

Energikartlegging



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskulen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Maskin, Prosess- og energiteknikk

Av: Anne Marie Lande
Mohammad Waad

Kand.nr. 101
Kand.nr. 65



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Anne Marie Lande og Mohammad Waad

Linje & studieretning Bachelor i ingeniørfag, maskin
Prosess- og energiteknikk

Oppgavens tittel: Energikartlegging

Oppgavetekst:

Ved fabrikken FMC Vormedal har det spesifikke energiforbruket de siste årene økt samtidig som produksjonen av alginat har økt. Av den grunn ønsker FMC å komme i gang med et energiledelsessystem for å få mer oversikt og kontroll over energiforbruket.

I denne oppgaven skal det utføres en energikartleggingsprosess. Standarden NS-EN ISO 50001:2011, Energiledelsessystemer - Krav med brukerveiledning er lagt til grunn i arbeidet. Det skal gjøres en analyse av energianvendelse og energiforbruk. Videre skal områder med vesentlig energianvendelse og energiforbruk identifiseres. Til slutt skal muligheter for å forbedre energiytelsen identifiseres.

Endelig oppgave gitt: Fredag 03. mars 2017

Innleveringsfrist: Onsdag 10. mai 2017 kl. 12.00

Intern veileder Svein Jacob Nesheim, tlf. 52 70 27 60

Ekstern veileder Øystein Østhus, FMC, tlf. 909 41 660
Bjørgvingata 23D, 5529 Haugesund

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

Forum S. Nysted
26/4-17

Oppgavens tittel Energikartlegging		Rapportnummer
Utført av Anne Marie Lande og Mohammad Waad		
Linje Maskin		Studieretning Energi- og Prosessteknikk
Gradering Åpen	Innlevert dato 10.05.17	Veiledere Svein Jacob Nesheim Øystein Østhus, FMC

Ekstrakt

Ved fabrikken FMC Vormedal har det spesifikke energiforbruket de siste årene økt. Av den grunn ønsker FMC å komme i gang med et energiledelsessystem for å få bedre oversikt og kontroll over energiforbruket.

I denne oppgaven skal det utføres en energikartleggingsprosess. Det skal gjøres en analyse av energianvendelse og energiforbruk.

Først vil det utføres en analyse over anvendelsen av elektrisk energi, der den største energiforbrukeren er blitt identifisert som varmpumpen. Deretter vil det gjøres en analyse over energiforbruket fra gass. Dampkjelene som benytter seg av gass som brensel vil analyseres, og de største forbrukerne av damp vil kartlegges.

Videre vil det utføres en analyse av områder med energitap. Til slutt vil det gjøres en oppsummering der det gis en grafisk fremstilling av energiforbruket.

Forord

Bacheloroppgave skal gjennomføres som en del av siste studieåret innen maskiningeniørutdanningen ved Høgskulen på Vestlandet. Bacheloroppgaven er et obligatorisk emne og utgjør 20 studiepoeng. Emnet omfatter denne rapporten, et produkt og en plakat samt en muntlig presentasjon.

Tidligere emner som er kommet spesielt til anvendelse ved utførelsen av bacheloroppgaven er "Varme- og strømningslære", "Prosessteknikk I" og "Prosessteknikk II".

Vi vil takke våre to veiledere:

- Svein Jacob Nesheim, intern veileder Høgskulen på Vestlandet
- Øystein Østhus, ekstern veileder FMC Health and Nutrition

Videre vil vi takke:

- Atle Holden, vedlikeholdsplanlegger FMC
- Arnold Dybvik, Service/After Sales ved Parat Halvorsen AS
- Firmaet FMC Health and Nutrition for samarbeidet
- LEVEL Power & Automation for lån av infrarødt varmekamera

Sted Dato Navn Haugesund, 09.05.17, Anne Marie Lande

Sted Dato Navn Haugesund, 09.05.17, Mohammad Waad

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	vii
Innledning	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Målsetting	1
1.3 Metode	1
1.4 Avgrensninger	2
1.5 Usikkerheter	2
2 Om bedriften	3
2.1 Anlegget på Vormedal	3
2.2 Alginat	4
2.3 Prosessen fra tare til alginat	4
3 Energiledelse	7
4 Elektrisk energi	9
4.1 Varmepumpe	9
4.1.1 Eksisterende varmpumpe	9
4.1.2 Effektytelse varmpumpe	9
4.1.3 Virkningsgrad varmpumpe	10
4.1.4 Anbefalt varmpumpe	10
4.1.5 Kostnader	11
4.1.6 Energi- og kostnadsbesparelse	12
4.2 Elektrisk tørking	14
4.2.1 Varmeelementer og varmebatterier	14
4.2.2 Kostnader	15
4.3 Høytrykkspumper	16
4.4 Ventilasjon	16
4.5 Samlet elektrisk forbruk	17
5 Dampkjel	19
5.1 Beskrivelse av kjelsystemet	19
5.1.1 Kjøl 1	19
5.1.2 Kjøl 2	19
5.1.3 Matevannstank	20
5.2 Analyse av kjelene	21
5.2.1 Kjøl virkningsgrad	21
5.2.2 Luftmengde tilført kjølen	21
5.2.3 Dampmengde produsert i kjøl	22
5.2.4 Energi produsert i kjøl	22

5.2.5	Kostnader.....	22
5.3	Effektiviserende tiltak.....	23
5.3.1	Economiser.....	23
5.3.2	Luftforvarmer.....	24
5.3.3	Reduksjon av luftoverskudd.....	25
6	Forbrukere av damp.....	26
6.1	Steamvekslere.....	29
6.1.1	Energiforbruk steamvekslere.....	29
6.2	Kneatere.....	31
6.2.1	Energiforbruk kneatere.....	31
6.3	Steamskruer.....	32
6.3.1	Energiforbruk steamskruer.....	32
6.4	Tørking med damp.....	33
6.4.1	Energiforbruk tørking med damp.....	33
6.5	Samlet energiforbruk forbrukere av damp.....	34
6.6	Kostnader.....	35
7	Energitalp.....	36
7.1	Energitalp i steamskruer.....	36
7.1.1	Isolering av steamskruer.....	37
7.1.2	Besparelsen ved å isolere steamskruene.....	37
7.2	Energitalp i tank.....	38
7.2.1	Isolering av tank.....	39
7.2.2	Besparelse ved å isolere tanken.....	39
7.3	Energitalp i kondensatgjenvinningsystem.....	40
7.3.1	Produksjonslinje H1.....	40
7.3.2	Produksjonslinje H2.....	40
7.3.3	Matevann.....	41
7.3.4	Løsninger.....	41
7.4	Energitalp steamvekslere.....	42
7.4.1	Ulike temperaturbehov.....	42
7.4.2	Kjøle ned oppvarmet vann fra varmpumpen.....	42
7.4.3	Direkte tap i steamveksler.....	42
7.5	Annet energitalp.....	43
7.6	Energitalp i rør.....	44
7.6.1	Uisolerte dampør.....	44
7.6.2	Løsninger.....	45
7.7	Energitalp lekkasjer.....	46
7.7.1	Metoder for å unngå energitalp.....	46

7.8	Samlet energitap.....	47
8	Oppsummering.....	49
8.1	Elektrisk energi.....	49
8.2	Energi fra gass.....	50
9	Avslutning.....	51
9.1	Konklusjon.....	51
9.2	Videre arbeid.....	52
10	Referanser.....	53
11	Vedlegg.....	I

Figurliste

Figur 1 Gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk 2010-2016.....	1
Figur 2 FMC Vormedal. Hentet fra https://stortare.no/om-fmc/ . Brukt med tillatelse	3
Figur 3 Alginat. Foto Mohammad Waad	4
Figur 4 Taren etter separasjon. Foto: Mohammad Waad	4
Figur 5 Flotasjonskarene. Foto: Mohammad Waad	5
Figur 6 Pressing/ avvanning. Foto: Mohammad Waad	6
Figur 7 Planlegg-Utfør-Kontroller-Korriger. Anne Marie Lande	7
Figur 8 Energiplanleggingsprosess. Standard Norge. Gjengitt med tillatelse	8
Figur 9 Flytskjema for vannet fra det kommer inn fra Vormedalsvannet til det når steamvekslerne. Mohammad Waad	9
Figur 10 Dagskostnader for varmepumpene uke 7 (2017)	11
Figur 11 Dagskostnader for å varme vannet til riktig temperatur i uke 7 (2017).....	12
Figur 12 Tørkeanlegg. Foto: Mohammad Waad	14
Figur 13 Forbruket over det elektriske tørkeanlegget uke 7	15
Figur 14 Samlet elektrisk forbruk uke 7	17
Figur 15 Prosentvis oversikt over det elektriske forbruket uke 7	18
Figur 16 Illustrasjon av dampkjel- Gjengitt med tillatelse. Hurst Boiler & Welding Co., Inc. USA	19
Figur 17 Snittskisse av røykrørskjel. Hentet fra www.howstuffworks.com	20
Figur 18 Sankey-diagram av energi tilført og produsert i kjel. Anne Marie Lande	22
Figur 19 Economiser. Mohammad Waad	23
Figur 20 Illustrasjon av luftforvarmer. Milton Beychok	24
Figur 21 Luftoverskudd som funksjon av lastsituasjon	25
Figur 22 Flytskjema forbrukere av damp. Anne Marie Lande	26
Figur 23 Oversikt over temperaturer forbrukere av damp. Anne Marie Lande og Mohammad Waad.....	27
Figur 24 Energiforbruk steamvekslere	30
Figur 25 Energiforbruk kneatere	31
Figur 26 Energiforbruk steamskruer.....	32
Figur 27 Energiforbruk tørking med damp.....	33
Figur 28 Samlet energiforbruk forbrukere av damp	34
Figur 29 Fordeling av energiforbruk forbrukere av damp.....	34
Figur 30 Oversikt over forbrukerne av damp	35
Figur 31 Steamskruer H1. Foto: Anne Marie Lande	36
Figur 32 Ufiltrert tank. Foto: Anne Marie Lande	38
Figur 33 Flytskjema kondensatgjenvinningsystem. Anne Marie Lande og Mohammad Waad.....	40
Figur 34 Oversikt over avstander i luftlinje fra kjelen til forbrukere av damp. Mohammad Waad.....	45
Figur 35 Oversikt over kostnadene til energitapet i året	47
Figur 36 Prosentvis fordeling av energitapet.....	48
Figur 37 Oversikt over elektrisk energi, Mohammad Waad	49
Figur 38 Sankey-diagram elektrisk energi. Anne Marie Lande og Mohammad Waad.....	49
Figur 39 Oversikt energi fra gass. Mohammad Waad	50
Figur 40 Sankey-diagram energi fra gass. Mohammad Waad	50

Tabelliste

Tabell 1 Kostnadsdifferanse mellom eksisterende og anbefalt varmpumpe	13
Tabell 2 Kostnader for det elektriske tørkeanlegget.....	15
Tabell 3 Oversikt over elektrisk energiforbruk uke 7.....	17
Tabell 4 Oversikt over energi og kostnad forbruket i kjelene	22
Tabell 5 Luftoverskudd	25
Tabell 6 Oversikt over mengdemålinger av damp til forbrukerne	28
Tabell 7 Energiforbruk steamvekslere.....	29
Tabell 8 Energiforbruk kneatere.....	31
Tabell 9 Energiforbruk steamskruer	32
Tabell 10 Energiforbruk tørking med damp	33
Tabell 11 Samlet energiforbruk forbrukere av damp	34
Tabell 12 Årlig energi- og kostnadsforbruk	35
Tabell 13 Resultat av beregningene på varmetapet til steamskruene	37
Tabell 14 Energibesparelse ved å isolere steamskruene.....	37
Tabell 15 Oversikt over kostnadene FMC kan spare ved å isolere steamskruene	37
Tabell 16 Resultat av beregningene på varmetapet til tank.....	38
Tabell 17 Energibesparelse ved å isolere tank.....	39
Tabell 18 Oversikt over kostnadene FMC kan spare ved å isolere tank	39
Tabell 19 Energi- og kostnadstap i året	43
Tabell 20 Energitalp i damprør. Hentet fra ”Rapport, Gjennomgang dampanlegg, FMC Biopolymer AS” (Spirax Sarco, 2016). Brukt med tillatelse	44
Tabell 21 Kostnader for lekkasjer	46
Tabell 22 Effektforbruk og kostnader i året for komponenter med varmetap.....	47

Sammendrag

I denne oppgaven er det blitt utført en energikartlegging for bedriften FMC Vormedal.

Først er det utført en analyse over anvendelsen av elektrisk energi. De største forbrukerne av elektrisk energi er identifisert som varmpumpe, elektrisk tørking, høytrykkspumper og ventilasjon. Varmepumpen er identifisert som den største forbrukeren av elektrisk energi og utskifting av denne er vurdert som en mulig løsning for å spare energi.

Deretter er det gjort en analyse av energi fra gass. Kjelvirkningsgraden til dampkjelen er blitt estimert og tiltak for å øke energiytelsen er blitt belyst. Videre er de største forbrukerne av damp blitt identifisert og analysert.

Videre er det utført en analyse av områder med energitap og identifisering av muligheter for å redusere tap. Områder med energitap inkluderer varmetap i steamskruer og tank, kondensatgjenvinningssystem, steamvekslere, rør og lekkasjer.

Til slutt er det gjort en oppsummering der det er gitt grafiske fremstillinger av energiforbruket.

In this bachelor's thesis an energy survey for the company FMC Vormedal has been performed.

First, an analysis of the use of electrical energy has been performed. The largest consumers of electrical energy are identified as the heat pump, electrical dehumidification, high-pressure pumps and ventilation. The heat pump is identified as the largest consumer of electrical energy, and replacement of this is considered a possible solution to save energy.

Thereafter an analysis of energy from gas was performed. The boiler efficiency of the steam boiler has been estimated, and measures to increase energy efficiency have been identified. Furthermore, the largest consumers of steam have been identified and analysed.

Then, an analysis of areas with energy loss has been performed and opportunities for reducing losses have been identified. Areas with energy losses include heat loss in steam screws and tank, condensate recovery systems, steam exchangers, pipes and leakages.

Finally, a summary has been made in which there are graphical representations of energy consumption.

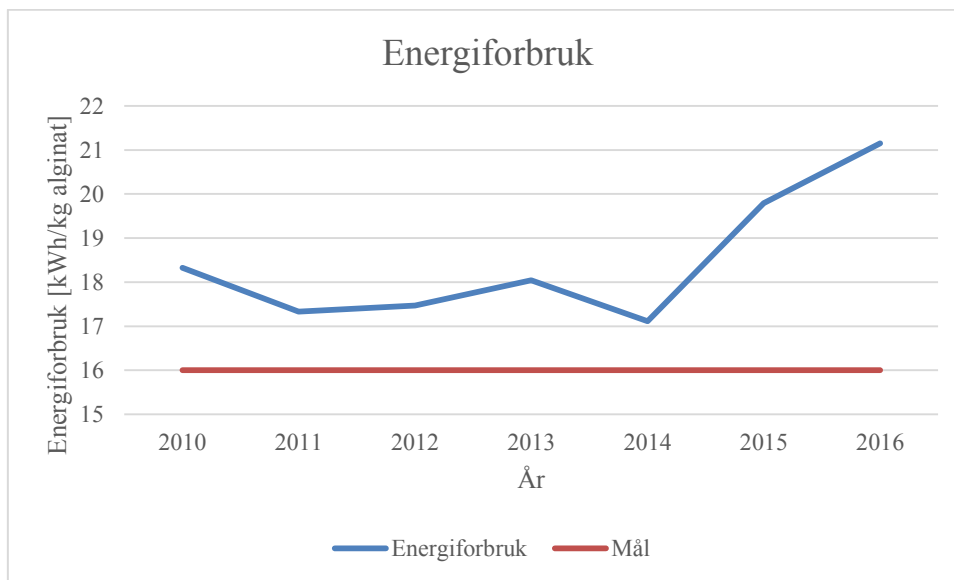
Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Ved fabrikken FMC Vormedal fremstilles det alginat. Det er en energikrevende prosess. Fabrikken blir forsynt med energi fra to kilder: strøm og gass. Den elektriske energien blir tilført en rekke komponenter som benytter seg direkte av strøm samt en varmepumpe. Energien fra gass blir overført til energi i form av damp i dampkjeler. Den produserte dampen blir nyttet i forskjellige prosesser.

De siste årene har det spesifikke energiforbruket til fabrikken FMC Vormedal økt samtidig som produksjonen har økt. FMC ønsker å komme i gang med et energiledelsessystem for å få bedre oversikt og kontroll over energiforbruket.

Målsetningen til FMC Vormedal har vært å redusere energiforbruket til 16 kWh per kg produsert alginat. Det spesifikke energiforbruket har imidlertid økt, og i 2016 var det gjennomsnittlige energiforbruket 21,1 kWh per kg produsert alginat.



Figur 1 Gjennomsnittlig spesifikt energiforbruk 2010-2016

1.2 Målsetting

Målsettingen for oppgaven er å utføre et av de første fasene i energiledelsesprosessen, energikartlegging. Energikartlegging går ut på å analysere energianvendelse og energiforbruk, identifisere områder med vesentlig energianvendelse og energiforbruk samt identifisere muligheter for å forbedre energiytelsen. Systemgrensen vil settes rundt selve fabrikken.

1.3 Metode

Datahistorikk og prosessinformasjon vil bli hentet fra programmet PI Coresight. Annen nødvendig informasjon om prosessene vil bli gitt av FMC. Til beregninger vil relevante formler fra *Prosessteknikk: Masse- og energibalanser* (Skogestad, 2009) og *Teknisk formelsamling med tabeller* (Pedersen, Gustavsens, Kaasa & Olsen, 1998) bli benyttet. Utrengninger og fremstilling av diagrammer vil bli gjort i Microsoft Excel.

Grafiske fremstillinger vil bli gjort i følgende programmer:

- Paint
- AutoCAD P& ID
- www.draw.io
- www.wikibudgets.org/sankey

1.4 Avgrensninger

For å begrense arbeidsmengden har gruppen valgt å avgrense energikartleggingen til uke 7 i 2017. Denne uken representerer en uke med rekordproduksjon av alginat og svært lite nedetid på anlegget, og de fleste prosessene og energiforbrukerne har vært i drift. FMC har et mål om å øke produksjonen ytterligere, så da oppfattes denne uken som svært relevant for FMC.

Energikartleggingen vil ikke gi en fullstendig oversikt over energiforbruket, men avgrense seg til de største forbrukerne av energi. For elektrisk energi vil kun de største forbrukerne analyseres, og det vil ikke tas hensyn til strømtrekk til belysning, pumper og andre mindre poster. For dampsystemet vil bare de største forbrukerne av damp bli analysert.

For å begrense omfanget av oppgaven har gruppen dessuten valgt å bare identifisere muligheter for forbedring av energiytelse for noen av forbrukere av energi. Det er heller ikke mulig å analysere alle tapsmomentene i prosessene. Antagelser som blir gjort vil bli redegjort for ved passende kontekst.

Det vil heller ikke tas hensyn til at dårlig energiytelse kan skyldes aldring, slitasje eller defekter på utstyr og komponenter som blir brukt i prosessene.

1.5 Usikkerheter

Det er en del energiforbrukere som det ikke er målinger på. For eksempel er det ikke målinger på hvor mye damp som blir produsert i kjelen, eller målinger på dampmengde til alle forbrukerne. Det vil derfor bli gjort et estimat på virkningsgrad til kjelen og beregninger for å finne ut hvor mye damp som blir tilført de forbrukerne som ikke har mengdemålinger på damp. Det vil også gjøres antagelser på hvor mye strøm som går til komponenter det mangler data på.

Ved beregninger vil det også gjøres en del antagelser der det er mangler informasjon eller der beregninger blir for kompliserte.

2 Om bedriften

FMC Health and Nutrition AS, avdeling Vormedal, er en del av det globale firmaet FMC Corporation som har hovedkontor i USA. På verdensbasis har FMC 6000 ansatte og omsatte for 3,3 milliarder dollar i 2015. I Norge har FMC tre avdelinger lokalisert på Vormedal, i Ålesund og Sandvika (FMC, u.å.).

2.1 Anlegget på Vormedal

Avdelingen på Vormedal er en fabrikk som produserer alginat. De siste årene har fabrikkene blitt oppgradert, utvidet og modernisert. På fabrikkene er det ca. 120 ansatte. FMC kjøpte anlegget på Vormedal av Norsk Hydro i 1999 (Tjøsvoll & Vikse, 2015). Anlegget har hele tiden blitt brukt til produksjon av alginat.

Plasseringen av anlegget er optimal til sitt formål av følgende grunner:

- Fri tilgang til sjøvann som brukes av varmepumpen og til kjøling i varmevekslerne om sommeren.
- Det ligger bra med tanke på lossing og eksport av råvarer.
- Anlegget ligger i nærheten av Vormedalsvannet som er ferskvann. Dette vannet blir brukt til å kjøle ned alginatløsningen i varmeveksleren og til å redusere viskositeten i alginatet.



Figur 2 FMC Vormedal. Hentet fra <https://stortare.nolom-fmcl>. Brukt med tillatelse

Det er to produksjonslinjer på anlegget på Vormedal, H1 og H2, som hver produserer 7,5 tonn alginat per døgn. FMC har et mål om å øke produksjonen fra 7,5 tonn alginat per døgn til 9 tonn alginat per døgn i hver produksjonslinje innen 2020.

Våttaren består av blader og stilk. H1 produserer alginat fra stilken som tilsvarer 60 prosent av taren. H2 produserer alginat av bladene som tilsvarer 40 prosent av taren. Siden disse to avdelingene produserer like mye alginat blir det tilført tørr tare i H2. Den tørre taren blir importert fra Chile og Island, deretter blir den tilført H2 med jevne mellomrom. Det er kun 3-4 prosent av råproduktet blir til det ferdige alginatproduktet, resten blir spylt ut i sjøen.

2.2 Alginat

FMC i Norge har forsket på bruk av stortare i over 65 år. Stortare blir regnet som en fornybar ressurs, og høstingen av stortare i Norge blir sett på som svært bærekraftig. Norskekysten er det stedet i verden med størst bestand av stortare. (FMC, u.å.). Den typen tare som i hovedsak brukes på FMC Health and Nutrition er stortare av typen Laminaria Hyperborea som høstes ved mekaniske trålere langs kyststrekningen Rogaland til Nord-Trøndelag (Institute of marine research, 2016).

Alginat har egenskaper som gjør at det kan benyttes som fortykningsmiddel, stabilisator og danner av gele og film. Alginatet med høyest kvalitet brukes i legemiddelindustrien. Andre bruksområder for alginat er blant annet i næringsmiddelindustrien og kosmetikkindustrien



Figur 3 Alginat. Foto Mohammad Waad

2.3 Prosessen fra tare til alginat

Taren som kommer inn til bedriften er ferdig kuttet og klar til å bli behandlet. Første trinnet er at all taren blir vasket for å skille ut de groveste partiklene på taren. Videre blir bladene og stilken skilt, der stilken går til H1 og bladene til H2. Prosessen er den samme i H1 som i H2.

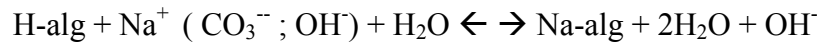


Figur 4 Taren etter separasjon. Foto: Mohammad Waad

Etter at satsen blir skilt blir den grovmalt og syrebehandlet for å fjerne kalsiumet i satsen. Kalsiumet fjernes for at satsen lettere skal løse ut alginatet senere i prosessen. Svovelsyre benyttes for å rense ut kalsium i et syrevaskekar. Sammen med kalsium blir også sleipstoff og fargestoff fjernet fra satsen. Dette gjøres fordi sluttproduktet skal være farge- og luktfritt.

Etter syrebehandlingen går alginatløsningen til steamskruene. I steamskruene blir damp blandet sammen med alginatløsningen for å redusere viskositeten til alginatløsningen.

Den sure satsen går videre til en silo der den blir tilsatt soda og lut, som er basisk, slik at satsen blir nøytral og mer løselig. Løsningen blir også tilført varmt vann ved ca. 50 grader. Blandingen ligger 8-12 timer i siloen før den går videre i prosessen. Steinstø (2008) poengterer at reaksjonsligningen ser slik ut:



Etter at satsen har ligget i siloen har den svært høy viskositet og må fortynnes for å kunne behandles videre. Satsen fortynnes med varmt vann igjennom to trinn før den blir sendt til rensing.

Videre går satsen til flotasjonskarene som opereres med høyt trykk. Flotasjonsmiddelet kitosan tilsettes. Partiklene flyter øverst og alginatløsningen blir liggende nederst i flotasjonstankene. Det øverste laget som inneholder partikler blir fjernet, og det nederste laget går videre til neste trinn.



Figur 5 Flotasjonskarene. Foto: Mohammad Waad

Etter flotasjonen blir alginatløsningens høye temperatur utnyttet. Varmevekslere brukes for å kjøle ned alginatløsningen mot ferskvann. Ferskvannet som blir varmt opp i varmevekslerne blir brukt et annet sted i prosessen. De varmeste månedene juni, juli og august er ferskvannet for varmt og kan ikke bli brukt til nedkjøling av alginatløsning, da brukes heller sjøvann som er nedkjølt av varmepumpen.

Den nedkjølte satsen blir tilsatt svovel og lut og blir ført til et fellekar, der den feller ut alginatsyre. Videre tilsettes kalsiumpermanganat og fortynnet svovel slik at neste trinn som er pressing blir enklere.

Alginatsyren er klar til å presses og avvannes både kjemisk og mekanisk. Ved den kjemiske metoden går alginatsyren til et bleketårn der den blir tilsatt natriumhypokloritt, natriumkloritt, vann og fortynnet svovelsyre. Ved den mekaniske metoden er det to skruer som roterer og presser satsen sammen, hvor forholdet mellom innløp og utløp er 1/40. Etter den siste avvanningsmetoden blir alginatsatsen omgjort til tørrfiber og transporteres videre til neste trinn ved hjelp av vifter.



Figur 6 Pressing/ avvanning. Foto: Mohammad Waad

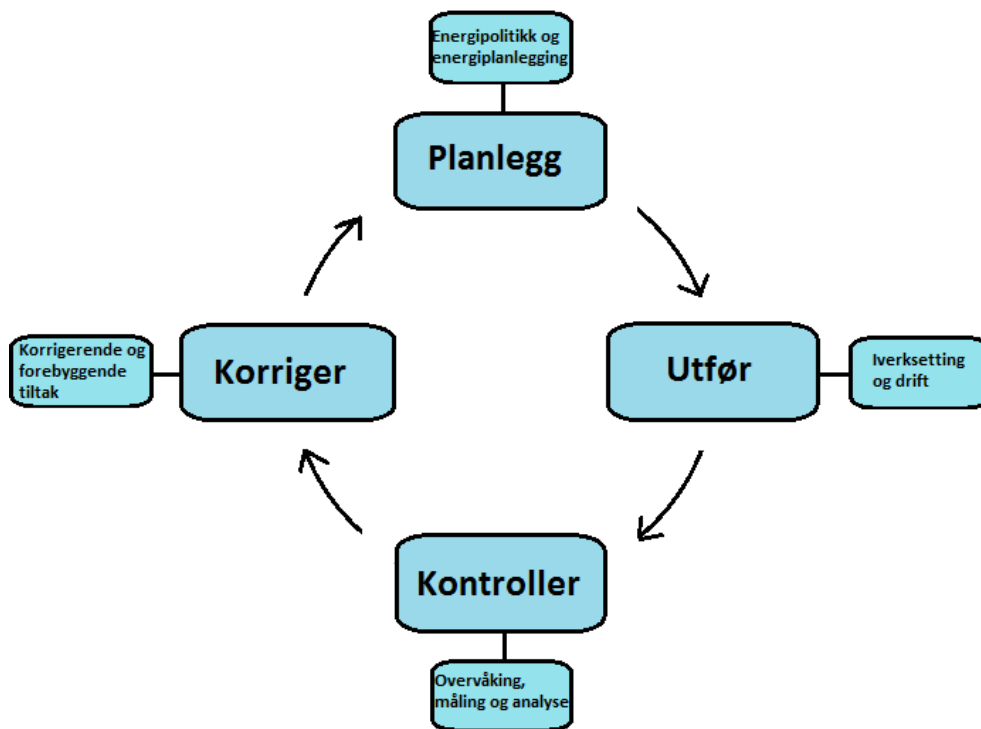
Videre transporteres alginatet til en sveveltørke sammen med oppvarmet luft. Det brukes både damp og elektriske varmeelementer for å varme opp luften. Neste trinn varierer avhengig av hvilket produkt som skal lages. Generelt blir alginatsyren blandet med et alkalisk stoff (salt) som gjør den om til alginatsalt.

I siste del av prosessen blir alginatet separert med hensyn på kornstørrelsen ved hjelp av skakesikter med ulike maskestørrelse på ristene, og blir pakket inn i såkalte «big bags».

3 Energiledelse

ISO 50001:2011 er en internasjonal standard for energiledelse. Den ble innført i 2011 og skal erstatte NS-EN 16001:2009. Formålet med ISO 50001 er at organisasjoner skal kunne etablere standardiserte systemer og prosesser slik at det kan gjøres kontinuerlige forbedringer av energiytelse. Med energiytelse menes resultater som kan måles i tilknytning til energieffektivitet, energianvendelse og energiforbruk. Intensjonen med å etablere ISO 50001 i en bedrift er å redusere energikostnader samt utslipp av klimagasser og andre skader på miljøet (Standard Norge, 2012).

Den internasjonale standarden er en modell som definerer en mal for hvordan man oppretter og implementerer et standardisert energiledelsessystem. Metoden som blir brukt i den internasjonale standarden er PDCA, Plan-Do-Control-Act (Planlegg-utfør-kontroller-korrigerer på norsk) og er i tråd med andre standardiserte ledelsessystemer. Denne metoden skal sikre kontinuerlig forbedring. Systemet er bygget opp på følgende måte (Standard Norge, 2012):



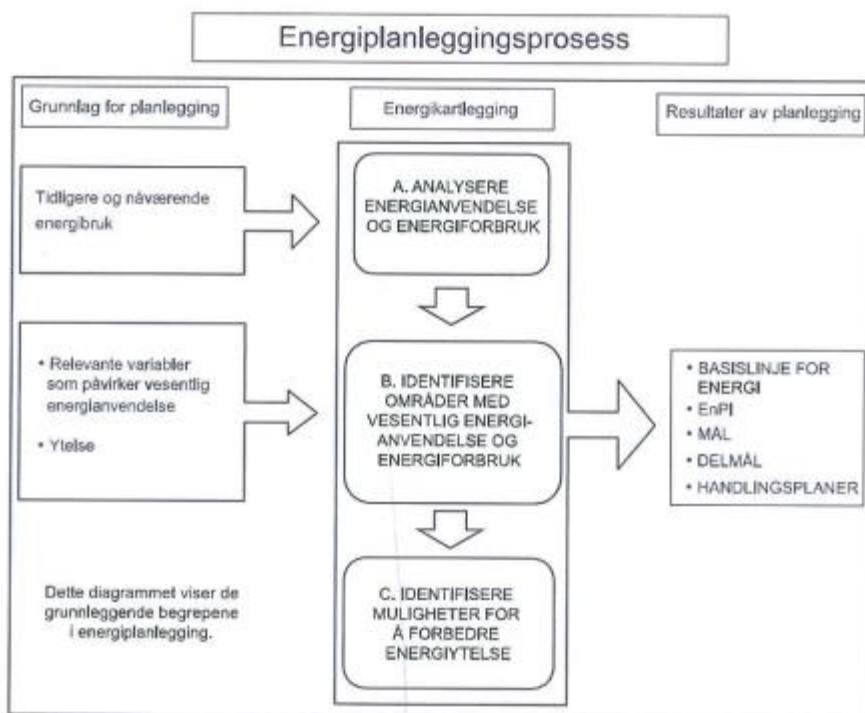
Figur 7 Planlegg-Utfør-Kontroller-Korriger. Anne Marie Lande

Den første fasen er planleggingsfasen. I denne fasen utvikles det en energipolitikk og det etableres klare mål, delmål og handlingsplaner for å bedre energiytelsen. Disse må være i tråd med lovfestede krav og andre krav bedriften er pålagt. Videre må det gjennomføres en omfattende kartlegging av det eksisterende energisystemet. Systemer og prosesser i bedriften som har vesentlig energianvendelse identifiseres, og energiytelsen i disse systemene søkes å forbedres. På grunnlag av den første energikartleggingen skal det fastsettes en basislinje for energi. Denne basislinjen danner en basis som påfølgende endringer i energiytelse skal sammenlignes med. Det skal også bestemmes energiytelsesindikatorer som er passende for måling av energiytelse (Standard Norge, 2012).

Den andre fasen er utførelsesfasen. Her blir handlingsplanene fra den første fasen igangsatt. Det må sikres at alle ansatte som er ansvarlige for systemer med betydelig energianvendelse har tilstrekkelig kompetanse. Det er også viktig at ansatte på alle nivåer i bedriften får kunnskap om bedriften sitt energiledelsessystem. Det settes krav til dokumentasjon av energiledelsessystemet og til kontroll av dokumentasjonen. I tillegg skal det gjennomføres driftskontroller. Ved endringer i eksisterende anlegg og innkjøp av nytt utstyr, produkter og tjenester skal det tas hensyn til energiytelse dersom det antas å ha vesentlig innvirkning på energiforbruket (Standard Norge, 2012).

I kontrolleringsfasen blir områdene og prosessene med betydelig energianvendelse overvåkt og målt. Resultatene blir registrert og analysert, samt vurdert i forhold til bedriften sin energipolitikk og energimål. Bedriften skal med jevne mellomrom vurdere hvorvidt lovbestemte krav og øvrige krav er i overensstemmelse med bedriften sitt mål om kontinuerlig forbedring av energiytelse. Energiledelsessystemet skal med regelmessige mellomrom gjennomgå interne revisjoner (Standard Norge, 2012).

Den siste fasen er korreksjonsfasen. I denne fasen må det iverksettes tiltak for kontinuerlig bedring av energiytelse og energiledelsessystemet. Avvik eller mulige avvik skal korrigeres ved hjelp av korrigerende tiltak eller forebyggende tiltak. Den øverste ledelsen må kontrollere og korrigere energiledelsessystemet jevnlig og evaluere hvilke endringer og tiltak som må til for å sikre kontinuerlig bedring av energiytelsen (Standard Norge, 2012).



Figur A.2 – Begrepsdiagram for energiplanlegging

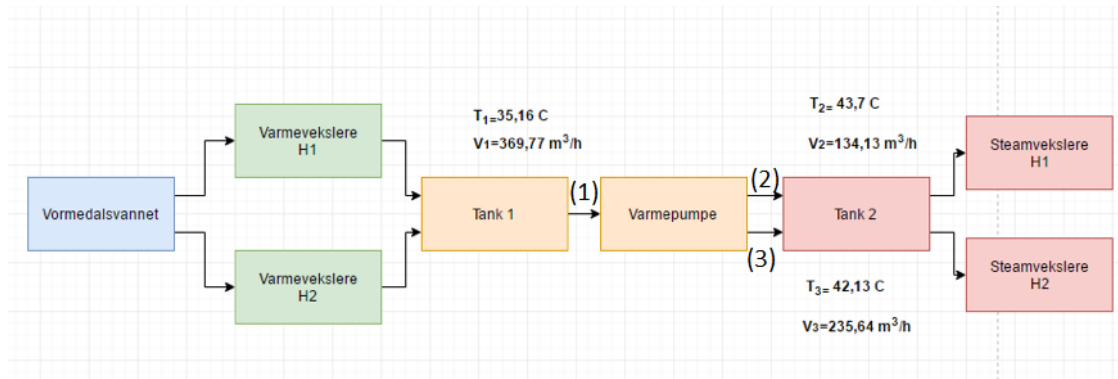
Figur 8 Energiplanleggingsprosess. Standard Norge. Gjengitt med tillatelse

4 Elektrisk energi

Det er svært mange forbrukere av elektrisk energi. De største forbrukerne vil bli belyst i dette kapitlet.

4.1 Varmepumpe

Ferskvannet som blir hentet fra Vormedalsvannet blir sendt til produksjonslinjene H1 og H2 der det blir varmet opp i varmevekslere. Videre går de to linjene til en felles tank der vannet blir blandet og sendt til varmepumpen som ideelt skal varme opp vannet fra 35 grader til 47 grader.



Figur 9 Flytskjema for vannet fra det kommer inn fra Vormedalsvannet til det når steamvekslerne. Mohammad Waad

Data i figur 9 er gjennomsnittsmålinger fra uke 7 2017. Volumstrømmen i H1 som strømmer ut av varmepumpen og inn i tank 2 er fra uke 7 2016 på grunn av bedriften hadde ikke målinger av denne strømmen i 2017.

Ut fra figur 9 ser en at varmepumpen ikke klarer varme opp vannet til 47 grader før det når steamvekslerne. Det fører til at brukes mer damp i steamvekslerne for å varme opp vannet. Bruk av høyverdig damp til å varme opp vannet som har en lav temperatur i forhold til dampens temperatur er en kostbar og lite energieffektiv metode. Ut fra målte data kan man beregne hvor mye damp som blir brukt til å varme opp vannet når den eksisterende varmepumpen ikke klarer å levere riktig temperatur.

Det skal anbefales en bedre varmepumpe som skal kunne få ned energiforbruket og energikostnadene for bedriften. I slutten av dette kapitlet skal man se på kostnads- og energibesparelsen som kan gjøres ved å bytte varmepumpe.

4.1.1 Eksisterende varmepumpe

Pumpen har stått i ca. 30 år og er klar for utskifting av flere årsaker. Med tanke på pumpens alder regnes det med større vedlikeholdskostnader og nedetid. Den opprinnelige effekten til varmepumpen er 6 MW, men denne effekten har gått betraktelig ned etter at bedriften måtte skifte kjølemediet grunnet nye miljøforskrifter i 2009/2010. I senere år har effekten gått enda mer ned på grunn av slitasje.

4.1.2 Effektytelse varmepumpe

Beregning av varmepumpens ytelse i uke 7 er gjort i vedlegg A.1 og gir følgende verdier:

$$P_{H1} = 1330 \text{ kW}$$

$$P_{H2} = 1907 \text{ kW}$$

$$\underline{P_{tot} = 3237 \text{ kW}}$$

Varmepumpen har hatt en gjennomsnittlig effekt på 3237 kW. Ifølge beregningene har effektiviteten til pumpen dermed nesten halvert seg fra opprinnelig effekt.

For å finne ut hvor effektiv varmpumpen er, regnes det ut en COP virkningsgrad og en overall COP.

4.1.3 Virkningsgrad varmpumpe

Virkningsgraden til varmpumper kalles COP (Coefficient of performance) og er forholdet mellom avgitt effekt og tilført effekt. Ettersom beregningene er basert på gjennomsnittlige temperaturer og volumstrømmer, får man også en gjennomsnittlig COP, den blir ofte kalt SCOP. Det har blitt gitt en tabell for varmpumpens effektforbruk i vedlegg A.2. Det brukes to kompressorer, HP og LP, som er de største energiforbrukene. De andre komponentene er installert for å kunne drifte varmpumpen og de bruker en del mindre energi enn selve varmpumpen.

$$SCOP = \frac{\text{avgitt effekt}}{\text{tilført effekt}} \quad (\text{Pedersen, et al., 1998})$$

Ser på varmpumpen som et avgrenset system, da brukes kun kompressorarbeidet som er 1260 kW.

$$\underline{SCOP = 2,57}$$

Det påstås i en bachelor oppgave fra Høgskolen Stord/Haugesund (Tjøsvoll & Vikse, 2015) at en COP for en slik varmpumpe bør være på rundt 4. SCOP som ble beregnet ut målingene fra uke 7 er mye lavere.

For å kunne se hvor stor energibesparelse varmpumpen gir bedriften må det beregnes en overall SCOP. I denne beregningen tas alle komponenter som er tilknyttet varmpumpen med og som til sammen er 1780 kW.

$$\underline{SCOP_{overall} = 1,82}$$

4.1.4 Anbefalt varmpumpe

I en bacheloroppgave fra Høgskolen Stord/Haugesund (Tjøsvoll & Vikse, 2015) ble FMC anbefalt en varmpumpe som skal kunne dekke bedriftens maksimale oppvarmingsbehov som er 8,35 MW og at den skal ha en COP på 4. Denne varmpumpen varmer opp vannet til 47 grader uten å måtte bruke høyverdig damp fra steamvekslerne. Om sommeren er Vormedalsvannet varmere enn om vinteren, og for å spare energi skal denne varmpumpen være regulerbar. Det vil si at den regulerer energiforbruk. Varmepumpen skal varmer vannet til 47 grader uavhengig av inngangstemperatur og volumstrøm.

For eksempel i mars brukes det mest energi for å varme opp vannet til ønsket temperatur og da er varmebehovet 8,35 MW. For å finne energiforbruket i mars:

$$\text{Effektforbruk} = \frac{\text{Effekt avgitt}}{COP}$$

$$\text{Effektforbruk} = 2,09 \text{ MW}$$

I juli derimot trengs det kun 5,07 MW for å varme opp vannet til 47 grader. Da blir varmpumpens effektforbruk:

$$\text{Effektforbruk} = 1,27 \text{ MW}$$

En varmpumpe kan spare store mengder energi med denne reguleringsfunksjonen som følger inngangstemperaturen. I vedlegg A.3 ble det funnet hvor mye energiforbruk den anbefalte varmpumpen ville ha brukt i uke 7.

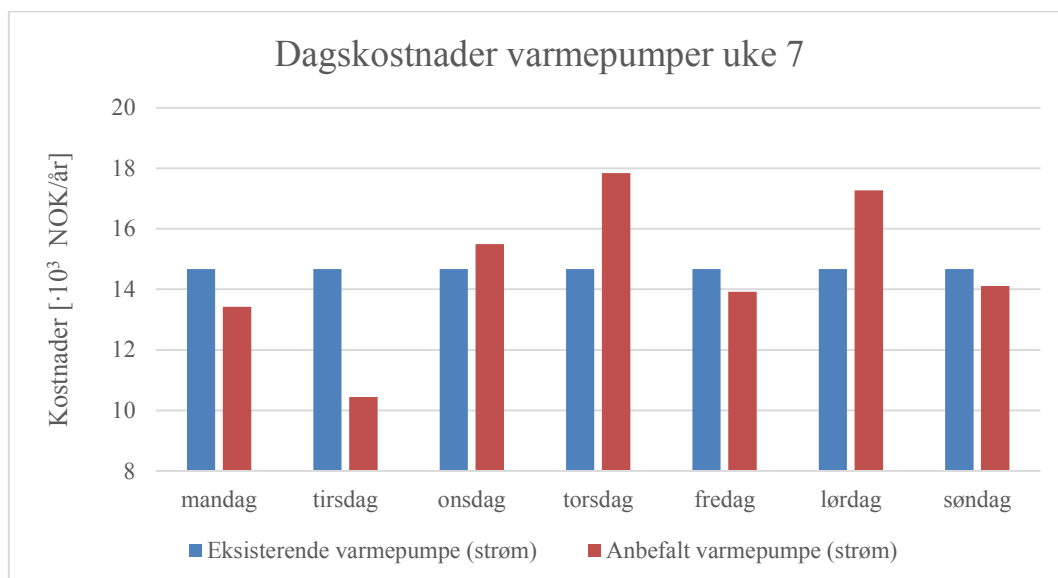
Det ble også tatt hensyn til kjølebehovet når det ble valgt en varmpumpe. Grunnen til det er at varmevekslerne bruker ferskvann for å kjøle ned alginatløsningen, men i de to varmeste månedene er ferskvannet for varmt. Da brukes det nedkjølt sjøvann fra varmpumpen for å kjøle ned alginatløsningen og maksimal kjølebehov er 3320 kW. Beregningene i en bacheloroppgave fra Høgskolen Stord/Haugesund (Tjøsvoll & Vikse, 2015) viste at sjøvannet i disse månedene avgir 4120 kW ut av varmpumpen. Da har bedriften en god margin til å dekke nedkjølingsbehovet.

4.1.5 Kostnader

Hvis FMC Vormedal velger å bytte ut den gamle varmpumpen med den som ble anbefalt, kan det bli beregnet hvor store kostnader som kan spares. Siden det er tatt en gjennomsnittsmåling fra uke 7, blir det kun beregnet hvor stor besparelse FMC kunne ha gjort i uke 7.

I beregningene som er gjort tas det ikke hensyn til merkostnader knyttet til omlegging av rørtrase, nytt bygg til varmpumpen og utskifting av pumper og lignende. Det tas kun hensyn til driften av begge varmpumpene.

Se vedlegg I.1.1 for energiforbruket, antagelser og formler som ble brukt for å beregne på kostnadene. Beregningene har blitt gjort på Excel.



Figur 10 Dagskostnader for varmpumpene uke 7 (2017)

Den anbefalte varmpumpen dekker hele bedriftens behov, mens den eksisterende dekker kun i overkant av halvparten av behovet som bedriften trenger.

4.1.6 Energi- og kostnadsbesparelse

Den eksisterende varmepumpen får hjelp av kjel til å varme opp vannet til 47 grader. Det blir brukt høyverdig damp til å varme opp vann, men dette er kostbart. Den anbefalte varmepumpen klarer å varme vannet til 47 grader uten hjelp av kjel.

Ideelt for å varme vannet fra 35 grader til 47 grader trengs det:

$$P = 5152 \text{ kW}$$

Den eksisterende varmepumpen leverer 3237 kW. Det vil si at kjelen hjelper med differansene mellom de to effektene.

$$P_{diff} = 1915 \text{ kW}$$

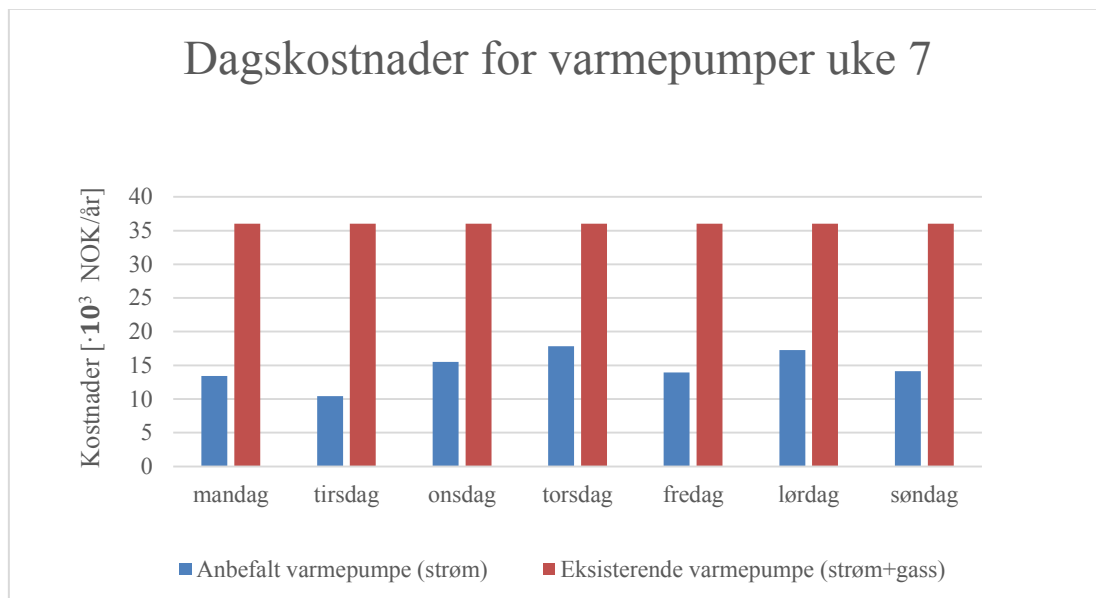
For å kunne finne ut hvor mye det koster i kroner for å dekke effektdifferansen må det tas hensyn til virkningsgraden til kjelene som produserer dampen.

Beregne virkelig gassforbruk (se vedlegg I.2.1 for beregning):

$$P_{virkelig} = 2171 \text{ kW}$$

Det blir brukt 2171 kW i gassenergi for å kunne produsere 1915 kW damp.

Det ble gjort noen beregninger på Excel for å finne ut hvor mye bedriften kunne ha spart i uke 7 (se vedlegg I.1.1).



Figur 11 Dagskostnader for å varme vannet til riktig temperatur i uke 7 (2017)

Figur 11 viser forskjellen i kostnader som kunne ha blitt spart i uke 7 hvis bedriften hadde den anbefalte varmepumpen. Forskjellen mellom figur 10 og 11 er gasskostnadene. Det vises i figurene 10 og 11 at kostnadene blir mye større ved å bruke gass til å varme opp vannet til angitt temperatur.

Summering av kostnadene for hele uken gir:

Tabell 1 Kostnadsdifferanse mellom eksisterende og anbefalt varmepumpe

	Kostnader anbefalt varmepumpe [NOK] (strøm)	Kostnader eksisterende varmepumpe [NOK] (strøm+gass)	Kostnadsdifferanse [NOK]
Forbruket i kr for uke 7	103 000	252 000	149 000

Bedriften ville ha spart ca. 150 000 kr i uke 7 hvis de hadde hatt den anbefalte varmepumpen. Dette blir en stor årlig besparelse for bedriften. Disse tallene er basert på mange antagelser, og den riktige kostnadsdifferansen kan variere fra de tallene som ble funnet.

4.2 Elektrisk tørking

Etter pressing skal alginat tørkes før det går videre i prosessen. Tørkingen blir gjort ved å varme opp luft til en høy temperatur og blande den med prosessløsningen over en bestemt oppholdstid.

Tørkeprosessen er avhengig av kvaliteten det skal være på alginatet. Noen av FMCs kunder krever at alginatet skal være av topp kvalitet og da trengs det mye energi, mens andre kunder krever lavere kvalitet på alginatet, og da brukes det mindre energi fra tørkeanlegget. Det brukes to forskjellige metoder for å tørke alginatet, elektrisk tørking og tørking ved bruk av damp. Noen steder brukes begge metodene.

Frisk luft blir tatt inn og filtret for å unngå bakterier som følger luften, deretter blir den varmet opp. Temperaturen luften skal ha etter oppvarming er avhengig av kvaliteten produktet skal ha.

På H1 er oppvarmingen av luft kun gjort ved elektrisitet, mens på H2 blir luften først varmet opp av damp og deretter elektrisk varme.



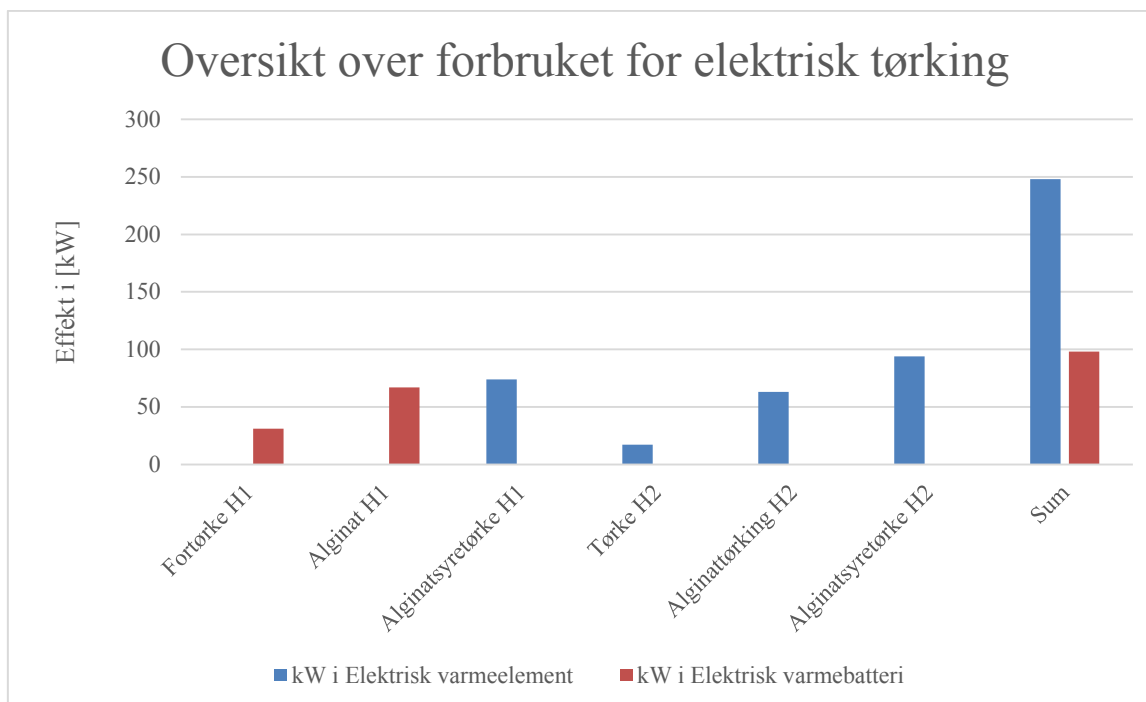
Figur 12 Tørkeanlegg. Foto: Mohammad Waad

4.2.1 Varmeelementer og varmebatterier

Det er to forskjellige metoder for elektrisk tørking, bruk av varmeelementer og varmebatterier. På H1 brukes både varmeelementer og varmebatterier, mens på H2 brukes kun varmeelementer. Varmebatteriene brukes når de trengs, vanligvis brukes de kun noen få timer hver dag. I uke 7 ble varmebatteriene kun brukt to timer per døgn.

Beregninger av energiforbruket i uke 7 ble gjort i vedlegg B.2.

Diagrammet under viser en oversikt over forbruket til varmeelementene og varmebatteriene. Totalt energiforbruk i tørkeanlegget i uke 7 er 346 kW (Vedlegg B.3)



Figur 13 Forbruket over det elektriske tørkeanlegget uke 7

4.2.2 Kostnader

Tabell 2 viser en oversikt over kostnadene i det elektriske tørkeanlegget uke 7 og i året. I uke 7 ble det brukt totalt 28 000 kr på elektrisk tørking. Formler, tabell og informasjon om strømkostnader ligger i vedlegg I.1.2.

Tabell 2 Kostnader for det elektriske tørkeanlegget

Forbruker	\dot{Q} [MW]	Kostnader [NOK/uke]	Kostnader [NOK/år]
Varmeelementer	0,2	20 000	1 100 000
Varmebatterier	0,1	8 000	400 000
Sum	0,3	28 000	1 500 000

Det koster FMC ca. 1,5 millioner kroner i året for elektrisk tørking. Det er ikke alltid energiforbruket er det samme som uke 7, fordi det er avhengig av kundens krav til kvalitet på produktet. Derfor vil energiforbruket variere fra uke til uke, og da vil også kostnadene variere.

4.3 Høytrykkspumper

Det er 8 høytrykkspumper som til sammen bruker 1,12 MW i strøm. Disse nyttes for å få et høyt trykk i flotasjonsprosessen. Dersom FMC hadde ønsket å redusere energiforbruket på denne posten, måtte det blitt sett på andre alternativer for flotasjon. Dette er ikke blitt gjennomgått i denne oppgaven.

4.4 Ventilasjon

I fyrhuset er det ventilasjon som til sammen bruker 0,32 MW i strøm.¹ Alternativer for besparelse er ikke blitt vurdert i denne oppgaven.

¹Energiforbruk til ventilasjon er hentet fra «Haugesund plant energy distribution diagram». Gitt av Øystein Østhus. E-post 27.03.17.

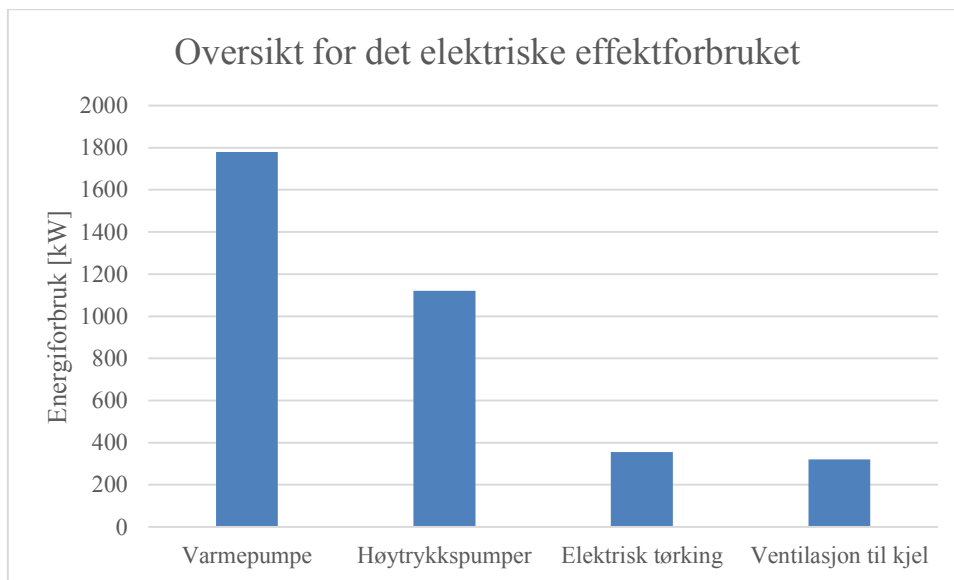
4.5 Samlet elektrisk forbruk

Alle de kartlagte elektriske forbrukerne er i drift hele året. Energiforbruket til varmepumpen og høytrykkspumpene er vesentlig større en de to andre forbrukerne. For å gjøre energibesparelser anbefales bedriften å konsentrere seg om de største forbrukene av elektrisk energi.

Tabell 3 Oversikt over elektrisk energiforbruk uke 7

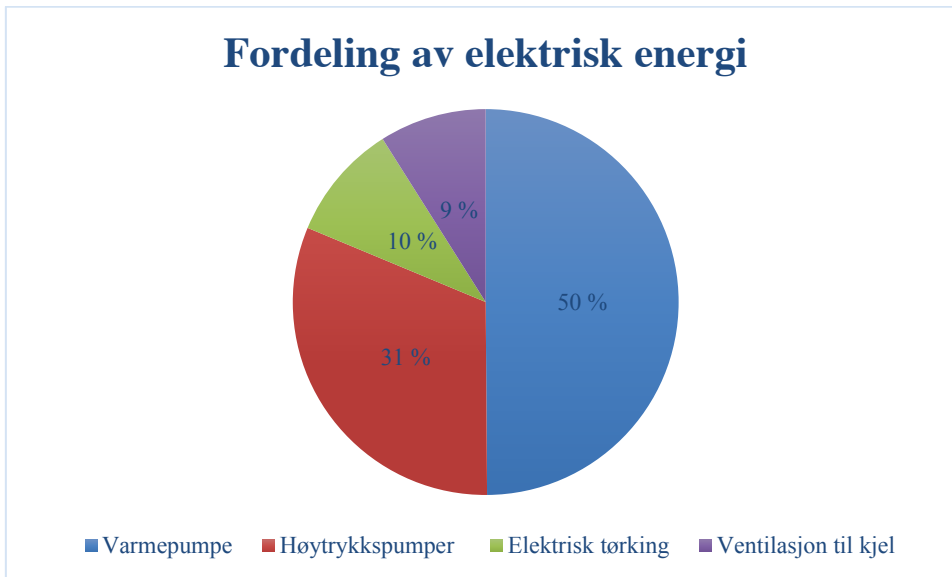
Forbruker	Effektforbruk [kW]
Varmepumpe	1780
Høytrykkspumper	1120
Elektrisk tørking*	350
Ventilasjon til kjel	320
Sum	3570

*beregnet verdi.



Figur 14 Samlet elektrisk forbruk uke 7

Varmepumpen og høytrykkspumpene bruker mest energi i løpet av året. Energiforbruket til varmepumpen kan reduseres betydelig ved å skifte den ut med en mer energibesparende varmepumpe som kan reguleres.



Figur 15 Prosentvis oversikt over det elektriske forbruket uke 7

I uke 7 utgjorde de største forbrukerne av elektrisk energi et energiforbruk på 3,57 MW i elektrisk energi. Det virkelige energiforbruket er imidlertid større. Bedriften har mange andre forbrukere av elektrisk energi, som pumper, motorer, roterende gjenstander, kontorer, belysning og diverse andre komponenter. Slike komponenter er det ikke tatt hensyn til på grunn av at de har mye mindre energiforbruk.

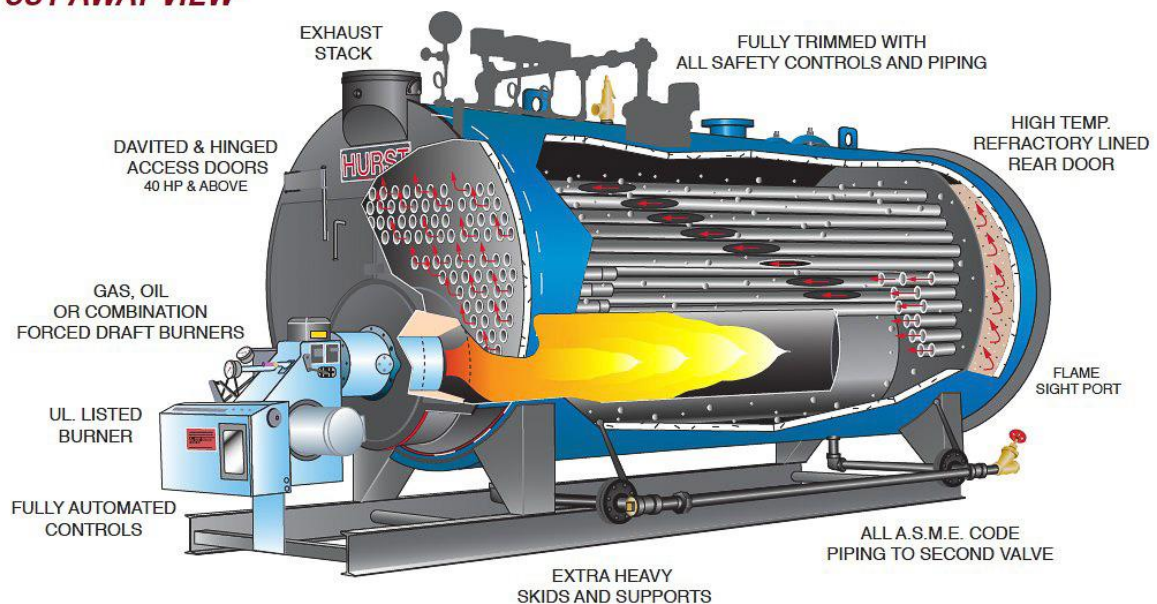
5 Dampkjel

5.1 Beskrivelse av kjelsystemet

Det er to kjeler som forsyner fabrikkens med damp. Disse kjelene er sammenkoblet og det går ikke an å styre eller regulere hver kjel for seg selv. Naturgassen blir tilført som en samlet mengde og blir regulert automatisk mellom de to kjelene. Samlet last ved normal produksjon er totalt ca. 1,3 kjel sammen med energien og drift på varmpumpen, der lasten fordeles likt på begge kjelene. Dette gir en enkeltvis last på ca. 65 % for hver kjel. Hvis varmpumpen stoppes eller blir tatt ut for service ligger begge kjelene tett oppunder maks drift med et gjennomsnitt på ca. 95 % på hver kjel.²

Det er felles måling av naturgassmengden inn på begge kjelene. Det er ikke måling på røykgasstemperaturen, men det er planer om å installere målere.

CUT AWAY VIEW



Figur 16 Illustrasjon av dampkjel- Gjengitt med tillatelse. Hurst Boiler & Welding Co., Inc. USA

5.1.1 Kjel 1

Kjel 1 er en røykrørskjel fra Peder Halvorsen Industrier AS som ble installert i 2003. Den skal ha en dampkapasitet på 12 tonn per time og opererer ved et arbeidstrykk på 11-12 bar. Den er utstyrt med en brenner fra Weishaupt med regulerbart flammehode, noe som gir den en finere regulering og mulighet for å brenne ved lavere last enn kjel 2. Det er ikke måling på dampmengden ut av kjel 1.

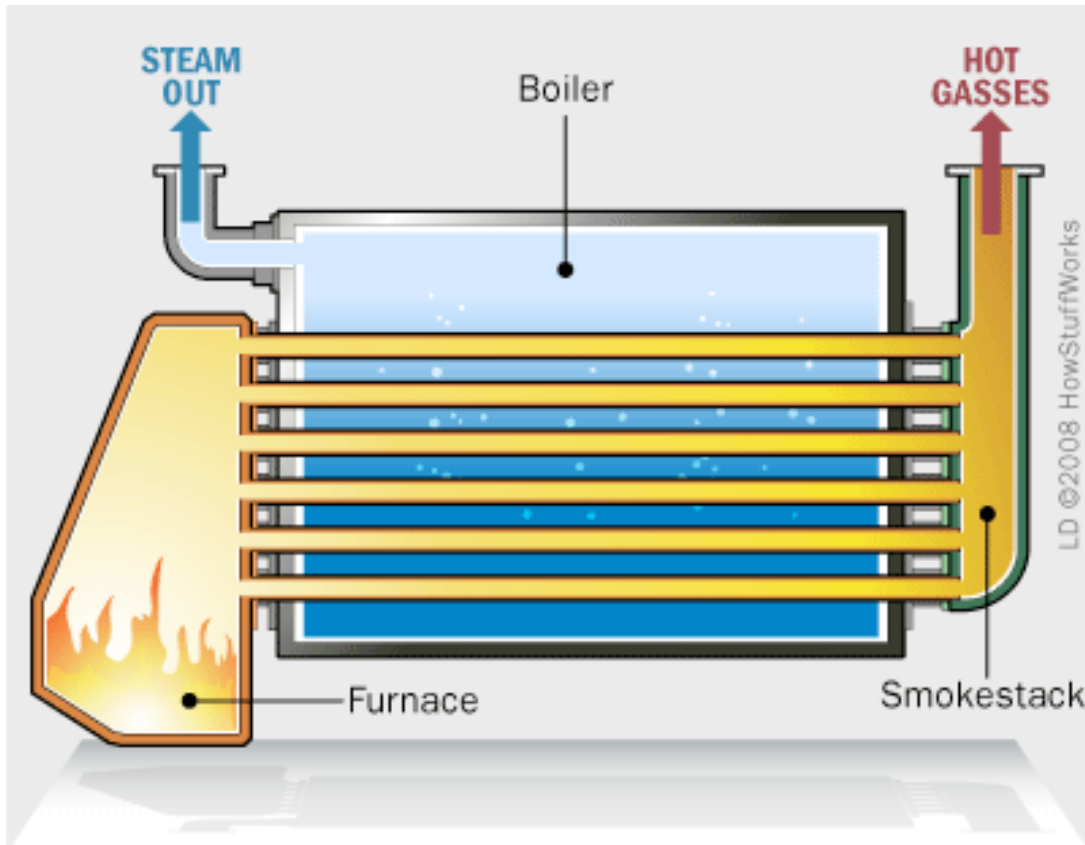
5.1.2 Kjel 2

Kjel 2 er en røykrørskjel fra Parat Halvorsen som ble installert i 1997. Den skal også ha en dampkapasitet på 12 tonn per time og opererer ved et arbeidstrykk på 11-12 bar. Brenneren er også fra Weishaupt, men har en grovere regulering, noe som gjør at kjelen ikke kan brenne ved like lav last som kjel 1. Det er heller ikke måling på dampmengden ut av kjel 2. Det er blitt utført en forbrenningsrapport på kjel 2 i 2012 som er lagt ved i vedlegg J.

² Atle Holden, vedlikeholdsplanlegger FMC. Samtale 02.03.17.

5.1.3 Matevannstank

Matevannstanken er fra Parat Halvorsen AS og ble installert i 2012. Den har et makstrykk på 0,5 barg (Spirax Sarco, 2016), og den opererer ved et trykk på 0,3-0,5 barg. Matevannet har normalt en temperatur på 105 grader og tanken tåler ikke mer enn 107 grader. Tanken er isolert og vannet som tilføres er en blanding av rensset råvann og kondensat fra prosessene. Matevannet blitt varmet opp til riktig temperatur ved injeksjon av damp fra kjelen.



Figur 17 Snittskisse av røykrørskjel. Hentet fra www.howstuffworks.com

5.2 Analyse av kjelene

Energimengden tilført kjelene i form av naturgass er kjent. For å få en oversikt over energibildet er det imidlertid nødvendig å finne ut hvor mye av denne energien som blir omgjort til nyttig energi i form av damp.

5.2.1 Kjelvirkningsgrad

Som nevnt tidligere er det ikke målinger på dampmengden produsert i kjelene. Derfor vil det bli gjort et estimat på å finne kjelvirkningsgraden. Kjelvirkningsgraden er definert som forholdet mellom produsert og tilført energi. (Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet [NTNU], 2004)

Kjelvirkningsgrad, direkte metode:

$$\eta_{kjel} = \frac{\dot{Q}_{produsert}}{\dot{Q}_{tilført}}$$

$\dot{Q}_{produsert}$ = effekt produsert av kjelen (i form av damp)

$\dot{Q}_{tilført}$ = tilført effekt i form av gass og følbare varme i luft

Det er ikke mulig å finne kjelvirkningsgraden ved direkte metode fordi dampmengden ut av kjel er ukjent. Derfor vil indirekte metode bli benyttet.

Indirekte metode for å finne kjelvirkningsgraden:

$$\text{Kjelvirkningsgrad} = 100\% - \sum \text{tap } i \% \quad (\text{NTNU, 2004})$$

Summen av tapene består av røykgasstap, varmetap til omgivelsene og tap på grunn av ufullstendig forbrenning (NTNU, 2004). Tap grunnet ufullstendig forbrenning vil bli neglisjert, da det er svært komplisert å bestemme, men det antas at tapet er så lite at det ikke vil ha stor betydning for energibildet.

$$\text{Kjelvirkningsgrad} = 100\% - \text{Røykgasstap}[\%] - \text{Varmetap}[\%] \quad (5.2.1)$$

Estimering av kjelvirkningsgrad er gjort i vedlegg D.1. En forbrenningsrapport utført på den ene kjelen er nyttet for å finne røykgasstapet. Varmetapet er det gjort en antagelse på. Kjelvirkningsgraden ved 65 % last, som er den antatte lasten på hver kjel uke 7, er beregnet til å være 88,2 %. Kjelvirkningsgraden er antatt å gjelde for begge kjelene.

$$\text{Kjelvirkningsgrad} = 88,2\%$$

5.2.2 Luftmengde tilført kjelen

For at det skal være mulig å regne ut dampmengden produsert i kjelen, er det nødvendig å vite hvor mye forbrenningsluft som tilføres. Luftmengden er blitt estimert ved å sette opp forbrenningsligninger for naturgass med luftoverskudd oppgitt i forbrenningsrapport og finne forholdet mellom luft og naturgass. Beregningen er gjort i vedlegg D.2.

Beregnet luftmengde:

$$\dot{m}_{luft} = \dot{m}_{naturgass} \cdot 13,51 \quad (\text{D.2.12})$$

5.2.3 Dampmengde produsert i kjel

Når kjelvirkningsgraden er estimert, har en et estimat på hvor mye av den tilførte energien som blir overført til produsert energi. Den estimerte kjelvirkningsgraden og luftmengden benyttes til å beregne dampmengden produsert i kjel. I vedlegg D.3 blir det satt opp en energibalanse for å finne dampmengden.

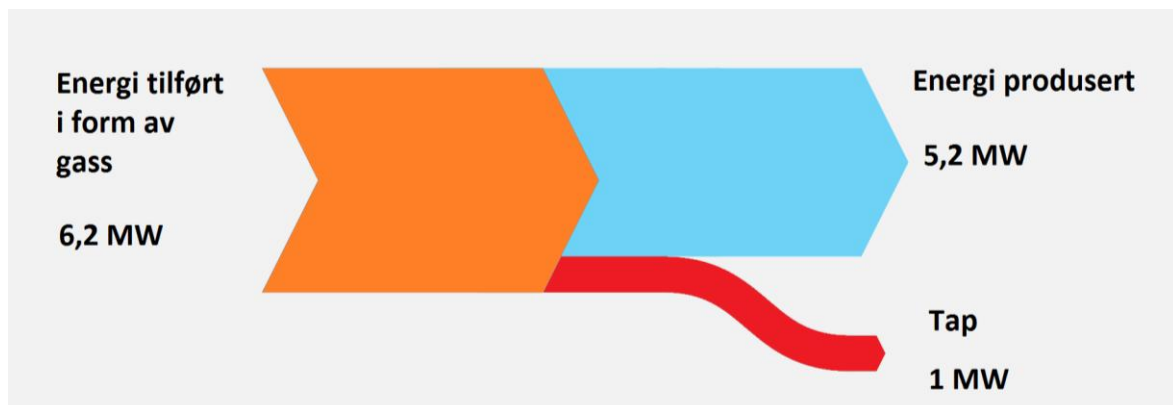
Beregnet dampmengde er:

$$\dot{m}_{damp} = 2,24 \text{ kg/s} = 8074 \text{ kg/h}$$

5.2.4 Energi produsert i kjel

Når dampmengden er kjent, kan varmemengden produsert i kjel i form av damp regnes ut. Beregningene er blitt gjort i vedlegg D.4.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{tilført,gass} &= 6,2 \text{ MW} \\ \dot{Q}_{produsert} &= 5,2 \text{ MW} \\ \dot{Q}_{tap} &= 1 \text{ MW} \end{aligned}$$



Figur 18 Sankey-diagram av energi tilført og produsert i kjel. Anne Marie Lande

5.2.5 Kostnader

Det har blitt gjort noen beregninger for å finne kostnadene bedriften har i året på gass. Se vedlegg I.2.2 for beregninger.

Tabell 4 Oversikt over energi og kostnad forbruket i kjelene

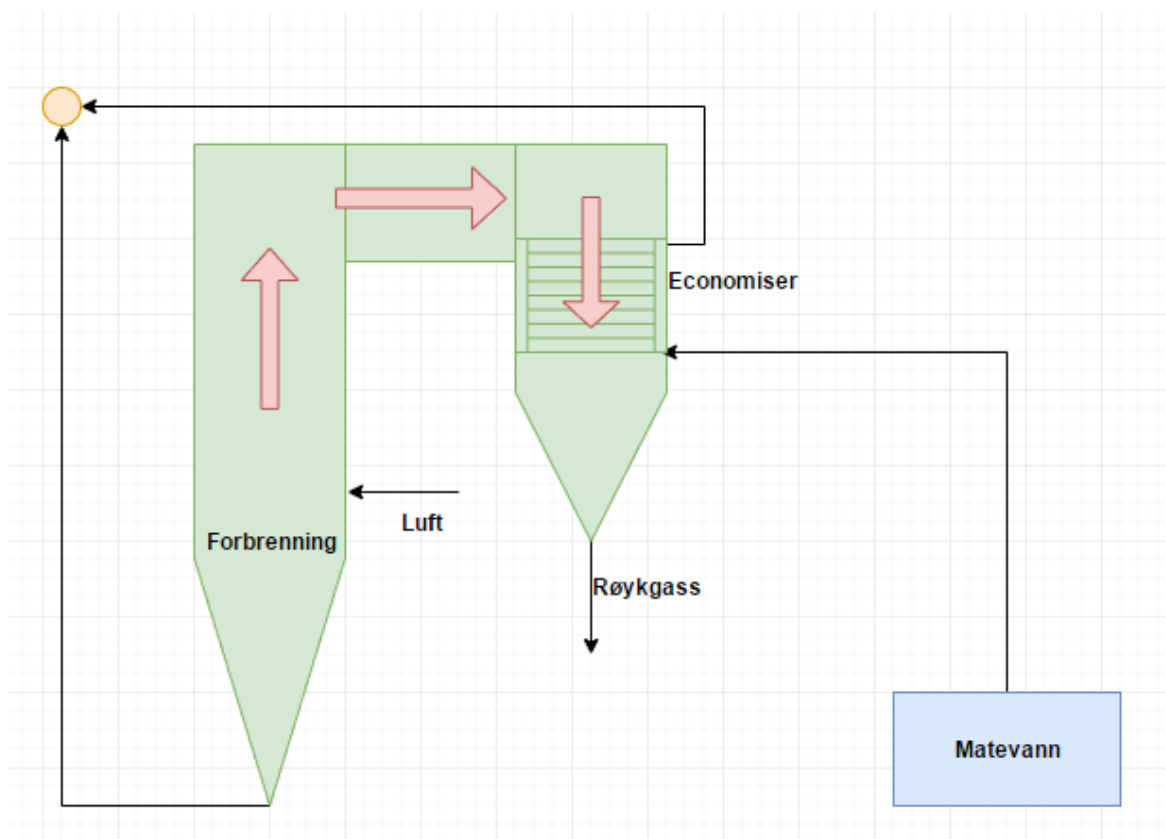
Gass inn i kjel	\dot{Q} [MW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Energiinnhold i gass	6,2	22,3
Nyttig energi	5,2	18,7
Tap i kjel	1	3,6

5.3 Effektiviserende tiltak

Det er flere muligheter for å gjøre effektiviserende tiltak som øker virkningsgraden på kjelene og dermed minker gassbehovet.

5.3.1 Economiser

I kjelen blir varmen overført til dampen fra fra forbrenningsgassene som har en høyere temperatur. For å få best mulig utnyttelse av energien i brenselet, er det ønskelig med en lavest mulig temperatur på røykgassen. Røykgasstemperaturen kan senkes ved å installere economisere. Economiserne er en integrert del av kjelen og skal nytte varmen i røykgassen til å varme opp matevannet. Dermed senkes også røykgasstemperaturen og virkningsgraden på kjelen øker. Dette skjer etter varmevekslerprinsippet (Eastop & McConkey, 1993, s. 254).



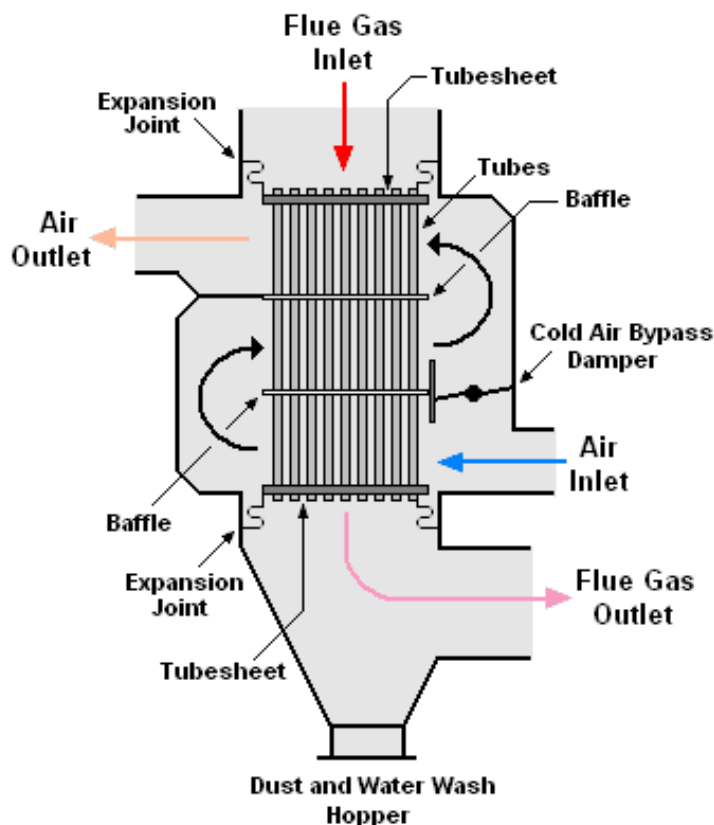
Figur 19 Economiser. Mohammad Waad

For en tid tilbake fikk FMC installert economisere, men de ble ødelagt etter kort tid og har derfor ikke vært i drift over en lengre periode. I uke 11 i 2017 ble economiserne skiftet ut og satt i drift igjen. De nye economiserne skal gi en effekt på 0,9 MW per kjel ved full last.

Det er ikke utført ny forbrenningsrapport etter nyinstallasjonen. Foreløpig er derfor ny røykgasstemperatur og virkningsgrad ukjent, men det antas at røykgasstemperaturen har sunket omtrent 50 grader. Ifølge Norsk Energi kan economisere gi en brenselbesparelse på 4-6 % (Larsen & Aasbøe, 2016, s. 21).

5.3.2 Luftforvarmer

Ved dagens situasjon blir forbrenningsluften tilført ved omgivelsestemperatur. Ved forbrenning går en del av energimengden i gassen med til å varme opp luften. Jo høyere temperatur på forbrenningsluften, desto mindre energi er nødvendig å tilføre. En luftforvarmer nytter den varme røykgassen til å varme opp forbrenningsluften før den entrer kjelen. Det fører til mindre brenselbehov, og dermed en økning i virkningsgrad (Eastop & McConkey, 1993, s. 254).



Figur 20 Illustrasjon av luftforvarmer. Milton Beychok

Det er uvisst om det faktisk hadde vært mulig å integrere luftforvarming med den typen kjeler og brennere de har på FMC, men problemstillingen er uansett blitt belyst.

I vedlegg D.5 er det blitt gjort en beregning for å finne ut hvor stor brenselbesparelsen hadde blitt dersom det hadde blitt integrert en luftforvarmer som hadde forvarmet forbrenningsluften fra omgivelsestemperatur til 100 grader. Beregningen er blitt gjort med antagelse om at economiser er installert og allerede har senket røykgasstemperaturen med 50 grader. Uten antagelse om installasjon av economisere ville brenselbesparelsen blitt større.

Beregnet brenselbesparelse med economiser:

$$\Delta \dot{V} = 16,7 \text{ Sm}^3/\text{h}$$

Dette gir en brenselbesparelse på 2,6 %, som vil føre til en økning i virkningsgrad på 2,6 %.

5.3.3 Reduksjon av luftoverskudd

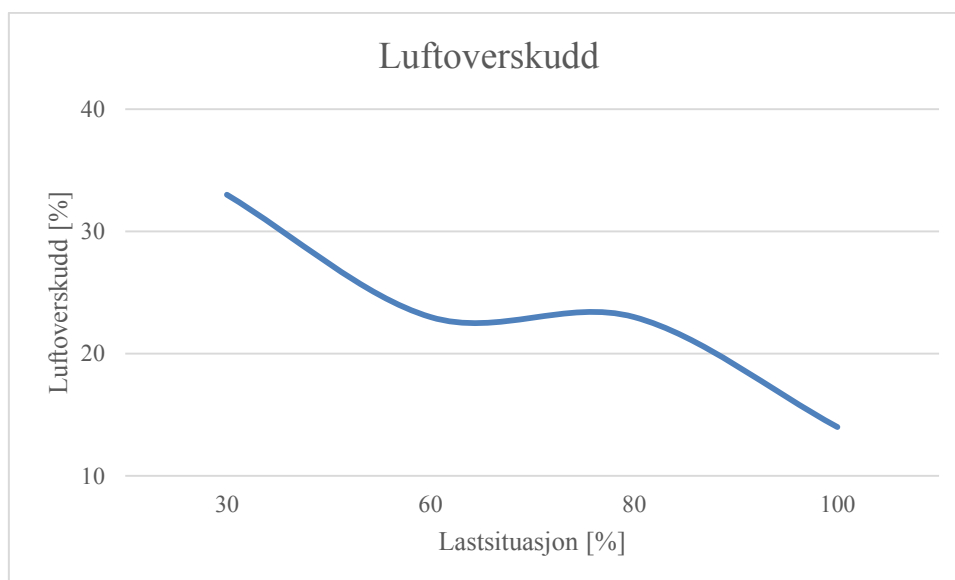
For å unngå å bruke energi på å varme opp en unødvendig mengde luft, er det ønskelig med minst mulig luftoverskudd. En viss mengde luftoverskudd er nødvendig som en sikkerhetsfaktor ved forbrenning for å sikre fullstendig forbrenning. En kvalitetsbrenner skal imidlertid kunne greie seg med et luftoverskudd på 15 % (Bhatia, 2012, s.2).

Data i tabell 5 er hentet fra forbrenningsrapporten og viser luftoverskuddet ved ulike laster.

Tabell 5 Luftoverskudd

Lastsituasjon [%]	Luftoverskudd [%]
30	33
60	23
65	23*
80	23
100	14

*antatt verdi



Figur 21 Luftoverskudd som funksjon av lastsituasjon

En ser at luftoverskuddet øker med avtagende belastning.

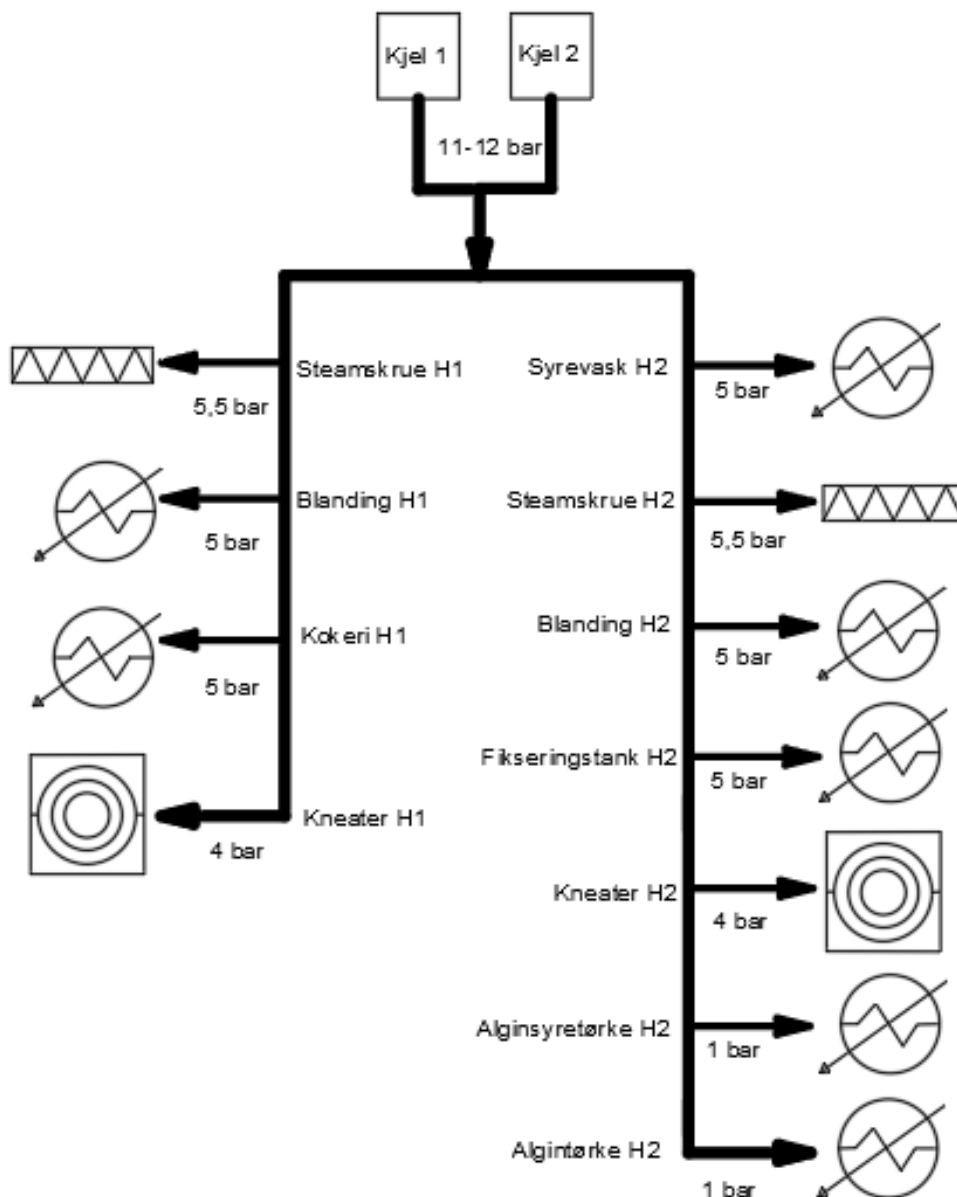
Ved 65 % last har kjelen et antatt luftoverskudd på 23 %. Ved enda lavere last blir luftoverskuddet høyere. Det er kun ved full last kjelen har et luftoverskudd på ca. 15 %.

For å spare energi kunne en sett på om det var mulig å redusere luftoverskuddet ved normal last på 65 %.

6 Forbrukere av damp

Det er 17 forbrukere av damp. 6 forbrukerne blir neglisjert som følge av manglende målinger, men de krever så lite damp eller er i så sjelden bruk at det antas at de vil ha liten innvirkning på det totale energibildet. Videre vil derfor kun de 11 viktigste og største forbrukerne bli betraktet.

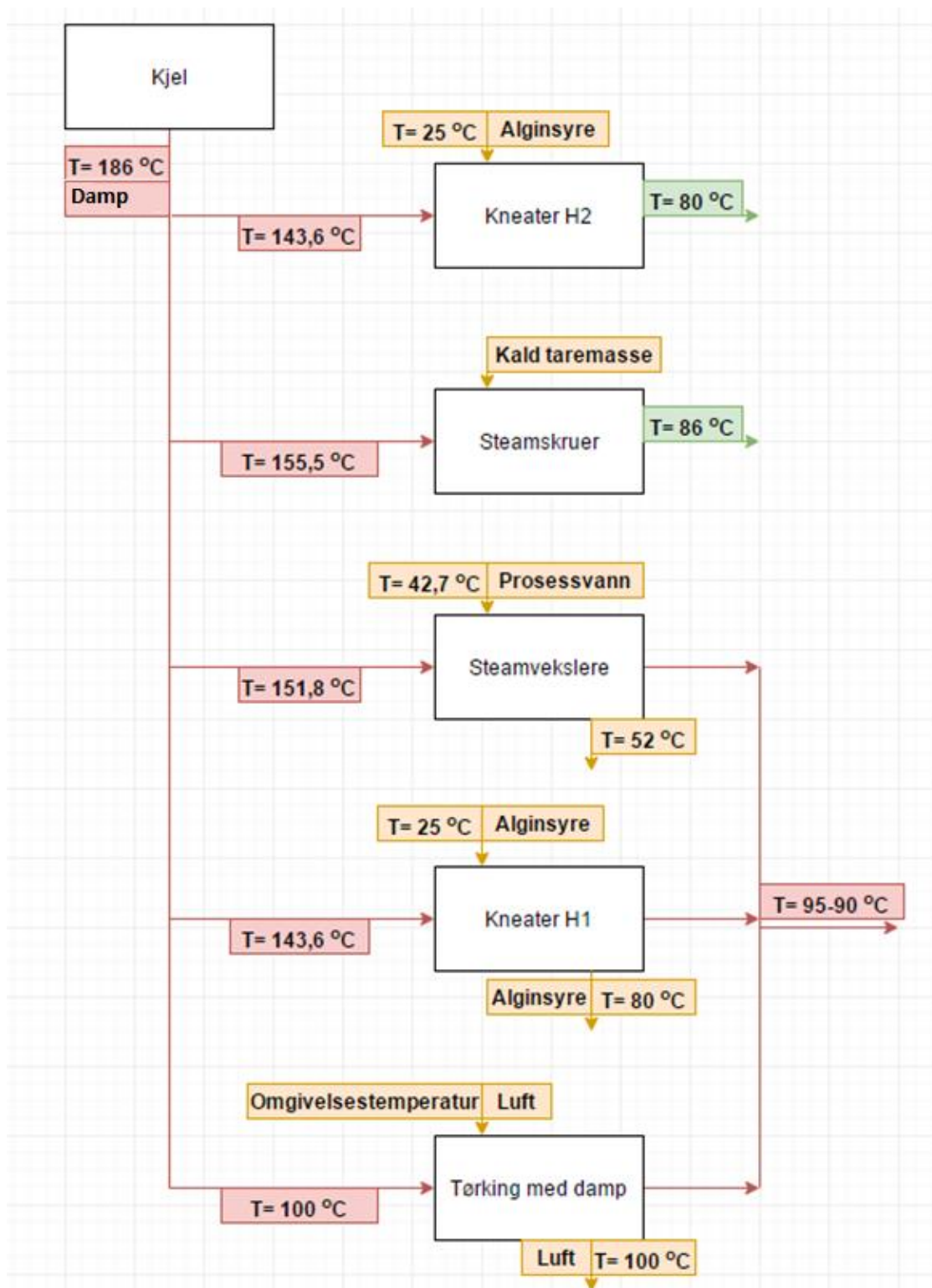
Figur 22 viser et flytskjema over de 11 viktigste forbrukerne av damp. Produksjonslinje H1 har 4 forbrukere og produksjonslinje H2 har 7 forbrukere.



Figur 22 Flytskjema forbrukere av damp. Anne Marie Lande

Den produserte dampen blir samlet i en felles fordelingsstokk før den sendes ut i linjer til de forskjellige forbrukerne. Dampen har et trykk på 11-12 bar ut fra kjelene og blir regulert ned til aktuelt arbeidstrykk rett før hver forbruker.

Figur 23 viser en oversikt over temperaturer inn og ut fra forbrukerne av damp. Det er antatt at dampen tilført forbrukerne er tørrmettet ved aktuelt arbeidstrykk. Temperaturen på prosessvannet ut fra steamvekslerne er en gjennomsnittstemperatur for alle steamvekslerne uke7.



Figur 23 Oversikt over temperaturer forbrukere av damp. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

Noen av forbrukerne har konstant tilførsel av damp, mens andre kun blir tilført damp i perioder eller intervaller.

For å få en oversikt over energiforbruket til de forskjellige forbrukerne, er det ønskelig å vite hvor mye damp som blir tilført hver forbruker. Det er imidlertid ikke alle forbrukerne som har mengdemålinger av dampen. For de forbrukerne som har mengdemålinger av dampen vil det gjøres beregninger for å finne ut hvilken energimengde dampmengden tilsvarer. For de resterende forbrukerne vil det gjøres antagelser om ideell varmeoverføring og det vil settes opp energibalanse rundt systemet for å finne et anslag på energitilførselen.

Tabell 6 vises det en oversikt over mengdemåling av damp til forbrukerne:

Tabell 6 Oversikt over mengdemålinger av damp til forbrukerne

Forbruker	Mengdemåler damp	Ikke mengdemåler damp
Steamvekslere		X
Kneatere		X
Steamskruer	X	
Tørking	X	

6.1 Steamvekslere

Steamvekslerene er varmevekslere som overfører varme fra et varmt til et kaldt medium ved at damp avgir varme ved kondensering. Hensikten med steamvekslerne på FMC er å varme opp prosessvann til ønsket temperatur før det nyttes i videre prosesser. Prosessvannet er først blitt varmet opp i varmpumpen før det varmes opp ytterligere i steamvekslerne.

Det er 5 steamvekslere:

- Blanding H1
- Blanding H2
- Fikseringstank H2
- Syrevask H2
- Kokeri H1 (ikke i bruk uke 7)

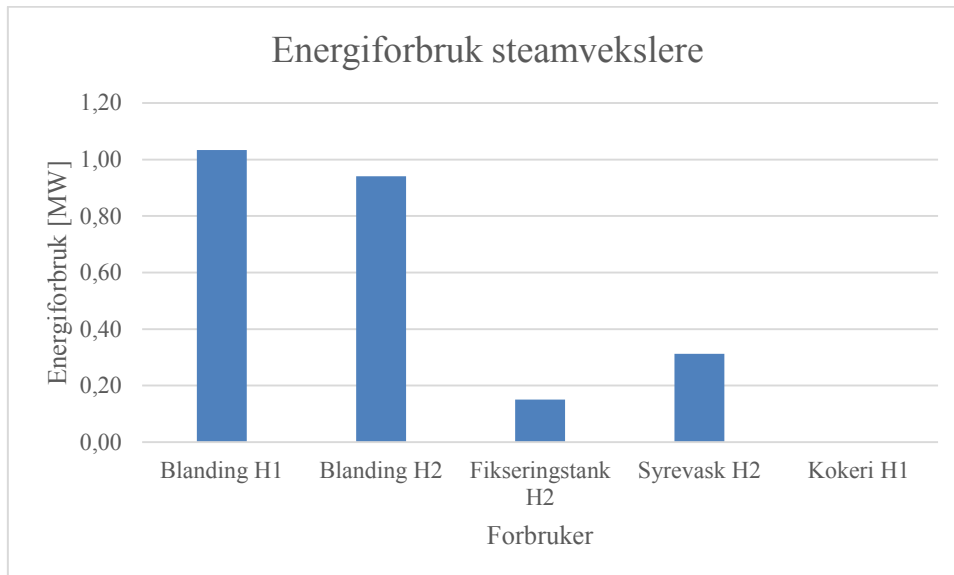
Rett før steamvekslerne blir dampen regulert ned til 5 bar ved hjelp av en trykkreduksjonsventil. Etter steamvekslerne har den kondenserte dampen en temperatur på 90-95 grader. Kondensatet blir returnert til matevannstanken via kondensatsystemet.

6.1.1 Energiforbruk steamvekslere

Det er ikke mengdemåling av damp til noen av steamvekslerne. Beregning av energiforbruk steamvekslere er gjort i vedlegg E.1 ved å sette opp energibalanse over prosessen. Det er sett bort fra tap.

Tabell 7 Energiforbruk steamvekslere

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Blanding H1	1,03
Blanding H2	0,94
Fikseringstank H2	0,15
Syrevask H2	0,31
Kokeri H1	0,00
Sum	2,44



Figur 24 Energiforbruk steamvekslere

En ser at Blanding H1 og Blanding H2 står for det største energiforbruket til steamvekslerne. Figur E-1 i vedlegg E.1 viser at gjennomsnittstemperaturen på prosessvannet ut av steamvekslerne Blanding H1 og Blanding H2 er 47,8 grader i uke 7. Ved å investere i ny varmepumpe som kan varme vannet opp til 47 grader, vil dampbehovet til disse steamvekslerne reduseres kraftig.

6.2 Kneatere

I kneatere blir damp nytt til å varme prosessløsningen fra rundt 25 grader til 80 grader. Kneatere har ca. 6 oppvarmingsperioder på omtrent 45 min i løpet av døgnet. Dampen har et trykk på omtrent 4 bar.

Det er to kneatere:

- Kneater H1
- Kneater H2

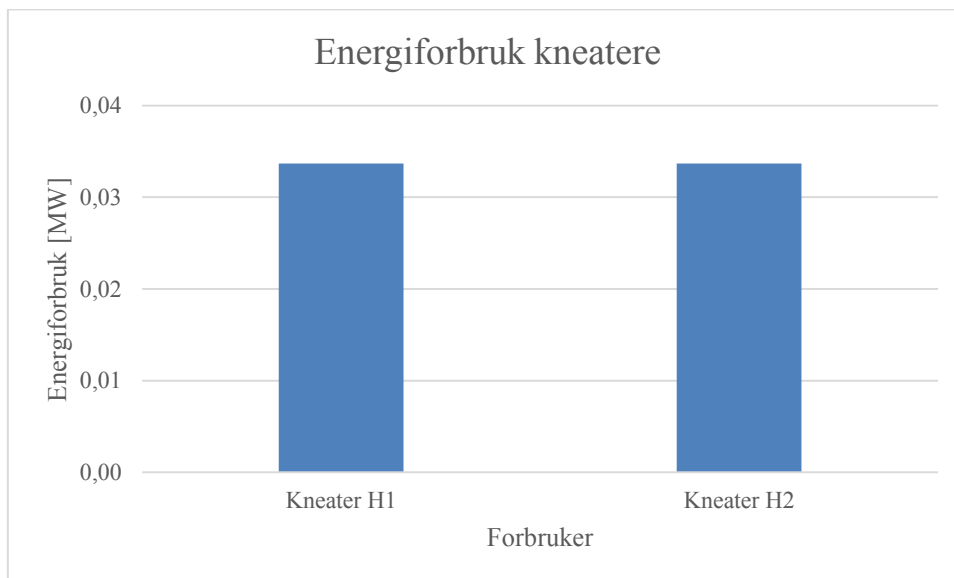
I kneater H1 blir taremassen varmet opp etter varmevekslingsprinsippet. Dampen er ikke i direkte kontakt med løsningen, men varmer opp veggen på utsiden av massen. Kondensatet blir ført tilbake til matevannstanken. I kneater H2 blir dampen ført direkte inn i massen, og kan dermed ikke bli gjenvunnet.

6.2.1 Energiforbruk kneatere

Det er ikke mengdemåling av damp til kneatere. Beregning av energiforbruk kneatere er gjort i vedlegg E.2 ved å sette opp energibalanse over prosessen. Det er gått ut fra at varmeoverføringsprosessen er ideell og uten kondensatkjøling.

Tabell 8 Energiforbruk kneatere

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Kneater H1	0,034
Kneater H2	0,034
Sum	0,067



Figur 25 Energiforbruk kneatere

6.3 Steamskruer

I steamskruene blir dampen tilført direkte i taremassen. Hensikten med steamskruene er å øke temperaturen og regulere viskositeten til taremassen. Dampbehovet avhenger av kvalitet og type tare. Dampmengden blir regulert automatisk med settpunkt temperatur. Siden dampen blir ført direkte inn i taremassen, blir den ikke returnert som kondensat.

Det er to steamskruer:

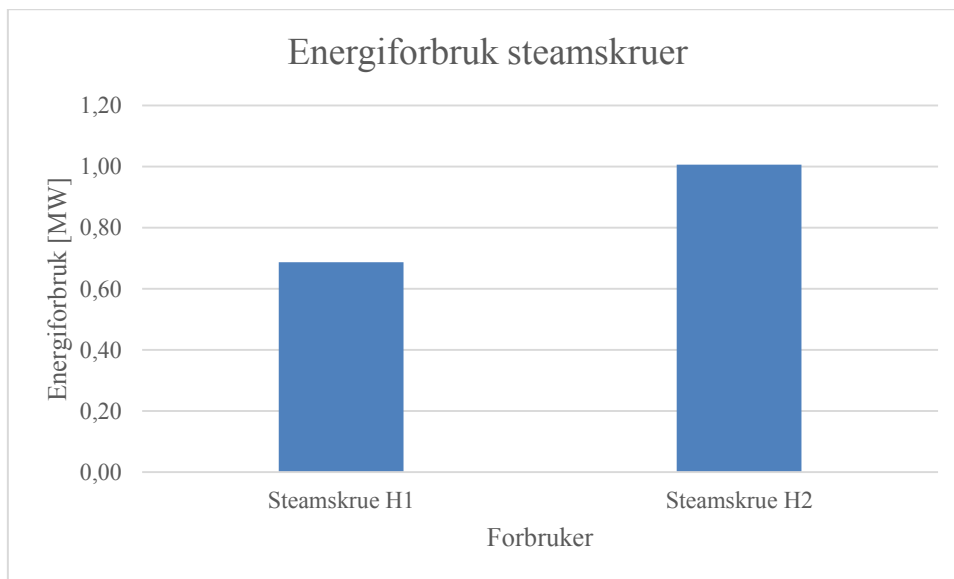
- Steamskrue H1
- Steamskrue H2

6.3.1 Energiforbruk steamskruer

Det er målinger på dampmengde tilført steamskruene. For å finne energimengden som blir tilført steamskruene fra damp, er det antatt at dampen blir videre kjølt ned til en samlet taremassestemperatur på 86 grader etter kondensering. Beregning er gjort i vedlegg F.1.

Tabell 9 Energiforbruk steamskruer

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Steamskrue H1	0,69
Steamskrue H2	1,01
Sum	1,69



Figur 26 Energiforbruk steamskruer

Beregningene viser at Steamskrue H2 har litt større energiforbruk enn Steamskrue H1.

6.4 Tørking med damp

På produksjonslinje H2 brukes damp til å tørke alginatet, sammen med elektrisk tørking. Det er to tørkeprosesser som nytter damp:

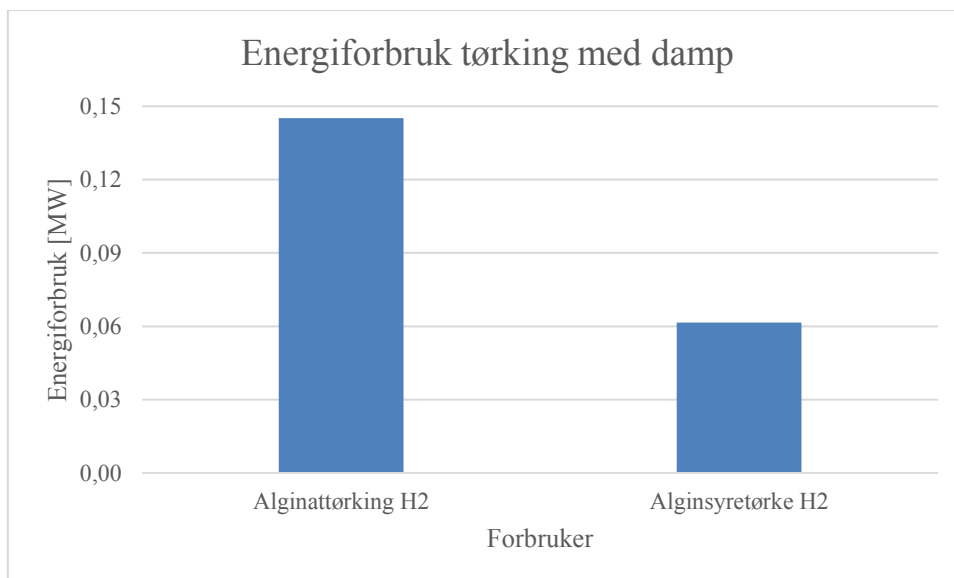
- Alginattørking H2
- Alginsyretørke H2

6.4.1 Energiforbruk tørking med damp

Det er målinger på dampmengde tilført tørkeprosessene. For å finne energimengden som blir tilført i tørkeprosessene fra damp er det antatt at all dampen blir kondensert. Beregning er gjort i vedlegg F.2.

Tabell 10 Energiforbruk tørking med damp

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Alginattørking H2	0,15
Alginsyretørke H2	0,06
Sum	0,21



Figur 27 Energiforbruk tørking med damp

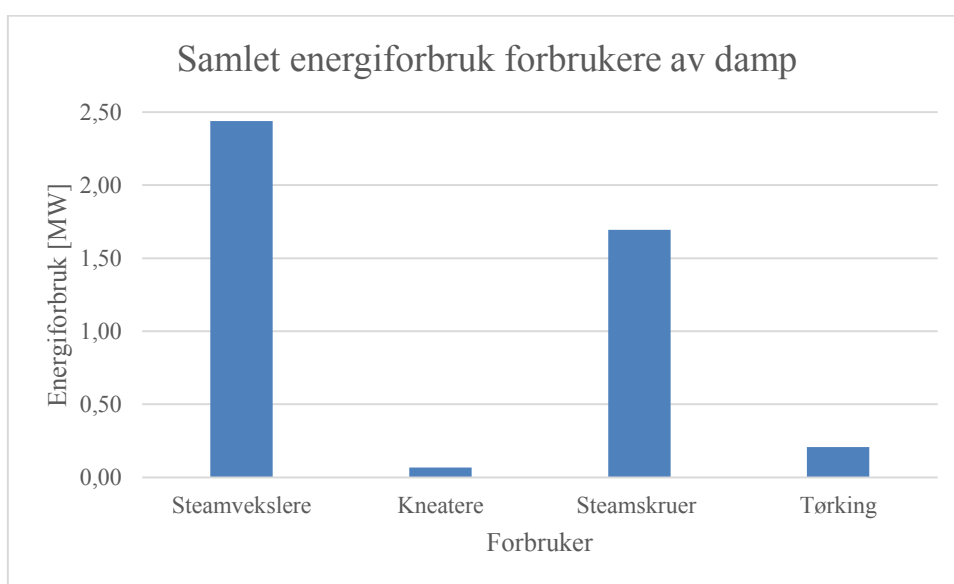
Figur 27 viser at Alginattørking H2 har mer enn dobbelt så stor energiforbruk som Alginsyretørke H2.

6.5 Samlet energiforbruk forbrukere av damp

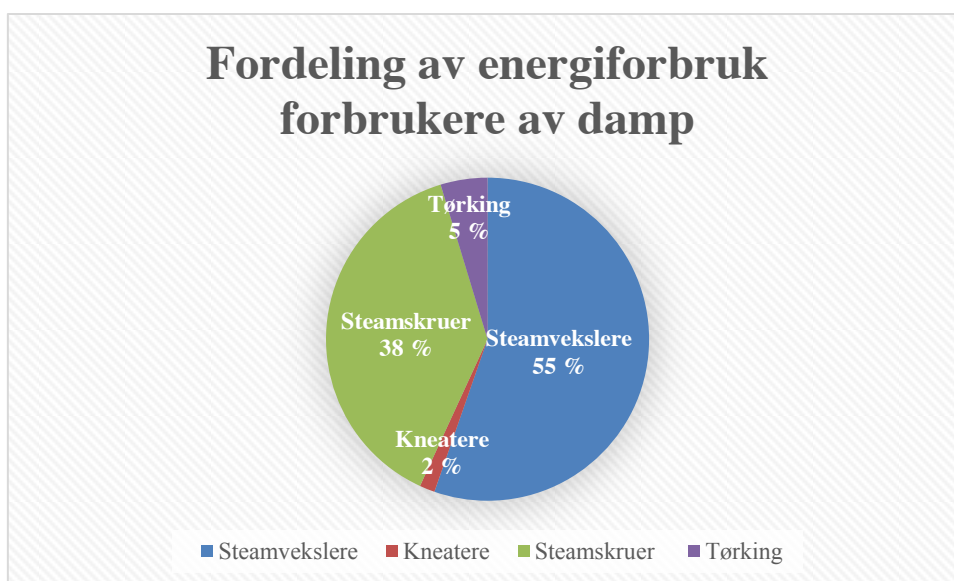
Det samlede energiforbruket til forbrukerne av damp er 4,41 MW. Steamvekslerne og steamskruene står for det største energiforbruket. Ved å investere i ny varmpumpe, kan energiforbruket til steamvekslerne reduseres kraftig. Oversikt over dampbehovet til forbrukerne av damp er gitt i vedlegg G.

Tabell 11 Samlet energiforbruk forbrukere av damp

Forbruker	Q̇ [MW]
Steamvekslere	2,44
Kneatere	0,07
Steamskruer	1,69
Tørrking med damp	0,21
Sum	4,41



Figur 28 Samlet energiforbruk forbrukere av damp



Figur 29 Fordeling av energiforbruk forbrukere av damp

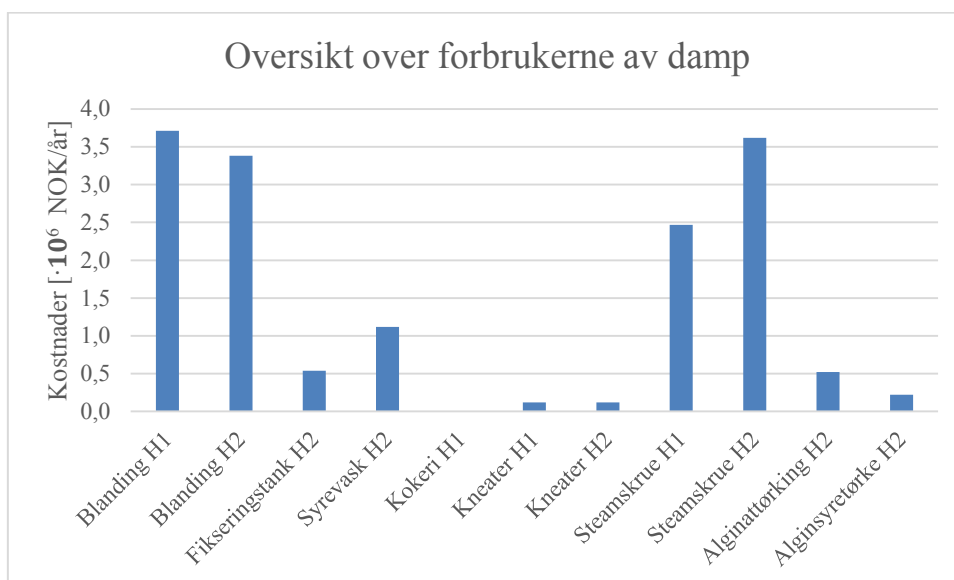
6.6 Kostnader

Hensikten med dette avsnittet er å gi bedriften en oversikt over kostnadene til dampforbrukerne på et år. Det har blitt tatt utgangspunkt i uke 7. Det vil si hvis alle uker i et år har samme energiforbruk som uke 7, ville kostnadene se slik ut:

Tabell 12 Årlig energi- og kostnadsforbruk

Forbruker	Q̇ [MW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Steamvekslere	2,44	8,76
Kneatere	0,07	0,24
Steamskruer	1,69	6,08
Tørking med damp	0,21	0,74
Sum	4,41	15,82

Beregninger av kostnader er gjort i vedlegg I.3.



Figur 30 Oversikt over forbrukerne av damp

Tabell 12 viser at totalt brukes det 15,82 millioner kroner i året på å produsere damp som blir benyttet av forbrukerne. I figur 30 vises det at Blanding H1, Blanding H2, Steamskruer H1 og Steamskruer H2 har vesentlig større kostnader enn de andre forbrukerne. Hvis bedriften vil spare kostnader kunne de i tillegg til å investere i ny varmepumpe, sett på om det fantes mer energieffektive metoder enn steamskruer for behandling av produktet.

7 Energitap

I dette kapitlet vil noen av områdene med energitap bli belyst.

7.1 Energitap i steamskruer

Det er en steamskrue i hver avdeling. Dampen som blir tilført steamskruene har en temperatur på 155,5 grader.³ Steamskruene er uisolert og blir veldig varme. Det kan være fare for at personelle brenner seg på dem og i tillegg er det mye energitap.



Figur 31 Steamskrue H1. Foto: Anne Marie Lande

Det ble tatt temperaturmålinger av steamskruene med et infrarødt kamera, og størrelsen ble målt med en avstandslaser. (Se vedlegg H.1 for målinger)

Beregning av energitapet viste seg å være vanskelig å utføre selv, på grunn av at varmeovergangstallet er avhengig av mange forskjellige faktorer som f.eks.:

- Geometrien til gjenstanden
- Grovheten til flaten
- Laminær eller turbulent strømning
- Hastighet på fluidet
- Temperatur
- Data for medium

Informasjon om disse faktorene har vært begrenset og gruppen måtte finne andre metoder på å beregne varmetapet.

Metoden som ble brukt for beregning er et Excel-skjema som ble funnet på nettsidene til Chemical Engineer's Guide. (Se vedlegg H.1) Skjemaet beregner varmetapet for isolasjonstypen kalsiumsilikat og for rør uten isolasjon (Chemical Engineer's Guide, 2015).

³ Temperatur ved antagelse om tørrmettet damp ved 5,5 bar.

Resultat av beregningene:

Tabell 13 Resultat av beregningene på varmetapet til steamskruene

Steamskruer avdeling	Energitap [kW] (uisolert)
H1	7,4
H2	8,5
Sum	15,9

7.1.1 Isolering av steamskruer

Det anbefales å isolere steamskruene med typen kalsiumsilikat isolasjon, slik at energitapet blir minst mulig. Kalsiumsilikat er ofte brukt som et sikkert alternativ til høytemperatur isolasjonsmaterialer. Det blir gjerne brukt til å isolere dampør og andre komponenter som drives under høy temperatur. Isolasjonen er et av det mest suksessfulle materialet innenfor brannikkerhet i Europa. Denne type isolasjon gir en veldig lav overflatetemperatur på steamskruene, som fører til at brannskader på personell unngås og i tillegg blir energitapet minimalt (Wikipedia, 2016).

7.1.2 Besparelsen ved å isolere steamskruene

Det er anbefalt å bruke en tykkelse på 50 mm for isolasjonen på grunn av praktiske årsaker. Ved bruk av denne type isolasjon blir varmetapet redusert med ca. 91 %.

Tabell 14 Energibesparelse ved å isolere steamskruene

Steamskruer avdeling	Energitap uten isolasjon [kW]	Energitap med isolasjon [kW]	Energi spart [kW]
H1	7,40	0,69	6,71
H2	8,50	0,80	7,70
Sum	15,9	1,49	14,41

Energibesparingen er stor på steamskruene, det spares totalt 14,41 kW.

For å kunne finne ut hvor mye det spares i kroner må det tas hensyn til kjeles virkningsgrad for å finne virkelig gassforbruk. Det virkelige gassforbruket er 18 kW, beregningen for dette ligger i vedlegg I.4.1.

Tabell 15 Oversikt over kostnadene FMC kan spare ved å isolere steamskruene

Avdelinger	Energitap uten isolasjon [NOK/år]	Energitap med isolasjon [NOK/år]	Kostnader spart [NOK/år]
H1	30 100	2 800	27 300
H2	34 600	3 300	31 400
Sum	64 700	6 100	58 700

Beregningen for kostnadene på energitapet til steamskruene ble gjort på Excel. Formel som ble brukt ligger i vedlegg I.4.1. Totalt klarer FMC Vormedal å spare ca. 58 700 kr i året, hvis steamskruene blir isolert med denne type isolasjon.

7.2 Energitap i tank

Ufiltrert tank er en uisolert tank med varmt vann som står utendørs og det antas at det er mye varmetap i denne. Vannet som er i tanken er varmet opp av steamvekslerne. Temperaturen på vannet er ca. 47 grader og omgivelsestemperaturen er avhengig av årstidene, som følgelig gir mer varmetap om vinteren enn om sommeren.



Figur 32 Ufiltrert tank. Foto: Anne Marie Lande

Det er blitt tatt noen målinger av temperatur med infrarødt kamera og mål på størrelse med en avstandslaser. Som i avsnitt 7.1, ble beregningen gjort på Excel skjema fra Chemical Engineer's Guide (Chemical Engineer's Guide, 2015). Se vedlegg H.2 for målinger og beregning.

Resultat av beregningen:

Tabell 16 Resultat av beregningene på varmetapet til tank

Komponent	Energitap uisolert [kW]
Tank	42 000

7.2.1 Isolering av tank

Det anbefales å isolere tanken med typen kalsiumsilikat isolasjon, slik at energitapet blir minst mulig. Isolasjon tykkelsen anbefales å være 50 mm.

7.2.2 Besparelse ved å isolere tanken

Uten isolasjon er varmetapet 42 kW, med kalsiumsilikat isolasjon er varmetapet 3 kW. Det utgjør en reduksjon på ca. 93 %.

Tabell 17 Energibesparelse ved å isolere tank

Komponent	Energitalp uten isolasjon [kW]	Energitalp med isolasjon [kW]	Energi spart [kW]
Tank	42	3	39

Energibesparelsen er høy på denne tanken, det spares ca. 39 kW. Dette er en betydelig besparelse for bedriften og miljøet.

For å kunne gjøre noen enkle beregninger på kostnaden til energitalpet må det tas hensyn til kjelens virkningsgrad. Selve beregningen ble gjort på Excel, men formelen ligger i vedlegg I.4.2.

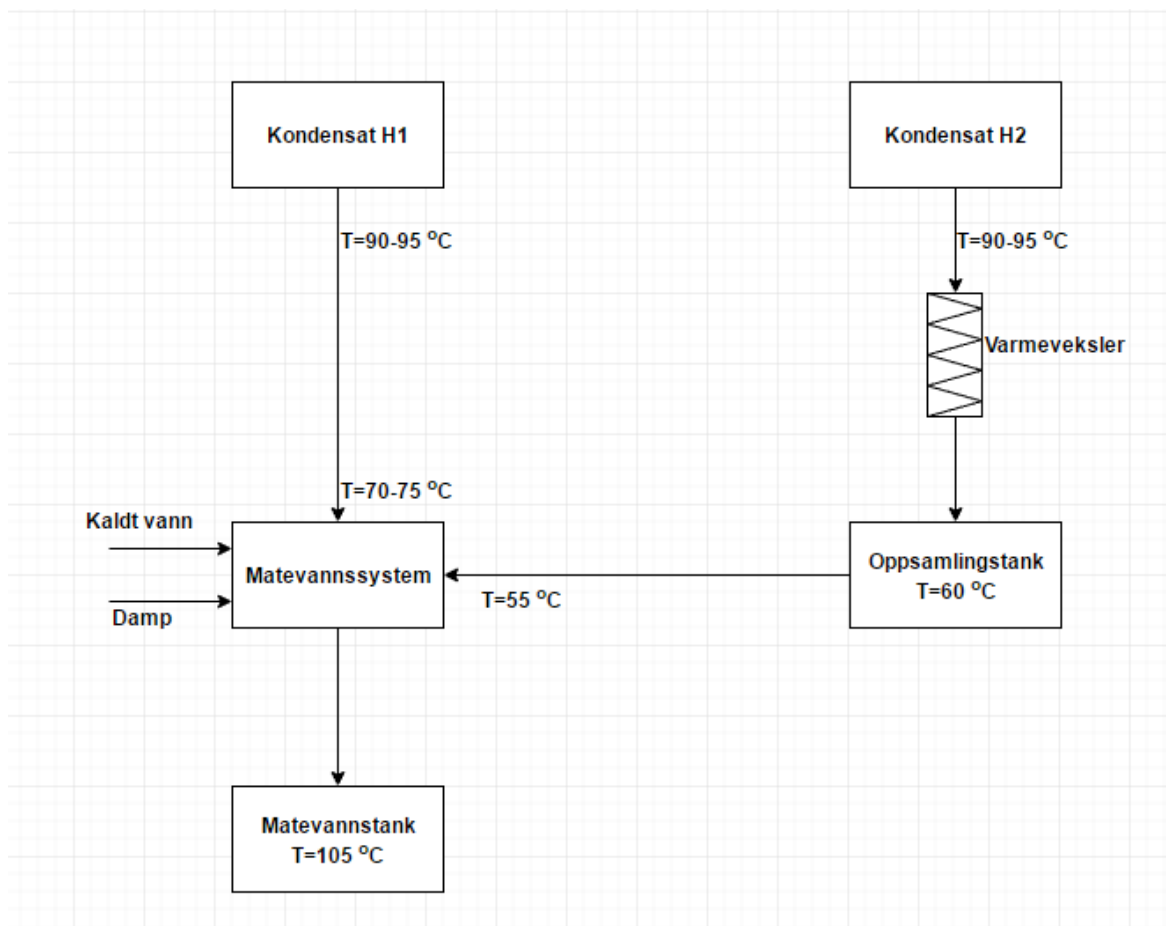
Tabell 18 Oversikt over kostnadene FMC kan spare ved å isolere tank

Komponent	Energitalp uten isolasjon [NOK/år]	Energitalp med isolasjon [NOK/år]	Kostnader spart [NOK/år]
Tank	171 000	12 000	159 000

Det vil spares ca. 159 000 kr i året dersom denne tanken blir isolert med den angitte isolasjonen som er anbefalt.

7.3 Energitap i kondensatgjenvinningsystem

Omtrent 70 % av dampen blir gjenvunnet som kondensat fra prosessene og ført tilbake til matevannssystemet. Omtrent 30 % av dampen blir nyttet direkte i prosessene. Etter prosessene er det kondenspotter som sørger for at kondens, luft og andre gasser slippes gjennom, men som hindrer damp. Kondensatet direkte ut av brukerstedene har en temperatur på ca. 90-95 grader.



Figur 33 Flytskjema kondensatgjenvinningsystem. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

7.3.1 Produksjonslinje H1

På H1 blir kondensatet ført direkte tilbake til matevannssystemet gjennom egne rørledninger. Kondensatet her blir ikke nyttet i prosesser. Dette kondensatet har en temperatur på ca. 70-75 grader tilbake i matevannssystemet. Ettersom temperaturen på dampen ut fra brukerstedene er ca. 90-95 grader, utgjør dette en temperaturforskjell på ca. 20 grader. Dersom denne temperaturendringen kommer fra tap i rørledninger, er det muligheter for store forbedringer ved å isolere rør.

7.3.2 Produksjonslinje H2

H2 har flere forbrukere av damp enn H1 og det kommer derfor mest kondensat fra denne prosesslinjen. På H2 blir det varme kondensatet nyttiggjort i prosesser før det sendes tilbake til matevannssystemet. Kondensatet går først gjennom en varmeveksler for å varme opp prosessvann, før det samles i en oppsamlingstank på omtrent 4 000 liter. Det oppsamlede kondensatet i tanken har en temperatur på ca. 60 grader før det returneres til matevannstank. Det antas at det er en del varmetap i tanken. Når kondensatet kommer tilbake til matevannssystemet har det en temperatur på ca. 55 grader. Det vil si at temperaturen har sunket ca. 5 grader på rørstrekningen.

7.3.3 Matevann

Det tilbakeførte kondensatet fra prosesslinjene H1 og H2 blir blandet med rensset råvann som har en lavere temperatur. Det anslås at det varme kondensatet sørger for en oppvarming av blandingen på ca. 30-35 grader. For å få varmet opp matevannet til ønskelig temperatur på 105 grader blir blandingen tilført damp fra kjelene.

7.3.4 Løsninger

Det er en del varmetap på kondensatet i rørledninger og oppsamlingstank grunnet manglende isolasjon flere steder. Å isolere rørledninger og tank kunne vært gunstig både økonomisk og med tanke på miljø.

7.4 Energitap steamvekslere

I steamvekslerne blir vannet fra varmpumpen varmet opp ytterligere.

7.4.1 Ulike temperaturbehov

Ved noen brukersteder blir det oppvarmede vannet fra en steamveksler fordelt ut til flere brukere med ulikt temperaturbehov. Vannet blir da varmet opp til den høyeste temperaturen nødvendig. Deretter blir det vannet som skal til brukere med lavere temperaturbehov kjølt ned ved at kaldt vann blir blandet inn.

En eventuell løsning på dette problemet kunne vært å investere i ny steamveksler. En unngår da unødvendig oppvarming og nedkjøling av vann.

7.4.2 Kjøle ned oppvarmet vann fra varmpumpen

Ut fra prosessinformasjonen uke 7 ser en også at det i en del prosesser etter steamvekslerne er nødvendig med lavere temperaturer på vannet enn det som kommer ut av varmpumpen. Da blir vannet fra varmpumpen heller blandet med kaldt vann for å få lav nok temperatur.

7.4.3 Direkte tap i steamveksler

I beregningene som er gjort i vedlegg E.1 er det antatt at varmeoverføringsprosessen i steamvekslerne er ideell. Det er vanskelig å anslå størrelsen på tapet i steamvekslerne. De forskjellige steamvekslerne har ulik alder, størrelse og effekt. For å redusere tapet i varmeoverføringsprosessen til steamvekslerne kunne de blitt isolert for å minke varmetap til omgivelsene. Det er også viktig å passe på at vannet og dampen som sendes gjennom er renset og at det blir utført jevnlig innvendig rengjøring.

7.5 Annet energitap

I avsnitt 5.2.4 ble det funnet den totale energimengden ut av kjelene, og etter å ha trukket fra energiforbruket til forbrukerne av gass er det 0,357 MW igjen. Noe av denne energimengden går til de resterende forbrukerne av damp, mens resten er energitap.

Energitapet kan være tap i komponenter og i uisolerte damprør og lekkasjer.

Tabell 19 Energi- og kostnadstap i året

Komponenter	\dot{Q} [MW]	Kostnader [NOK/år]
Annet	0,357	1 280 000

Det er 1,28 millioner kroner som går i annet energitap, og det antas at mye av varmetapet er i uisolerte damprør. Gruppen anbefaler bedriften å se nærmere på denne posten og evt. finne ut hvor stort energitapet i uisolerte damprør er (se kapittel 7.6). Beregningene har blitt gjort på Excel, for formel, se vedlegg I.4.3.

7.6 Energitalp i rør

FMC Vormedal har en del uisolerte rør, dampventiler, reduksjonsventiler og kondenspotter. Det fører til mye energitalp over tid, og det vil i tillegg skape unødvendig mye kondensering i anlegget.

Isolasjon vil redusere varmetapet betydelig og derfor blir inntjeningstiden veldig kort.

Et eksempel på energibesparelsen er en uisolert seteventil DN100 som ved 180 grader har et varmetap på 2130 W. Varmetapet vil reduseres til 520 W hvis den blir isolert (Spirax Sarco, 2016).

Dersom det antas:

- Energipris 45 øre/kWh
- Kontinuerlig drift

Vil inntjeningstiden for isolasjonen være ca. 1 mnd. (Spirax Sarco, 2016).

7.6.1 Uisolerte dampør

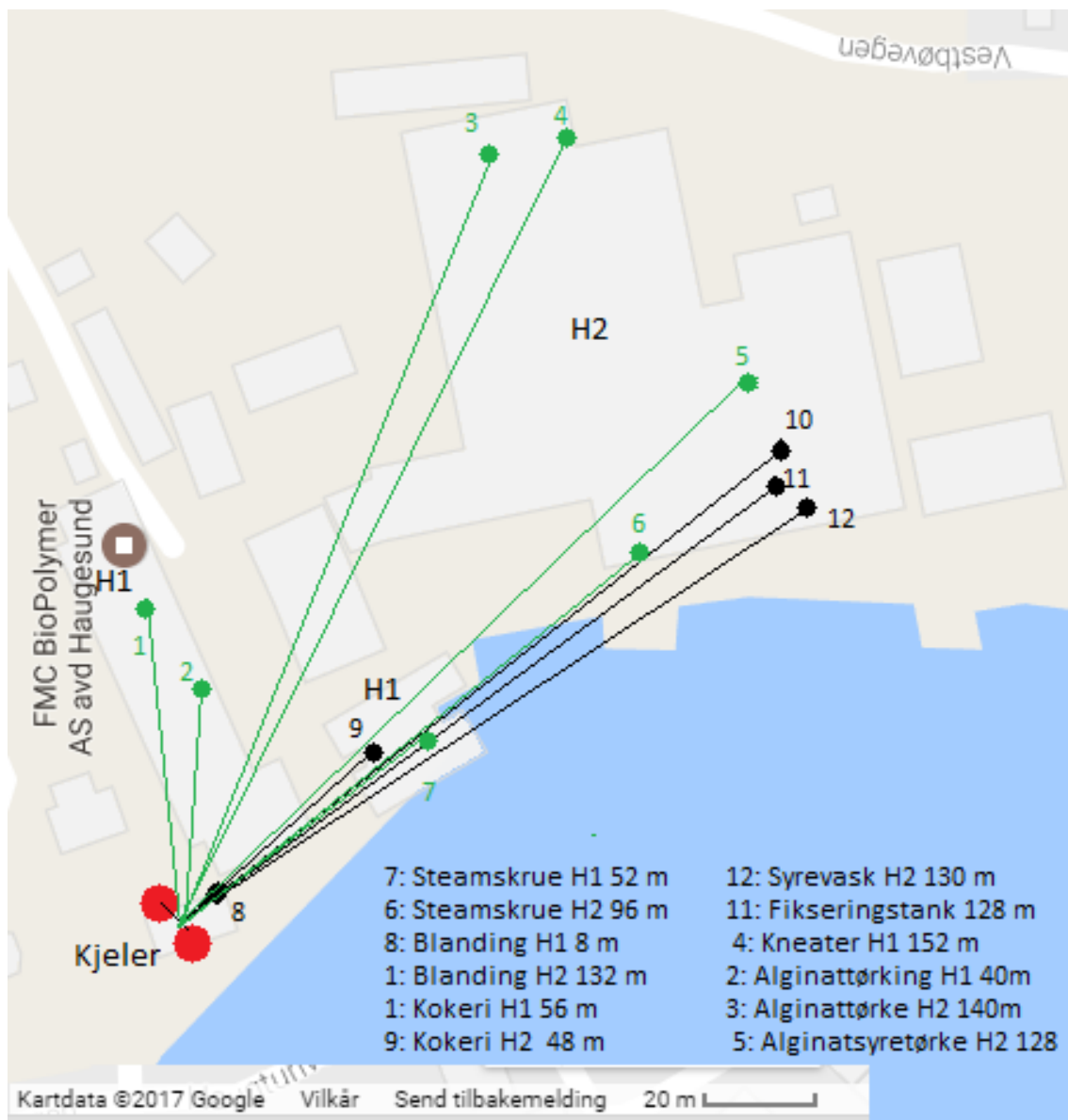
Byggeløsningen til fabrikkene er langstrakt, noe som gir lange rørestrekninger. Spesielt i de uisolerte dampørne er det store varmetap, grunnet den høye temperaturen på dampen.

Tabell 20 viser hvor store kostnader varmetap i uisolerte dampør i bedriften utgjør.

Tabell 20 Energitalp i dampør. Hentet fra "Rapport, Gjennomgang dampanlegg, FMC Biopolymer AS" (Spirax Sarco, 2016). Brukt med tillatelse

Varmetap fra uisolerte dampør !										
Diff. Damp luft	Rørdim DN15	DN20	DN25	DN32	DN40	DN50	DN65	DN80	DN100	DN150
°C	Tap i Kr pr driftsår (0,42 kr/kwh 5760 driftstimer pr år) - Pr meter uisolert rør !									
56	kr 131	kr 157	kr 191	kr 249	kr 261	kr 319	kr 375	kr 455	kr 564	kr 784
67	kr 165	kr 198	kr 242	kr 295	kr 329	kr 406	kr 479	kr 571	kr 716	kr 992
78	kr 201	kr 242	kr 295	kr 360	kr 402	kr 491	kr 583	kr 721	kr 871	kr 1 210
89	kr 240	kr 290	kr 353	kr 433	kr 496	kr 595	kr 699	kr 837	kr 1 123	kr 1 454
100	kr 281	kr 339	kr 409	kr 503	kr 566	kr 689	kr 815	kr 968	kr 1 212	kr 1 684
111	kr 324	kr 397	kr 479	kr 583	kr 656	kr 808	kr 948	kr 1 135	kr 1 447	kr 1 974
125	kr 385	kr 462	kr 564	kr 689	kr 777	kr 953	kr 1 123	kr 1 343	kr 1 689	kr 2 344
139	kr 445	kr 542	kr 658	kr 806	kr 902	kr 1 108	kr 1 306	kr 1 505	kr 1 972	kr 2 741
153	kr 508	kr 617	kr 755	kr 924	kr 1 038	kr 1 277	kr 1 507	kr 1 807	kr 2 272	kr 3 157
167	kr 583	kr 706	kr 864	kr 1 057	kr 1 183	kr 1 500	kr 1 725	kr 2 027	kr 2 644	kr 3 609
180	kr 663	kr 796	kr 987	kr 1 195	kr 1 345	kr 1 635	kr 1 955	kr 2 320	kr 2 879	kr 4 016
194	kr 748	kr 900	kr 1 115	kr 1 369	kr 1 534	kr 1 834	kr 2 199	kr 2 613	kr 3 152	kr 4 480

Bedriften har ikke en oversikt over de uisolerte damprørene, noe som har gjort det vanskelig å beregne på varmetapet i rør. I figur 34 vises en oversikt over avstander i luftlinje fra kjelene til forbrukerne av damp.



Figur 34 Oversikt over avstander i luftlinje fra kjelen til forbrukere av damp. Mohammad Waad

7.6.2 Løsninger

Bedriften anbefales å få en oversikt over rørsystemet og finne ut hvilke rør som er uisolerte. Spesielt uisolerte damp rør har et stort varmetap, så bedriften anbefales å isolere damp rørene.

FMC anbefales også å få en oversikt over uisolerte komponenter i dampsystemet, som kondenspotter og ventiler.

7.7 Energitap lekkasjer

Sommeren 2016 ble det utført kontroll av damp- og kondensatsystemet til FMC Vormedal. Kontrollen ble gjennomført av selskapet Spirax Sarco, som er en verdenskjent leverandør av dampsystemer og dampløsninger.

58 komponenter ble kontrollert og 5 av dem hadde lekkasje. Disse lekkasjene ble reparert noen uker etter kontrollen. Dette avsnittet er tatt med for å vise hvor viktig det er å ha årlige kontroller på utstyret i bedriften.

7.7.1 Metoder for å unngå energitap

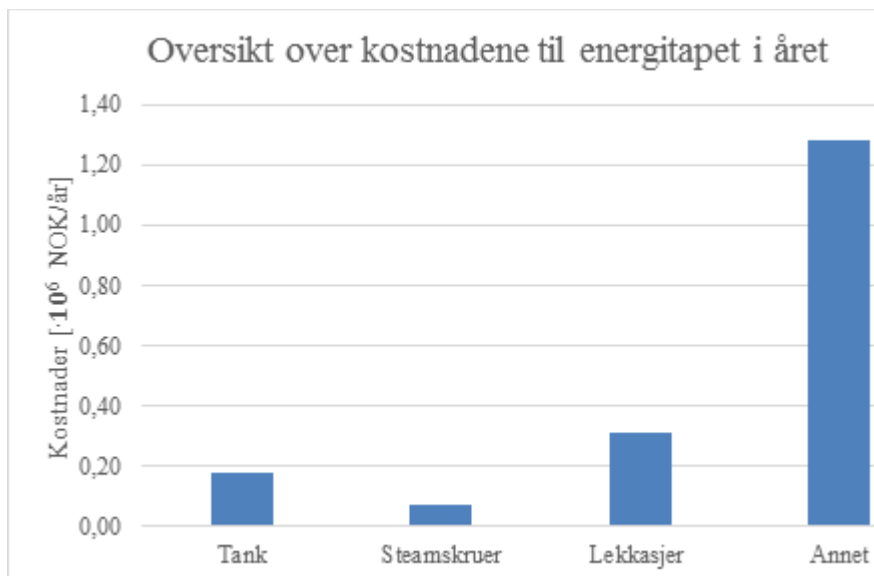
Spirax Sarco kom fram til at de 5 oppdagede lekkasjene ville koste FMC Vormedal 305 000 kroner i året hvis de ikke ble reparert. Det vil si et månedlig tap på ca. 25 000 kroner. Spirax Sarco ga et prisanslag på 23 657 kroner for nye komponenter til utskifting. Antall måneder det hadde vært lekkasjer i komponentene er ukjent. FMC Vormedal anbefales å ha jevnlig kontroller slik at de oppdager lekkasjer tidligere for å få minst mulig energitap.

Tabell 21 Kostnader for lekkasjer

Kostnadstap [NOK/år]	Kostnadstap [NOK/måned]	Kostnad for nye komponenter [NOK]	Kostnader spart ved reparasjon første måned [NOK/år]
305 000	25 417	23 657	281 343

7.8 Samlet energitap

Figur 35 viser et samlet kostnadstap til komponenter som det er tatt hensyn til. Annet posten kan virke stor, men der er det flere komponenter slått sammen.



Figur 35 Oversikt over kostnadene til energitapet i året

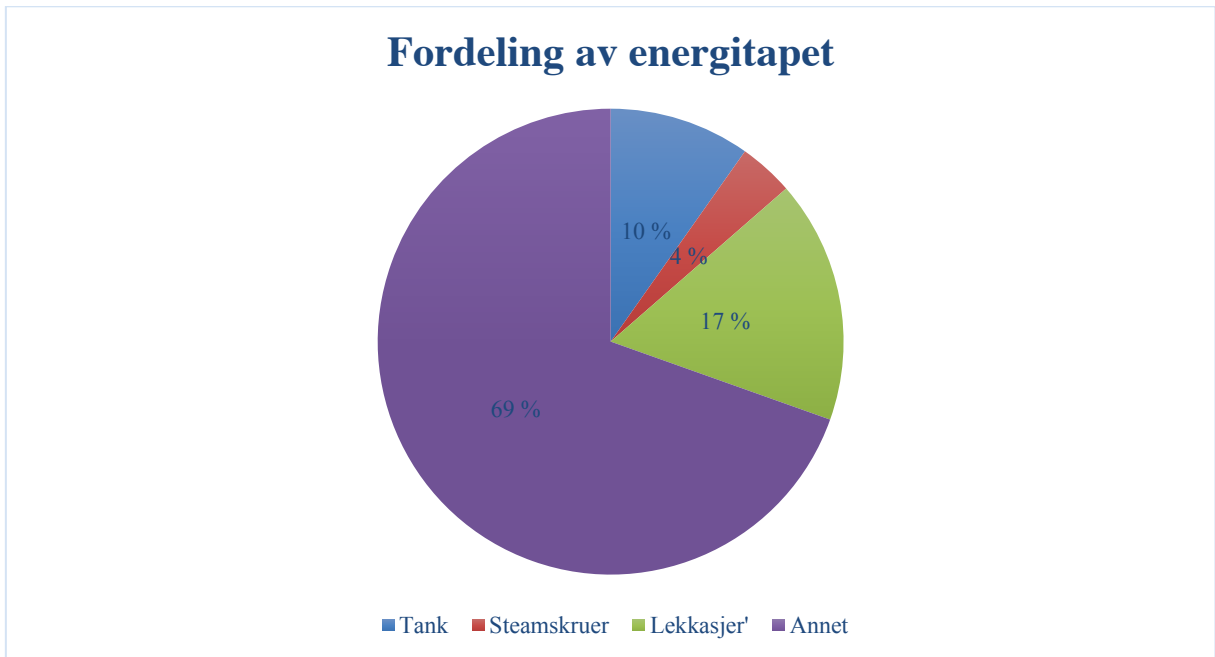
I tabell 22 er de forskjellige komponentene som er nevnt tidligere i kapittel 7. Det er 1,83 millioner kroner som går i tap hvert år. Bedriften kan gjøre enkle grep for å redusere dette kostnadstapet betraktelig.

Tabell 22 Effektforbruk og kostnader i året for komponenter med varmetap

Tap i komponenter	Energitap [kW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Tank	42	0,17
Steamskruer	15,9	0,07
Lekkasje*	-	0,31
Annet	357	1,28
Sum	-	1,83

*Disse lekkasjene er reparert, men de blir tatt med fordi det alltid vil oppstå lekkasjer og bedriften bør være oppmerksom på det. Det er ikke beregnet antall kW tap for lekkasjer, kun prisen er beregnet.

Prosentvis fordeling av varmetapet til de forskjellige komponentene:

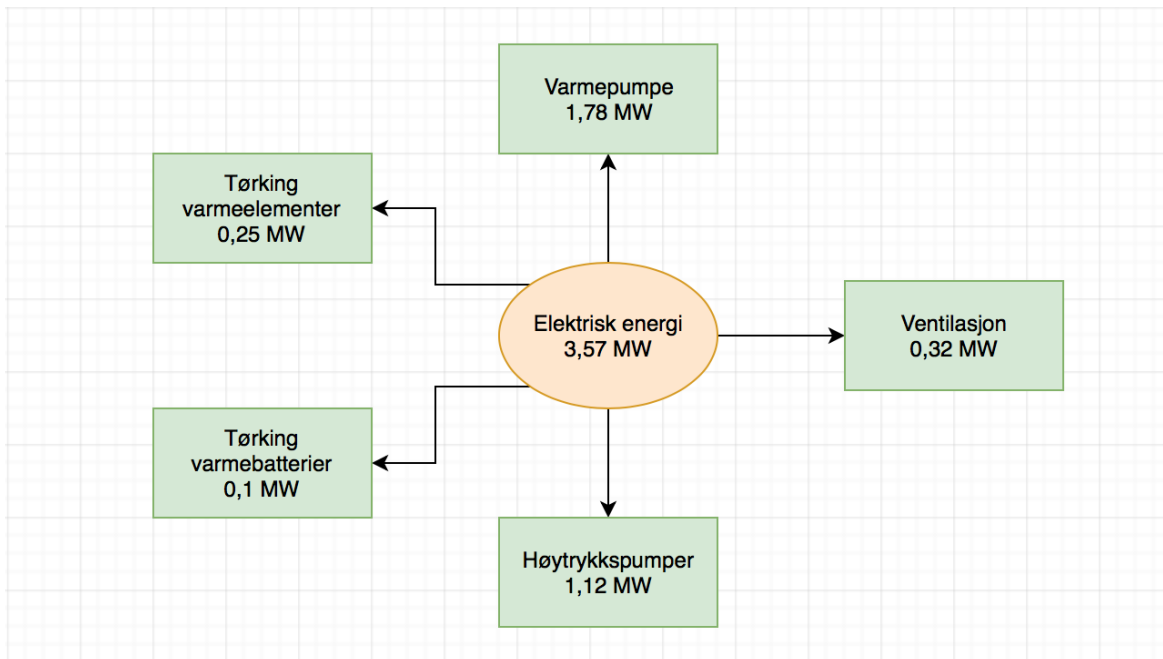


Figur 36 Prosentvis fordeling av energitapet

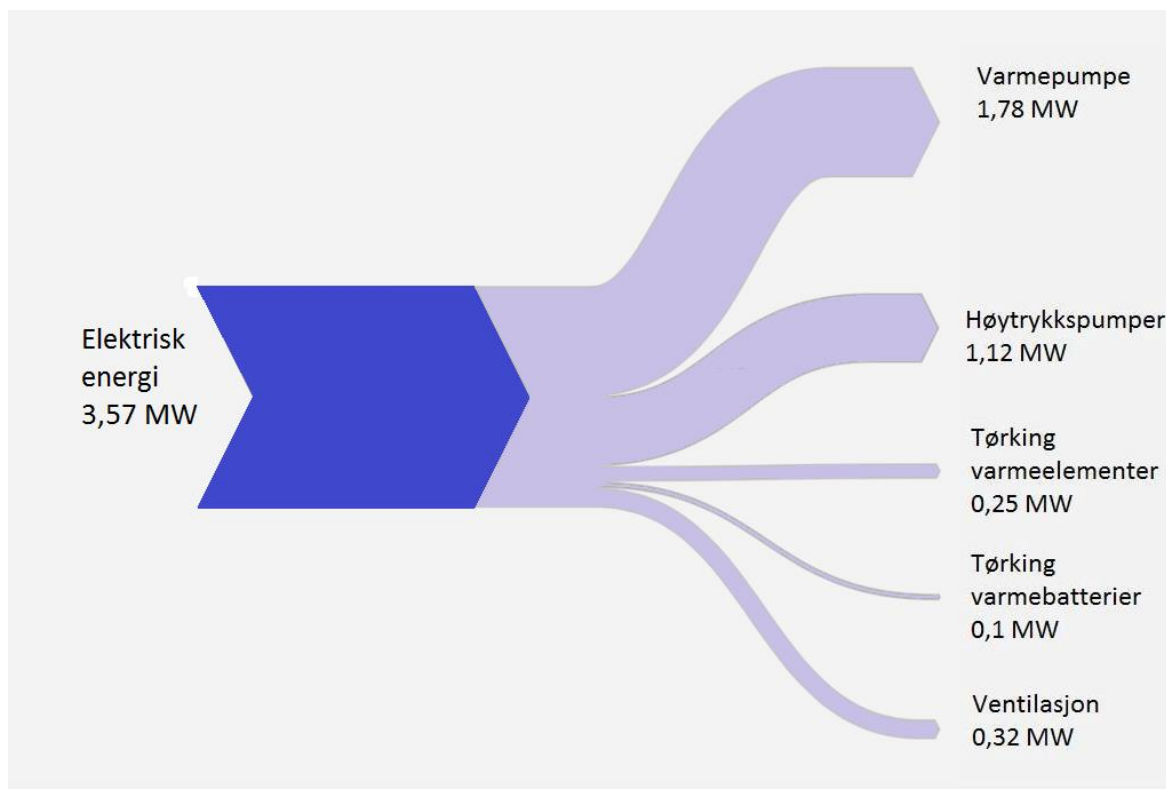
8 Oppsummering

I dette kapitlet vil det vises en oppsummering av energiforbruket i uke 7. Fremstillingen vil bli vist som flytskjema og sankey-diagram.

8.1 Elektrisk energi

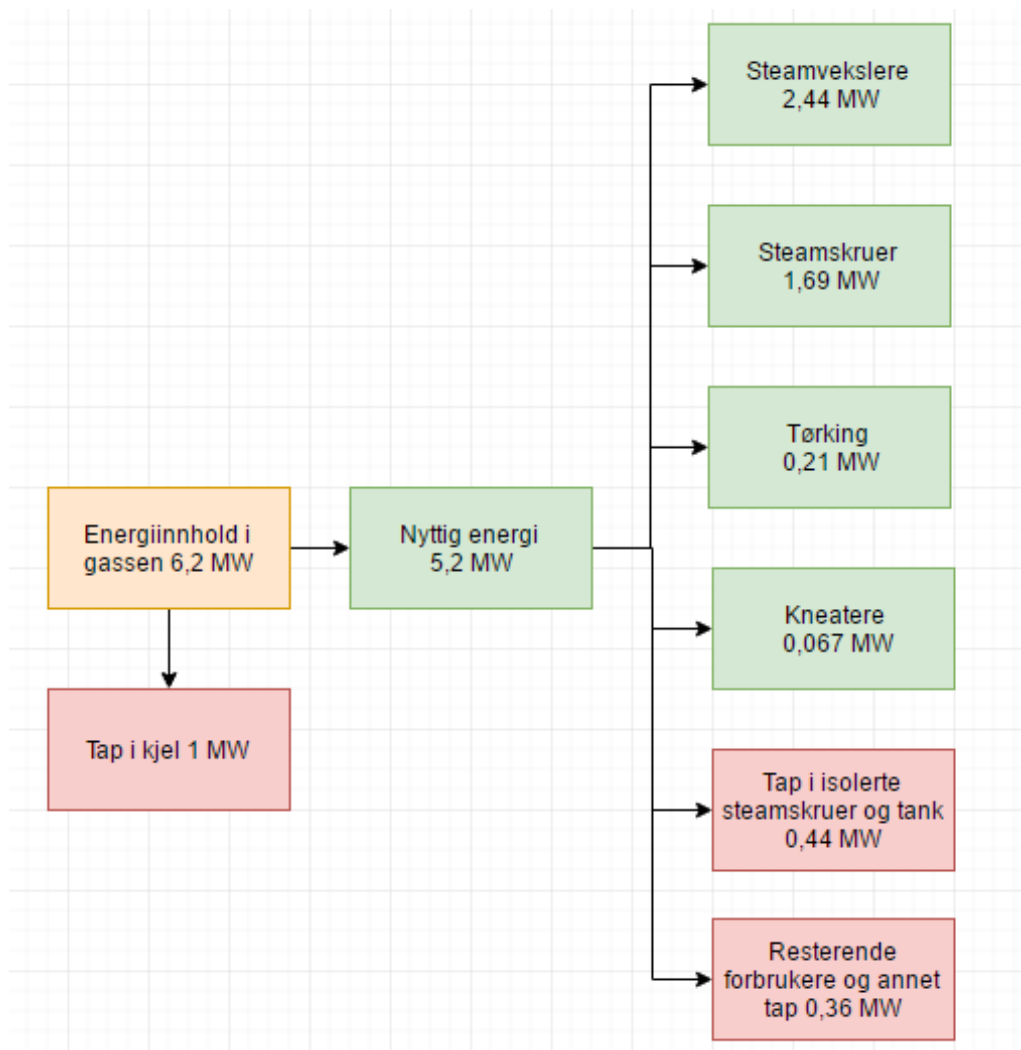


Figur 37 Oversikt over elektrisk energi, Mohammad Waad

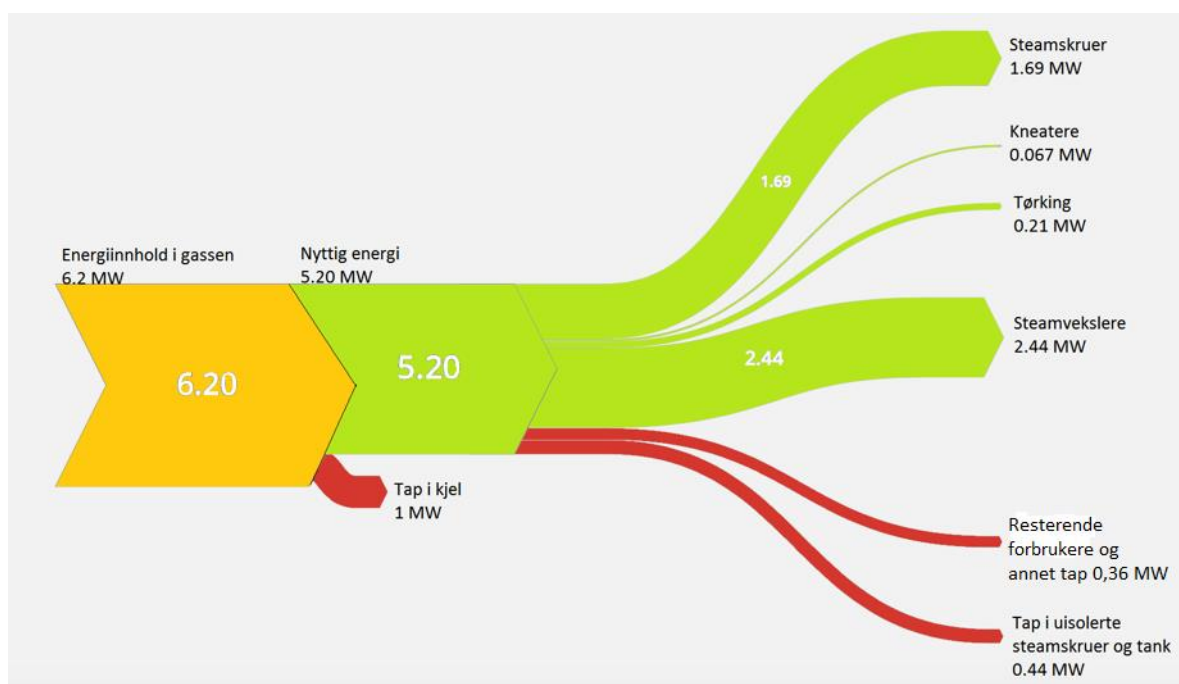


Figur 38 Sankey-diagram elektrisk energi. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

8.2 Energi fra gass



Figur 39 Oversikt energi fra gass. Mohammad Waad



Figur 40 Sankey-diagram energi fra gass. Mohammad Waad

9 Avslutning

9.1 Konklusjon

I denne oppgaven er det blitt utført en energikartleggingsprosess over energiforbruket til FMC. Det er blitt utført en analyse av energianvendelse og energiforbruk, og områder med vesentlig energianvendelse og energiforbruk er blitt identifisert. Muligheter for å forbedre energiytelsen har blitt identifisert. Analysen er blitt gjort av uke 7 i 2017.

De største forbrukerne av elektrisk energi er identifisert som varmpumpe, høytrykkspumper, elektrisk tørking og ventilasjon til dampkjel. Det er gjort beregninger på varmpumpe, og for å spare energi anbefales det at den eksisterende varmpumpen skiftes ut med en varmpumpe som kan regulere effektforbruket etter behov. Mindre elektriske forbrukere er ikke blitt identifisert.

Ved analyse av dampkjelene var det kun en felles måling av naturgass inn på begge kjelene og ingen mengdemåling av damp produsert. For å finne dampmengden produsert ble det ved hjelp av indirekte metode estimert en felles kjelvirkningsgrad for kjelene basert på en forbrenningsrapport som anga røykgasstapet til den ene kjelen, samt en antagelse om størrelse på varmetap. Andre tap i kjelen ble neglisjert. Det ble også gjort en beregning for å finne luftmengden som ble ført inn i kjelen, der det ble antatt at naturgassen kun besto av metan og etan. Deretter ble dampmengden og energimengden beregnet. Mulige tiltak for å øke virkningsgraden og dermed redusere brenselbehovet er å installere economisere, luftforvarmer og å redusere luftoverskuddet. Economisere ble installert i uke 11, etter at analysen fant sted.

Ved kartlegging av de 11 største forbrukerne av damp manglet det dampmålinger på steamvekslerne og kneaterne. For å finne energiforbruket til disse ble det derfor satt opp energibalanse med antagelse om ideell prosess. For kneaterne ble i tillegg kondensatkjøling neglisjert, men denne energimengden er uansett så liten at den ikke vil ha mye å si på det totale energibildet. For de resterende forbrukerne ble det gjort beregninger for å finne ut hvor stor energimengde dampmengden tilsvarer. Resultatene av beregningene viste at steamvekslerne og steamskruene var de forbrukerne av damp med størst energibehov.

Identifiserte områder med energitap inkluderer uisolerte steamskruer og tank, kondensatgjenvinningssystemet, steamvekslerprosessene, uisolerte rørstrekninger og lekkasjer. Det er blitt anslått at isolering av steamskruer og ufiltrert tank kan gi store årlige besparelser. Andre muligheter for å redusere energitapet er blant annet å isolere uisolerte rør og å reparere lekkasjer fortløpende.

9.2 Videre arbeid

Foruten å investere i ny varmpumpe, anbefales FMC å få en nøyaktig oversikt over virkningsgraden til kjelene. Det anbefales at det blir installert mengdemålere av naturgass for hver kjel og mengdemåling av damp ut av hver kjel. Slik kan en nøyaktig virkningsgrad for hver kjel bestemmes.

Videre anbefales bedriften å installere målere av røykgasstemperatur og å utføre ny forbrenningsrapport på begge kjelene for å bestemme luftoverskuddet. FMC har allerede fått installert economisere, men anbefales også å vurdere luftforvarmer.

Bedriften anbefales også å få installert mengdemålere av damp til de forbrukerne for å få en mer nøyaktig oversikt over energiforbruket. Dette gir også mulighet til å anslå hvor store energitapene fra kjel til forbruker er.

Det anbefales å kartlegge og isolere alle uisolerte rør og komponenter i dampsystemet. Dette vil gi mindre energitap og dermed mindre dampbehov. Det reduserte varmetapet i rør vil også gi høyere temperatur på kondensatet som returneres til matevannstanken. Videre anbefales det at uisolerte tanker blir isolert og at rørstrekningene til og fra varmpumpen blir kartlagt.

I tillegg anbefales FMC å se på om det er muligheter for å gjøre selve prosessene mer energieffektive. Eksempelvis for tørking kan det ses på om det er mulig å redusere fuktigheten i alginatet med en annen metode, for eksempel ved å redusere fuktigheten i luften eller varme opp luften med en varmpumpe.

10 Referanser

- Bhatia, A. (2012). Improving Energy Efficiency of Boiler Systems. Hentet 20 mars 2017 fra <http://www.pdhonline.com/courses/m166/m166content.pdf>
- Chemical Engineer's Guide. (2015, 19. desember). Heat loss from an insulated pipe. [Excel-skjema]. Hentet fra <http://cheguide.com/2015/12/heat-loss-from-insulated-pipe/>
- Eastop, T.D., & McConkey, A. (1993). *Applied thermodynamics for engineering technologists*. (5. utg.). Harlow: Longman Group UK Limited
- FMC. (u.å.). Omsetninger og antall ansatte i bedriftene. Hentet 19. april 2017 fra: <https://stortare.no/om-fmc/>
- Institute of marine research. (2016, 21. desember) Stortare. Hentet 21. januar 2017 fra: http://www.imr.no/temasider/alger/tang_og_tare/stortare/nb-no
- Khurmi, R.S. & Khurmi, N. (2014). *Steam tables: With mollier diagram: In S.I. units*. (9. utgave). New Delhi: S. Chand & Company Pvt. Ltd.
- Larsen, L.A. & Aasbøe, E. (2016). *Kartleggelse av dampforbruk og utbedring av kjelanlegg* (Bacheloroppgave, Høgskolen Stord/Haugesund). Hentet fra <https://brage.bibsys.no/xmlui/handle/11250/2392732>
- Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet. (2004, 23. september). Energianalyse av et forbrenningsanlegg [Laboppgave] Hentet 20. mars 2017 fra <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4120/innhold/Laboppgaver/Forbrenning%20Energianalyse.pdf>
- Norsk Energi. (2005). *EUs Bygningsdirektiv Delprosjekt (DP) 3 - Ettersyn kjelanlegg*. (Rapport) Hentet 17.03.17 fra https://www.energimerking.no/download?objectPath=/upload_images%2FEC1B3CABB7EB43748CECBFC424D4492D.pdf
- Pedersen, S.E., Gustavsen, J., Kaasa, S., & Olsen, O. (1998). *Teknisk formelsamling med tabeller*. (7. utgave). Oslo: Universitetsforlaget.
- Rogers, G.F.C. & Mayhew, Y.R. (1995). *Thermodynamic and transport properties of fluids: SI units* (5. utgave). Oxford: Blackwell.
- Skogestad, S. (2009). *Prosessteknikk: Masse- og energibalanser*. (3. utg.). Bergen: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS
- Spirax Sarco. (2016). *Rapport, Gjennomgang dampanlegg, FMC Biopolymer AS*
- Standard Norge. (2012). *Energiledelsessystemer - Krav med brukerveiledning* (NS-EN ISO 50001:2011). Oslo: Standard Norge
- Steinstø O. (2008). *Prosesskurs FMC biopolymer* [PowerPoint presentasjon]. Upublisert manuskript gitt fra FMC Health and Nutrition.

Tjøsvoll, A.G. og Vikse, V. (2015). *Utskiftning av varmpumpe ved FMC Vormedal*. (Bacheloroppgave, Høgskolen Stord/Haugesund). Upublisert manuskript. Høgskolen Stord/Haugesund, Haugesund

Wikipedia. (2016, 09.oktober). Hentet 02. april 2017 fra https://en.wikipedia.org/wiki/Calcium_silicate

Figur 8 (A.2) fra NS-EN ISO 50001:2011 Energiledelsessystemer - Krav med brukerveiledning er gjengitt av Anne Marie Lande og Mohammad Waad i bacheloroppgaven «Energikartlegging» med tillatelse fra Standard Online AS 04/17. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no

11 Vedlegg

Innholdsfortegnelse

Vedlegg A	Beregninger varmepumpe.....	A-1
A.1	Beregning av effektytelsen på eksisterende varmepumpe	A-1
A.2	Tabell for effektforbruket til eksisterende varmepumpe.....	A-2
A.3	Beregning av effektforbruket til anbefalt varmepumpe	A-3
Vedlegg B	Beregninger elektrisk tørking	B-4
B.1	Varmebatterier	B-4
B.2	Beregninger varmeelementer	B-4
B.3	Samlet energiforbruk tørking.....	B-6
Vedlegg C	Formler og sammenhenger nyttet ved beregninger rundt kjel og damp....	C-7
Vedlegg D	Beregninger dampkjel.....	D-2
D.1	Beregning av kjelvirkningsgrad.....	D-2
D.1.1	Røykgasstap.....	D-2
D.1.2	Varmetap	D-3
D.1.3	Estimat kjelvirkningsgrad.....	D-4
D.2	Beregning av luftmengde.....	D-5
D.3	Beregning av dampmengde	D-7
D.4	Beregning av energi tilført og produsert i kjel.....	D-8
D.5	Beregning av brenselbesparelse med luftforvarmer.....	D-9
Vedlegg E	Beregninger steamvekslere og kneatere	E-10
E.1	Beregninger steamvekslere	E-10
E.1.1	Beregning av energiforbruk steamvekslere	E-11
E.1.2	Beregning av dampforbruk steamvekslere	E-11
E.2	Beregninger kneatere	E-12
E.2.1	Energiforbruk kneatere.....	E-13
E.2.2	Beregning dampforbruk kneatere	E-13
Vedlegg F	Beregninger steamskruer og tørking med damp.....	F-14
F.1	Beregninger av energiforbruk steamskruer	F-14
F.2	Beregning av energiforbruk tørking med damp	F-16
Vedlegg G	Oversikt over dampforbruk forbrukere av damp.....	G-17
Vedlegg H	Beregning av energitap steamskruer og tank.....	H-19
H.1	Beregninger energitap steamskruer.....	H-19
H.2	Beregning på energitapet i ufiltrert tank	H-20
H.3	Temperatur og vindhastighet	H-21
Vedlegg I	Beregning av kostnader	I-22
I.1	Beregning av kostnader elektrisk energi	I-22

I.1.1	Kostnader varmpumpe elektrisk	I-22
I.1.2	Kostnader elektrisk tørking	I-23
I.2	Beregninger kostnader dampkjel.....	I-24
I.2.1	Kostnader for kjel som hjelper varmpumpe	I-24
I.2.2	Kostnader kjel.....	I-24
I.3	Beregning av kostnader forbrukere av damp	I-25
I.4	Beregning av kostnader energitap	I-26
I.4.1	Kostnader varmetap steamskruer.....	I-26
I.4.2	Kostnader varmetap ufiltrert tank.....	I-26
I.4.3	Beregning på kostnader annet varmetap.....	I-26
Vedlegg J	Forbrenningsrapport kjel 2, 2012	J-27

Figurliste

Figur A-1 Flytskjema for eksisterende varmepumpe	A-1
Figur B-1 Flytskjema alginatsyretøking H2	B-4
Figur B-2 Flytskjema alginattøking H2	B-4
Figur B-3 Flytskjema alginatsyretøking H1	B-5
Figur B-4 Flytskjema tørke H2	B-5
Figur D-1 Røykgasstup som funksjon av lastsituasjon	D-3
Figur D-2 Sankey-diagram indirekte metode. Anne Marie Lande	D-4
Figur D-3 Kjelvirkningsgrad som funksjon av lastsituasjon	D-4
Figur D-4 Flytskjema dampkjel. Mohammad Waad og Anne Marie Lande	D-7
Figur D-5 Energibalanse over kjelen. Mohammad Waad og Anne Marie Lande	D-8
Figur E-1 Flytskjema steamvekslere. Anne Marie Lande og Mohammad Waad	E-10
Figur E-2 Flytskjema kneater H1. Anne Marie Lande og Mohammad Waad	E-12
Figur F-1 Flytskjema steamskruer. Anne Marie Lande og Mohammad Waad	F-14
Figur F-2 Flytskjema tørking med damp. Anne Marie Lande og Mohammad Waad	F-16
Figur H-1 Excel- resultater for steamskruer	H-19
Figur H-2 Excel resultater for tank	H-20

Tabelliste

Tabell A-1 Gjennomsnittsverdier uke 7	A-1
Tabell A-2 Effektforbruket for eksisterende varmpumpe.....	A-2
Tabell A-3 Gjennomsnittsmålinger for uke 7.....	A-3
Tabell B-1 Oversikt over energiforbruket for elektrisk tørking uke 7	B-4
Tabell B-2 Gjennomsnittsverdier for uke 7	B-5
Tabell B-3 Resultat av beregning for energiforbruket uke 7.....	B-6
Tabell B-4 Samlet energiforbruk for elektrisk tørking.....	B-6
Tabell D-1 Data fra forbrenningsrapport.....	D-2
Tabell D-2 Kjelvirkningsgrad.....	D-4
Tabell E-1 Data steamvekslere	E-11
Tabell E-2 Energiforbruk steamvekslere	E-11
Tabell E-3 Beregnet dampforbruk steamvekslere	E-12
Tabell E-4 Energiforbruk kneatere	E-13
Tabell E-5 Dampforbruk kneatere	E-13
Tabell F-1 Målt dampforbruk steamskruer.....	F-14
Tabell F-2 Energiforbruk steamskruer	F-15
Tabell F-3 Målt dampmengde tørking med damp	F-16
Tabell F-4 Energiforbruk tørking med damp	F-16
Tabell G-1 Beregnet dampforbruk steamvekslere.....	G-17
Tabell G-2 Beregnet dampforbruk kneatere.....	G-17
Tabell G-3 Målt dampforbruk steamskruer	G-17
Tabell G-4 Målt dampforbruk tørking med damp.....	G-17
Tabell G-5 Samlet dampforbruk forbrukere av damp	G-17
Tabell H-1 Målinger steamskruer.....	H-19
Tabell H-2 Målinger tank	H-20
Tabell H-3 Tabell over vindhastighet og temperatur hentet fra yr (2016): http://www.yr.no/sted/Norge/Rogaland/Karmøy/Haugesund_lufthavn_målestasjon/statistik k.html. Brukt med tillatelse	H-21
Tabell I-1 Kostnader for strøm og gass	I-22
Tabell I-2 Energiforbruket for hver enkelt dag i uke 7.....	I-22
Tabell I-3 Resultat av kostnader for eksisterende varmpumpe og anbefalt varmpumpe..	I-23
Tabell I-4 Energiforbruk varmeelement og varmebatteri.....	I-23
Tabell I-5 Resultat kostnader for elektriske tørkeanlegget.....	I-23
Tabell I-6 Kostnader for gassenergi som blir brukt til dekke energidifferansen.....	I-24
Tabell I-7 Kostnader for gassenergi inn og ut av kjel	I-24
Tabell I-8 Kostnadsforbruk steamvekslere.....	I-25
Tabell I-9 Kostnadsforbruk kneatere	I-25
Tabell I-10 Kostnadsforbruk steamskruer	I-25
Tabell I-11 Kostnadsforbruk tørking med damp	I-25

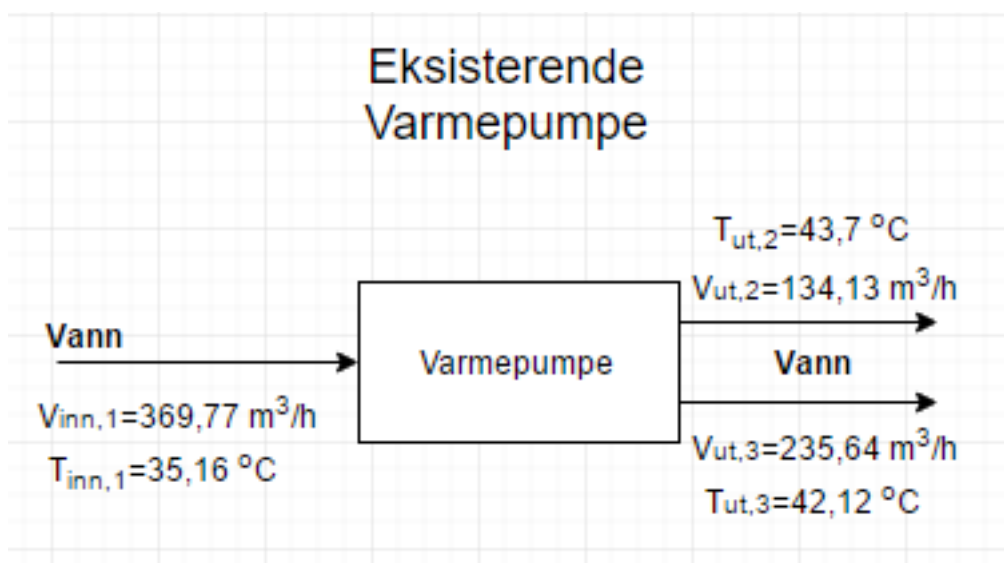
Vedlegg A Beregninger varmepumpe

A.1 Beregning av effektytelsen på eksisterende varmepumpe

Antagelser for å beregne på effektytelsen for eksisterende varmepumpe:

- Tettheten til ferskvann er omtrent 1000 kg/m^3
- Spesifikk varmekapasitet til vannet er $4,18 \text{ kJ/kgK}$
- Ingen varmeveksling med omgivelsene
- Konstant strømningsrate

Flytskjema med gjennomsnittsmålinger for uke 7 2017:



Figur A-1 Flytskjema for eksisterende varmepumpe

Tabell A-1 Gjennomsnittsverdier uke 7

Avdelinger	Temperatur inn [°C]	Temperatur ut [°C]	Volumstrøm inn [m³/h]	Volumstrøm ut [m³/h]
H1	35,16	43,7	369,77	134,13
H2	35,16	42,12	369,77	235,64

Det settes systemgrenser over varmepumpen for å regne ut effekten den gir.

Formler som ble brukt for å beregne effektytelsen på eksisterende varmepumpe hentet fra *Teknisk formelsamling med tabeller* (Pedersen, et al., 1998):

$$Q = mc_p \Delta T$$

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

$$P = c_p \dot{V} \rho \Delta T$$

Effektytelsen for H1 er 1330 kW og for H2 er den 1907 kW. Varmepumpens totale effektytelse er 3237 kW.

A.2 Tabell for effektforbruket til eksisterende varmepumpe

Det eksisterende varmepumpens totale effektforbruk består av to kompressorer samt pumper og kontrolleringssystem som er med på å drifte den. Tabell A-2 er gitt fra FMC Vormedal.

Tabell A-2 Effektforbruket for eksisterende varmepumpe

Komponenter	Energiforbruk [kW]
Kompressor LP	630
Kompressor HP	630
Sjøvannspumpe tilførsel	200
Ferskvannstilførsel H1	20
Ferskvannstilførsel H2	30
Ferskvannspumpe H1	45
Ferskvannspumpe H2	55
Sjøvannspumpe til varmeveksler H1	75
Sjøvannspumpe til varmeveksler H2	75
PLS, kontrollstyringssystem*	20
Total	1780

*Energiforbruket til PLS er det ikke gjort målinger på, verdien er kun et anslag.

A.3 Beregning av effektforbruket til anbefalt varmepumpe

Den anbefalte varmepumpen regulerer effektforbruket etter inngangstemperaturen. For å kunne beregne på energiforbruket og kostnadene den anbefalte varmepumpen bruker, må det bli gjort en beregning for hver dag i uke 7.

Tabell A-3 Gjennomsnittsmålinger for uke 7

Dager	Gjennomsnittlig volumstrøm inn og ut i [m ³ /s]	Gjennomsnittlig temperatur inn [°C]	Temperatur ut H1 og H2 (ønskede verdier) [°C]
Mandag	0,09	35	47
Tirsdag	0,08	36	47
Onsdag	0,12	36	47
Torsdag	0,12	35	47
Fredag	0,11	37	47
Lørdag	0,10	33	47
Søndag	0,10	35	47

Antagelsene som ble gjort for å beregne oppvarmingsbehovet for uke 7

- Tettheten til ferskvann er omtrent 1000 kg/m³
- Strømningsraten til ferskvann inn på H1 og H2 er konstant.
- Spesifikk varmekapasitet til vannet er 4,18 kJ/kgK
- Ingen varmeveksling ved omgivelsene
- COP for anbefalt varmepumpe er 4

Formel for å finne effektforbruket i anbefalte varmepumpe er hentet fra *Teknisk formelsamling med tabeller* (Pedersen, et al., 1998):

$$P = c_p \dot{V} \rho \Delta T$$

$$\text{Effektforbrukt} = \frac{\text{Effektavgitt}}{COP}$$

Vedlegg B Beregninger elektrisk tørking

B.1 Varmebatterier

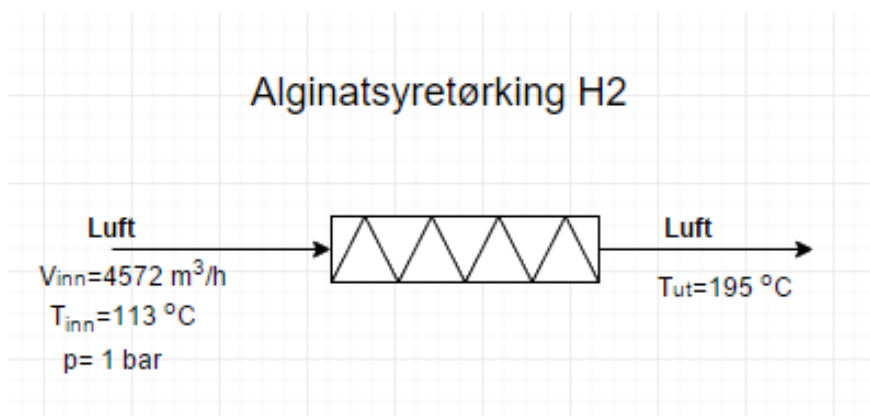
Effektforbruket til varmembatteriene ble lest av i en måler.

Tabell B-1 Oversikt over energiforbruket for elektrisk tørking uke 7

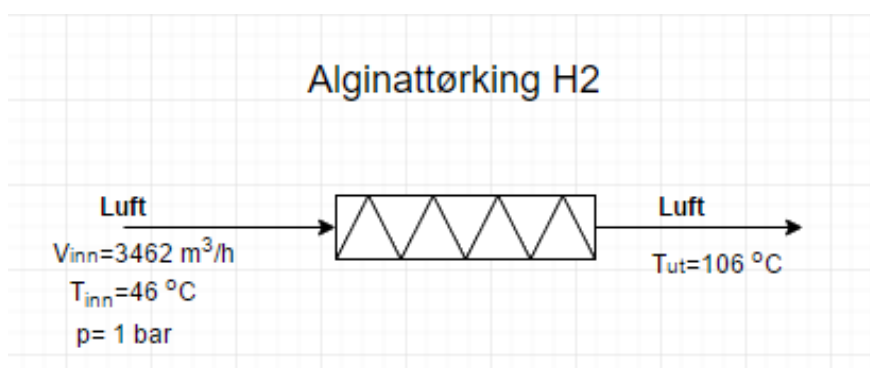
Varmebatterier	Energiforbruk [kW]
Fortørke H1	31
Alginat H1	67
Sum	98

B.2 Beregninger varmeelementer

De fire flytskjemaene som er listet nedenfor er for varmeelementer.

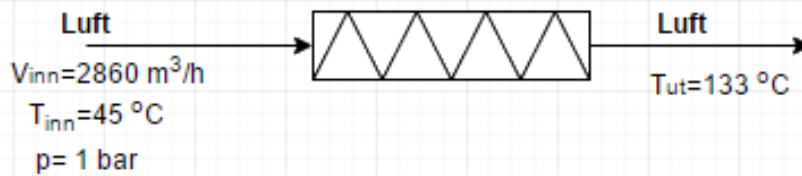


Figur B-1 Flytskjema alginatsyretørking H2



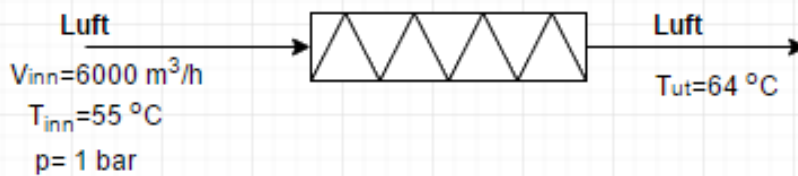
Figur B-2 Flytskjema alginattørking H2

Alginatsyretørring H1



Figur B-3 Flytskjema alginatsyretørring H1

Tørke H2



Figur B-4 Flytskjema tørke H2

Tabell B-2 Gjennomsnittsverdier for uke 7

Elektrisk varmeelement	Temperatur inn [°C]	Temperatur ut [°C]	Volumstrøm inn [m³/h]
Alginatsyretørring H2	113	195	4572
Alginattørring H2	46	106	3462
Alginatsyretørring H1	45	133	2860
Tørke H2	55	64	6000

Det blir tatt noen antagelser for å kunne gjøre det enklere å beregne på effektforbruket:

- Regner med at prosessen skjer adiabatisk
- Spesifikk varmekapasitet til luft $C_{p,luft} = 1,1 \text{ kJ/kg K}$
- Tettheten til luft er et gjennomsnitt av tettheten til luften inn og ut av varmeelementet
- Molmassen til luft: $M_{luft} = 29 \text{ g/mol}$

Formler som ble brukt til å beregne effektforbruket er hentet fra *Teknisk formelsamling med tabeller* (Pedersen, et al., 1998):

$$\rho_{luft} = \frac{pM_{luft}}{RT}$$

$$\rho_{luft,gjennomsnitt} = \frac{\rho_{luft,inn} + \rho_{luft,ut}}{2}$$

$$P = \dot{V}_{luft} \cdot \rho_{luft,gjennomsnitt} \cdot c_{p,luft} \cdot \Delta T$$

Tabell B-3 Resultat av beregning for energiforbruket uke 7

Elektrisk varmeelementer	Energiforbruk [kW]
Alginatsyretørking H2	94
Alginattørking H2	63
Alginatsyretørking H1	74
Tørke H2	17
Sum	248

B.3 Samlet energiforbruk tørking

Tabell B-4 Samlet energiforbruk for elektrisk tørking

Komponent	Energiforbruk [kW]
Elektrisk varmeelementer	248
Varmebatterier	98
Sum	346

Vedlegg C Formler og sammenhenger nyttet ved beregninger rundt kjel og damp

Følgende formler er hentet fra Skogestad (2009) og blir benyttet ved beregninger rundt kjel og dampsystem.

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t}$$

$$E = Q + W$$

$$Q = mc_p\Delta T$$

$$\Delta H = mc_p\Delta T$$

$$H = mh$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\dot{V} = \frac{V}{\Delta t}$$

$$\dot{m} = \frac{m}{\Delta t}$$

$$m = nM$$

$$\bar{M} = \sum_i y_i M_i$$

Energi	$E [J]$
Varme	$Q [J]$
Varmestrøm (effekt)	$\dot{Q} [J/s = W]$
Arbeid	$W [J]$
Entalpi	$H [J]$
Spesifikk entalpi	$h [J/kg]$
Spesifikk varmekapasitet	$c_p [J/K]$
Masse	$m [kg]$
Massestrøm	$\dot{m} [kg/s]$
Tetthet	$\rho [kg/m^3]$
Volum	$V [m^3]$
Volumstrøm	$\dot{V} [m^3/s]$
Molmengde	n
Molmasse	$M [kg/mol]$
Gjennomsnittlig molmasse	$\bar{M} [kg/mol]$
Molfraksjon	y
Tid	$t [s]$
Temperatur	$T [K]$

Videre er data for entalpi og temperatur hentet i damptabellene *Thermodynamic and transport properties of fluids: SI units* (Rogers & Mayhew, 1995) og *Steam tables: With mollier diagram: In S.I. units* (Khurmi, R.S. & Khurmi, N, 2014).

Vedlegg D Beregninger dampkjel

D.1 Beregning av kjelvirkningsgrad

D.1.1 Røykgasstap

For å finne røykgasstapet er det tatt utgangspunkt i en forbrenningsrapport for kjel 2 fra 2012 (se vedlegg J). Dette er den siste forbrenningsrapporten utført før installasjon av economisere. Selv om kjel 1 og kjel 2 er fra to forskjellige forhandlere, mener FMC at de er ganske like. Det antas derfor videre i analysen at forbrenningsrapporten gjelder for begge kjelene.

Forbrenningsrapporten er utført av Parat Halvorsen AS og er gjort på fire forskjellige laster, fra lav last til full last. Lav last svarer til 30 % belastning og full last til 100 % belastning.

«Virkningsgrad fyringsteknikk» som er oppgitt i forbrenningsrapporten defineres som tilført energi minus røykgasstapet (Kjelforeningen – Norsk energi, 2005, s.24).

$$\eta_{fyringsteknisk} = 100\% - Røykgasstap[\%] \quad (D.1.1)$$

Fyringsteknisk virkningsgrad er blitt estimert av forholdet mellom forbrenningsluften som tas inn og røykgassen som kommer ut av kjelen. Temperaturøkningen regnes som fyringsteknisk tap.ⁱ

Tabell D-1 viser røykgasstemperatur, luftoverskudd og røykgasstap ved ulike laster og er hentet fra forbrenningsrapport.

Tabell D-1 Data fra forbrenningsrapport

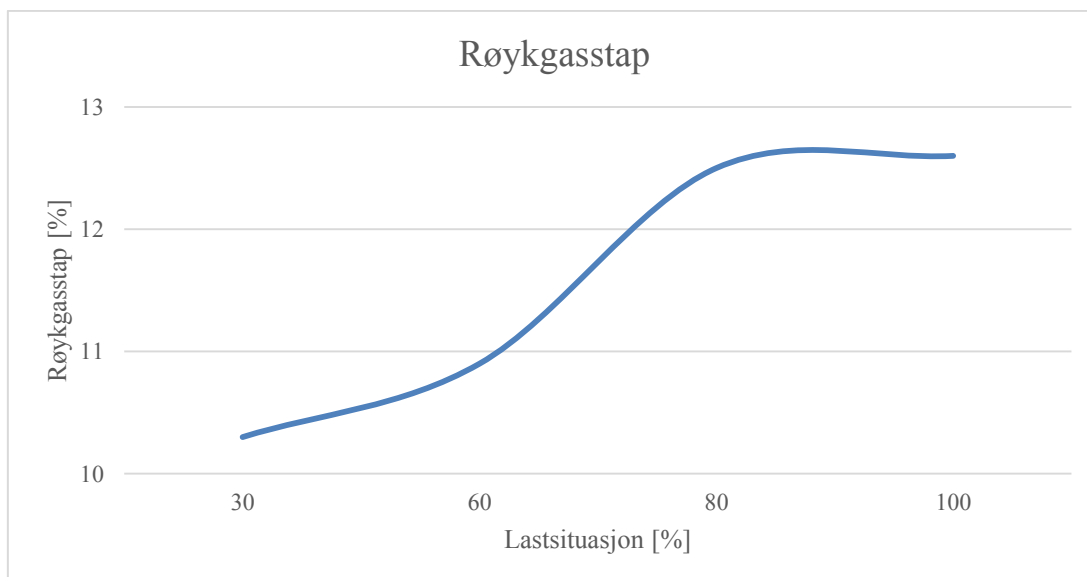
Lastsituasjon [%]	Røykgasstemperatur [°C]	Luftoverskudd [%]	Røykgasstap [%]ⁱⁱ
30	141,2	33	10,3
60	152,5	23	10,9
65	158,8*	23*	11,3*
80	177,6	23	12,5
100	190,5	14	12,6

*beregnet verdi med lineær interpolasjon

Ut fra tabell D-1 ser en at røykgasstemperaturen stiger ved økende belastning og at luftoverskuddet øker med minkende belastning.

ⁱ Arnold Dybvik, Service/After Sales ved Parat Halvorsen AS. E-post 10.03.17.

ⁱⁱ Beregnet med formel D.1.1.



Figur D-1 Røykgasstap som funksjon av lastsituasjon

Røykgasstapet på den type kjel FMC har vil typisk være 8 % ved lav last og 12-15 % ved full belastning.ⁱⁱⁱ Sammenlignet med disse verdiene er røykgasstapet på 10,3 % ved lav belastning hos FMC litt høyere enn normalt. Dette kan skyldes det høye luftoverskuddet kjelene har ved lav belastning. Ved full last ligger røykgasstapet på 12,6 % og ligger dermed innenfor normalen. Ved denne lasten er luftoverskuddet lavt, og den høye røykgasstemperaturen svarer til de største tapene.

D.1.2 Varmetap

Størrelsen på varmetapet er blant annet avhengig av kjelens størrelse, isolasjon og last. Norsk Energi estimerer at normalt varme- og strålingstap ligger mellom 0,5-1,5 % (Larsen & Aasbøe, 2016, s. 21). Dybvik mente at strålingstapet normalt ligger på 0,5 %^{iv}, og som en forenkling er denne verdien dermed lagt til grunn i beregningene for alle laster.

Antatt varmetap ved alle laster:

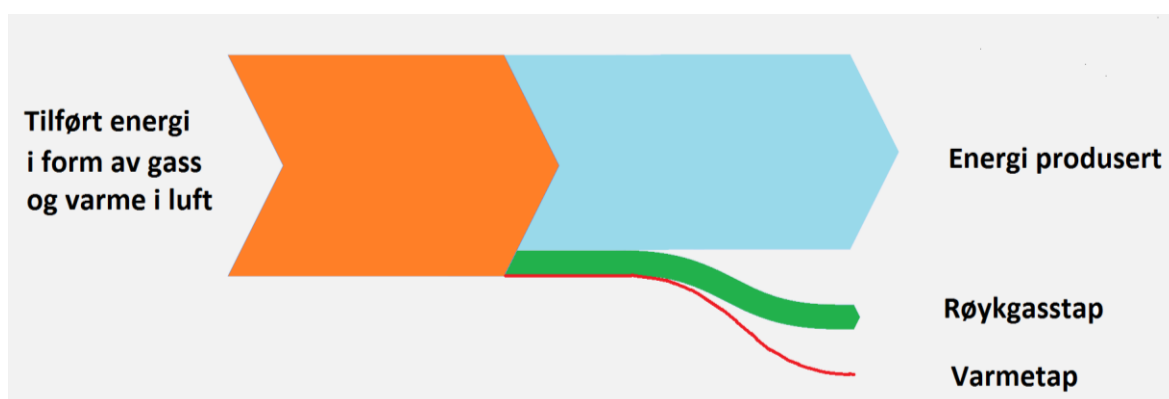
$$\text{Varmetap} = 0,5\%$$

ⁱⁱⁱ Arnold Dybvik, Service/After Sales ved Parat Halvorsen AS. E-post 10.03.17. Direkte sitat: ”[Fyringsteknisk] virkningsgraden vil på en slik kjel være typisk ca. 92 % på lav last og 85-88 % ved full belastning.”

^{iv} Arnold Dybvik, Service/After Sales ved Parat Halvorsen AS. E-post 10.03.17.

D.1.3 Estimert kjelvirkningsgrad

Indirekte metode blir nyttet til å estimere virkningsgrad.



Figur D-2 Sankey-diagram indirekte metode. Anne Marie Lande

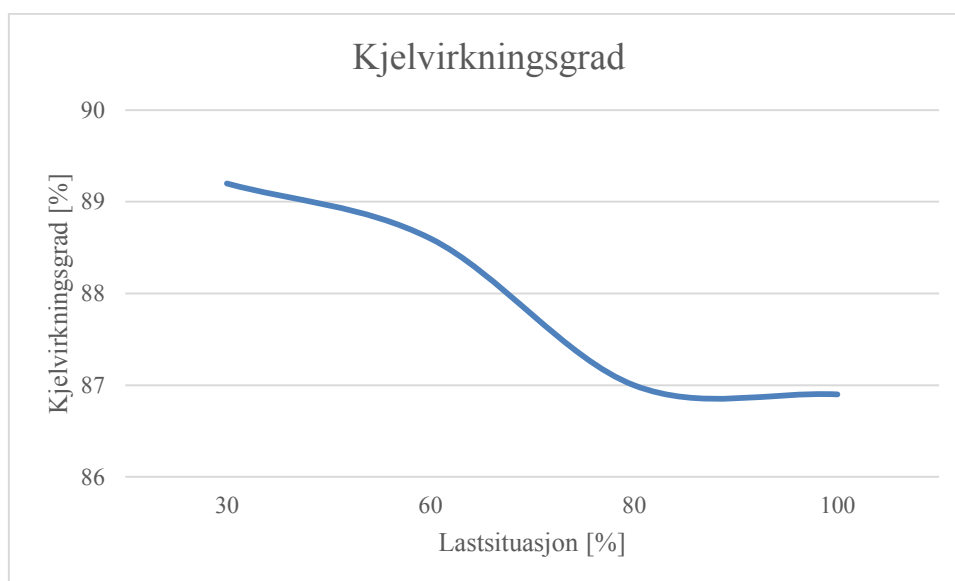
Formel som blir nyttet til å beregne kjelevirkningsgraden:

$$\text{Kjelvirkningsgrad} = 100\% - \text{Røykgasstap}[\%] - \text{Varmetap}[\%] \quad (5.2.1)$$

Tabell D-2 viser beregnede verdier for kjelevirkningsgraden ved ulike belastninger der formelen over er benyttet.

Tabell D-2 Kjelvirkningsgrad

Lastsituasjon [%]	Virkningsgrad [%]
30	89,2
60	88,6
65	88,2
80	87,0
100	86,9



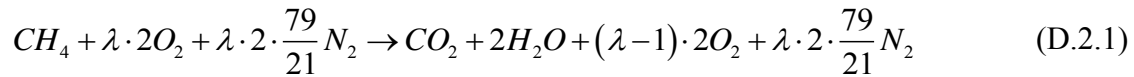
Figur D-3 Kjelvirkningsgrad som funksjon av lastsituasjon

Kjelvirkningsgraden er høyest ved den laveste lasten og synker ved økende belastning.

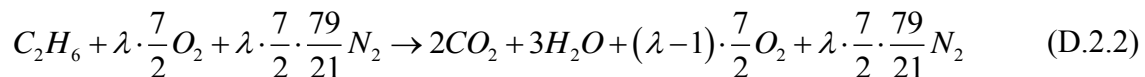
D.2 Beregning av luftmengde

Mengden naturgass inn på kjel er kjent, men luftmengden er ukjent. Det er antatt at naturgassen består av 85 % metan og 15 % etan. Reaksjonslikninger^v for forbrenning av etan og metan er brukt for å finne et uttrykk for luftmengden.

Reaksjonslikning forbrenning metan med luftoverskudd λ :



Reaksjonslikning forbrenning etan med luftoverskudd:



Ut fra reaksjonslikningene over finner man et uttrykk for molstrømmen, \dot{n} , til luften.

$$\dot{n}_{luft} = \lambda \cdot \left(\dot{n}_{metan} \frac{200}{21} + \dot{n}_{etan} \cdot \frac{50}{3} \right) \quad (D.2.3)$$

Molstrømmene til metan og etan kan også uttrykkes som molfraksjoner, y , multiplisert med den totale naturgassstrømmen, \dot{n}_{NG} .

$$\dot{n}_{komponent} = y_{komponent} \cdot \dot{n}_{NG} \quad (D.2.4)$$

Setter likning D.2.4 inn i D.2.3 og får:

$$\dot{n}_{luft} = \lambda \cdot \dot{n}_{NG} \cdot \left(y_{metan} \cdot \frac{200}{21} + y_{etan} \cdot \frac{50}{3} \right) \quad (D.2.5)$$

Videre nyttes sammenhengen mellom masse, m , og molmasse, M , til å finne et uttrykk for molstrømmen, \dot{n}_{NG} , til naturgassen.

$$\dot{n}_{NG} = \frac{\dot{m}_{NG}}{\bar{M}_{NG}} \quad (D.2.6)$$

Midlere molmasse kan uttrykkes ved:

$$\bar{M}_{NG} = y_{metan} \cdot M_{metan} + y_{etan} \cdot M_{etan} \quad (D.2.7)$$

Setter likning D.2.7 inn i D.2.6 og får:

$$\dot{n}_{NG} = \frac{\dot{m}_{NG}}{y_{metan} \cdot M_{metan} + y_{etan} \cdot M_{etan}} \quad (D.2.8)$$

^v Reaksjonslikninger hentet fra *Teknisk formelsamling med tabeller* (Pedersen, et al., 1998).

Setter likning D.2.8 inn i likning D.2.5 og får:

$$\dot{n}_{luft} = \lambda \cdot \frac{\dot{m}_{NG}}{y_{metan} \cdot M_{metan} + y_{etan} \cdot M_{etan}} \cdot \left(y_{metan} \cdot \frac{200}{21} + y_{etan} \cdot \frac{50}{3} \right) \quad (\text{D.2.9})$$

Den totale luftmassen kan uttrykkes ved:

$$\dot{m}_{luft} = \dot{n}_{luft} \cdot M_{luft} \quad (\text{D.2.10})$$

Setter likning D.2.9 inn i D.2.10 og får:

$$\dot{m}_{luft} = \lambda \cdot \frac{\dot{m}_{NG}}{y_{metan} \cdot M_{metan} + y_{etan} \cdot M_{etan}} \cdot \left(y_{metan} \cdot \frac{200}{21} + y_{etan} \cdot \frac{50}{3} \right) \cdot M_{luft} \quad (\text{D.2.11})$$

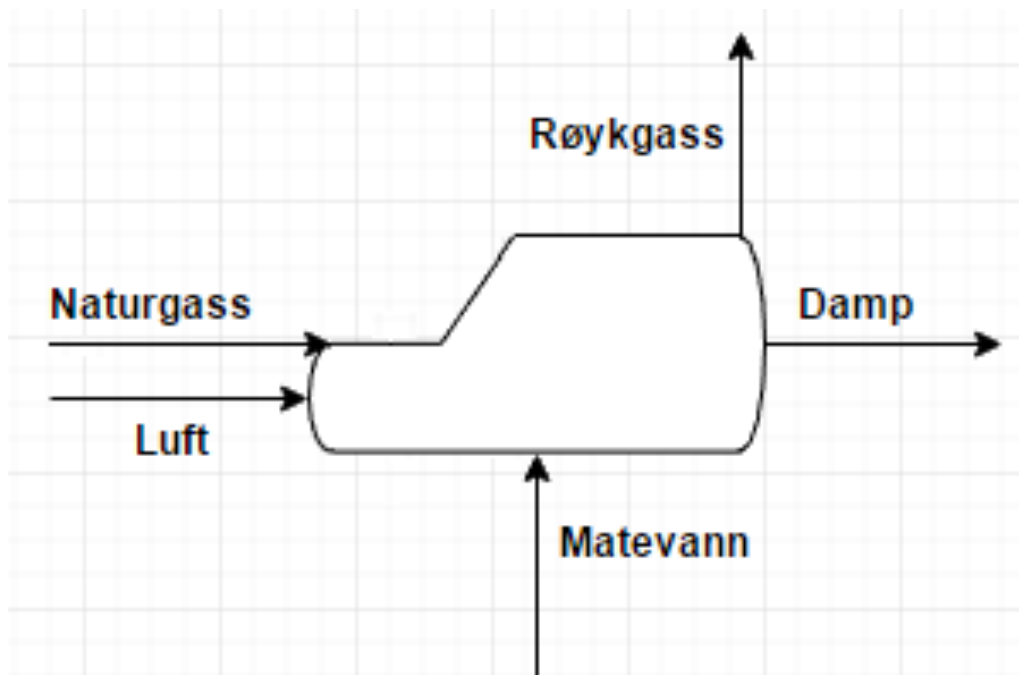
Følgende data for beregningene gjelder for forbrenning ved 65 % last per kjel:

Luftoverskudd	$\lambda = 1,23$
Molfraksjon metan	$y_{metan} = 0,85$
Molfraksjon etan	$y_{etan} = 0,15$
Molmasse metan	$M_{metan} = 30,07 \text{ kg/kmol}$
Molmasse etan	$M_{etan} = 16,04 \text{ kg/kmol}$
Molmasse luft	$M_{luft} = 29 \text{ kg/kmol}$

Verdiene over innsatt i formel D.2.11 gir følgende verdi for massestrømmen til luften:

$$\dot{m}_{luft} = \dot{m}_{NG} \cdot 13,51 \quad (\text{D.2.12})$$

D.3 Beregning av dampmengde



Figur D-4 Flytskjema dampkjel. Mohammad Waad og Anne Marie Lande

Utgangsdata for beregningene:

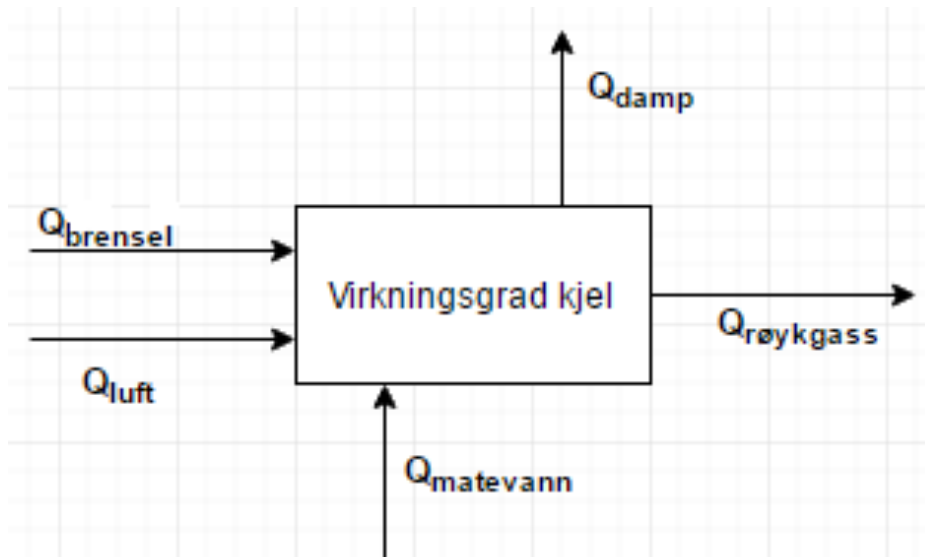
Omgivelsestemperatur	$t_0 = 23,2 \text{ }^\circ\text{C}$	
Røykgasstemperatur	$t_{RG} = 158,8 \text{ }^\circ\text{C}$	
Varmekapasitet luft og røykgass	$c_p = 1,1 \text{ kJ/kgK}$	
Volumstrøm naturgass	$\dot{V} = 641,7 \text{ Sm}^3/\text{h}$	
Nedre brennverdi naturgass	$H_{LHV} = 9,71 \text{ kWh/Sm}^3$	^{vi}
Tetthet naturgass	$\rho = 0,77$	^{vii}
Kjelvirkningsgrad	$\eta_{kjel} = 0,882$	
Trykk damp	$p_{damp} = 11,5 \text{ bar}$	
Temperatur damp tørrmettet	$t_{damp} = 186 \text{ }^\circ\text{C}$	
Temperatur matevann	$t_{vann} = 105 \text{ }^\circ\text{C}$	
Trykk matevann	$p_{vann} = 1,3 \text{ bar}$	
Entalpi matevann	$h_{vann} = 449 \text{ kJ/kgK}$	
Entalpi damp tørrmettet	$h_{damp} = 2782,5 \text{ kJ/kgK}$	
Luftmengde	$\dot{m}_{luft} = \dot{m}_{NG} \cdot 13,51$	(D.2.12)

Det er antatt at varmekapasiteten for luft og røykgass er lik. Ved beregning er det brukt en gjennomsnittlig verdi for naturgassforbruket uke 7. Luftoverskuddet og temperaturer på luft og røykgass er interpolerte verdier for 65 % last med forbrenningsrapport fra 2012 som utgangspunkt. Luftmengden er beregnet i vedlegg D.2.

Det settes opp en energibalanse for å finne et uttrykk for massen damp som blir produsert. Systemgrensen settes rundt kjelen. Formler fra vedlegg C blir benyttet.

^{vi} Gjennomsnittlig nedre brennverdi 2016, oppgitt av Øystein Østhus, FMC. E-post 09.02.17.

^{vii} Antatt naturgass med sammensetning 85 % metan og 15 % etan. Tetthet kalkulert på <http://unitrove.com/engineering/tools/gas/natural-gas-density>



Figur D-5 Energibalanse over kjelen. Mohammad Waad og Anne Marie Lande

$$|\dot{Q}_{avgitt}| = \frac{|\dot{Q}_{tilført}|}{\eta_{kjel}}$$

$$\dot{m}_{luft}c_p(t_0 - t_{RG}) + \dot{m}_{NG}c_p(t_0 - t_{RG}) + \dot{V}H_{LHV} = \dot{m}_{damp}(h_{damp} - h_{vann}) \cdot \frac{1}{\eta_{kjel}}$$

Ved å isolere for dampmassen og sette inn et uttrykk for naturgasstrømmen får en følgende likning:

$$\dot{m}_{damp} = \frac{\dot{V}[14,51\rho c_p(t_0 - t_{RG}) + H_{LHV}] \cdot \eta_{kjel}}{h_{damp} - h_{vann}}$$

Ved å sette inn verdiene oppgitt inn i likningen over får en følgende verdi for dampmengden:

$$\dot{m}_{damp} = 2,24 \text{ kg/s} = 8074 \text{ kg/h}$$

D.4 Beregning av energi tilført og produsert i kjel

Samme data og formler som i vedlegg D.3 blir benyttet.

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{produsert} &= \dot{m}_{damp}(h_{damp} - h_{vann}) \\ \dot{Q}_{produsert} &= 5,2 \text{ MW} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{brensel} &= \dot{V}H_{LHV} \\ \dot{Q}_{brensel} &= 6,2 \text{ MW} \end{aligned}$$

D.5 Beregning av brenselbesparelse med luftforvarmer

Røykgasstemperaturen som blir benyttet i beregningene er antatt ny røykgasstemperatur etter installasjon av economisere.

Data for beregningene:

Omgivelsestemperatur

$$t_0 = 23,3^\circ\text{C}$$

Temperatur forvarmet luft

$$t_{\text{forvarming}} = 100^\circ\text{C}$$

Antatt ny røykgasstemperatur med economisere

$$t_{RG,ny} = 108,8^\circ\text{C}$$

Varmekapasitet luft og røykgass

$$c_p = 1,1 \text{ kJ/kgK}$$

Luftmengde

$$\dot{m}_{\text{luft}} = \dot{m}_{NG} \cdot 13,51 \quad (\text{D.2.12})$$

Følgende likning gir et uttrykk for varmen som må tilføres for å heve lufttemperaturen fra starttemperatur til røykgasstemperatur.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{\text{luft}} c_p (t_{RG,ny} - t)$$

Med innsatte verdier blir varmemengden som skal til for å øke temperaturen fra omgivelsestemperatur til røykgasstemperatur:

$$\dot{Q}_0 = 174,6 \text{ kW}$$

Dersom luften forvarmes til 100 grader blir varmemengden:

$$\dot{Q}_{\text{forvarming}} = 17,9 \text{ kW}$$

Brenselbesparelsen kan uttrykkes ved:

$$\Delta \dot{V} = \dot{V}_0 - \dot{V}_{\text{forvarming}}$$

$$\Delta \dot{V} = \left(\frac{\dot{Q}_0}{14,51 \rho c_p (t_0 - t_{RG,ny}) + H_{LHV}} \right) -$$

$$\left(\frac{\dot{Q}_{\text{forvarming}}}{\rho c_p (t_0 + 13,51 t_{\text{forvarming}} - 14,51 t_{RG,ny}) + H_{LHV}} \right)^{\text{viii}}$$

Som gir følgende brenselbesparelse:

$$\Delta \dot{V} = 16,7 \text{ Sm}^3/\text{h}$$

^{viii} Volumstrømmer utledet fra energibalanse over kjelen satt opp i vedlegg D.3. Data for beregninger er hentet fra vedlegg D.3.

Vedlegg E Beregninger steamvekslere og kneatere

Steamvekslerne og kneatere har ikke mengdemålinger av damp. Det er blitt gjort beregninger for å anslå damp- og energimengden tilført. Det er antatt ideell varmeoverføring. Det er antatt at tettheten og varmekapasiteten til alginatstrømmen er lik vann, da alginatstrømmen hovedsakelig består av vann før tørking.

Utgangsdata for beregningene:

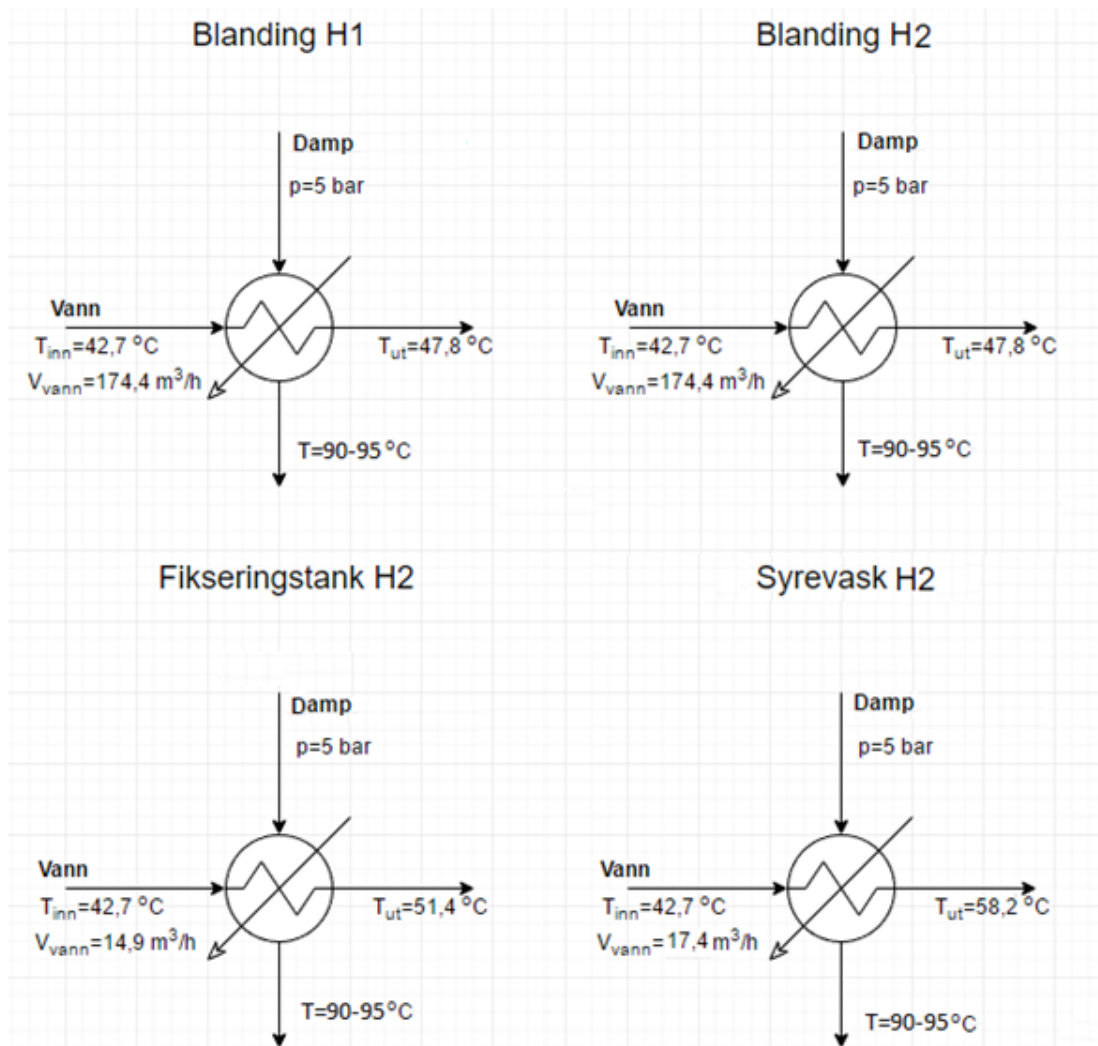
Varmekapasitet vann $c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$
 Tetthet vann $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$

E.1 Beregninger steamvekslere

Det er antatt at dampen inn på steamvekslerne er tørrmettet ved 5 bar og kondenserer før den blir kjølt ned til 95 grader.

Utgangsdata for beregningene:

Vannets fordampningsentalpi $h_{fg}(5 \text{ bar}) = 2109 \text{ kJ/kg}$
 Vannets entalpi $h_f(5 \text{ bar}) = 640 \text{ kJ/kg}$
 Vannets entalpi etter avkjøling $h(5 \text{ bar}, 95^\circ\text{C}) = 398 \text{ kJ/kg}$



Figur E-1 Flytskjema steamvekslere. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

Tabell E-1 Data steamvekslere

Forbruker	t_{inn} [°C]	t_{ut} [°C]	\dot{V} [m ³ /h]
Blanding H1	42,7	47,8	174,4
Blanding H2	42,7	49,5	119,7
Fikseringstank H2	42,7	51,4	14,9
Syrevask H2	42,7	58,2	17,4
Kokeri H1	-	-	-

Kommentarer til tabell E-1:

- Volumstrøm Blanding H1 er fra 2016 fordi måleren var ute av drift uke 7.
- Fikseringstank H1 ble det kun tatt hensyn de dagene den var i bruk uke 7.
- Kokeri H1 var i så lite bruk uke 7 at det ble neglisjert.

E.1.1 Beregning av energiforbruk steamvekslere

Energimengden tilført kan uttrykkes ved:

$$\dot{Q} = \dot{V} \rho c_p (t_{ut} - t_{inn})$$

Det gir følgende verdier for energiforbruket:

Tabell E-2 Energiforbruk steamvekslere

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Blanding H1	1,03
Blanding H2	0,94
Fikseringstank H2	0,15
Syrevask H2	0,31
Kokeri H1	-
Sum	2,44

E.1.2 Beregning av dampforbruk steamvekslere

Setter opp energibalanse:

$$|\dot{Q}_{avgitt}| = |\dot{Q}_{tilført}|$$

$$\dot{m}_{damp} h_{fg} + \dot{m}_{damp} (h_f - h) = \rho \dot{V} c_p (t_{ut} - t_{inn})$$

Uttrykket for dampmengden isoleres:

$$\dot{m}_{damp} = \frac{\dot{V} \rho c_p (t_{ut} - t_{inn})}{h_{fg} + (h_f - h)}$$

Ved å benytte formelen over og kommer en fram til følgende verdier for mengden damp:

Tabell E-3 Beregnet dampforbruk steamvekslere

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Blanding H1	1582
Blanding H2	1605
Fikseringstank H2	257
Syrevask H2	534
Kokeri H1	-
Sum	3980

E.2 Beregninger kneatere

Det er blitt gjort beregninger for å anslå varmebehovet til kneatere. Det er ikke tatt hensyn til kondensatkjøling.

Det er kun blitt gjort beregninger på energimengden tilført kneater H1. Siden produksjonslinjene H1 og H2 produserer omtrent like mye alginat, antas det at kneatere har like stort dampforbruk. Det er imidlertid mulig det går litt mindre damp på H2, siden dampen blir injisert direkte inn i løsningen.

Det er gjort beregning for å finne gjennomsnittlig energiforbruk per døgn. Det spesifikke energiforbruket i oppvarmingsperiodene er imidlertid høyere.

Utgangsdata for beregningene:

Vannets fordampningsentalpi

$$h_{fg}(4 \text{ bar}) = 2134 \text{ kJ/kgK}$$

Total mengde alginsyre oppvarmet per døgn

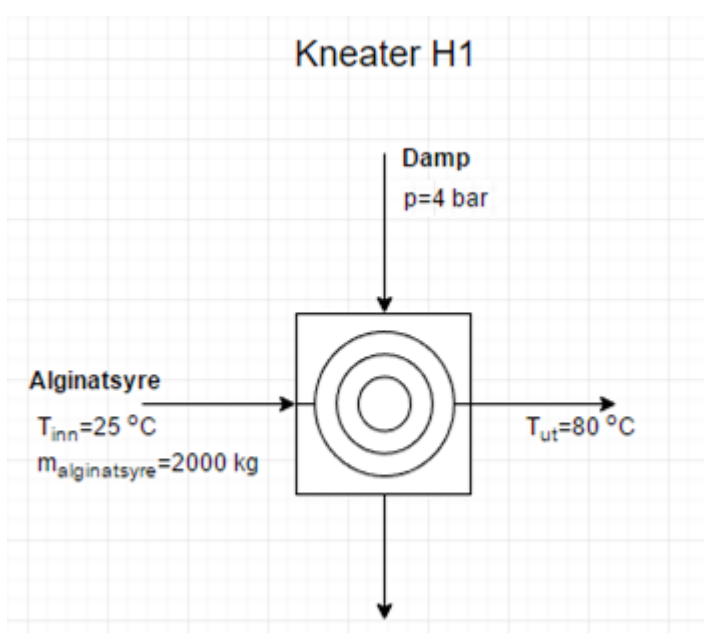
$$m_{\text{alginsyre/døgn}} = 12\,000 \text{ kg/døgn}$$

Temperatur alginsyre inn

$$t_{\text{inn}} = 25^\circ\text{C}$$

Temperatur alginsyre ut

$$t_{\text{ut}} = 80^\circ\text{C}$$



Figur E-2 Flytskjema kneater H1. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

E.2.1 Energiforbruk kneatere

Formel nyttet:

$$\dot{Q} = \frac{m_{\text{alginsyre/døgn}} c_p (t_{\text{ut}} - t_{\text{inn}})}{24h}$$

Tabell E-4 Energiforbruk kneatere

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Kneater H1	0,034
Kneater H2	0,034
Sum	0,067

E.2.2 Beregning dampforbruk kneatere

Formel nyttet:

$$|\dot{Q}_{\text{avgitt}}| = |\dot{Q}_{\text{tilført}}|$$

$$\dot{m}_{\text{damp}} \cdot h_{fg} = \frac{m_{\text{alginsyre/døgn}} c_p (t_{\text{ut}} - t_{\text{inn}})}{24h}$$

Isolerer for massedampen:

$$\dot{m}_{\text{damp}} = \frac{m_{\text{alginsyre per døgn}} c_p (t_{\text{ut}} - t_{\text{inn}})}{24h \cdot h_{fg}}$$

Som gir en dampmengde på:

$$\dot{m}_{\text{damp}} = 57 \text{ kg/h}$$

Tabell E-5 Dampforbruk kneatere

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Kneater H1	57
Kneater H2	57
Sum	114

Vedlegg F Beregninger steamskruer og tørking med damp

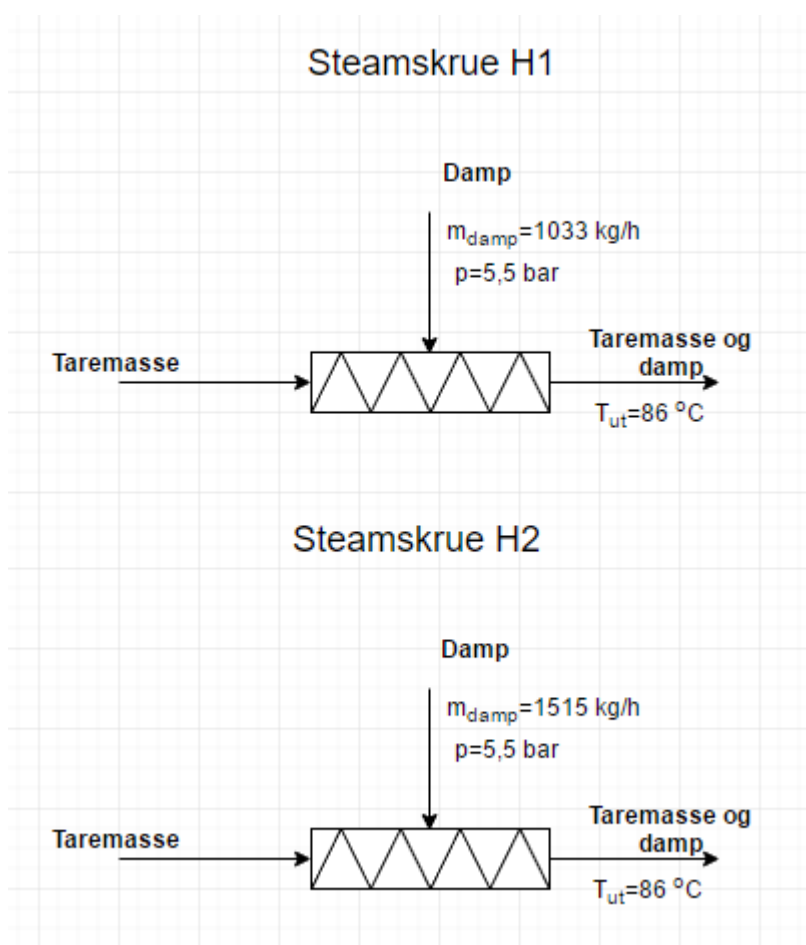
Det er målinger på dampmengden tilført steamskruer og tørking med damp.

F.1 Beregninger av energiforbruk steamskruer

Antar at dampen blir kjølt ned videre til en samlet taremassestemperatur på 86 grader etter kondensering.

Data for beregningene:

Vannets fordampningsentalpi	$h_{fg}(5,5 \text{ bar}) = 2097 \text{ kJ/kg}$
Vannets entalpi	$h_f(5,5 \text{ bar}) = 656 \text{ kJ/kg}$
Vannets entalpi etter avkjøling	$h(5,5 \text{ bar}, 86^\circ\text{C}) = 360,1 \text{ kJ/kg}$



Figur F-1 Flytskjema steamskruer. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

Tabell F-1 Målt dampforbruk steamskruer

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Steamskruer H1	1033
Steamskruer H2	1515
Sum	2547

Setter opp et uttrykk for varmen avgitt:

$$|\dot{Q}_{avgitt}| = \dot{m}_{damp}[h_{fg} + (h_f - h)]$$

Uttrykket over gir følgende verdier for varmemengden tilført:

Tabell F-2 Energiforbruk steamskruer

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Steamskruer H1	0,69
Steamskruer H2	1,01

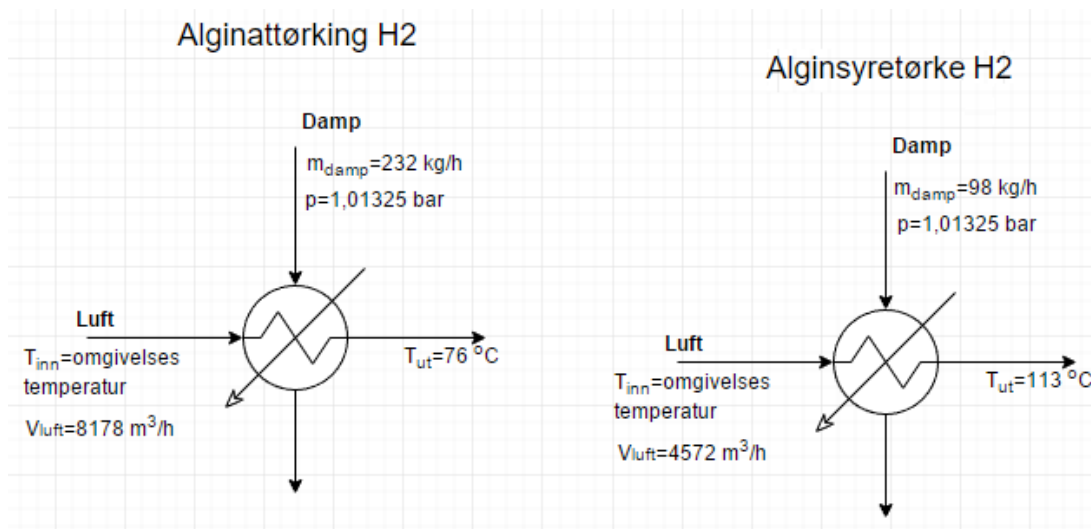
F.2 Beregning av energiforbruk tørking med damp

Det antas at dampen gir fra seg varme til den er kondensert.

Data for beregningene.

Vannets fordampningsentalpi

$$h_{fg}(1,01325 \text{ bar}) = 2256,7 \text{ kJ/kg}$$



Figur F-2 Flytskjema tørking med damp. Anne Marie Lande og Mohammad Waad

Tabell F-3 Målt dampmengde tørking med damp

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Steamskrue H1	1033
Steamskrue H2	1515

Det settes opp et uttrykk for varmemengden avgitt:

$$|\dot{Q}_{avgitt}| = |\dot{Q}_{tilført}|$$

$$|\dot{Q}_{avgitt}| = \dot{m}_{damp} h_{fg}$$

Data fra tabell F-3 satt inn i uttrykket over gir følgende verdier for varmemengden tilført:

Tabell F-4 Energiforbruk tørking med damp

Forbruker	\dot{Q} [MW]
Alginattørking H2	0,15
Alginsyretørke H2	0,06
Sum	0,21

Vedlegg G Oversikt over dampforbruk forbrukere av damp

Dampforbruket til steamvekslere og kneatere er beregnede verdier i vedlegg E. Dampforbruket til steamskruer og tørking er målte data gitt fra FMC.

Tabell G-1 Beregnet dampforbruk steamvekslere

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Blanding H1	1582
Blanding H2	1605
Fikseringstank H2	257
Syrevask H2	534
Kokeri H1	-
Sum	3980

Tabell G-2 Beregnet dampforbruk kneatere

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Kneater H1	57
Kneater H2	57
Sum	114

Tabell G-3 Målt dampforbruk steamskruer

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Steamskrue H1	1033
Steamskrue H2	1515
Sum	2547

Tabell G-4 Målt dampforbruk tørking med damp

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Alginattørking H2	232
Alginsyretørke H2	98
Sum	330

Tabell G-5 Samlet dampforbruk forbrukere av damp

Forbruker	Dampmengde [kg/h]
Steamvekslere*	3980
Kneatere*	114
Tørking	330
Steamskruer	2547
Sum	6971

*beregnete verdier i vedlegg E

I uke 7 er nødvendig dampmengde til forbrukerne av damp ca. 7 tonn damp per time. Da er ikke de minste forbrukerne tatt med, og det er heller ikke tatt hensyn til tap i rørledninger og i prosesser. I realiteten vil derfor dampbehovet være større.

Ifølge beregninger er gjennomsnittlig dampmengde ut av kjel ca. 8 tonn per time.^{ix} Denne mengden er stor nok til å dekke beregnet dampforbruk den aktuelle uken.

^{ix} Dampmengde beregnet i vedlegg D.3.

Vedlegg H Beregning av energitap steamskruer og tank

H.1 Beregninger energitap steamskruer

Følgende målinger ble gjort av gruppen på bedriften med et infrarødt varmekamera og avstandslaser.

Tabell H-1 Målinger steamskruer

Avdelinger	Overflatetemperatur [°C]	Omgivelsestemperatur [°C]	Diameter [m]	Lengde [m]
H1	85,4	20	0,6	5,2
H2	85,4	20	0,6	6,0

Antagelser som er gjort ved innsetting av data i Excel-skjema:

- Temperaturen til steamskruer H1 er lik steamskruer H2, på grunn av at H2-anlegget hadde nedetid ved tidspunktet for måling
- Omgivelsestemperatur er 20 grader innendørs
- Det er fri konveksjon med en vind hastighet på 0,10 m/s på grunn av at steamskruene er innendørs
- Vegtykkelsen til steamskruene er 10 mm
- Emissiviteten til overflaten på steamskruene er 0,8
- Emissiviteten til overflaten på isolasjonen er 0,9
- Opereringstemperatur er lik overflatetemperaturen
- Isolasjonstykkelsen er 50 mm

Verdiene som ble plottet inn er de gule cellene på figur H-1.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Heat Loss From An Insulated Pipe									
3		CheGuide.com							Date	27-April-16	
4		Chemical Engineer's Guide							By	Mohammad Waad	
5											
6		Pipe	Inside Diameter (D1)		580,0 mm						
7			Outside Diameter (D2)		600 mm						
8		Operating Temperature			85,4 °C						
9		Ambient Temperature			20,0 °C						
10		Wind Speed			0,10 m/s						
11											
12		Insulation									
13		Type			Calcium Silicate						
14		Surface Emmissivity			0,9						
15		Thickness			50 mm						
16		Outside Diameter	D3		700 mm						
17											

Figur H-1 Excel- resultater for steamskruer

H.2 Beregning på energitapet i ufiltrert tank

Følgende målinger ble gjort av gruppen på bedriften med et infrarødt varmekamera og avstandslaser.

Tabell H-2 Målinger tank

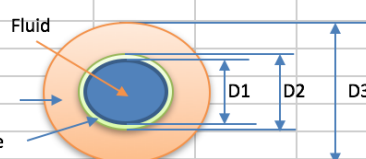
Komponent	Omgivelsestemperatur [°C]	Overflatetemperaturen [°C]	Lengde [m]	Diameter [m]
Tank	8,975	46,00	8,732	2,414

Antagelser:

- Gjennomsnittstemperaturen til omgivelsene er 8,9 grader utendørs.
- Det er tvungen konveksjon med en gjennomsnittsvindhastighet på 5,93 m/s.
- Veggtykkelsen er 30 mm
- Emissiviteten til overflatene på steamskruene er 0,8
- Emissiviteten til overflaten på isolasjonen er 0,9
- Opereringstemperatur er lik overflatetemperaturen

Verdiene som ble plottet inn er de gule cellene på figur H-2. For omgivelsestemperatur og vindhastighet på tank (utendørs) ble det benyttet en gjennomsnittsmåling fra målinger hentet fra yr, tabell H-3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2		Heat Loss From An Insulated Pipe									
3		CheGuide.com							Date	27-April-17	
4		Chemical Engineer's Guide							By	Mohammad Waad	
5											
6	Pipe	Inside Diameter (D1)			2354,0 mm			Fluid			
7		Outside Diameter (D2)			2414 mm			Air			
8	Operating Temperature				46,0 °C			Insulation			
9	Ambient Temperature				8,9 °C			Pipe			
10	Wind Speed				5,93 m/s						
11											
12	Insulation										
13	Type				Calcium Silicate			Insulated Pipe			
14	Surface Emmissivity				0,9			Surface Temperature		11,0 °C	
15	Thickness				50 mm			Heat Loss		295,6 W/m	
16	Outside Diameter		D3		2514 mm			Bare Pipe			
17								Surface Temperature		45,7 °C	
								Heat Loss		4810,5 W/m	



Figur H-2 Excel resultater for tank

H.3 Temperatur og vindhastighet

Tabell H-3 viser temperaturene og vindhastighet for 2016/2017 for Haugesund Lufthavn, disse verdiene blir brukt i beregning for energitap.

Tabell H-3 Tabell over vindhastighet og temperatur hentet fra yr (2016):

http://www.yr.no/sted/Norge/Rogaland/Karmøy/Haugesund_lufthavn_målestasjon/statistikk.html. Brukt med tillatelse

Tabellvisning for temperatur og nedbør per måned

Måneder	Temperatur				Vind	
	Gjennomsnitt	Normal	Varmest	Kaldest	Gjennomsnitt	Sterkest vind
feb 2017	3,0°		8,7° 3. feb	-6,0° 14. feb	6,0 m/s	18,9 m/s 22. feb
jan 2017	4,0°		8,4° 20. jan	-8,5° 16. jan	7,0 m/s	21,5 m/s 4. jan
des 2016	6,6°		10,9° 8. des	-2,5° 3. des	7,6 m/s	24,3 m/s 26. des
nov 2016	4,9°		11,6° 15. nov	-4,2° 8. nov	6,4 m/s	18,7 m/s 17. nov
okt 2016	8,8°		16,2° 3. okt	-0,6° 14. okt	4,6 m/s	18,0 m/s 28. okt
sep 2016	15,6°		25,9° 15. sep	6,7° 4. sep	6,3 m/s	23,9 m/s 29. sep
aug 2016	14,3°		21,7° 21. aug	5,4° 11. aug	5,8 m/s	19,2 m/s 9. aug
jul 2016	14,7°		24,5° 20. jul	6,7° 7. jul	5,0 m/s	11,7 m/s 6. jul
jun 2016	13,6°		22,6° 3. jun	5,5° 11. jun	4,9 m/s	17,5 m/s 19. jun
mai 2016	11,0°		24,5° 9. mai	2,9° 1. mai	6,3 m/s	16,9 m/s 13. mai
apr 2016	6,0°		13,0° 10. apr	-2,5° 25. apr	5,5 m/s	15,8 m/s 18. apr
mar 2016	4,0°		9,0° 27. mar	-5,1° 8. mar	5,7 m/s	17,6 m/s 2. mar
feb 2016	2,5°		8,3° 1. feb	-8,0° 15. feb	6,8 m/s	21,3 m/s 8. feb

Det har blitt regnet ut en årlig gjennomsnittstemperatur og gjennomsnittvindhastigheten fra verdiene som står i tabell H-3. Disse verdiene blir brukt i beregningen på energitapet for ufiltrert tank.

Vedlegg I Beregning av kostnader

I dette vedlegget ligger informasjon som ble brukt for å beregne kostnadene hver komponent hadde i uke 7. Det har blitt lagt til grunn følgende opplysninger fra FMC Vormedal ved kostnadsberegninger:

Tabell I-1 Kostnader for strøm og gass

Type	Verdi [NOK/kWh]
Strømpris	0,485
Gasspris	0,410

Disse kostnadene vil bli brukt i hele kapitlet.

I.1 Beregning av kostnader elektrisk energi

I.1.1 Kostnader varmepumpe elektrisk

For å kunne gjøre noen forenklete beregninger er det gjort noen antakelser:

- Gass- og strømpris er konstant hele året
- Vedlikeholdskostnader er like store på den gamle og den nye varmepumpen
- Den anbefalte varmepumpen dekker hele behovet gjennom året
- Anlegget er i drift 24 timer i døgnet i uke 7

Den anbefalte varmepumpen regulerer energiforbruket etter inngangstemperaturen. Varmepumpen varmer vannet til 47 grader uavhengig av inngangstemperatur og volumstrøm. For å kunne beregne på energiforbruket og kostnadene den anbefalte varmepumpen bruker, vil det bli gjort en begning for hver enkelt dag i uke 7.

Tabell I-2 Energiforbruket for hver enkelt dag i uke 7

Dager	Effektforbruk for eksisterende varmepumpe [kWh] (strøm)	Effektforbruk for anbefalt varmepumpe [kWh] (strøm)	Effektforbruk for eksisterende varmepumpe [kWh] (strøm + gass)
Mandag	30 240	27 672	82 344
Tirsdag	30 240	21 534	82 344
Onsdag	30 240	31 956	82 344
Torsdag	30 240	36 784	82 344
Fredag	30 240	28 703	82 344
Lørdag	30 240	35 600	82 344
Søndag	30 240	29 093	82 344
Sum	211 680	211 342	576 408

Formlene som ble brukt for å beregne på kostnadene i NOK:

$$\text{Kostnader per dag} = \text{effektilført}_{\text{varmepumpe}} \cdot 24 \text{ timer} \cdot \text{Strømpris}$$

$$\text{Kostnader per uke} = \text{effektilført}_{\text{varmepumpe}} \cdot 168 \text{ timer} \cdot \text{Strømpris}$$

Tabell I-3 Resultat av kostnader for eksisterende varmepumpe og anbefalt varmepumpe

Dager	Kostnader for eksisterende varmepumpe [NOK] (strøm)	Kostnader for anbefalt varmepumpe [NOK] (strøm)	Kostnader for eksisterende varmepumpe [NOK] (strøm + gass)
Mandag	14 700	13 400	36 000
Tirsdag	14 700	10 400	36 000
Onsdag	14 700	15 500	36 000
Torsdag	14 700	17 800	36 000
Fredag	14 700	13 900	36 000
Lørdag	14 700	17 300	36 000
Søndag	14 700	14 100	36 000
Sum	103 000	102 400	252 000

I.1.2 Kostnader elektrisk tørking

Tabell I-4 viser en oversikt over forbrukere i det elektriske tørkeanlegget.

Tabell I-4 Energiforbruk varmeelement og varmebatteri

Forbruker	Elektrisk varmeelement [kW]	Elektrisk varmebatteri [kW]
Fortørke H1	0	31
Alginat H1	0	67
Alginatsyretørke H1	74	0
Tørke H2	17	0
Alginattørking H2	63	0
Alginatsyretørke H2	94	0
Sum	248	98

Formler som ble brukt for å regne på ukes- og årskostnader:

$$\text{Kostnader per uke} = \text{effektforbruk}_{\text{varmeelement}} \cdot 168 \text{ timer} \cdot \text{Strømpris}$$

$$\text{Kostnader per år} = \text{effektforbruk}_{\text{varmeelement}} \cdot 8760 \text{ timer} \cdot \text{Strømpris}$$

Ved å sette inn verdiene fra tabell I-4 i formlene over blir resultatet følgende:

Tabell I-5 Resultat kostnader for elektriske tørkeanlegget

Forbruker	Kostnader [NOK/uke]	Kostnader [NOK/år]
Elektrisk varmeelement	20 000	1 100 000
Elektrisk varmebatteri	8 000	400 000
Sum	28 000	1 500 000

I.2 Beregninger kostnader dampkjel

I.2.1 Kostnader for kjel som hjelper varmpumpe

For komponenter som bruker gassenergi må det tas hensyn til kjelvirkningsgraden for å finne virkelig gassforbruk. Kjelvirkningsgraden er estimert til 88,2 % i vedlegg D.1.3.

For å beregne virkelig gassforbruk benyttes denne formelen hentet fra *Teknisk formelsamling med tabeller* (Pedersen, et al., 1998):

$$P_{\text{virkelig}} = \frac{P_{\text{ideell}}}{\eta_{\text{kjel}}} \quad (\text{I. 2.1})$$

Differanseeffekten som kjelen hjelper varmpumpen med er 1915 kW. For å beregne om til kroner deles differanseeffekten på virkningsgraden til kjel. Det gjøres for å finne virkelig gassforbruk slik at man kan beregne kostnadene til gassen.

$$P_{\text{virkelig}} = \frac{1915 \text{ kW}}{0,882} \quad (\text{I. 2.1})$$

$$P_{\text{virkelig}} = 2171 \text{ kW}$$

Formel for beregning av gasskostnadene til den eksisterende varmpumpen når den får hjelp av kjelen til å varme opp vannet til 47 grader:

$$\text{Kostnader per dag} = \text{effektforbruk}_{\text{varmpumpe,diff}} \cdot 24 \text{ timer} \cdot \text{Gasspris}$$

Tabell I-6 Kostnader for gassenergi som blir brukt til dekke energidifferansen

Dager	Daglige kostnader [NOK]
Mandag-søndag	21 400

I.2.2 Kostnader kjel

Tabell I-7 Kostnader for gassenergi inn og ut av kjel

Gass inn til kjel	Gasspris [kWh/NOK]	Timer i drift [h]	Energi [kW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Energiinnhold i gass	0,41	8760	6200	22,27
Nyttig energi	0,41	8760	5200	18,68
Tap i kjel	0,41	8760	1000	3,59

Antagelser:

- Gassprisen holder seg konstant hele året 0,41 kWh/NOK
- Kjelen er i drift hele året 8760 timer

Formel for beregning:

$$\text{Kostnader i året} = \text{Effektforbruk} \cdot \text{Timer i året} \cdot \text{Gasspris}$$

I.3 Beregning av kostnader forbrukere av damp

For å kunne gjøre beregninger er det blitt antatt:

- Anlegget er i drift 8 760 timer i året
- Gassprisen er 0,41 NOK/kWh og er konstant hele året

Formel for beregning:

$$\text{Kostnader per år} = \dot{Q}_{\text{forbruker}} \cdot 8760 \text{ timer} \cdot \text{Gasspris}$$

Tabellene I-8, I-9, I-10 og I-11 viser data for effektforbruket og beregnede årlige kostnader der formelen over er benyttet.

Tabell I-8 Kostnadsforbruk steamvekslere

Forbruker	\dot{Q} [MW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Blanding H1	1,03	3,71
Blanding H2	0,94	3,38
Fikseringstank H2	0,15	0,54
Syrevask H2	0,31	1,12
Kokeri H1	-	-
Sum	2,44	8,76

Tabell I-9 Kostnadsforbruk kneatere

Forbruker	\dot{Q} [MW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Kneater H1	0,034	0,12
Kneater H2	0,034	0,12
Sum	0,067	0,24

Tabell I-10 Kostnadsforbruk steamskruer

Forbruker	\dot{Q} [MW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Steamskruer H1	0,69	2,47
Steamskruer H2	1,01	3,62
Sum	1,69	6,08

Tabell I-11 Kostnadsforbruk tørking med damp

Forbruker	\dot{Q} [MW]	Kostnader [$\cdot 10^6$ NOK/år]
Alginattørking H2	0,15	0,52
Alginsyretørke H2	0,06	0,22
Sum	0,21	0,74

I.4 Beregning av kostnader energitap

I.4.1 Kostnader varmetap steamskruer

Steamskruene har til sammen et varmetap på 15,9 kW. Det virkelige gassforbruket beregnes som i vedlegg I.2.1.

$$P_{\text{virkelig}} = \frac{P_{\text{ideell}}}{\eta_{\text{kjel}}} \quad (I.2.1)$$

$$P_{\text{virkelig}} = \frac{15,9 \text{ kW}}{0,882}$$

$$P_{\text{virkelig}} = 18 \text{ kW}$$

For å regne på tapskostnadene til steamskruene brukes denne formelen:

$$\text{Kostnader per år} = P_{\text{virkelig}} \cdot 8760 \text{ timer} \cdot \text{Gasspris}$$

Innsatte verdier i formelen over gir:

$$\text{Kostnader per år} = 65\,000 \text{ NOK}$$

I.4.2 Kostnader varmetap ufiltrert tank

Det virkelige gassforbruket beregnes som i vedlegg I.2.1.

$$P_{\text{virkelig}} = \frac{P_{\text{ideell}}}{\eta_{\text{kjel}}} \quad (I.2.1)$$

$$P_{\text{virkelig}} = \frac{42 \text{ kW}}{0,882}$$

$$P_{\text{virkelig}} = 48 \text{ kW}$$

For beregning av varmetapet i tanken, antas det at all varme kommer fra dampenergi.

$$\text{Kostnader per år} = P_{\text{virkelig}} \cdot 8760 \text{ timer} \cdot \text{Gasspris}$$

Innsatte verdier i formelen over gir:

$$\text{Kostnader per år} = 171\,000 \text{ NOK}$$

I.4.3 Beregning på kostnader annet varmetap

Annet varmetap er 0,357 MW. Noe av denne energimengden går til de resterende forbrukerne av damp, mens resten er energitap.

Formel for beregning av tapskostnader:

$$\text{Kostnader per år} = \text{Varmetap}_{\text{annet}} \cdot 8760 \text{ timer} \cdot \text{Gasspris}$$

$$\text{Kostnader per år} = 1\,280\,000 \text{ NOK}$$

Parat Halvorsen as Postb. 173, 4402 Flekkefjord. Tlf. 99485500 Fax 38 32 44 71

Kjel II

Revisjon nr. 02. Dato: 21.02.02

09 FORBRENNINGSRAPPORT GASS

Driftstimer olje 174.40
Driftstimer gass 15355.61



Kunde	FME Biopolymer		TH. nr.	
Adresse	Haugesund		NK nr.	970006
Kjelfabrikkat	Parat	Type	Ytelse	12000 kg/d
Brennerfabr.	Weishaup	Type	Ytelse	
Brennstoff	Naturgass	Brennverdi	Ytelse	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Brenner Stillings gass trykkl møter	Reg. Motor	Før reg.	Etter reg.	Gass Trykk m. Bar	Blande kammer trykk m. Bar	Gass mengde l/h	CO ₂ %	O ₂ %	CO ppm	Sot	Røk- gass temp. °C	Fyrhus temp. °C	Kjel Trykk kg	Trykk Brenn- kammer mbar	Trykk Brenner (prfnær) mbar	Trykk Brenner (sekund) mbar	Måte vann Temp. °C	Virknings- grad Fyrings- teknikk)	Lambda
220	340	420	520							580				3600	5.4	8.6	5.6	73	0-1	141.2	23.2	8.2	49	49	62	89.7	1.33		
340	420	420	520							3580				9.2	34.4	9.3	4.2	74	0-1	153.5	23.2	4.9	29.1	29.1	67	89.1	1.23		
420	420	420	520							3580				9.1	49.1	9.3	4.4	70	0-1	173.6	23.2	4.3	35.2	35.2	67	87.5	1.43		
520	520	520	520							3560				9.1	59.1	10.1	2.9	78	0-1	190.5	23.2	5.9	35.9	35.9	67	87.4	1.14		

Maks røkgassstemperatur : _____ °C
Maks CO₂ : 19%
Min. CO₂ : 7%

Merknader: Forbrenningsstemperoll olje ikke utført. Ingen driftstimer siste år, heller ikke olje på iaktret.

Tellhetedsprotoll av gassarmatur, Trykkfall eller
Smin. prøvetid = 0 m. Bar - Prøvetrykk 234 m. Bar
En del slark i servomotor - regulator - overføringer
til øgield

Utført av: 28-6-12 Gunnar Rødland Kontrollert av: _____
Dato og underskrift _____ Dato og underskrift _____