



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Maskin (ING3039)

ING3039-BAC-2021-VÅR-FLOWassign

Predefinert informasjon

| | | | |
|-----------------------|----------------------------|------------------------|----------------------------|
| Startdato: | 28-01-2021 09:00 | Termin: | 2021 VÅR |
| Sluttdato: | 21-05-2021 12:00 | Vurderingsform: | Norsk 6-trinns skala (A-F) |
| Eksamensform: | Bacheloroppgave | | |
| SIS-kode: | 203 ING3039 1 BAC 2021 VÅR | | |
| Intern sensor: | (Anonymisert) | | |

Deltaker

| | |
|---------------------|------------------|
| Navn: | Kestrin Kelmendi |
| Kandidatnr.: | 216 |
| HVL-id: | 133302@hvl.no |

Informasjon fra deltaker

| | |
|--------------------------|---|
| Tittel *: | Simulering og optimalisering av vekslertog for alginatproduksjon ved IFF Vormedal |
| Antall ord *: | 11228 |
| Engelsk tittel *: | Simulating and optimization of exchanger trains for the production of algin at IFF Vormedal |

Sett hake dersom ja
besvarelsen kan brukes
som eksempel i
undervisning?:

Egenerklæring *: ja
Inneholder besvarelsen Nei
konfidensielt
materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har ja
registrert
oppgavetittelen på
norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn: M08
Gruppenummer: 7
Andre medlemmer i
gruppen: Marius Iversen

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

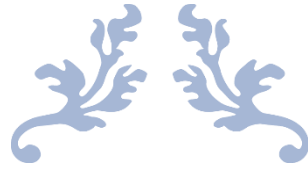
Ja

Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Ja, IFF Vormedal



SIMULERING OG OPTIMALISERING AV VARMEVEKSLERE TIL ALGINAT PRODUKSJON

Bacheloroppgave - Høgskolen på Vestlandet - Campus Haugesund - Ingeniørfag



Figur 1 Fabrikken på Vormedal [1].

JANUAR 21, 2021
IFF VORMEDAL HAUGESUND
Steinhaugveien 1, 5545 Vormedal

Marius Iversen
Kestrin Kelmendi

Kandidatnummer 207
Kandidatnummer 216

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn: Marius Iversen, Kestrin Kelmendi

Linje & studieretning Maskiningeniør 2018 (Prosess- og energiteknikk)

Oppgavens tittel: Simulering og optimalisering av vekslertog for alginatproduksjon ved IFF Vormedal

Oppgavetekst:

Modellere og optimalisere eksisterende varmevekslertog. Presentere forbedringspotensialet med tanke på kjemisk rengjøring og hvilke modifikasjoner som er nødvendig.

- Simulere vekslertog i HYSYS
- Analysere prosessdata
- Presentere besparelser for vedlikehold og energi/virkningsgrad

Utarbeide et forslag til forbedret rengjøring av varmevekslerløsning

- Beregne NPV og internrente ved investering

Endelig oppgave gitt: 19.02.21

Innleveringsfrist: Fredag 21.mai 2021 kl. 12.00

Intern veileder: Liina Sangolt (HVL)

Ekstern veileder: Ingvald Bårdsen

emailadresse: ingvald.bardsen@dupont.com

Godkjent av studieansvarlig:

Dato:

Forum S. Nysted

28/4-21

Forord

Denne bachelor-oppgaven er gitt av IFF som i år har slått seg sammen med Dupont Nutrition and Biosciences. Oppgaven gir 20 studiepoeng og går ut på å analysere forbedringspotensialet til rensing av varmevekslerne som brukes i fabrikken på Vormedal. Til dette er det tatt i bruk kunnskap fra fagene «Varme- og strømningslære», «Prosessteknikk 1» og «Prosessteknikk 2». Det er i tillegg funnet stoff i andre bøker og på internett.


Oppgaven har vært svært krevende, men også svært lærerik. Det har vært et bedriftsbesøk hos fabrikken til tross for koronarestriksjonene og veilederne har vært kjekke og engasjerte.

Selve arbeidet har vært yrkesrettet. Bruk av HYSYS og Excel er nødvendige verktøy for enhver prosessingeniør. Oppgaven har derfor gitt mye relevant arbeidserfaring.

Vi vil gjerne takke:

- Ingvald Bårdsen, ekstern veileder fra IFF.
- Liina Sangolt, intern veileder på HVL
- Marie Hollekim, driftsansvarlig på fabrikken.


Marius Iversen


Kestrin Kelmendi

Innhold

| | |
|---|----|
| Forord | 3 |
| Figurliste..... | 6 |
| Tabelliste | 8 |
| Ordliste | 9 |
| Sammendrag | 10 |
| Summary | 11 |
| Innledning..... | 12 |
| IFF Nutrition and Biosciences..... | 12 |
| IFF | 12 |
| Tarehøsting | 12 |
| Alginat..... | 13 |
| Bakgrunn for oppgaven | 14 |
| Målsetting for oppgaven..... | 14 |
| Avgrensning | 14 |
| Løsningsmetode | 14 |
| Teori | 15 |
| Varmeveksling | 15 |
| Beregningsteori og fouling..... | 15 |
| Systembeskrivelse | 16 |
| Plateveksler | 16 |
| Fouling | 17 |
| Nåværende system..... | 18 |
| Komponenter | 18 |
| Fleksibel driftssituasjon..... | 18 |
| Arbeidsmedier og fouling..... | 18 |
| Vedlikeholdssyklusen i praksis | 18 |
| Tidsestimat på «servicetid» | 18 |
| Økt produksjon, hyppigere vedlikehold | 19 |
| CIP – «Clean in Place»..... | 19 |
| CIP vaskesyklus | 20 |
| Vaskemiddel..... | 21 |
| Metode..... | 23 |
| Databehandling..... | 23 |
| Feildata | 23 |
| Fjerning av feildata..... | 24 |

| | |
|---|------|
| Fouling | 26 |
| Sjøvann..... | 28 |
| Første veksler i sjøvannserien | 28 |
| Vekslerne i sjøvannserien..... | 30 |
| Modellering | 33 |
| Modellering | 34 |
| Simulering | 37 |
| Energiberegninger | 38 |
| Varmetap | 38 |
| Kjøletap | 41 |
| Sjøvannstap | 41 |
| Resultater..... | 43 |
| Varmetap | 43 |
| Kjøletap | 44 |
| Sjøvannstap | 44 |
| Prosjektforslag; Mobil CIP enhet..... | 45 |
| Investeringsutgift..... | 45 |
| Energisum..... | 46 |
| Kontantstrøm..... | 46 |
| Nåverdianalyse | 47 |
| Diskusjon..... | 47 |
| Konklusjon | 48 |
| Videre arbeid | 48 |
| Bibliografi | 49 |
| Vedlegg | i |
| Grafer for U-verdi til alle vekslerne på H1 | i |
| Grafer for U-verdi til alle vekslerne på H2 | v |
| Rådata for modellering av veksleretog | ix |
| Excel-formler for energiberegning av varmetap | xi |
| Vaskelogg for 2018 | xiii |
| H1 | xiii |
| H2 | xv |
| Veksler spesifikasjoner | xvii |
| 323 Plater..... | xvii |
| 271 plater..... | xvii |

Figurliste

| | |
|---|-----|
| Figur 1 Fabrikken på Vormedal [1]..... | 1 |
| Figur 2 Stortare [6]..... | 12 |
| Figur 3 Taretråling [3]..... | 13 |
| Figur 4 Fellekar fra H1. Foto Marius Iversen | 13 |
| Figur 5 Eksisterende vannsystem. Flowskjema gitt av fabrikk..... | 16 |
| Figur 6 Plateveksler på H1. Foto Marius Iversen..... | 17 |
| Figur 7 Volumstrøm for sjøvann i H1, feildata er tydelig i perioden 18.02.2020-10.04.2020. | 23 |
| Figur 8 Ugunstig plassering av termometer i H1. P&ID hentet fra fabrikk. | 24 |
| Figur 9 Eksempel på varighetskurve, her volumstrømmene til H2. Det er et veldig tydelig skille mellom drift og stans på satsstrømmen. | 25 |
| Figur 10 Eksempel på regneark der ubrukelige temperaturer er filtret vekk. | 26 |
| Figur 11 Eksempel på variasjon av virkningsgrad over tid fra H1 gjennom året 2020. | 27 |
| Figur 12 Eksempel på graf av U-verdier fra H1. Denne veksleren bruker kun ferskvann hele året. | 27 |
| Figur 13 Eksempel på graf av U-verdier fra H1. Denne veksleren bruker sjøvann deler av sommeren og høsten. | 28 |
| Figur 14 Graf over perioder der de forskjellige vekslerne i H1 er først i sjøvannserien. Tallene på den vertikale akse viser til tallet til veksleren..... | 29 |
| Figur 15 Graf over perioder der de forskjellige vekslerne i H2 er først i sjøvannserien. Tallene på den vertikale akse viser til tallet til veksleren..... | 30 |
| Figur 16 Eksempel på varighetskurver for temperatur..... | 31 |
| Figur 17 Eksempel på varighetskurve for volumstrøm. Legg merke til at nesten 15% av tiden til sjøvannet er feildata. | 31 |
| Figur 18 Graf over periodene med sjøvann i serie på H1. Tallet på den vertikale akse forteller minimum antall veksler som kjøres på sjøvann..... | 32 |
| Figur 19 Graf over periodene med sjøvann i serie på H2. Tallet på den vertikale akse forteller minimum antall veksler som kjøres på sjøvann..... | 33 |
| Figur 20 Base for videre modellering av H1. Platevekslermodellene er røde for å indikere manglende strøm på kald side. | 34 |
| Figur 21 Vanntemperatur til varmepumpe fra H1..... | 39 |
| Figur 22 Vanntemperatur til varmepumpe fra H2..... | 39 |
| Figur 23 Varighetskurver til volumstrøm på H1..... | 40 |
| Figur 24 Varighetskurver til volumstrøm på H2..... | 41 |
| Figur 25 Graf av U-verdi for veksler 1 på H1..... | i |
| Figur 26 Graf av U-verdi for veksler 2 på H1..... | i |
| Figur 27 Graf av U-verdi for veksler 3 på H1..... | i |
| Figur 28 Graf av U-verdi for veksler 4 på H1..... | ii |
| Figur 29 Graf av U-verdi for veksler 5 på H1..... | ii |
| Figur 30 Graf av U-verdi for veksler 6 på H1..... | iii |
| Figur 31 Graf av U-verdi for veksler 7 på H1..... | iii |
| Figur 32 Graf av U-verdi for veksler 8 på H1..... | iv |
| Figur 33 Graf av U-verdi for veksler 1 på H2..... | v |
| Figur 34 Graf av U-verdi for veksler 2 på H2..... | v |

| | |
|---|------|
| Figur 35 Graf av U-verdi for veksler 3 på H1..... | vi |
| Figur 36 Graf av U-verdi for veksler 4 på H2..... | vi |
| Figur 37 Graf av U-verdi for veksler 5 på H2..... | vii |
| Figur 38 Graf av U-verdi for veksler 6 på H1..... | vii |
| Figur 39 Graf av U-verdi for veksler 7 på H2..... | viii |

Tabelliste

| | |
|--|------|
| Tabell 1 Ordliste..... | 9 |
| Tabell 2 Oversikt over vaskemidler [10]..... | 22 |
| Tabell 3 Informasjon til rør-simulasjon | 29 |
| Tabell 4 Resultatet av beregningene på første veksler i sjøvannserien..... | 30 |
| Tabell 5 Temperaturene til vannstrømmen for enkel sjøvannsimulering..... | 31 |
| Tabell 6 Temperaturene til satsstrømmen for enkel sjøvannsimulering..... | 32 |
| Tabell 7 Volumstrømmene for enkel sjøvannsimulering..... | 32 |
| Tabell 8 Resultatene fra enkel sjøvannsimulering..... | 32 |
| Tabell 9 Resultatet av beregningene på vekslere i sjøvannserien..... | 33 |
| Tabell 10 Tidspunkt for modellering | 34 |
| Tabell 11 U-verdier fra Excel for valgte modelleringstidspunkt..... | 35 |
| Tabell 12 Resultat til modellen til H2 - Vinter med originale U-verdier..... | 36 |
| Tabell 13 Tunede verdier til H2 - Vinter..... | 36 |
| Tabell 14 Resultat til modellen til H2 - Vinter med tunede U-verdier..... | 37 |
| Tabell 15 Forbedrede U-verdier brukt i simuleringene..... | 38 |
| Tabell 16 Resultater fra simulering..... | 38 |
| Tabell 17 Resultater til varmetapsberegninger til H1..... | 43 |
| Tabell 18 Resultater til varmetapsberegninger til H2..... | 43 |
| Tabell 19 Total energigevinst for oppvarming av ferskvann..... | 43 |
| Tabell 20 Resultater til kjøletapsberegninger..... | 44 |
| Tabell 21 Resultater til sjøvannstapsberegninger..... | 44 |
| Tabell 22 Investeringskostnad..... | 45 |
| Tabell 23 Energi som må dekkes fra eksternt forsynte kilder..... | 46 |
| Tabell 24 Kontantstrøm..... | 46 |
| Tabell 25 Nåverdianalyse..... | 47 |
| Tabell 26 Operasjonelle data for H1 Vinter | ix |
| Tabell 27 Operasjonelle data for H1 Sommer..... | ix |
| Tabell 28 Operasjonelle data for H2 Vinter | x |
| Tabell 29 Operasjonelle data for H2 Sommer..... | x |
| Tabell 30 Vaskelogg for H1 fra 2018..... | xiii |
| Tabell 31 Vaskelogg for H2 fra 2018..... | xv |
| Tabell 32 Spesifikasjoner for vekslere med 323 plater..... | xvii |
| Tabell 33 Spesifikasjoner for vekslere med 273 plater..... | xvii |

Ordliste

Tabell 1 Ordliste

| | |
|--------------------|--|
| Vekslertog | Vekslere koblet i serie |
| Alginat | Salter av alginatsyre. Brukes til medisin [2]. |
| Sats | Alginatet under produksjon |
| IFF | International Flavors & Fragrances Inc. |
| Vannhammer | Et «slag» av vann som forekommer ved rask endring av vannets moment. Mer generelt kjent som trykkstøt. |
| Nestede funksjoner | Funksjoner som er variabler i andre funksjoner. |
| CIP | «Clean in Place». Automatisk rengjøringsystem for prosessutstyr. |
| HYSYS | Simuleringsprogram |
| Fouling | Samling av uønsket materiale i prosessutstyr. |
| NSB Steam | Damptabell |
| COP | «Coefficient of Performance». Forholdet mellom oppvarming eller kjøling og tilført arbeid (energi). |
| PI Vision | Programvare for visualisering av prosessdata. |
| PI DataLink | Excel-plugin til PI Vision. |
| Termolommer | |

Sammendrag

Fabrikken på Vormedal produserer alginat. Alginat er salter av alginat syre, et polysakkarid. For å spare på energi er det tatt i bruk varmevekslere på fabrikken. Den varme satsstrømmen kjøles ned ved bruk av ferskvann fra Vormedalsvatnet, og ved bruk av sjøvann fra Karmsundet.

Om vinteren er Vormedalsvatnet kaldt nok til å kunne kjøle ned satsen, men på sommerhalvåret vil innsjøen ofte være for varm. Da brukes nedkjølt sjøvann fra varmpumpen i siste halvdel av vekslerne, mht. satsstrømmen. Problemet med det er at all varmen som overføres til sjøvannet går tapt ettersom sjøvannet ikke kan brukes videre i produksjonen. Ferskvannet derimot varmes videre opp før det blandes med satsstrømmen. På den måten blir energimengden som må til for å varme opp satsen begrenset.

Verken Vormedalsvatnet eller sjøvannet er tilstrekkelig filtrert. Dette skaper store vedlikeholdsproblemer for vekslerne. Hver veksler må demonteres slik at hver enkelt plate kan renses med høytrykkspyler. Dette tar ti timer på de større vekslerne og åtte på de mindre. Oppgaven har derfor gått ut på å undersøke såkalte «Clean-in-place» eller CIP-løsninger. Disse vil automatisere vaskingen og unngå at vekslerne må demonteres for hver vask.

For å undersøke effektiviteten til en slik løsning er det brukt Excel til å hente ut og behandle operasjonelle data, og HYSYS for å modellere vekslertogene. Etter simulering er det gjort energiberegninger for å finne ut hvor mye energi en hadde spart ved å bruke en CIP-løsning.

Til slutt er det gjort økonomiske analyser for å vise lønnsomheten til utvalgte CIP-løsning.

Summary

The factory at Vormedal produces alginate. Alginate is a salt of alginate acid, a polysaccharide. To save energy, heat exchangers have been used at the factory. The hot batch stream is cooled by using fresh water from Vormedalsvatnet and by using seawater from Karmsundet.

During the winter, Vormedalsvatnet is cold enough to cool the rate, but in the summer the lake will often be too warm. Cooled seawater from the heat pump is then used in the last half of the exchangers, with regards to the batch stream. The problem with this is that all the heat that is transferred to the seawater is lost as the seawater cannot be utilized further in the production process. The fresh water on the other hand, is heated further before it is mixed with the batch stream. In this way, the amount of energy needed to heat the charge is minimized.

Neither Vormedalsvatnet nor the seawater are adequately filtered. This creates major maintenance issues for the heat exchangers. Each exchanger must be dismantled so that each plate can be cleaned with a high-pressure washer. This takes ten hours on the larger exchangers and eight on the smaller ones. The assignment has therefore been to investigate so-called "Clean-in-place" or CIP solutions. These will automate the washing and avoid having to disassemble the exchangers for each wash.

To examine the effectiveness of such a solution, Excel has been used to extract and process operational data, and HYSYS to model the exchange trains. After simulation, energy calculations have been done to find out how much energy could be saved by using a CIP solution.

Lastly, financial analyses have been done to show the profitability of the selected CIP solution.

Innledning

IFF Nutrition and Biosciences

IFF har et produksjonslokale for alginat som ligger på Vormedal, sør for Haugesund. Her produserer og omsettes tare baserte produkter til et vidt spekter av bransjer. Fabrikken har siden 1961 etablert seg som en av hjørnesteins bedriftene i lokalområdet. Sett i forhold til oppstarten i 1961 er produksjonen i stor grad automatisert. Fabrikken står for alt fra høstingen av taren til videreforedling og omsetningen av ferdigprodukt, noe som gjør at fabrikken bidrar betraktelig til verdiskapning og sysselsetting i regionen utover egen bransje [3].

IFF

IFF tilbyr et vidt spekter av unike, nyskapende og ledende løsninger innen mat, drikke, ernæring og farmasi. IFF har 2 produksjonssteder for alginat i Norge. En fabrikk på Vormedal og et større laboratorium ved Sandvika i Oslo. Laboratoriet består av avdelingene produktutvikling og teknisk støtte. Anlegget i Sandvika produserer også ultra rene kvaliteter av alginat og er avhengig av råstoff fra fabrikken på Vormedal [4].

Tarehøsting

På bakgrunn av en kontinuerlig utvikling basert på et unikt erfaringsgrunnlag opparbeidet siden 60-tallet, har fabrikken på Vormedal gått fra å bruke blæretang og importert tørket tare til lokal høsting av stortare. Alginatet produsert i Norge er en handelsvare av høy kvalitet med en stor internasjonal etterspørsel.

Innhøstingen har en «hands on» tilnærming, hvor en slags kjelke lignende trål- anordning, klipper, samler og trekker taren ombord i en bevegelse. Tare-feltene er regulert av fiskeridepartementet hvor felt «ligger brakk» ca. 4 år etter en større innhøsting er gjennomført [5].



Figur 2 Stortare [6]



Figur 3 Taretråling [3]

Tareavlingen er av varierende kvalitet, ferskhet er avgjørende for å opprettholde et høyt kvalitets nivå på ferdig produkt. Taren losses fra innhøstings prammer til videre behandling på fabrikk havna i Vormedal. Stilkene (figur 1) har høyest andel råstoff og er godt egnet til alginatproduksjon, «bladene» nyttes også, men er ikke gunstige som råstoff til alginatproduksjonen [6].

Alginat



Figur 4 Fellekar fra H1. Foto Marius Iversen

Alginat er salter av alginat syre, et polysakkarid. Alginatet fremgår som en del av brunalgens versjon av fotosyntesen, hvor algecella produserer en slags beskyttende gele rundt seg selv. Pulverformen av stoffet har en god egenskap til å binde vann, og virker fortykkende.

Geleen fungerer stabiliserende og tas lett opp i menneskekroppen. Det er både vegansk, halal og kosher m.m. Alginatets allsidighet og egenskaper har derfor ført til at stoffet er spesielt etterspurt i farmasien og matvare produksjon [7].

Bakgrunn for oppgaven

Prosessanlegget på Vormedal har opp gjennom oppgradert produksjonslokalene etter behov. Med kontinuerlig drift siden 1961 har denne tilnærmingen løst, men også amplifisert eksisterende problemstillinger.

Større etterspørsel fører til; økt volum av produkt fra fabrikken, samtidig øker energibehov og kapasitetskrav til systemkomponenter.

Det fremstår et betraktelig gap mellom energikonsumet på sommer og vinterhalvåret. Bedriften ønsker å kartlegge størrelsen på mulige innsparinger og hvilken energigevinst er tilgjengelig slik en kan optimalisere driften av vekslertogene kan gi.

Bedriften har behov for en utbedring av vaskeprosedyre og metode, samt en overordnet prosess oversikt.

Målsetting for oppgaven

Skape en reell modellering av vekslertogene som gjenspeiler virkeligheten. Ved bruk av simulasjonsmodell og forskjellige scenario kunne bestemme hvor stort utbedringspotensiale til vekslertogene er. Modelleringsscenario baseres på prosessdata fra produksjonen.

En vurdering av utbedringspotensiale diskuteres. I hovedsak hvilken strategi eller teknisk løsning som er hensiktsmessig å implementere for å løse f.eks. et eksessivt energikonsum eller ineffektivitets tilstander i eksisterende infrastruktur og prosedyrer.

Slik sikre en kontrollerbar kontinuerlig produksjon og muliggjør fullstendig prosessoversikt i sanntid.

Avgrensning

I rapporten konsentrerer vi oss om vekslertogene H1 og H2, systemgrensen blir der sats og kjølemedium introduseres, frem til dump eller videre prosessering. Forslag til utbedring og omkostninger baseres på resultater fra simuleringer.

For reguleringstekniske løsninger og andre forslag til utbedring vil det ikke ligge en utvidende teoretisk avhandling for i rapporten.

Avgrensningene settes for å sikre et balansert forhold mellom studentenes faglige avkastning og bedriftens nytteverdi av rapporten.

Løsningsmetode

En fullstendig kartleggelse av varmevekslersystemet ved fabrikken IFF Vormedal, med hovedformål å synliggjøre mulig energigevinst, har ikke blitt gjennomført tidligere.

Prosessdata fra fabrikken blir gjort tilgjengelig for studentene. Disse operasjonelle dataene behandles og en simuleringsmodell fremstilles. På bakgrunn av disse simulasjonene presenteres forbedringspotensialet og forslag til forebyggende tiltak.

Løsninger og energigevinst prøves opp mot et overordnet økonomisk perspektiv. Med økonomiske analyser og tilbud fra mulige leverandører som avgjørende for om foreslåtte tiltak resulterer i en realistisk forbedring av dagens situasjon.

Teori

Varmeveksling

Varmevekslere er anordninger som tillater temperatur utveksling mellom fluider eller gasser. Temperatur utvekslingen skjer uten å blande mediene med hverandre. Varmevekslere som teknisk løsning har mange bruksområder og er et nyttige verktøy for å effektivisere produksjon og energikonsumerende prosesser.

Flere variasjoner av varmevekslere er implementert i dagliglivet og industrien på forskjellige måter.

Radiatoren i en bil er form for varmeveksler, den er avgjørende for å holde kjølevæska til motoren rundt en jevn og kontrollerbar temperatur. Varmevekslingen, utvekslingen av temperatur, forgår ved konveksjon mellom mediene slik en termisk konduksjon gjennom vegg i varmeveksleren som skiller mediene kan forekomme [8].

Alginatproduksjonen er en prosess som er avhengig av temperaturforandringer. For å oppnå gunstige temperaturforhold og kvalitet på produksjonsstrøm, skjer temperaturutveksling på produksjonsstrømmen ved gjennomstrømning i seriekoblede platevarmevekslere.

Spesielt for fabrikken på Vormedal er at kjølemediet til noen av vekslerne skifter mellom ferskvann fra Vormedalsvannet og saltvann fra Karmsundet.

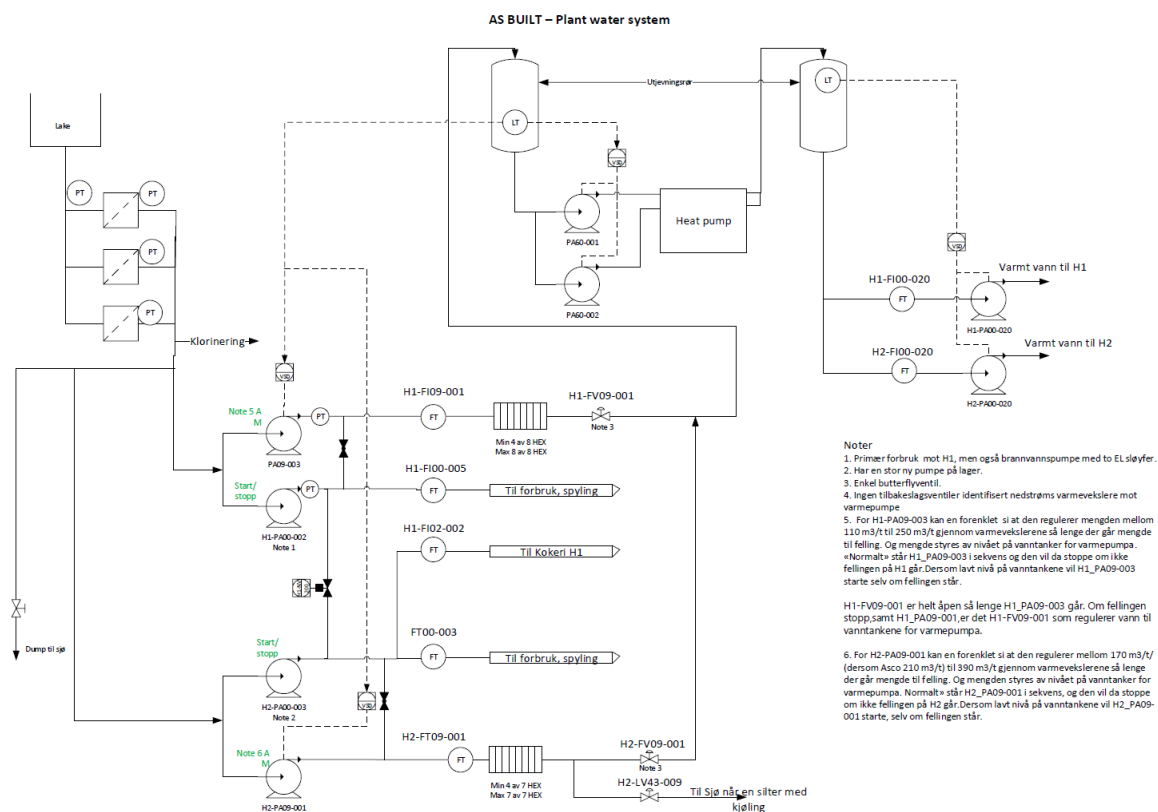
Beregningsteori og fouling

For å gjøre rede for alle faktorer som konveksjon, konduksjon, material og forskjellige medier byr på, brukes «U» som betegnelse for varmeoverføringskoeffisienten. I kombinasjon med temperaturdifferanse mellom mediene kan man med U-verdi beskriver raten varme overføres mellom mediene i vekslerne. For temperaturkalkulasjoner som gjenspeiler en reell situasjon bruker man en logaritmisk midlere temperaturdifferanse (LMTD).

En korreksjonsfaktor F kan introduseres ved behov. Slike faktorer veier opp for avvik fra det ideale strømningsforhold. For platevarmevekslere er mellomrommene så små at avviket kan neglisjere.

“Fouling” en beskrivelse på renhet og effektivitet. Fouling-faktoren er avhengig av operasjonell temperatur, strømningshastighet i varmevekslere og vedlikeholdsprosedyrer. Fouling øker vanligvis i takt med temperatur og lavere hastighet. Fouling-faktoren er null på en helt ny varmeveksler og øker ved bruk etter hvert som belegg bygger seg opp og platene eroderes ved bruk [8].

Systembeskrivelse



Figur 5 Eksisterende vannsystem. Flowskjema gitt av fabrikk.

Varmevekslerne kjøler ned satsen og bruker denne energien til å varme opp vannet som deretter sendes til varmepumpe. Vekslertogene fullfører altså et kjølebehov og et varmebehov samtidig, men en kan prioritere den ene eller den andre om nødvendig.

Vann suges inn fra Vormedalsvannet gjennom en sil som blokkerer større gjenstander som for eksempel greiner. Videre blir vannet filtrert før det pumpes til varmevekslere, spyling eller annet forbruk. Det kan også dumpes rett til sjø hvis vannstanden er for høy ved inntaket. Vannmengden gjennom vekslertogene bestemmes i praksis av en nivået i buffertank 1. En nivåmåler bestemmer frekvensen til pumpene som pumper vannet inn til varmevekslerne.

Om vinteren dominerer varmebehovet, ettersom kjølebehovet dekkes av det kalde Vormedalsvannet. Om sommeren dominerer kjølebehovet. Da brukes nedkjølt sjøvann fra varmepumpen som dumpes etter bruk. Selv med sjøvann blir ikke kjølebehovet dekket om sommeren.

På H1 kan det brukes sjøvann på opptil 4 varmevekslere (de siste fire). På H2 kan det brukes sjøvann på opptil 3 varmevekslere (de første tre).

Plateveksler

Platevarmevekslere består av flere plater, plateflatene preges av et bølgede strømningspassasjer. Platene skilles med en pakning av hensiktsmessig materiale og monteres inn i en ramme(bilde).

Platevekslere er godt skikket for å sikre en effektiv termisk konduktivitet mellom fluider, dersom dem holder omtrent samme trykk gjennom veksleren. Mediene strømmer gjennom rør

som fordeler mediet slik en oppnår en uniform spredning på flatene. Forskjellige medier eksponerer hver sin side av platene. Strømningsfordeling på veksler platene er utformet slik at hver kald fluid strøm har 2 varme fluid strømmer rundt seg. Ved “2 på 1” fordelingen oppnår man en effektiv termisk overføring mellom mediene. Dersom et behov for større varmeoverførings kapasitet er nødvendig, kan vekslerne enhetene påmonteres flere plater opp til maksimal kapasitet på rammeverket er nådd [8].



Figur 6 Plateveksler på H1. Foto Marius Iversen

Fouling

Ytelsen til en varmeveksler blir dårlig etter et gitt tidsrom som følge av en beleggdannelse på overflatene som står for vekslerens termiske konduktivitet. Beleggannelsen på vannsiden er ofte en akkumulasjon av salter og mineraler. Belegget fører til en ugunstig isolasjon på flatene som resulterer i dårligere varmeoverføringsegenskaper.

Dermed går varmeoverførselsraten og effektiviteten ned på vekslerløsningen.

Akkumulasjonen skaper et strømningsbegrensende belegg og tilstander som på forskjellige måter fungerer begrensende for den termiske konduktiviteten. Dette betegnes som “Fouling”.

Gir et kvantitativ tall på termisk motstand.

Forebyggende tiltak for å begrense fouling effekten i varmevekslere løses ofte ved før prosessering av medier i for eksempel; fellekar, tilsette kjemikalier o.l.

Fouling forekommer også som følge av slitasje, ofte som korrosjon etter lang tids eksponering av forskjellige kjemikalier. Denne formen for fouling betegnes som kjemisk fouling. Kjemisk fouling er ofte produktet av en akkumulasjon av kjemiske reaksjoner på vekslerflatene som følge av materialene veksleren er laget av reagerer med mediene. En kan sikre seg mot kjemisk fouling ved å gjøre bevisste materialvalg eller behandle overflater med isolerende materialer. (eks, metallrør med glass belegg, bytte ut metall med plast eller ikke-reagerende materialer).

Biologisk fouling kommer fra vekst av organisk materialer. Belegg av alger, bakterie og lignende bygger seg opp på vekslerflatene. Biologisk fouling er vanligere ved varmere fluider

og lavere strømningshastighet. Denne typen fouling behandles ofte ved bruk av kjemikalier [8].

Nåværende system

Komponenter

Vekslertogene ved IFF Vormedal er levert av APX og består av 8+7 vekslere. Vekslerne har en kapasitet på 272 plater eller 323 plater. Vekslertogene krever vedlikehold, som i dag skjer ved fullstendig demontering og høytrykksspyling, av hver enkelt veksler. Dette logges på stedet, på samme måte som vekslingen mellom salt- og ferskvann logges.

Veksling mellom salt og ferskvann styres manuelt av tekniker, noe som begrenser sanntidsinnsikt for operatør.

Fleksibel driftssituasjon

Når plater viser seg å være defekte eller de blir ødelagte kan disse fjernes. Veksleren vil da kunne kjøres med en noe lavere kapasitet. Dermed unngår man forlenget produksjonsstopp ved behov for utskiftning, slitasje, besparelser, synkende produksjons m.m.

Gummipakningene rundt ytterkanten av platene kan være spesielt utfordrende under manuelt vedlikehold, ettersom disse kan blåses ut av posisjon ved høytrykksspyling. Utblåsing krever at pakningene må limes på igjen for å unngå lekkasjer.

Arbeidsmedier og fouling

Produksjonsstrøm og kjølemedium inneholder organiske fremmedlegemer på partikkelstørrelse, bakterier m.m. Etter en stund formes et organisk belegg på veksler platene. Belegget senker virkningsgraden til vekslerne togene. Produksjonen begrenses, energibehov øker ettersom utveksling av temperatur mellom kjølemedium og produksjonsstrøm minker ("høy fouling").

Den periodiske vaskingen og nedetiden påregnet er et direkte resultat av biologisk "fouling".

Vedlikeholdssyklusen i praksis

Vekslertogene vedlikeholdes ved demontering og spyling. Det logges hvilken veksler som vaskes per uke i løpet av året. Basert på vaskelogg tar rengjøringssyklusen, fra første til siste veksler står «rene», 3-5 uker. Det kan vaskes opptil 3 vekslere i løpet av en uke, men vanligvis er det 1-2.

Basert på vaskelogg tilstreber drift en hyppighet av vask slik at det i snitt er ca. 1 måned mellom hver vaskesyklus (fra siste til første veksler vaskes). Ettersom tidsrommet i vaskelogg ligger typisk mellom 3-5 uker.

Tidsestimat på «servicetid»

I dag estimerer drift vasketiden på vekslerne etter størrelse som følger;

Vekslere med 272 plater:

- 6-7 timer dersom ingen pakninger blåses ut, som tilsier nedetid på 8 timer.

Vekslere 323 plater:

- 10 timer dersom ingen pakninger blåses ut, tilsier nedetid på ca. 26-27 timer

I fabrikk H2 er alle vekslerne på 323 plater og i fabrikk H1 er 2 av vekslerne på 323 plater og resten på 272. Det er et ønske fra drift å vaske 1-2 vekslere i uken per vekslertog, dobbelt av det som gjøres per 2021.

Økt produksjon, hyppigere vedlikehold

Videre i samtale med drift opplyses det om et forsøk på å øke utbyttet fra vekslerne i vekslertog i H2. Ved begynnelsen av 2020 ble det montert flere plater på vekslerne og grove filter i innløpet på vannsiden. Varmeoverføringsevnen økte og fremmedlegemer i kjølevann som tidligere ikke var oppdaget ble fanget opp av påmonterte siler.

Tiltakene førte til en situasjon med behov for mer omfattende og arbeidskrevende vasking av vekslersplatene enn tidligere, ettersom tidligere nevnte forhold ga utvidet/økt effektiviteten av overflatene på vannsiden av vekslerne. Dette gav et fastere, tettere og raskere beleggdannelse enn tidligere på satssiden. For å fjerne belegget måtte vasketiden utvides til 2 dager.

I løpet av 2020-2021 har det også vist seg problematisk å opprettholde planlagte vaskeprosedyrer, mye som følge av redusert bemanning og feil på utstyr. Da spesielt jekker som brukes til de- og remontering av vekslerne.

CIP – «Clean in Place»

En CIP løsning defineres som en vaskemetode som ikke krever omfattende demontering av utstyr eller system komponenter før den kan implementeres. “CIP” brukes ofte som en forkortelse for slike vaskeløsninger i prosessindustrien. Slike løsninger har lenge blitt brukt i prosessindustrien, med utvidet bruk innen mat og farmasi siden 1950-tallet.

CIP-enheter er designet slik at de kan kobles direkte inn i fabrikkasjons-sløyfer eller på enkelt komponenter i systemet. En «plug-in» CIP-løsning vil hverken belaste eller forstyrre kontinuitetsbehov i produksjonen slik som manuelle vaskemetoder gjør.

Med utgangspunkt i design og type CIP-enhet, kan graden av automasjon variere. Dersom CIP-løsningen i større grad er automatisert vil vaskesyklusen ofte gi et mer konsistent og jevnt resultat.

For å bruke CIP enheten så effektivt som mulig burde følgende områder være mest mulig automatisert:

- Overvåkning og styring
- Skylling og dumping
- Måling av resirkuleringstid, temperatur og strømningshastighet
- Blanding av vaskemiddel

I den forstand gir det operatør utvidet oversikt og kontroll på syklus. Resultat av vaskeprosess kan dermed lettere feilsøkes og reguleres fortløpende på bakgrunn av digital logging.

CIP vaskesyklus

Rengjøringsprosessen består av 3 hoved trinn:

1. Kjemisk og fysisk prosessering av overflater slik belegg fjernes
2. Oppløsning og fordeling av belegg i rengjøringsmediet
3. Forebyggende tiltak som forhindrer beleggdannelse

Det finnes i utgangspunktet ikke et universelt vaskeprogram. Men man kan dele vaskesyklusen inn i 9 delprosesser:

1. Preparerende gjennomspyling.

Gjenværende produkt og de grovere belegg (løsmasser) blåses ut av systemet med trykkluft eller vann [9].

2. Skylling (3-10 min)

Gjennomskylling med vann ned til 25 [°C] eller deponert skyllevann forvarmet (45 [°C]). Denne gjennomspylingen skal under optimale omstendigheter fjerne oppimot 90% av løst sittende belegg før vaskemiddel innføres. Skyllevannet går til deponi dersom det er rent nok til videre bruk. Hvis skyllevannet er for skittent dumpes det [9].

3. Alkalisk vask (10-60min)

Skyllevann fra deponi eller alternativ vannkilde varmes opp til 55-90 [°C] før vaskemiddel blandes ut (kaustisk 1-3% konsentrasjon). Ved bruk av kaustisk vaskemiddel anbefales det å resirkulere vaskeløsningen noen ganger i systemet før den spyles tilbake til kaustisk deponitank [9].

4. Første mellom skylling (3-10min)

Temperert skyllevann pumpes gjennom systemet slik løst belegg og alkalisk vaskemiddel skylles ut av system. Skyllevannet går gjennom systemet frem til pH-verdi eller elektrisk ledningsevne ikke lenger indikerer signifikante spor av vaskemiddelet [9].

5. Syrevask (3-20min)

Syrevask (0,5-2%, 50-70 [°C]) etter behov og produksjons situasjon. Ettersom alkaliske vaskemiddel kan danne en tynnfilm på eksponerte overflater som ikke lar seg fjerne ved gjennomskylling med vann. En får også nøytralisert gjenværende alkalisk vaskemiddel og oppløst belegg fra forrige vask [9].

6. Andre mellom skylling (3-10 min)

Skylle ut etter syrevask. Skyllevannet vurderes som ved punkt 4. Dersom vaskesyklus videre ikke har et desinfiserende ledd gjennomføres den nå. Skyllevannet må da varmes opp til 70-95

[°C], vannet går til skyllevannsdeponi (se del 1 og 2). Systemet tørkes ved gjennomblåsning med trykkluft eller godkjent prosessgass [9].

7. Desinfeksjon (5-60 min)

Kjemisk desinfeksjonsmiddel blandes i ferskvann ved romtemp, resirkuleres i systemet (kald eller varm). Ved termisk desinfeksjon kan platevekslere eller damp brukes til å varme opp væsken. Varmen kan gjenvinnes fra desinfeksjonsvæsken før den dumpes, dersom den ikke skal brukes videre. Desinfisering med damp uten kjemikalier er anbefalt om en skal kvitte seg med sporer og spesielt hardføre mikroorganismer. Noe man oppnår ved gjennomblåsning av systemet med mettet damp som holder minst 121 [°C] [9].

8. Avsluttende skylling (5-10min)

Ved kjemisk desinfeksjon i trinn 7 må systemet skylles med vann. Denne skyllingen er unødvendig ved termisk desinfisering med damp. Steril luft pumpes inn i utstyret for å fjerne rester av desinfiseringsmediet, dersom damp er brukt unngår man videre vakuumbdannelse i utstyret. Utstyret må nå romtemperatur før det reintrodueres i produksjonsløkke. Dersom utstyr ikke har krav til sterilitet, kan vann pumpes inn for steril luft. Vannet vurderes som ved punkt 4 om det skal dumpes eller deponeres som skyllevann [9].

9. Tørking

Ved romtemperatur eller ved å pumpe inn varmluft i systemet, dersom utstyret må være sterilt før reintroduksjon til produksjonsløkke, må luften være steril.

Dersom det er mulig med en helautomatisk kontroll og overvåking av rengjøringsprogram er det anbefalt. Manuell kontroll er mulig, men øker muligheten for kontaminasjon og menneskelige feil. Da vaskesyklus må stoppes slik operatør kan observere og gjennomføre tilstrekkelig kontroll. Flater og systemkomponenter som ved en helautomatisk syklus ikke blir eksponert, vil da ved manuell kontroll eksponeres for mulig kontaminasjon.

Vaskesyklus og da spesielt de avsluttende ledd med høyere temperaturer kan gi vakuumbdannelse som følge av hyppige temperaturendringer og rester av væske i systemet. Ved iverksettelse av ny vaskesyklus eller reintroduksjon av vasket enhet til produksjonsløkke. Bør operatør være observant på «vannhammer» og tilbakeslags effekter som kan oppstå i systemet [9].

Vaskemiddel

Det finnes et mange forskjellige typer vaskemidler på markedet. Man kan dele disse i 3 grupper etter kjemiske egenskaper:

1. Alkalisk
2. Nøytral
3. Syre

En bør velge vaskemiddel etter hva man ønsker å kvitte seg med opp mot hvorvidt det lar seg kvittes med. En bør derfor kjenne komposisjonen av belegget på overflatene man ønsker å

rengjøre. Slik kostnad og energi betraktninger mot effektivitet og tilgjengelighet kan gjøres så nøyaktig som mulig.

Slik valg av vaskemiddel forsikrer en kjemisk komposisjon som gir tilfredsstillende resultat/renhet.

Dersom det er hensiktsmessig, bør den kjemiske sammensetningen være slik en kan kvitte seg med spillvann på en kostnadseffektiv måte uten negative konsekvenser for miljøet.

Med utgangspunkt i miljøvennlighet og en «fouling» situasjon med hovedkomponenter av biofilm eller annet organisk belegg, vil følgende vaskemiddel kunne gi tilfredsstillende resultat:

Tabell 2 Oversikt over vaskemidler [10].

| Kjemisk løsning | Miljøvennlig | Virkeområde |
|--------------------------|---|---|
| <i>Alpacon Degreaser</i> | Ufarlig, vannbasert og lett nedbrytbart. | Unngå skum i en CIP prosess. |
| <i>Alpacon Descalant</i> | Ikke-giftig, vannbasert og lett nedbrytbart. | Fjerne magnetitt, alger, blåskjell, kalk, rust og avleiringer. |
| Alfa Phos | Lett nedbrytbart. | Fjerne metalliske oksider, rust, kalsium karbonat og andre uorganiske belegg. |
| Alfa Caus | Alkalisk middel med kautisk soda base. | Fjerne biologisk materiale, fett, olje og andre organiske avleiringer. |
| Alfa P-Scale | Syrlig pulver med syrebase og korrosjonsinhibitor. | Fjerne kalsium karbonat og andre uorganiske belegg. |
| Alfa Add | Naturlig rengjøringsforsterker laget av overflateaktive midler. | Reduserer skumming. Brukes med Alfa Phos, Alfa Caus og Alfa P-Scale. |
| Scale Break-SS | Syrebasert avkalkningsmiddel. | Oppløser mineralforekomster. |
| <i>Termorens</i> | Biologisk nedbrytbar væske. Inneholder ikke giftstoffer. | Fjerner kalk, magnetitt, oksider, salt og andre avleiringer. |

Kan ikke dumpes spesial avfall

kan dumpes ved etterbehandling, går ellers som spesialavfall

kan dumpes uten videre behandling

Metode

Dette kapittelet omhandler databehandling og simulering. Først bør det nevnes hvilke antakelser og avgrensninger som er benyttet:

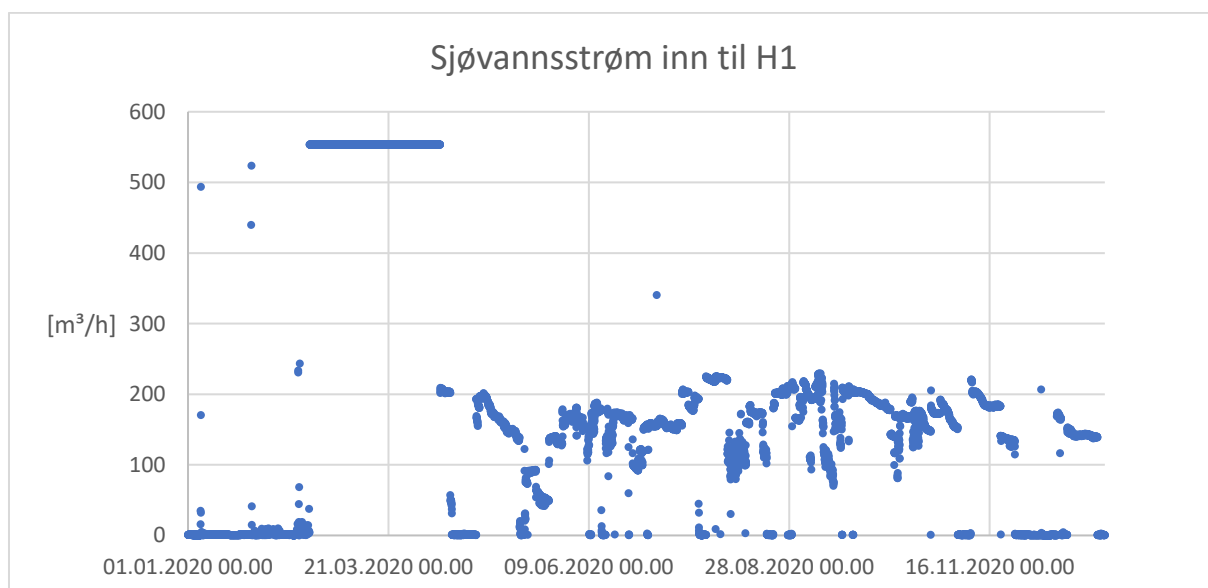
- Varmevekslerne antas å være ideelt motstrøms.
- P&ID er antatt som korrekte ettersom verifisering er umulig på grunn av smittevernsrestriksjoner.
- Antall plater i hver veksler er antatt som angitt, ettersom planlagte spotsjekker ikke kunne utføres på grunn av smittevernsrestriksjoner.
- Både vannet og satsen anses som rent vann for beregningsverdier.
- Til alle HYSYS modelleringer/simuleringer er det brukt fluid-package «NSB Steam», etter anbefaling fra HYSYS sin egne brukerveiledning for beregninger med kun rent vann.
- Noen tabeller har flere signifikante siffer enn andre. Disse anses som «mellomregninger». De tabellene med færre siffer er resultater.

Databehandling

Operasjonelle data ble hentet fra PI Vision gjennom Excel ved hjelp av en «plug-in» kalt PI Datalink. Til dette trengtes en starttid, sluttid og et tidsintervall. Disse ble henholdsvis bestemt til å være 01.01.20 klokken 00:00, 01.01.21 klokken 00:00 med en times mellomrom. Dataene ble hentet ut ved bruk av systemnavn på de forskjellige målerne i systemet, såkalte «tags». Disse tags-ene er ikke brukt videre i rapporten, men kan finnes i vedlegg.

Feildata

For å kunne behandle de store mengdene med data ble det benyttet Excel. I Excel ble det satt inn små algoritmer, kalt «formler» i Excel, for å velge vekk data som ikke kunne brukes. Årsakene til disse feildataene var mange. Flere av målerne hadde lange perioder med data som var fysisk umulige, se figuren under.

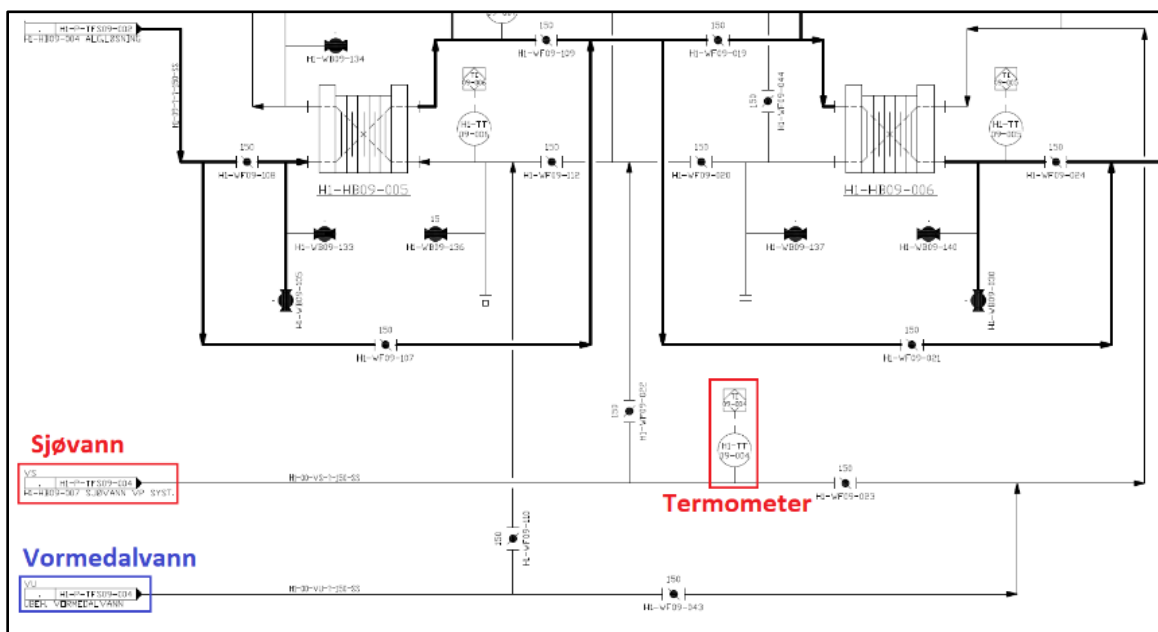


Figur 7 Volumstrøm for sjøvann i H1, feildata er tydelig i perioden 18.02.2020-10.04.2020.

Slike feil er enkle å fjerne ved bruk av formler i Excel, men alle målerne hadde små perioder, ofte momentane punkt, der de viste verdier som var urealistiske eller ubrukelige. Disse dataene representerer ofte tider der vekslerne ble tatt ut til vask.

Andre feildata kommer fra ugunstig plassering av målerne. Plasseringen til termometrene før og etter hver veksler har ikke blitt verifisert i virkeligheten på grunn smittevernsrestriksjoner, slik at P&ID diagrammene har måttet bli godtatt som sannhet.

En av termometrene på fabrikk H1 er plassert på sjøvannslinjen, se figuren under. Dette betyr at den ikke kan brukes som ut-temperatur til veksler 7 eller som inn-temperatur til veksler 6, med så få unntak at det neglisjeres (både veksler 7 og 8 må være ute av drift og veksler 6 må gå på sjøvann).



Figur 8 Ugunstig plassering av termometer i H1. P&ID hentet fra fabrikk.

Som figuren viser, vil altså termometeret forbi passeres ved vanlig drift og er derfor ikke brukelig for videre behandling i Excel.

Antakelser om grunner til feildata

(Noen av de følgende antakelsene kunne ikke verifiseres på grunn av smittevernstiltak.)

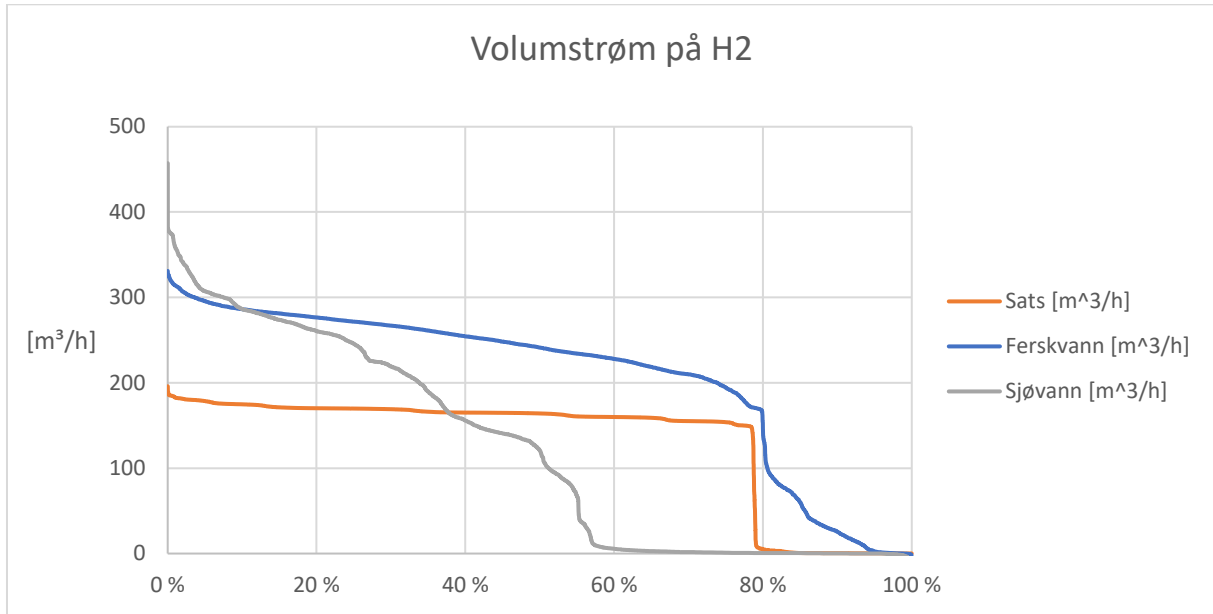
- Ugunstig plassering av målere
 - Dette er spesielt viktig med tanke på periodene der vekslerne driftes med sjøvann.
- Unøyaktighet i målere
- Feilmontering av målere
- Andre menneskelige feil

Fjerning av feildata

Alle disse feildataene ble som tidligere nevnt fjernet ved bruk av formler i Excel. Disse formlene bestod av nestede hvis-funksjoner. Kravene som ble brukt i disse funksjonene ble hentet fra teorien om motstrøms-varmevekslere og varighetskurvene til volumstrømmene:

- Temperaturen til satsen inn til veksleren må være den høyeste ellers er temperaturene ugyldige.

- Temperaturen til vannet inn til veksleren må være den laveste ellers er temperaturene ugyldige.
- Ut-temperaturene til sats og vann må være imellom inn-temperaturene.
- Hvis volumstrømmen til satsen er under 10 [m³/h] anses det som produksjonsstans og verdiene er ugyldige.



Figur 9 Eksempel på varighetskurve, her volumstrømmene til H2. Det er et veldig tydelig skille mellom drift og stans på satsstrømmen.

For å skille ut brukbare temperaturer ble de nestede hvis-funksjonene som følger:

For satsen inn:

- =HVIS(OG(I16>E16;I16>G16;I16>K16);I16;"")
- Hvis temperaturen til satsen inn er størst skriv verdien, ellers tom.

For satsen ut:

- =HVIS(OG(K16<I16;K16>E16);K16;"")
- Hvis temperaturen til satsen ut er mindre enn temperaturen til satsen inn og større enn temperaturen til vannet inn skriv verdien, ellers tom.

For vannet inn:

- =HVIS(OG(E16<G16;E16<I16;E16<K16);E16;"")
- Hvis temperaturen til vannet inn er minst skriv verdien, ellers tom.

For vannet ut:

- =HVIS(OG(G16>E16;G16<I16);G16;"")
- Hvis temperaturen til vannet ut er mindre enn temperaturen til satsen inn og større enn temperaturen til vannet inn skriv verdien, ellers tom.

Figur 10 Eksempel på regneark der ubrukkelige temperaturer er filtret vekk.

Fouling

Det ble gjort flere forsøk på å finne en måte å benytte disse temperatuene til å beskrive effekten til foulingen over tid. Først ble virkningsgraden regnet ut.

$$\eta = \frac{Q_{Reell}}{Q_{Ideell}}$$

Q er varmeoverføring i [W].

Q_{Reell} er enkel å beregne:

$$Q_{Reell} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

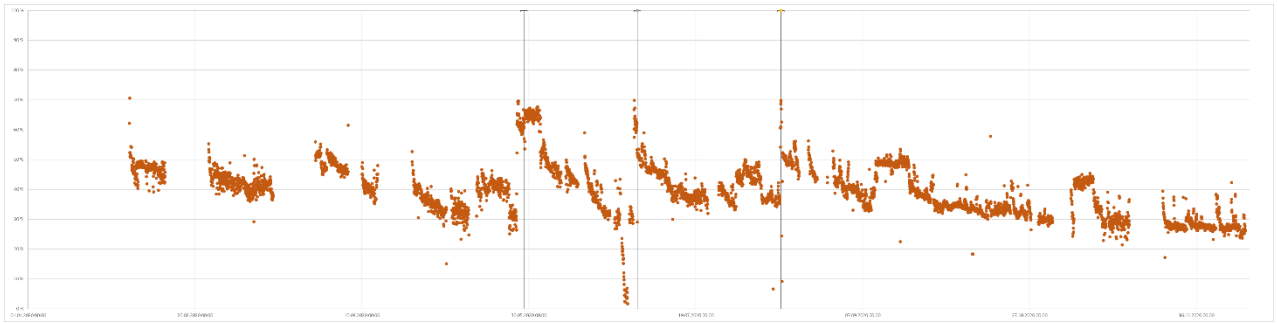
\dot{m} er massestrømmen i [kg/s] til satsen eller vannet.

c_p er varmekapasiteten [j/(kg*K)] til satsen eller vannet.

ΔT er temperaturdifferansen i [K] mellom inn- og ut-temperatur til satsen eller vannet.

Q_{Ideell} regnes ut på samme måte, men ΔT er da differansen på inn-temperaturen til satsen og inn-temperaturen til vannet.

$$Q_{Ideell} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{h,inn} - T_{c,inn})$$



Figur 11 Eksempel på variasjon av virkningsgrad over tid fra H1 gjennom året 2020.

Problemet var hvordan dette skulle brukes videre. Dette kom fra at hvilken massestrøm som Q_{Ideell} ble beregnet med var usikkert. Med vannstrømmen ble kanskje virkningsgraden for lav, mens med satsstrømmen gikk virkningsgraden av og til over 100%. På grunn av denne usikkerheten ble det bestemt å gå i fra virkningsgrad som beskrivende variabel for fouling.

I stedet ble varmeoverføringkoeffisient, kalt heretter for U-verdi (engelsk HTC for «heat transfer coefficient»), til vekslerne brukt.

$$U = \frac{Q_{Reell}}{A \cdot LMTD}$$

U er varmeoverføringkoeffisient i $[W/(m^2 \cdot K)]$.

A er totalt aktivt areal i $[m^2]$.

LMTD er logaritmisk midlere temperaturdifferanse i $[K]$.

$$LMTD = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

$$\Delta T_1 = (T_{h,inn} - T_{c,ut})$$

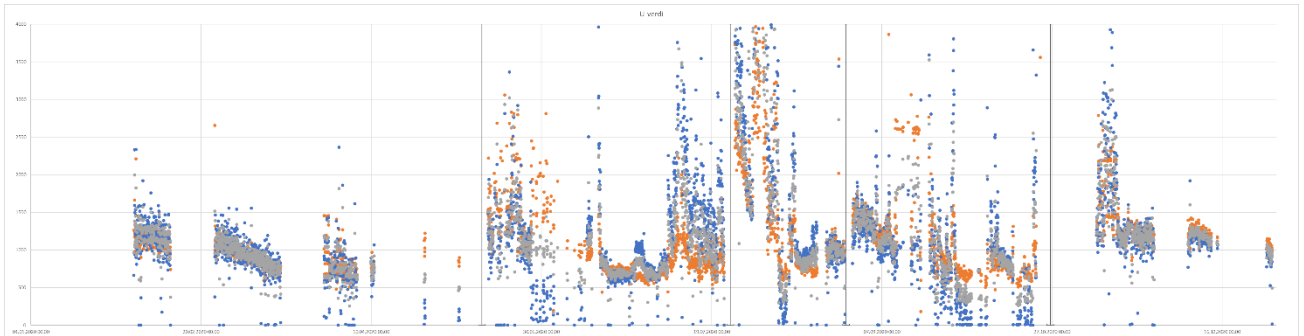
$$\Delta T_2 = (T_{h,ut} - T_{c,inn})$$

U-verdien ble beregnet for sats og vann, og for gjennomsnittet av disse. Det er gjennomsnittet som brukes videre.



Figur 12 Eksempel på graf av U-verdier fra H1. Denne veksleren bruker kun ferskvann hele året.

Problemet her er at i de periodene med sjøvann er grafene ubrukelige. Antakelsen er at termometerne er plassert på ferskvannsrørene (med unntak av måleren mellom veksler 6 og 7 i H1). Dette fører til at U-verdien til både sats og vann blir mange tusen $[W/(m^2 \cdot K)]$ mer enn det som er oppgitt som U-verdien til en ren veksler fra leverandøren (3000-4000 $[W/(m^2 \cdot K)]$).



Figur 13 Eksempel på graf av U-verdier fra H1. Denne veksleren bruker sjøvann deler av sommeren og høsten.

Sjøvann

For å kunne beregne energitapet i de periodene der nedkjøling av satsen er prioritert, sommer og tidlig høst, trengs informasjon om når vekslerne kjøres på sjøvann. På fabrikkene mangler det automatisert rapportering på dette og de manuelle rapporteringsprosedyrene svikter for ofte til å være nyttige. Det ble derfor etterspurt en metode å finne ut når en veksler ble driftet på sjøvann basert på temperatur- og flowmålinger.

Første veksler i sjøvannserien

Det er blitt oppgitt fra fabrikken at sjøvannet gjennom vekslerne alltid kjøres i serie. Derfor ble det i første omgang funnet en metode å se hvilken veksler som var den første i serien. Dette vil gi en ide om hva som er den «vanlige» starten på rekken av vekslere som kjører sjøvann.

Først ble alle punkter der strømmingen til sjøvannet var under 10 [m³/h] anset som stans og fjernet. I tillegg ble all strømming over 250 [m³/h] på H1 også fjernet for å fjerne en periode med feilmåling. Deretter ble det brukt nestede hvis-funksjoner til å finne ut hvilken av de mulige vekslerne var den første i rekken.

På H1:

- =HVIS(OG(\$C3>10;\$C3<250;\$D3>(E3-0,5);\$D3<(E3+0,5));E3;IT())
- Hvis sjøvannsraten (C3) er mellom 10 [m³/h] og 250 [m³/h], og temperaturen til vannet inn (E3) er mindre enn 0,5 [°C] fra temperaturen til sjøvannet ut av varmepumpen (D3), skriv verdien ellers tom.

På H2

- =HVIS(OG(C3>10;\$D3>(E3-0,5);\$D3<(E3+0,5));1;IT())
- Hvis sjøvannsraten (C3) er over 10 [m³/h], og temperaturen til vannet inn (E3) er mindre enn 0,5 [°C] fra temperaturen til sjøvannet ut av varmepumpen (D3), skriv verdien ellers tom.

Verdien 0,5 [°C] ble tatt fra en enkel simulering fra HYSYS der det ble laget to rørlengder, en på 300 [m] og en på 150 [m]. Disse er distansene fra varmepumpen til henholdsvis H1 og H2. Fabrikken opplyste at rørene kunne antas som isolerte med 50 [mm] «Mineral Wool». På nettet fantes det salgsbrosjyrer med nødvendig informasjon om isolasjonen [11].

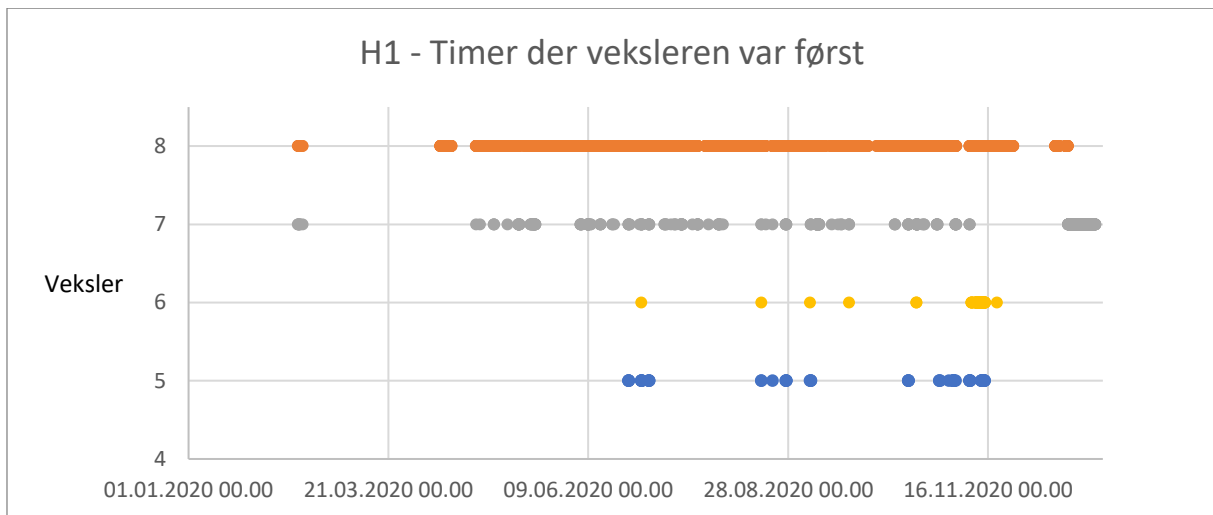
Tabell 3 Informasjon til rør-simulasjon

| | H1 | H2 |
|---------------------------------|-------|-------|
| Lengde [m] | 300 | 150 |
| Omgivelsestemperatur [°C] | 16 | 16 |
| Termisk konduktivitet [W/(m*K)] | 0,034 | 0,034 |
| Isolasjonstykkelse [mm] | 50 | 50 |
| Vindhastighet [m/s] | 4 | 4 |
| Trykk [barg] | 4 | 2 |
| Vanntemperatur inn [°C] | 8 | 8 |
| Vanntemperatur ut [°C] | 8,041 | 8,02 |
| Temperaturdifferanse [°C] | 0,041 | 0,02 |

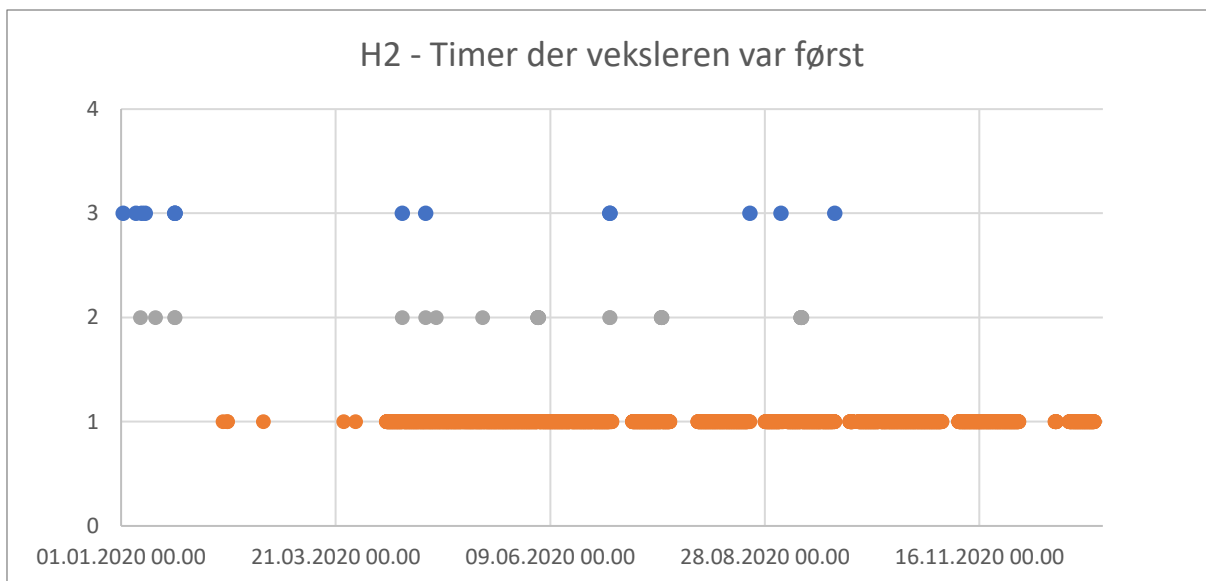
Som Tabell 3 Informasjon til rør-simulasjon viser var det veldig liten forskjell i temperaturen ved de oppgitte dataene. Dataene ble anbefalt av fabrikken, men differanse ble økt til 0,5 [°C] for å veie opp for mulige feilkilder.

Resultater

Resultatet til disse beregningene er som vist under som grafer og i tabellform:



Figur 14 Graf over perioder der de forskjellige vekslerne i H1 er først i sjøvannserien. Tallene på den vertikale aksene viser til tallet til veksleren.



Figur 15 Graf over perioder der de forskjellige vekslerne i H2 er først i sjøvannserien. Tallene på den vertikale akse viser til tallet til veksleren.

Tabell 4 Resultatet av beregningene på første vekslere i sjøvannserien

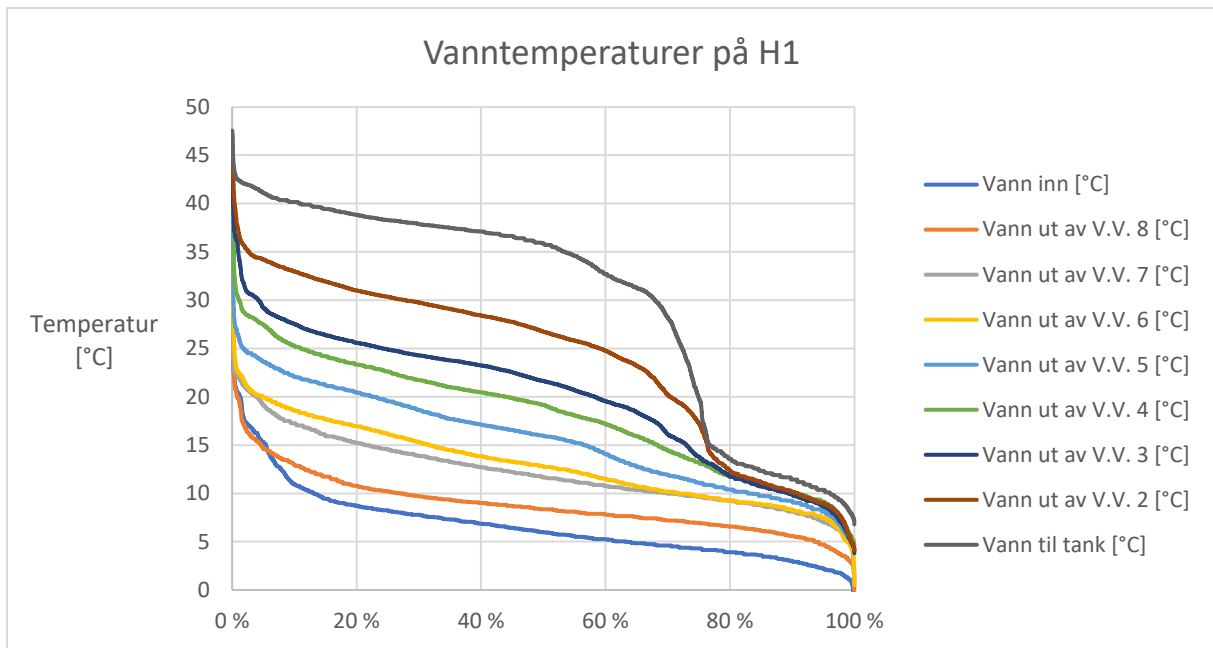
| H1 | | | H2 | | |
|-----------|-------|-----------------|-----------|-------|-----------------|
| | Timer | Prosent av året | | Timer | Prosent av året |
| Veksler 8 | 4024 | 46 % | Veksler 1 | 4737 | 54 % |
| Veksler 7 | 471 | 5 % | Veksler 2 | 36 | 0 % |
| Veksler 6 | 71 | 1 % | Veksler 3 | 14 | 0 % |
| Veksler 5 | 58 | 1 % | | | |

Vekslerne i sjøvannserien

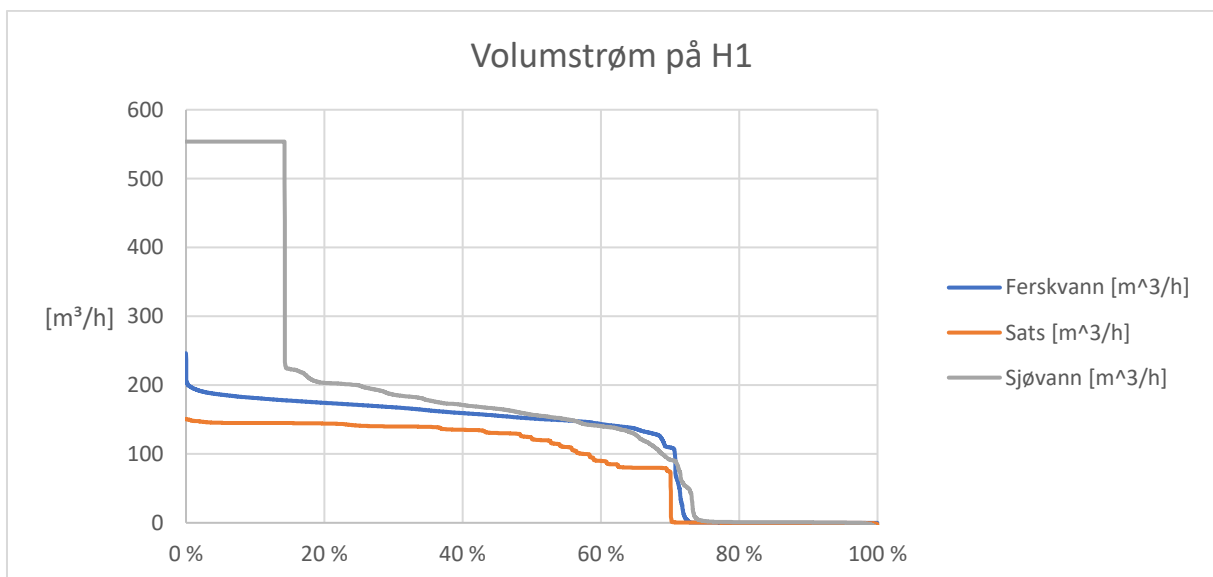
Det er for mange mulige kombinasjoner av vekslere som kjøres på sjøvann. Derfor begrenses oppgaven på følgende måte:

Ettersom det nesten alltid er den første veksleren i rekken, veksler 1 for H2 og veksler 8 for H1, som er den veksleren det strømmer sjøvann inn i først, antas det at hvis det kjøres sjøvann, så kjøres det i hvert fall gjennom disse første vekslerne. I tillegg antas det at ingen vekslere hoppes over, selv om dette skjer for vasking og annen vedlikehold.

For å kunne finne ut om påfølgende vekslere etter den først går på sjøvann ble det kjørt enkle simuleringer på de enkelte vekslerne for å finne temperaturdifferansen på vannet før og etter veksleren både når de var skitne ($400 \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$) og rene ($2000 \text{ [W/(m}^2\text{*K)]}$). Dataene som ble brukt i simuleringen kommer fra varighetskurvene til de enkelte målerne. Set ble valgt ut datapunkt fra cirka midt på driftscurven. Dette betyr nøyaktig 50% for temperaturene, men ikke det for volumstrømmene. Noen eksempler på varighetskurver er tatt med under, resten finnes i vedlegg. Dataene presenteres i tabellform.



Figur 16 Eksempel på varighetskurver for temperatur.



Figur 17 Eksempel på varighetskurve for volumstrøm. Legg merke til at nesten 15% av tiden til sjøvannet er feildata.

Tabell 5 Temperaturene til vannstrømmen for enkel sjøvannsimulering.

| Temperaturer til vannstrømmen[°C] | | | |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| H1 | | | |
| Vann inn til veksler 8 | Vann inn til veksler 7 | Vann inn til veksler 6 | Vann inn til veksler 5 |
| 6 | 8 | 12 | 13 |
| H2 | | | |
| Vann inn til veksler 1 | Vann inn til veksler 2 | Vann inn til veksler 3 | |
| 5 | 8 | 11 | |

Tabell 6 Temperaturene til satsstrømmen for enkel sjøvannsimulering.

| Temperaturer til satsstrømmen [°C] | | | |
|------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| H1 | | | |
| Sats inn til veksler 5 | Sats inn til veksler 6 | Sats inn til veksler 7 | Sats inn til veksler 8 |
| 20 | 16 | 14 | 11 |
| H2 | | | |
| Sats inn til veksler 3 | Sats inn til veksler 2 | Sats inn til veksler 1 | |
| 16 | 14 | 11 | |

Tabell 7 Volumstrømmene for enkel sjøvannsimulering

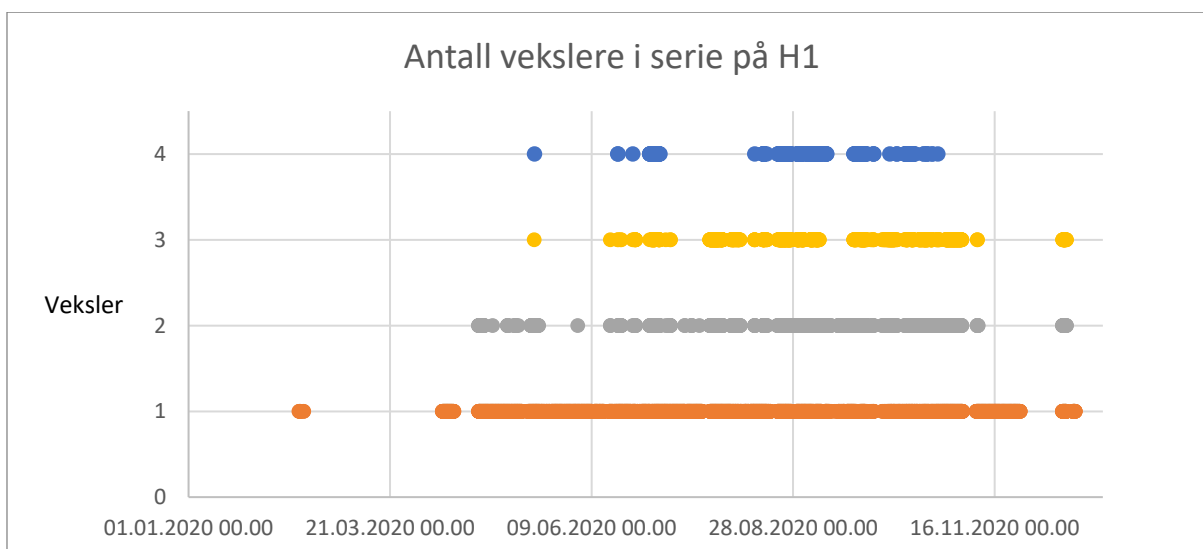
| Volumstrøm | | | |
|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| H1 | | H2 | |
| Sjøvann [m ³ /h] | Sats [m ³ /h] | Sjøvann [m ³ /h] | Sats [m ³ /h] |
| 175 | 140 | 225 | 165 |

Tabell 8 Resultatene fra enkel sjøvannsimulering.

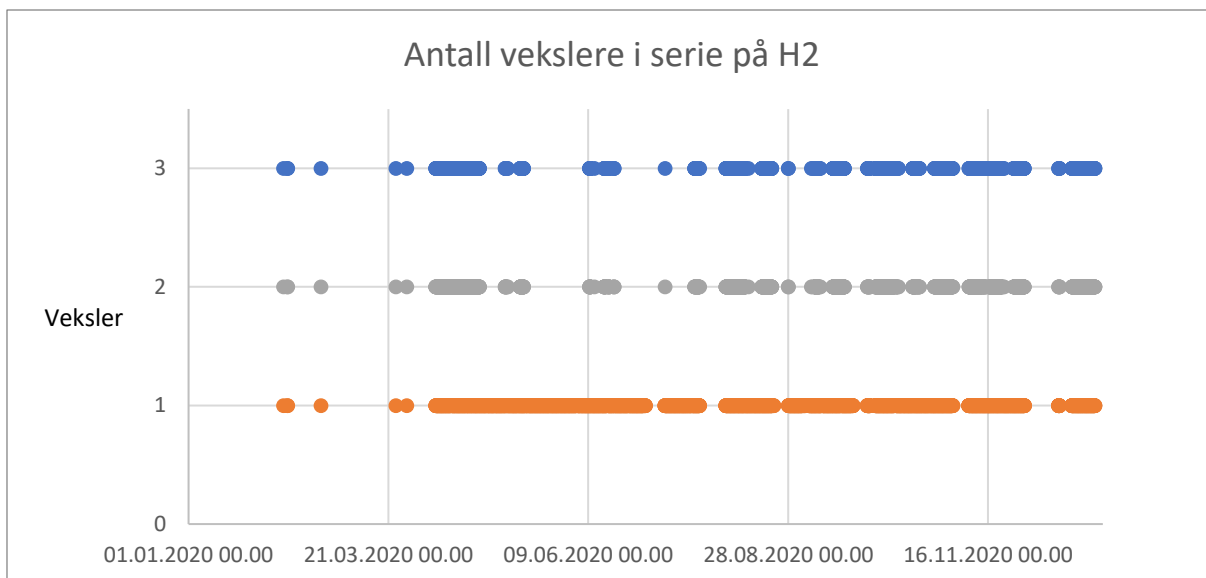
| Temperaturdifferanser for vanntemperaturen ut [°C] | | | | | |
|--|-----|-----------------|-----|-----------------|-----|
| H1 | | | | | |
| Etter veksler 8 | | Etter veksler 7 | | Etter veksler 6 | |
| 1,1 | 2,8 | 1,3 | 3,3 | 0,9 | 2,2 |
| H2 | | | | | |
| Etter veksler 1 | | Etter veksler 2 | | | |
| 1,5 | 3,5 | 1,5 | 3,5 | | |

Resultater

Resultatene til disse beregningene er som vist under:



Figur 18 Graf over periodene med sjøvann i serie på H1. Tallet på den vertikale aksen forteller minimum antall vekslere som kjøres på sjøvann.



Figur 19 Graf over periodene med sjøvann i serie på H2. Tallet på den vertikale aksen forteller minimum antall vekslere som kjøres på sjøvann.

Tabell 9 Resultatet av beregningene på vekslere i sjøvannserien.

| H1 | | | H2 | | |
|------------------|-------|-----------------|------------------|-------|-----------------|
| | Timer | Prosent av året | | Timer | Prosent av året |
| Minst 1 vekslere | 4023 | 46 % | Minst 1 vekslere | 4737 | 54 % |
| Minst 2 vekslere | 1096 | 13 % | Minst 2 vekslere | 1651 | 19 % |
| Minst 3 vekslere | 841 | 10 % | Minst 3 vekslere | 779 | 9 % |
| Minst 4 vekslere | 325 | 4 % | | | |

Kommentarer til resultatene

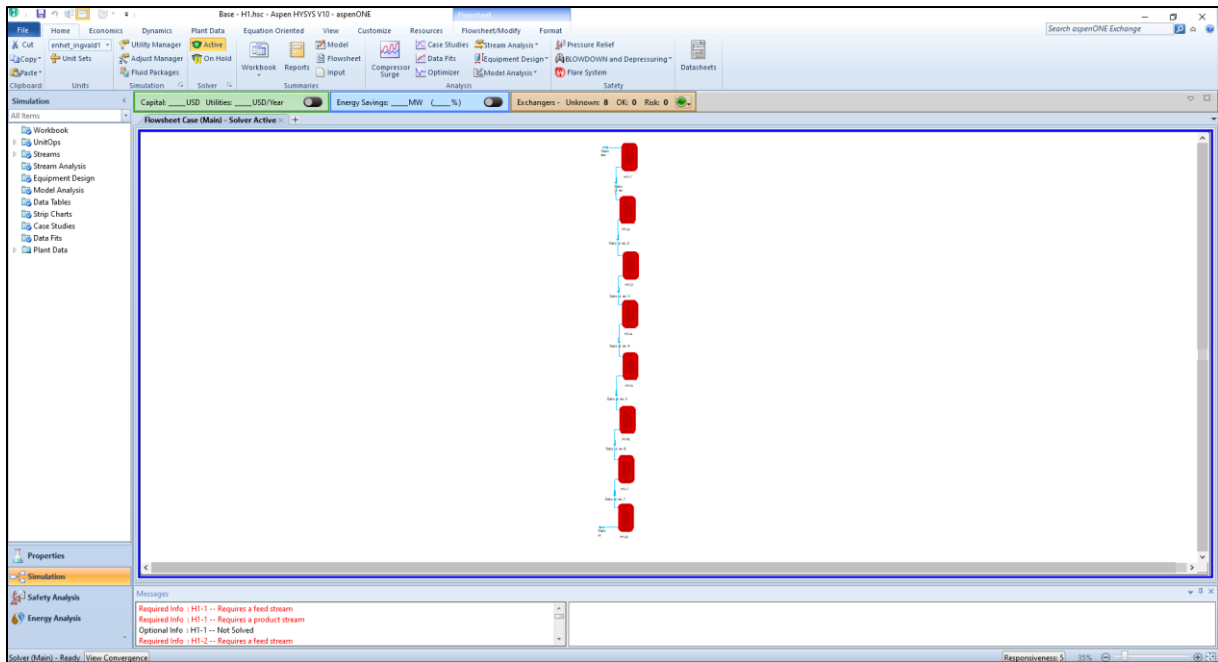
Nøyaktigheten til resultatene på sjøvannsberegningene avhenger blant annet av plassering av termometerne. Dette har ikke blitt verifisert, slik at resultatene ikke kan garanteres med særlig nøyaktighet.

Modellering

All modellering ble utført i Aspen HYSYS. For å kunne lage en modell i HYSYS må en først velge komponenter og en «Fluid Package», altså et sett med tilstandsligninger eller tabeller. Ettersom vi har antatt rent vann for våre beregninger velger vi kun H₂O som vår eneste komponent. HYSYS brukerveiledning anbefalte da for «Fluid Package» NBS Steam, et sett med damptabeller fra 1984.

Etter disse valgene er «Simulation»-rommet klart til bruk. For modellering av vekslertogene brukes kun en modell, «Plate Exchanger». Platevekslermodellen har fire innganger, varm inn og ut, og kald inn og ut. I tillegg kan en legge inn UA, enten som et samlet produkt av de to verdiene, eller U-verdi for seg og areal for seg. Ettersom arealet er kjent fra leverandør vil denne bli satt inn i hver veksler, og U-verdien vil da kunne manipuleres senere. Arealene er 176,55 [m²] for vekslerne med 323 plater og 147,95 [m²] for vekslerne med 271 plater.

Det ble først laget to grunnmodeller, en for H1 og en for H2. H1 har åtte vekslere og H2 har sju. Disse grunnmodellene manglet vannsiden ettersom det måtte lages en modell for vinterstid, der det ikke ble brukt sjøvann, og en for sommerstid med sjøvann.



Figur 20 Base for videre modellering av H1. Platevekslermodellene er røde for å indikere manglende strøm på kald side.

Modellering

En plateveksler har fire uavhengige variabler, massestrømmene og inn-temperaturene. Dette gjør det ekstremt vanskelig å validere modellene av veksleretogene over et tidsrom. Av denne årsaken ble det valgt ut fire tidspunkt til å modellere i stedet. Et punkt for typisk sommerdrift med maksimalt antall vekslere på sjøvann og et punkt for typisk vinterdrift uten noen vekslere på sjøvann for hver fabrikk.

Ved hjelp av PI Vision ble disse fire punktene plukket ut:

Tabell 10 Tidspunkt for modellering

| H1 | |
|--------|------------------|
| Vinter | 02.02.2020 13:00 |
| Sommer | 03.09.2020 19:00 |
| H2 | |
| Vinter | 24.01.2020 09:00 |
| Sommer | 01.09.2020 12:00 |

De operasjonelle dataene for disse modellene finnes som vedlegg. Fra disse tidspunktene ble de tilhørende U-verdiene fra Excel-beregningene brukt:

Tabell 11 U-verdier fra Excel for valgte modelleringstidspunkt.

| U-verdier fra Excel | | | | |
|---------------------|--------|--------|--------|--------|
| | H1 | | H2 | |
| | Vinter | Sommer | Vinter | Sommer |
| Veksler 1 | 1614 | 1059 | 947 | 1298 |
| Veksler 2 | 1303 | 893 | 685 | 1121 |
| Veksler 3 | 1214 | 927 | 964 | 777 |
| Veksler 4 | 1547 | 1102 | 789 | 206 |
| Veksler 5 | 1235 | 1486 | 1107 | 760 |
| Veksler 6 | 1297 | 1502 | 955 | 539 |
| Veksler 7 | 1181 | 1314 | 1376 | 749 |
| Veksler 8 | 2036 | 5813 | | |

Rapporten vil for ordenhets skyld kun følge H2-Vinter-modellen heretter. Den var modellen med størst avvik, og tuningen til den vil også gjelde resten. De andre modellene er gjort på tilsvarende måte og tabellene deres kan finnes i vedlegg.

U-verdiene ble satt inn i HYSYS-modellene sammen med verdiene for volumstrømmene og temperaturene. Verdiene som kom fra HYSYS ble sammenlignet med operasjonelle data og en feilprosent ble regnet ut for å indikere nøyaktigheten til de utregnede verdiene fra Excel.

Tabell 12 Resultat til modellen til H2 - Vinter med originale U-verdier

| H2 | | | |
|---------------------|--------------------|----------------|-------|
| Vinter | | | |
| Vanntemperatur [°C] | | | |
| | Operasjonelle data | Fra simulering | Avvik |
| Ferskvann inn | 4,26 | -2,48 | 158 % |
| Veksler 1 ut | 5,34 | -1,30 | 124 % |
| Veksler 2 ut | 6,09 | -0,16 | 103 % |
| Veksler 3 ut | 7,29 | 1,99 | 73 % |
| Veksler 4 ut | 9,08 | 4,39 | 52 % |
| Veksler 5 ut | 12,33 | 9,15 | 26 % |
| Veksler 6 ut | 16,40 | 15,09 | 8 % |
| Veksler 7 ut | 28,11 | 28,11 | 0 % |
| Gjennomsnitt | | | 68 % |
| Satstemperatur [°C] | | | |
| | Operasjonelle data | Fra simulering | Avvik |
| Fra filtret tank | 49,43 | 49,43 | 0 % |
| Veksler 7 ut | 28,09 | 28,14 | 0 % |
| Veksler 6 ut | 19,19 | 18,44 | 4 % |
| Veksler 5 ut | 13,38 | 10,65 | 20 % |
| Veksler 4 ut | 10,73 | 6,71 | 37 % |
| Veksler 3 ut | 8,04 | 3,19 | 60 % |
| Veksler 2 ut | 7,00 | 1,33 | 81 % |
| Veksler 1 ut | 5,32 | -0,59 | 111 % |
| Gjennomsnitt | | | 39 % |

H2-Vinter-modellen hadde størst avvik. Dette avviket ble fikset ved endre på volumstrømmene til modellen.

Tabell 13 Tunede verdier til H2 - Vinter

| Tuning i H2 - Vinter | | | |
|-------------------------------|--------|--------|------|
| Ferskvann [m ³ /h] | 271,22 | 294,50 | 9 % |
| Sats [m ³ /h] | 165,83 | 159,00 | -4 % |

Dette avviket kan være forårsaket av flere forskjellige feil som blir korrigert gjennom endret volumstrøm. Noe av avviket kommer fra at målerne, både temperatur og volumstrøm, sitter i termolommer. Disse termolommene forårsaker en forsinkelse i målingene. I tillegg vil det være en viss unøyaktighet i måleutstyret.

Etter disse korrigeringene ble de nye verdiene sammenlignet med de operasjonelle dataene.

Tabell 14 Resultat til modellen til H2 - Vinter med tunede U-verdier

| H2 | | | |
|---------------------|--------------------|----------------|-------|
| Vinter | | | |
| Vanntemperatur [°C] | | | |
| | Operasjonelle data | Fra simulering | Avvik |
| Ferskvann inn | 4,26 | 4,27 | 0 % |
| Veksler 1 ut | 5,34 | 4,93 | 8 % |
| Veksler 2 ut | 6,09 | 5,60 | 8 % |
| Veksler 3 ut | 7,29 | 6,95 | 5 % |
| Veksler 4 ut | 9,08 | 8,57 | 6 % |
| Veksler 5 ut | 12,33 | 12,04 | 2 % |
| Veksler 6 ut | 16,40 | 16,73 | 2 % |
| Veksler 7 ut | 28,11 | 28,11 | 0 % |
| Gjennomsnitt | | | 4 % |
| Satstemperatur [°C] | | | |
| | Operasjonelle data | Fra simulering | Avvik |
| Fra filtret tank | 49,43 | 49,43 | 0 % |
| Veksler 7 ut | 28,09 | 28,36 | 1 % |
| Veksler 6 ut | 19,19 | 19,67 | 3 % |
| Veksler 5 ut | 13,38 | 13,27 | 1 % |
| Veksler 4 ut | 10,73 | 10,27 | 4 % |
| Veksler 3 ut | 8,04 | 7,78 | 3 % |
| Veksler 2 ut | 7,00 | 6,54 | 7 % |
| Veksler 1 ut | 5,32 | 5,35 | 1 % |
| Gjennomsnitt | | | 2 % |

Som en kan se blir inn- og ut-temperaturene vektlagt på med tanke på nøyaktighet, ettersom det er disse som er viktige for videre beregninger. Alle modellene ble tunet på lignende måter om nødvendig, og et par U-verdier.

Simulering

For å kunne beregne forbedringer som følge av å iverksette en CIP-løsning tas det høyde for følgende faktorer:

- Hyppigere rengjøringer, fra seks uker mellom hver vask ned til under to uker mellom vaskingene.
- Mer langvarig renhet som følge av grundigere vasking av bakterier o.l. som vil hemme organisk vekst.

Ved å se på grafene for u-verdier kan en anta at en ny minimums u-verdi kan antas å være 1000 [W/(m²*K)] opp fra 400 [W/(m²*K)]. Maksimumsverdien antas til å være konstant da

vaskingen før og etter implementering av CIP-løsningen har rengjort vekslerne fullstendig. U-verdien til en ren veksler er satt til 2100 [W/(m²*K)] etter grafene fra Excel.

Tabell 15 Forbedrede U-verdier brukt i simuleringene.

| Forbedrede U-verdier | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|
| | H1 | | H2 | |
| | Vinter | Sommer | Vinter | Sommer |
| Veksler 1 | 2100 | 1559 | 1447 | 1798 |
| Veksler 2 | 1803 | 1393 | 1185 | 1621 |
| Veksler 3 | 1714 | 1427 | 1464 | 1277 |
| Veksler 4 | 2047 | 1602 | 1289 | 1000 |
| Veksler 5 | 1735 | 1986 | 1607 | 1260 |
| Veksler 6 | 1797 | 2002 | 1455 | 1039 |
| Veksler 7 | 1681 | 1814 | 1876 | 1249 |
| Veksler 8 | 2100 | 2000 | | |

Simuleringene ble da kjørt med de samme strømmene inn som de tunede modellene, ettersom strømmene inn i vekslerne er uavhengige av vekslerne. Ut-temperaturene ble da notert og temperaturdifferansen ble regnet ut. Denne differansen vil da brukes til videre energiberegninger.

Tabell 16 Resultater fra simulering.

| | Vann til VP [°C] | | | Sats til felling [°C] | | |
|--------|------------------|-----------|------------|-----------------------|-----------|------------|
| | Tunet | Forbedret | Differanse | Tunet | Forbedret | Differanse |
| H1 | | | | | | |
| Vinter | 38 | 39 | 1 | 5 | 5 | -1 |
| Sommer | 37 | 38 | 2 | 9 | 8 | -0,5 |
| H2 | | | | | | |
| Vinter | 28 | 29 | 0,5 | 5 | 4 | -1 |
| Sommer | 30 | 32 | 2 | 11 | 10 | -1 |

Energiberegninger

Det er flere forskjellige energitap som må beregnes. Varmetap og kjøletap på grunn av nedsatt effekt i varmevekslerne på grunn av urenheter, og tapt energi i sjøvannet som må dumpes etter bruk.

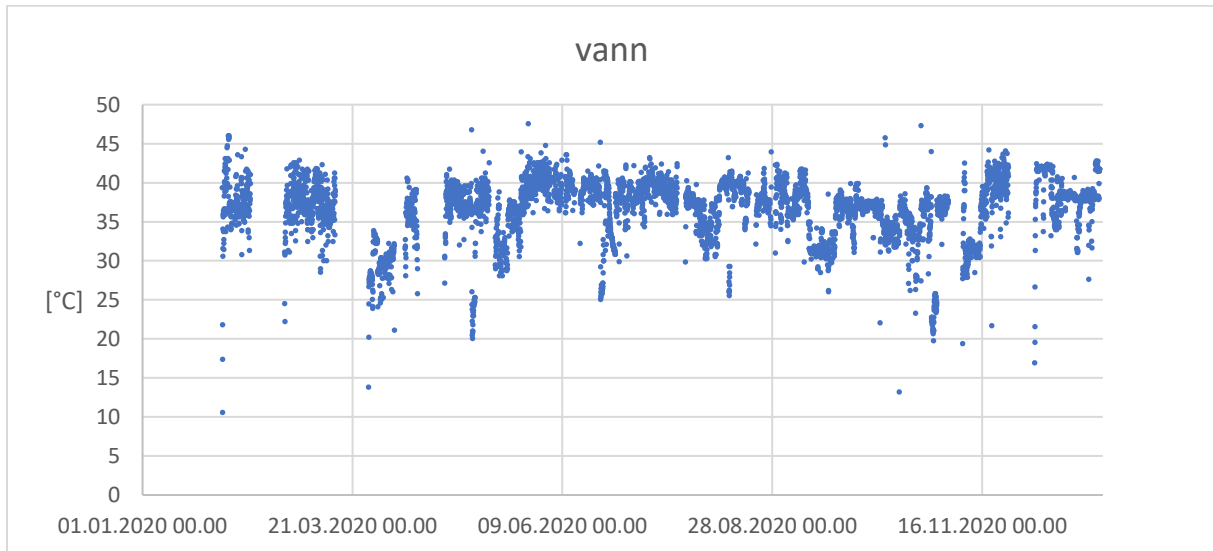
Antakelsene til både vann- og satsstrømmene er:

- Begge strømmene anses som rent vann.
- Konstant varmekapasitet på 4180 [J/(kg*K)]
- Konstant tetthet på 1000 [kg/m³]

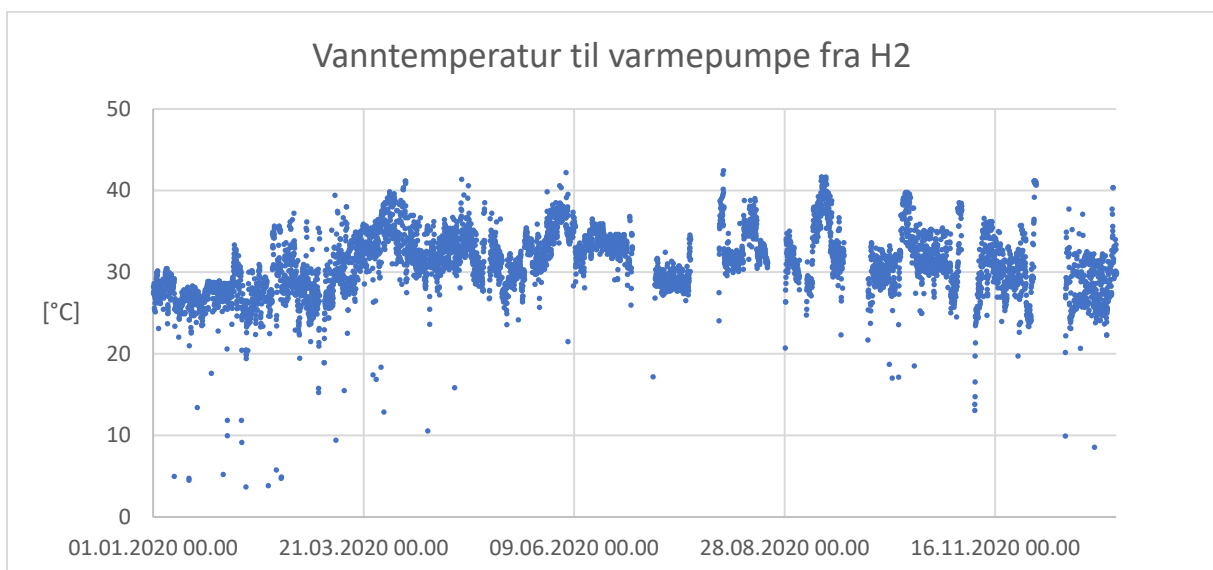
Varmetap

Varmetapet var det vanskeligste å beregne ettersom vannet varmes opp ved en kombinasjon av elektrisitet i varmpumpen og gass i dampkjelen, og det er nødvendig å vite fordelingen mellom varmetap som må dekkes av varmpumpen og av dampkjelen. Varmepumpen antas til å kunne gi en økning på 10 [°C] uavhengig av vannstrøm opp til en maksimal temperatur på

45 [°C]. Dampkjelen antas til å kunne varme opp vannet opp til 50 [°C] uansett start temperatur. For å kunne finne ut hvor mye energi som ble tilført vannet fra varmpumpen, og hvor mye som ble tilført i dampkjelen ble det brukt Excel. Til dette ble det brukt timesvise datapunkter for temperaturen til vannet ut av vekslertogene.



Figur 21 Vanntemperatur til varmpumpe fra H1.



Figur 22 Vanntemperatur til varmpumpe fra H2.

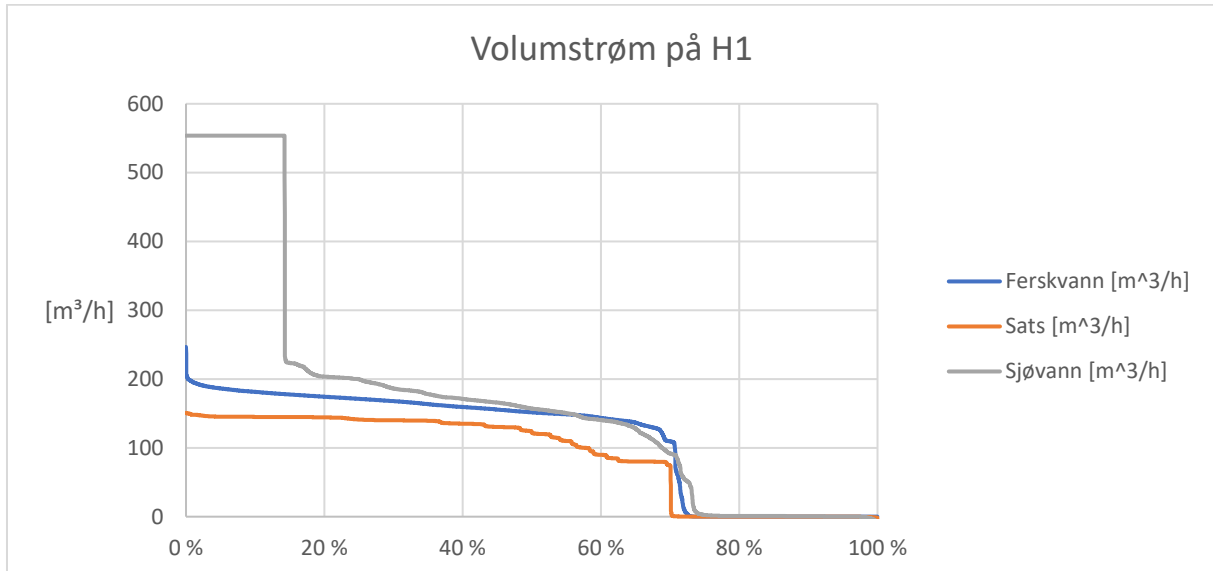
Detaljerte Excel-formler finnes i vedlegg, men logikken gjennomgås i korte trekk her. For timer der vanntemperaturen var under 35 [°C] ga varmpumpen 10 [°C] i temperaturøkning til vannet og resten kom fra dampkjelen. For timer der vanntemperaturen var mellom 35 [°C] og 45 [°C] økte varmpumpen temperaturen til 45 [°C] og resten kom fra dampkjelen. For timer der vanntemperaturen var over 45 [°C] var det kun dampkjelen som ga en temperaturøkning.

Denne beregningen gir et svar på hvor mye energi som ble brukt til oppvarming av vannet i 2020. For å finne ut hvor mye energi som kunne vært spart med bedre rengjøring av vekslerne

ble det lagt til et temperaturtillegg på hvert punkt. Dette tillegget ble regnet ut ved å bruke resultatene fra simuleringen og varighetskurvene til volumstrømmene fra begge fabrikkene.

Temperaturtillegg

Det antas at total produksjonstid er der satsstrømmen er over 10 [m³/h] og at sjøvann må være over 100 [m³/h].



Figur 23 Varighetskurver til volumstrøm på H1.

For H1 må perioden der sjøvannsraten ligger på over 500 [m³/h] fjernes ettersom dette er en tydelig feil i datamålingene.

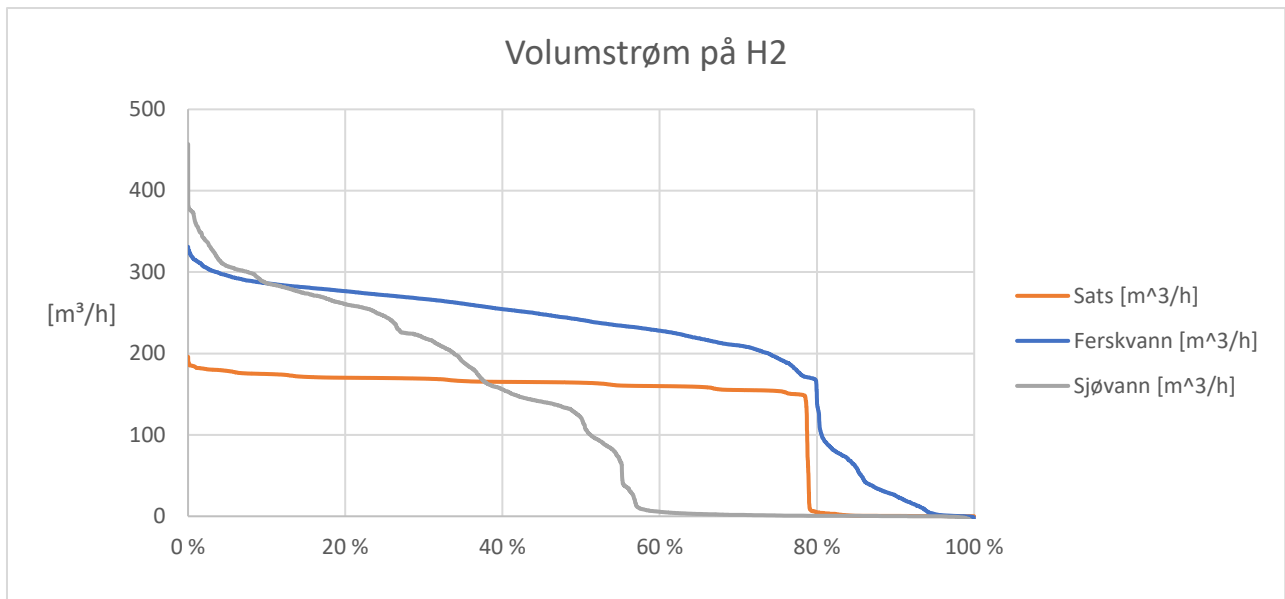
For H1 blir tillegget:

$$\text{Total produksjonstid} = 70\%$$

$$\text{Tid på sjøvann} = 69\% - 14\% = 55\%$$

$$\text{Tid på ferskvann} = 70\% - 55\% = 15\%$$

$$\text{Temperaturtillegg} = \frac{15\%}{70\%} \cdot 1 \text{ [}^\circ\text{C]} + \frac{55\%}{70\%} \cdot 2 \text{ [}^\circ\text{C]} = 1,8 \text{ [}^\circ\text{C]}$$



Figur 24 Varighetskurver til volumstrøm på H2.

For H2 blir tillegget:

$$\text{Total produksjonstid} = 79\%$$

$$\text{Tid på sjøvann} = 51\%$$

$$\text{Tid på ferskvann} = 79\% - 51\% = 28\%$$

$$\text{Temperaturtillegg} = \frac{28\%}{79\%} \cdot 0,5 \text{ [}^\circ\text{C]} + \frac{51\%}{79\%} \cdot 2 \text{ [}^\circ\text{C]} = 1,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Resultatene til disse beregningene finnes i neste kapittel.

Kjøletap

Tapt kjøleeffekt ble regnet ut på en forenklet, men tilsvarende, måte som varmetapet. Først ble temperaturforbedringen regnet ut på samme måte som temperaturtillegget for varmetapet.

For H1 ble forbedringen:

$$\text{Temperaturforbedring} = \frac{15\%}{70\%} \cdot 1 \text{ [}^\circ\text{C]} + \frac{55\%}{70\%} \cdot 0,5 \text{ [}^\circ\text{C]} = 0,6 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

For H2 ble forbedringen 1 [°C] ettersom sommer og vinters-simuleringene ga lik forbedring.

Denne ble da ganget med summen av satsstrømmen når det var produksjon:

$$\text{Energi} = \text{Total sats} \cdot \text{Varmekapasitet} \cdot \text{Temperaturforbedring}$$

Resultatene til disse beregningene finnes i neste kapittel.

Sjøvannstap

Sjøvannstapet er ikke interessant for videre beregninger ettersom sjøvannet ikke blir benyttet videre. Derfor regnes det kun ut totalt tap i 2020 og ikke forbedringen.

Til disse beregningene ble de samme Excel-arkene som ble brukt til å regne ut timene hver vekslers ble kjørt på sjøvann benyttet. Eneste tillegg var følgende:

- =HVIS(K3=8;(C3/3,6)*4,18*(F3-D3);"")
- Hvis veksleren kjøres på sjøvann regn ut energioverføring, ellers tom.

Dette ble gjort for hver veksler og deretter summert opp.

Resultatene til disse beregningene finnes i neste kapittel.

Resultater

Varmetap

Tabell 17 Resultater til varmetapsberegninger til H1.

| Energi til oppvarming av vann fra H1 | | | |
|--------------------------------------|----------|-----------|------------|
| | Original | Forbedret | Differanse |
| Varmepumpe | [GWh] | [GWh] | [GWh] |
| Under 35 | 2,8 | 2,0 | 0,8 |
| Under 45 | 5,8 | 5,0 | 0,8 |
| Total | 8,6 | 7,0 | 1,6 |
| Dampkjel | | | |
| Under 35 | 2,4 | 1,6 | 0,8 |
| Under 45 | 4,4 | 4,8 | -0,4 |
| Over 45 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 6,8 | 6,4 | 0,4 |

(Negative tall indikerer en økning i den kategorien.)

Tabell 18 Resultater til varmetapsberegninger til H2.

| Energi til oppvarming av ferskvann fra H2 | | | |
|---|----------|-----------|------------|
| | Original | Forbedret | Differanse |
| Varmepumpe | [GWh] | [GWh] | [GWh] |
| Under 35 | 18 | 16 | 2,0 |
| Under 45 | 1,8 | 3,4 | -1,6 |
| Total | 20 | 19 | 0,4 |
| Kjel | | | |
| Under 35 | 18 | 15 | 3,0 |
| Under 45 | 1,1 | 2,1 | -1,0 |
| Over 45 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 19 | 17 | 2,0 |

(Negative tall indikerer en økning i den kategorien.)

Tabell 19 Total energigevinst for oppvarming av ferskvann.

| Total energigevinst | |
|---------------------|-------|
| Varmepumpe | [GWh] |
| H1 | 1,6 |
| H2 | 0,4 |
| Sum varmepumpe | 2,0 |
| Dampkjel | |
| H1 | 0,4 |
| H2 | 2,0 |
| Sum dampkjel | 2,4 |
| Total | 4,4 |

Kjøletap

Tabell 20 Resultater til kjøletapsberegninger.

| Energitap i kjøling av sats | |
|-----------------------------|-------|
| | [GWh] |
| H1 | 0,5 |
| H2 | 1,3 |
| Total | 1,8 |

Sjøvannstap

Tabell 21 Resultater til sjøvannstapsberegninger.

| Energitap i sjøvann i 2020 | |
|----------------------------|-------|
| H1 | [GWh] |
| Veksler 8 | 3,1 |
| Veksler 7 | 0,7 |
| Veksler 6 | 0,3 |
| Veksler 5 | 0,3 |
| Totalt | 4,4 |
| H2 | |
| Veksler 1 | 4,8 |
| Veksler 2 | 0,1 |
| Veksler 3 | 0,0 |
| Totalt | 4,9 |
| Totalt begge fabrikker | 9,3 |

Prosjektforslag; Mobil CIP enhet

Muligheten for bruk av mindre CIP-enhet er å anbefale i en startfase slik en kan tune inn og fastsette krav til vaskemiddel og program. Dermed etablere et tilstrekkelig erfaringsgrunnlag på forskjellige situasjoner med varierende produksjon og skittenhet.

Ved alginatproduksjonen er «foulingen» i vekslerne i stor grad biologisk og har forskjellig sammensetning/komposisjon på sats og kjøle side. Valg av vaskeprogram og kjemikalie baseres på anbefaling fra leverandør og datablad som gir et grovt overslag på enhetspris.

Basert på tilbud fra Tim Jonassen Alfa Laval er mobil CIP enhet 400L med vaskemiddel «Alpacon Descalant» foreslått som en hensiktsmessig kombinasjon for et pilotprosjekt.

Investering, energi, kontantstrøm og NPV betraktninger gjort etter prosessdata fra 2020 (beregnet tidligere i rapporten), tilbud fra leverandør per 2021 og markedspriser for driftsmidler.

Investeringsutgift

Tabell 22 Investeringskostnad

| Investeringskostnad | | | |
|---|--------------|--------|------------|
| | Kostnad | Antall | Total |
| CIP-enhet | kr 250 000 x | 2 | kr 500 000 |
| Prosessingeniørtimer | kr 900 x | 40 | kr 36 000 |
| HMS-ingeniørtimer | kr 900 x | 20 | kr 18 000 |
| Kvalitetsingeniørtimer | kr 900 x | 10 | kr 9 000 |
| Prosjektledelse | kr 900 x | 80 | kr 72 000 |
| Leveranse | kr 50 000 x | 1 | kr 50 000 |
| Piping | | | |
| Ingeniørtimer | kr 900 x | 30 | kr 27 000 |
| Arbeidertimer | kr 500 x | 80 | kr 40 000 |
| Piping | kr 60 000 x | 1 | kr 60 000 |
| Ventiler | kr 50 000 x | 1 | kr 50 000 |
| Instrumentering for påvisning av lekkasje | kr 50 000 x | 1 | kr 50 000 |
| Sum piping | | | kr 227 000 |
| Strukturarbeid | | | |
| Ingeniørtimer | kr 900 x | 20 | kr 18 000 |
| Arbeidertimer | kr 500 x | 40 | kr 20 000 |
| Materiell | kr 40 000 x | 1 | kr 40 000 |
| Sum strukturarbeid | | | kr 78 000 |
| Total investeringskostnad | | | kr 990 000 |

Timelønn og priser er grovestimater basert på tidligere erfaringer fra fabrikken. Tilbud fra leverandør betraktes også som grovt estimert ettersom pris ikke ble gitt i sammenheng med en offisiell bestilling, men heller gjennom korrespondanse gjennom e-post og telefon.

For å kunne sette opp en mobil CIP enhet, slik den står klar til bruk vil en engangsutgift på 990 000 kr være nødvendig.

Energisum

Tabell 23 Energi som må dekkes fra eksternt forsynte kilder.

| Nødvendig innkjøpt energimengde | | |
|---------------------------------|------------------|----------------|
| | Varmepumpe [GWh] | Dampkjel [GWh] |
| H1 | 1,6 | 0,4 |
| H2 | 0,4 | 2,0 |
| Total | 2,0 | 2,4 |

Oversikt over konsum av innkjøpt energi i løpet av 2020 for vekslertogene H1 og H2.

For all oppvarming som skjer ved elektrisitet beregnes en COP på 3. Ved oppvarming med gass har dampkjelen en virkningsgrad på 90%.

$$\text{Nødvendig elektrisitet} = \frac{\text{Energi tilført av varmepumpe}}{\text{COP}} = \frac{2,0 \text{ [GWh]}}{3} = 0,7 \text{ [GWh]}$$

$$\text{Nødvendig gassenergi} = \frac{\text{Energi tilført av dampkjel}}{\eta_{\text{dampkjel}}} = \frac{2,4 \text{ [GWh]}}{0,9} = 2,7 \text{ [GWh]}$$

Kontantstrøm

Tabell 24 Kontantstrøm

| Kontantstrøm | | | | | |
|--------------------------------|---------|---------|-----------|--------|---------------|
| | Kostnad | | | Antall | Totalt |
| Kjemikalie (Alpacon Descalant) | -kr | 108 | per liter | 15600 | -kr 1 684 800 |
| Innsparte arbeidertimer | kr | 410 | per time | 810 | kr 332 100 |
| Innspart strømbruk | | | per GWh | 0,7 | |
| Innspart gassbruk | | | per GWh | 2,7 | |
| Forbedret produksjon | kr | 200 000 | per år | 1 | kr 200 000 |
| Kontantstrøm | | | | | kr 420 300 |

(Svarte bokser skjuler konfidensiell informasjon)

Kontantstrøm kalkyle er regnet på inntjening og forbruk i løpet av et år med vanlig drift.

Prisen på kjemikalie bør tas i betraktning med muligheten for avtaler i sammenheng med større innkjøp. Faste avtaler og større innkjøp åpner for utvidet forhandlings grunnlag og gunstigere prisforhold.

«Forbedret produksjon» kommer fra at økt nedkjøling vil øke produksjonsmengden og kvaliteten på det endelige produktet. I 2019 utgjorde produksjonstapet på grunn av dårlig kjøling kr 2 000 000. Forbedringen fra CIP-løsningen vil ikke kunne dekke for mesteparten av det tapet, derfor er produksjonsgevinsten kun satt til 10%.

Antall arbeidstimer kommer fra vaskeloggen for 2018, finnes i vedlegg. Vasking av de store vekslerne er antatt å ta ti timer og de små åtte. Ettersom vasking med CIP-løsning er svært automatisert er tiden det tar å sette den opp neglisjert.

Nåverdianalyse

(Analysen er gjort med en kalkulasjonsrente på 30%.)

Tabell 25 Nåverdianalyse

| Nåverdianalyse | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|---------|----|---------|----|---------|-----|----|---------|----|---------|
| År | 0 | | 1 | | 2 | | ... | 9 | | 10 | |
| Kontantstrøm | -kr | 990 000 | kr | 420 300 | kr | 420 300 | ... | kr | 420 300 | kr | 420 300 |
| | kr | 323 308 | | | | | | | | | |
| | kr | 248 698 | | | | | | | | | |
| | kr | 191 306 | | | | | | | | | |
| | kr | 147 159 | | | | | | | | | |
| | kr | 113 199 | | | | | | | | | |
| | kr | 87 076 | | | | | | | | | |
| | kr | 66 982 | | | | | | | | | |
| | kr | 51 524 | | | | | | | | | |
| | kr | 39 634 | | | | | | | | | |
| | kr | 30 488 | | | | | | | | | |
| Netto nåverdi | kr | 309 374 | | | | | | | | | |

Diskusjon

Alle beregningene er gjort så konservative som mulig for å veie opp for usikkerhet, feilkilder og utilstrekkelig simuleringsgrunnlag. Store deler av de operasjonelle dataene kunne ikke brukes ettersom de lå utenfor definisjonsområdet til formlene for varmeoverføring i varmevekslere [12]. Disse måtte fjernes ved bruk av Excel-regneark.

For modellering/simulering var det største problemet versifisering av modellene ettersom vekslertogene har for mange uavhengige variabler til å kunne presenteres grafisk over tid. Det ble gjort en avgjørelse på å forenkle modellen til å kun gjelde for valgte punkter. Dette begrenser selvfølgelig gyldigheten til modellen.

Et annet problem med modelleringene var begrenset erfaring med HYSYS. På grunn av koronarestriksjoner ble nesten all HYSYS-undervisning kuttet. Dette har ført til at mye tid og krefter er blitt brukt til å forsøke å lære programmet selv. En av de største feilene som er blitt gjort som følge av dette er at tuningen ble gjort ved å endre på strømmene. Modellen ville vært bedre hvis tuningen endret U-verdiene til hver veksler, men det var uklart hvordan en gjør dette på en tidseffektiv måte.

I den økonomiske analysen er det gjort antakelser der reelle tall ikke kunne skaffes. I investeringskostnadsanalysen er alle tallene antakelser, med unntak av prisen på CIP-løsningen.

Av disse grunnene har resultatene fra oppgaven blitt veldig grove. Selv om resultatene ikke er nøyaktige, tyder de på at det ikke må mye til for å forbedre situasjonen.

Konklusjon

Målet med oppgaven var å undersøke konsekvensene av høy fouling i vekslerne. Til dette ble det regnet ut U-verdier, som ble brukt til modellering av vekslerne. Deretter ble det kjørt simuleringer med forbedrede U-verdier. Resultatene fra dette arbeidet har ført til følgende konklusjon:

Fabrikken må øke graden av automatisering. I første omgang anbefales det å implementere mobile CIP-løsninger, men fabrikken bør undersøke en helt ny varmevekslerløsning. Den nye varmevekslerløsningen bør ha bedre og mer automatisert målestyr, slik at det for eksempel ikke kreves manuell oversikt over sjøvann/ferskvann overgangen.

I tillegg bør det installeres temperaturmålere i mer gunstige posisjoner, slik at de fungerer både under ferskvann- og sjøvannsdrift.

Videre arbeid

- Undersøke nye løsninger på varmevekslersystemet.
- Undersøke nøyere om det finnes billigere og/eller mer effektive vaskemidler.
- Undersøke muligheter for videre automatisering av fabrikken.
- Jobbe mot bedre filtrering av vannsystemet.

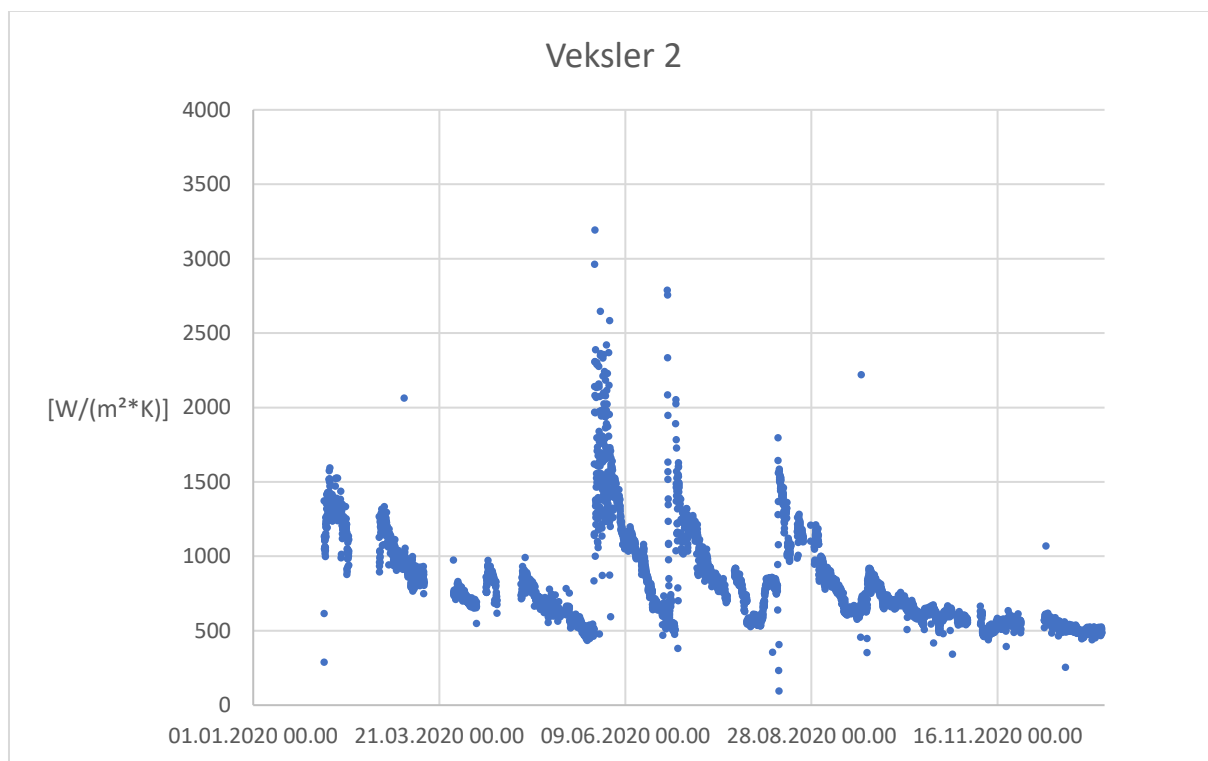
Bibliografi

- [1] Dupont, [Internett]. Available: https://dupont.scene7.com/is/image/Dupont/vormedal_liggende-800x500. [Funnet 12 Mars 2021].
- [2] Dupont, [Internett]. Available: <https://www.stortare.no/produkter.html>. [Funnet 20 Mai 2021].
- [3] J. Vea, «regjeringen.no,» FMC Biopolymer, [Internett]. Available: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/fkd/vedlegg/diverse/2011/seminar_tare/presentasjonfmcbiopolymer.pdf?id=2278146. [Funnet 15 Mars 2021].
- [4] Dupont, «stortare.no,» [Internett]. Available: <https://www.stortare.no/om-dupont.html>. [Funnet 20 Januar 2021].
- [5] Dupont, «stortare.no,» [Internett]. Available: <https://www.stortare.no/tarehosting.html>. [Funnet 20 Januar 2021].
- [6] Dupont, «stortare.no,» [Internett]. Available: <https://www.stortare.no/stortare.html>. [Funnet 20 Februar 2021].
- [7] M. Indergaard, «Tang og tare – I hovedsak norske brunalger: Forekomster, forskning og anvendelse,» Trondheim, 2010.
- [8] Y. A. Çengel og A. J. Ghajar, Heat and mass transfer - Fundamentals & applications, New York: McGraw-Hill Education, 2015.
- [9] H. Lelieveld, J. Holah og D. Napper, Hygiene in Food Processing, Cambridge: Woodhead Publishing, 2013.
- [10] H. Nordal, A. Stølås og H. B. Olsen, «Optimalisering rengjøringsprosess av platevarmevekslere,» Høgskolen Stord/Haugesund, Haugesund, 2015.
- [11] Rockwool, «rockwool.com,» Rockwool, [Internett]. Available: <https://www.rockwool.com/siteassets/rw-sa/product-documentation/corporate-collaterals/all/how-to-choose-the-right-mineral-wool-for-insulation.pdf?f=20210305074556>. [Funnet 24 Februar 2021].
- [12] S. Skogstad, «Varmeveksling,» i *Prosessteknikk*, Trondheim, Tapir Akademisk Forlag, 2009, pp. 121-134.

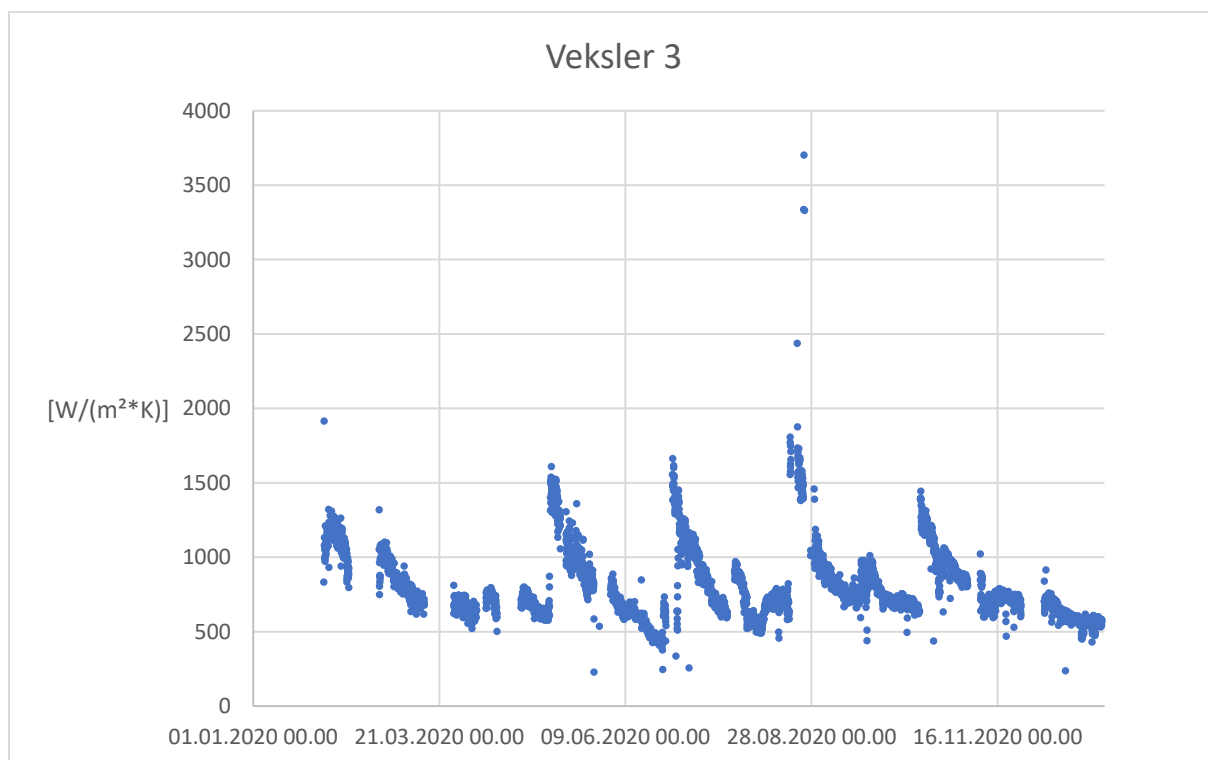
Vedlegg

Grafer for U-verdi til alle vekslerne på H1

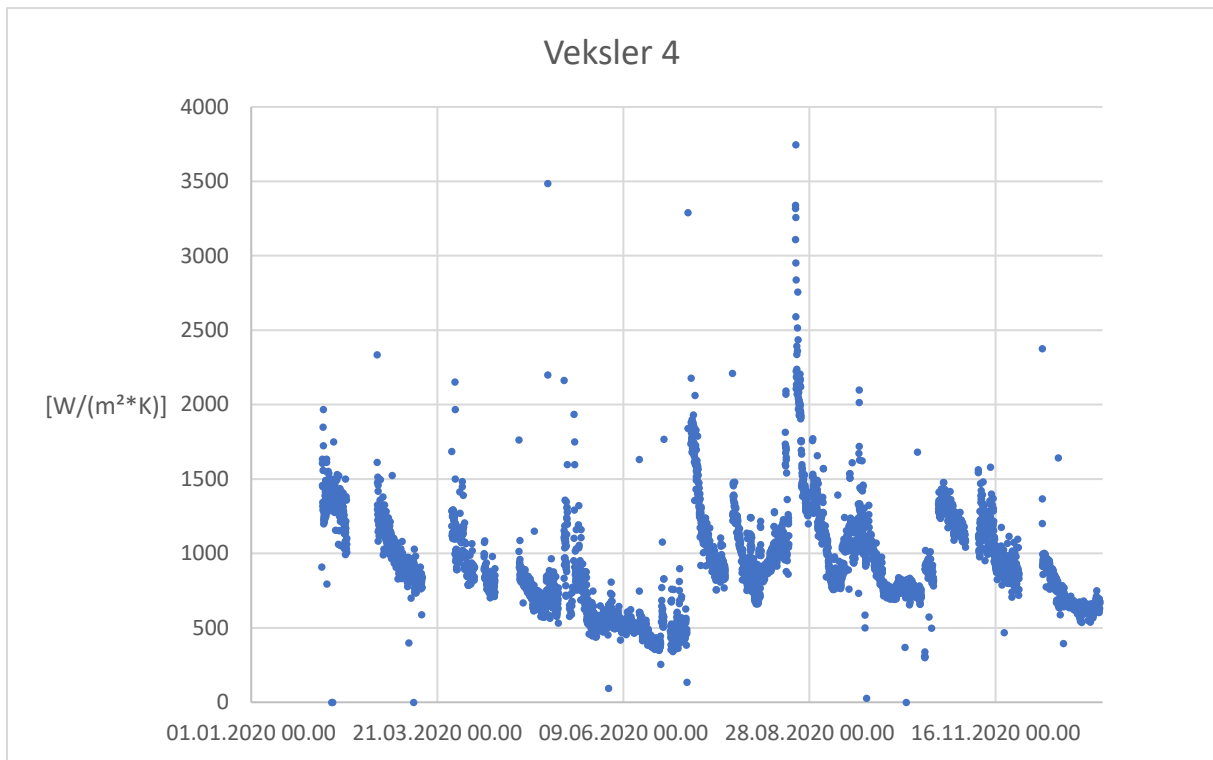
Figur 25 Graf av U-verdi for veksler 1 på H1.



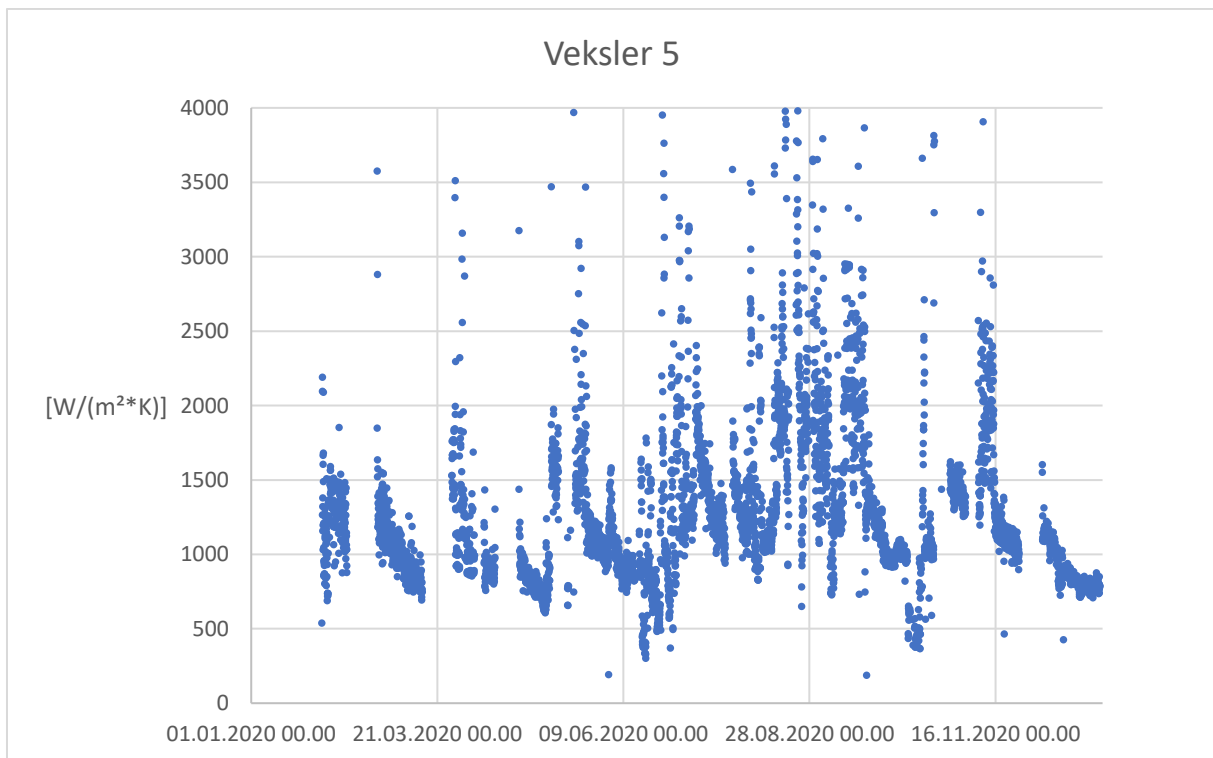
Figur 26 Graf av U-verdi for veksler 2 på H1.



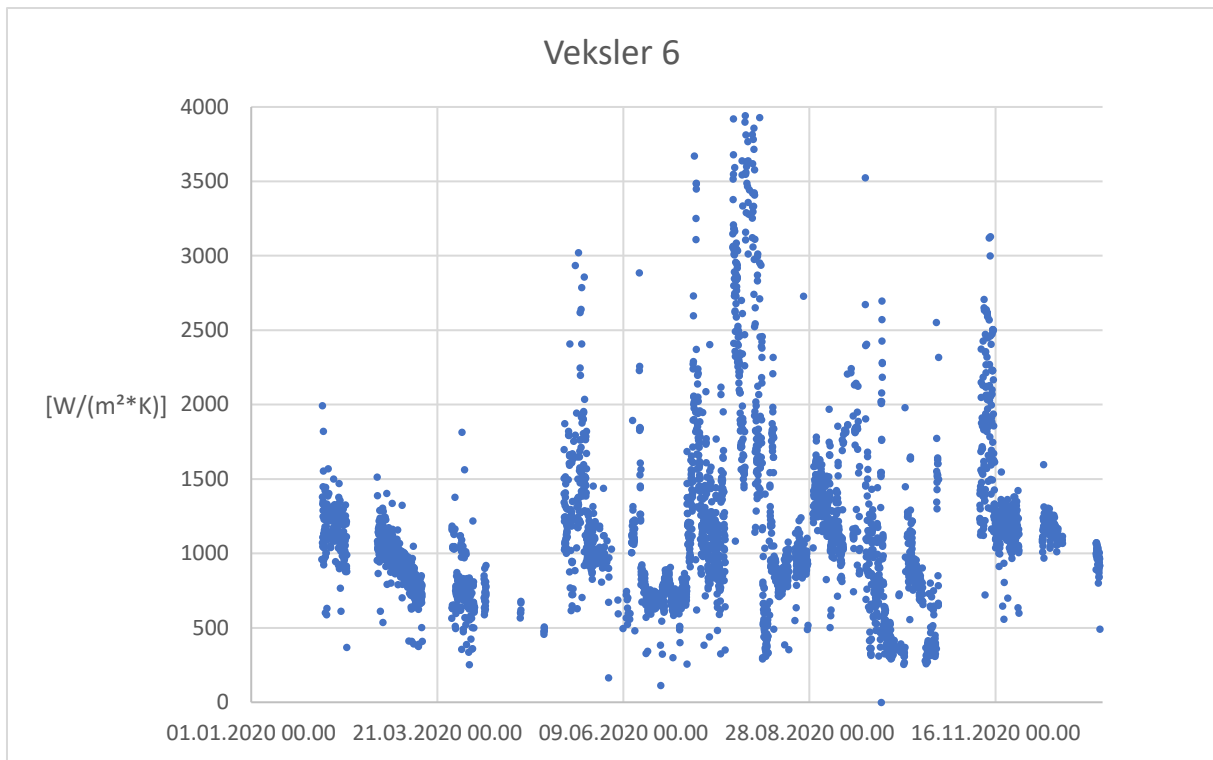
Figur 27 Graf av U-verdi for veksler 3 på H1.



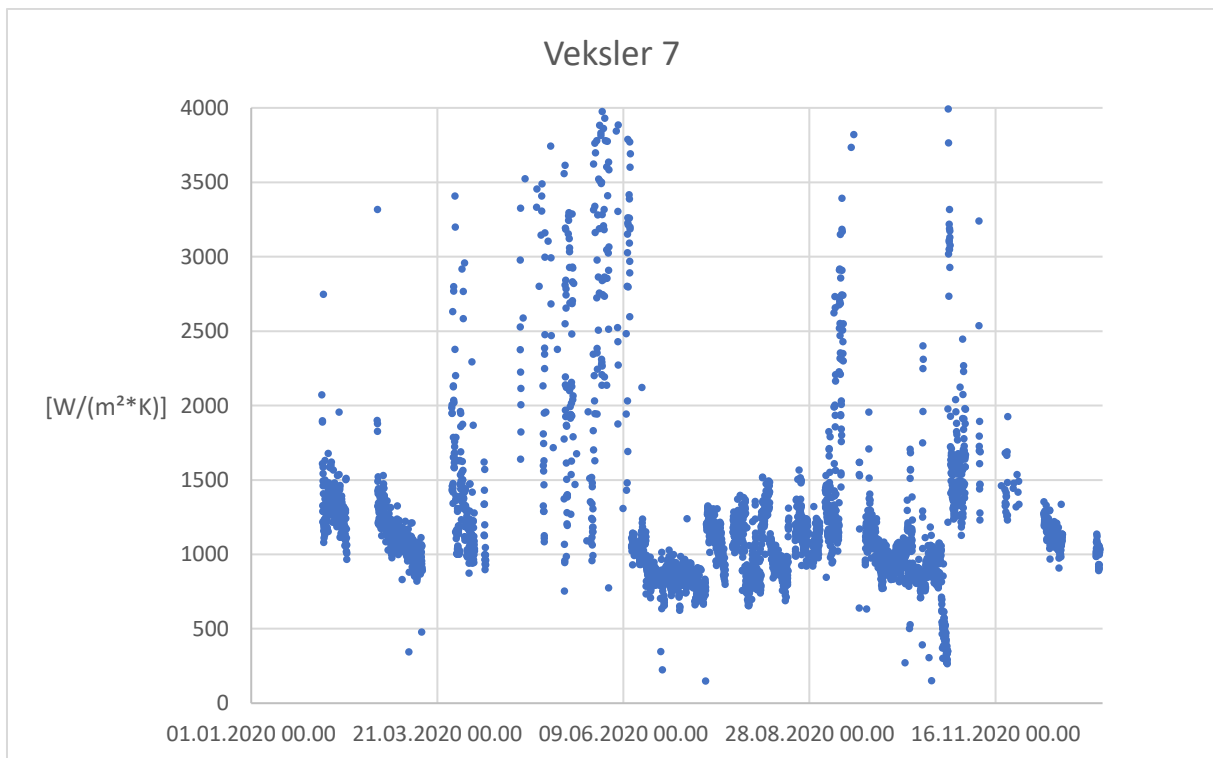
Figur 28 Graf av U-verdi for veksler 4 på H1.



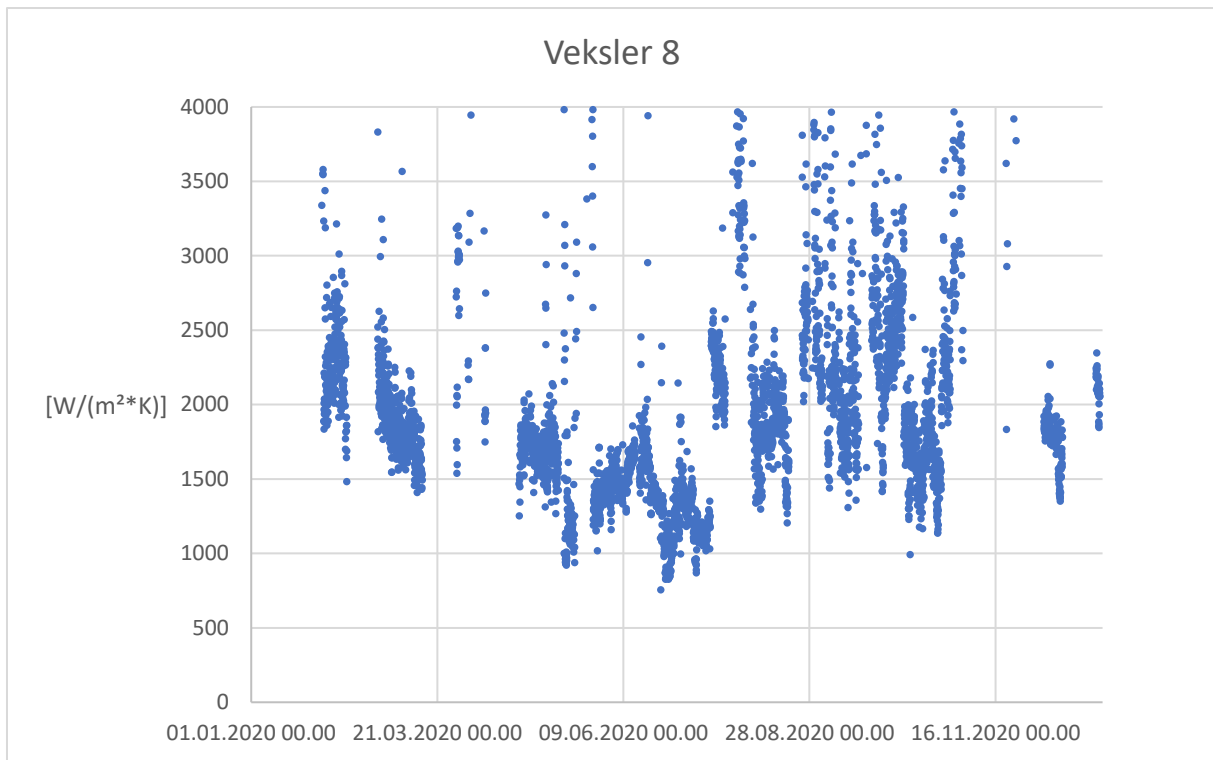
Figur 29 Graf av U-verdi for veksler 5 på H1.



Figur 30 Graf av U-verdi for veksler 6 på H1.

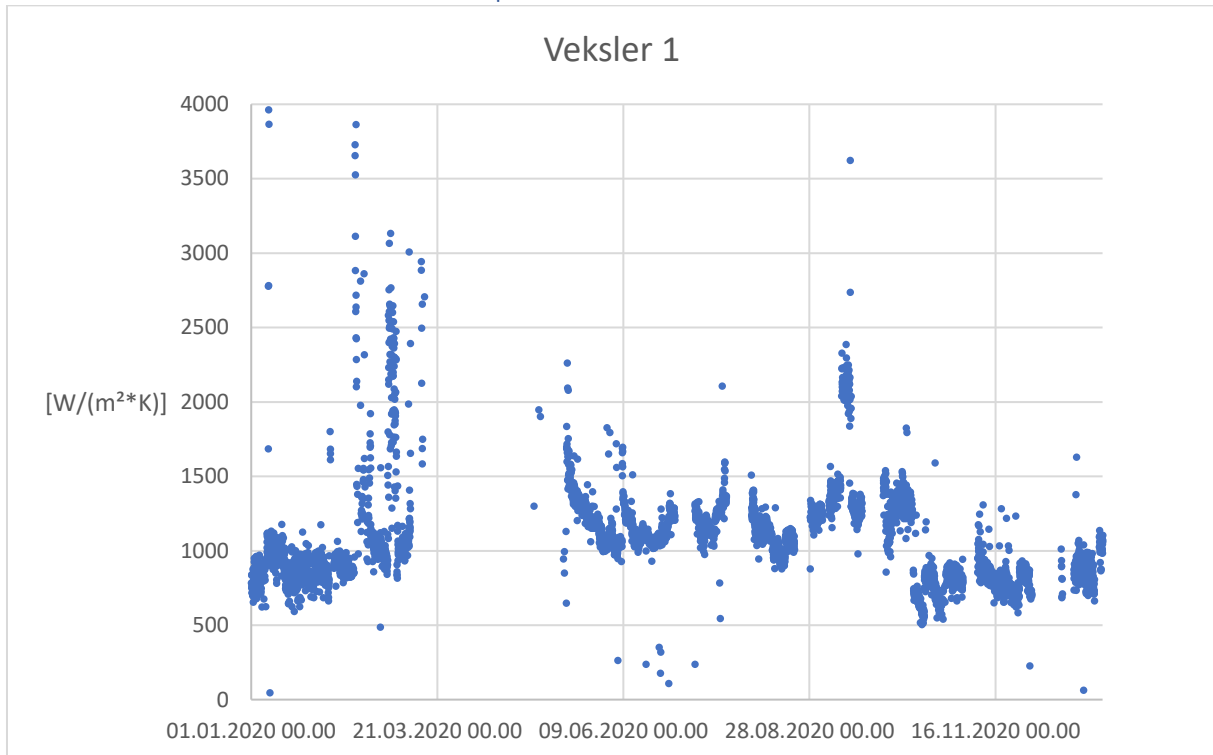


Figur 31 Graf av U-verdi for veksler 7 på H1.

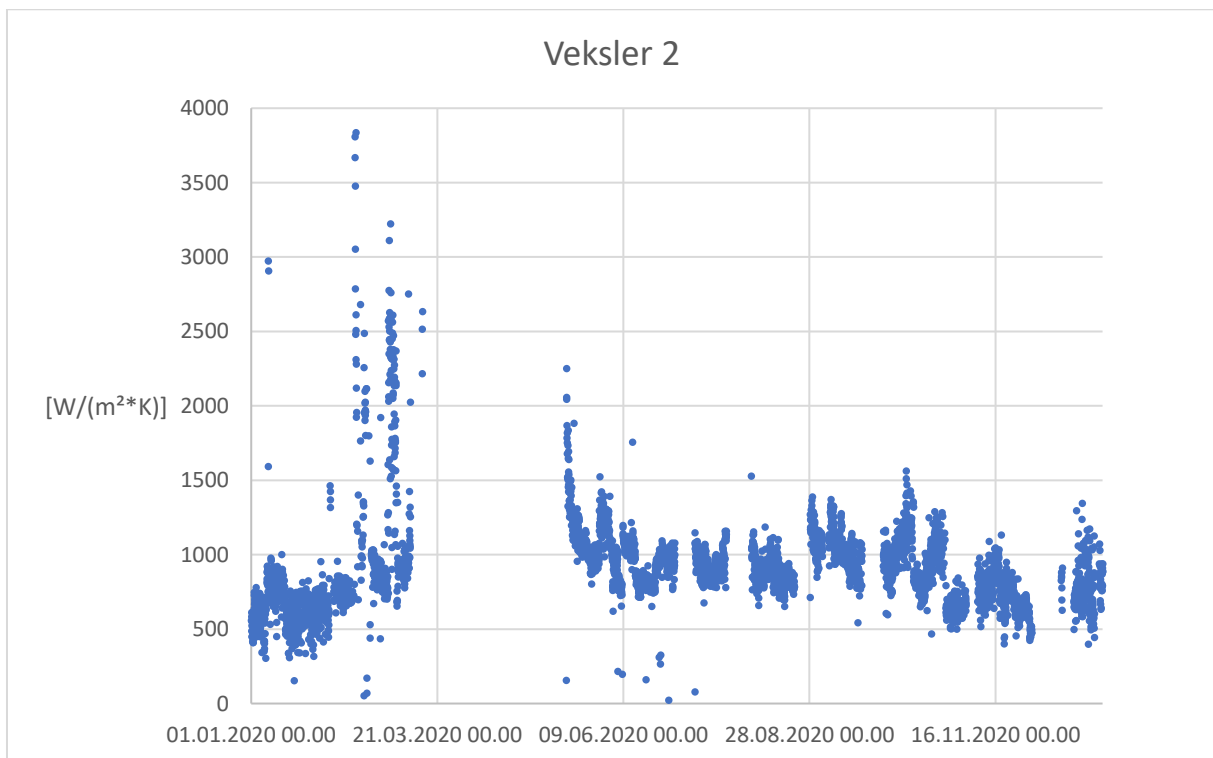


Figur 32 Graf av U-verdi for veksler 8 på H1.

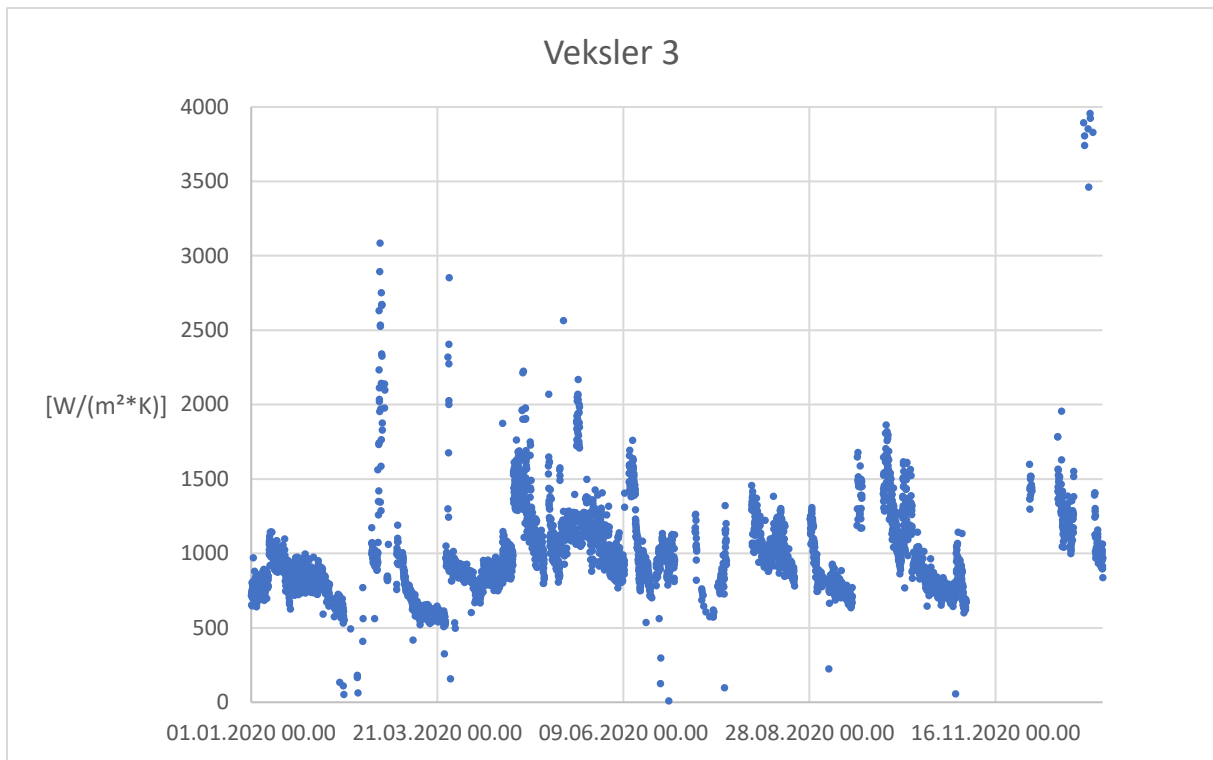
Grafer for U-verdi til alle vekslerne på H2



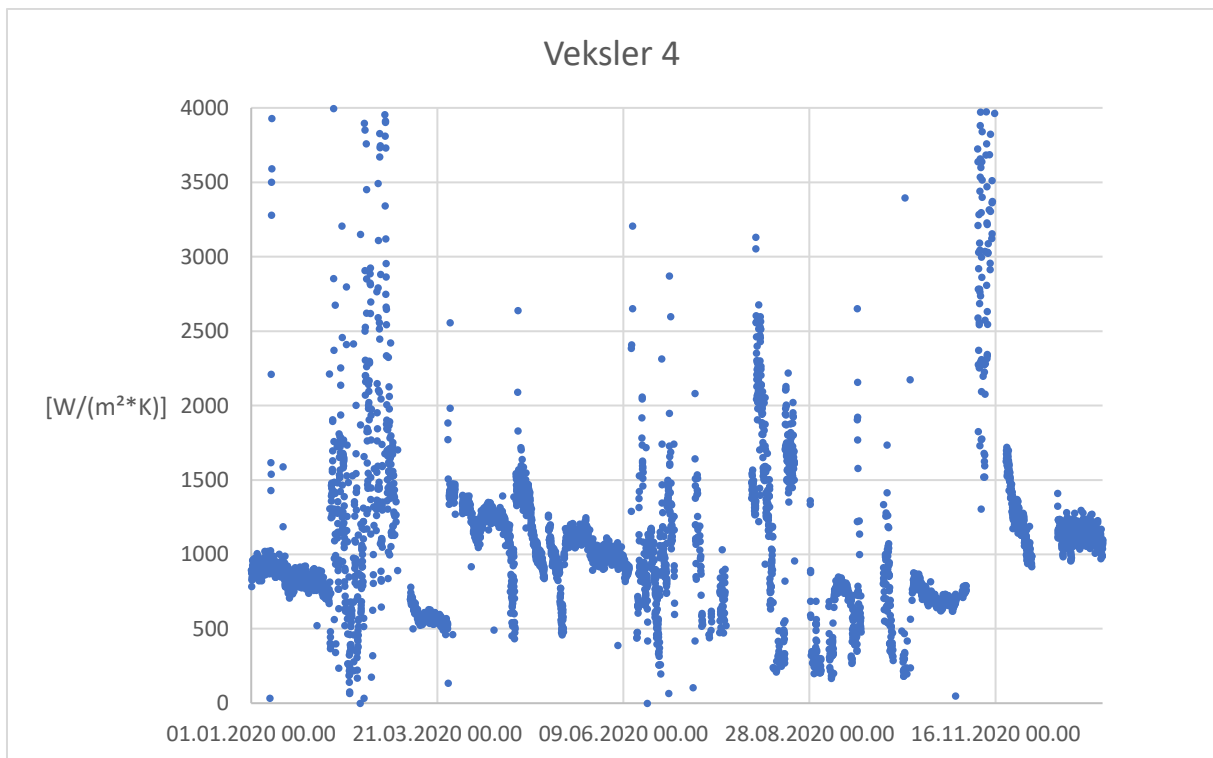
Figur 33 Graf av U-verdi for veksler 1 på H2.



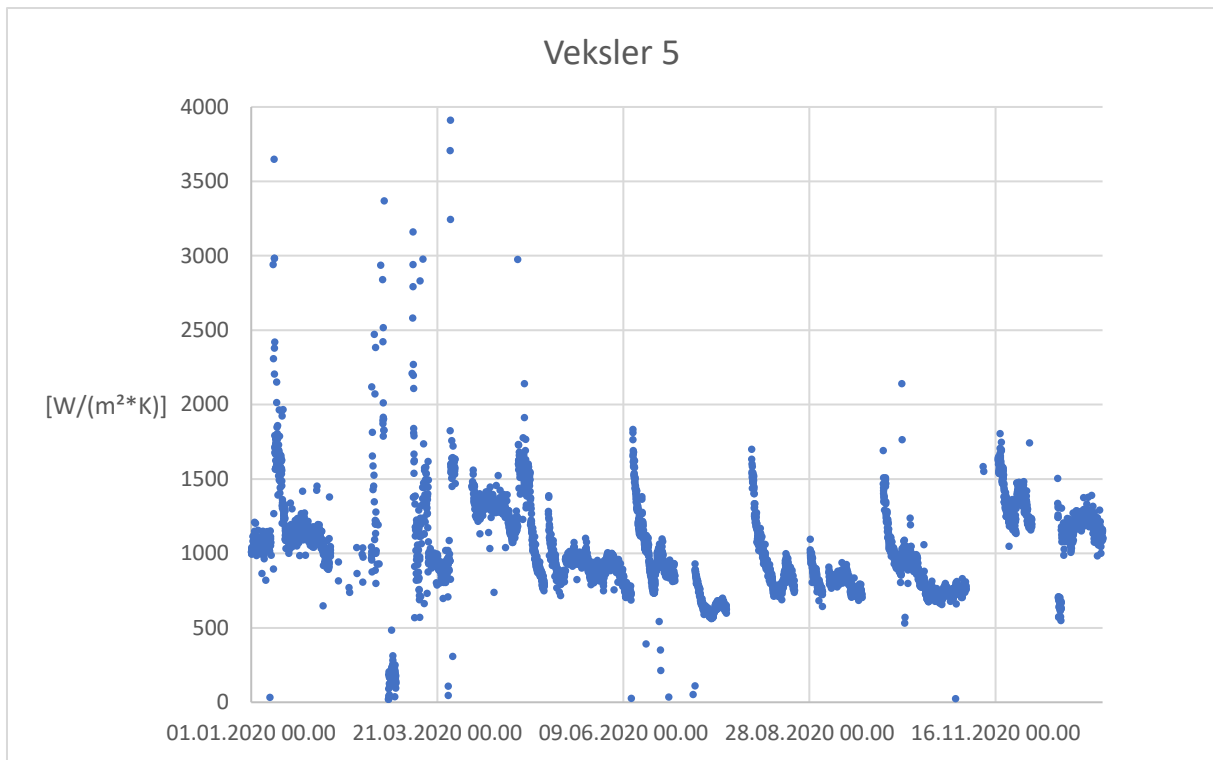
Figur 34 Graf av U-verdi for veksler 2 på H2.



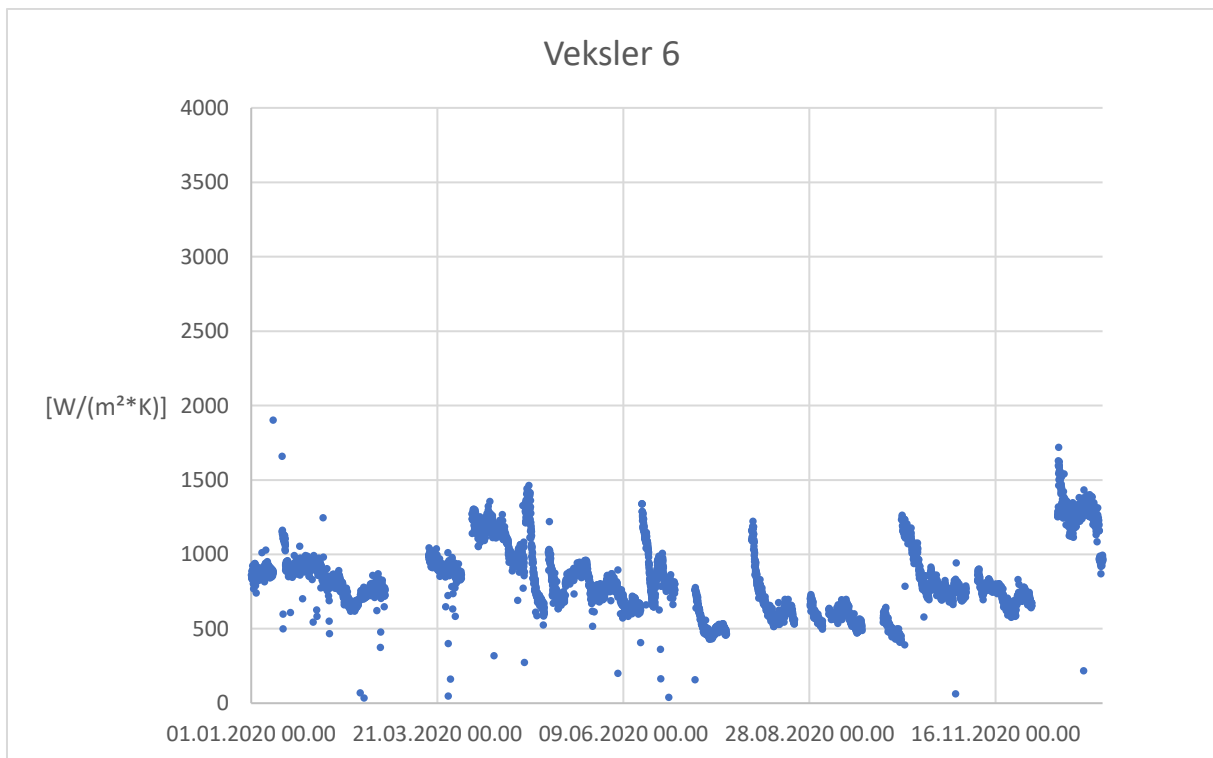
Figur 35 Graf av U-verdi for veksler 3 på H1.



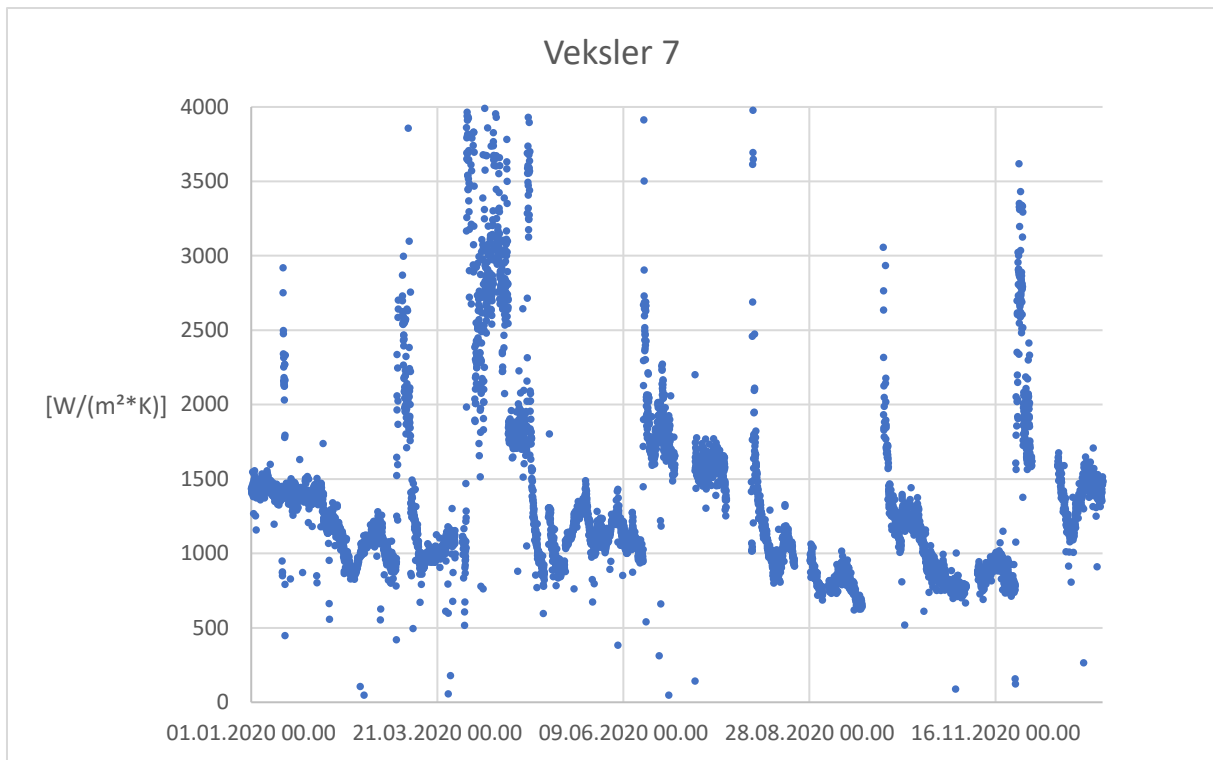
Figur 36 Graf av U-verdi for veksler 4 på H2.



Figur 37 Graf av U-verdi for veksler 5 på H2.



Figur 38 Graf av U-verdi for veksler 6 på H1.



Figur 39 Graf av U-verdi for veksler 7 på H2.

Rådata for modellering av vekslertog

Tabell 26 Operasjonelle data for H1 Vinter

| H1 - Vinter - 02.02.2020 13:00:00 | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------|--------------|--------------|
| Ferskvannstrøm | Ferskvann inn | Veksler 8 ut | Veksler 7 ut | Veksler 6 ut |
| H1-FI09-001 | H1-TI09-014 | H1-TI09-002 | H1-TI09-004 | H1-TI09-006 |
| 181,33 | 4,13 | 6,36 | 9,03 | 11,12 |
| Veksler 5 ut | Veksler 4 ut | Veksler 3 ut | Veksler 2 ut | Veksler 1 ut |
| H1-TI09-008 | H1-TI09-010 | H1-TI09-030 | H1-TI09-028 | H1-TI09-024 |
| 12,77 | 16,75 | 19,29 | 26,17 | 38,27 |
| Satsstrøm | Fra filtret tank | Veksler 1 ut | Veksler 2 ut | Veksler 3 ut |
| H1-FI10-006 | H1-TI09-023 | H1-TI09-027 | H1-TI09-029 | H1-TI09-011 |
| 140,48 | 48,84 | 33,50 | 24,64 | 19,43 |
| Veksler 4 ut | Veksler 5 ut | Veksler 6 ut | Veksler 7 ut | Veksler 8 ut |
| H1-TI09-009 | H1-TI09-007 | H1-TI09-005 | H1-TI09-003 | H1-TI09-015 |
| 16,13 | 12,81 | 10,90 | 9,30 | 5,24 |

Tabell 27 Operasjonelle data for H1 Sommer

| H1 - Sommer - 03.09.2020 19:00:00 | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Sjøvannstrøm | Ferskvannstrøm | Ferskvann inn | Veksler 8 ut | Veksler 7 ut | Veksler 6 ut |
| H1-FI09-016 | H1-FI09-001 | H1-TI09-014 | H1-TI09-002 | H1-TI09-004 | H1-TI09-006 |
| 207,329 | 195,206 | 8,160 | 9,733 | 12,082 | 13,799 |
| Veksler 5 ut | Veksler 4 ut | Veksler 3 ut | Veksler 2 ut | Veksler 1 ut | |
| H1-TI09-008 | H1-TI09-010 | H1-TI09-030 | H1-TI09-028 | H1-TI09-024 | |
| 16,492 | 19,719 | 22,286 | 28,091 | 36,521 | |
| Satsstrøm | Fra filtret tank | Veksler 1 ut | Veksler 2 ut | Veksler 3 ut | |
| H1-FI10-006 | H1-TI09-023 | H1-TI09-027 | H1-TI09-029 | H1-TI09-011 | |
| 144,788 | 48,350 | 36,910 | 29,628 | 23,913 | |
| Veksler 4 ut | Veksler 5 ut | Veksler 6 ut | Veksler 7 ut | Veksler 8 ut | |
| H1-TI09-009 | H1-TI09-007 | H1-TI09-005 | H1-TI09-003 | H1-TI09-015 | |
| 20,404 | 16,099 | 13,571 | 12,230 | 8,206 | |

Tabell 28 Operasjonelle data for H2 Vinter

| H2 – Vinter - 24.01.2020 09:00:00 | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Ferskvannstrøm | Ferskvann inn | Veksler 1 ut | Veksler 2 inn | Veksler 2 ut | Veksler 3 inn |
| FT09-001 | H2-TI09-013 | H2-TI09-020 | H2-TI09-014 | H2-TI09-021 | H2-TI09-015 |
| 271,221 | 4,256 | 5,341 | 5,341 | 6,092 | 6,092 |
| Veksler 3 ut | Veksler 4 inn | Veksler 4 ut | Veksler 5 ut | Veksler 6 ut | Veksler 7 ut |
| H2-TI09-022 | H2-TI09-016 | H2-TI09-017 | H2-TI09-018 | H2-TI09-019 | H2-TI09-026 |
| 7,286 | 7,286 | 9,077 | 12,328 | 16,397 | 28,107 |
| Satsstrøm | Fra filtret tank | Veksler 7 ut | Veksler 6 ut | Veksler 5 ut | Veksler 4 ut |
| H2-FI10-002 | H2-TI09-025 | H2-TI09-027 | H2-TI09-007 | H2-TI09-008 | H2-TI09-009 |
| 165,831 | 49,428 | 28,090 | 19,192 | 13,378 | 10,727 |
| Veksler 3 ut | Veksler 2 ut | Veksler 1 ut | | | |
| H2-TI09-010 | H2-TI09-011 | H2-TI09-012 | | | |
| 8,041 | 7,005 | 5,320 | | | |

Tabell 29 Operasjonelle data for H2 Sommer

| H2 – Sommer - 01.09.2020 12:00:00 | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|---------------|--------------|---------------|--------------|---------------|
| Sjøvannstrøm | Ferskvannstrøm | Ferskvann inn | Veksler 1 ut | Veksler 2 inn | Veksler 2 ut | Veksler 3 inn |
| H2-FI09-024 | FT09-001 | H2-TI09-013 | H2-TI09-020 | H2-TI09-014 | H2-TI09-021 | H2-TI09-015 |
| 258,967 | 285,620 | 5,762 | 9,940 | 10,046 | 13,782 | 13,659 |
| Veksler 3 ut | Veksler 4 inn | Veksler 4 ut | Veksler 5 ut | Veksler 6 ut | Veksler 7 ut | |
| H2-TI09-022 | H2-TI09-016 | H2-TI09-017 | H2-TI09-018 | H2-TI09-019 | H2-TI09-026 | |
| 16,169 | 15,941 | 16,001 | 19,403 | 22,075 | 28,951 | |
| Satsstrøm | Fra filtret tank | Veksler 7 ut | Veksler 6 ut | Veksler 5 ut | Veksler 4 ut | |
| H2-FI10-002 | H2-TI09-025 | H2-TI09-027 | H2-TI09-007 | H2-TI09-008 | H2-TI09-009 | |
| 170,909 | 48,789 | 36,475 | 29,717 | 23,481 | 21,261 | |
| Veksler 3 ut | Veksler 2 ut | Veksler 1 ut | | | | |
| H2-TI09-010 | H2-TI09-011 | H2-TI09-012 | | | | |
| 18,552 | 15,049 | 11,868 | | | | |

Excel-formler for energiberegning av varmetap

Først ble det filtrert ut alle de timene i året der det var produksjonsstans:

- =HVIS(B3<10;"";D3)
- Hvis satsstrømmen er under 10 [m³/h] skriv tom, ellers skriv vanntemperaturen ut til varmpumpe.

Det neste steget ble å filtrere ut de timene der vannet var under 35 [°C], de timene der den var mellom 35 [°C] og 45 [°C] og de timene der den var over 45 [°C].

- =HVIS(F3<35;F3;"")
- Hvis vanntemperaturen er under 35 [°C] skriv den, ellers tom.

- =HVIS(OG(F3>35;F3<45);F3;"")
- Hvis vanntemperaturen er over 35 [°C] og under 45 [°C] skriv den, ellers tom.

- =HVIS(F3>45;F3;"")
- Hvis vanntemperaturen er over 45 [°C] skriv den, ellers tom.

For de timene temperaturen var under 35 [°C] ga varmpumpen maksimale energimengde, og resterende temperatur ble gitt av dampkjelen.

- =HVIS(G3="";"";(C3/3,6)*4,18*10)
- Hvis temperaturen er under 35 [°C] regn ut energien som tilføres av varmpumpen.

- =HVIS(G3="";"";40-G3)
- Hvis temperaturen er under 35 [°C] regn ut resterende temperaturdifferansen til 50 [°C].

- =HVIS(I3="";"";(C3/3,6)*4,18*I3)
- Bruk resterende temperaturdifferanse til å regne ut energien som tilføres i dampkjelen.

For de timene der temperaturen var mellom 35 [°C] og 45 [°C] vil varmpumpen øke temperaturen til 45 [°C] og dampkjelen vil øke temperaturen de resterende 5 [°C].

- =HVIS(K3="";"";45-K3)
- Hvis temperaturen er mellom 35 [°C] og 45 [°C] regn ut resterende temperaturdifferansen til 45 [°C].

- =HVIS(L3="";"";(C3/3,6)*4,18*L3)
- Bruk resterende temperaturdifferanse til å regne ut energien som tilføres i varmpumpen.

- =HVIS(L3="";"";(C3/3,6)*4,18*5)

- Hvis vanntemperaturen er over 35 [°C] og under 45 [°C] regn ut energien som tilføres i dampkjelen.

For de timene der temperaturen var over 45 [°C] ble den resterende energien tilført kun av dampkjelen.

- =HVIS(O3="";"";50-O3)
- Hvis temperaturen er over 45 [°C] regn ut resterende temperaturdifferansen til 50 [°C].

- =HVIS(P3="";"";(C3/3,6)*4,18*P3)
- Bruk resterende temperaturdifferanse til å regne ut energien som tilføres i dampkjelen.

Vaskelogg for 2018

H1

Tabell 30 Vaskelogg for H1 fra 2018

| UKE | VV 1 | VV. 2 | VV. 3 | VV. 4 | VV. 5 | VV. 6 | VV. 7 | VV. 8 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | 18.01.18 | | | | | | | |
| 4 | | 23.01.18 | 25.01.18 | | | | | |
| 5 | | | | 30.01.18 | 01.02.18 | | | |
| 6 | | | | | | 06.02.18 | 08.02.18 | |
| 7 | | | | | | | | 15.02.18 |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |
| 11 | 15.03.18 | | | | | | | |
| 12 | | 22.03.18 | | | | | | |
| 13 | | | 27.03.18 | | | | | |
| 14 | | | | | 05.04.18 | | | |
| 15 | | | | | | 10.04.18 | 11.04.18 | |
| 16 | | | | | | | | 17.04.18 |
| 17 | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | |
| 21 | | | | | | | | |
| 22 | 29.05.18 | | | | | | | |
| 23 | | 31.05.18 | 05.06.18 | 07.06.18 | | | | |
| 24 | | | | | 12.06.18 | 14.06.18 | | |
| 25 | | | | | | | 19.06.18 | 21.06.18 |
| 26 | | | | | | | | |
| 27 | | | | | | | | |
| 28 | | | | | | | | |
| 29 | 19.07.18 | | | | | | | |
| 30 | | 24.07.18 | | | | | | |
| 31 | | | 31.07.18 | 02.08.18 | | | | |
| 32 | | | | | 07.08.18 | 09.08.18 | | |
| 33 | | | | | | | 14.08.18 | 16.08.18 |
| 34 | | | | | | | | |
| 35 | | | | | | | | |
| 36 | | | | | | | | |
| 37 | 13.09.18 | | | | | | | |
| 38 | | 18.09.18 | | | 20.09.18 | | | |
| 39 | | | 25.09.18 | 27.09.18 | | | | |
| 40 | | | | | | 03.10.18 | 04.10.18 | |
| 41 | | | | | | | | 09.10.18 |
| 42 | | | | | | | | |
| 43 | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 44 | 01.11.18 | | | | | | | |
| 45 | | 06.11.18 | 08.11.18 | | | | | |
| 46 | | | | 13.11.18 | 14.11.18 | | | |
| 47 | | | | | | 20.11.18 | 22.11.18 | |
| 48 | | | | | | | | 27.11.18 |
| 49 | | | | | | | | |
| 50 | | | | | | | | |
| 51 | | | | | | | | |
| 52 | | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | | |

H2

Tabell 31 Vaskelogg for H2 fra 2018

| UKE | VV. 1 | VV. 2 | VV. 3 | VV. 4 | VV. 5 | VV. 6 | VV. 7 |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | | | | * | | 04.01.18 | |
| 2 | | | | | | | 11.01.18 |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | |
| 8 | 20.02.18 | | | | | | |
| 9 | | 27.02.18 | 01.03.18 | | | | |
| 10 | | | | | 06.03.18 | 08.03.18 | |
| 11 | | | | | | | 13.03.18 |
| 12 | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | |
| 16 | | | 19.04.18 | | | | |
| 17 | 26.04.18 | 24.04.18 | | | | | |
| 18 | | | | 03.05.18 | | | |
| 19 | | | | | 08.05.18 | | |
| 20 | | | | | | 15.05.18 | |
| 21 | | | | | | | 24.05.18 |
| 22 | | | | | | | |
| 23 | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | |
| 25 | | | | | | | |
| 26 | 26.06.18 | 28.06.18 | | | | | |
| 27 | | | 03.07.18 | 05.07.18 | | | |
| 28 | | | | | 10.07.18 | 12.07.18 | |
| 29 | | | | | | | 17.07.18 |
| 30 | | | | | | | |
| 31 | | | | | | | |
| 32 | | | | | | | |
| 33 | | | | | | | |
| 34 | 21.08.18 | 23.08.18 | | | | | |
| 35 | | | 28.08.18 | 30.08.18 | | | |
| 36 | | | | | 04.09.18 | 05.09.18 | |
| 37 | | | | | | | 11.09.18 |
| 38 | | | | | | | |
| 39 | | | | | | | |
| 40 | | | | | | | |
| 41 | 11.10.18 | | | | | | |
| 42 | | | 16.10.18 | 18.10.18 | | | |
| 43 | | | | | 23.10.18 | 25.10.18 | |
| 44 | | | | | | | 30.10.18 |
| 45 | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--|
| 46 | | | | | | | |
| 47 | | | | | | | |
| 48 | 29.11.18 | | | | | | |
| 49 | | 04.12.18 | 06.12.18 | | | | |
| 50 | | | | 13.12.18 | | | |
| 51 | | | | | 18.12.18 | 20.12.18 | |
| 52 | | | | | | | |
| 53 | | | | | | | |

Veksler spesifikasjoner

323 Plater

Tabell 32 Spesifikasjoner for vekslere med 323 plater.

| Pladevarmeveksler Spesifikasjon | | | | |
|---------------------------------|----------------|--|-------|-----------------|
| PVV Type | | A055 | | |
| Stativ, type / størrelse | | MGS-10/7. Malet, max 426 plates | | |
| Dimensions (H x W x L) | mm | 1675 x 720 x 2737 | | |
| Total antal plader | | 323 | | |
| Total aktivt areal | m ² | 176.55 | | |
| Pladekobling (Varm/Kold) | | 1*161 / 1*161 | | |
| Plademateriale | | 0.6 mm SS AISI 316L Paraclip | | |
| Pakningsmateriale | | NBR per. (FDA) Paraclip | | |
| Tilslutning H1, H4, H3, H2 | | NW 150 Flange (Tapskruer) SS 316 ND10 DIN 2501 | | |
| Konstruksjons regler | | APV | | |
| Designtemperatur | °C | Max | 95.0 | Min 0 |
| Designtryk | bar | Varm | 6 | Kold 6 |
| Testtryk | bar | Balanceret | 8.940 | Differens 7.200 |
| Masse | kg | fyltd | 2,771 | tom 2,208 |
| Shipping masse & Volumen ca. | kg | | 0 | l 0 |

271 plater

Tabell 33 Spesifikasjoner for vekslere med 273 plater.

| | | | | |
|------------------------------|----------------|--|-------|-----------------|
| PVV Type | | A055 | | |
| Stativ, type / størrelse | | MGS-10/7. Malet, max 426 plates | | |
| Dimensions (H x W x L) | mm | 1675 x 720 x 2737 | | |
| Total antal plader | | 271 | | |
| Total aktivt areal | m ² | 147.95 | | |
| Pladekobling (Varm/Kold) | | 1*135 / 1*135 | | |
| Plademateriale | | 0.6 mm SS AISI 316L Paraclip | | |
| Pakningsmateriale | | NBR per. (FDA) Paraclip | | |
| Tilslutning H1, H4, H3, H2 | | NW 150 Flange (Tapskruer) SS 316 ND10 DIN 2501 | | |
| Konstruksjons regler | | APV | | |
| Designtemperatur | °C | Max | 95.0 | Min 0 |
| Designtryk | bar | Varm | 6 | Kold 6 |
| Testtryk | bar | Balanceret | 8.940 | Differens 7.200 |
| Masse | kg | fyltd | 2,498 | tom 2,025 |
| Shipping masse & Volumen ca. | kg | | 0 | l 0 |