





## Forord

Denne oppgaven ble utført for å få en oversikt over energiforbruket med tanke på optimalisering ved fiskefabrikken til BioMar som ligger i Myre i Vesterålen. Oppgaven kom til etter at fabrikken ytret et ønske om å redusere energiforbruket. Det er i pr. i dag ikke mange nok online-målinger av parametere til å kunne si nok om energiforbruket. Derfor er det sett på installerte målere pr. dags dato, og hvilke type målere som må installeres for å få en oversikt over energiforbruket. Det er også foretatt en forstudie av energigjenvinning fra en av tørkene i fabrikken, samt installasjon av frekvensomformere på noen aktuelle motorer.

Jeg ønsker å takke hovedveilederen min John Mosbye for støtte og hjelp til tekniske og praktiske utfordringer. Takk til biveilederen min Tom Jacobsen hos Goodtech i Oslo som har vært til stor hjelp med å skaffe underlag til oppgaven, logistikk og teknisk hjelp med el/auto prissetting og underlag.

De ansatte på BioMar Myre fortjener også en takk for en flott mottakelse og teknisk hjelp rundt anlegget på fabrikken. Det ønskes også å takke flere av mine medarbeidere i Goodtech både i Fredrikstad og Oslo med hjelp rundt oppgaven. Familien min og samboeren min Ida fortjener også en stor takk for støtte gjennom denne oppgaven og studiene.

Halden 14.05.2014

Stian Brække

## Sammendrag

BioMar Myre har i dag få målinger over energiforbruket i fabrikk. Det er lagd en oversikt over hvilke målere som finnes i dag og hvilke målere som må til for å få en oversikt over de største forbrukerne av gass og damp. Av elektrisitet anbefales det å koble opp målere fra inntaket og de frekvensomformerne som er av interesse slik at en online-oversikt over forbruket kan overvåkes, logges og trendes.

Av optimaliseringstiltak er tre tiltak vurdert; installasjon av frekvensomformere på elektromotorer, returnere en delstrøm av luften ut av den ene tørka i fabrikk inn i tørka og installasjon av varmeveksler for å gjenvinne energien i luften ut av den ene tørka.

Mange elektromotorer ved fabrikk hadde allerede installert frekvensomformer for regulering av turtall. Motorlister for hele fabrikk ble gjennomgått, det ble sett på motorer uten frekvensomformer over 10 kW som det ble antatt en mulighet for reduksjon i turtall. Ved flere av motorene som ble undersøkt ble det funnet lønnsomt å installere frekvensomformere.

For retur av en delstrøm av utluften til tørken ble det funnet lønnsomt. Men med usikkerhet knyttet seg til utførte målinger og forlenget tørketid.

Installasjon av luft til vann varmevekslere i luftstrømmen etter tørkene som er en kjent teknologi ble funnet lønnsomt gitt målingene i oppgaven.

Fuktighetsmålinger og volumstrømmålinger ved fabrikk er ikke utført på samme sted på grunn av begrensninger i utstyr målingene skulle utstyres med. Det var ønske om en ny tur for befaring med nytt utstyr for å utføre korrekte målinger. Det var dessverre ikke mulig å utføre da en vedlikeholdsstopp ble forlenget og tidspunktet for reise ble for nærme levering av oppgaven. Det er derfor tatt utgangspunkt i uriktige tall og utført en forstudie for å få en pekepinn på om tiltakene kan være lønnsomme.

Bedriften anbefales å etablere energiledelsessystem med støtte fra Enova og på slik måte få installert målere og nødvendig software for å få en oversikt og fokus på energiforbruket i fabrikk.

Å kjøre forprosjekt og investering på frekvensomformere og enten returluft eller varmeveksler anbefales, også her bør støtte fra Enova søkes noe som vil gjøre investeringene enda mer lønnsomme gitt godkjent søknad.

## Abstract

Few measurements are done of the energy consumption at BioMar plant Myre today. An overview over the instruments installed and the ones required is made for gas and steam consumption. When it comes to the electricity, the instruments at the intake and the frequency converters that is of interest is recommended linked up to the control system. This will allow the energy consumption to be monitored, logged and trended.

Three different optimization methods is considered; installation of frequency converters for electric motors, return a part of the outgoing air from a dryer in to the dryer again and installation of heat exchangers in the outgoing air from the dryer.

Many of the electrical motors in the plant already have frequency converters installed to regulate the speed of the motor. Lists of all the engines for the plant were examined to find engines that were over 10 kW and had a possibility for a reduction of the speed of the engine. Installation of frequency converters were found profitable on several engines.

Returning a partial flow of the outgoing air was found profitable. But there is uncertainty in the measurement of the air and the prolonged drying time.

Installation of air to water heat exchanger is a well-known technology and was found profitable given the measurement of the air in this thesis.

The measurement of the moisture and flow at the plant were not performed at the same place because of limitations in equipment. Yet another trip to the plant was desired to take the correct measurement with new equipment. But the trip was not possible to do because of a maintenance shutdown that was prolonged so much that the time the new trip were to be was to near the deadline of the thesis. The thesis were therefore done as a preliminary study with the incorrect numbers to get an indication of the optimization methods were profitable.

It's recommended for the company to establish energy management system with financial support from Enova. In this way instruments can be installed and necessary software acquired to obtain an overview and focus of the energy consumption in the factory.

A preliminary project and investment of frequency converters or either return of air or the heat exchangers are recommended. It is recommended to contact Enova regarding financial support as this will do the investments more profitable given their support.

## Symbolliste

| Symbol       | Forklaring                                     | Enhet                   |
|--------------|--|-------------------------|
| $h_f$        | Tapshøyden i rette rør                         | m                       |
| $f$          | friksjonskoeffisienten til røret               | -                       |
| $L$          | Lengde   | m                       |
| $V$          | Hastighet                                      | $\frac{m}{s}$           |
| $D, d$       | Diameteren                                     | M                       |
| $g$          | Tyngdens akselerasjon                          | $\frac{m}{s^2}$         |
| $h_b$        | Tapshøyden av singularøstap                    | m                       |
| $k_b$        | friksjonskoeffisienten for bend, ventiler o.l. | -                       |
| $Q, \dot{V}$ | Volumstrøm                                     | $\frac{m^3}{h}$         |
| $n$          | Turtall, mol                                   | rpm, mol                |
| $h$          | Løftehøyde, entalpi                            | m, $\frac{kJ}{kg}$      |
| $P$          | Effekt og trykk                                | kW, Pa                  |
| $E$          | Spenning                                       | V                       |
| $I$          | Strøm  | A                       |
| $W, E, Q$    | Energi   | kWh                     |
| $t$          | Timer  | h                       |
| $\dot{n}$    | Molstrøm                                       | $\frac{mol}{h}$         |
| $R$          | Universelle gasskonstant                       | $\frac{J}{mol \cdot K}$ |
| $T$          | Temperatur                                     | K, °C                   |
| $M$          | Molarmasse                                     | $\frac{kg}{kmol}$       |

|                |  |  |
|----------------|--|--|
| $B_n$          | Nedre brennverdien                             | $\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$                      |
| $\dot{m}$      | Massestrøm                                     | $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$                       |
| $M$            | Masse  | kg   |
| $B_{\theta,V}$ | Øvre brennverdi                                | $\frac{\text{MJ}}{\text{m}^3}$                     |
| $B_{\theta}$   | Øvre brennverdi                                | $\frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$                      |
| mol%           | Molprosent                                     | %  |
| $h_y$          | Entalpi til fuktigluft luft                    | $\frac{\text{kJ}}{\text{kg tørr luft}}$            |
| $C_{pB}$       | Spesifikk varmekapasitet til luft              | $\frac{\text{kJ}}{\text{K} * \text{kg tørr luft}}$ |
| $C_{pA}$       | Spesifikk varmekapasitet til vanndamp          | $\frac{\text{kJ}}{\text{K} * \text{kg vann}}$      |
| $T_0$          | Referansetemperaturen                          | $^{\circ}\text{C}$                                 |
| $H$            | Fuktighetsinnhold i luft                       | $\frac{\text{kg vann}}{\text{kg tørr luft}}$       |
| $\lambda_0$    | Latente varme til vann ved $0^{\circ}\text{C}$ | $\frac{\text{kJ}}{\text{kg vann}}$                 |
| $V$            | Volum  | $\text{m}^3$                                       |
| $G$            | Totalt volum/masse tørr luft                   | $\frac{\text{m}^3}{\text{kg}_{\text{tørr luft}}}$  |
| $\dot{Q}$      | Varmeoverføringsrate                           | $\frac{\text{kJ}}{\text{s}}$                       |
| $A_s$          | Varmeoverføringsarealet                        | $\text{m}^2$                                       |
| $U$            | Varmeovergangskoeffisienten                    | $\frac{\text{W}}{\text{m}^2 * \text{K}}$           |
| $c_p$          | Spesifikke varmekapasiteten til vann           | $\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$           |

|                    |   |                                |
|--------------------|---|--------------------------------|
| $\rho$             | Tetthet   | $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ |
| A                  | Areal   | $\text{m}^2$                   |
| Re                 | Reynoldstall  | -                              |
| $\nu$              | Kinematiske viskositeten  | $\frac{\text{m}^2}{\text{s}}$  |
| NNV                | Nettonåverdi  | NOK                            |
| $U_0$              | Investeringskostnaden   | NOK                            |
| K                  | Årlige kontantstrømmen  | NOK                            |
| r                  | Renten  | %                              |
| n                  | År  | År                             |
| $\Delta T_{lm,CF}$ | Logaritmisk midlere temperatur for en varmeveksler som er motstrøms | K                              |
| $\Delta T_{lm}$    | LMTD for en krysstrømsvarmeveksler                                  | K                              |



## Innholdsfortegnelse

|  |     |
|--|-----|
| Forord .....   | I   |
| Sammendrag .....   | II  |
| Abstract .....   | III |
| Symbolliste .....  | IV  |
| 1 Innledning .....   | 4   |
| 1.1 Formål og begrensninger .....                            | 4   |
| 1.2 Om BioMar Myre .....                                     | 4   |
| 1.3 Bakgrunn om anlegget .....                               | 5   |
| 1.3.1 Hovedprosessen .....                                   | 5   |
| 1.4 Optimaliseringstiltak i industrien .....                 | 11  |
| 1.4.1 Frekvensomformere .....                                | 11  |
| 1.4.2 Returluft tørke .....                                  | 14  |
| 1.4.3 Varmeveksler .....                                     | 14  |
| 1.4.4 Energiledelse .....                                    | 14  |
| 2 Material og metode .....                                   | 15  |
| 2.1 Frekvensomformere .....                                  | 15  |
| 2.2 Ekstruder .....  | 15  |
| 2.3 Tørkene .....  | 15  |
| 2.3.1 Målinger til tørke 2 .....                             | 17  |
| 2.4 Oversikt energiforbruk, målere .....                     | 17  |
| 3 Teori beregninger .....                                    | 18  |
| 3.1 Energi i form av elektrisitet .....                      | 18  |
| 3.2 Energi i form av gass (LPG – Liquid petroleum gas) ..... | 18  |
| 3.3 Energi i form av damp .....                              | 20  |
| 3.4 Energien i fuktig luft .....                             | 20  |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 3.5    | Dimensjonering av varmevekslere .....   | 23 |
| 3.5.1  | Besparelse ved installasjon av varmevekslere.....                                 | 25 |
| 3.6    | Dimensjonering av rør og pumper vann .....  | 26 |
| 3.7    | Sende en delstrøm av luften ut i retur.....                                       | 27 |
| 3.8    | Dimensjonering av rør til returluft til tørke .....                               | 31 |
| 3.9    | Verifisering av måledata tatt på fabrikken .....                                  | 31 |
| 3.9.1  | Vannbalanse .....   | 34 |
| 3.9.2  | Energibalanse .....   | 35 |
| 3.9.3  | Hastighetsmålinger i rør .....  | 35 |
| 3.9.4  | Verifisering av luftmengde inn til tørka samt vannmengde fra forbrenning.....     | 36 |
| 3.10   | Utrekning av ny gjennomsnittseffekt etter installasjon av frekvensomformere ..... | 37 |
| 3.11   | Økonomisk analyse.....  | 38 |
| 3.11.1 | Tilbakebetalingsmetoden .....   | 38 |
| 3.11.2 | Nåverdimetoden .....  | 39 |
| 4      | Resultater .....  | 39 |
| 4.1    | Energibetraktninger for prosessen med tanke på målinger .....                     | 39 |
| 4.1.1  | Gass inn til tørkene.....   | 39 |
| 4.1.2  | Gass til dampproduksjon.....  | 41 |
| 4.1.3  | Elektrisitet .....  | 41 |
| 4.1.4  | Forbruket av damp .....   | 42 |
| 4.2    | Nye installasjoner energisparing .....  | 43 |
| 4.2.1  | Forbruk av varmtvann .....  | 43 |
| 4.2.2  | Varmeveksleranlegget.....   | 44 |
| 4.2.3  | Anlegg for returluft .....  | 49 |
| 4.3    | Frekvensomformere.....  | 52 |
| 4.3.1  | Installasjon av frekvensomformere på aktuelle motorer BioMar.....                 | 52 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4.3.2 | Motorer uten frekvensstyring, betraktning rundt potensiell besparelse .....     | 52 |
| 4.3.3 | Prissetting frekvensomformere .....   | 53 |
| 4.3.4 | Tilbakebetalingstid frekvensomformere .....                                     | 54 |
| 4.3.5 | Nåverdimetoden frekvensomformere.....   | 55 |
| 4.4   | Resultater utregning av øvre brennverdi .....                                   | 55 |
| 4.5   | Verifisering av luftmengde til forbrenning gass samt vann fra forbrenning ..... | 56 |
| 4.6   | Støtte fra Enova til forbedringer i industrien.....                             | 56 |
| 4.6.1 | Støtte til forprosjekt for energiltak i industrien.....                         | 56 |
| 4.6.2 | Støtte til energiltak i industrien.....   | 57 |
| 4.6.3 | Støttet til introduksjon av energiledelse i industri og anlegg .....            | 57 |
| 5     | Diskusjon .....   | 58 |
| 6     | Konklusjon.....   | 59 |
| 6.1   | Anbefalinger til fabrikken .....  | 60 |
| 6.2   | Forslag til videre arbeid .....   | 60 |
| 7     | Litteraturliste.....  | 61 |

# 1 Innledning

Det blir stadig høyere fokus på energieffektivisering i dages samfunn. Ved å redusere energiforbruket sparer bedrifter penger, miljøet spares og industrien i Norge styrkes med økt konkurransedyktighet. I følge Enova er det mulig å redusere energiforbruket i Norsk industri med 27 TWh innen 2020 (Enova.1 2009).

## 1.1 Formål og begrensninger

Hensikten med oppgaven var å registrere energiforbruket ved produksjonen av fiskefor, for deretter å kunne optimalisere prosessen.

Det er gått igjennom fabrikken og sett på eksisterende målere og nye målere som må installeres for å få en oversikt over energiforbruket i fabrikken.

På tre av de antatt mest lønnsomme måtene å spare energi på en har det blitt kjørt en forstudie. Det er gjenvinning av energi fra tørkene i fabrikken og installasjon av frekvensomformere slik at motorer kan kjøres med et lavere turtall. På en av de to tørkene i fabrikken er det sett på muligheten for å sende en delstrøm av utluften i retur. Det er også sett på installasjon av varmevekslere i luftstrømmen ut av den samme tørka for å gjenvinne varmen.

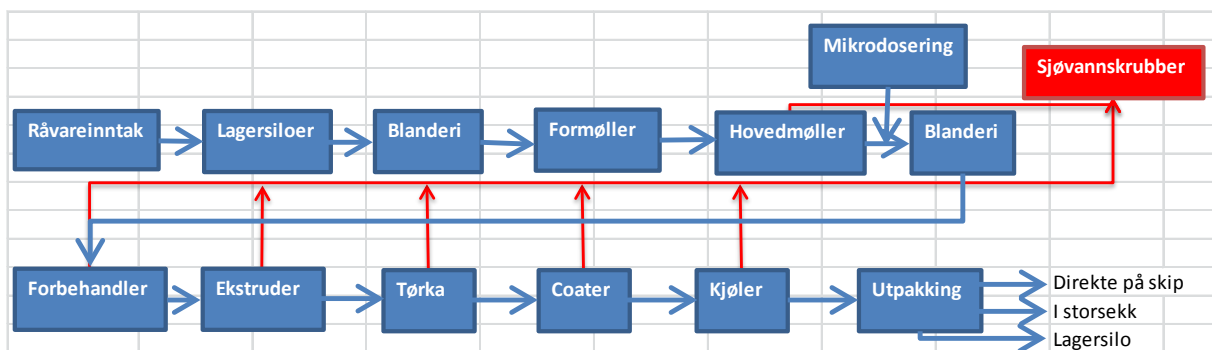
Oppgaven er en forstudie, detaljprosjektering er derfor ikke utført. Målingene er ikke verifiserte på noen måte og derfor ikke som noen sannhet å regne (det er lagt inn hvordan fremtidige målinger kan verifiseres, men for å begrense oppgaven har det ikke blitt utført). Prissetting av anlegg er hovedsakelig estimerer av erfaringspriser, mens noe er hentet inn spesifikt. Prissettingen er ikke et tilbud, men gjort for å illustrere hva er tenkt anlegg koster for å vite omtrentlig hva et anlegg koster slik at en økonomisk analyse kan utføres.

## 1.2 Om BioMar Myre

Fabrikken i Myre ble startet opp i 1986 med en produksjonslinje, linje 2 kom til i 1990. Det er fortsatt to produksjonslinjer ved fabrikken, men disse er nye ettersom de forrige brant i år 1998. Det to nye linjene er fra 2000 og 2011. I 2013 hadde fabrikken en produksjon på hele 217 000 Tonn med fiskefor. Fabrikken forbrukte 1,4 millioner Nm<sup>3</sup> med gass og hadde et strømforbruk på 18,5 millioner kWh (BioMar 2014).

### 1.3 Bakgrunn om anlegget

Et blokkskjema over fabrikkens prosess er skissert i Figur 1. Fra og med blanderi til og med kjøler er en linje. Det er to linjer i fabrikkens, det er bare tegnet inn en siden de er så å si identiske på detaljnivået i denne oppgaven. Råvareinntaket, lagersiloene og utpakkingen er da felles for begge linjene. Nedenfor følger blokkskjemaer over prosessen, det kan være flere av en komponent enn det som er tegnet opp, men det er ikke vesentlig for å få en oversikt over prosessen som trengs for denne oppgaven.

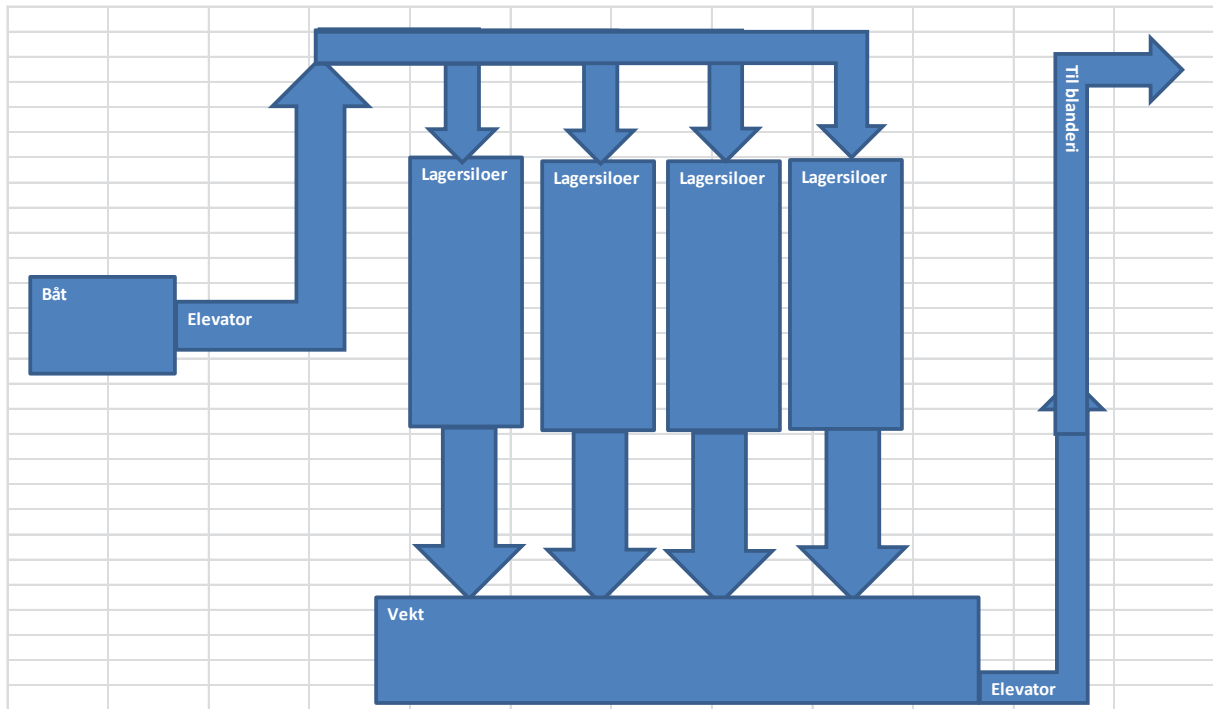


Figur 1 Hovedprosessen i blått viser råvarene som blir til pellet, avtrekket (luft) er rødt. Råvareinntaket, lagersiloene og utpakkingen er felles for begge linjene.

#### 1.3.1 Hovedprosessen

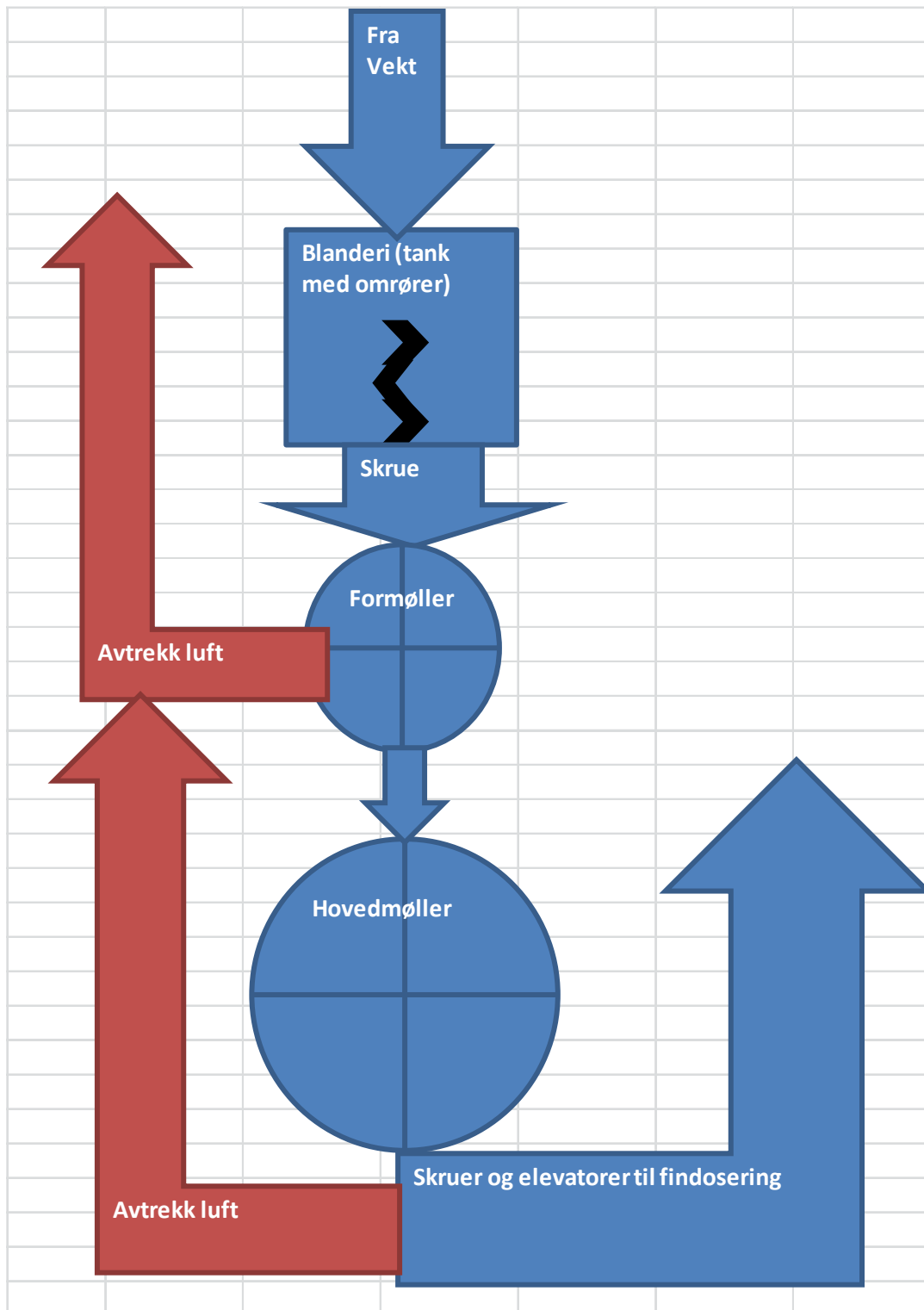
Ved produksjon av fiskefor trengs mange forskjellige ingredienser, kundene har forskjellige spesifikasjoner i forhold til hva de ønsker av innhold i foret.

Korn, mais, oljer og de andre ingrediensene til produksjonen kommer hovedsakelig med båt og blir transportert inn i siloer. Fra siloene blir de tørre ingrediensene veid opp batch-vis, se Figur 2.



Figur 2 Mottaket og lagertanker på fabrikk.

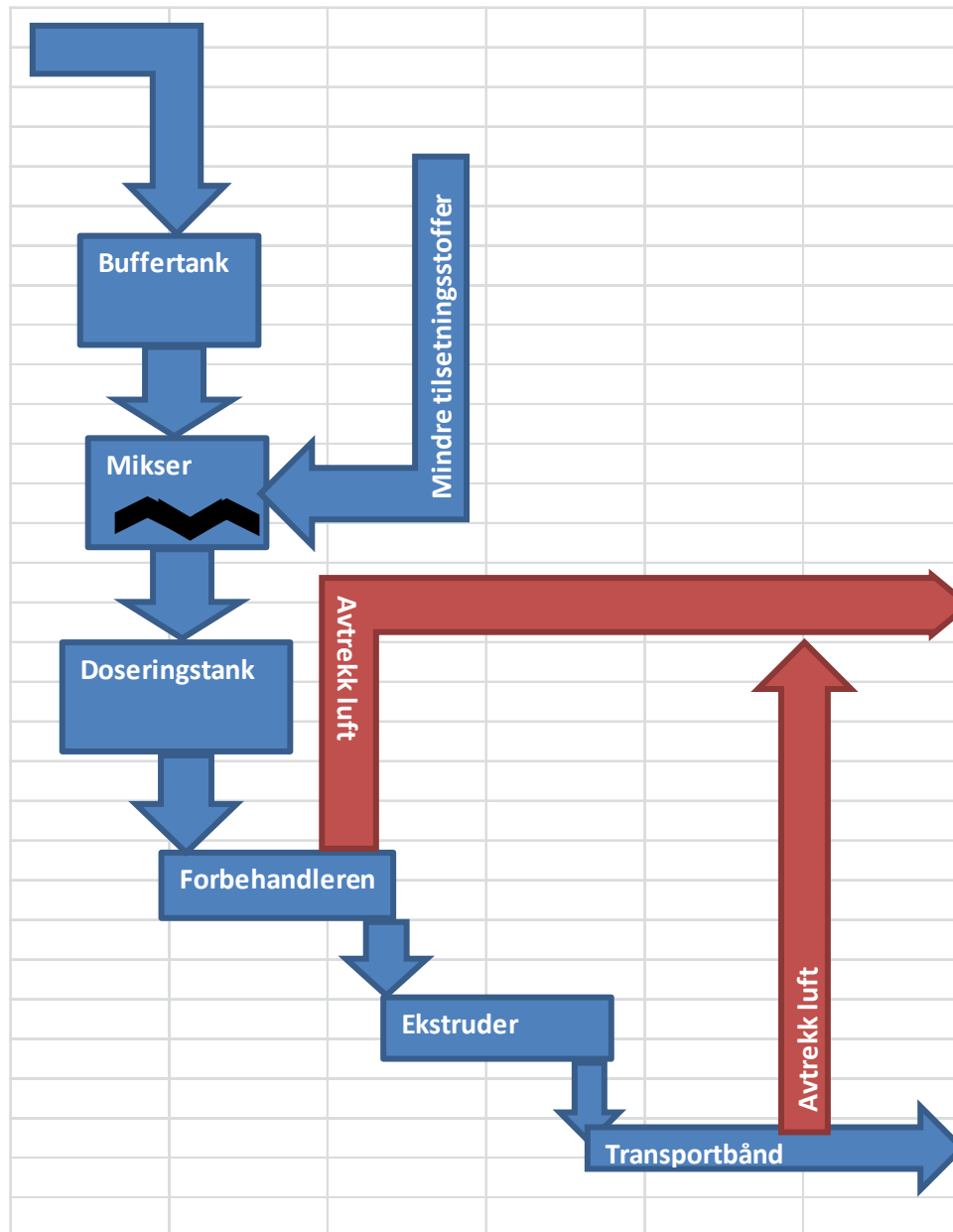
Råvarene blir transportert til to parallellkoblede blandetanker hvor råvarene blandes før, de to strømmene blir sendt til hver sine to seriekoblede møller. Den først møllen er en grovmaler, den påfølgende møllen finmaler råvarene. Fra møllene går tørrstoffet videre til innblanding av mindre tilsetningsstoffer, se Figur 3.



Figur 3 Blandetank og møller. Luftavtrekk i rødt.

På dette punktet i prosessen er alt tørrstoff tilsatt. Blandingen går nå til forhandleren som er en skrue hvor massen blandes med vann og damp som «aktiverer» stivelsen i massen slik at den blir klebrig. Etter forhandleren sitter ekstruderen som er en stor skrue hvor massen blir ført inn, tilsatt oppvarmet vann, damp, slurry (returmasse), samt olje for så å bli presset ut av

en hullplate og kappet opp i pellet av en roterende kniv som sitter på den andre siden av hullplaten. Fuktigheten til pelleten ut av ekstruderen skal ligge i mellom 22 - 28 % slik at pelleten ikke støver. I ekstruderen kommer massen opp i en temperatur på ca. 90 °C slik at massen blir steril, se Figur 4 (BioMar 2014).

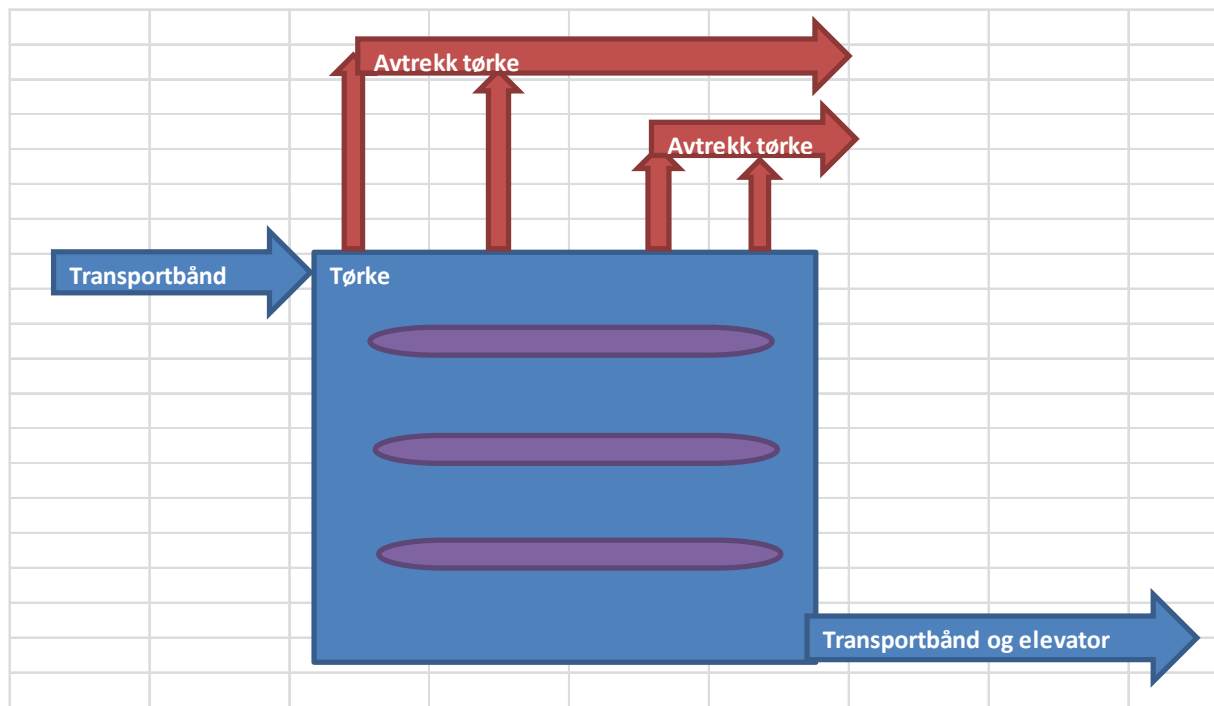


Figur 4 Forbehandler og ekstruder.

Etter ekstruderen transporteres pelleten inn i den gassfyrte tørken. Pelleten blir fordelt utover hele bredden på et bånd i tørken. I tørken er det mange sirkulasjonsvifter for luften, samt gassbrennere som brenner av gassen i et kammer rett utenfor tørkeveggen. Til brennerne er det koblet til en vifte som tilfører oksygen til forbrenningen samt blåser den varme luften inn i tørken. Det er tre horisontale bånd i tørken, pelleten går over det første båndet, faller ned på



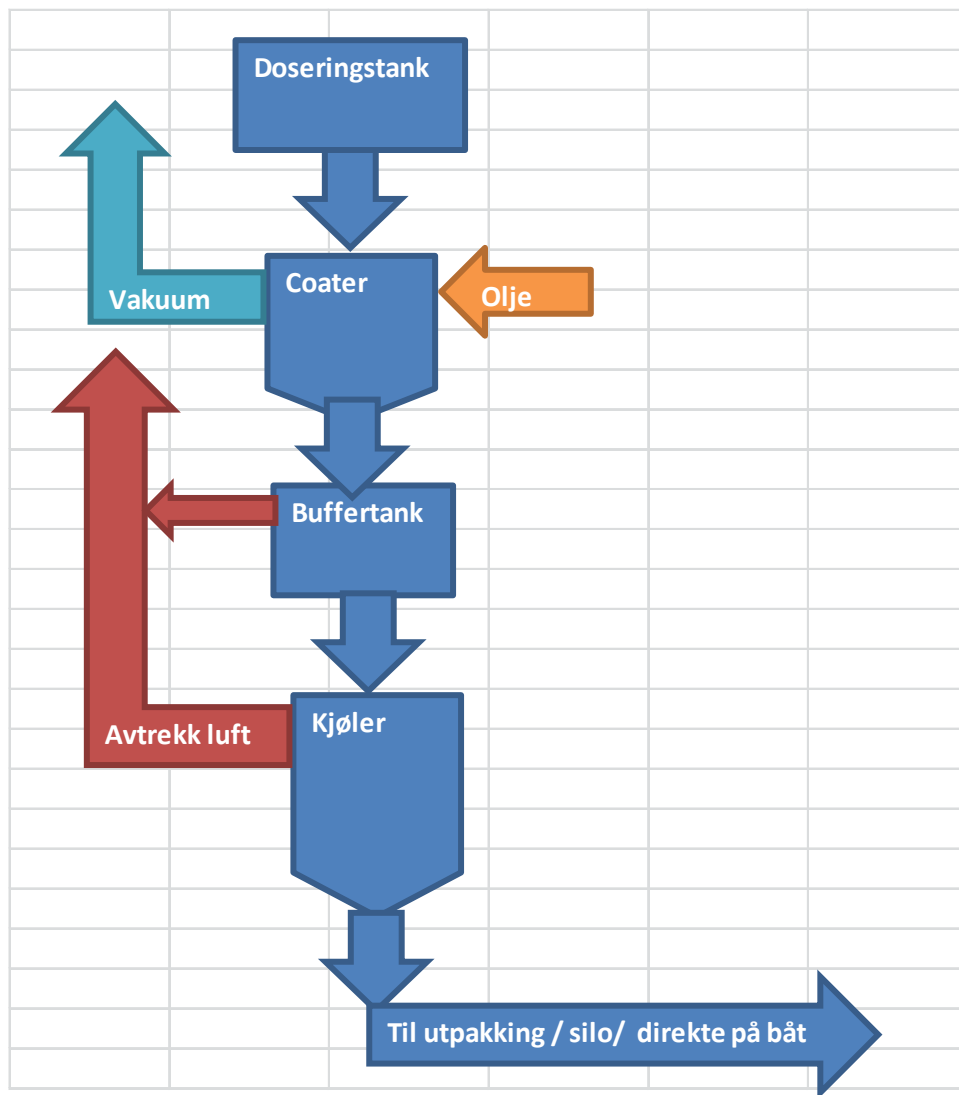
det neste som fører pellet over til neste siden igjen før det faller ned på det siste båndet hvor det går over tørkens lengde før det faller ned på transportbånd som fører pelleten videre. Pelleten tørkes slik at det i neste prosesstrinn kan tilsettes olje for å få opp fettinnholdet i pelleten Figur 5.



Figur 5 Tørke 2.

Pelleten transporteres fra tørken til en buffertank, prosessen blir nå batch-kjørt igjen. Pelleten blir ført ned i en tank som først blir vakuumsatt før olje blir sprøytet inn slik at pelleten blir mettet med olje. Pelleten blir så kjølt ned før den blir lagret i siloer, pakket i storesekker eller

kjørt direkte på skip Figur 6.



Figur 6 Coating og kjøler.

## 1.4 Optimaliseringstiltak i industrien

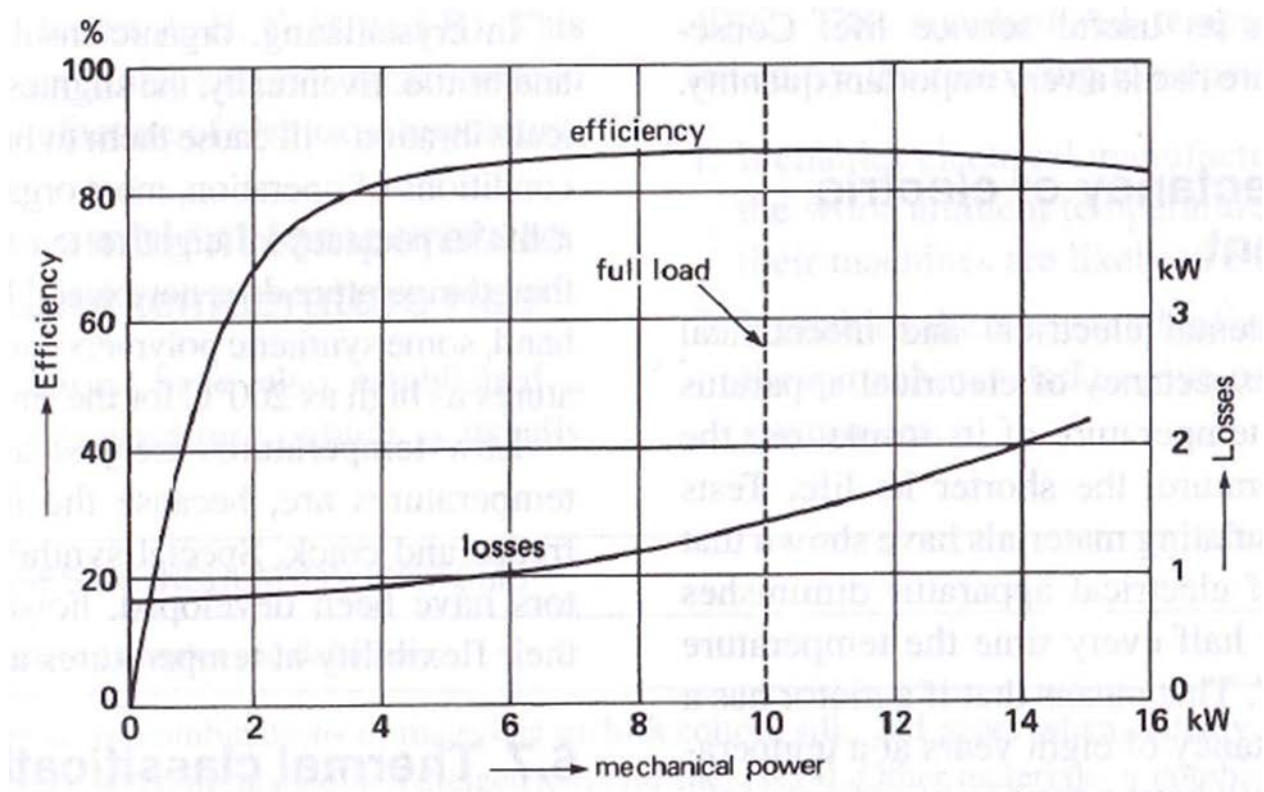
### 1.4.1 Frekvensomformere

Tradisjonell bruk av pumper og vifter til forflytning av fluid er ved bruk av spjeld eller ventiler, mens motoren som driver pumpen eller viften går på full hastighet. Ved å bruke frekvensomformere til å regulere hastigheten på elektriske motorer kan fluidstrømmen reguleres uten en overflødig energibruk. Motorene som ikke har mykstarter installert får også en høyere levetid av en myk stopp og start. I mange tilfeller fører installering av frekvensomformere til en reduksjon på 15 - 40 % av energiforbruket (Selnæs 2010).

#### 1.4.1.1 Tap i motorer

Elektromotorer har flere tapskilder fra mekanisk tap i lager, børster og tap som kommer fra luftmotstanden i motoren. Størrelsene på tapene i motoren kommer av designet på motoren og hastigheten motoren holder.

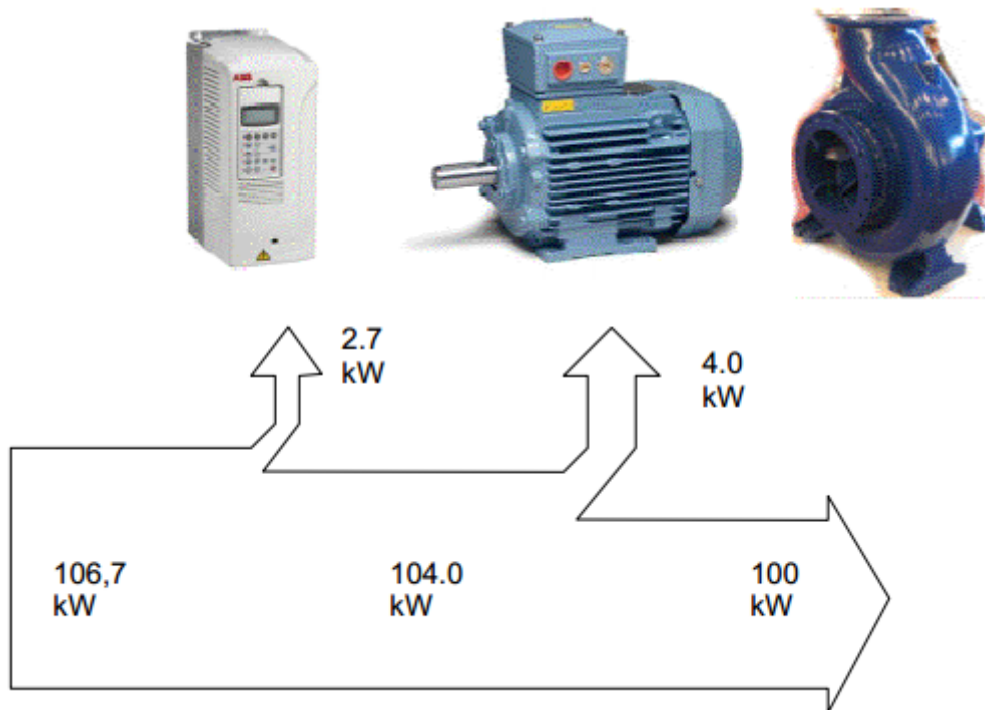
Det er også elektrisk tap i elektromotorene, blant annet tapet fra resistansen i lederne samt i tap i børstene og jerntap, Figur 7 illustrerer tapene i elektromotorer i forhold til den mekaniske effekten fra motoren (Wildi 2006).



Figur 7 Den stiplede linjen viser full last for motoren, tapene øker med mekanisk effekt (Wildi 2006).

### 1.4.1.2 Tap i frekvensomformeren

Frekvensomformeren er ikke ideell og bidrar til tap. Et eksempel som illustrerer tapene er hentet fra en PDF som ABB har lagt ut på internett hvor estimater for tap i pumper og frekvensomformere er illustrert, se Figur 8.



Figur 8 Tapene i en motor og en frekvensomformer ved merkelast, se kilde for tap ved flere laster (ABB 2011).

### 1.4.1.3 Tap i pumper/vifter og rør

I pumpen er det lager og pakninger som skaper friksjon og med det bidrar til effekttap. Friksjon i fluidet samt at pumpen/viften slipper litt fluid tilbake bidrar til tap.

Det er også tap i rørene. I rette rørstrekninger er tapet gitt ved Darcy-Weisbach-formel som er vist i Formel 1 nedenfor. Det som er å legge spesielt merke til i dette tilfellet hvor det sees på å installere frekvensomformere er at tapene vokser med kvadratet av fluidets hastighet.

$$h_f = f \frac{LV^2}{D2g}$$

Formel 1  $h_f$  er tapshøyden i [m],  $f$  er friksjonskoeffisienten til røret som er benevningsløs,  $L$  er lengden på røret i [m],  $D$  er diameteren på røret i [m],  $V$  er hastigheten til fluidet i [ $\frac{m}{s}$ ],  $g$  er tyngdens akselerasjon i [ $\frac{m}{s^2}$ ] (Finnemore & Franzini 2009).

For bend, ventiler og andre obstruksjoner som ikke er rette rør finnes Formel 2. Som i nevnte formel er det den samme sammenheng her som i Darcy-Weisbach's formel med  $V^2$ .

$$h_b = k_b \frac{V^2}{2g}$$

Formel 2  $h_b$  er tapshøyden som kommer av singulærtap i [m],  $k_b$  er friksjonskoeffisienten for bend, ventiler o.l. denne er benevningsløs (Finnemore & Franzini 2009).

#### 1.4.1.4 Affinitetslover

For å forutsi hvordan turbomaskiner som sentrifugalpumper og -vifter oppfører seg under andre driftsbetingelser er affinitetslovene utledet fra dimensjonsanalyse (Finnemore & Franzini 2009). Affinitetslovene for pumper og vifter gitt konstant diameter på løpehjulet har vi Formel 3, Formel 4 og Formel 5 (grafisk fremstilling i Figur 9).

$$Q \propto n$$

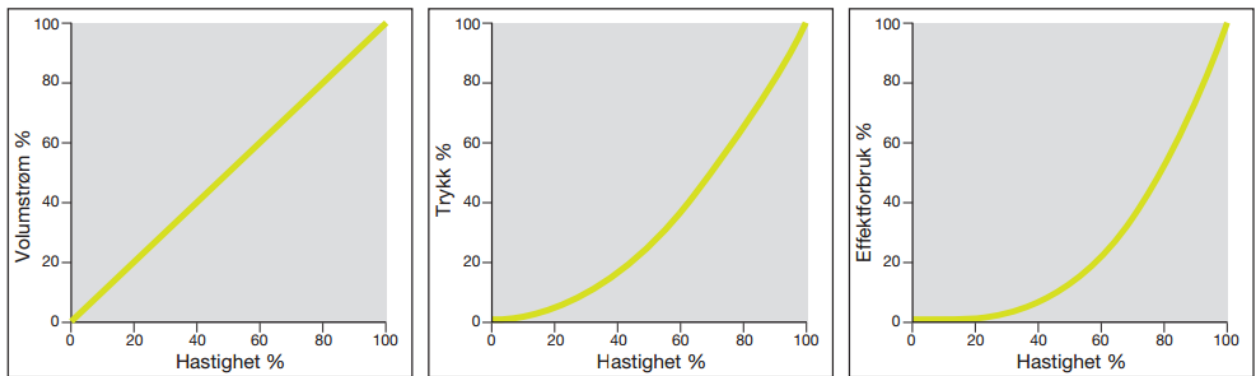
Formel 3  $Q$  er volumstrømmen,  $n$  er turtallet (Finnemore & Franzini 2009).

$$h \propto n^2$$

Formel 4  $h$  er løftehøyden (Finnemore & Franzini 2009).

$$P \propto n^3$$

Formel 5  $P$  er den hydrauliskeffekten (Finnemore & Franzini 2009).



Figur 9 De tre grafene viser fra venstre mot høyre sammenheng mellom turtall og volumstrøm, trykk og effekt (Ristimäki 2008).

Som de tre formlene og figuren over viser er det en lineær sammenheng mellom volumstrømmen og turtallet til en pumpe/vifte, mens løftehøyden forandres med kvadratet av turtallet og effekten forandres med turtallet opphøyd i 3. Ved å senke turtallet til 90 % av maks gir det da en volumstrøm som er 90 % av opprinnelig volumstrøm. Løftehøyden blir 81 % av opprinnelig løftehøyde, mens effekten senkes til hele 72,9 %. Det vil si en reduksjon på 10 % av turtallet fører til en reduksjon på 27,1 % av effekten, det er en ekstra faktor som øker lønnsomheten med frekvensomformere ved installasjon på pumper eller vifter.

### 1.4.2 Returluft tørke

Å bruke en delstrøm av utluften i retur til tørken vil trolig være enkelt og en liten investering i forhold til andre tiltak. To forskningsrapporter som underbygger lønnsomheten i et slikt tiltak er beskrevet nedenfor.

I artikkelen «Effect of the outlet air reuse on thermal efficiency of a pilot plant spray dryer with rotary atomizer» kommer det frem at den termiske effektiviteten blir forbedret for retur av over 10 % av utluften for en spraytørke (Toneli J.T.D.C.L et al. 2013). Det kan tenkes at dette også gjelder for beltetørke som i fabrikken i denne oppgaven. I denne oppgaven er det sett på returluftmengder lik 10, 15, 20, 25, 30 % av opprinnelig luftmengde i kg tørr luft/h.

Artikkelen «Performance of Two Industrial Dryers for Fish Feed» viser en forskjell på en beltetørke brukt til fiskeforproduksjon i Norge som er gassdrevet og har klare likehetstrekk med tørkene i denne oppgaven og en dampdrevet tårntørke som bruker noe av luften i retur. Beltetørken har en effektivitet som er 24 % mindre enn effektivitet til en dampdrevet «tårntørke», som bruker noe av luften i retur. Sistnevnte tørke befinner seg i Chile og blir også benyttet til tørking av fiskefor (Houben et al. 2011).

### 1.4.3 Varmeveksler

I en studie fra matvareindustrien i Storbritannia pekes det på flere typer av varmegjenvinning fra lavtemperatur luft som fra tørkene i fabrikken denne oppgaven omhandler. Der er flere måter å utvinne energien effektivt med en tilbakebetalingstid på mindre enn 1 år og opp til 3 år hevdes det i studien.

Roterende varmeveksler er en mulighet hvor inn- og utluften går i hvert sitt rør og igjennom en roterende «hulløst» som blir varmet opp av den varme luften og avgir varmen til den kalde luften. Muligheten for en termisk effektivitet med en slik varmeveksler på 95 % og en nedbetalingstid på omkring 2,5 år er tidligere oppnådd.

Varmeveksler bestående av rør med lameller er lett tilgjengelige og en godt kjent teknologi. Med en tilbakebetalingstid på under 1 år rapportert er det interessant å se nærmere på akkurat en slik type varmeveksler (Law et al. 2013).

### 1.4.4 Energiledelse

Med energiledelse kan en oversikt over energiforbruket og energikostnadene skapes. Det er mulig å redusere energiforbruket med 5 – 10 % bare på grunn av oppmerksomheten som

skapes rundt energiledelsesprosjektet, og det nesten uten investeringskostnader i følge Marit Sandbakk områdeleder Industri i Enova (Fossum 2009).

## **2 Material og metode**

I dette kapittelet er det litt dypere forklaring av deler av prosessen som er av interesse for oppgaven og hvordan arbeidet med å komme frem til data har blitt utført.

### **2.1 Frekvensomformere**

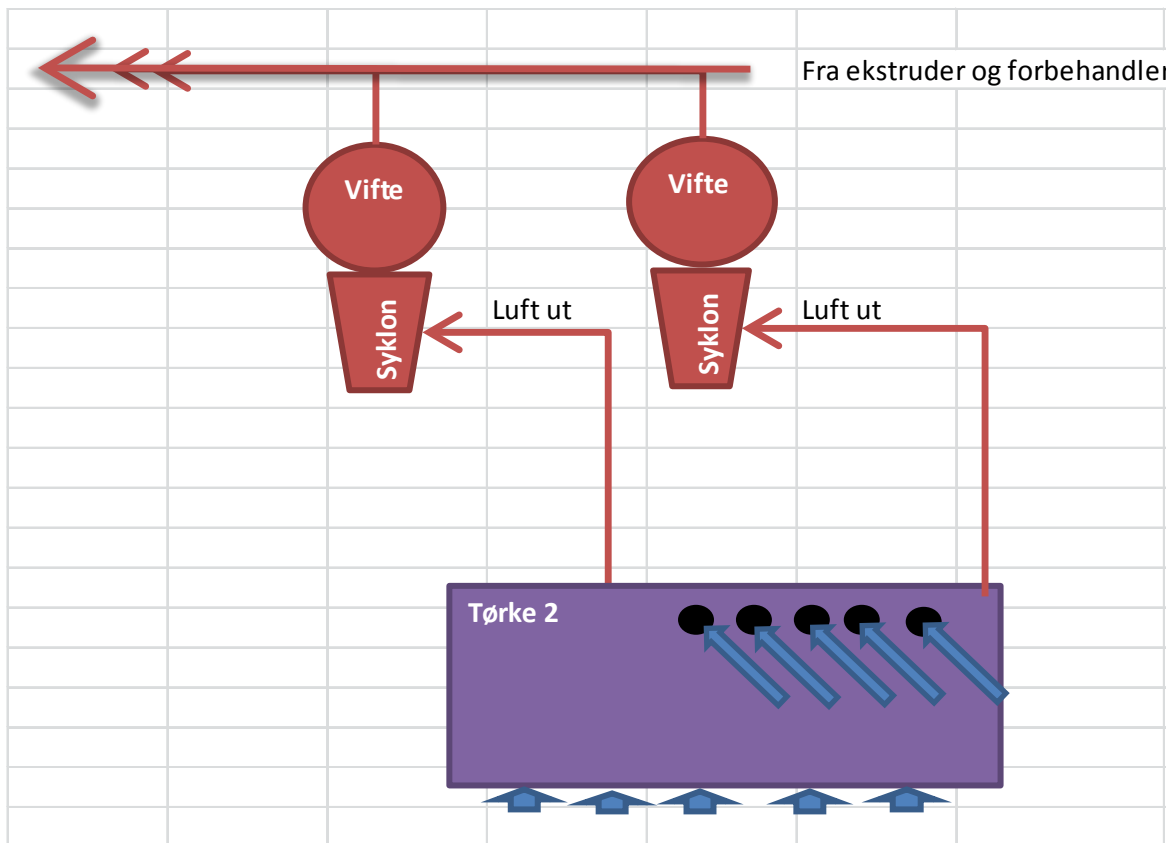
På fabrikken er det allerede installert mange motorer med frekvensomformere. Det er gått igjennom motorlister og flytskjema for fabrikken for å se om det er noen motorer det er verdt å sette inn en frekvensomformer på. Det er bare sett på motorer over 10 kW (for å begrense oppgaven) som det ikke er installert frekvensomformer på fra før og som det kan være en mulighet for reduksjon i turtallet.

### **2.2 Ekstruder**

Ekstruderens hensikt er å lage pellet med en riktig densitet, massen kan ikke ha en for høy densitet da den ikke vil ta til seg nok olje senere i prosessen. Massen bør også holde en viss fuktighet for å unngå støving (BioMar 2014).

### **2.3 Tørkene**

I tørkene blir pelleten fordelt over tørkens bredde, pelleten blir så ført over hele tørkens lengde tre ganger før den går ut av tørken. Det blir ført inn luft i bunnen av tørken, samt fra siden hvor det er montert gassbrennere. Gassbrennerne har et kammer hvor forbrenningen skjer, samt en vifte som pumper luft inn i brennkammeret og videre inn i tørka. Det er også sirkulasjonsvifter inne i tørka. En illustrasjon av tørke 2 i Figur 10.



Figur 10 Illustrasjon av tørke 2, det svarte er gassbrennere, de pilene er friskluft, de som da går på skrå er til forbrenning av gassen, de røde strekene er den varme luften ut fra tørka. Den varme luften som kommer til er fra ekstruderer og forbehandler.

Det er litt forskjell på de to linjene, linje 1 har seks tørkesoner med en gassbrenner til hver tørkesone. Totalt er det tretten sirkulasjonsvifter i tørke 1.

Tørke 2 har fire varmesoner og en «kjølesone» (uten oppvarming), hver tørkesone har en gassbrenner, unntatt sone 2 som har to brennere. Totalt er det 13 sirkulasjonsvifter i tørken. Tørke 2 har en tykkelsesmåler som måler tykkelsen på laget av pellet slik at pådraget av gass er enklere og regulere for denne tørken.

Tørkene kjøres etter ønsket tørrstoffsprosent i pelleten ut av tørka. Det er viktig å unngå for hard tørking for tidlig i tørkeprosessen siden dette kan hindre god opptørking senere i tørka.

I begge tørkene er det flere temperaturfølere, det blir ikke sett noe nærmere på det inne i selve tørken i denne oppgaven da det finnes tidligere masteroppgaver som omhandler bare tørka.

Ut av tørkene går det to rør for hver tørke med varm fuktig luft, denne luften går igjennom sykloner som skiller ut støvet i luften, etter syklonene sitter vifter som suger luften fra syklonene/tørkene og blåser luften ut til sjøvannsskrubbere (i tilfellet tørke 2) som renser luften for lukt slik at luften ikke er til sjenanse for nærmiljøet. Tørke 1 har som tørke 2



sykloner for å fjerne partikler i luften, men i stedet for sjøvannsskrubbere er det installert venturiskrubber påfulgt av et biofilter som begge har til hensikt å fjerne lukt.

Det er ikke installert varmegjenvinningsanlegg for den varme fuktige luften som kommer ut av tørkene. Det er mange muligheter for å gjenvinne energien i den varme luften, blant annet varmepumper, bruk av en delstrøm av utluften i retur, luft/vann varmeveksler for oppvarming av varmtvann, luft/luft-varmeveksler.

Tidligere prosjekter ved fabrikken har blitt skrinlagt av økonomien i prosjektene, det har derfor blitt sett på prosjekter som har en antatt lav installasjonskostnad og rask tilbakebetalingstid. Varmepumpe har derfor ikke blitt vurdert. Luft til luftvarmeveksler er blitt vurdert til å bli for stor samt utluften som går ut har en så lav relativluftfuktighet slik at det ikke virker nødvendig.

Det har i denne oppgaven blitt sett på muligheten for å varme opp vann/luft med luften ut av tørkene og et annet tilfelle resirkulere en delstrøm av luften ut av tørken inn i tørken igjen.

### **2.3.1 Målinger til tørke 2**

Det ble utført målinger av volumstrømmen med luft som gikk ut av tørke 2 i de to ventilasjonsrørene med en diameter på 800 mm som går ut av tørka. Målingene ble utført med ukalibrert FLUKE 922 airflow meter som har en oppgitt nøyaktighet på  $\pm 2,5 \%$  (FLUKE 2014). Målingene ble utført med minimum 2 meters rett strekk før og 1 meter etter målepunktet.

Fuktighetsmålingene ble hentet ut fra styresystem etter luften fra tørkene går sammen med den fra ekstruder og forbehandler. Dataene ble hentet ut samtidig med målingene av volumstrømmen.

## **2.4 Oversikt energiforbruk, målere**

Informasjon om hvilke målere som trengs for å få en oversikt over energiforbruket på fabrikken er innhentet ved befaring på fabrikken, ut i fra flytskjema, koblingsskjema eller styresystemet.

### 3 Teori beregninger

#### 3.1 Energi i form av elektrisitet

Den elektriske energien i fabrikker blir hovedsakelig konsumert av trefasemotorer. For å regne ut energien de trekker, kan linjespenningen og linjestrømmen måles slik at effekten kan regnes ut som i Formel 6, energien regnes så ut med Formel 7.

$$P = \sqrt{3} * E_{Linje} * I_{Linje}$$

Formel 6: Effekten P i [kW], E er spenningen i [kV] og strømmen I i [A] (Wildi 2006).

$$W = P * t$$

Formel 7: Energien W i [kWh] er gitt ved effekten i [kW] ganger tiden t i timer [h] (Wildi 2006).

#### 3.2 Energi i form av gass (LPG – Liquid petroleum gas)

Når volumstrømmen måles i  $\frac{Nm^3}{h}$  kan energiforbruket regnes ut når trykket og temperaturen er kjent. For å regne ut hvor mye gass som går inn i tørkene brukes Formel 8 og Formel 9.

Molekylærvekten til gassen er gitt av gassleverandøren til å være  $53,18 \frac{g}{mol}$  mens den nedre brennverdi er oppgitt til å være  $45,86 \frac{MJ}{kg}$  (Isaksen 2014).

$$P\dot{V} = \dot{n}RT$$

Formel 8 P er trykket i [Pa],  $\dot{V}$  er volumstrømmen i [ $m^3/h$ ],  $\dot{n}$  er molstrømmen i [mol/h], R er den universelle gasskonstanten som er  $8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$ , T er temperaturen i [K] (Fjellvåg 2009; Ormestad 2012).

Ved å bytte ut  $\dot{n}$  med  $\frac{\dot{m}}{M}$  kan massestrømmen regnes ut som vist i Formel 9.

$$\dot{m} = \frac{P\dot{V}M}{RT * 1000}$$

Formel 9  $\dot{m}$  er massestrømmen av gass i [ $\frac{kg}{h}$ ] M er den molare massen til gassen som brukes i [ $\frac{kg}{kmol}$ ], det ganges med 1000 [ $\frac{mol}{kmol}$ ] under brøkstreken siden R er gitt i [ $\frac{1}{mol}$ ].

For å få regnet ut energien online av innfyrt gass til tørkene og dampkjelen kan Formel 10 benyttes.

$$E_g = \frac{B_n * \dot{m} * 1000 * t}{3600}$$

Formel 10 Energien i gassen  $E_g$  er i [kWh],  $B_n$  er den nedre brennverdien i [ $\frac{MJ}{kg}$ ],  $t$  er antall timer [h], det deles på 3600 [ $\frac{s}{h}$ ] for å regne om fra pr time til pr sekund så det blir i [MW], det ganges så med 1000 [ $\frac{kilo}{mega}$ ] for å få det i [kW].  $\dot{m}$  er massestrømmen med gass i [ $\frac{kg}{h}$ ].

Settes Formel 9 og Formel 10 sammen og deles på mengde produsert fiskefor, gir det Formel 11.

$$\frac{E_g}{m_{fiskefor\ produsert}} = \frac{B_n * P * \dot{V} * M}{3600 * R * T * m_{fiskefor\ produsert}} * t$$

Formel 11  $\frac{E_g}{m_{fiskefor\ produsert}}$  er energien i [kWh] innfyrt gass pr produserte [kg] fiskefor for en tørke.

Gassleverandøren har bare oppgitt den nedre brennverdien, men siden det i denne oppgaven blir sett på kondensering av vann i luften kan også øvre brennverdi være av interesse<sup>1</sup>. Øvre brennverdi har derfor blitt beregnet ut i fra elementene gassen inneholder og den øvre brennverdien knyttet til disse elementene. Det er gått ut i fra ideell gass, molprosent er derfor lik volumprosent og kan benyttes til å finne brennverdien pr volumenhet som i Formel 12. For å få brennverdien over i MJ/kg er Formel 13 benyttet.

$$B_{\theta,V} = \frac{mol\% \text{ metan} * B_{\theta,V,metan} + mol\% \text{ etan} * B_{\theta,V,etan} + \dots + \dots}{100\%}$$

Formel 12 viser utregningen av den øvre brennverdien av den totale blandingen i [ $\frac{MJ}{m^3}$ ]. Molprosenten til de forskjellige stoffene multipliseres med den tilhørende brennverdien i [ $\frac{MJ}{m^3}$ ] ved 15 °C og 1 atmosfæretrykk. Alle adderes før de deles på den totale prosentandelen (100) (Campbell 1966-2004).

$$B_{\theta} = B_{\theta,V} * \frac{PM}{RT * 1000}$$

Formel 13 viser utregningen av den øvre brennverdien  $B_{\theta}$  i [ $\frac{MJ}{kg}$ ], det blir ganget med 1000 [ $\frac{mol}{kmol}$ ] under brøkstreken siden  $R$  er gitt i [ $\frac{1}{mol}$ ].

<sup>1</sup> Hvis vannet i luften som blir dannet av gassen kondenseres er det mest riktig å bruke øvre brennverdi siden den tar høyde for vannet som dannes av gassen ved forbrenning. I motsatt tilfelle er det mest vanlig og bruke nedre brennverdi siden kondensasjonsvarmen ikke nyttiggjøres.

### 3.3 Energi i form av damp

I de tilfellene hvor dampen blir tilsatt direkte i prosessen trengs det bare å måle og regne ut energien i dampen ved tilsetning. Der hvor det er varmevekslere og kondensatet går tilbake til kondensattanken for senere å bli kokt opp igjen til damp må energien som er igjen i strømmen ut av varmeveksleren regnes som i Formel 14.

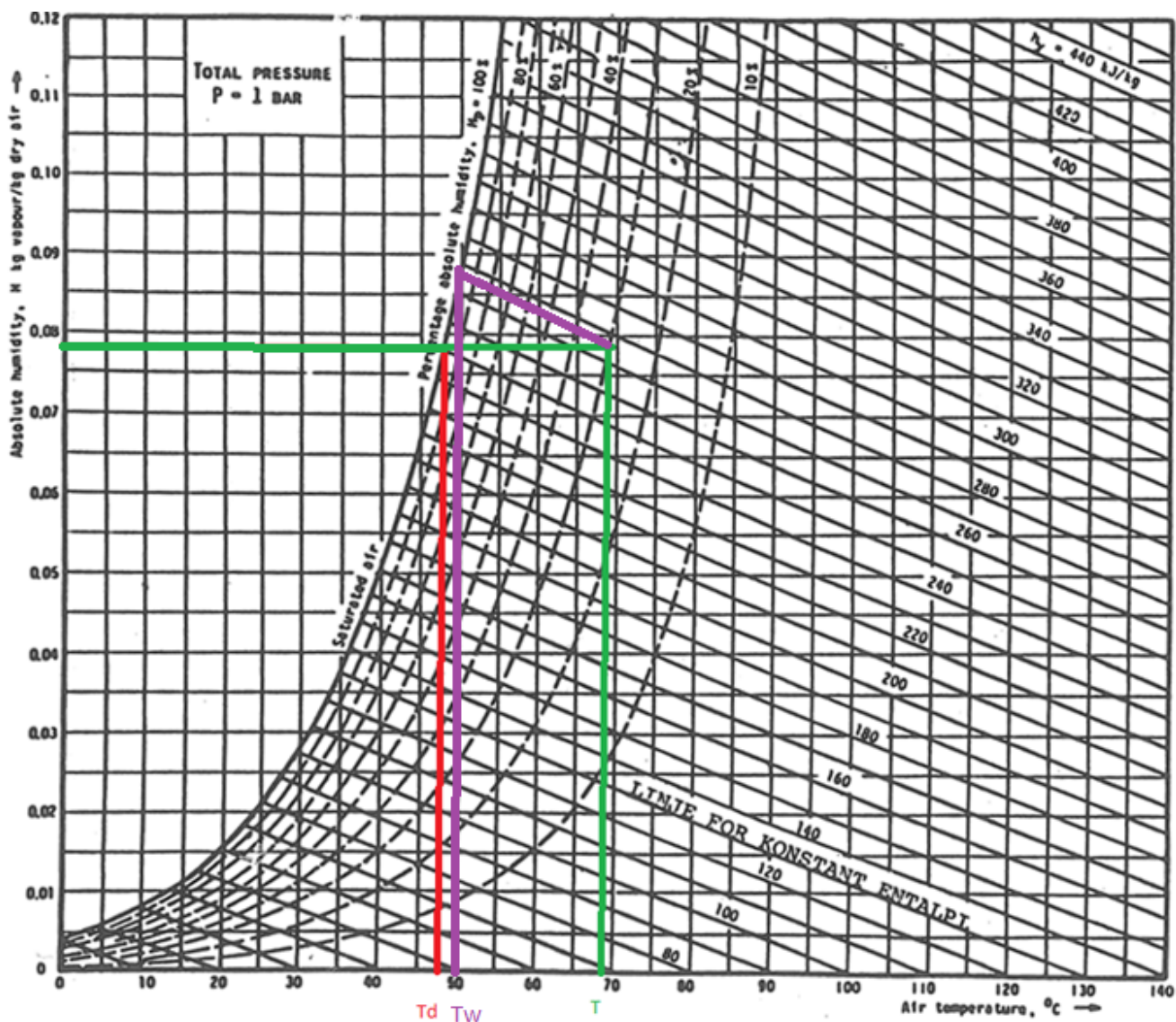
$$Q = \frac{\dot{m}_{damp} * (h_{inn \text{ til varmeveksler}} - h_{ut \text{ av varmeveksler}}) * t}{3600}$$

Formel 14 Q er energien som blir avgitt av dampen i varmeveksler eller ved direkte tilsetning i [kWh]. Når dampen blir direkte tilsatt er  $h_{ut \text{ av varmeveksler}} = 0$ .  $\dot{m}_{damp}$  er massestrømmen med damp i [ $\frac{kg}{h}$ ]. h er entalpien i [ $\frac{kJ}{kg}$ ], t er tiden i timer [h], det deles på 3600 [ $\frac{s}{h}$ ] for å få energien i kWh.

For å finne entalpien i dampen og kondensatet kan tabeller brukes gitt at trykket og temperaturen er kjent (Sonntag & Borgnakke 2007). Å måle trykket og temperaturen på kondensatet etter kondenspotten er den enkleste og sikreste måten å måle entalpien i strømmen ut av varmeveksleren, da det er 100 % kondensat og entalpien kan finnes i tabeller uten at det trengs å regne ut blandingen av damp/kondensat for så å finne begge disse entalpiene.

### 3.4 Energien i fuktig luft

For å estimere hvor mye energi det er i lufta ut av tørka må noen antagelser gjøres, det antas 1 bars trykk i systemet. Hvor mye vann den tørre lufta inneholder er vesentlig når energien som kan hentes ut fra lufta skal regnes ut. Med et instrument som måler temperaturen og duggpunkttemperaturen kan fuktighetsinnholdet i lufta finnes. Entalpien pr kilo tørr luft kan da leses av et fuktighetsdiagram som i Figur 11.



Figur 11 Fuktighetsdiagram hvor duggpunktstemperaturen ( $T_d$ ) er merket av med en rød strek. Den målte temperaturen og fuktigheten i luften er den grønne streken. Luftens temperatur i  $^{\circ}\text{C}$  på x-aksen, fuktigheten i luften på y-aksen i  $[\frac{\text{kg vann}}{\text{kg tørr luft}}]$ , linjer for konstant entalpi i  $[\frac{\text{kJ}}{\text{kg tørr luft}}]$  diagonalt, mens krummede-linjene er prosentvis absoluttfuktighet. T er temperaturen (i dette eksempelet  $68^{\circ}\text{C}$ ). Linjene for konstant entalpi følges ved adiabatisk kjøling eller oppvarming, når 100 % absolutt fuktighet nåes finnes våtkuletemperaturen som er den adiabatisk metningstemperaturen til luften (Mosbye 2013).

For luften ut av tørke 2 ble temperaturen samt luftens fuktighet lest av fra en online-måler, for å regne ut entalpien til luften ut av tørke 2 samt entalpien i luften ut av varmeveksleren som skal settes inn brukes da Formel 15. I tilfellet hvor det ses på å sette inn varmeveksler settes det en ønsket temperatur ut, og det antas at den absolute luftfuktigheten er 100 % siden luften blir kjølt ned til under duggpunktstemperaturen og vann i luften vil da kondensere fra luften i varmeveksleren.

$$h_y = C_{pB} * (T - T_0) + (H\lambda_0) + C_{pA}H * (T - T_0)$$

Formel 15  $h_y$  er entalpi til fuktigluft i  $[\frac{kJ}{kg \text{ tørr luft}}]$ ,  $C_{pB}$  er spesifikk varmekapasitet til luft  $[\frac{kJ}{K * kg \text{ tørr luft}}]$ ,

$C_{pA}$  er spesifikk varmekapasitet til vanndamp  $[\frac{kJ}{K * kg \text{ vann}}]$ ,  $T$  er temperaturen i  $[\text{°C}]$  mens  $T_0$  er referansetemperaturen =  $0^{\circ}\text{C}$ .  $\lambda_0$  er den latente varmen til vann i  $[\frac{kJ}{kg \text{ vann}}]$  ved  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $H$  er fuktighetsinnhold i luften i  $[\frac{kg \text{ vann}}{kg \text{ tørr luft}}]$  (McCabe et al. 2005).

Luftstrømmen er målt i  $\frac{m^3}{h}$ , det antas at det måles både fuktig og tørr luft. Luftstrømmen må regnes om til  $\frac{kg \text{ tørr luft}}{h}$  slik at energien i luftstrømmen kan regnes ut. For å gjøre den nevnte omregningen benyttes formlene nedenfor.

$$PV = nRT$$

Formel 16  $P$  er trykket i  $[\text{Pa}]$ ,  $V$  er volumet til både den fuktige og tørre luften i dette tilfellet i  $[\text{m}^3]$ ,  $n$  er mol luft gitt i  $[\text{kmol}]$ ,  $R$  er den universelle gasskonstanten gitt i  $[\frac{\text{Pa} * \text{m}^3}{\text{kmol} * \text{K}}]$ .

$$PV = \frac{mRT}{M}$$

Formel 17  $m$  er massen gitt i  $[\text{kg}]$ ,  $M$  er den molare massen i  $[\frac{kg}{\text{kmol}}]$

$$V = \left( \frac{m_{\text{tørr luft}}}{M_{\text{tørr luft}}} + \frac{m_{\text{vann}}}{M_{\text{vann}}} \right) \frac{RT}{P}$$

Formel 18 For å finne hvor mye volum den tørre luften opptar pr kg deles massen opp i tørr luft og vann i luften.

$$m_{\text{vann}} = m_{\text{tørr luft}} * H$$

Formel 19 Siden  $m_{\text{vann}}$  ikke er kjent blir den substituert.

$$G = \frac{V}{m_{\text{tørr luft}}} = \left( \frac{1}{M_{\text{tørr luft}}} + \frac{H}{M_{\text{vann}}} \right) * \frac{RT}{P}$$

Formel 20  $G$  er totalt volum/masse tørr luft i  $[\frac{m^3}{kg \text{ tørr luft}}]$  (McCabe et al. 2005).

Luftstrømmen er målt, massestrømmen kan da regnes ut med Formel 21.

$$\dot{m}_{\text{tørr luft}} = \frac{\dot{V}}{G}$$

Formel 21  $\dot{m}_{\text{tørr luft}}$  er massestrømmen med tørr luft i  $[\frac{kg \text{ tørr luft}}{h}]$ .  $\dot{V}$  er luftstrømmen med luft gitt i  $[\frac{m^3}{h}]$  (Mosbye 2013).

For å regne ut hvilken effekt som kan hentes ut i en varmeveksler brukes Formel 22.

$$\dot{Q} = P = \dot{m}_{\text{tørr luft}} * (h_{y,\text{ut av tørken}} - h_{y,\text{etter varmeveksleren}}) * \frac{1\text{time}}{3600\text{sekunder}}$$

Formel 22 P er effekten i [kW] og varmeoverføringsraten  $\dot{Q}$  i  $[\frac{kJ}{s}]$ ,  $h_y$  er entalpien pr kg tørr luft  $[\frac{kJ}{kg \text{ tørr luft}}]$ ,

$\frac{1\text{time}}{3600\text{sekunder}}$  er omregning fra [kJ/h] til [kJ/s] for å få det over i [kW].

### 3.5 Dimensjonering av varmevekslere

For å gjenvinne energi fra luften ut fra fabrikk kan man bruke flere forskjellige varmevekslere. Teori rundt varmevekslere samt dimensjonering av varmevekslere blir beskrevet i dette kapittelet.

For å kunne dimensjonere en varmeveksler må man først vite varmeoverføringsraten, som i dette tilfellet er hvor mye energi som kan overføres fra luften pr tidsenhet (regnes ut med Formel 22).

Pumpekostnader må tas i betraktning. Det vil være lønnsomt å ha en lav massegjennomstrømning med tanke på trykktap, ulempen med en lav massegjennomstrømning er behov for en større varmeveksler. I dette tilfellet vil kompakte varmevekslere være å foretrekke med tanke på hvor liten plass det er til å installere varmevekslere på.

Begroing er et tema som må tas med. Det sitter sykkloner før viftene som fjerner partikler, det er mest hensiktsmessig å sette inn varmevekslere etter viftene for å forhindre unødvendig mye groing i varmeveksleren samt kondensering i viftene. Det må uansett regnes med at det kan være støv igjen i luften, og regelmessig renhold må påberegnes for å holde effektiviteten til varmevekslerne oppe. Når det gjelder vannsiden av varmeveksleren er det mest hensiktsmessig med filtrert vann for å forhindre unødvendig mye groing.

I dette tilfellet er det sett på en kryss-strøm varmeveksler med finner. Vannet går inne i rørene mens luften går på utsiden i mellom finnene. Grunnen til at valget falt på en slik type varmeveksler er det store overflatearealet på luftsiden, og muligheten for renhold ansees som relativ enkel på luftsiden.

For å dimensjonere varmeveksleren må vi vite logaritmisk midlere temperatur (LMTD). For å regne ut denne benyttes Formel 23.

$$\Delta T_{lm,CF} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

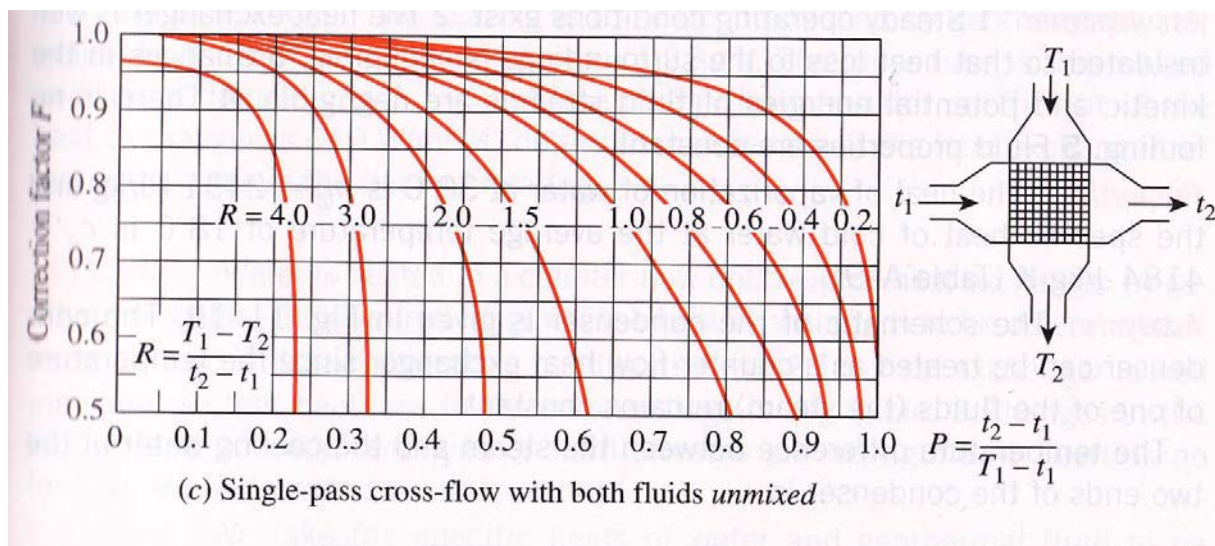
Formel 23  $\Delta T_{lm,CF}$  er LMTD for en varmeveksler som er motstrøms ( $\Delta T_{lm,CF}$ ) i [K].  $\Delta T_1$  er temperaturdifferansen på  $T_{varm,inn} - T_{kald,ut}$  i [K].  $\Delta T_2$  er  $T_{varm,ut} - T_{kald,inn}$  i [K].

For å regne LMTD for krysstrømsvarmeveksler må det en korreksjonsfaktor i forhold til motstrømsvarmeveksler, utregningen sees i Formel 24.

$$\Delta T_{lm} = F * \Delta T_{lm,CF}$$

Formel 24  $\Delta T_{lm}$  er LMTD for en krysstrømsvarmeveksler i [K]. F er en korreksjonsfaktor som avhenger av geometrien til varmeveksleren samt temperaturen inn og ut av varmeveksleren på både kald og varm side.

Korreksjonsfaktoren F finnes ut i fra tabell for hvordan strømmen i varmeveksleren er. Går strømmen i kryss og ikke blir blandet som i dette tilfellet gjelder Figur 12. For å regne ut R og P i den nevnte tabellen benyttes Formel 25 og Formel 26.



Figur 12 Tabell for å finne korreksjonsfaktor for krysstrømsvarmeveksler begge strømmene er ublanda (Cengel & Ghajar 2011). T og t i figuren og formelen er byttet ut med T ut/inn innvendig/utvendig i Formel 25 nærmere beskrivelse i formelen.

$$P = \frac{T_{ut,innvendig} - T_{inn,innvendig}}{T_{inn,utvendig} - T_{inn,innvendig}}$$

Formel 25 P er en av de to faktorene som benyttes til å regne ut F, T ut/inn innvendig/utvendig er temperaturen ut og inn av varmeveksleren på henholdsvis innsiden av rørene og utvendig i rørene i varmeveksleren.



$$R = \frac{T_{inn,utvendig} - T_{ut,utvendig}}{T_{ut,innvendig} - T_{inn,innvendig}}$$

Formel 26 R er den andre av de to faktorene som benyttes til å regne ut F.

Det er av interesse å vite hvor stor varmeveksleren blir med bruk av forskjellige materialer og type varmevekslere. Formel 27 løses med hensyn på arealet i Formel 28. Arealet må regnes ut for både vann- og luftsiden siden arealene og U-verdiene er så forskjellige.

$$\dot{Q} = UA_s \Delta T_{lm}$$

Formel 27  $\dot{Q}$  er varmeoverføringsraten [ $\frac{J}{s}$ ], U er varmeovergangskoeffisienten gitt i [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ] (Cengel & Ghajar 2011).

$$A_s = \frac{\dot{Q}}{U \Delta T_{lm}}$$

Formel 28  $A_s$  er varmeoverføringsarealet til en varmeveksler i [ $m^2$ ].

### 3.5.1 Besparelse ved installasjon av varmevekslere

Å estimere hvor mye som kan spares uten å vite hvor mye energi som brukes er utfordrende. Det er tatt utgangspunkt i installert effekt for varmevekslere til oppvarming av oljetankene, samt forbruket av varmtvann til ekstruder og forbehandler. Deretter er det forsøkt å gjøre en skjønnsmessig vurdering av besparelsen.

Det brukes  $3550 \frac{kg}{h}$  med vann til kaskader og ekstruderne som det er ønskelig at skal holde opp mot 80 °C Formel 29.

$$Q_{vann} = \frac{\dot{m} c_p (T_{80} - T_7)}{3600} * t * 0,75$$

Formel 29 Q i [kWh].  $\dot{m}$  er massestrømmen med vann i [ $\frac{kg}{h}$ ], 3600 [ $\frac{s}{h}$ ] for å regne om fra kJ/h til kJ/s som er lik kW,  $c_p$  er den spesifikke varmekapasiteten til vann gitt som  $4,19 \frac{kJ}{kg \cdot K}$ ,  $(T_{80} - T_7)$  er temperaturen 80 °C som ønskes, 7 °C antas å være middeltemperaturen igjennom et år. T er antall driftstimer i året [h]. Det er ganget med en faktor på 0,75 siden begge linjene ikke alltid går samtidig og varmevekslerne bare er satt på tørke 2 (vann til ekstruder og forbehandler vil da ikke alltid bli dekket).

Siden det ikke er noen måling på hvor mye energi som går med til å holde tankene med fiskeolje varme, er det tatt utgangspunkt i den installerte effekten til varmevekslerne. Dette er sannsynligvis overdimensjonert slik at oljen ikke skal fryse. Fabrikken har høysesong på sommeren og lavsesong på vinteren, noe som ikke er gunstig i denne sammenhengen siden tørkene må gå for å kunne gjenvinne varmen fra utluften. I sommerhalvåret er også

varmebehovet lavere for å holde tankene varme enn i vinterhalvåret. Dette har blitt tatt med i betraktningene når faktoren på 0,3 ble satt Formel 30. For varmtvannsbehovet som blir dekket er det satt en faktor på 0,5 Formel 31. Den årlige besparelsen blir da alle energibehovene addert, så multiplisert med energiprisen for blandet energi (gass og elektrisitet) Formel 32.

$$Q_{lagringstanker\ fiskeolje} = P * t * 0,3$$

Formel 30 P er den samlede effekten for alle varmevekslerne til lagring av fiskeolje. 0,3 er en faktor som det ganges med for å nedjustere fra installert effekt på varmeveksleren av grunner nevnt i teksten ovenfor.

$$Q_{varmtvann} = P * t * 0,5$$

Formel 31 Q i [kWh]. P er effekten til varmeveksleren for varmtvann i [kW], t er driftstimer for tørka siden denne er bestemmende for når vann varmes opp [h]. 0,5 er en faktor satt etter skjønn for å estimere energiforbruket.

$$\text{Årlig besparelse} = (Q_{vann} + Q_{varmtvann} + Q_{lagringstanker\ fiskeolje}) * \text{energipris}$$

Formel 32 Årlige besparelsen i [NOK], energipris er prisen for «blandet energi» siden de eksisterende energikildene er både elektriskenergi og gass  $[\frac{\text{NOK}}{\text{kWh}}]$ .

### 3.6 Dimensjonering av rør og pumper vann

Dimensjonene på rør og pumper må regnes ut for å få prissatt og få en formening om hvor stort et anlegg blir. Når varmeoverføringsraten er kjent kan massestrøm med vann til en varmeveksler finnes med Formel 33.

$$\dot{m}_{vann} = \frac{\dot{Q}}{c_p * (T_{ut\ av\ varmeveksler} - T_{inn\ til\ varmeveksler})}$$

Formel 33  $\dot{m}_{vann}$  er massestrømmen med vann i  $[\frac{kg}{s}]$ ,  $c_p$  er den spesifikke varmekapasiteten til vann gitt ved 4,19  $[\frac{kJ}{kg * K}]$ , T i  $[^{\circ}C]$ .

Vannets tetthet er valgt som  $1000 \frac{kg}{m^3}$  for alle temperaturer i oppgaven. Hastigheten i røra har blitt satt til å være  $1,1 \frac{m}{s}$  etter tommelfingerregel fra engineering toolbox (EngineeringToolBox). Arealet til røret regnes så ut med Formel 34 før diameteren til røret kan regnes ut med Formel 35.

$$A = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{\dot{m}_{vann}}{v * \rho}$$

Formel 34 A er arealet i [m<sup>2</sup>],  $\dot{V}$  er volumstrømmen i [ $\frac{m^3}{s}$ ], v er vannets hastighet i [ $\frac{m}{s}$ ].  $\rho$  er tettheten til vann i [ $\frac{kg}{m^3}$ ].

$$d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

Formel 35 d er diameteren til røret i [m], A er arealet i [m<sup>2</sup>].

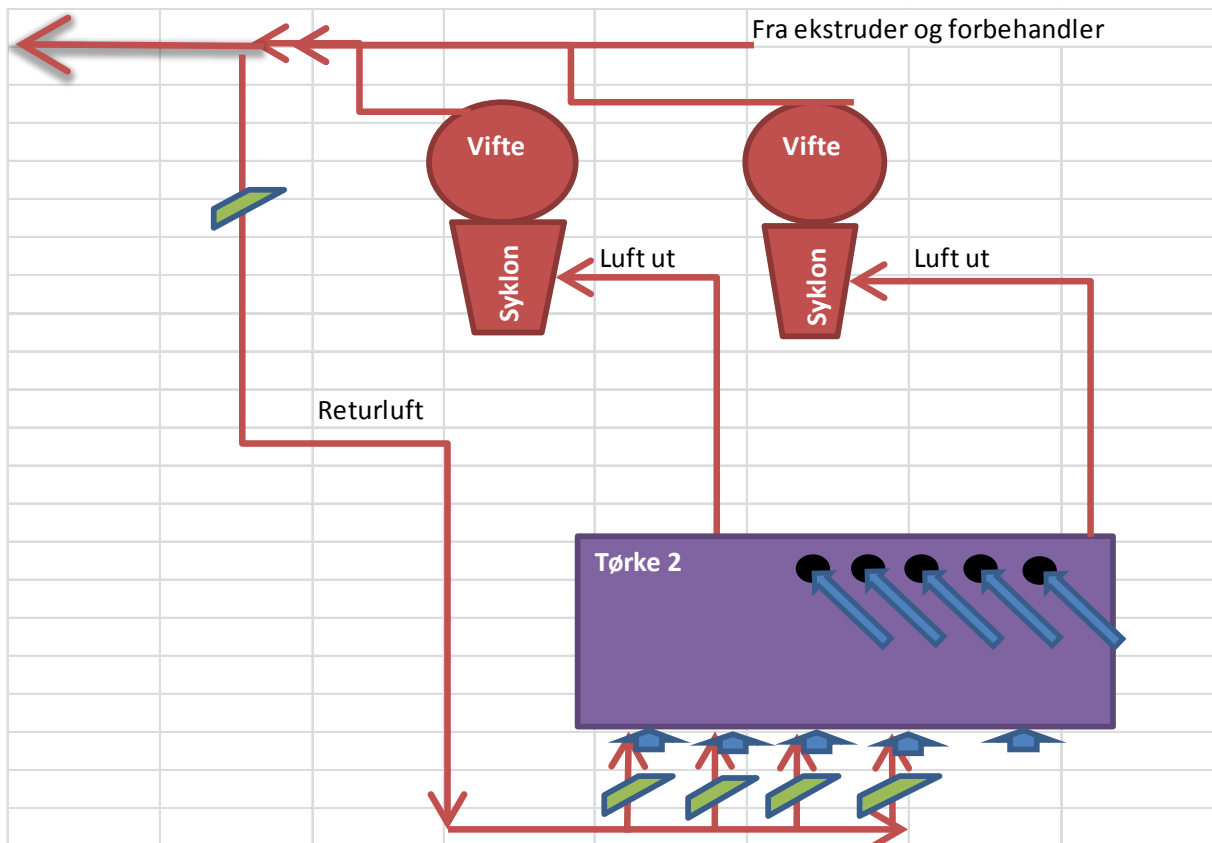
For å dimensjonere pumper må volumstrømmen være kjent, den er allerede funnet.

Løftehøyden må også vites, i denne oppgaven har det ikke blitt detaljprosjektert derfor har det ikke blitt regnet på. Men for å finne den nødvendige trykkehøyden må den statiske trykkehøyden vites samt friksjonstap i rette rør som finnes med Formel 1 og tapene fra bend, ventiler o.l. som kan regnes ut med Formel 2.

### 3.7 Sende en delstrøm av luften ut i retur

Siden luften ut av tørken ikke har spesielt høy relativ fuktighet (dimensjonert for 33 % og målt til å være rundt 15 % relativluftfuktighet), kan det med hensyn til energiforbruk sendes en delstrøm av luften tilbake og inn i tørken sammen med inn-luften, dette er forsøkt illustrert i Figur 13.

Forutsetninger/antagelser for utregningene rundt returluften: Massestrømmen med tørr luft holdes konstant igjennom viftene. Massestrømmen med returluft fortrenger en lik andel av massestrømmen friskluft inn fra omgivelsene og forbrenningen av gass. Dette er blitt gjort for å begrense oppgaven. Dette gir en pekepinn på energien det er å spare ved denne løsningen, mer nøyaktige utregninger foreslås gjort med simuleringsverktøy.



Figur 13 Den varme luften kommer ut på toppen av tørken, blir sendt igjennom en syklon hvor partikler blir fjernet, det er tenkt et returrør fra samlerøret etter de to viftene. De grønne trapesene skal illustrere spjeld. De svarte prikkene illustrerer gassbrennerne, de blå pilene er friskluft. De blåpilene som går inn til gassbrennerne er luft som blir blåst inn i gassbrennerne for å forbrenne gassen. Den enslige blå pilen er avkjølingsluften.

Rørene som er tenkt installert vil bli godt isolert slik at det antas at entalpien til luften ut av tørka vil være uforandret ved tilbakeføring av luft (antas ingen varmeutveksling, altså adiabatisk). Grunnen til denne antagelsen er at friskluften samt luften som kommer fra den brente gassen har en entalpi på 265 kJ/kg tørr luft målt i dette tilfellet (målt i utluften, siden det ikke kondenserer vann er entalpien konstant). Luften som sendes tilbake vil substituere en mengde av friskluften og luften fra den brente gassen som tilsvarer entalpien i returluften (som er lik den i utluften).

Luften ut vil holde seg på samme entalpilinje, men den vil bli mer mettet med vann (Figur 11 viser entalpilinjene).

Dette vil gjelde så lenge faststoffet gir fra seg fuktighet til luften, gir derimot luften fra seg fuktighet til pelleten er taket for hvor mye retur luft som kan sendes tilbake nådd og entalpien til luften vil stige.

Dette skyldes en økning i gass som må brennes, dette hever entalpien i luften slik at den kan ta til seg mer fuktighet (dette skjer for å tørke pelleten til ønsket fuktighetsinnhold).

Likevektsfuktigheten til faststoffet som tørkes bestemmer hvor tørt stoffet kan være ved gitt relativfuktighet i luften (McCabe et al. 2005). Denne må finnes (for eksempel med laboratorieforsøk) for å finne ut hvor mye luft som egentlig kan sendes i retur.

Ettersom det blir sendt luft i retur i tørka vil mengden luft inn minke siden behovet for friskluft går ned. Massestrømmen med vann som kommer med friskluften vil da også gå ned i takt med økende returmengde, det samme vil skje med massestrømmen med vann ut av tørken, men mengden vann som blir fordampet fra pelleten vil være den samme ettersom tørkekapasiteten opprettholdes. Formlene for å regne ut dette er gitt ved Formel 36, Formel 37, Formel 38 og Formel 39.

$$\dot{m}_{vann\ inn} = \dot{m}_{inn}H_{inn} + \dot{m}_{vann\ fra\ forbrenningen\ av\ gass}$$

Formel 36  $\dot{m}_{vann\ inn}$  er massestrømmen med vann som går inn i tørka fra friskluft og forbrenningen av gass i  $[\frac{kg\ vann}{h}]$ .  $\dot{m}_{vann\ fra\ forbrenningen\ av\ gass}$  er vannet som dannes ved forbrenningen av gass i  $[\frac{kg\ vann}{h}]$  se Formel 62 for utregningen av denne massestrømmen.

$$\dot{m}_{vann\ fra\ pelleten} = (\dot{m}_{ut}H_{ut} - \dot{m}_{vann\ inn} - \dot{m}_{vann\ fra\ forbrenningen\ av\ gass})_{ved\ 0\% \text{ returluft}}$$

Formel 37  $\dot{m}_{vann\ fra\ pelleten}$  er massestrømmen med vann som blir fjernet fra pelleten i  $[\frac{kg\ vann}{h}]$ , som nevnt over er denne konstant og blir regnet ut når det ikke blir sendt noe luft i retur.  $\dot{m}_{ut}$  er massestrømmen med tørr luft ut av tørken i  $[\frac{kg\ tørr\ luft}{h}]$ , multiplisert med  $H_{ut}$  som er fuktigheten i luften ut gir det  $[\frac{kg\ vann}{h}]$ .

$$(\dot{m}_{vann\ ut} = \dot{m}_{ut}H_{ut})_{ved\ 0\% \text{ returluft}}$$

Formel 38 Når det ikke kjøres noen returluft blir vannmengden som blir tatt ut av tørka og blåst til skrubberne regnet ut slik.

$$(\dot{m}_{vann\ ut} = \dot{m}_{vann\ fra\ pelleten} + \dot{m}_{vann\ inn} + \dot{m}_{vann\ fra\ forbrenningen\ av\ gass})_{med\ returluft}$$

Formel 39 Når det kjøres returluft må endringen i vann inn fra friskluft og vann fra forbrenning tas med i betraktningen for å få regnet ut fuktigheten i luften ettersom mengden returluft økes, se neste formel.

Returluften vil også forandre seg ettersom det sendes mer returluft, utregningen av dette er gitt ved Formel 40. Massestrømmen med vann som dannes fra forbrenningen av gass har blitt holdt konstant ved kjøring av returluft (for å begrense oppgaven da denne strømmen er liten i forhold til den som følger med luften).

$$H_R = H_{ut} = \frac{\dot{m}_{vann\ ut}}{\dot{m}_{ut}}$$

Formel 40  $H_{ut}$  er fuktinnholdet i luften ut av tørken,  $H_R$  er fuktinnholdet i returluften i  $[\frac{\text{kg vann}}{\text{kg tørr luft}}]$ .  $\dot{m}_{ut}$  er massestrømmen med tørr luft ut i  $[\frac{\text{kg tørr luft}}{\text{h}}]$ .  $\dot{m}_{vann\ ut}$  er massestrømmen med vann som er i luften ut av tørka  $[\frac{\text{kg vann}}{\text{h}}]$ .  $\dot{m}_{ut}$  er massestrømmen med tørr luft ut av tørka i  $[\frac{\text{kg tørr luft}}{\text{h}}]$ .

Temperaturen ut av tørka vil forandres ettersom det blir sendt mer luft i retur og fuktigheten i luften øker, temperaturen for hvert tilfelle kan regnes ut med Formel 41.

$$T_{ut} = \frac{h_{y,ut} - \lambda_0 H_{ut}}{C_{pB,ut} + C_{p,A} H_{ut}}$$

Formel 41  $T_{ut}$  er temperaturen til luften ut av tørken i  $[\text{°C}]$ , det er Formel 15 som er regnet ut med hensyn på temperaturen.

Det har blitt sett på flere mulige mengder med returluft som sendes i retur, utregningen av disse i Formel 42.

$$\dot{m}_{R\ 10-30\ \%} = \dot{m}_{ut,ved\ 0\ \% \text{ returluft}} * \% \text{ av opprinnelig mengden utluft i retur}$$

Formel 42  $\dot{m}_{R\ 10-30\ \%}$  er massestrømmen med luft som blir sendt i retur i  $[\frac{\text{kg tørr luft}}{\text{h}}]$  fra 10 – 30 % av opprinnelig mengde returluft.  $\dot{m}_{ut,ved\ 0\ \% \text{ returluft}}$  er massestrømmen med luft ut av tørka i  $[\frac{\text{kg tørr luft}}{\text{h}}]$  når det ikke sendes noen luft i retur.  $\% \text{ av opprinnelig mengden utluft i retur}$  er andel av opprinnelig massestrøm med tørr luft ut av tørken som blir sendt i retur fra 10 - 30 % (0,1 – 0,3).

Massestrømmen ut og inn i tørka endrer seg ettersom det sendes mer luft i retur utregningen av dette i Formel 43.

$$\dot{m}_{ut/inn\ 10-30\ \%} = \dot{m}_{ut,ved\ 0\ \% \text{ returluft}} - \dot{m}_{R\ 10-30\ \%}$$

Formel 43  $\dot{m}_{ut/inn\ 10-30\ \%}$  er massestrømmen med tørr luft inn/ut av tørka når det kjøres returluft i mellom 10 og 30  $\% [\frac{\text{kg tørr luft}}{\text{h}}]$ .

Entalpien til luften inn er lest av i fuktighetsdiagrammet Figur 11 ved 20 °C og med en luftfuktighet på 0,0125 kJ/kg tørr luft som det antas å være i fabrikken ved inntaket til tørka. For å regne ut energien som er mulig å spare ved å sende noe av luften i retur har Formel 44 blitt benyttet.

$$\text{Årlig energibesparelse} = \dot{m}_R * (h_{y,R} - h_{y,inn}) * \frac{1h}{3600sek} * \frac{24h}{1døgn} * \frac{\text{antall døgn med drift}}{\text{år}}$$

Formel 44 Årlig energibesparelse i [kWh], 1h/3600s er for å regne om til kJ/h til kJ/s som er lik kW, de to siste brøkene er antall driftstimer pr år ved å regne med døgnkontinuerlig drift i et vist antall døgn i året.

Utrekning av den årlige besparelsen er vist i Formel 45.

$$\text{Årlig besparelse} = \text{Årlig energibesparelse} * \text{energipris}$$

Formel 45 Årlig besparelse i [NOK], energiprisen til gass er gitt i  $[\frac{\text{NOK}}{\text{kWh}}]$ .

### 3.8 Dimensjonering av rør til returluft til tørke

For å få priset anlegg for returluft til tørker må rørene dimensjoneres. Hvor mye tørr luft som sendes i retur er gitt i massestrøm, det er av interesse å vite volumstrømmen av lufta i sin helhet. For å finne det må først massestrømmen med vann i returlufta finnes, det er blitt gjort med Formel 46.

$$\dot{m}_{vann R} = \dot{m}_{R 10-30 \%} * H_R$$

Formel 46  $\dot{m}_{vann R}$  er massestrømmen med vann i returlufta i  $[\frac{\text{kg vann}}{h}]$ .

Volumet til returlufta blir så funnet ved å bruke Formel 18. temperaturen som blir brukt i utregningen ble funnet i foregående underkapittel med Formel 41. Hastigheten i rørene er satt til minimum 10 m/s og maks 20 m/s, da dette gir en fornuftig diameter på rørene. Arealet til røret kan så bli funnet ved å bruke Formel 47.

$$A_{rør,min/maks} = \frac{\dot{V}_{returluft}}{v_{min/maks}}$$

Formel 47  $A_{rør,min/maks}$  er arealet til returrøret i  $[m^2]$ , maks/min er ved 10 m/s og 20 m/s.  $\dot{V}_{returluft}$  er volumstrømmen til lufta i  $[\frac{m^3}{h}]$ .  $v$  er hastigheten i  $[\frac{m}{h}]$ .

Diameteren på røret blir så funnet med Formel 35.

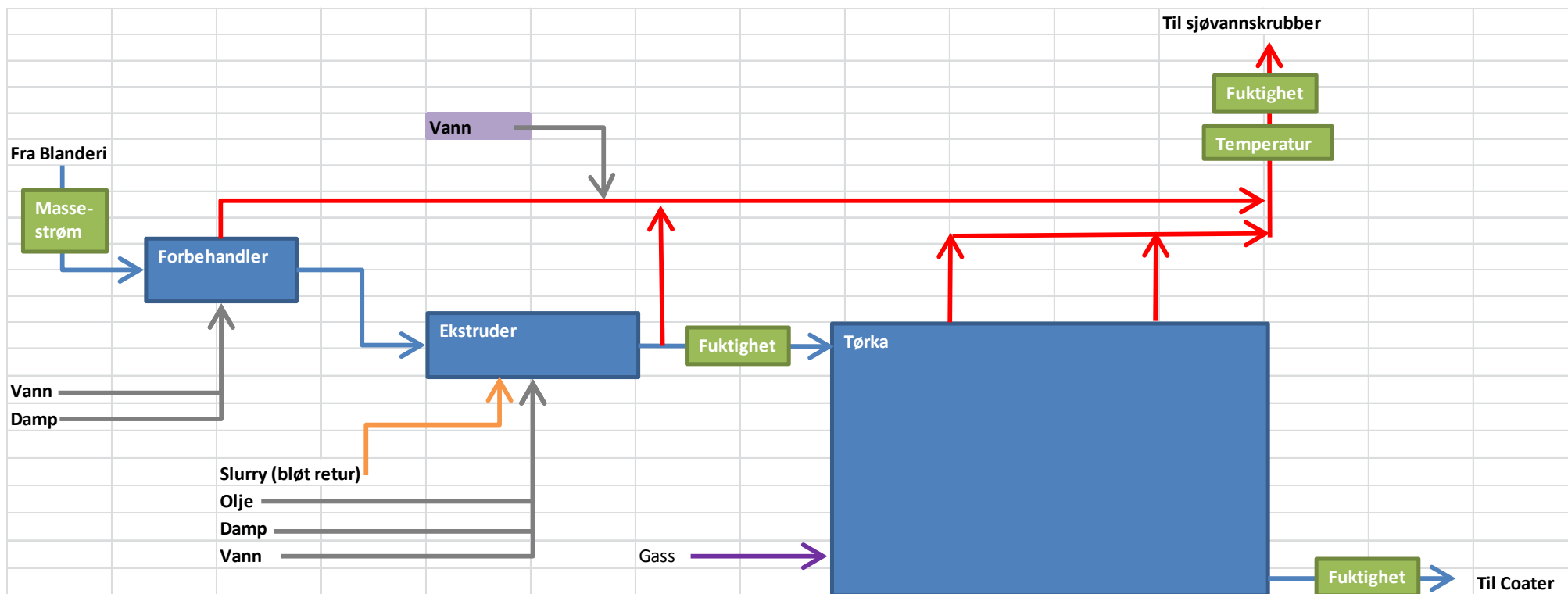
Reynoldstallet er også regnet ut for å være sikker på at det blir en turbulent strøm i rørene. Se avsnitt 3.9.3 for utregningen av Reynoldstall.

### 3.9 Verifisering av måledata tatt på fabrikken

For å kunne si noe om riktigheten av måledata fra fabrikken, kan forskjellige masse- og energistrømmer testes opp i mot hverandre.

Å ta en vannbalanse og en energibalanse for tørken er nyttig for å si om tallene som er målt kan være til å stole på. Nedenfor, i Figur 14 er en oversikt over prosessen rundt tørka illustrert.





Figur 14 Oversikt over forbehandleren, ekstruderen og tørka. De blå strekene skal illustrere pelleten, de røde strekene er luften, de grå strekene er flytende tilsetning, den oransje streken er en blanding av faststoff og flytende. De grønne boksene er måleapparat. Vannet som blir tilsatt luften er markert med lilla siden det ikke er måling på mengden vann som blir tilsatt.

### 3.9.1 Vannbalanse

Det blir tilsatt vann, damp, olje og slurry før tørken i ekstruderen, i forbehandleren blir det tilsatt kaldtvann og damp. Etter ekstruderen er det en fuktighetsmåler som måler fuktinnholdet i pelleten i %. Det har ikke lyktes å få tak i data fra måletidspunktet for de andre målingene dermed har det ikke blitt utført. Skal det gjøres kan massen inn til forbehandleren adderes med massestrømmene som blir tilsatt i forbehandleren og ekstruderen, deretter multipliseres med fuktighets % for å finne ut hvor mye vann det går inn i tørka. I Formel 48 er utregningen av vann inn til tørka, som følger med pelleten satt opp.

$$\dot{m}_{vann\ inn} = ((\dot{m}_{masse} + \dot{m}_{vann} + \dot{m}_{damp})_{inn\ til\ forbehandler} + (\dot{m}_{damp} + \dot{m}_{vann} + \dot{m}_{olje} + \dot{m}_{slurry})_{inn\ til\ ekstruder}) * \frac{\% fukt\ inn\ til\ tørka}{100\ \%}$$

Formel 48  $\dot{m}_{vann\ inn}$  er vann inn til tørka med pelleten. Alle  $\dot{m}$  i  $[\frac{kg}{h}]$ .  $\frac{\% fukt\ inn\ til\ tørka}{100\ \%}$  er prosentvis fuktighet målt inn til tørken delt på 100 % for å få andelen fukt i massen/pelleten inn i tørka.

Etter tørka sitter det en fuktighetsmåler, men ingen måler for massestrømmen. Mengden vann som går ut av tørka må derfor regnes ut med hjelp av hvor mye som går inn i tørka.

Tørrstoffet som går inn/ut av tørka er det samme siden det ikke blir tilsatt eller tatt bort nevneverdig med tørrstoff i tørka. Massestrømmen med tørrstoff blir funnet med Formel 49. Vannet etter tørka blir regnet ut med Formel 50.

$$\dot{m}_{tørrstoff} = \frac{(100 - \% fukt\ inn\ til\ tørka)}{100\ \%} * \dot{m}_{totalt\ inn\ til\ tørka}$$

Formel 49  $\dot{m}_{tørrstoff}$  er massestrømmen med tørrstoff inn i tørka i  $[\frac{kg}{h}]$ .  $\dot{m}_{totalt\ inn\ til\ tørka}$  er alle massestrømmene på høyre side av likhetstegnet i Formel 48.  $\frac{(100 - \% fukt\ inn\ til\ tørka)}{100\ \%}$  100 % minus prosentvis fuktighet målt inn til tørken. Som gir prosentvis tørrstoff delt på 100 % for å få andelen tørrstoff i massen/pelleten inn i tørka

$$\dot{m}_{vann\ etter\ tørka} = \frac{(\% fukt\ ut\ av\ tørka)}{(100 - \% fukt\ ut\ av\ tørka)} * \dot{m}_{tørrstoff}$$

Formel 50  $\dot{m}_{vann\ etter\ tørka}$  er massestrømmen med vann som er i pelleten etter tørka i  $[\frac{kg}{h}]$ .  $\frac{(\% fukt\ ut\ av\ tørka)}{(100 - \% fukt\ ut\ av\ tørka)}$  er prosentvis fuktighet ut av tørka delt på 100 % minus prosentvis fuktighet ut av tørka som er det samme som prosentvis tørrstoff. Dette gir andelen fukt/andel tørrstoff ut av tørka.

Mengden vann som blir tatt bort i tørka, altså vann etter tørka minus vann før tørka regnes ut fra strømmen med pellet, som vist i Formel 51.

$$\dot{m}_{\text{vann tatt bort i tørka, regnet fra pellet}} = \dot{m}_{\text{vann etter tørka}} - \dot{m}_{\text{vann før tørka}}$$

Formel 51  $\dot{m}_{\text{vann tatt bort i tørka, regnet fra pellet}}$  er massestrømmen med vann som blir tatt bort i tørka i  $[\frac{kg}{h}]$ .

Tallene som skal kontrolleres med, altså vannet i luftstrømmen som det var et ønske om å sjekke om stemte, regnes ut med i Formel 52.

$$\dot{m}_{\text{vann tatt bort i tørka, regnet fra luftstrømmene}} = (H_{\text{ut}} - H_{\text{inn}}) * \dot{m}_{\text{tørr luft ut}} + \dot{m}_{\text{vann fra gass}}$$

Formel 52  $H_{\text{ut/inn}}$  er fuktigheten ut/inn av tørka i  $[\frac{kg \text{ vann}}{kg \text{ tørr luft}}]$ ,  $\dot{m}_{\text{tørr luft ut}}$  er massestrømmen med tørr luft ut av tørka i  $[\frac{kg \text{ tørr luft}}{h}]$ ,  $\dot{m}_{\text{vann fra gass}}$  er vannet som blir dannet av forbrenningen av gass i  $[\frac{kg}{h}]$ , denne blir regnet ut i fra Formel 62.

### 3.9.2 Energibalanse

For å få en enda bedre kontroll på om målinger og beregninger av energien i luften ut av tørken stemmer kan det kontrolleres med hva som blir tilført og hva som tapes av energi.

Formel 53 og Formel 54 viser enkle energibalanser for tørka.

$$E_{\text{inn}} = E_{\text{ut}}$$

Formel 53 Energien som kommer inn i tørka må være lik den som går ut.

$$(E_{\text{friskluft}} + E_{\text{gass}} + E_{\text{pellet}})_{\text{inn}} = (E_{\text{luft ut av tørka}} + E_{\text{pellet}} + E_{\text{tap}})_{\text{ut}}$$

Formel 54 For å regne ut energien i pelleten inn ut må varmekapasiteten til pelleten finnes.

### 3.9.3 Hastighetsmålinger i rør

Luftstrømmen ble målt i røra med et måleapparat som stakk ca.250 mm inn i røra, det var rør med en diameter på 800mm. Det antas turbulent strøm og at det dermed ikke har så mye å si at målingen ikke ble tatt midt i røret, men for å være på den sikre siden kan reynoldstallet regnes ut. Formel 55 viser utregningen av reynoldstallet, er  $Re > 4000$  blir det antatt at strømmen er turbulent.

$$Re = \frac{V_{\text{avg}} * D}{\nu}$$

Formel 55  $Re$  er reynoldstall for et sirkulært rør.  $V_{\text{avg}}$  er gjennomsnittshastigheten i røret [m/s].  $D$  er diameteren til røret [m],  $\nu$  er den kinematiske viskositeten til fluidet [ $\text{m}^2/\text{s}$ ].

Til utregningen av reynoldstall har den kinematiske viskositeten til fluidet blitt interpolert til  $80^\circ\text{C}$  for vanddamp for så interpolert med luft ved  $80^\circ\text{C}$  fra (Cengel & Ghajar 2011) s.884+886. Formel 56 viser formelen for interpolasjonen.

$$f(x) = f_1 + (f_2 - f_1) * \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

Formel 56 Lineær interpolasjon mellom to punkter, i dette tilfellet er f den kinematiske viskositeten mens x er gradene tilhørende den kinematiske viskositeten.

### 3.9.4 Verifisering av luftmengde inn til tørka samt vannmengde fra forbrenning

Hvis det skal føres luft i retur til tørka må en oversikt over hvor mye luft som blir ført inn til brennkammerene lages. Luften som kan blir ført i retur er mest hensiktsmessig å føre inn utenom gassbrennerne siden det er luft som er fuktig og inneholder CO<sub>2</sub> (fra den brente gassen).

For å estimere hvor mye luft som kan komme inn i brennkammeret er det tatt utgangspunkt i hvor mye gass som forbrennes i tørka. Sammensetningen av gassen er gitt av gassleverandøren i molprosent som er lik volumprosent når det antas ideell gass.

Det er funnet støkiometriske likninger for hovedkomponentene i gassen (98,4 %) det er vurdert som tilstrekkelig å gjøre et anslag med denne informasjonen da det er så stor andel av den totale blandingen. Mengden mol fra de forskjellige komponentene er regnet ut med Formel 57.

$$mol_{hydrokarboner\ Butan} = mol_{hydrokarboner\ butan\ støkiometrisk} * \frac{mol\% \ Butan}{mol\% \ total}$$

Formel 57 viser utregningen av mol hydrokarboner fra forbrenningen av Butan, den samme prosedyren er utført for de tre hovedkomponentene Butan, Propan, Etan. Mol hydrokarboner butan støkiometrisk er den støkiometriske molmengden for hver forbrenning av det aktuelle stoffet. Den samme formelen er brukt for å finne mol luft og vann ved forbrenningen av de tre stoffene (da mol vann butan, og mol luft butan osv.).

For å regne luftmengden i mol har det blitt gått ut i fra en molprosent på 21 % av O<sub>2</sub> i luft, for å regne ut luftmengden ved støkiometrisk forbrenning har Formel 58 blitt benyttet.

$$mol_{luft\ Butan} = \frac{mol_{O_2\ butan}}{molandel\ O_2\ i\ luft}$$

Formel 58  $mol_{luft\ Butan}$  er mol luft som går med ved støkiometrisk forbrenning av butan. Den samme prosedyren er utført for de tre hovedkomponentene Butan, Propan, Etan

For å ta et estimat på mengde luft som blir blåst inn i gasskammeret, er det tatt som utgangspunkt 10 ganger den støkiometriske mengden for å se hva det er i et verst tilfelle scenario.

Mengde gass er gitt av avlesninger fra fabrikk. Formelen for utregningen av mengde luft som sendes inn for å forbrenne gassen i dette tilfellet er gitt ved Formel 59.

$$\dot{V}_{\text{luft til forbrenning av gass}} = \dot{V}_{\text{gass}} \frac{\text{mol}_{\text{luft totalt (10 ganger støkiometrisk)}}}{\text{mol}_{\text{hydrokarboner totalt gass}}}$$

Formel 59  $\dot{V}_{\text{luft til forbrenning av gass}}$  er volumstrømmen [ $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ] med luft som blir blåst inn i brennkammerene ved forbrenning av gassen ved et verst tilfelle scenario.  $\dot{V}_{\text{gass}}$  er gitt i [ $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ]. Molbrøken gir molforholdet som er likt volumforholdet siden det antas en ideell gass.  $\text{mol}_{\text{luft totalt (10 ganger støkiometrisk)}}$  er antall mol ved støkiometrisk forbrenning av Butan, propan og Etan addert og multiplisert med 10 for å ta et verst tilfelle scenario.  $\text{mol}_{\text{hydrokarboner totalt gass}}$  er totalt mol hydrokarboner ved forbrenning av Butan, Propan og Etan.

Det er også av interesse å se hvor mye vann som dannes av forbrenningen av gassen siden dette påvirker vannregnskapet. Volumstrømmen med vann er regnet ut med Formel 60.

$$\dot{V}_{\text{vann fra forbrenning av gass}} = \dot{V}_{\text{gass}} \frac{\text{mol}_{\text{vann totalt}}}{\text{mol}_{\text{hydrokarboner totalt gass}}}$$

Formel 60  $\dot{V}_{\text{vann fra forbrenning av gass}}$  er volumstrømmen med vann i [ $\frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ ],  $\text{mol}_{\text{vann totalt}}$  er totalt antall mol ved støkiometrisk forbrenning av Propan, Etan og Butan addert.

For å finne massestrømmen vann må tettheten til vann i gassform finnes, dette gjøres med Formel 61.

$$\rho_{\text{vanndamp i tørka}} = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}$$

Formel 61  $\rho_{\text{vanndamp i tørka}}$  er tettheten til vanndampen i tørka [ $\frac{\text{kg vann}}{\text{m}^3 \text{vanndamp}}$ ]. P er trykket i luften som antas å være 1 bar i tørken, M er molekylvekten til vann i [ $\frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$ ], R er den universelle gasskonstanten gitt i [ $\frac{\text{Pa}\cdot\text{m}^3}{\text{kmol}\cdot\text{K}}$ ], T er temperaturen i [K] den er satt til 373K (100°C) som det antas temperaturen ligger på inne i tørka.

Massestrømmen med vann regnes da ut med Formel 62.

$$\dot{m}_{\text{vann fra gass}} = \dot{V}_{\text{vann fra forbrenning av gass}} * \rho_{\text{vanndamp i tørken}}$$

Formel 62  $\dot{m}_{\text{vann fra gass}}$  er massestrømmen med vann som blir dannet av gassen i [ $\frac{\text{kg}}{\text{h}}$ ]

### 3.10 Utregning av ny gjennomsnittseffekt etter installasjon av frekvensomformere

For å regne ut hvor mye det er mulig å spare på å installere frekvensomformere måtte det antas en reduksjon i volumstrøm/turtall for å regne ut hvor mye effekten går ned. Det har blitt

satt en andel av opprinnelig volumstrøm/turtall etter skjønn og for å regne ut andelen av full effekt på strømningsmaskinene har Formel 63 blitt benyttet.

$$\text{Andelen av full effekt} = (\text{andelen av opprinnelig volumstrøm/turtall})^3$$

Formel 63 Andelen av opprinnelig volumstrøm/turtall er opphøyd i 3 siden en reduksjon i turtallet reduserer effekten opphøyd i 3 som vist i innledningen av oppgaven.

Møller og blandeskruer har ikke sammenhengen mellom turtall og effekt som pumper og vifter, effekten for disse motorene er antatt lineær med turtallet.

### 3.11 Økonomisk analyse

For å se om de aktuelle investeringene er lønnsomme, eventuelt hvor lang tid tar før de er lønnsomme kan flere typer økonomiske analyser foretas. Som i Enovas studie «Potensial for energieffektivisering i norsk landbasert industri» har det i denne rapporten blitt brukt en kalkulasjonsrente på 10 %.

Energiprisen er satt til 35 øre/kWh for elektrisitet, 40 øre/kWh for gass og 37,5 øre/kWh hvor en investering har ført til reduksjon av begge energikildene (hvor både gass- og elektrisitetsforbruket har blitt redusert).

Energiprisen som Enova bruker i nevnte rapport er 30 øre/kWh, og er et vektet snitt av energiprisen i 2008, og trolig svært konservativt for deres prognoser som retter seg inn mot 2020 som de selv nevner i rapporten (Enova.1 2009).

Tall fra SSB i fra 2011 viser en pris på 33,9 øre/kWh for elektrisitet og 35,5 øre/kWh for gass. For 2012 var tallene 30,6 øre/kWh for elektrisitet og 39,3 øre/kWh for gass, dette gjelder industri (SSB). De overnevnte prisene ligger til grunn for estimerte energipriser brukt i denne oppgaven.

#### 3.11.1 Tilbakebetalingsmetoden

I tilbakebetalingsmetoden ses det på hvor lang tid det tar før investeringen er inntjent, se Formel 64 for utregning.

$$\text{Tilbakebetalingstid} = \frac{\text{Investeringskostnad}}{\text{Netto kontantstrøm for prosjektet}}$$

Formel 64 Tilbakebetalingstiden i [år], Investeringskostnaden er den totale kostanden for installering av prosjektet mens netto kontantstrøm er penger spart pr år av prosjektet minus årlige utgifter som kommer av prosjektet som drift og vedlikeholdskostnader.

### 3.11.2 Nåverdimetoden

For å sammenligne forskjellige investeringer er ikke tilbakebetalingsmetoden den beste metoden å bruke med tanke på at en investering kan betale seg tilbake på kort tid, men være mindre lønnsom på lang sikt enn en stor investering med lenger tilbakebetalingstid hvor mer penger kan spares over tid. Utregningen av nåverdi i Formel 65.

Nåverdimetoden tar med rente inn i analysen, noe som gir et riktigere bilde på lønnsomheten til et prosjekt over tid.

$$NNV = -U_0 + K * \frac{(1 + r)^n - 1}{r(1 + r)^n}$$

Formel 65 *NNV* er nettonåverdien i [NOK].  $U_0$  er investeringskostnaden i [NOK],  $K$  er den årlige kontantstrømmen i [NOK],  $r$  er kalkulasjonsrenten,  $n$  er antall år (Hoff 2009).

## 4 Resultater

### 4.1 Energibetraktninger for prosessen med tanke på målinger

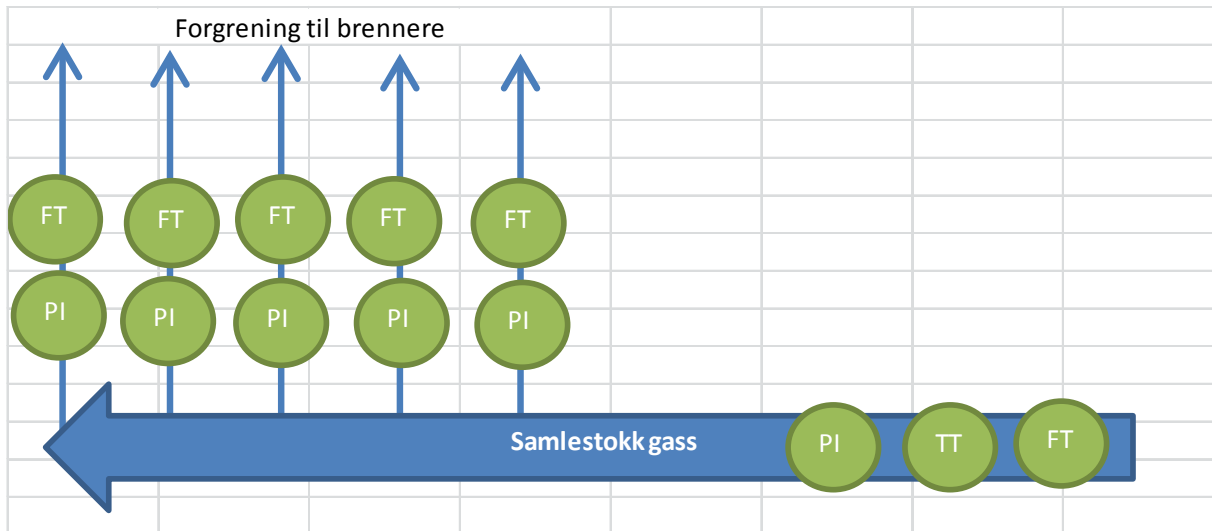
Det er ikke installert målere nok i prosessen til å få en oversikt over energiforbruket. Det er gått igjennom prosessen for å se hvor det er mest hensiktsmessig å installere målere for å få en oversikt over energiforbruket.

Det er også undersøkt muligheter for energisparing direkte ved installering av nytt utstyr ikke bare optimalisering av prosessen. En oversikt over dette er gitt i de påfølgende underkapitlene.

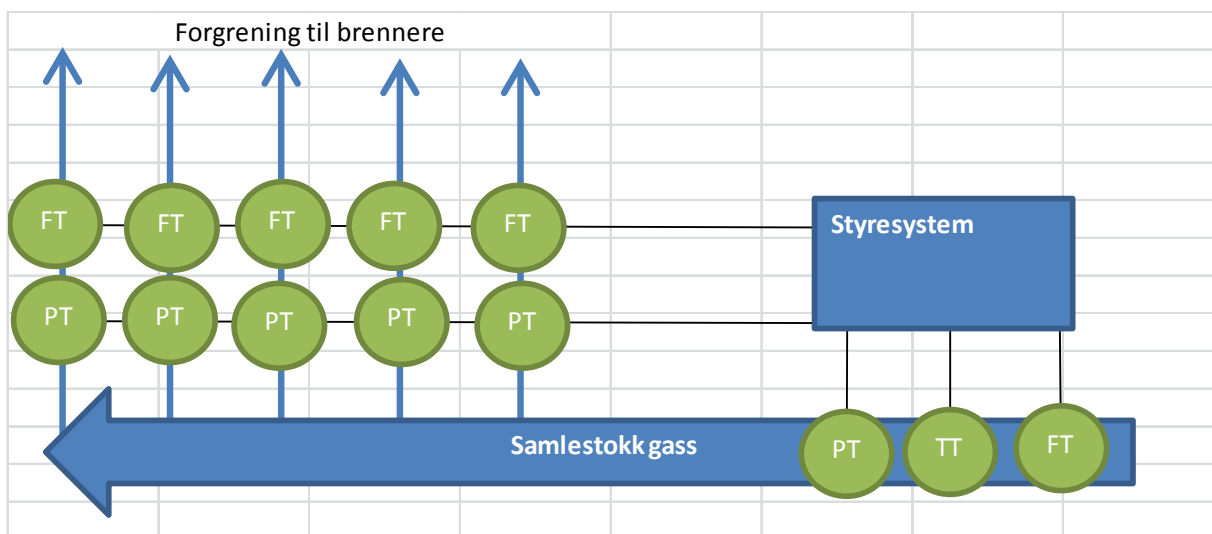
#### 4.1.1 Gass inn til tørkene

I dag er det ikke online-målinger av energien i gassen som blir innfyrt i de to tørkene. Det er volummålere og manometre på alle brennerne inn til tørke 2 samt «samlestokken» (rør med forgreninger til de forskjellige brennerne) til både tørke 2 og tørke 1. Det er også temperaturmåler på de to samlestokkene. Ved å koble opp volummålerne som kan måle  $m^3/h$  gass og temperaturmåleren som måler i  $^{\circ}C$  samt bytte ut manometrene med trykkmålere som kan kobles online, kan energien forbrukt av hele tørke 1 og 2 samt hver og en brenner for tørke 2 regnes ut. Figur 15 viser grafisk målere som er installert til tørke 2, tørke 1 har like målere på samlestokken som tørke 2, men ikke til brennerne. Figur 16 er ønsket oppkobling

for tørke 2, et detaljert forbruk for tørken kan da oppnås, for tørke 1 kan det være en start å koble opp samlestocken.



Figur 15 Nåværende situasjon for tørke 2. P står for trykk, T står for temperatur, F få for flow, I står for indikator (analog visning), T står for transmitter (sender). Flowtransmitterne har i dag telleverk og temperaturtransmitterne går til et skap like ved.



Figur 16 Ønsket oppkobling for å få en detaljert oversikt over prosessen.

Tørkene styres som nevnt tidligere, ut i fra tørrstoffinnholdet i pelleten ut av tørkene, så ved første øyekast kan det se ut til å ikke ha noen hensikt i å måle innfyrt effekt til tørkene. Det kan endog være forskjeller på hvordan prosessen kjøres i forkant, med tanke på tilsetninger i ekstruderne spesielt. Det kan også tenkes at forandringer i oppholdstid i tørken, tykkelse på laget med pellet, samt kjøring av de forskjellige brennerne i forhold til hverandre har en innvirkning på forbruket av gass og det er noe å hente på å optimalisere disse parameterne.



Å lage rubrikk i styresystemet, som viser innfyrt effekt som en spotmåling, kan skape en økt forståelse fra operatører om de økonomiske gevinstene ved å starte tørka litt nærmere oppstart etter en stopp slik, at den ikke står og går unødvendig lenge (tørka trenger tid på å bli varm, men det kan tenkes at den kan klare seg med mindre oppvarmingstid. Det vil også være en fordel å ha en standard oppvarmingstid for alle skift).

Ved å ha måling på hvor mye energi tørkene bruker, kan driftskostnadene ved å produsere de forskjellige reseptene sammenlignes. Det kan også tenkes at det kan være noe å hente på å kjøre forskjellige resepter på de to linjene.

Etter at målingene til tørkene er oppe og går og tørkene er optimalisert kan det vurderes om det er noen hensikt i å installere volummålere til hver enkelt brenner for tørke 1. Det kan tenkes at erfaringsdata kan overføres til tørke 1 uten de sistnevnte målerne

#### **4.1.2 Gass til dampproduksjon**

Her er det likt som for samlestocken til tørkene en volummåler, og en temperaturmåler som kan kobles online samt et manometer. Ved å koble opp volum- og temperaturmåler samt installere en måler til trykk som kan kobles online, kan en få oversikt over energiforbruket til dampproduksjon.

#### **4.1.3 Elektrisitet**

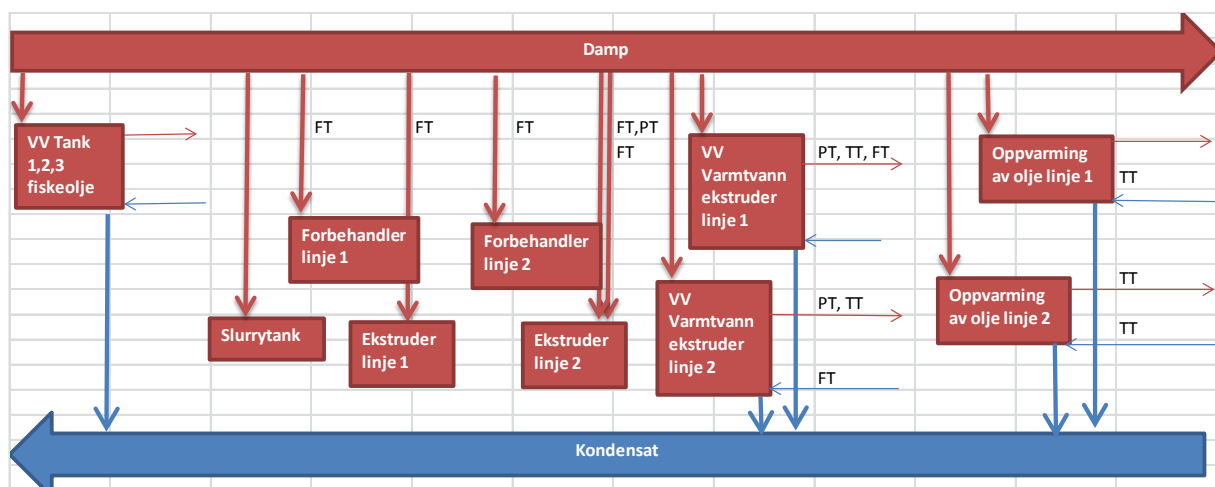
Det er mange komponenter som bruker elektrisitet på fabrikken, å få opp energiforbruket til hver og en motor blir for omfattende og dyrt, ei heller hensiktsmessig i denne sammenhengen. De motorene som allerede er frekvensstyrt (regulert med frekvensen med en frekvensomformer) er det mulig å hente ut energidata fra. Det kan være av interesse å få inn de største motorene, samt de med størst potensiale til besparing først, siden dette gir muligheter for å kjøre motorer med et mindre turtall og det da kan veies opp hvor mye som kan spares ved å sette ned turtallet i forhold til hvor mye som tjenes på det. Avtrekksvifter som er frekvensstyrt kan være av spesiell interesse i dette tilfellet (med tanke på relasjon til reduksjon i effekt ved redusert turtall, se affinitetslover 1.4.1.4 ).

Linje 2 har mulighet til å koble opp tre hovedforgreninger gjennom målere som går under navnet nettverksanalyser (går ikke nærmere inn på hvordan de skal kobles opp eller hva det er, da det hadde gjort oppgaven enormt mye større hvis alt skulle forklares på en teknisk akseptabel måte) fra hovedstrømmen til linje 2, slik at energiforbruket her kan kobles opp mot

styresystemet. Det er ikke sett noe mer på linje 1 eller resten av fabrikk, for å begrense oppgaven.

#### 4.1.4 Forbruket av damp

Gass blir brukt til å fordampe vann til damp. Denne dampen brukes flere steder i prosessen, en oversikt over hva dampen går til, dimensjonene på rørene og hvilke målere som er installert samt hvilke målere som mangler for å få en oversikt over dampforbruket vises i Tabell 1 og Figur 17. Målerne som mangler må installeres hvis en oversikt over dampforbruket til hver enhet skal opprettes (noe det må for å få energiforbruket/kg produsert som var et ønske fra fabrikk).



Figur 17 VV er forkortelse for varmeveksler. Elementene i figuren som ikke har kondensat er direkteforbrukere av damp. De tynne strekene illustrerer vannsiden av varmevekslerne, de tykke er damp (røde streker) og kondensat (blå streker).

|                                    |         |              | Måler installert |                     |                  |  |
|------------------------------------|---------|--------------|------------------|---------------------|------------------|--|
|                                    | DN damp | DN kondensat | Trykk            | Temperatur          | Mengde/Volum     |  |
| Varmtvann                          | 50      | 32           | nei              | nei                 | nei              |  |
| Tank 1,2,3 med fiskeolje           | 32      | 25           | nei              | nei                 | nei              |  |
| Slurry                             | 32      | x            | nei              | nei                 | nei              |  |
| Forbehandler linje 1               | 100     | x            | nei              | nei                 | ja               |  |
| Ekstruder linje 1                  | 80      | x            | nei              | nei                 | ja               |  |
| Varmtvann til ekstruder L1         | x       | x            | ja, på vannsiden | 1 av 2 på vannsiden | ja, på vannsiden |  |
| Forbehandler linje 2               | 80      | x            | nei              | nei                 | ja               |  |
| Ekstruder linje 2                  | 50      | x            | nei              | nei                 | ja               |  |
|                                    | 65      | x            | ja               | nei                 | ja               |  |
| Varmtvann til ekstruder L2         | x       | x            | ja, på vannsiden | 1 av 2 på vannsiden | ja, på vannsiden |  |
| Damp til oppvarming av olje til L1 | 65      | 32           | nei              | 1 av 2 som trengs   | nei              |  |
| Damp til oppvarming av olje til L2 | x       | x            | nei              | 2 av 2 på vannsiden | nei              |  |

Tabell 1 Hvor det er x eksisterer ikke rør på grunn av det er direkte forbruk (ingen retur) eller irrelevant eller ikke blitt funnet. DN står for nominell diameter og blir benyttet i rørsystemer for å sikre at rørdeler passer sammen.

Der hvor det er kondensat må det være målinger av trykk og temperatur på både damp- og kondensatsiden av varmeveksleren som beskrevet i avsnitt 3.3.

## 4.2 Nye installasjoner energisparing

Det er som nevnt sett på å sende en delstrøm av utluften til tørke 2 i retur inn i tørken igjen. Installasjon av varmevekslere for å gjenvinne energien i luften ut av tørken er også sett på. Nedenfor er det forklart nærmere hvordan dette er tenkt.

### 4.2.1 Forbruk av varmtvann

For å varme opp vann i en varmeveksler trengs det mottakere av varmtvann. Det er flere mulige mottakere for varmtvann i fabrikk. Det er 9 tanker med fiskeolje som trenger oppvarming til 20 - 30 °C. I tillegg er det også en nyere tank med olje som skal holde en temperatur på 70 - 80 °C, samt en ny tank som også skal komme til i fremtiden. Tankene har en kappe hvor vannet går og varmer opp tankene. For de installerte tankene er det varmevekslere for oppvarming av kappevannet, energikilden og størrelsen på varmevekslerne til de forskjellige tankene i Tabell 2. Skisse av en typisk krets for oppvarming av fiskeoljetankene i Figur 20.

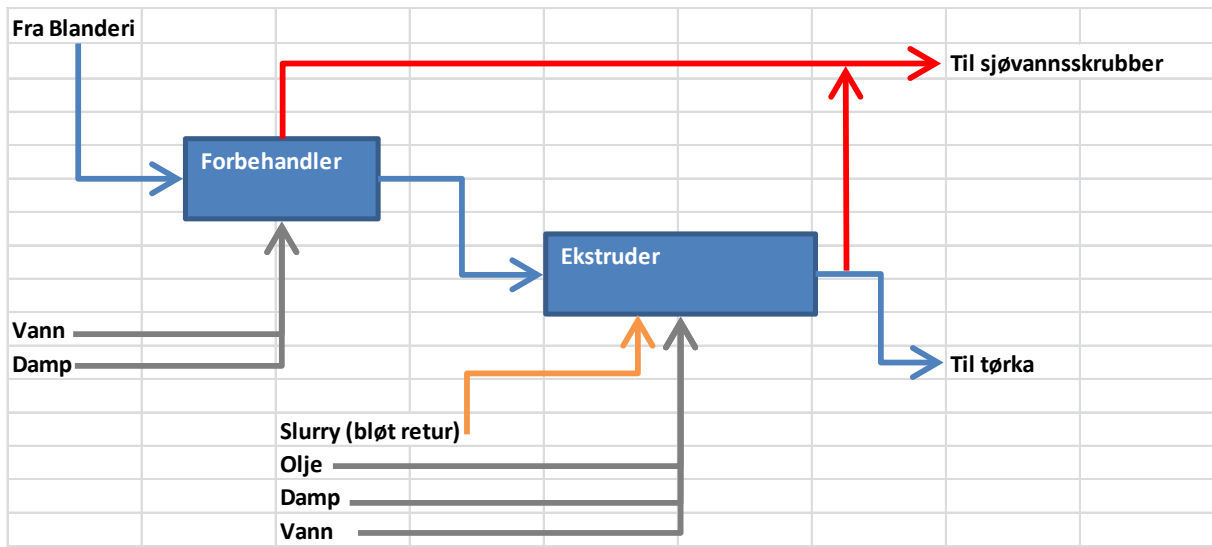
| Tanker             | Energikilde          | Størrelse varmeveksler [kW] | Ønsket temperatur [°C] | Temperatur ut av varmeveksler/kolbe [°C] |
|--------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|--|
| Oljetank nr: 1,2,3 | Damp                 | 180                         | 20-30                  | 55                                       |
| Oljetank nr: 4,5   | Elektrisk med sløyfe | 225                         | 20-30                  | 43                                       |
| Oljetank nr: 6,7,8 | Elektrisk med sløyfe | 100                         | 20-30                  | 59                                       |
| Oljetank nr: 9     | Elektrisk med sløyfe | 60                          | 20-30                  | 47                                       |
| Nyere oljetank     | Elektrisk med sløyfe | 90                          | 70-80                  | 88                                       |
| Varmtvann          | Damp                 | 370                         | 80                     | 80                                       |
| Totalt effektbehov |                      | 1025                        |                        |  |

Tabell 2 Energikilde er hvilken installert oppvarmingskilde det er av den eksisterende kretsen. Totalt effektbehov er effekten fra alle varmevekslerne som det er tenkt dekt med det nye anlegget.

Det er også et ønske om å tilsette varmtvann som holder mellom 50 og 80 °C i forbehandlerne og ekstruderne for begge linjene. Damp brukes i dag til oppvarming av vannet som går inn til begge ekstruderne, mens vannet som tilsettes i forbehandlerne er kaldtvann. Vannmengdene det er tatt utgangspunkt i er illustrert i Tabell 3.

| Vann til             | Mengde i kg/h |
|----------------------|---------------|
| Forbehandler linje 1 | 800           |
| Forbehandler linje 2 | 1000          |
| Ekstruder linje 1    | 1000          |
| Ekstruder linje 2    | 750           |
| Totalt               | 3550          |

Tabell 3 Viser typiske vannmengde tilsatt i forbehandlerne og ekstruderne. En oversikt over tilsetningen av vann til forbehandleren og ekstruderen til en linje i Figur 18.



Figur 18 Vann tilsettes til både forbehandlerne og ekstruderen, flere andre væskestrømmer blir også tilsatt samt slurry (returmasse). De røde strekene illustrerer luftavtrekket, de blåstreken illustrerer hovedstrømmen med masse/pellet.

Det er sett på muligheten for å installere en luft/vann varmeveksler i utluften fra tørke 2 for å varme opp vann til å dekke dette forbruket. Og på denne måten spare energi i form av elektrisitet og gass (oppvarming av damp) som går til oppvarming av tankene. Det er sett på hvor mye det er å spare på et slikt tiltak og forsøkt å estimere en pris på å installere utstyret som trengs for å få dette til.

#### 4.2.2 Varmeveksleranlegget

Anlegget er tenkt å holdes så enkelt som mulig, med tanke på lave installasjonskostnader samt driftskostnader og driftssikkerhet. Det er fokusert på å utnytte eksisterende utstyr.

Varmevekslerne er tenkt og settes inn etter de to viftene til tørka. Det er en del støv i luften etter tørkene, det sitter derfor en stor sykklon på hvert av rørene som fører luften ut av tørkene. Etter de nevnte sykklonene sitter viftene.

Ved å sette inn varmevekslerne etter viftene unngås kondens i viftene samt støv som vil skape trøbbel med begroing på varmevekslerne. Det må regnes med at noe støv kommer igjennom, ved en eventuell feil i anlegget som skjer i prosessanlegg nå og da, det er derfor tatt høyde for rengjøringsmuligheter av varmeveksleren ved dimensjonering og prissetting ved å bruke tykkere lameller.

Det tenkte anlegget er basert på antagelser som er så godt som mulig forklart i teksten. Prisene til anlegget er basert på erfaringsdata. Prislister og antatt arbeidstid er ikke å regne som et tilbud, men et estimat på hva det kan koste. Metodene til prisingen er lagt ved som vedlegg.

Hovedledningen med vann holder et trykk på 5 bar, det er tilstrekkelig til å frakte vannet opp til varmevekslerne. I Figur 19 er opplegget for varmevekslerne og tanken forsøkt illustrert. Buffertanken for varmtvann er satt til å ta ut vann først av kretsen siden det er her behovet er størst for høy temperatur varmtvann.

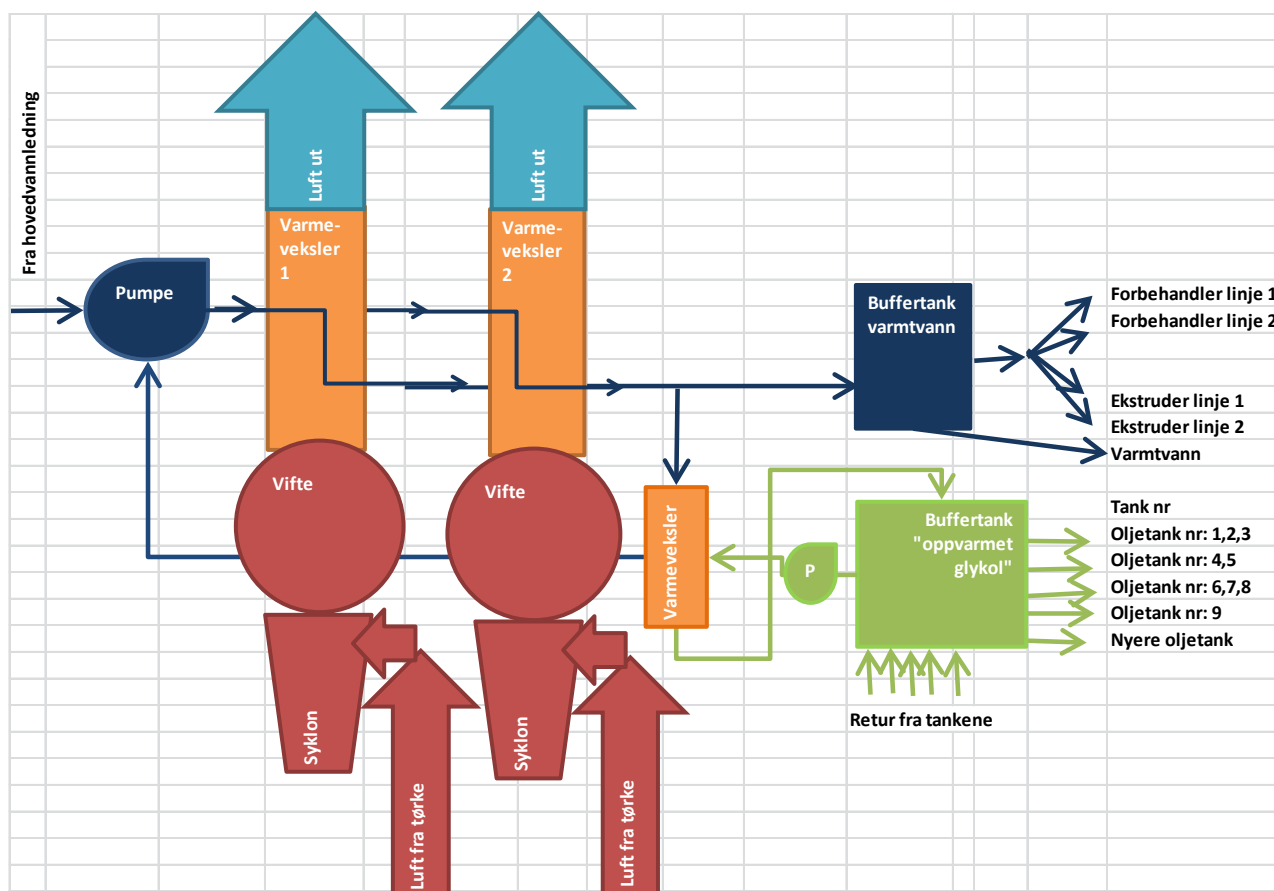
Det er to tanker, en til varmtvann og en til glykol. Det er gjort slik siden tankene som trenger oppvarming har glykolkretser, siden mange av tankene står utendørs. Tanken med varmtvann er en buffertank.

For å distribuere varmtvannet er det tenkt å bruke eksisterende sløyfer samt pumper og ventiler tilhørende disse. Den eksisterende sløyfen til ekstruderen er dimensjonert til 3000 kg/h (sløyfe med varmeveksler damp/vann og tilhørende pumpe) det er derfor antatt at pumpen her kan dekke både forbehandleren og ekstruderen for hver linje. Det er også tenkt å kunne bruke den eksisterende kretsen til varmtvann og bare koble den til buffertanken for varmtvann.

For å varme opp glykolen er det tenkt satt inn en varmeveksler og en sirkulasjonspumpe. Fra buffertanken til glykol er det tenkt rør til de forskjellige eksisterende kretsene.

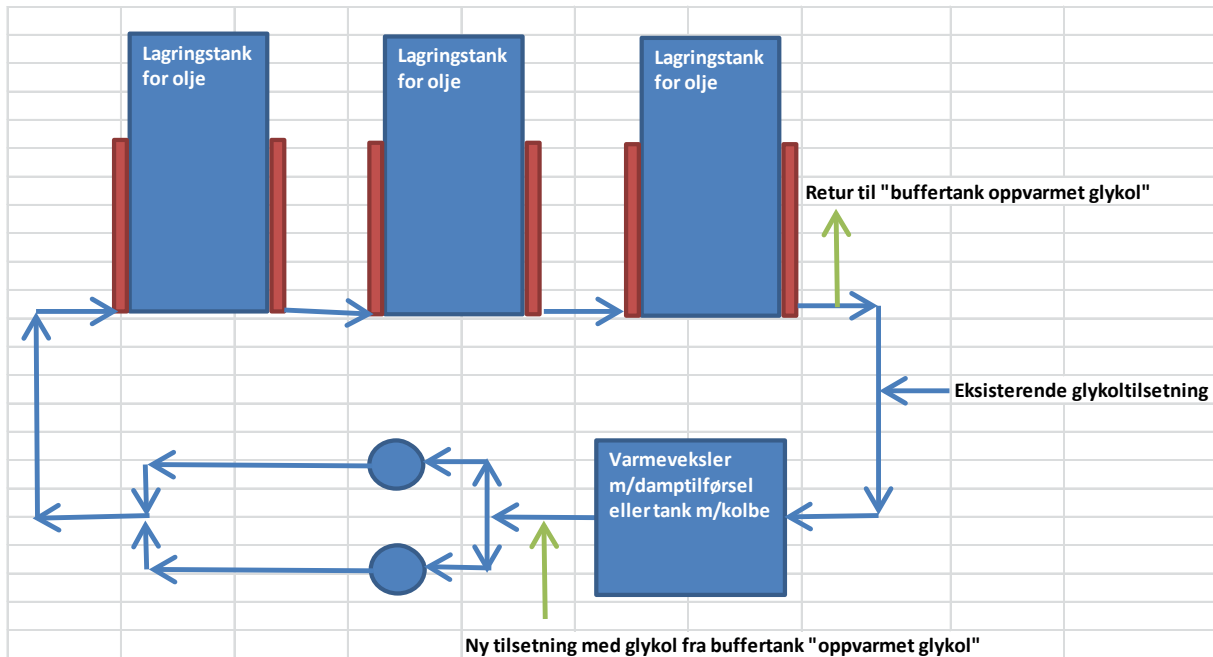
Alle kretsene går i dag innom en kolbe, el-kjel eller varmeveksler, men det er da tenkt en avstengningsventil på alle rør inn og ut av begge buffertanken, slik at de forskjellige kretsene da kan fungere som de har gjort før når tørka ikke går.

Figur 20 viser en typisk krets for oppvarming av tanker med fiskeolje.



Figur 19 Skisse av anlegget som er tenkt for gjenvinning av varmen i luften ut av tørke 2 ved hjelp av varmevekslere. Det oransje er varmevekslere, varmeveksler 1 og 2 luft/vann varmevekslere, mens den med loddrett-tekst er en vann/glykolvarmeveksler, De to pumpene (p) er sirkulasjonspumper. Det som er grønt er glykol. Det mørkeblå er vann.

Vannets temperatur var ved befaring på fabrikken i vinter 3 °C, det antas en årsmiddel temperatur på 7 °C inn til fabrikken gjennom året. Vannet som kommer inn til varmeveksleren er en blanding av vannet fra ferskvannsledningen og vannet fra sirkulasjonssløyfen, som antas å holde 30 °C og at blandingen inn til varmeveksleren da holder 20 °C.



Figur 20 Krets for å holde oljetankene varme. Det røde på siden av tankene skal illustrere kappene hvor glykolen blir pumpet inn for å varme opp tankene. De grønne pilene er hvor de nye tilkoblingspunktene for glykol som er oppvarmet av utluften fra tørkene er tenkt koblet til.

Det er ikke beregnet noe nytt oppfyllingsystem for det nye glykolsystemet utover det som er til de eksisterende linjene, siden alle kretsene vil bli koblet til det nye systemet og det da vil være mange alternativer for å fylle på glykol.

#### 4.2.2.1 Resultat energiestimat tørke 2

I utregningene for tørkene er tallene i Tabell 4 blitt brukt.

| $C_{pA}$ [kJ/kg*K] | $C_{pB}$ [kJ/kg*K] | $\lambda_0$ [kJ/kg] | $M_{vann}$ [kg/kmol] | $M_{tørrluft}$ [kg/kmol] | $P$ [Pa] | $R$ [Pa*m <sup>3</sup> /kmol*K] |
|--------------------|--------------------|---------------------|----------------------|--------------------------|----------|---------------------------------|
| 1,87               | 1,00               | 2 501               | 18                   | 29                       | 100 000  | 8 314                           |

Tabell 4 Data som er blitt brukt i utregningen (Atkins & Paula 2010; McCabe et al. 2005; Sonntag & Borgnakke 2007).

Tabell 5 viser målingene for tørke 2 samt utregningen av arealet til rørene og hastigheten i rørene.

| Tørke 2             | Luftstrøm [m <sup>3</sup> /h] | $D_{rør}$ [m] | $T$ [°C] | $H$ [kg vann/kg tørr luft] | $A$ [m <sup>2</sup> ] | $v$ [m/s] |
|---------------------|-------------------------------|---------------|----------|----------------------------|-----------------------|-----------|
| Fra sone 2 og 4     | 26 000                        | 0,8           | 88       | 0,0663                     | 0,50                  | 14        |
| Fra sone 1 og 3     | 26 200                        | 0,8           | 88       | 0,0663                     | 0,50                  | 14        |
| Totalt etter vifter | 52 200                        |               | 88       | 0,0663                     |                       |           |

Tabell 5  $D_{rør}$  er den indre diameteren på rørene. Totalt etter vifter er de to luftstrømmene addert. For utregningen av returluft er design-data for luftstrømmen fra ekstruder og forbehandler lagt til, den er på 7000 m<sup>3</sup>/h.

|                     | Luft før varmeveksler   |                                  |                     |
|---------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------|
| Tørke 2             | $h_y$ [kJ/kg tørr luft] | G [m <sup>3</sup> /kg tørr luft] | m' [kg tørr luft/h] |
| Fra sone 2 og 4     | 265                     | 1,15                             | 22 636              |
| Fra sone 1 og 3     | 265                     | 1,15                             | 22 810              |
| Totalt etter vifter | 265                     | 1,15                             | 45 445              |

Tabell 6 Utregninger for tørke 2, m' er lik for både før og etter varmeveksleren.

Dataene for luften etter varmeveksleren (temperaturen) er satt ut i fra ønske og skjønn (etter hva som kan gå an å få til). H har blitt lest av for absoluttfuktighet 100 % i Figur 11 ved temperaturen satt,  $h_y$  er lest av fra Figur 11 etter temperatur og fuktighet var valgt. Tabell 7 viser data for luften etter varmeveksler.

| Luft etter varmeveksler  |        |                         |
|--------------------------|--------|-------------------------|
| H [kg vann/kg tørr luft] | T [°C] | $h_y$ [kJ/kg tørr luft] |
| 0,044                    | 37     | 155                     |

Tabell 7 Kalkulasjoner gjort av TTC ved uthenting av 700 kW fra hver varmeveksler ga en temperatur på 43°C (Rundin 2014).

|                     | Vann                           |                   |           |           |             |                            |                           |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|-----------|-----------|-------------|----------------------------|---------------------------|
| Tørke 2             | $\Delta h_y$ [kJ/kg tørr luft] | P [kW], Q' [kJ/s] | m' [kg/s] | m' [kg/h] | c [kJ/kg*K] | $T_{\text{vann inn}}$ [°C] | $T_{\text{vann ut}}$ [°C] |
| Fra sone 2 og 4     | 110                            | 695               | 2,8       | 9 945     | 4,19        | 20                         | 80                        |
| Fra sone 1 og 3     | 110                            | 700               | 2,8       | 10 022    | 4,19        | 20                         | 80                        |
| Totalt etter vifter | 110                            | 1394              | 5,5       | 19 967    | 4,19        | 20                         | 80                        |

Tabell 8 Massestrømmene til veksleren regnet ut i fra effekten som kan hentes ut av luften ved gitte temperaturer på vannet inn/ut av veksleren.

|                          | $m'_{\text{vann}}$ [kg/h] | $c_p$ [kJ/kg*K] | $T_{80}$ [°C] | $T_7$ [°C] | P [kW] | t [h] | f    | Q [kWh]   | Energipris [NOK/kWh] | NOK          |
|--------------------------|---------------------------|-----------------|---------------|------------|--------|-------|------|-----------|----------------------|--------------|
| Vann                     | 3 550                     | 4,19            | 80            | 7          | 302    | 4 800 | 0,75 | 1 085 839 | 0,375                | kr 407 189   |
| Varmtvann                |                           |                 |               |            | 370    | 4 800 | 0,50 | 888 000   | 0,375                | kr 333 000   |
| Lagringstanker fiskeolje |                           |                 |               |            | 655    | 4 800 | 0,30 | 943 200   | 0,375                | kr 353 700   |
| Totalt                   |                           |                 |               |            |        |       |      | 2 917 039 |                      | kr 1 093 889 |

Tabell 9 f er Faktoren som trengs for å justere for manglende målinger som beskrevet tidligere i oppgaven.



#### 4.2.2.2 Kostnader

|   | stk, lengde, areal o.l. | Pris [NOK] eks.mva. pr. enhet |
|---|-------------------------|-------------------------------|
| Varmevekslere 2*700kW   | 2                       | kr 110 000                    |
| Varmeveksler 600kW plate vann/vann  | 1                       | kr 80 000                     |
| Rør DN 50 ferdig montert  | 190                     | kr 1 600                      |
| Rør DN 80 ferdig montert  | 499                     | kr 2 300                      |
| Automatventil DN 40   | 1                       | kr 20 000                     |
| Automatventil DN 65   | 1                       | kr 30 000                     |
| Manuell ventil DN 40  | 7                       | kr 1 700                      |
| Manuell ventil DN 65  | 5                       | kr 2 500                      |
| Pumpe m/motor DN 50   | 1                       | kr 20 000                     |
| Pumpe m/motor DN 80   | 1                       | kr 50 000                     |
| Frekvensomformer ferdig oppkoblet 4 kW  | 1                       | kr 33 123                     |
| Frekvensomformer ferdig oppkoblet 8 kW  | 1                       | kr 40 109                     |
| Montasje av ventiler, motorer og varmevekslere                                  | 1                       | kr 261 000                    |
| Prosjektering av varmevekslere, rør, ventiler, pumper med tegninger og underlag | 1                       | kr 120 000                    |
| Tank til varmtvann (5m <sup>5</sup> )   | 1                       | kr 125 000                    |
| Tank til glykol (5m <sup>5</sup> ) mange stusser                                | 1                       | kr 175 000                    |
| Isolasjon tanker (godt isolert) 2000kr/m <sup>2</sup>                           | 90                      | kr 2 000                      |
| Arbeid med isolering  | 1                       | kr 50 000                     |
| Prosjektering av tanker med tegninger og underlag                               | 1                       | kr 40 000                     |
| Montering tanker  | 1                       | kr 80 000                     |
| Temperaturmålere  | 10                      | kr 512                        |
| Totalt  |                         | kr 3 000 332                  |

Tabell 10 kilder til priser og beregninger kan sees i vedlegg.

#### 4.2.2.3 Tilbakebetalingstid og nåverdi av investeringen

| Varmeveksler | Mulig besparelse | U <sub>0</sub> | Årlige driftkost | K            | r   | n  | NNV          | Tilbakebetalingstid |
|--------------|------------------|----------------|------------------|--------------|-----|----|--------------|---------------------|
|              | kr 1 093 889     | kr 3 000 332   | kr 14 112        | kr 1 079 777 | 0,1 | 10 | kr 3 634 433 | 2,8                 |

Tabell 11 De årlige driftskostnadene er driften av pumpene på 8 og 4 kW, strømpris 35 øre/kWh, driftstimer 4800 h/år, antatt at pumpene går på 70 % av merkeeffekt. Mulig besparelse er hva det er mulig å spare pr. år på investeringen. U<sub>0</sub> er investeringskostnaden, K er kontantstrømmen, r er renten, n er levetiden i [år], NNV er netto nåverdi.

#### 4.2.3 Anlegg for returluft

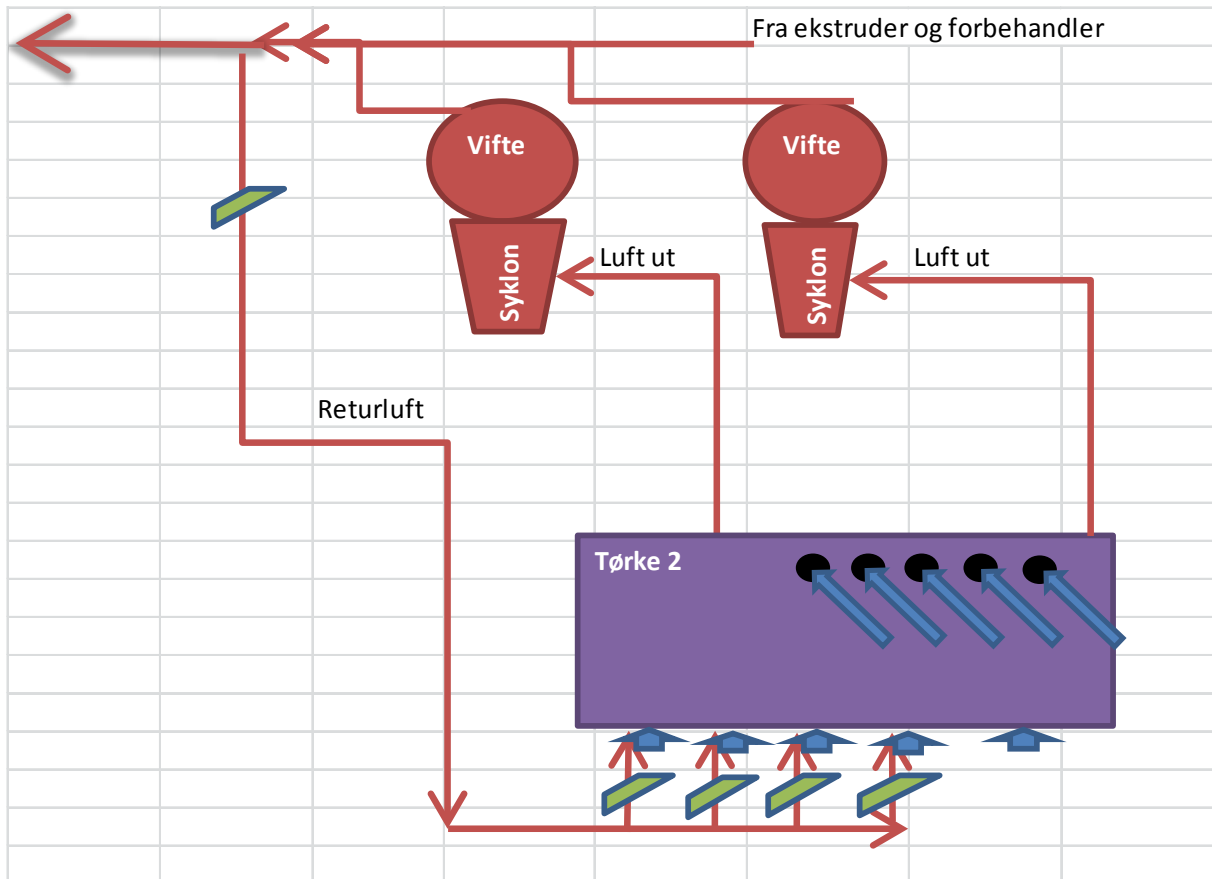
Her som for anlegget med varmeveksler er det vektlagt å finne et driftssikkert anlegg som er så enkelt som mulig. En skisse av anlegget slik det er tenkt er illustrert i Figur 21.

Stedet hvor rørene for utluften samt luften fra ekstruderen og forbehandler samles etter viftene er det tenkt å ta ut returluften (mulig det er bedre å ta det rett etter viftene slik at luften til ekstruder/forbehandler ikke blir tatt med, det trengs flere målinger med annet utstyr for å avgjøre).

Mengden returluft vil bli justert med et spjeld på hovedtilførselen av returluft til tørken. Det er tatt utgangspunkt i fire mindre luftrør med spjeld for å fordele returluften på en hensiktsmessig måte i tørken. Det er ikke sett noe mer i detalj på hvordan fordelingen av

Luften skal utføres, siden tørken er komplisert har det ikke blitt fokusert på spesifikt på hvor de skal føres inn, men heller gjort et anslag slik at prisen på et eventuelt anlegg kan estimeres.

Luften som kommer inn i tørka kommer som nevnt tidligere inn ved forbrenning av gass samt i bunn av tørken.



Figur 21 Anlegget med returluft, de svarte prikkene skal illustrere gassbrennerne som forbrenner gass og pumper inn luft (blå piler) igjennom hull i vegg på tørken. Luft blir trukket inn i bunn (blå piler) av tørken fra omgivelsene som igjen trekker luft fra utsiden av fabrikk. De blå trapesene skal illustrere spjeld i forbindelse med returluften.

#### 4.2.3.1 Resultat av utregning med returluft

| % av opprinnelige<br>mengden utluft i retur | m' luft [kg tørr luft/h] |       |       | m' vann [kg vann/h] |              |      | H [kg vann/kg tørr luft] |       |        | hy [kJ/kg tørr luft] |        | T [°C] |        | Årlig besparelse |              |
|---|--------------------------|-------|-------|---------------------|--------------|------|--------------------------|-------|--------|----------------------|--------|--------|--------|------------------|--------------|
|   | UT                       | INN   | R     | INN                 | FRA PELLETEN | UT   | UT = R                   | INN   | R = UT | INN                  | UT = R | w      | kr/kWh | Energi [kWh]     | Kroner       |
| 0   | 51540                    | 51540 | 0     | 735                 | 2703         | 3438 | 0,067                    | 0,013 | 265    | 52                   | 88     | 48     | 0,4    | -                | -            |
| 10  | 46386                    | 46386 | 5154  | 670                 | 2703         | 3373 | 0,073                    | 0,013 | 265    | 52                   | 74     | 48     | 0,4    | 1 468 203        | kr 587 281   |
| 15  | 43809                    | 43809 | 7731  | 638                 | 2703         | 3341 | 0,076                    | 0,013 | 265    | 52                   | 65     | 48     | 0,4    | 2 202 304        | kr 880 922   |
| 20  | 41232                    | 41232 | 10308 | 606                 | 2703         | 3309 | 0,080                    | 0,013 | 265    | 52                   | 56     | 48     | 0,4    | 2 936 406        | kr 1 174 562 |
| 25  | 38655                    | 38655 | 12885 | 574                 | 2703         | 3277 | 0,085                    | 0,013 | 265    | 52                   | 46     | 48     | 0,4    | 3 670 507        | kr 1 468 203 |
| 30  | 36078                    | 36078 | 15462 | 542                 | 2703         | 3244 | 0,090                    | 0,013 | 265    | 52                   | 35     | 48     | 0,4    | 4 404 608        | kr 1 761 843 |

Tabell 12  $T_w$  (våtkuletemperaturen) er avlest i fuktighetsdiagrammet (Figur 11), for den gjeldene entalpinjen ut av tørken (265 kJ/kg tørr luft),  $H_{inn}$  er estimert.

### 4.2.3.2 Dimensjonering av rør returluft

| % av opprinnelige      | m <sub>R</sub> ' | m <sub>vann R</sub> ' | T    | V <sub>returluft</sub> ' | V <sub>min</sub> |       | V <sub>maks</sub> |       | Areal maks        | Areal min         | Diameter maks | Diameter min | v        | Re     |
|------------------------|------------------|-----------------------|------|--------------------------|------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------------------|---------------|--------------|----------|--------|
| mengden utluft i retur | [kg tørr luft/h] | [kg vann/h]           | [°C] | [m <sup>3</sup> /h]      | [m/s]            | [m/h] | [m/s]             | [m/h] | [m <sup>2</sup> ] | [m <sup>2</sup> ] | [m]           | [m]          | m2/s     |        |
| 0                      | 0                | 0                     | 88   | 0                        | 10               | 36000 | 20                | 72000 | 0,000             | 0,000             | 0,00          | 0,00         | 2,01E-05 | 0      |
| 10                     | 5154             | 375                   | 74   | 5721                     | 10               | 36000 | 20                | 72000 | 0,159             | 0,079             | 0,45          | 0,32         | 2,01E-05 | 158216 |
| 15                     | 7731             | 590                   | 65   | 8422                     | 10               | 36000 | 20                | 72000 | 0,234             | 0,117             | 0,55          | 0,39         | 2,01E-05 | 191964 |
| 20                     | 10308            | 827                   | 56   | 10991                    | 10               | 36000 | 20                | 72000 | 0,305             | 0,153             | 0,62          | 0,44         | 2,01E-05 | 219290 |
| 25                     | 12885            | 1092                  | 46   | 13400                    | 10               | 36000 | 20                | 72000 | 0,372             | 0,186             | 0,69          | 0,49         | 2,01E-05 | 242141 |
| 30                     | 15462            | 1390                  | 35   | 15619                    | 10               | 36000 | 20                | 72000 | 0,434             | 0,217             | 0,74          | 0,53         | 2,01E-05 | 261414 |

Tabell 13 Resultater for dimensjonering av rørene til returluften.

### 4.2.3.3 Prissetting av deler til returluftanlegget

Prisen for anlegget til returluft er vist i Tabell 14. Selve prissettingen er gjort ut i fra prislister og erfaringsdata og er lagt ved som vedlegg.

|  | Pris [NOK] eks.mva. |
|--|---------------------|
| Vifte                                    | kr 27 730           |
| Rør rett strekke                         | kr 78 620           |
| Isolasjon til rør                        | kr 46 560           |
| Tape til isolasjon                       | kr 2 250            |
| 90° bend                                 | kr 47 536           |
| Ventiler                                 | kr 30 110           |
| Diverse festemateriell til rør           | kr 4 520            |
| Frekvensomformer ferdig montert          | kr 33 123           |
| Måleutstyr luftmengde                    | kr 7 053            |
| Måleutstyr fuktighet                     | kr 8 906            |
| Kabling og montering måleapparater       | kr 38 400           |
| Montering av rør og vifte                | kr 48 000           |
| Reise for 2 mann til montering av utstyr | kr 27 600           |
| Prosjektering og prosjektledelse         | kr 63 000           |
| <b>Totalt</b>                            | <b>kr 463 408</b>   |

Tabell 14 Priser for delene til anlegg for returluft.

| % av opprinnelige      |                  |                |              |     |    |               |                     |  |
|------------------------|------------------|----------------|--------------|-----|----|---------------|---------------------|--|
| mengden utluft i retur | Mulig besparelse | U <sub>0</sub> | K            | r   | n  | NNV           | Tilbakebetalingstid |  |
| 10                     | kr 587 281       | kr 463 408     | kr 587 281   | 0,1 | 10 | kr 3 145 180  | 0,79                |  |
| 15                     | kr 880 922       | kr 463 408     | kr 880 922   | 0,1 | 10 | kr 4 949 474  | 0,53                |  |
| 20                     | kr 1 174 562     | kr 463 408     | kr 1 174 562 | 0,1 | 10 | kr 6 753 769  | 0,39                |  |
| 25                     | kr 1 468 203     | kr 463 408     | kr 1 468 203 | 0,1 | 10 | kr 8 558 063  | 0,32                |  |
| 30                     | kr 1 761 843     | kr 463 408     | kr 1 761 843 | 0,1 | 10 | kr 10 362 357 | 0,26                |  |

Tabell 15 U<sub>0</sub> er investeringskostnaden, K er kontantstrømmen, r er renten, n er levetiden, NNV er netto nåverdi.

## 4.3 Frekvensomformere

### 4.3.1 Installasjon av frekvensomformere på aktuelle motorer BioMar

Det er allerede installert mange frekvensomformere som er koblet opp i mot regulerbare størrelser som fuktighet ut av tørka, vekten av hver og en ingrediens o.l. Men det er noen store forbrukere som ikke har frekvensomformere med ett energibesparingspotensial. Utfordringen er at det ikke er noen faste parametere å regulere etter. Tanken er da at det går an å kjøre med et lavere turtall på noen av disse motorene, det er dette som har blitt undersøkt og forsøkt estimert hvor mye som kan spares samt kostnadene ved å installere en frekvensomformer for den aktuelle motoren.

En måte å estimere hvor mye som kan spares ved å sette inn frekvensomformere er å måle en motor med frekvensomformer som blir brukt aller helst til noe likt, eventuelt å se på en motor med liknende bruksmønster. For en fabrikk i et konsern kan man se til andre fabrikker i konsernet, er ikke dette et alternativ eller har ikke noen av de(n) andre fabrikk(e) i konsernet lik motor med frekvensomformer kan det som sagt måles på en liknende motor. Det målte effektforbruket sammenlignes da med merkeeffekt, en prosentvis reduksjon av merkeeffekt kan da finnes og overføres for å finne ut hvor mye ca. som kan spares på den aktuelle motoren.

### 4.3.2 Motorer uten frekvensstyring, betraktning rundt potensiell besparelse

Motorene som er av interesse er listet opp nedenfor i Tabell 16.

|   | Antall motorer | kW  | Andel av opprinnelig volumstrøm/turtall | Andel av full effekt |
|---|----------------|-----|---|----------------------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | 1              | 30  | 0,75                                    | 0,42                 |
| Avtrekk fra møller linje 1                | 2              | 30  | 0,75                                    | 0,42                 |
| Hovedmøller linje 1                       | 2              | 315 | 0,95                                    | 0,95                 |
| Formøller linje 1                         | 4              | 22  | 0,85                                    | 0,85                 |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | 1              | 55  | 0,90                                    | 0,90                 |
| Hovedmøller linje 2                       | 2              | 315 | 0,95                                    | 0,95                 |
| Formøller linje 2                         | 2              | 200 | 0,85                                    | 0,85                 |
| Avtrekk fra møller linje 2                | 2              | 45  | 0,75                                    | 0,42                 |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | 1              | 45  | 0,90                                    | 0,90                 |

Tabell 16 Den mulige reduksjonen i andelen av opprinnelig volumstrøm/turtall er satt etter skjønn.

Råvareinntaket /doseringen kjøres i batcher. Her er det allerede installert mange frekvensomformere og det har blitt vurdert som lite å hente siden det som sagt kjøres i batcher (dvs. kjøres når det er behov for det). Det er derfor ikke gått mer inn på denne delen av anlegget, det er trolig penger å hente her på styring av anlegget som hurtigere stopp av motorer. Dette har blitt vurdert som mer hensiktsmessig at ansatte på fabrikkene kan følge det

opp, se på kjøring av forskjellige batcher for så å finjustere prosessen i stedet for å installere flere frekvensstyrte motorer.

Avtrekksviftene kan sammenlignes mot avtrekksviftene for kjølerne til pellen da disse kan gi en pekepinn siden det er noen likheter i driften.

Hovedmøllene har blitt beregnet som lite sannsynlig å kunne redusere turtallet på siden de finmaler «massen» og er den siste posten til å kontrollere størrelsen (for prosessavsnitt se Figur 3). Formøllene er vurdert til å kunne redusere turtallet siden hovedmøllene «tar etterkontrollen» ved å finmale «massen». En mulighet er å installere en frekvensomformer på den ene motoren til linje 1 siden denne linjen har fire formøller. Prøver kan da bli tatt for å se hvor mye som kan spares for en videre vurdering om det er lønnsomt å installere det på de andre motorene.

Mixerne etter findosering går bare når den har noe å jobbe med, mulig det er noe å hente på det, men trolig ikke det store energibesparingspotensiale, kan sjekkes opp i mot andre fabrikker for å finne en mulig prosentvis besparelse.

### 4.3.3 Prissetting frekvensomformere

Prisen for å installere frekvensomformere er vist i Tabell 17, Tabell 18, Tabell 19 og Tabell 20. Det er sett på priser for frekvensomformere Powerflex 70,753 og 755 fra Rockwell siden dette blir allerede blir brukt i fabrikken. Prisene er tatt ut i fra prisliste fra Goodtech. Kabler, montering o.l. er regnet ut fra priser fra 2010 (utført av biveileder), det er forsøkt justert til dagens priser, men det kan hende disse er litt i underkant av hva et tilbud ville lagt på pr. dags dato. Det er regnet som godt nok da dette er et estimat på hva det vil koste og ikke et ferdig tilbud.

|   | Antall motorer | kW  | Frekvensomformer (pr stk) | EMC       | Ethernet/IP | Display |
|---|----------------|-----|---------------------------|-----------|-------------|---------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | 1              | 30  | kr 28 200                 | inkludert | kr 2 960    | kr 886  |
| Avtrekk fra møller linje 1                | 2              | 30  | kr 28 200                 | inkludert | kr 2 960    | kr 886  |
| Hovedmøller linje 1                       | 2              | 315 | kr 206 440                | kr 20 000 | kr 2 960    | kr 886  |
| Formøller linje 1                         | 4              | 22  | kr 23 400                 | inkludert | kr 2 960    | kr 886  |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | 1              | 55  | kr 51 000                 | kr 779    | kr 2 960    | kr 886  |
| Hovedmøller linje 2                       | 2              | 315 | kr 206 440                | kr 20 000 | kr 2 960    | kr 886  |
| Formøller linje 2                         | 2              | 200 | kr 130 500                | kr 20 000 | kr 2 960    | kr 886  |
| Avtrekk fra møller linje 2                | 2              | 45  | kr 43 900                 | kr 779    | kr 2 960    | kr 886  |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | 1              | 45  | kr 43 900                 | kr 779    | kr 2 960    | kr 886  |

Tabell 17 Prisen for EMC for de 315 kW og 200 kW er det satt et overslag da det trengs mer detaljert data for hver og enkelt motor samt dens plassering i forhold til andre komponenter i fabrikken til å prissette disse. Prisen for 200 kW frekvensomformeren er funnet for en 400 V spenning, men det trengs en for 690 V, men antas at det ikke er så stor prisforskjell på de to frekvensomformerne.

|   | Pris/meter | Antatt lengde [m] | Terminering - ant | pris/kabel - terminert | S.bryter  | Installasjon |
|---|------------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------|--------------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | kr 226     | 60                | 2                 | kr 725                 | kr 5 000  | kr 19 986    |
| Avtrekk fra møller linje 1                | kr 226     | 60                | 2                 | kr 725                 | kr 5 000  | kr 19 986    |
| Hovedmøller linje 1                       | kr 618     | 120               | 4                 | kr 1 283               | kr 15 000 | kr 94 291    |
| Formøller linje 1                         | kr 217     | 60                | 2                 | kr 710                 | kr 5 000  | kr 19 453    |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | kr 416     | 60                | 2                 | kr 1 012               | kr 6 500  | kr 33 507    |
| Hovedmøller linje 2                       | kr 618     | 120               | 4                 | kr 1 283               | kr 15 000 | kr 94 291    |
| Formøller linje 2                         | kr 440     | 120               | 4                 | kr 1 033               | kr 10 000 | kr 66 981    |
| Avtrekk fra møller linje 2                | kr 404     | 60                | 2                 | kr 1 034               | kr 6 500  | kr 32 831    |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | kr 404     | 60                | 2                 | kr 1 034               | kr 6 500  | kr 32 831    |

Tabell 18 Pris for kablene med sikkerhetsbryter og installasjon. (Prissetting utført av biveileder).

|   | Montasje i skap | Test/idriftsettelse | Elektro dok. | Totalt     | pris pr enhet |
|---|-----------------|---------------------|--------------|------------|---------------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | kr 5 600,00     | kr 6 000            | kr 7 500     | kr 71 132  | kr 71 132     |
| Avtrekk fra møller linje 1                | kr 5 600,00     | kr 6 000            | kr 7 500     | kr 142 263 | kr 71 132     |
| Hovedmøller linje 1                       | kr 6 800,00     | kr 10 000           | kr 10 000    | kr 702 754 | kr 351 377    |
| Formøller linje 1                         | kr 5 000,00     | kr 6 000            | kr 7 500     | kr 260 795 | kr 65 199     |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | kr 5 600,00     | kr 8 000            | kr 7 500     | kr 110 232 | kr 110 232    |
| Hovedmøller linje 2                       | kr 6 800,00     | kr 10 000           | kr 10 000    | kr 702 754 | kr 351 377    |
| Formøller linje 2                         | kr 6 800,00     | kr 10 000           | kr 10 000    | kr 496 254 | kr 248 127    |
| Avtrekk fra møller linje 2                | kr 5 600,00     | kr 8 000            | kr 7 500     | kr 204 912 | kr 102 456    |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | kr 5 600,00     | kr 8 000            | kr 7 500     | kr 102 456 | kr 102 456    |

Tabell 19 Priser for frekvensomformerne ferdig montert, testet med dokumentasjon. Den totale prisen er prisen totalt for alle frekvensomformerne i den størrelsen, pris pr. enhet er pris pr frekvensomformer. (Prissetting utført av biveileder).

|   | driftstimer/år | Total kWh/år/enhet | Andel av opprinnelig volumstrøm/turtall | Andel av full effekt | Mulig kWh spart/år |
|---|----------------|--------------------|---|----------------------|--------------------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | 4800           | 144000             | 0,75                                    | 0,42                 | 83250              |
| Avtrekk fra møller linje 1                | 4800           | 144000             | 0,75                                    | 0,42                 | 83250              |
| Hovedmøller linje 1                       | 4800           | 1512000            | 0,95                                    | 0,95                 | 75600              |
| Formøller linje 1                         | 4800           | 105600             | 0,85                                    | 0,85                 | 15840              |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | 4800           | 264000             | 0,9                                     | 0,90                 | 26400              |
| Hovedmøller linje 2                       | 4800           | 1512000            | 0,95                                    | 0,95                 | 75600              |
| Formøller linje 2                         | 4800           | 960000             | 0,85                                    | 0,85                 | 144000             |
| Avtrekk fra møller linje 2                | 4800           | 216000             | 0,75                                    | 0,42                 | 124875             |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | 4800           | 216000             | 0,9                                     | 0,90                 | 21600              |

Tabell 20 Driftstid er satt til 4800 timer i året. Mulig kWh spart/år er (1-andelen av full effekt \* totalt kWh/år/enhet).

#### 4.3.4 Tilbakebetalingstid frekvensomformere

Resultatene fra kalkulasjon av tilbakebetalingstiden for de forskjellige frekvensomformerne i

Tabell 21.

| Frekvensomformere                         | Mulig kWh spart/år | kr/kWh | Mulig besparelse/enhet/år | Tilbakebetalingstid |
|---|--------------------|--------|---------------------------|---------------------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | 83250              | 0,35   | kr 29 138                 | 2,4                 |
| Avtrekk fra møller linje 1                | 83250              | 0,35   | kr 29 138                 | 2,4                 |
| Hovedmøller linje 1                       | 75600              | 0,35   | kr 26 460                 | 13,3                |
| Formøller linje 1                         | 15840              | 0,35   | kr 5 544                  | 11,8                |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | 26400              | 0,35   | kr 9 240                  | 11,9                |
| Hovedmøller linje 2                       | 75600              | 0,35   | kr 26 460                 | 13,3                |
| Formøller linje 2                         | 144000             | 0,35   | kr 50 400                 | 4,9                 |
| Avtrekk fra møller linje 2                | 124875             | 0,35   | kr 43 706                 | 2,3                 |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | 21600              | 0,35   | kr 7 560                  | 13,6                |

Tabell 21 Besparelser i NOK/år/enhet, tilbakebetalingstid i år pr enhet.

### 4.3.5 Nåverdimetoden frekvensomformere

Resultatene fra kalkulasjon av nåverdien i Tabell 22.

| Frekvensomformere                         | Mulig besparel | U <sub>0</sub> pris pr enhet | K         | r   | n  | NNV         |
|---|----------------|------------------------------|-----------|-----|----|-------------|
| Avtrekk fra mikrodosering                 | kr 29 138      | kr 71 132                    | kr 29 138 | 0,1 | 10 | kr 107 906  |
| Avtrekk fra møller linje 1                | kr 29 138      | kr 71 132                    | kr 29 138 | 0,1 | 10 | kr 107 906  |
| Hovedmøller linje 1                       | kr 26 460      | kr 351 377                   | kr 26 460 | 0,1 | 10 | kr -188 792 |
| Formøller linje 1                         | kr 5 544       | kr 65 199                    | kr 5 544  | 0,1 | 10 | kr -31 133  |
| Motor for mixer etter findosering linje 1 | kr 9 240       | kr 110 232                   | kr 9 240  | 0,1 | 10 | kr -53 456  |
| Hovedmøller linje 2                       | kr 26 460      | kr 351 377                   | kr 26 460 | 0,1 | 10 | kr -188 792 |
| Formøller linje 2                         | kr 50 400      | kr 248 127                   | kr 50 400 | 0,1 | 10 | kr 61 559   |
| Avtrekk fra møller linje 2                | kr 43 706      | kr 102 456                   | kr 43 706 | 0,1 | 10 | kr 166 100  |
| Motor for mixer etter findosering linje 2 | kr 7 560       | kr 102 456                   | kr 7 560  | 0,1 | 10 | kr -56 003  |

Tabell 22 Alle tall er pr. enhet. NNV er netto nåverdi, r er renten (10 %), n er antall år, K er kontantstrømmen.

### 4.4 Resultater utregning av øvre brennverdi

Resultatene for utregningen av øvre brennverdi i Tabell 23

| Komponent | mol% | B <sub>ø,V(spesifikk)</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ] | B <sub>ø,V</sub> [MJ/m <sup>3</sup> ] | B <sub>ø</sub> [MJ/kg] |
|-----------|------|--|---------------------------------------|------------------------|
| metan     | 0,2  | 37,7   | 7,5                                   |                        |
| etan      | 5,2  | 66,0   | 343,4                                 |                        |
| propane   | 24,7 | 94,0   | 2321,1                                |                        |
| propylene | 0,1  | 59,7   | 6,0                                   |                        |
| i butan   | 19,9 | 121,4  | 2416,4                                |                        |
| n butan   | 48,6 | 121,8  | 5918,5                                |                        |
| butemes   | 0,6  | 114,5  | 68,7                                  |                        |
| i pentane | 0,6  | 149,3  | 89,6                                  |                        |
| n pentane | 0,1  | 149,7  | 15,0                                  |                        |
| Totalt    | 100  |  | 111,9                                 | 49,7                   |

Tabell 23 Mol % er prosentandelen av de forskjellige elementene gassen levert til fabrikken består av, gitt at gassleverandøren (Isaksen 2014). B<sub>ø,V spesifikk</sub> er den øvre brennverdien for hver komponenten. B<sub>ø,V</sub> er den totale brennverdien pr m<sup>3</sup>. mens B<sub>ø</sub> er brennverdien i  $\frac{MJ}{kg}$  (Campbell 1966-2004).

Fra Engineering toolbox har den øvre og den nedre brennverdien for et snitt av LPG blitt lest av og regnet om med 1 kcal = 4,184 MJ for å sammenligne med utregningen ovenfor, resultat i Tabell 24.

|                                 | Brennverdi [MJ/kg] |       |
|---------------------------------|--------------------|-------|
|                                 | Øvre               | Nedre |
| LPG                             | Øvre               | Nedre |
| Fra leverandør                  | -                  | 45,86 |
| Kalkulert                       | 49,7               | -     |
| Snitt av LPG EngineeringToolbox | 49,87              | 46,01 |

Tabell 24 Øvre brennverdi er ikke oppgitt fra leverandør, nedre brennverdi er ikke regnet ut (EngineeringToolBox).

## 4.5 Verifisering av luftmengde til forbrenning gass samt vann fra forbrenning

Resultatene av utregningene av luftmengde som må til for å forbrenne gassen samt vannet som dannes ved forbrenningen er vist i Tabell 25 for tørke 2.

| Tørke 2 | mol%=vol% | Forbrenning  | Støkiometrisk forbrenning |                |      |                 |                  |               | Molmengde av de aktuelle stoffene vektet av totalen |      |                   |                   | Gass              |                   | Luft |  | Vann |  |
|---------|-----------|--|---------------------------|----------------|------|-----------------|------------------|---------------|---|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------|--|------|--|
|         |           |  | Hydrokarboner             | O <sub>2</sub> | luft | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | Hydrokarboner | Luft 10*støkiometrisk mengde                        | Vann | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /h | kg/m <sup>3</sup> | kg/h |  |      |  |
| Butan   | 68,5      | 2C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> + 13O <sub>2</sub> = 8CO <sub>2</sub> + 10H <sub>2</sub> O | 2                         | 13             | 62   | 8               | 10               | 1,4           | 431   | 7,0  |                   |                   |                   |                   |      |  |      |  |
| Propan  | 24,7      | C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> + 5O <sub>2</sub> = 3CO <sub>2</sub> + 4H <sub>2</sub> O     | 1                         | 5              | 24   | 3               | 4                | 0,3           | 60  | 1,0  |                   |                   |                   |                   |      |  |      |  |
| Etan    | 5,2       | 2C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> + 7O <sub>2</sub> = 4CO <sub>2</sub> + 6H <sub>2</sub> O    | 2                         | 7              | 33   | 4               | 6                | 0,1           | 18  | 0,3  |                   |                   |                   |                   |      |  |      |  |
| Totalt  | 98,4      |  | 5                         | 25             | 119  | 15              | 20               | 1,7           | 508   | 8,3  | 32,9              | 9573              | 156               | 0,58              | 90,5 |  |      |  |

Tabell 25 Molmengden av de aktuelle stoffene vektet av totalen er mol % av det aktuelle stoffet delt på totalt mol % multiplisert med hydrokarboner, luft (10 ganger så mye som trengs for støkiometrisk forbrenning) og vann. Gass er forbruket av gass til tørke 2 i februar 2014, luft er den støkiometriske mengden luft som trengs for forbrenningen av den mengde gass multiplisert med 10 for å ta et verst tilfelle scenario som beskrevet tidligere i oppgaven. Vann er hvor mye vann som dannes av forbrenningen av gassen.

## 4.6 Støtte fra Enova til forbedringer i industrien

Når energiforbruket for bedriften skal kartlegges blir det en naturlig del å se på hvilken støtte man kan få for å gjøre forbedringer i anlegget. Enova har flere støtteprogrammer som kan være aktuelle for energiforbedringer ved bedriften. Det har blitt sett igjennom de som kan være aktuelle for bedriften og de viktigste elementene i de aktuelle støtteprogrammene er sammenfattet i underkapitlene nedenfor.

### 4.6.1 Støtte til forprosjekt for energiltak i industrien

Det er opprettet en støtteordning for midler til innhenting av data og analyser som trengs til videre søknad om støtte til et investeringsprosjekt. Enova presiserer at det ikke gis til kartlegging, men dokumentasjon og grundige analyser for et investeringsprosjekt. En kartlegging er utført i denne oppgaven, en mulighet er å se nærmere på de aktuelle energibesparingsmulighetene og gjøre mer nøyaktige målinger for flere årstider for å få



sikrere data og med det et bedre investeringsgrunnlag. Det er dette som er formålet med denne støtteordningen.

For å få støttet til forprosjektet må det være en forventet besparelse på 5 GWh eller mer i form av energi-effektivisering, gjenvinning eller omlegging.

Forprosjektet kan støttes med inntil 50 % av dokumenterte kostnader opptil 1 MNOK. Det som dekkes er: Kostnader knyttet til forprosjektet i form av innleide tjenester og egne timer med timepriser etter gjeldene regler.

Det gis støtte etter ambisjonsnivået til prosjektet. Et viktig element Enova legger vekt på ved vurdering av søknaden er at prosjektet er realistisk og at det har forankring i ledelsen (Enova.2).

#### **4.6.2 Støtte til energiltak i industrien**

Enova gir støtte til prosjekter til norsk industri hvor det kan spares over 100 000 kWh i året. Det være seg energieffektivisering, konvertering eller utnyttelse av spillvarme.

Flere tiltak kan søkes om i en og samme søknad, støtten blir da beregnet ut i fra hvert tiltak.

Forsknings og utviklingsprosjekter støttes ikke av denne støtteordningen, teknologien som benyttes må være kommersielt tilgjengelig. Før søknaden er innvilget må ikke prosjektet være startet etter vedtatt gjennomført.

Når det gjelder hvor mye Enova støtter med blir det tatt utgangspunkt i statsstøtteverkets regler for å finne en øvre grense, videre vil hvert enkelt prosjekt bli vurdert. Bedriften skal søke om beløp som de mener trengs for å gjennomføre investeringen (Enova.2).

#### **4.6.3 Støttet til introduksjon av energiledelse i industri og anlegg**

Enova skriver på sine sider:

«Programmet retter seg mot prosjekter der innledende analyser, studier og kartlegging skal munne ut i konkrete tiltakslistene som bedriftene benytter for å iverksette en systematisk oppfølging og forbedring av sin energibruk. Implementering av nødvendig måleutstyr og verktøy for måling og oppfølging kan inngå.» (Enova.2)

Det er to støttenivåer, forenklet og ambisiøs. Forenklet bygger på ISO 50001 hvor fabrikker på mellom 1 og 10 GWh inngår, fabrikken på Myre overgår dette og faller derfor inn under ambisiøs.

Maksimalt støttebeløp for programmet ambisiøs er 1 MNOK og kan dekke maksimalt 50 % av de godkjente kostnadene.

Det kan tenkes at det går an å søke om måleutstyr og software for å få en mer detaljert oversikt over energiforbruket på fabrikken samt et bra analyseverktøy for å se trender innen energiforbruket og bli bevist på energistrømmene til de forskjellige prosessdelene. I programmet føres egne timekostnader med 500 NOK/time evt. 1 promille av årslønn oppad begrenset til 1000 NOK/time. Ellers dekkes innkjøp av nødvendige tjenester og måleutstyr.

Et krav til bedriften er at de må sette et mål om å spare eller legge om energibruken på fabrikken slik at 10 % av energiforbruket spares innen 5 år. Enova følger opp dette i sluttrapporten av prosjektet. Bedriften må også innen 12 måneder er gått etter prosjektstart sende inn tiltakslistene og energiledelsessystem til Enova. Blir tilskudd tildelt må det også innrapporteres energi- og produksjonsdata i 5 år etter sluttrapportering (Enova.2).

## 5 Diskusjon

Tallene som er brukt rundt tørka er for usikre for å ligge til grunn for en investeringsbeslutning. Fuktighetsmålinger har ikke kunne blitt tatt hvor hastighetsmålingene ble utført på grunn av for høy temperatur for måleutstyret som var for handen.

Fuktighetsmåling ut av tørka er målt etter ekstruder og forbehandlerens luftstrøm kommer til, det er derfor ikke gyldige målinger med tanke på å ligge til grunn for en investering, men brukes for å få en pekepinn. Luftmengden inn må også måles, den er anslått i denne oppgaven. En ny tur til fabrikken for nye målinger med nyervervet utstyr passet dessverre dårlig med levering av oppgaven.

For utregningen av returluften er også luftstrømmen fra ekstruder og forbehandler hentet fra design data, ikke målt.

I oppgaven ble varmevekslere bare vurdert installert etter tørke 2, grunnen til dette var at det var det eneste stedet hvor både hastigheten og fuktigheten var mulig å måle (det vil si, fuktigheten for både tørkene og ekstruder samt forbehandler). Det kunne derimot vært en idé å sette inn litt mindre varmevekslere, men da også installere etter tørke 1. Siden tørkene ikke alltid går samtidig vil det bidra til å dekke mer av varmebehovet uten av det trengs så mye mer enn noen rør, ventiler og to ekstra varmevekslere (de vil da bli mindre og billigere pr. stykk).

Mengden som kan sendes tilbake i tørka i retur kan ikke overstige et sted i mellom 20 - 25 % av opprinnelig mengde luft ut av tørka siden temperaturen på luften ut da ville ha nådd våtkuletemperaturen og blitt videre nedkjølt noe som ville ført til at vann ble kondensert fra

luften. Luften vil da ikke kunne ta opp mer luft og det er ikke hensiktsmessig å sende den inn i tørka igjen.

Det er ikke beregnet noen vedlikeholdskostnader for noen av investeringene i tiårsperioden de økonomiske analysene har blitt kalkulert for.

## 6 Konklusjon

Av frekvensomformere er det avtrekksviftene og formøllene som har en positiv nåverdi, alle viftene har en tilbakebetalingstid på under 2,5 år og nåverdi på over 100 000 NOK.

Formøllene til linje 2 har en tilbakebetalingstid på 4,9 år og netto nåverdi på 61 559 NOK.

Viftene blir derfor ansett som lønnsomme å installere frekvensomformere på. Gitt den positive nåverdien vil det også gjelde formøllene til linje 2, tilbakebetalingstiden er endog i lengste laget. Den positive effekten med økt levetid på motorer med installert frekvensomformer (avsnitt 1.4.1) er ikke tatt med i den økonomiske analysen, men bør tas med i betraktningen når en investeringsbeslutning skal utføres.

Frekvensomformere til de resterende motorene har en negativ nåverdi og en tilbakebetalingstid på over 11 år og blir derfor vurdert ulønnsomme.

Energigjenvinningen med varmevekslere har en tilbakebetalingstid på 2,8 år og en netto nåverdi på 3,634 MNOK og med det en lønnsom investering, men den må måles opp i mot alternativet med returluft. Sammenlignet med den britiske studien omtalt i innledningen (avsnitt 1.4.3) er det en høyere tilbakebetalingstid for anlegget i denne oppgaven. Dette kan skyldes kostnadene knyttet til det komplekse anlegget hvor varmtvannet fra varmevekslerne blir forbrukt.

Ved å sende 20 % av opprinnelig mengde luft ut av tørken i retur oppnås det en tilbakebetalingstid på 0,39 år og en nåverdi på 6,753 MNOK noe som er en veldig rask tilbakebetalingstid og svært lønnsom investering. Det er endog for mange usikkerhetsmomenter rundt metoden. Ett pilotanlegg, laboratorieprøver og/eller simulering av oppførselen til tørken synes nødvendig med tanke på tørketid, mer nøyaktig energibesparingspotensial og hvor mye som er praktisk mulig å føre tilbake til tørken.

Det er vanskelig å veie de to systemene for energigjenvinning opp i mot hverandre siden det ikke er kjent hva som vil skje med tørketiden til pelleten. Men som litteraturen i avsnitt 1.4.2 og 1.4.3 viser og resultatene i denne oppgaven underbygger er det lønnsomt å gjenvinne

luften ut av tørken (gitt målingene som foreligger). Siden løsningen med varmeveksleren er en kjent teknologi vil det på dette tidspunktet vil det være å anbefale.

## 6.1 Anbefalinger til fabrikk

Oppgaven er skrevet for bedriften og anbefalinger som kan sluttet fra oppgaven er en naturlig del å ta med.

Å søke Enova om støtte og opprette energiledelse i bedriften vil være en god start, som nevnt i avsnitt 1.4.4 spares 5 – 10 % så godt som uten investeringskostnader. Kostnader knyttet til installering av målere og eventuelt software kan da bli dekket med opp til 50 % begrenset oppad til 1 MNOK. Målet Enova setter med en reduksjon på 10 % innen 5 år (avsnitt 4.6.3) må sies å være oppnåelig gitt at noen energibesparende investeringer utføres i tillegg.

Det er nødvendig med videre analyser før et godt grunnlag for investeringsbeslutning er opprettet. Enova støtter forprosjekter med en besparelse på 5 GWh pr. år. Ved å installere varmevekslerne som i denne oppgaven kan i underkant av 3 GWh spares i året. Installerer det også varmevekslere etter tørke 1 økes driftstimen og 5 GWh besparelse i året kan være nådd. Det kan da søkes om støtte til forprosjekt og få dekket 50 % av kostnadene som trengs for en grundig analyse av investeringene (avsnitt 4.6.1).

Blir det besluttet å utføre noen av investeringene anbefales det å søke Enova om støtte til investeringen. Investeringer som fører til en besparelse på 100 000 kWh / år kan få støtte og flere tiltak kan legges sammen (avsnitt 4.6.2).

## 6.2 Forslag til videre arbeid

Målingene fra tørken er ikke utført på korrekt sted av grunner nevnt tidligere. Å ta nye målinger med kalibrert utstyr og utføre masse- og energibalanse er derfor ønskelig. Målinger som bør utføres er; luften ut av tørkene, ekstrudere og forbehandler, samt inn til tørkene. En fuktighetsprøve av pelleten inn/ut av tørkene ville også være å foretrekke for å sjekke målerne i anlegget.

Det er muligheter for en forandring av tørkehastigheten hvis det blir sendt en delstrøm i retur til tørka. Ut i fra logisk tenking vil en høyere temperatur bidra til en kortere tørketid, mens det økte fuktinnholdet i luften vil bidra til å senke tørketiden. Å regne på tørketiden er ikke noen triviell eller nødvendigvis nøyaktig oppgave, men det er mulig å teste hva som vil skje med tørketiden med en laboratorietest noe som hadde vært veldig interessant å utføre.

Når eventuelle nye måledata fra luften til tørkene er inne kan det vurderes om tallene i denne rapporten stemmer og detaljprosjektering utføres for å finne et mer nøyaktig estimat på kostnadene ved investeringen.

Målinger av vifter med liknende bruk som viftene i denne oppgaven som allerede har installert frekvensomformere kan måles med et tangampermeter for å finne ut hvor mye effekt de bruker opp i mot merkeeffekt for å kunne verifisere eller falsifisere estimatene i denne rapporten.

## 7 Litteraturliste

ABB. (2011). *AC Drive efficiency and loss estimation*: ABB. Tilgjengelig fra: [http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/ab22cf21c367d260c12573e9004d88a4/\\$file/efficiency\\_calc\\_guide.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot201.nsf/veritydisplay/ab22cf21c367d260c12573e9004d88a4/$file/efficiency_calc_guide.pdf) (lest 20.04).

Atkins, P. & Paula, J. d. (2010). *Atkins` Physical chemistry*. Ninth utg. US: W.H Freeman and Company. 972 s.

BioMar, A. (2014). *Kommunikasjon med ansatte på fabrikken ved befaing, telefon og mail*.

Campbell, J. M. (1966-2004). *Gas Conditioning and processing*. 8th utg., b. 1: John M. Campbell and Company. 440 s.

Cengel, Y. A. & Ghajar, A. J. (2011). *Heat and masstransfer: Fundamentals and applications*. Fourth utg. 902 s.

EngineeringToolBox. *Water Delivery Flow Velocities*,

*Gross and Net Heating Values for some common Gases*. <http://www.engineeringtoolbox.com/>: EngineeringToolBox. Tilgjengelig fra:

[http://www.engineeringtoolbox.com/pump-delivery-flow-velocity-water-d\\_232.html](http://www.engineeringtoolbox.com/pump-delivery-flow-velocity-water-d_232.html)

[http://www.engineeringtoolbox.com/gross-net-heating-values-d\\_420.html](http://www.engineeringtoolbox.com/gross-net-heating-values-d_420.html) (lest 27.04,

09.05).

Enova.1. (2009). *Potensial for energieffektivisering i norsk landbasert industri*. [www.enova.no](http://www.enova.no) Tilgjengelig fra:

<http://www2.enova.no/publikasjonsoversikt/file.axd?ID=487&rand=039bb2c3-706e-45ef-8570-80b6b7cd876e> (lest 21.04.2014).

Enova.2. *Program Støtte til forprosjekt for energiltak i industrien*

*Støtte til energiltak i industrien*

*Program introduksjon til energiledelse i industri og anlegg*. Enova.no: Enova. Tilgjengelig fra:

<http://www.enova.no/finansiering/naring/programtekster/program-prosjektstotte---industri/245/267/>

<http://www.enova.no/finansiering/naring/programtekster/program-energibruk---industri/245/265/>

<http://www.enova.no/finansiering/naring/programtekster/program-introduksjon-til-energiledelse-i-industrien/245/937/>

(lest 19.04).

- Finnemore, E. J. & Franzini, J. B. (2009). *Fluid mechanics with engineering applications*. Tenth utg. New York: McGraw-Hill. 790 s.
- Fjellvåg, H. Y., Martin. (2009). *ideal gass*. Store norske leksikon: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: [http://snl.no/ideal\\_gass](http://snl.no/ideal_gass) (lest 04.03.2014).
- FLUKE. (2014). *Fluke 922 Airflow Meter*. [www.fluke.com](http://www.fluke.com). Tilgjengelig fra: <http://www.fluke.com/fluke/m3en/hvac-iaq-tools/air-testers/fluke-922.htm?PID=56154> (lest 08.05).
- Fossum, S. (2009). *Energiledelse gir konkurransefortrinn*. Energi. [www.enova.no](http://www.enova.no): Enova. Tilgjengelig fra: <http://www2.enova.no/publikasjonsoversikt/file.axd?ID=485&rand=20edddce-cb44-499c-baff-bff23a25e69b>.
- Hoff, K. G. (2009). *Grunnleggende bedriftøkonomisk analyse*. 6. utgave utg.: universitetsforlaget.
- Houben, R. P. J. M., Geboers, M. A. M. & Kerkhof, P. J. A. M. (2011). Performance of Two Industrial Dryers for Fish Feed. *Drying Technology*, 29 (12): 1472-1480.
- Isaksen, T. (2014). *Data LPG-mix* (E-mail 24.02.2014).
- Law, R., Harvey, A. & Reay, D. (2013). Opportunities for low-grade heat recovery in the UK food processing industry. *Applied Thermal Engineering*, 53 (2): 188-196.
- McCabe, W. L., Smith, J. C. & Harriott, P. (2005). *Unit operations of chemical engineering*. Seventh Edition utg. New York: Mc Graw Hill. 1140 s.
- Mosbye, P. J. (2013). Tørking. 56. Tilgjengelig fra: <https://fronter.com/umb/main.phtml> (lest 02.12.2013).
- Ormestad, H. (2012). *Gasskonstant*. Store norske leksikon: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <http://snl.no/gasskonstant> (lest 04.03.2014).
- Ristimäki, T. (2008). *Energibesparende takket være turtallsregulerte motorer med frekvensomformere*. [www.buildingexperts.info](http://www.buildingexperts.info). Tilgjengelig fra: <https://www.buildingexperts.info/no/norske/paper/title/energibesparende-takket-vaere-turtallsregulerte-motorer-med-frekvensomformere.html> (lest 02.05.2014).
- Rundin, S. (2014). *Dimensjonering og prissetting av varmeveksler* (05.05.2014).
- Selnæs, A. G. (2010). *En gjennomgang av motorsystemet*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimakommune.enova.no/sitepageview.aspx?articleID=252> (lest 21.03).
- Sonntag, R. E. & Borgnakke, C. (2007). *Engineering Thermodynamics*. second utg.: John Wiley & sons, inc. 617 s.
- SSB. *Energibruk i industrien*. [www.ssb.no](http://www.ssb.no): SSB. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/define.asp?SubjectCode=10&ProductId=10%2E07&MainTable=EnergiIndustri5&contents=EnergiPriser&PLanguage=0&Qid=0&nvl=True&mt=1&pm=&SessID=2755209&FokusertBoks=2&gruppe1=Hele&gruppe2=Hele&gruppe3=Hele&VS1=EnergivareIndustri&VS2=NACE215indenergi&VS3=&CMSSubjectArea=energi-og-industri&KortNavnWeb=indenergi&StatVariant=&Tabstrip=SELECT&aggregsetnr=2&checked=true> (lest 21.04).
- Toneli J.T.D.C.L, Monterio L.B, Briso M.A.J & D., M. J. (2013). Effect of the outlet air reuse on thermal efficiency of a pilot plant spray dryer with rotary atomizer. *Chemical Engineering Transactions*, 32: 241-246.
- Wildi, T. (2006). *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*. sixth utg. 934 s.

## Vedlegg

|  | stk, lengde, areal o.l. | Pris [NOK] eks.mva. pr. enhet | kilde   |
|--|-------------------------|-------------------------------|---|
| Varmevekslere 2*700kW  | 2                       | kr 110 000                    | TTC   |
| Varmeveksler 600kW plate vann/vann   | 1                       | kr 80 000                     | Antagelse siden alle strømmene ikke er kjent/ forsøkt estimert for å begrense oppgaven  |
| Rør DN 50 ferdig montert   | 190                     | kr 1 600                      | Anslag ut i fra erfaringsdata, isolerte rør ferdigmontert (DN 40/50/65)   |
| Rør DN 80 ferdig montert   | 499                     | kr 2 300                      | Anslag ut i fra erfaringsdata, isolerte rør ferdigmontert (DN 80/100/125)   |
| Automatventil DN 40  | 1                       | kr 20 000                     | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Automatventil DN 65  | 1                       | kr 30 000                     | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Manuell ventil DN 40   | 7                       | kr 1 700                      | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Manuell ventil DN 65   | 5                       | kr 2 500                      | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Pumpe m/motor DN 50  | 1                       | kr 20 000                     | <a href="http://www.pumper.no/files/Prisliste/Intec_Prisliste_2013.pdf">http://www.pumper.no/files/Prisliste/Intec_Prisliste_2013.pdf</a> tatt ca pris for en pumpe på denne størrelsen               |
| Pumpe m/motor DN 80  | 1                       | kr 50 000                     | <a href="http://www.pumper.no/files/Prisliste/Intec_Prisliste_2013.pdf">http://www.pumper.no/files/Prisliste/Intec_Prisliste_2013.pdf</a> tatt ca pris for en pumpe på denne størrelsen               |
| Frekvensomformer ferdig oppkoblet 4 kW   | 1                       | kr 33 123                     | Ekstrapolert fra de andre frekvensomformerene, ca pris for en 4 kW frekvensomformer   |
| Frekvensomformer ferdig oppkoblet 8 kW   | 1                       | kr 40 109                     | Ekstrapolert fra de andre frekvensomformerene, ca pris for en 8 kW frekvensomformer   |
| Montasje av ventiler, motorer og varmevekslere                                 | 1                       | kr 261 000                    | 2 mann 20 dagers jobb lønn 600 NOK/h 8h/dag, kost/losji 1000 NOK 20 netter 2 mann, 29000 NOK for reise + leiebil  |
| Prosjektering av varmevekslere,rør, ventiler, pumper med tegninger og underlag | 1                       | kr 120 000                    | 1 mann 15 dager 900 NOK/h 8h/dag, reise 5 dager 1000NOK/dag, 7000 reise + leiebil   |
| Tank til varmtvann (5m <sup>5</sup> )  | 1                       | kr 125 000                    | Tatt utgangspunkt i 300 000 NOK for en Tank 10m3 med 50kW EI-kolbe  |
| Tank til glykol (5m <sup>5</sup> ) mange stusser                               | 1                       | kr 175 000                    | Tatt utgangspunkt i 300 000 NOK for en Tank 10m3 med 50kW EI-kolbe  |
| Isolasjon tanker (godt isolert) 2000kr/m <sup>2</sup>                          | 90                      | kr 2 000                      | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Arbeid med isolering   | 1                       | kr 50 000                     | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Prosjektering av tanker med tegninger og underlag                              | 1                       | kr 40 000                     | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Montering tanker   | 1                       | kr 80 000                     | Anslag ut i fra erfaringsdata   |
| Temperaturmålere   | 10                      | kr 512                        | <a href="http://www.omega.co.uk/pptst/PR-12.html">http://www.omega.co.uk/pptst/PR-12.html</a> valutakurser fra <a href="http://www.valutakurser.no/">http://www.valutakurser.no/</a> ikke med kabling |
| Totalt   |                         | kr 3 000 332                  |   |

Tabell 26 Kilder for beregning av data til høyre.

|  | Pris [NOK] eks.mva. | Bemerkelser  | kilde   |
|--|---------------------|--|---|
| Vifte                                    | kr 27 730           | 13000 m <sup>3</sup> /h, 4 kW, Inklusiv i pris komplett vifte med stuss inn, flens og motflens ut, el.motor og fundamentsramme. Se side 42                             | <a href="http://bruvik.netflexcloud.no/media/Fellesprisliste%202014.pdf">http://bruvik.netflexcloud.no/media/Fellesprisliste%202014.pdf</a>   |
| Rør rett strekke                         | kr 78 620           | 60m rør med dia 800mm (artikkel nr: 1545-120), pris pr 3m rør er 3931 NOK  | <a href="http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf">http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf</a> |
| Isolasjon til rør                        | kr 46 560           | Overflatearealet er =2*3,14*0,8m*60m=301,44m <sup>2</sup> , pris pr m <sup>2</sup> Rockwooll lamellmatt 50mm tykke (art nr: 0723-582) er 776 NOK/5 m <sup>2</sup>      | <a href="http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf">http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf</a> |
| Tape til isolasjon                       | kr 2 250            | Tape flexi glava 50m på rullen, 10 ruller, art nr: 0723-630, 225 NOK/stk   | <a href="http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf">http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf</a> |
| 90° bend                                 | kr 47 536           | 8 stk bend av 5942 NOK pr stk dia bend 800mm artikkel nr:1546-122  | <a href="http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf">http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf</a> |
| Ventiler                                 | kr 30 110           | 5 stk art. nr. 1442-511 6022 NOK/stk   | <a href="http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf">http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf</a> |
| Diverse festemateriell til rør           | kr 4 520            | Art nr: 1544-024 105/stk 20 stk, Art nr: 1543-132 505 NOK for 100 stk, 1543-410 990 NOK for 50stk, 1543-032 37 NOK/stk 25stk   | <a href="http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf">http://www.ventistal.no/venti/frontend/files/Prisliste_2013_Endelig-versjon_sort-hvitt_LINK_V2.pdf</a> |
| Frekvensomformer ferdig montert          | kr 33 123           | Ekstrapolert fra de andre frekvensomformerene, ca pris for en 4 kW   | Anslag av undertegnede etter erfaringspriser  |
| Måleutstyr luftmengde                    | kr 7 053            | Flow Sensor, EE75  | <a href="https://www.elfaelektronikk.no/elfa3~no_no/elfa/init.do?item=10-489-31&amp;toc=0&amp;q=ee75">https://www.elfaelektronikk.no/elfa3~no_no/elfa/init.do?item=10-489-31&amp;toc=0&amp;q=ee75</a>               |
| Måleutstyr fuktighet                     | kr 8 906            | Fuktighetsmåler for kjemisk bruk EE33  | <a href="https://www.elfaelektronikk.no/elfa3~no_no/elfa/init.do?item=10-489-12&amp;toc=19460">https://www.elfaelektronikk.no/elfa3~no_no/elfa/init.do?item=10-489-12&amp;toc=19460</a>                             |
| Kabling og montering måleapparater       | kr 38 400           | 1 mann 3 dager timeslønn 600 NOK, 8 timer + 200 NOK/m kabel 2*60m kabel  | Anslag av undertegnede etter erfaringspriser  |
| Montering av rør og vifte                | kr 48 000           | 2 mann 8 timer pr dag i 5 dager timespris 600 NOK pr mann  | Anslag av undertegnede etter erfaringspriser  |
| Reise for 2 mann til montering av utstyr | kr 27 600           | 2 mann 1 rom pr pers 1000 NOK, middag a 300 NOK pr dag, 5 netter+ 7000 NOK for leiebil+ 4000 NOK for flybilletter og parkering   | Anslag av undertegnede etter erfaringspriser  |
| Prosjektering og prosjektleidelse        | kr 63 000           | 1 mann 6 dager 8 timer 900 NOK timelønn, 2 reiser, 6 netter på hotell 1000 NOK/natt med middag 300 NOK/dag leiebil 4000 NOK, 2000 NOK i flybilletter+parkering pr gang | Anslag av undertegnede etter erfaringspriser  |
| Totalt                                   | kr 463 408          |  |   |

Tabell 27 Detaljert prissetting av anlegget for returluft.







Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)