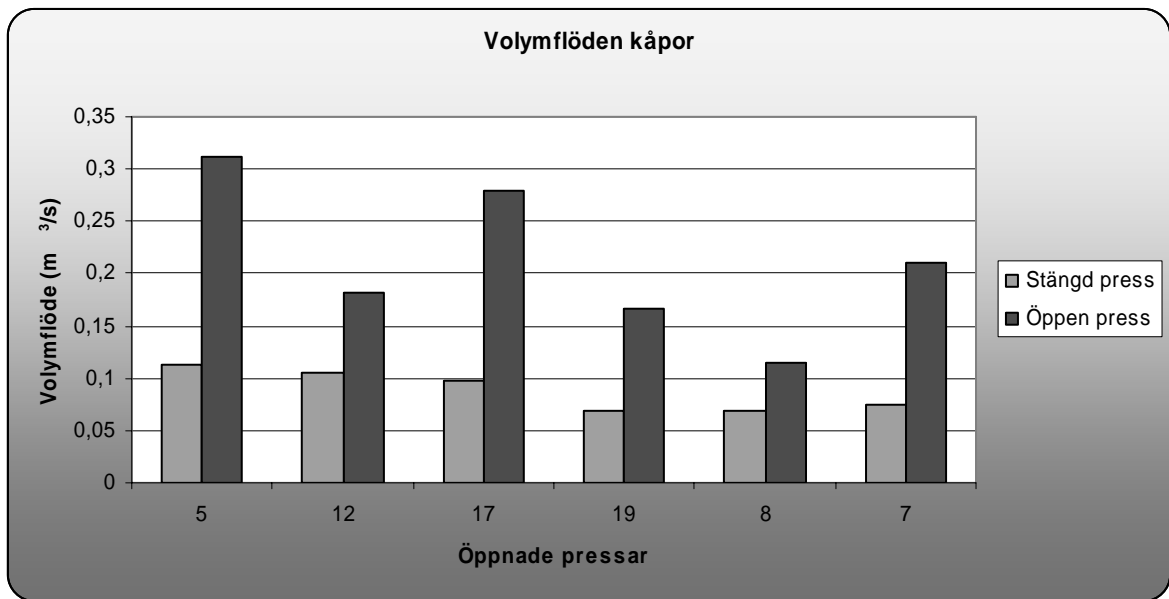


Diagram 7-7: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 12, 7, 8, 4, 3 och 2 står i öppet läge, de andra står i pressläge  
Helfartfart 300 Pa**

press	5s	5ö	12s	12ö	7s	7ö	8s	8ö	4s	4ö	3s	3ö	2s	2ö
Volym (m³/s)	0,113	0,31	0,105	0,189	0,075	0,213	0,068	0,184	0,066	0,099	0,067	0,131	0,068	0,16

Tabell 7-14: Press 5, 12, 7, 8, 4, 3 och 2 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

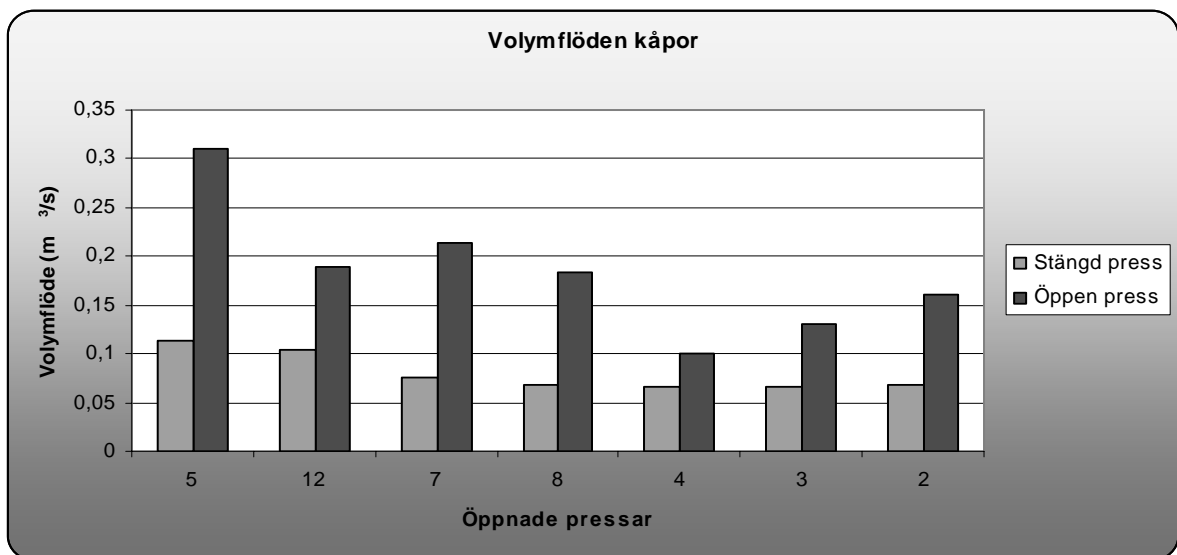


Diagram 7-8: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

För att testa systemets stabilitet ytterligare, kördes en simulering med press 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 17 och 19 öppna. Det visade sig att systemet fortfarande är stabilt, men att det fortfarande är möjligt att göra systemet instabilt om fel kombination av pressar öppnas. Ett exempel är 5, 12, 10, 11, 15, 16, 20, 21. Instabiliteten visar sig genom att luft från press 19, 8 och 7 trycks in under kåpor till press 9.

### 7.3.5.3 Simulering med 150 Pa och 500 mm kanaler

Vi har även bedömt det fullt möjligt att ansluta kåporna till trummorna, med 500 mm ventilationskanaler. Medeltemperaturen på luften när den lämnar kåpan är 62,5°C.

**Press 5, 12, 20, 21, 16 och 15 står i öppet läge, de andra står i pressläge**  
Halvfart 150 Pa

press	5s	5ö	12s	12ö	20s	20ö	21s	21ö	16s	16ö	15s	15ö
Volym (m <sup>3</sup> /s)	0,086	0,25	0,084	0,232	0,073	0,17	0,073	0,167	0,06	0,153	0,06	0,151

Tabell 7-16: Press 5, 12, 20, 21, 16 och 15 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

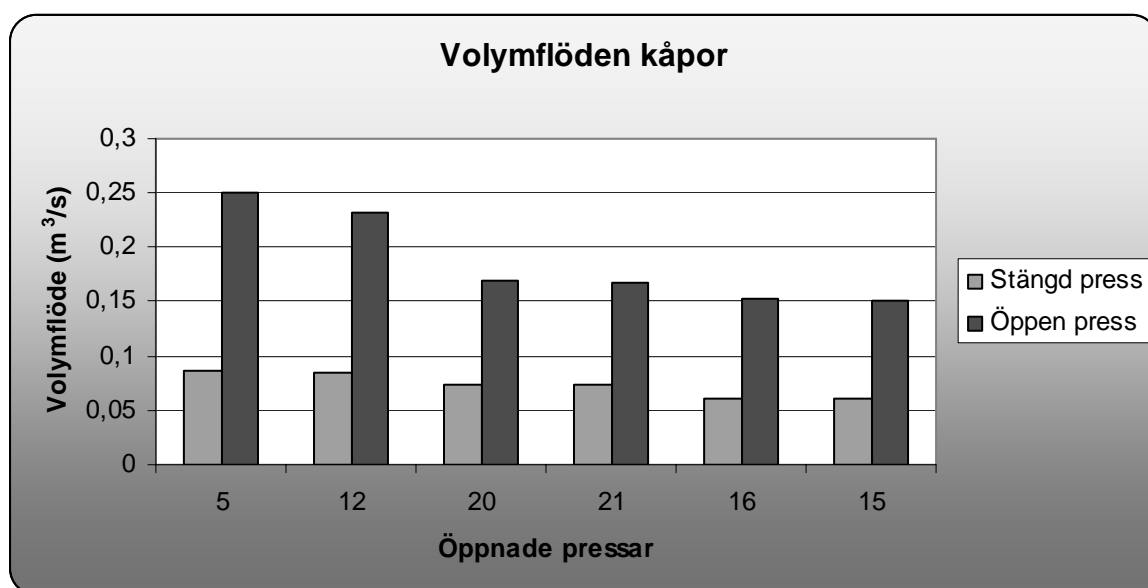


Diagram 7-9: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 12, 10, 11, 2 och 3 står i öppet läge, de andra står i pressläge**  
Halvfart 150 Pa

press	5s	5ö	12s	12ö	10s	10ö	11s	11ö	2s	2ö	3s	3ö
Volym (m <sup>3</sup> /s)	0,086	0,25	0,084	0,232	0,064	0,162	0,064	0,164	0,052	0,136	0,053	0,139

Tabell 7-17: Press 5, 12, 10, 11, 2 och 3 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

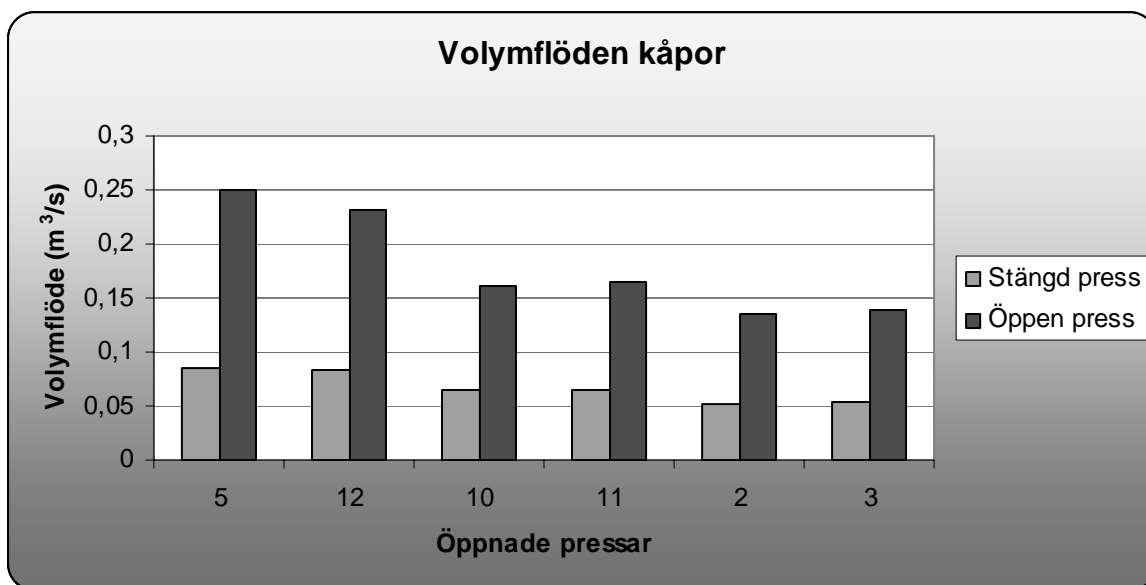


Diagram 7-10: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 6, 12, 18, 15, 1 och 7 står i öppet läge, de andra står i pressläge**  
**Halvfart 150 Pa**

press	6s	6ö	12s	12ö	18s	18ö	15s	15ö	1s	1ö	7s	7ö
Volym (m³/s)	0,084	0,224	0,084	0,228	0,064	0,22	0,064	0,146	0,052	0,172	0,055	0,201

Tabell 7-18: Press 6, 12, 18, 15, 1 och 7 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

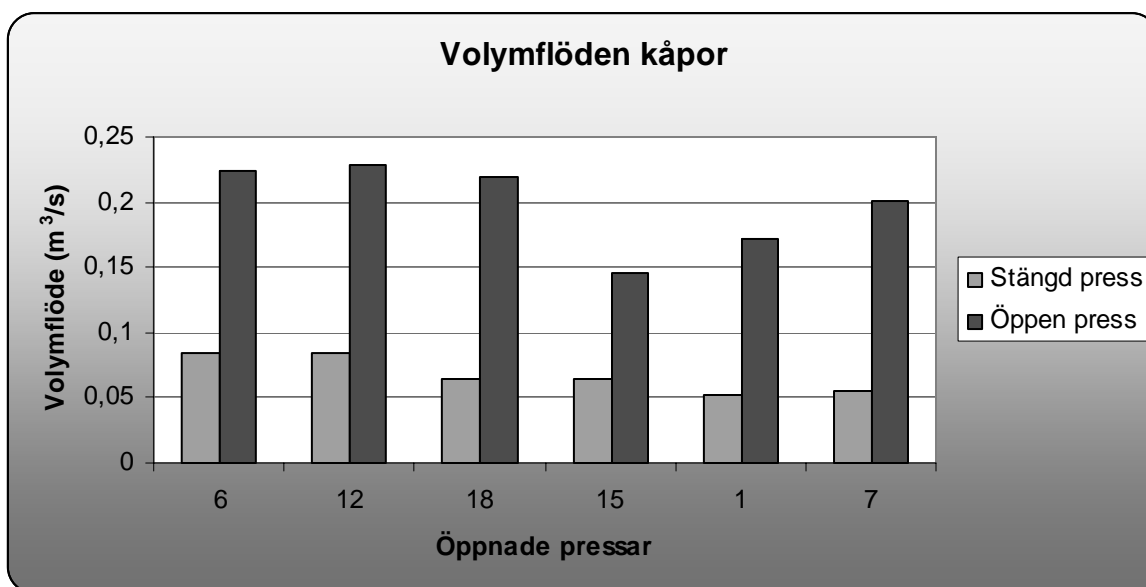


Diagram 7-11: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 6, 18, 10, 11, 15 och 16 står i öppet läge, de andra står i pressläge**  
**Halvfart 150 Pa**

press	5s	5ö	6s	6ö	18s	18ö	10s	10ö	11s	11ö	15s	15ö	16s	16ö
Volym (m³/s)	0,086	0,257	0,084	0,212	0,073	0,221	0,064	0,176	0,064	0,162	0,06	0,15	0,06	0,152

Tabell 7-19: Press 5, 6, 18, 10, 11, 15 och 16 står i öppet läge, de andra står i pressläge.



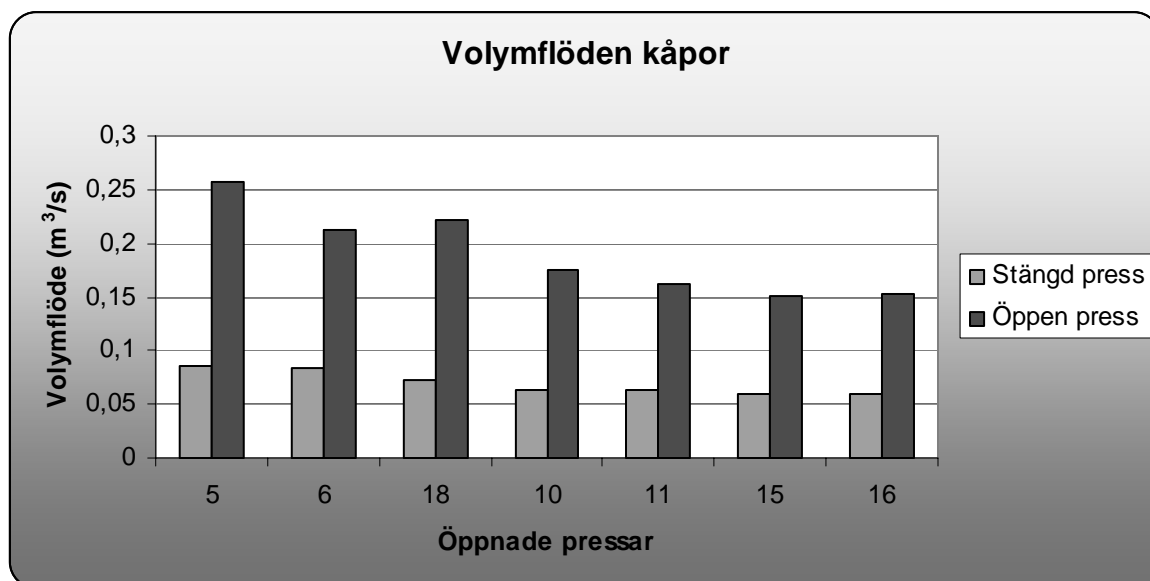


Diagram 7-12: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

#### 7.3.5.4 Simulering med 300 Pa och 500 mm kanaler

För att skapa ett lågt flöde i pressläge, har vi simulerat systemet med spjäll öppet (50 Pa) och spjäll stängt (180 Pa). Medeltemperaturen på luften när den lämnar kåpan är 58°C.

**Press 5, 12, 18, 20, 10, 11, 3 och 2** står i öppet läge, de andra står i pressläge  
Helfart 300 Pa

Press	Stängd	Öppen
5	0,103	0,35
12	0,101	0,332
18	0,09	0,272
20	0,089	0,226
10	0,076	0,231
11	0,076	0,229
2	0,063	0,196
3	0,062	0,239

Tabell 7-20: Press 5, 12, 18, 20, 10, 11, 3 och 2 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

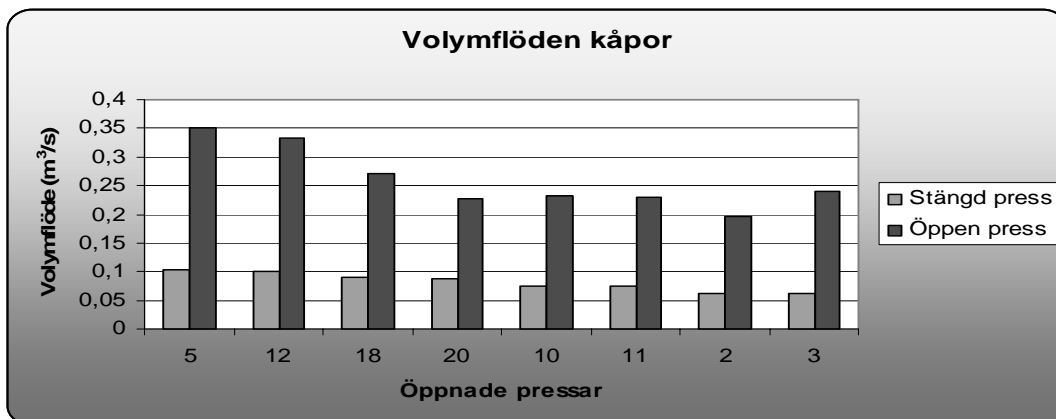


Diagram 7-13: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

Press 5, 6, 10, 11, 15, 16 och 7 står i öppet läge, de andra står i pressläge Helfart 300 Pa

Press	Stängd	Öppen
5	0,103	0,36
6	0,101	0,303
10	0,076	0,23
11	0,076	0,228
15	0,072	0,214
16	0,073	0,217
7	0,065	0,286

Tabell 7-21: Press 5, 6, 10, 11, 15, 16 och 7 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

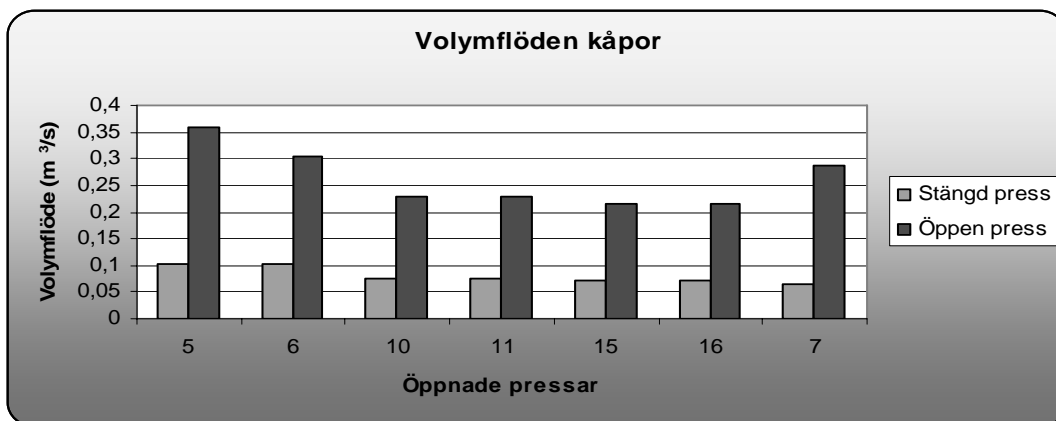
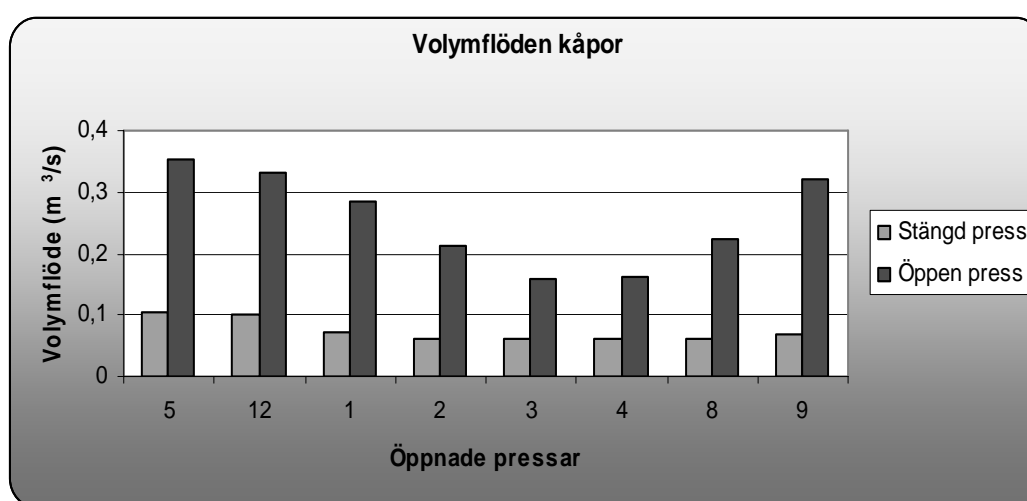


Diagram 7-14: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 12, 1, 2, 3, 4, 8 och 9 står i öppet läge, de andra står i pressläge  
Helfart 300 Pa**

Press	Stängd	Öppen
5	0,103	0,353
12	0,101	0,333
1	0,073	0,283
2	0,063	0,214
3	0,062	0,158
4	0,062	0,161
8	0,063	0,223
9	0,068	0,32

*Tabell 7-22:* Press 5, 12, 1, 2, 3, 4, 8 och 9 står i öppet läge, de andra står i pressläge.



*Diagram 7-15:* Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

**Press 5, 12, 17, 18, 20, 21, 10, 11, 19 och 9 står i öppet läge, de andra står i  
pressläge  
Helfart 300 Pa**

Press	Stängd	Öppen
5	0,103	0,36
12	0,101	0,33
17	0,09	0,242
18	0,09	0,25
20	0,089	0,182
21	0,089	0,185
10	0,076	0,23
11	0,076	0,24
19	0,063	0,205
9	0,068	0,32

*Tabell 7-23:* Press 5, 12, 17, 18, 20, 21, 10, 11, 19 och 9 står i öppet läge, de andra står i pressläge.

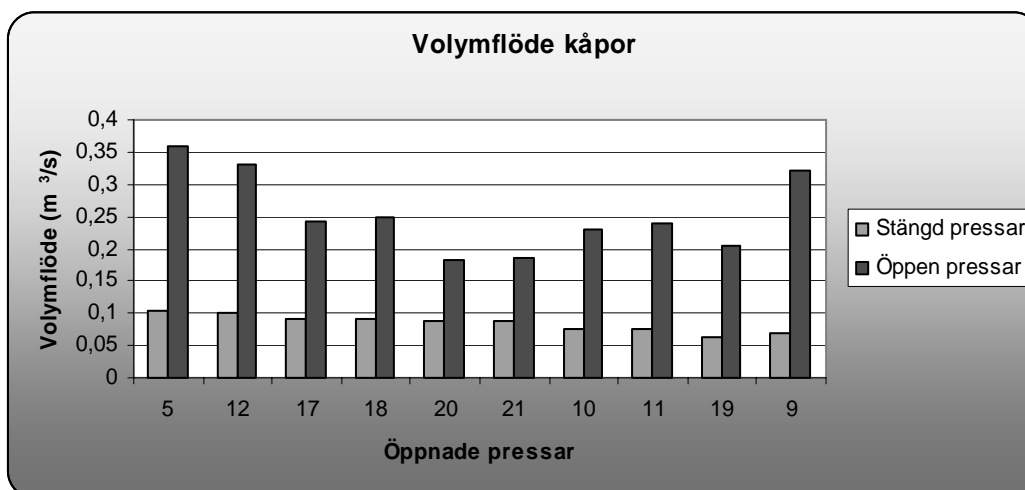


Diagram 7-16: Volymflöde under kåpor då vissa pressar öppnas.

### 7.3.5.5 Slutsats

Som väntat fås ett betydligt stabilare system om aggregatet körs på helfart. Dock anser vi att det är fullt möjligt att även köra detta system med halvfart, då fyra pressar exklusive 5,6 och 12 kan öppnas med ett stabilt system.

Det visade sig även att 500 kanaler gör systemet mer stabilt än vad 400 kanaler gör. Temperaturen i luften är ungefär 30°C när den når värmeväxlingen enligt vår beräkning.

**Med halvfart ventileras 59300 m<sup>3</sup>/h ut från pressgrupp 1, med 400 mm kanaler.**

**Med helfart ventileras 89500 m<sup>3</sup>/h ut från pressgrupp 1, med 400 mm kanaler.**

**Med halvfart ventileras 63000 m<sup>3</sup>/h ut från pressgrupp 1, med 500 mm kanaler.**

**Med helfart ventileras 89700 m<sup>3</sup>/h ut från pressgrupp 1, med 500 mm kanaler.**

## 7.4 Pressgrupp 2

### 7.4.1 Tillvägagångssätt

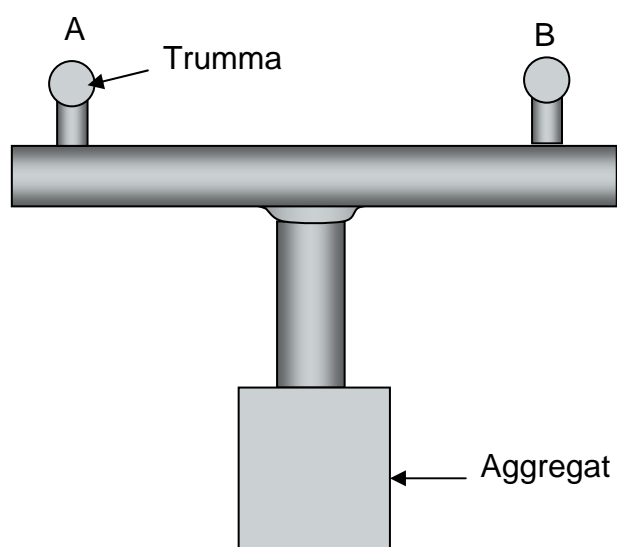
I denna pressgrupp gör vi olika simuleringar för att kontrollera vilka flöden som uppnås vid olika tryckfall över spjällen. Ventileringen sker med hjälp av ett aggregat som har möjlighet till frekvensstyrning. Maximalt arbetstryck är 600 Pa. Simuleringen är utförd med 100, 200, 300, 400, 500 och 600 Pa. Av hänsyn till utrymmet kan bara 200 mm kanaler användas. Systemet som simuleringen är utförd på finns illustrerat nedan (bild 7-2).



*Bild 7-2: Visar skissartat hur systemet ser ut i pressgrupp 2*

## 7.4.2 Nuvarande system

Vid pressgrupp 2 finns två stycken ventilationstrummor som är anslutna till aggregatet, med en gemensam kanal (figur 7-2).



*Figur 7-2: Skissartad figur över hur huvudkanalen är kopplad till trummorna.*

### 7.4.2.1 Resultat

Tabell 32 visar flödena i dagens system simulerat vid olika arbetstryck.

Arbetstryck (Pa)	Trumma A (m <sup>3</sup> /s)	Trumma B (m <sup>3</sup> /s)	VVX (m <sup>3</sup> /s)
100	4,22	4,22	8,44
200	5,99	5,99	11,98
300	7,36	7,36	14,71
400	8,51	8,51	17,02
500	9,52	9,52	19,05
600	10,44	10,44	20,89

Tabell 7-24: Flödena i dagens system med olika arbetstryck från aggregatet.

### 7.4.3 Nya systemets utförande

Det som är intressant för denna pressgrupp är att det forcerade flödet ut från kåpan vid öppning blir större än plymflödet. Plymflöde är det flöde som skapas av stigning från konvektionen. Är det forcerade flödet mindre än plymflödet, kan processgasen tryckas ut från kåpan.

Plymflödet beräknas på följande sätt:

$$q = 2.9 \cdot 10^{-6} \cdot P = 0.0928 \text{ m}^3 / \text{s}$$

P= totala konvektionsvärmets (W)

Kanalerna sätts till namnen KA1 och KB1 enligt bild 7-3 nedan. På samma sätt sätts namnen KA2 och KB2 på andra sidan pressen.

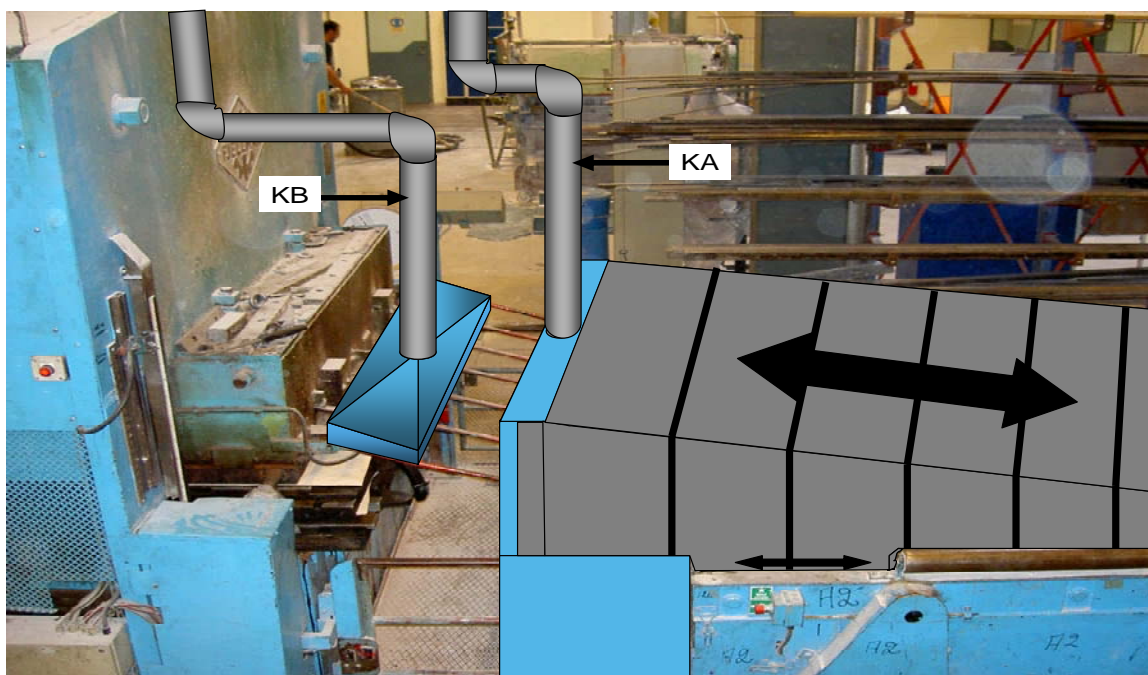


Bild 7-3: Schematisk bild över kanal KA och KB.

Då bordet rullas ut ur pressen kommer spjället i kanalerna stå i öppet läge. När bordet senare är helt utrullat stängs spjället i KB. Detta innebär att flödet i KA kommer att vara maximalt då hela bordet är under kåpan. Värden för simulerade flöden och temperaturer finns tabulerade i tabellerna nedan.

Fall 1: Två kanaler på vardera press är öppna.

Fall 2: Två kanaler på en press + en kanal (KA) på den andra pressen

Fall 3: En kanal (KA) på vardera press

Fall 4: En kanal (KA) öppen på någon press

## 7.4.4 Resultat

### 7.4.4.1 Två kanaler på vardera press är öppna.

Tryck	100	200	300	400	500	600
<b>Kanal</b>						
KA press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,231	0,330	0,405	0,469	0,525	0,576
KB press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,223	0,332	0,339	0,464	0,522	0,575
KA press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0,231	0,330	0,405	0,469	0,525	0,576
KB press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0,223	0,332	0,339	0,464	0,522	0,575
Trumma A (m <sup>3</sup> /s)	3,818	5,416	6,645	7,683	8,597	9,425
Trumma B (m <sup>3</sup> /s)	3,818	5,416	6,645	7,683	8,597	9,425
VVX (m <sup>3</sup> /s)	8,546	12,14	14,90	17,23	19,29	21,15
VVX (°C)	30,1	30,7	30,8	30,9	30,9	30,9

Tabell 7-25: Simulerade flöden och temperaturer vid fall 1.

### 7.4.4.2 Två kanaler på en press + en kanal (KA) på den andra pressen

Tryck	100	200	300	400	500	600
<b>Kanal</b>						
KA press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,231	0,330	0,399	0,469	0,525	0,576
KB press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,224	0,322	0,406	0,464	0,522	0,575
KA press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0,243	0,347	0,426	0,493	0,552	0,605
KB press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0
Trumma A (m <sup>3</sup> /s)	3,819	5,418	6,647	7,684	8,599	9,427
Trumma B (m <sup>3</sup> /s)	4,01	5,687	6,981	8,073	9,037	9,909
VVX (m <sup>3</sup> /s)	8,522	12,10	14,86	17,18	19,24	21,09
VVX (°C)	30,2	30,7	30,9	30,9	30,9	30,9

Tabell 7-26: Simulerade flöden och temperaturer vid fall 2.

#### 7.4.4.3 En kanal (KA) på vardera press

Tryck	100	200	300	400	500	600
<b>Kanal</b>						
KA press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,243	0,347	0,426	0,493	0,552	0,606
KB press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0
KA press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0,243	0,347	0,426	0,493	0,552	0,606
KB press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0
Trumma A (m <sup>3</sup> /s)	4,01	5,69	6,982	8,08	9,04	9,91
Trumma B (m <sup>3</sup> /s)	4,01	5,69	6,982	8,08	9,04	9,91
VVX (m <sup>3</sup> /s)	8,51	12,07	14,82	17,14	19,18	21,03
VVX (°C)	30,2	30,8	30,9	30,9	30,9	30,9

Tabell 7-27: Simulerade flöden och temperaturer vid fall 3.

#### 7.4.4.4 En kanal (KA) öppen på någon press

Tryck	100	200	300	400	500	600
<b>Kanal</b>						
KA press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0,243	0,347	0,426	0,493	0,552	0,606
KB press 1 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0
KA press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0
KB press 2 (m <sup>3</sup> /s)	0	0	0	0	0	0
Trumma A (m <sup>3</sup> /s)	4,01	5,689	6,984	8,08	9,04	9,913
Trumma B (m <sup>3</sup> /s)	4,217	5,99	7,354	8,505	9,521	10,44
VVX (m <sup>3</sup> /s)	8,468	12,03	14,76	17,08	19,11	20,96
VVX (°C)	28,9	29,5	29,7	29,8	29,9	29,9

Tabell 7-28: Simulerade flöden och temperaturer vid fall 4.

#### 7.4.4.5 Slutsats av simulering pressgrupp 2

I denna grupp finns inga möjligheter att genomföra energibesparande åtgärder i processen. Detta beror på att det som tidigare nämnts sker en avsvälning. Däremot är det med detta system möjligt att erhålla förbättringar när det gäller arbetsmiljön, då stora mängder värme och vulkrök kommer att kanaliseras ut från lokalen. Simuleringen visar även att temperaturen fram till VVX kommer att bli 5-6°C högre än vad uppmätta värden från tidigare projekt visade. Detta leder fram till viss energibesparing i tilluften till processhallen.

### 7.5 Sammanställning av simuleringar

#### 7.5.1 Pressgrupp 1

För att kunna göra energiberäkningar, behöver man beräkna temperaturer i luften som kommer i kontakt med formens ytor i pressgrupp 1. Detta har gjorts på följande sätt:

$$T = \frac{T_{UT} + T_{IN}}{2}$$



$T_{UT}$  = temperatur i luften som lämnar kåpan

$T_{IN}$  = temperatur i luften som kommer in under kåpan = 25°C

### Otemp=oisolerade 400 och 500mm kanaler

	150 Pa / 400mm	300 Pa / 400mm	150 Pa / 500mm	300 Pa / 500mm
$T_{L2}$ (°C)	48,3	42,1	41,7	35,3
Otemp. VVX (°C)	29,7	30,2	30,7	30,7
Temp. VVX (°C)	31,6	31,6	31,5	31,2

Tabell 7-29: Temperaturer vid värmväxlaren.

Om pressen står i öppet läge, med stängd port, t.ex. när den väntar på ny laddning, blir temperaturen i luften:

$$T_{L1} = 64,3 \text{ °C}$$

### 7.5.2 Pressgrupp 2

I pressgupp 2 är temperaturen vid VVX, den enda temperatur som är intressant. De tabellerade temperaturerna är i de flesta fall mycket lika. Därför har vi beräknat ett medelvärde av alla temperaturer, som vi har simulerat fram.

$$T_{Medel} = 30,46 \text{ °C}$$

## 8 Energiberäkningar på nya systemet

### 8.1 Strålningsenergi

Med vårt system kommer strålningsenergin att användas på ett bättre sätt, då denna värmer upp portarna. Det är svårt att göra exakta beräkningar på hur varm porten kommer att bli. Därför har vi gjort en kvalificerad gissning på att insidan av porten blir cirka 80°C varm. Därmed kommer strålningsenergin värma upp luften konvektivt. Den strålningsenergi som inte nyttjas till uppvärmning, kommer från de pressar där formen rullas ut på ett bord och är beräknad tidigare till:

$$Q_{\text{strålning}} = 57,4 \text{ MWh/år}$$

Den totala strålningsenergin är tidigare beräknad till:

$$Q_{\text{strålning}} = 154,6 + 57,4 \text{ MWh/år} \Rightarrow \text{energibesparing} = 354,59 - 154,6 - 57,4 = 142,60 \text{ MWh/år}$$

Denna summa är helt oberoende av vilket system man väljer.

### 8.2 Konvektiv energi

Den konvektiva värmen är beräknad med samma metod som tidigare. Samma antaganden angående värmeövergångskoefficienter har också gjorts.

Temperaturer vid öppen press:

Temperaturen ( $T_{L1}$ ) i luften vid öppen press är 64,3°C i press 8.

Temperaturen ( $T_{L2}$ ) varierar beroende på vilket system man väljer.

**Öppen press i nya systemet:**

$$Q_{\dot{O}} = A_p \times \alpha_H \times (T_p - T_{L1}) + A_K \times \alpha_V \times (T_K - T_{L1}) = 3,05 \text{ kW}$$

Den totala tid som pressen står öppen är 28 % av totala processtiden. Det är inte realistiskt att portarna kommer att vara nere denna tid, men för att jämföra dagens system med det nya, har vi ändå räknat med detta.

### 8.3 Totala energiläckaget för systemen

Beräkningen är utförd med följande formel:

$$\frac{W}{\text{År}} = S \times Q_S + (\text{procent}_{\text{öppen}} \times Z) \times Q_{\dot{O}} = Q_{\text{Press}} \times \text{antal pressar}$$

#### 400mm kanal med 150 Pa arbetstryck

$$\frac{W}{\text{År}} = 296 \text{ MWh} / \text{år} \Rightarrow \text{energibesparing} = 434 - 296 = 138 \text{ MWh} / \text{år}$$

#### 400mm kanal med 300 Pa arbetstryck

$$\frac{W}{\text{År}} = 310,7 \text{ MWh} / \text{år} \Rightarrow \text{energibesparing} = 434 - 310,7 = 123,3 \text{ MWh} / \text{år}$$

#### 500mm kanal med 150 Pa arbetstryck

$$\frac{W}{\text{År}} = 312,3 \text{ MWh} / \text{år} \Rightarrow \text{energibesparing} = 434 - 312,3 = 121,7 \text{ MWh} / \text{år}$$

#### 500mm kanal med 300 Pa arbetstryck

$$\frac{W}{\text{År}} = 325 \text{ MWh} / \text{år} \Rightarrow \text{energibesparing} = 434 - 325 = 109 \text{ MWh} / \text{år}$$

## 8.4 Ventilationen

Värden som vi räknar energibesparingen på, kommer från ett tidigare projekt som gjordes 1999.<sup>14</sup>

$$\dot{Q} = C_C \times (t_{C_{UT}} - t_{C_{IN}})$$

$$C_C = \dot{m} \times C_{p_{LUFT}}$$

$$C_{p_{LUFT}} = \text{värmekapacitet} = 1005 \text{ J} / \text{kg} \cdot \text{K}$$

Beräkningsmodellen är hämtad från *kompedium i värmeöverföring av Bengt Sundén*.<sup>15</sup>

Totala luftflödet till processhallen, som värms upp under den kalla delen av året är enligt tidigare uppmätta värden:

$$\dot{m}_1 = 27 \text{ kg} / \text{s} \quad \dot{m}_2 = 27,1 \text{ kg} / \text{s}$$

<sup>14</sup> Förprojektering av ventilationsanläggning och ångsystem på Svedala Trellex AB, E. Attenius, H. Ingesson, J. Nilsson, F. Sveider, Avd. för Kemisk Apparatteknik, Lunds Tekniska Högskola, Malmö 990511

<sup>15</sup> Kompedium i värmeöverföring, Bengt Sundén, Avd. för Värmeöverföring, Lunds Tekniska Högskola

I våra simuleringar har vi satt ute temperaturen till 5°C, liksom man gjorde i det tidigare projektet. Uppmätta värden på temperaturen i luften in till första värmväxlingen är 26 respektive 23°C. Med en temperaturverkningsgrad på 50 % skulle detta ge en temperatur in till den extra värmväxlaren som är:

$$t_{C1IN} = 15,5^{\circ}C$$

$$t_{C2IN} = 14^{\circ}C$$

Temperaturen ut från den extra värmväxlaren, vilken är den temperatur som tilluften har i processhallen:

$$t_{CUT} = 19^{\circ}C$$

Extra värmväxlingen är igång 5,5 månader per år, vilket motsvarar:

$$\text{Timmar / år} = \text{antal timmar per dygn} \times \text{antal dagar per månad} \times \text{antal månader} = 3960 \text{ timmar / år}$$

Värmeffödet per år, med dagens system:

$$Q = \left( Cp \times \dot{m}_1 \times (t_{CUT} - t_{C1IN}) + Cp \times \dot{m}_2 \times (t_{CUT} - t_{C2IN}) \right) \times 3960 = 915.35 \text{ MWh / år}$$

I det simulerade systemet kommer  $t_{Cin}$  att ändra sig. Temperaturen in till första värmväxlingen för pressgrupp 2, är 30,5°C och för pressgrupp 1 är den 31,5 °C. Temperaturen in till extra värmväxlaren blir då:

$$t1_{CIN} = 18,25^{\circ}C$$

$$t2_{CIN} = 17,75^{\circ}C$$

$$t_{CUT} = 19^{\circ}C$$

Värmeffödet per år, med det nya systemet:

$$Q = \left( Cp \times \dot{m}_1 \times (t_{CUT} - t1_{CIN}) + Cp \times \dot{m}_2 \times (t_{CUT} - t2_{CIN}) \right) \times 3960 = 215,4 \text{ MWh / år}$$

Energibesparing blir således 699,95 MWh/år.

Beräkningen är utförd med samma temperatur under dessa månader, vilket inte stämmer med verkligheten. Men beräkningarna visar tydligt vad en temperaturökning som i detta fall är ca 3°C, medför när det gäller energiförbrukningen.

## 9 Miljö

### 9.1 Intern miljö

#### 9.1.1 Pressgrupp 1

Det nya systemet innebär att operatören måste ändra lite på sina arbetsrutiner. Det kommer nämligen att ta lite längre tid att öppna pressen. Detta för att pressen vid tömning, kommer att öppnas när portarna är nere. När pressen öppnas är spjällen öppna, och ett forcerat flöde skapar extra ventilation under kåpan. Efter 30-40 sekunder kommer operatören att kunna öppna porten för att tömma pressen. När porten går upp stängs spjället. Om inte pressen laddas med nytt gummi i direkt anslutning till tömningen, är det tänkt att porten manuellt skall stängas i väntan på laddning.

Med detta körsätt kommer interna miljön för operatörerna att förbättras, då stora mängder värme inte kommer ut i lokalen. När det gäller vulkröken, kommer man inte lyckas med att ventilera ut all denna med det nya systemet. Detta beror på att ventilationen endast är på vid öppning av pressen. Men man kommer ändå ha en förbättring om man jämför med dagens system, då ca 30 % av vulkröken kommer att kanaliseras ut.

För att systemet skall vara stabilt, anser vi att aggregatet inte kan köras på halvfart.

#### 9.1.2 Pressgrupp 2

Även i denna pressgrupp kommer operatörerna bli tvungna att ändra på sina arbetsrutiner. Kåpan som rullas ut över pressbordet är tänkt att styras med automatik. När operatören skall öppna pressen, måste en givare vara bruten. Det innebär att gjutbordet kommer att rullas in under kåpan. I detta skede är spjällen öppna till fläkten och under kåpan. Efter en stund stängs spjället till fläkten, vilket innebär att flödet under kåpan kommer att öka. Kåpan kommer sedan att ligga kvar till en viss temperatur har uppnåtts under kåpan. Detta medför att operatören rensar produkten när den är avsväljad. Systemet kommer uppskattningsvis att kanalisera bort ca 70 % av vulkröken. Värmen kommer dessutom inte att nå operatörerna på samma sätt som idag.

Vi anser att detta system ger möjligheten till att köra ventilationen på halvfart, vilket sänker elförbrukningen från:

$$P_{nyttig} = \dot{V} \cdot \Delta p_t = 21 \times 600 = 12,6 \text{ kW}$$

till:

$$P_{nyttig} = 14,9 \times 300 = 4,47 \text{ kW}$$

$$\dot{V} = \text{Volymflödet (m}^3/\text{s)}$$

$\Delta p_t$  = Totaltrycksökning mellan fläktens anslutningar (N/m<sup>2</sup>)

Om man räknar med att ventilationen är igång alla timmar under året, skulle man reducera elförbrukningen för detta aggregat med totalt 71.2 MWh/år. Detta innebär en ekonomisk besparing på ca 30 000 kr/år.

## 9.2 Extern miljö

Med det nya systemet kommer den yttre miljön att påverkas mindre, då energibehovet minskar. Kväveoxider NO<sub>x</sub> och koldioxider CO<sub>2</sub> utsläpp kommer att reduceras, då mindre naturgas förbränns. Totalt sett kommer det nya systemet att minska energiförbrukningen med ca 1 GWh/år. Då förbrukningen idag är 10 GWh/år innebär detta en sänkning med 10 %. Detta leder till en sänkning av NO<sub>x</sub> och CO<sub>2</sub> med 10 %.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Samtal med Mikael Näslund, Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Tekniska Högskola

## 10 Ekonomiska beräkningar

### 10.1 Processekonomi

Vi tog kontakt med Eon, för att få ett generellt pris på 1 kWh naturgas. Vi fick då uppgifter om att gasen kostar 42 öre/kWh, men att detta pris varierar med ett par öre beroende på vilket avtal man har.

Ekonomi för detta fall är beräknad på besparingar i direkt anslutning till ångan (tabell 10-1).

Besparingen i kronor räknar vi på följande sätt:

$$\text{Besparing} = (\text{konvektiv} + \text{strålning} + \text{värmeventilation} + \text{elenergi}) \times 0,42$$

	<b>150Pa-- 400mm</b>	<b>300Pa-- 400mm</b>	<b>150Pa--- 500mm</b>	<b>300Pa--- 500mm</b>
<b>Besparing (Kr)</b>	442 000	436 000	435 000	429 000

Tabell 10-1: Besparingen i kronor.

### 10.2 Investeringskostnad

Med Vesa Ikonens hjälp har vi tagit fram en ungefärlig kostnad för projektet.<sup>17</sup>

#### 10.1.1 Material

##### 10.1.1.1 Pressgrupp 1

150 m ventilationskanal  
6 st 90° böjar  
4 st T-förgreningar  
Styr- och reglerteknik till 19 st. portar  
38 st. spjällmotorer  
38 st portar

##### 10.1.1.2 Pressgrupp 2

4 st. Utrullbara kåpor över pressborden  
Styr- och reglerteknik till 4 st. pressar  
50 m ventilationskanal

Enligt Vesa Ikonen kan priset variera, vilket beror av styr- och reglertekniken. Han uppskattade kostnaden till:

<sup>17</sup> Samtal med Vesa Ikonen, Anläggningschef på Metso



2,5 Mkr för kåporna till pressarna  
2 Mkr för styr- och reglertekniken

Detta ger en total kostnad på 4,5 Mkr. Payback-tiden för detta projekt med hänsyn taget endast till energibesparingen är således ca 10 år. Detta gäller för alla de simulerade systemen.

## 11 Slutsatser och diskussion

Med det nya systemet har man möjlighet att utjämna arbetsmiljön för operatörerna i pressgrupp 1 och 2. Systemet gynnar framför allt arbetsmiljön under sommarhalvåret, då värmeläckaaget med hjälp av det nya systemet kommer att avgränsas från operatören. En annan aspekt är att man reducerar exponeringen av vulkrök för operatörerna vilket är positivt med tanke på yrkesmedicinska studier som är utförda inom gummiindustrin.

Att föra ett resonemang om vad ett system som detta kan innebära för sjukfrånvaron i dessa grupper råder delade meningar i företaget. Därför har vi inte tagit med detta i rapporten. Vi har dock dragit slutsatsen att det nya systemet skulle inbringa pengar till företaget då man förbättrar den interna miljön.

Energiförbrukningen reduceras med 10 % vilket leder till minskade kostnader för processen. Det är också positivt för den yttre miljön då utsläppen kommer att minska.

Med en paybacktid på tio år med dagens naturgaspris kommer detta projekt att vara en långsiktig investering där den stora vinnaren är operatören i processen. Naturligtvis är det även så att imagen för ett ISO 14000 certifierat företag inte kommer att försämrats med detta projekt.

Sammantaget sett så är detta ett projekt med fler fördelar, både miljö- och företagsmässigt, än nackdelar, som vi ser det.

När projektet inleddes var vår tanke att en del av den överflödiga värmen skulle ledas in på kallagret. Kapaciteten i aggregaten visade sig dock efter simuleringarna inte vara tillräcklig för att detta skulle vara ekonomiskt genomförbart. Vi har därför bortsett från denna del av projektet.

## 12 Referensförteckning

1. [www.ymed.lu.se](http://www.ymed.lu.se), Hälsorisker i gummiindustrin, Bulletin Årgång 21 (2003) Nr 1, sid 3
2. [www.ymed.lu.se](http://www.ymed.lu.se), Luftvägssjukdom i gummiindustrin, Bulletin Årgång 21 (2003) Nr 1, sid 4
3. Miljörapport 2004, Metso Minerals
- 4,15. Kompendium i värmeöverföring, Bengt Sundén, Avd. för Värmeöverföring, Lunds Tekniska Högskola
5. Samtal med Daniel Eriksson, Avd. för värmeöverföring, Lunds Tekniska Högskola
6. Samtal med Bengt Lundström, arbetsledare på Metso Minerals
7. Utredning av energi- och materialflöden, Johan Ågehäll, Examensarbete 990520, Avd. för Kemisk Apparatteknik, Lunds tekniska högskola
8. [www.stem.se](http://www.stem.se), Energimyndighetens hemsida, 050920
- 9,13,17. Samtal med Vesa Ikonen, anläggningschef på Metso Minerals
- 10,14. Förprojektering av ventilationsanläggning och ångsystem på Svedala Trellex AB, E. Attenius, H. Ingesson, J. Nilsson, F. Sveider, Avd. för Kemisk Apparatteknik, Lunds Tekniska Högskola, Malmö 990511
11. Tryckfallsutredning av T-rör, A. Kocovic, C. Fält, Examensarbete, Avd. för Installationsteknik, Lunds Tekniska Högskola, 2004
12. Energiteknik, Henrik Alvarez, Studentlitteratur 2003
16. Samtal med Mikael Näslund, Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Tekniska Högskola

## 13 Övrig litteratur

Hälsorisker, prevention och rehabilitering i gummiindustrin, Avd för yrkes- och miljömedicin i Lund, 2003

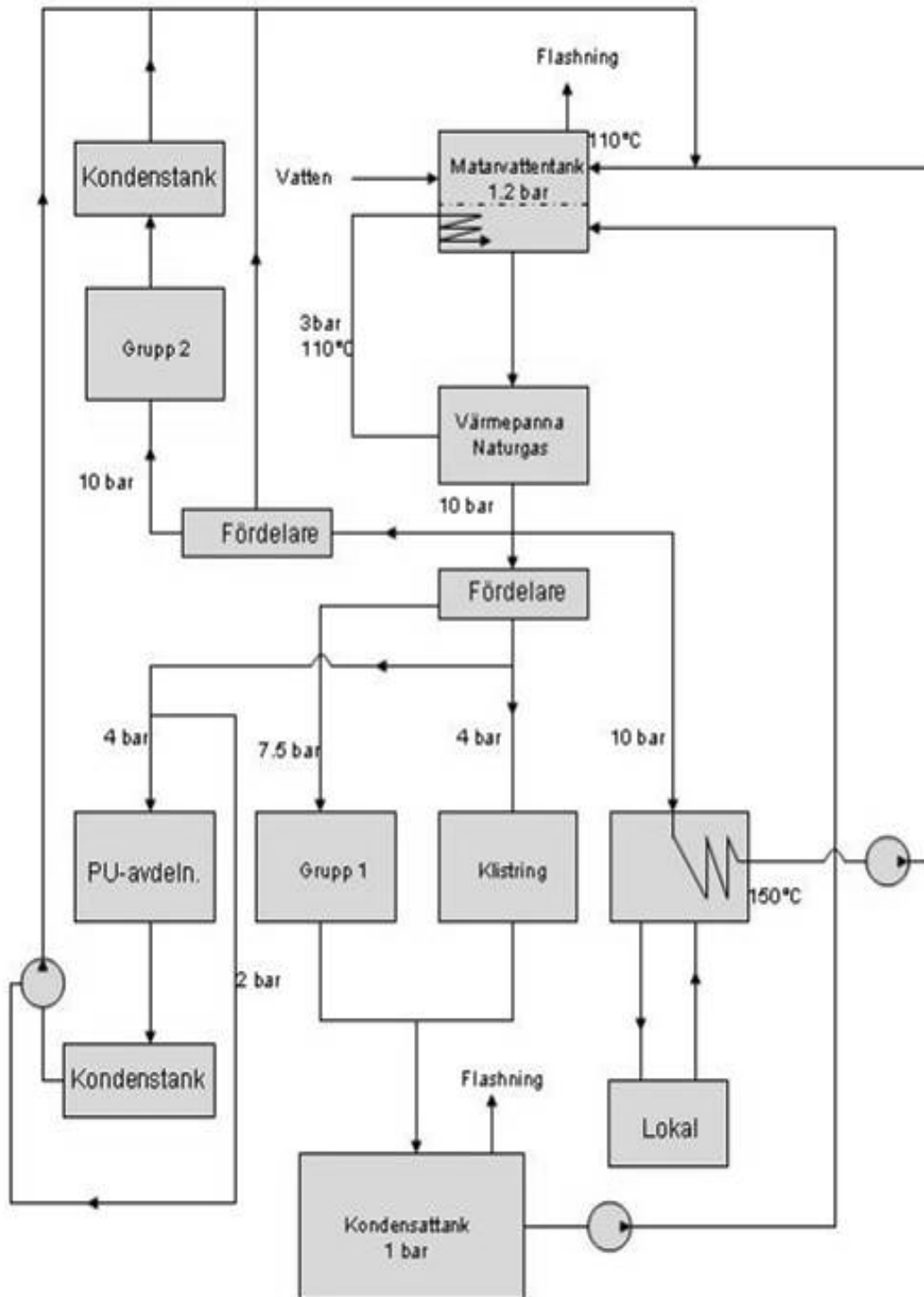
Exposure to Rubber Fume and Rubber Process Dust in the General Rubber Goods, Tyre Manufacturing and Retread Industries A. A. Dost, D. Redman and G. Cox, 2000

A Rubber Worker's Guide to Occupational Health, The Waterloo Public Interest Research Group, 1982

## 14 Bilagor

1. Flödesschema över ångsystemet
2. PFS kod av simulering på pressgrupp 1
3. PFS kod av simulering på pressgrupp 2
4. Planlösning över processhallen

# Flödesschema ångan

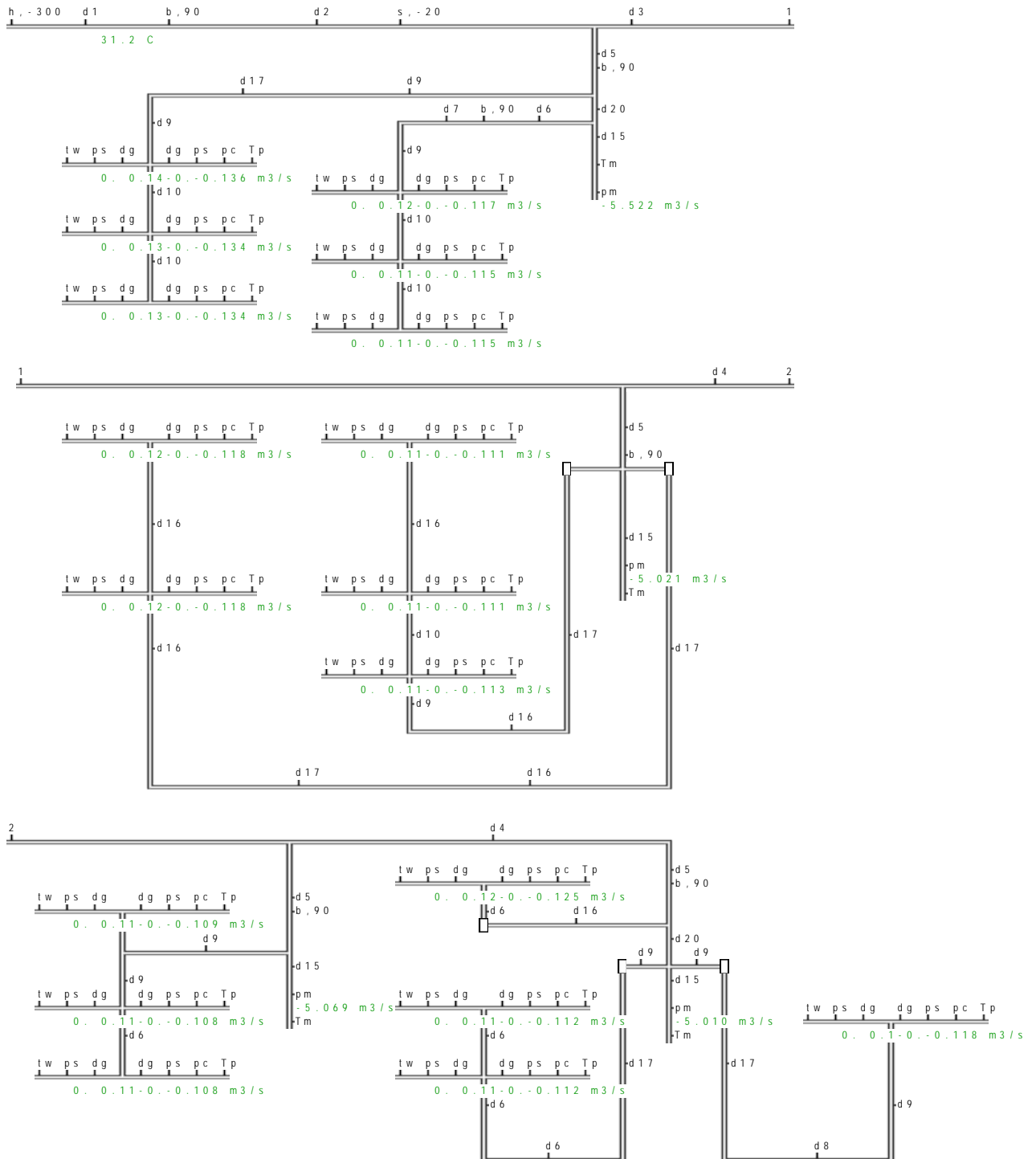


begin

control duct=1 bend=1 con=1 dim=1 dencase=1 denz=1.29

## Bilaga 2

```
set dh=d,dh,10 ds=d,ds,3
set ps=t,100,0.1:q po=t,25,1
set Tp=T,25:< pm=t,50,5:q Tm=T,30:<
cooler pp -2600 25 50 160
set pc=pp
cooler pt -8520 25 50 160
set pa=pt
set tw=T,64 to=T,48 d0=d,800,0 d20=h80,0.15
set d1=h15,33:T d2=h15,16 d3=h15,18 d21=d,500,0.15
set d4=h12,6 d5=h80,5 d6=h50,5
set d7=h50,6 d8=h50,17 d9=h50,2
set d10=h50,6 d11=h50,2 d12=h50,4
set d15=h80,1 d16=h50,8 d17=h50,12
set d13=h50,1 d14=h50,5 dg=d,200,0.5:q
heatloss h50 90 41 39 30 500
heatloss h80 175 41 39 30 800
heatloss h15 200 16 14 5 1500
heatloss h12 200 16 11 5 1250
```



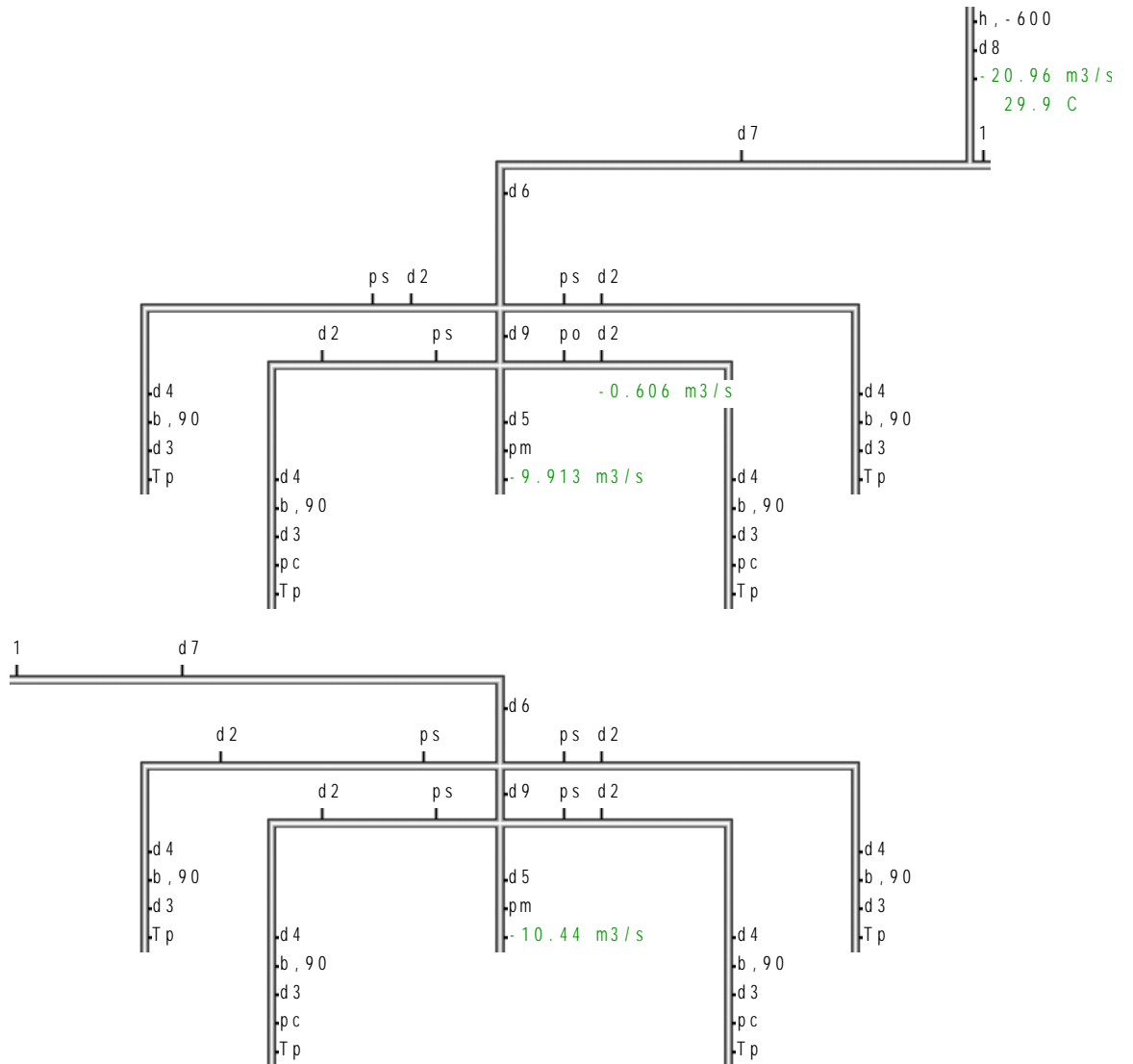
### Bilaga 3

begin

control duct=1 bend=1 con=1 dim=1 dencase=1

```

set      ps=t,100,0:q      po=t,50,1      sp=t,50,5:q      sp1=t,15,5:q
set      Tp=T,30:<        pm=t,100,5:q      Tm=T,30:<
cooler   pp -32000 25 50 150
set      pc=pp
set
set      d2=k20,6:q      d3=k20,4      d4=k20,3      d5=k80,1
set      d6=k80,2      d7=k12,10      d8 =k12,18:qT      d9 =k80,0
set
set
set
heatloss k20 65 41 39 30 200
heatloss k80 130 11 9 0 800
heatloss k12 200 11 9 0 1250
  
```



end 1 1 system 32 elements 0 errors 4 observations 2005-11-23 15.59.55



