

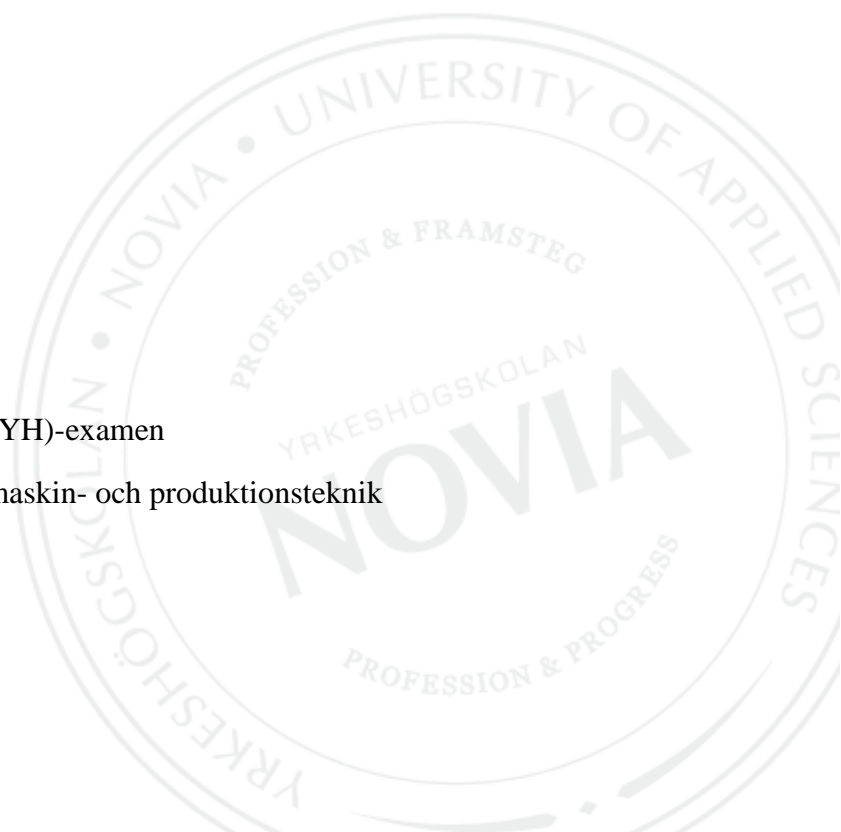
# Värmeåtervinning i en fabriks hall

Johan Sjöholm

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen

Utbildningsprogrammet för maskin- och produktionsteknik

Vasa 2016



## EXAMENSARBETE

Författare: Johan Sjöholm  
Utbildning och ort: Maskin och produktionsteknik, Vasa  
Inriktningalternativ/fördjupning: Drifts och energiteknik  
Handledare: Holger Sved

Titel: *Värmeåtervinning i en fabriks hall*

---

Datum 14.4.2016

Sidantal 21

Bilagor 3

---

### Abstrakt

Uppdragsgivaren för detta arbete är Flexipack Ab som grundats 1992 och tillverkar barriärplastfilmer genom plastfilmbåsning. I fabriken finns för tillfället två större extruderingslinjer samt två skärmaskiner.

Syftet med arbetet är att undersöka värmeflöden i nybyggda delar av ventilationssystemet för att ge ansvariga i fabriken en överblick av eventuella energibesparingsmöjligheter.

Resultatet visar att i de nybyggda delarna av ventilationen har man ett konstant värme flöde på 85 kW som går direkt till en värmeåtervinning. Det kan även konstateras att det lönar sig att bygga ut ventilationen för att fokusera på de varma delarna av fabriks hallen.

---

Språk: svenska

Nyckelord: värmeåtervinning, energiteknik, plastextrudering

---

## BACHELOR'S THESIS

Author: Johan Sjöholm  
Degree Programme: Mechanical and Production engineering, Vaasa  
Specialization: Operation and Energy Engineering  
Supervisors: Holger Sved

Title: *Heat Recovery in a Factory Building*

---

Date 14.4.2016

Number of pages 21

Appendices 3

---

### **Abstract**

The client for this work is Flexipack Ltd founded in 1992 and is a manufacturer of plastic barrier films through film blowing. In the factory there are currently two major extrusion lines and two cutting machines.

The aim of this work is to investigate the energy flows in new parts of the ventilation system to give an overview of possible energy savings.

The result shows that in the newly built parts of the ventilation system there is a constant energy flow at 85 kW which is directly led to the heat recovery system. It can also be found that it would make sense to extend the ventilation system to focus on the hot parts of the factory.

---

Language: Swedish

Key words: energy recovery, energy technology, plastic extrusion

---

## OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Johan Sjöholm  
Koulutusohjelma ja paikkakunta: Kone- ja tuotantotekniikka, Vaasa  
Suuntaumisvaihtoehto: Käyttö- ja energiatekniikka  
Ohjaaja: Holger Sved

Nimike: *Lämmön talteenotto tehdashallissa*

---

Päivämäärä 14.4.2016

Sivumäärä 21

Liitteet 3

---

### **Tiivistelmä**

Tämän työn toimeksiantaja on Flexipack Oy, joka perustettiin 1992 ja joka tuottaa monikerroskalvoja muovipuhallustekniikalla. Tehtaassa on tällä hetkellä kaksi isompaa ekstrudointilinjaa sekä kaksi leikkuukonetta.

Työn tarkoitus on tutkia lämpövirtauksia ilmastointijärjestelmän uusissa osissa, jotta tehtaan vastuuhenkilöt saisivat yleiskuvan mahdollisista energian säästömahdollisuuksista.

Tulos osoittaa, että ilmastointijärjestelmän uusissa osissa on 85 kW:n jatkuva lämpövirtaus, joka menee suoraan lämmöntalteenottoon. Voi myös todeta, että ilmastointia kannattaa laajentaa, jotta voidaan keskittyä tehdashallin lämpimiin osiin.

---

Språk: ruotsi Avainsanat: lämmön talteenotto, energiateknologia, muovipuhallus

---

# Innehållsförteckning

1. Inledning.....	1
1.1 Företagsbeskrivning .....	1
1.2 Syfte.....	2
1.3 Bakgrund .....	2
1.4 Avgränsningar.....	2
2. Plastextrudering och teknisk information .....	3
2.1 Grunderna i plastfilmsextrudering.....	3
2.1 Råmaterialet och dess matningssystem.....	4
2.2 Skruvarna.....	5
2.3 Huvudverktyget.....	7
2.4 Oscillering.....	8
2.4.1 Roterande eller oscillerande verktyg .....	8
2.4.2 Oscillerande extruder.....	9
2.4.3 Roterande tornplattform med upprullning.....	9
2.4.4 Roterande nyp- och oscilleringsplattform.....	9
2.5 Upprullningsmaskinen.....	9
3. Värmeåtervinning och uppvärmning .....	10
3.1 Värmeväxlare .....	10
3.1.1 Rotorvärmeväxlare.....	10
3.1.2 Korsströmsvärmeväxlare.....	11
3.1.3 Motströmsvärmeväxlare .....	12
3.2 Värmeflöden i hallen .....	13
4. Tillvägagångssätt .....	14
5. Resultat .....	16
5.1 Mätdata .....	16
5.2 Uträkningar.....	17
6. Avslutande diskussion .....	21
Litteraturförteckning	

Bilagor

# 1. Inledning

Jag har utfört mitt examensarbete vid Flexipack, där jag även utfört min sommarpraktik samt jobbat deltid utöver mina studier. På företaget har jag fått erfarenhet av att arbeta med skiftesjobb som maskinskötare vid både extruderlinjerna och vid en skärmaskin. Utöver det har jag arbetat som mekaniker med både underhållsarbeten av maskiner och fabrikshall, samt utveckling av gamla maskiner och installering av nya.

Enligt ett EPS-arbete från 2010, Renewable Energy Process In Flexipack av Gulbjørnrud m.fl. år 2010, använder de två största maskinerna i fabriken, tillsammans årligen ca 2,97 GWh el-energi bara i smält- och matningsprocessen, vilket ger en stor överskottsvärme. På samma gång köper man in 997 MWh värmeenergi genom fjärrvärme för att värma upp hall- och kontorsutrymmen.

För detta arbete valde jag att utreda värmeflöden i ett ventilationssystem som skall leda överskottsvärme till en värmeåtervinning i hallen, istället för att släppa ut den genom toppventilatorer.

## 1.1 Företagsbeskrivning

Flexipack Ab är ett familjeägt företag som tillverkar barriärplastfilm till främst matindustrin. Företaget profilerar sig som ett litet flexibelt företag med nära kontakt med kunden där recepten på plastfilmen kan ändras specifikt för kundens behov. Företaget är beläget på Uponors område i Vasa och har 32 anställda. Omsättningen är 11 miljoner euro.

Plastfilmen som produceras med filmblåsning kan ha upp till åtta olika skikt av olika material med olika egenskaper. De mest tillverkade produkterna är plastfilm med syre och annan gasbarriär samt plastfilm som kan djupdras till en viss form.

## **1.2 Syfte**

I fabrikshallen vid Flexipack har man byggt ut delar av ventilationssystemet för att fokusera på varma punkter i fabriken. Syftet med detta lärdomsprov är att undersöka värmeflöden i dessa delar för att ge ansvariga i fabriken en överblick av eventuella energibesparingar.

## **1.3 Bakgrund**

Företaget har sedan länge försökt att optimera de olika delarna av produktionen, en av delarna har varit energiåtgången. Under vintermånaderna köper företaget in fjärrvärme för att värma upp kontors- och lagerutrymmen fastän maskinerna producerar ett stort värmeöverskott.

År 2010 gjordes det ett EPS-arbete vid fabrikshallen där det mättes energiflöden i hallen och energiförbrukningen kartlades. Som en följd av detta projekt har ventilationen byggts ut för att mer värmeenergi skall kunna tas tillvara.

## **1.4 Avgränsningar**

Arbetet har avgränsats till att behandla de delar av ventilationen i fabrikshallen som är tillbyggda efter ett EPS-projekt som utfördes år 2010.

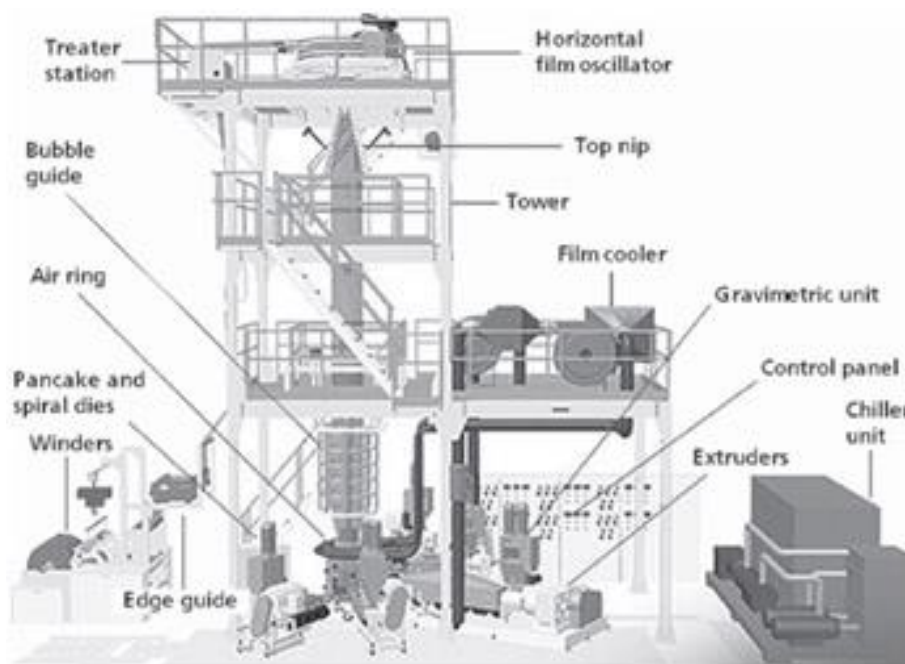
## 2. Plastextrudering och teknisk information

I detta kapitel beskrivs plastfilmsextruderingsprocessen och maskinernas olika huvuddelar.

### 2.1 Grunderna i plastfilmsextrudering

Plastfilmblåsning är en metod för att tillverka plastfilm bestående av ett eller flera lager av olika plastmaterial. Processen baserar sig på att man blåser upp en bubbla som bildar ett rör av plastfilm rakt uppåt och därefter samlar upp filmen på rulle.

Processen börjar med plastgranulat som förs in i en eller fler skruvar (se 2.2 Skruvarna), där plasten smälts och pressas in i ett huvudverktyg även kallat munstycke. Där bildas de olika lagren och pressas mot varandra för att bilda en film. Filmen dras uppåt och kyls på vägen så den stelnar. Blåsan som bildas kan vara tiotals meter lång. Den cirkulära blåsan plattas sedan ut mellan två valsar och förs via eventuella behandlingsprocesser vidare till en upprullningsmaskin, där den rullas upp på rullar. (IHS Engineering 360) (Whelan m.fl, s.2-10)



Figur 1. Filmbåsningsprocessen (IHS Engineering 360)



## 2.1 Råmaterialet och dess matningssystem

Råmaterialet som används för att tillverka filmen kommer i form av granulat. Till film av lägre kvalitet kan även flisad restplastfilm i vissa fall användas som råmaterial.

De vanligaste polymererna som används är:

### **Grundmaterial:**

Low-density Polyethylene, PE-LD

High-density Polyethylene PE-HD

### **Tilläggsmaterial:**

Polyamide, PA

Ethylene vinyl alcohol copolymer, EVOH

Polybutene, PB



*Figur 2. Polyetengranulat (Plastic Granules u.å)*

Granulaten transporteras till skruvarna genom rör som suger upp råvaran med vakuumpumpar. Grundmaterialen som det går åt mest av förvaras i silon, men man kan behöva fylla på tilläggsmaterial ur säckar. Ovanför varje skruv finns små dagsilon för varje material. Råmaterialen och tillsatserna blandas sedan i skruven, fördelningen av mängden olika material sker med små matarskruvar vars rotationshastighet kan ändras. Problem uppstår i flerlayersfilm då olika material har olika egenskaper. Ett vanligt problem är då en film kräver både polyamid och polyeten. I och med att polyeten fryser vid en lägre temperatur samt krymper mer vid frysning än polyamid, så kommer den slutliga filmen att dra ihop sig och böja sig åt den sidan som polyeten är på. Detta kallas på engelska för curl, och en sådan typ av film kräver olika former av bearbetning. Polyetenens kristalliserings temperatur är vid 80-120°C, polyamidens kristalliserings temperatur ligger på 140-180°C. Ett vanligt sätt är att leda filmen genom ett varmvattenbad med vatten uppvärmt till 45-80°C.

Det är viktigt att hålla råmaterialen rena och inom rekommenderade förhållanden. Allt som kommer med i råmaterialet kommer med direkt i filmen. Detta är extra viktigt om filmen skall vara av livsmedelskvalitet. Råmaterialens behållare bör vara övertäckta och många av materialen tar åt sig vatten, vilket betyder att de inte bör få kontakt med luft för länge. Råmaterialet borde även förvaras i rumstemperatur för att minska risken för att skapa kondensation på granulaten och därmed få med vatten i plastsmältan. (Whelan m.fl, s.72-75) (Dr W Goetz 2005 ,Curl reduction by hot-water bath s.33-35)

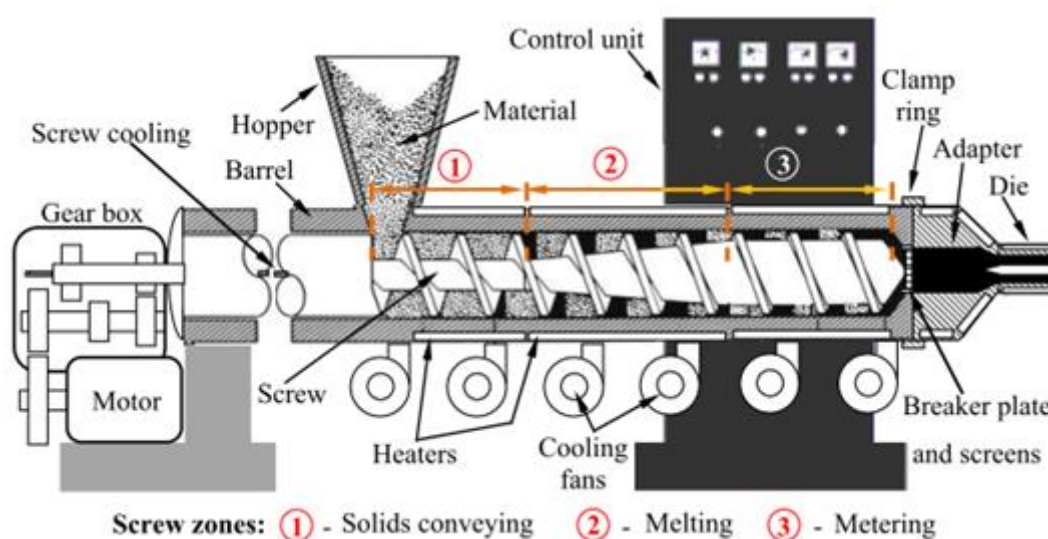
## **2.2 Skruvarna**

Skruvarnas uppgift är att smälta plasten, blanda råmaterialet med dess tillsatser samt mata in materialet till huvudmunstycket. Det finns olika typer av skruvar och en plastextruderingsmaskin kan ha olika antal skruvar beroende på vilken plastkvalitet man vill åstadkomma. För varje skruv får man ett lager av specifik materialblandning i den slutliga plastfilmen.

I följande stycke behandlas tekniska lösningar som används i de två extruderingsmaskinerna vid Flexipack Ab.

Extrudern drivs av en elmotor placerad under skruven, kraften överförs via en växellåda till skruven. Skruven är utformad så att materialet matas in i början, vartefter materialet matas genom skruven så höjs trycket i skruven. Trycket höjs med ett kompressionsförhållande på 1:3 – 1:3.5. Plasten smälts och blandas som en smält massa. (se Figur 3. Zone 2 och 3 ). I slutet av skruven finns det en siktduk av vävd metalltråd som skall filtrera bort eventuellt osmält granulat. Filtren eller silen kommer i olika dimensioner och grovlekar beroende på materialvalet. Temperaturen ändras beroende på materialet, men ligger mellan 200-300 °C. Hela skruven med dess cylinder är uppvärmd med elmotstånd som håller skruven på en jämn nivå. Det är i detta skede som det går åt mest energi i plastfilmstillverkningen.

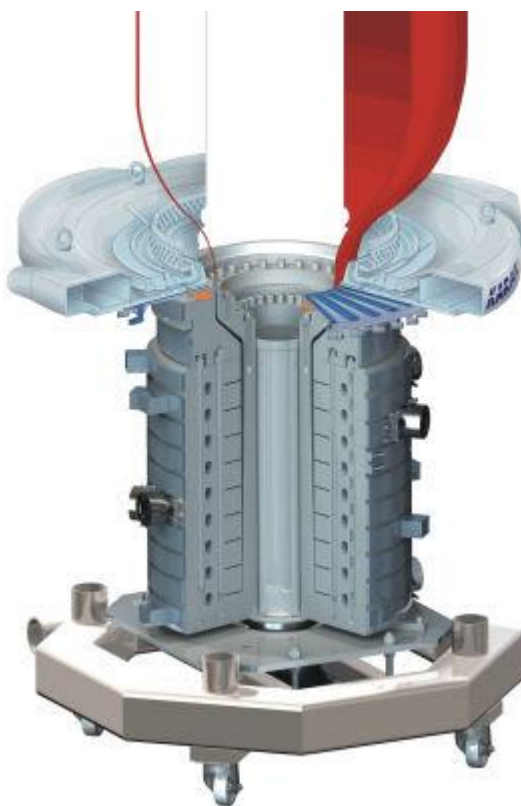
Skruvarna till maskin nr 5 vid Flexipack har totalt en effekt på 278 kW och är igång ca 5000 timmar/år vilket ger en årlig elkonsumtion på 1,39 GWh. Skruvarna till maskin nr 8 har en total effekt på 502 kW och är ingång ca 3150 timmat/år vilket ger en total årlig elkonsumtion på 1,57 GWh. (Gulbjørnrud m.fl, 2010 s.56-58) (Dr W Goetz 2005) Whelan m.fl, s.92-93)



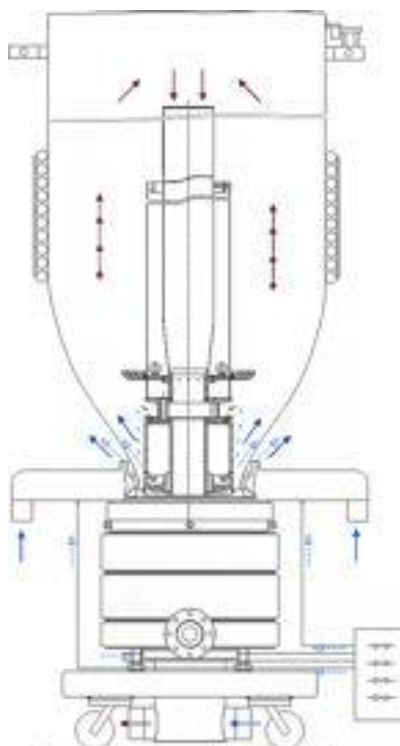
Figur 3. Överblick av en skruvs olika delar. (Isac 2012)

## 2.3 Huvudverktyget

Huvudverktyget eller huvudmunstycket, är uppbyggt i lager av tjocka metallplattor vilka är bearbetade så det bildas kanaler inuti verktyget, i vilka den smälta plasten kan flöda. För varje skruv finns det ett lager inbyggt i verktyget. Verktygets uppgift är att leda ihop den smälta plasten för att bilda en film. Materialet pressas genom verktygen med tryck från skruvarna. Då materialet från de olika skruvarna kommer upp genom munstycket, har de bildat en enhetlig massa. Massan dras upp genom den slutgiltiga munstycksdelen. Där börjar materialet genast kylas ner med kylluft från utsidan och eventuellt genom en innerkylning som cirkulerar luft inuti filmblåsan. Filmens fryslinje, det vill säga där plasten stelnar, kan oftast ses tydligt en bit ovanför munstycket då den fått sin slutgiltiga diameter. Plastens tjocklek och bredd bestäms i det här skedet med att reglera trycket inuti filmblåsan och genom att öka och sänka kyleffekten av plasten. (se figur 5.)



*Figur 4. En genomskärning av de olika lagren i ett filmblåsningsverktyg (Blown Film Dies u.å)*



Figur 5. Skiss över kylningen av plastfilmblåsan med varm- och kallluftsflöden. (Blown Film Dies)

## 2.4 Oscillering

Fastän filmblåsning ger en väldigt hög kvalitet samt jämn tjocklek på filmen så kan man inte helt undvika tjockleksvariationer. Om dessa variationer beror på huvudmunstycket kommer felen alltid att vara på samma ställe på filmrullen, vilket betyder att då filmen rullas upp på rulle så byggs de små felen på och rullen blir ojämn. Det problemet löses genom att sprida ut de små felen över rullen. För detta finns det flera olika tekniska lösningar. (Macro 2015)

### 2.4.1 Roterande eller oscillerande verktyg

Ett av de vanligare sätten att sprida ut felen är att ha ett roterande eller oscillerande huvudverktyg där hela verktyget roterar helt eller roterar fram och tillbaka med en låg hastighet. Fördelarna med detta system är att det är relativt enkelt uppbyggt och kostnadseffektivt. Nackdelarna är att verktyget blir högt och svårtillgängligt vid produktion och underhåll. (Macro 2015)

## 2.4.2 Oscillerande extruder

I en oscillerande extruder är både skruvarna samt verktyget monterade på en gemensam platta och oscillerar tillsammans. Denna metod passar endast till väldigt små extruderlinjer. Att bygga en stor oscillerande extruderlinje skulle vara opraktiskt och kräva mycket golvyta och kräva lösningar för materialmatningen. (*Macro 2015*)

## 2.4.3 Roterande tornplattform med upprullning

Vid roterande tornplattform med upprullning så är upprullningsmaskinen vid nypet, d.v.s. vid slutet av filmblåsan. Detta är en enkel och bra metod för att sprida ut felen på rullen, men det betyder att den slutliga rullen skall transporteras ned från vad som kan vara ett väldigt högt torn. (*Macro 2015*)

## 2.4.4 Roterande nyp- och oscilleringsplattform

Roterande nyp och oscilleringsplattform finns i två utföranden; Med liggande valsar och med stående valsar. I båda varianterna roterar nypvalsarna med oscilleringsplattformen och filmblåsan plattas ut till en film som sedan leds vidare i linjen. Idén med båda metoderna är att hela tiden kunna nypa om filmblåsan från olika håll och därmed sprida ut felen. Denna metod är den vanligaste och fungerar både till ett och flera skikt. (*Macro 2015*)

## 2.5 Upprullningsmaskinen

Ovanpå upprullningsmaskinen finns knivarna som normalt skär filmblåsan i två delar, och eventuellt i olika bredder. Filmen rullas sedan upp på två olika sidor av maskinen på två olika rullar. Maskinens automatik sköter mätningen av längden på filmen och skär av den vid rätt längd och börjar på en ny tom hylsa. (*Macro 2015*)

### **3. Värmeåtervinning och uppvärmning**

År 2009 köpte Flexipack in el-energi för ca 162 000 €, av vilken största delen gick till de två extruderingslinjerna som i sin tur producerar en stor del spillvärme. Denna spillvärme värmer till en del upp hallen, men den största delen ventileras ut genom toppventilatorer. Samma år köptes det in fjärrvärme för ca 48 000 € för uppvärmning av lager-, kontors- och fabriksutrymmen. (Gulbjørnrud m.fl. 2010)

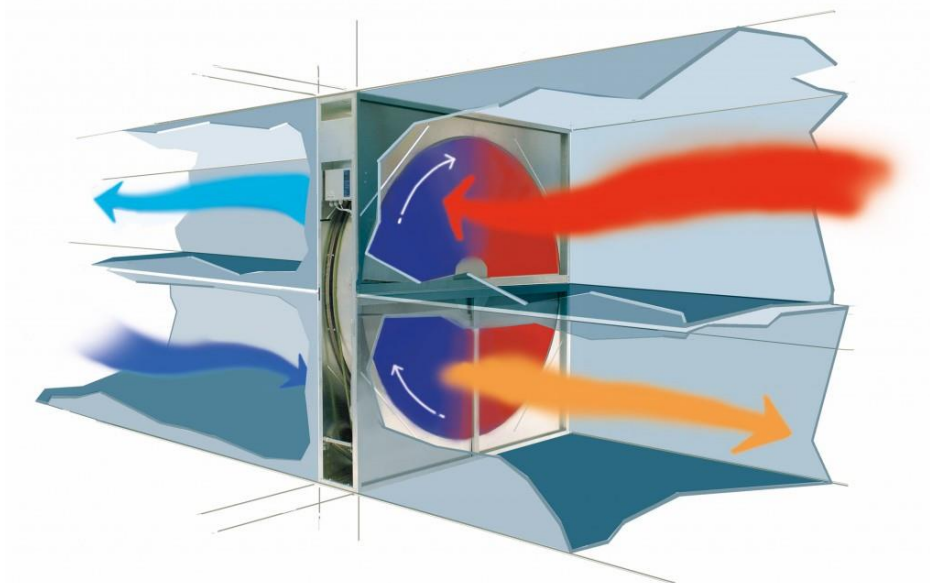
#### **3.1 Värmeväxlare**

En värmeväxlare överför värmeenergi från ett medium till ett annat. Det handlar vanligen om att överföra värme från vatten eller luft, men det kan också vara andra vätskor och gaser samt ibland fasta ämnen. Värmeväxlare används för att behålla värme vid ventilation eller för passiv kylning. Värmeväxlare finns nästan överallt, t.ex. i radiatorer i hus, kylskåp och ventilationssystem. Man använder också värmeväxlare i elproduktion, kraftverk, livsmedelsindustrin och fjärrvärmeanläggningar. I varmvattensystem finns också värmeväxlare, vilket gör det möjligt att överföra värme till kranvattnet. I kylskåp används värmeväxlare tillsammans med ett kylmedium för att kyla luften som finns i kylskåpet. I bilar finns det flera olika typer av värmeväxlare t.ex. kylaren och värmebatteriet. En värmepump har en värmeväxlare som värmer den ingående luften tillsammans med den utgående luften, vilket gör att värmen som finns i luften tas tillvara. Hurdan värmeväxlare man ska välja beror på vad man ska ha värmeväxlaren till. De har alla olika verkningsgrad och olika effektivitet. (Värmeväxlare.nu u.å.)

##### **3.1.1 Rotorvärmeväxlare**

I en roterande värmeväxlare finns en rotor som roterar med hjälp av en elmotor. Rotorn värms upp av frånluften och kyls ner av tilluften och därmed värmer tilluften. En nackdel med denna värmeväxlare är att den blandar ihop till- och frånluft en aning. Den kan inte användas i utrymmen med väldigt dålig luft. (Borg 2013, s.39-41)

Rotorn är gjord av en tunn veckad aluminiumplåt, eller kanaler av mikroglas. Ytan på rotorn kan binda fukt och överföra den. Strömningen i kanalerna är laminär eller semiturbulent på grund av kanalernas storlek. Jämfört med andra återvinningssystem har den en mycket hög verkningsgrad. Temperaturverkningsgraden kan regleras med rotationshastigheten eller med en by-pass ventil. En normal roteringshastighet är mellan 0,5 och 20 varv per minut. Nedfrostning av rotorn kan åtgärdas med en sänkt rotationshastighet. (Fläktwoods 2008)

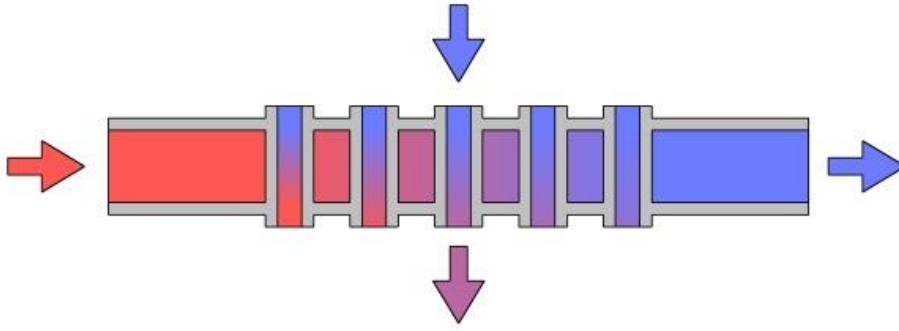


*Figur 6. Rotorvärmväxlare (Enventus u.å)*

### **3.1.2 Korsströmsvärmväxlare**

I en korsströmsvärmväxlare, även kallad plattvärmväxlare, flödar det varma mediet vinkelrätt mot det kalla. Denna är vanlig i småhus, bilar och luftkonditioneringsaggregat p.g.a. att den går att göra liten och kompakt. Plattvärmväxlaren är tekniskt sett enkel och utan rörliga delar. Däremot kan den vara svår att rengöra och dess verkningsgrad ligger på ca 50-60 %. (Borg 2013, s.39-41) (Svensk ventilation u.å)

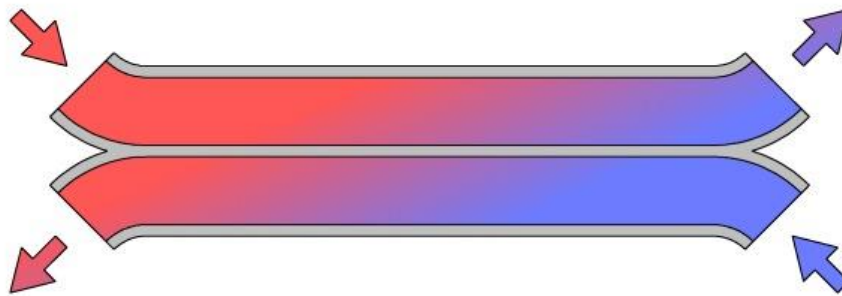




Figur 7. Korsströmsvärmväxlare (Ryde 2004)

### 3.1.3 Motströmsvärmväxlare

I en motströmsvärmväxlare flödar de två medierna mot varandra i olika riktning. Denna typ av värmväxlare är effektiv och kan överföra nästan all värme från det varma mediet till det kalla. Den används vanligtvis i ventilationssystem. Dess verkningsgrad ligger på ca 90 %. (Borg 2013, s.39-41) (Svensk ventilation u.å)



Figur 8. Motströmsvärmväxlare (Ryde 2004)

### 3.2 Värmeflöden i hallen

Hallen vid Flexipack har ett ventilationssystem försett med två rotorvärmväxlare. Frånluften har före ett EPS-projekt år 2010 tagits via ventilationsrör monterade på medelhög nivå i hallen. Efter EPS-2010 projektet har man försökt bygga ut ventilationssystemet för att fokusera utsugen på extra varma punkter i hallen. Eftersom byggnaden är utbyggt på höjden så söker sig varmluften uppåt, vilket gör att temperaturen vid taket vid de högsta punkterna ligger kring 40 °C på vintern, och högre på sommaren. Detta skapar problem vid filmtillverkningen, vilket man nu löser med att släppa ut en del varmluft genom toppventilatorer i taket, samt med utbyggnad av värmeutsug vid varma punkter.



*Figur 9. Nybyggd del av ventilation för varmluftsutsug ovanför huvudverktyget och sugpumpar till maskin nr5.*

De varma punkterna man har valt att suga varmluft från är:

- Ovanför huvudverktygen på båda extruderlinjerna. Där har det blivit tillbyggt filterhållare för att filtrera bort fett som kommer från plastproduktionen. (se bilaga 1)
- Vid utblåset för sugpumparna till båda extruderlinjerna.
- Vid oscilleringen till maskin nr 8. (se bilaga 2)
- Vid taket mitt i hallen. (se bilaga 3)

#### **4. Tillvägagångssätt**

Jag gjorde mätningarna med luftflödesmätare Testo 435-4 och till den använde jag en multifunktionsgivare.

Mätningarna gjorde jag på sex olika ställen vid sex olika ventilationsrör. För att få plats med givaren borrade jag ett 13mm stort hål på sidan av röret. Jag mätte även diametern på röret för att veta hur långt in jag skulle sätta mätaren. De mätningar som gjordes var luftströmningshastigheten i m/s samt temperaturen i °C. På mätaren fanns det märkta mått vilket underlättade att veta var i röret givaren befann sig. Mätningarna gjorde jag i mitten av röret samt vid rörets halva radie.

Mätapparaturen Testo 435-4 hade en funktion som gav ett medeltal på en viss tid, vilken jag använde mig av. För varje rör gjordes sex mätningar, tre i mitten av röret och tre vid rörets halva radie. Varje mätning är ett medelvärde för 10 sekunder. Värdet som använts i detta projekt är medelvärdet av alla de mätningarna för ett specifikt rör. Förutom mätresultaten till maskin nr 5:s vakuumpumpar vilket endast har ett tio sekunders medeltal vid halva radien samt de vanliga tre medelvärdena i mitten av röret.

Flödes hastigheten och temperaturen var väldigt konstant i de flesta av ventilationsrören, så det skulle ha räckt att använda ett medelvärde från en mycket kortare tid.

Däremot varierade både temperaturen samt flödes hastigheten i utloppen från vakuumpumparna på grund av olika effektbehov. Därför valde jag att använda ett medelvärde för en lite längre tid vid olika tillfällen. Rå data från dessa mätningar kan ses i resultatet.

#### 4.1 Mätinstrument

Mätningarna utfördes med en Testo 435-4 som är en luftflödesmätare med multifunktion. Mätaren kan användas till mätning av temperatur, tryck, fukt, och CO<sub>2</sub>. Till mätaren användes en varmtrådgivare med luftfuktighetsmätning vars mätområde ligger vid -20 ... +70°C. 0...100% RH 0 ... 20 m/s. Med noggranhet:  $\pm 0,3$  °C  $\pm 2\%$  RH  $\pm 0,3$  m/s. (Nordtec 2015)



Figur 10 Testo 435-4

## 5. Resultat

I detta kapitel redogörs för resultatet av utförda mätningar.

### 5.1 Mätdata

Efter att rå data har bearbetats så ser mätvärdena ut som följande:

	Rördiameter [mm]	Medelhastighet [m/s]	Medeltemperatur [°C]
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr 5	355	5,9	29,1
Utsug från sugpumparna maskin nr 5	225	1,7	76,5
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr 8	500	2,7	29,1
Utsug från sugpumparna maskin nr 8	375	1,1	64,3
Utsug vid oscillering vid maskin nr 8	290	4,5	38,4
Utsug vid taket mitt i hallen	290	7,8	31,9

#### Maskin nr 5

	v [m/s]	T[°C]
Vid kanten	1,2	83,4
I mitten	0,7	71,3
	1,7	79,2
	1,1	72,2
medeltal	1,2	76,5

Maskin nr 8

	v [m/s]	T[°C]
Vid kanten	1,4	68,3
	1,2	51,0
	0,1	55,5
I mitten	0,1	69,8
	1,3	69,4
	1,6	72,0
medeltal	1,1	64,3

## 5.2 Uträkningar

Volymflödet är uträknat genom att räkna ut rörets area i m<sup>2</sup>:

$$\dot{V} = (\pi \cdot r^2) \cdot v$$

Där:

$\dot{V}$  = volymflödet [m<sup>3</sup>/s]

r = radien [m]

v = flödeshastigheten [m/s]

Vilket ger värdena:

	Temperatur [°C]	Volymflöde m <sup>3</sup> /s
Utsug ovanför huvudverktyger maskin nr 5	29,1	0,59
Utsug från sugpumparna maskin nr 5	76,5	0,05
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr 8	29,1	0,53
Utsug från sugpumparna maskin nr 8	64,3	0,12
Utsug vid oscillering vid maskin nr 8	38,4	0,29
Utsug vid taket mitt i hallen	31,9	0,52

Volymflöde till massflöde:

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$$

Där:

$\dot{m}$  = massflöde [kg/s]

$\rho$  = luftens densitet [kg/m<sup>3</sup>]

$\dot{V}$  = volymflöde [m<sup>3</sup>/s]

Luftens densitet:

$$\rho = p/R \cdot T$$

Där:

$p$  = absoluta trycket, i detta arbete används 101325 [Pa]

$R$  = specifika gaskonstanten, för torr luft: 287,058 [J/kg\*k]

$T$  = temperatur, [K]

Tabell med uträknade värden:

	Luftens densitet [kg/m <sup>3</sup> ]	Massflöde [kg/s]
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr 5	1,21	0,71
Utsug från sugpumparna maskin nr 5	1,04	0,05
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr 8	1,21	0,64
Utsug från sugpumparna maskin nr 8	1,08	0,13
Utsug vid oscillering vid maskin nr 8	1,17	0,34
Utsug vid taket mitt i hallen	1,19	0,62



Luftens energiinnehåll räknas ut från:

$$\dot{W} = \dot{m} \cdot c_p \cdot T$$

Där:

$\dot{W}$  = energiflöde [kJ], energiflödet kommer att få enheten [kJ/s] = [kW]

$\dot{m}$  = massflöde [kg/s]

$c_p$  = värmekapacitet, för luft mellan 0-100 °C kan man räkna med  $c_p = 1,01$  [kJ/kg · K]

T = temperatur [°C]

Tabell med de slutgiltiga intressanta värdena:

	Medeltemperatur	Volymflöde	Energiflöde
	[°C]	m <sup>3</sup> /s	kJ/s
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr5	29,1	0,59	20,9
Utsug från sugpumparna maskin nr5	76,5	0,05	3,9
Utsug ovanför huvudverktyget maskin nr8	29,1	0,53	18,8
Utsug från sugpumparna maskin nr8	64,3	0,12	8,4
Utsug vid oscillering vid maskin nr8	38,4	0,29	13,2
Utsug vid taket mitt i hallen	31,9	0,52	20,0

Det totala flödet i de nybyggda delarna av ventilationen i fabriks hallen är:

Volymflöde: 2,1 m<sup>3</sup>/s

Energiflöde: 85 kW

## 6. Avslutande diskussion

Syftet med detta arbete var att mäta energiflöden i de nybyggda delarna av ventilationssystemet. Detta för att man skall kunna få en överblick av hur mycket spillenergi man kan ta tillvara.

Fabriken är försedd med rotorvärmväxlare vilket har en hög verkningsgrad. Verkningsgraden för denna typ av värmväxlare uppges till ca 80 %. Jag skulle dock uppskatta att verkningsgraden är lite lägre p.g.a. smuts och speciellt fetter som uppkommer vid plastfilmstillverkningen. Men skulle man räkna med en verkningsgrad på 80 % så kunde man vintertid ta tillvara 68 kW av det kontinuerliga flödet på 85 kW.

År 2010 mättes det att genom ventilationen strömmade det ut totalt 9,9 m<sup>3</sup>/s. Om man jämför detta med volymflödet i de nya delarna av ventilationen, så ser man att 2,1 m<sup>3</sup>/s av totalflödet har flyttats till punkter med överskottsvärme. Detta går dock inte att direkt jämföras p.g.a. olika inställningar på ventilationsfläkten.

Det är en stor uppvärmningseffekt för sig, dock inte jämfört med den totala energikonsumtionen. Däremot kan man konstatera att det skulle löna sig att bygga ut ventilationssystemet ytterligare. Man kunde speciellt fokusera på de högsta ställena i fabriken. Det skulle vara möjligt att leda bort tillräckligt med varmluft för att kunna stänga igen toppventilatorerna. Att stänga igen toppventilatorerna skulle minska undertrycket vid fabriken golvnivå, så länge man leder in tillräckligt med sval luft. Undertrycket uppstår då den varma luften naturligt strömmar uppåt. Speciellt vid installation av nya maskiner så skulle det löna sig att använda ventilationssystemet för att leda bort värme.

För att vidare utveckla värmeåtervinningssystemet kunde man undersöka möjligheten för ett vattenburet system. Antingen genom att värma vatten med vilken man direkt skulle värma den inkommande luften. Eller så kunde man använda sig av luftvärmepumpar för att värma vatten till det vattenburna värmesystemet istället för att värma det med fjärrvärme.

## Källförteckning

Borg, M. (2013). Energiteknik1 (kompendium). Vasa: Yrkeshögskolan Novia.

Blown Film Dies. (u.å.).

[http://www.eta-kunststofftechnologie.de/en/2\\_en\\_extrusionswerkzeuge\\_blasfolienwerkzeug.htm](http://www.eta-kunststofftechnologie.de/en/2_en_extrusionswerkzeuge_blasfolienwerkzeug.htm) (hämtat 4.3.2016)

Dr W Goetz. (2005). Processing of Ultramid® Film Grades. BASF.

Enventus. (u.å.). The Functional Principle of Rotary Heat Exchangers

<http://enventus.com/en/products/general-principle/> (hämtat 18.2.2016)

Fläktwoods. (2008). Teknisk handbok-luftbehandlingsteknologi

<http://www.flaktwoods.no/0/0/2/4293030b-bd15-4dad-9904-d9a0217086fa>  
(hämtat 18.2.2016)

Gulbjørnrud, m.fl. (2010). Renewable Energy Process In Flexipack EPS 2010. Vasa:

Yrkeshögskolan Novia.

IHS Engineering360.(u.å.).

<http://www.globalspec.com/reference/66578/203279/6-6-film-blowing> (hämtat 18.2.2016)

Isac. (2012).

<http://isac.wikidot.com/intelligent-control-of-single-screw-polymer-extruder>  
(hämtat 23.2.2016)

Macro. Advanced Extrusion Systems. (2015).

<http://www.macroeng.com/oscillating-nip-system-for-improved-blown-film-gauge-randomization.php> (hämtat 7.3.2016)

Nordtec. (2015).

<http://www.nordtec.se/produkter/handinstrument/multifunktion/testo-435-4#tab-1>  
(hämtat 26.3.2016)

Plastic Granules. (u.å.).

<http://www.indiamart.com/jain-plastic-packaging/plastic-granules.html> (hämtat 19.2.2016)

Plastportalen. (u.å.).

<http://plastportalen.se/filmblasning/> (hämtat 23.2.2016)

Ryde. (2015).

<https://sv.wikipedia.org/wiki/V%C3%A4rmev%C3%A4xlare> (hämtat 18.2.2016)

Svensk Ventilation - Bransch i samverkan. (u.å.).

<http://www.svenskventilation.se/ventilation/varmevaxlare/> (hämtat 18.2.2016)

Värmeväxlare.nu. (u.å.).

[www.varmevaxlare.nu](http://www.varmevaxlare.nu) (hämtat 18.2.2016)

Whelan, T. & Goff, J. (u.å.). The Dynisco Processors Handbook - 2nd edition. Dynisco.

