

Karina Skogvang-Melbye

# **C02-varmepumpe for energigjenvinning fra gråvann C02 Heat pump for Energy Recovery from greywater**

Bacheloroppgave i VVS Teknikk

Veileder: Bjørn Austbø

Mai 2019



Karina Skogvang-Melbye

**C02-varmepumpe for energigjenvinning  
fra gråvann**  
**C02 Heat pump for Energy Recovery  
from greywater**

Bacheloroppgave i VVS Teknikk  
Veileder: Bjørn Austbø  
Mai 2019

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for maskinteknikk og produksjon





## RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

**FAKULTET FOR  
INGENIØRVITENSKAP**  
**Institutt for maskinteknikk og  
produksjon**  
**7491 Trondheim**

**Besøksadresse:**  
**R.Birkelands vei, 2B, Trondheim**

Tittel:

CO<sub>2</sub>-varmepumpe for energigjenvinning fra gråvann

CO<sub>2</sub> Heat pump for Energy Recovery from greywater

Prosjektnr

**MTP-V-2019-07**

Forfatter

Karina Skogvang-Melbye

Oppdragsgiver eksternt

Maskin og industriteknikk

Dato levert

19.05.2019

Antall  
vedlegg

20

Totalt antall  
sider

61

Veileder internt

Bjørn Austbø

Rapporten er LUKKET

Kort sammendrag

Rapporten handler om testing av prototype av en varmepumpe som henter energi fra gråvann og bruker CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium. Den omhandler generell bruk av CO<sub>2</sub> og gråvann samt en omfattende del om hvordan testene har foregått.

Det er kommet fram til høyes mulig oppnådd COP ut ifra parameterne som vi har testet med. Også beskrevet grundig hvordan testene er utført, og hvordan bruke loggeren.

I tillegg er det avdekket en del tiltak som burde vurderes

Stikkord fra prosjektet

Gråvann, CO<sub>2</sub>, Varmepumpe, COP, Testing, Prototype

## Oppgavetekst:

Maskin I & Industriteknikk har bygget en prototype av en gråvannsvarmepumpe som skal benytte CO<sub>2</sub> som arbeidsmediet for å varme opp vann til høyere temperaturer. Denne varmepumpa skal testes ut og optimaliseres for så å bygge en tilsvarende varmepumpe på meieriet på Røros. Oppgaven går ut på å finne de beste løsningene til denne varmepumpa for at et best mulig resultat kan bygges på Røros.

Gråvann fra meieriets produksjon er en stor energikilde som næringsmiddelindustri ikke utnytter godt nok. Vi ønsker å hente ut denne energien til produksjon av varmt forbruksvann. I dag er det kun en leverandør på markedet, og denne leverer varmepumpen basert på kuldemediet R407C, og kan levere forbruksvann bare opp til 45-50 grader.

For å tilfredsstillere forventningene i markedet om behov for variabel temperatur på varmtvannet, utvikles det en CO<sub>2</sub> gråvannvarmepumpe som leverer varmtvann i området 35 til 90grader. Det utvikles nye høyeffektive komponenter tilpasset et korrosivt miljø og med gode varmetekniske- og strømningsmekniske egenskaper for CO<sub>2</sub>. Fordamper- og varmevekslerløsning utvikles for en effektiv og automatisk rensing av flater som berøres av gråvannet. Varmepumpen er under utvikling, og prototyp er klar for fabrikktesting. Oss kjent er det ikke produsert denne type varmepumpe med CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium.

## Forord:

Denne bacheloroppgaven er skrevet av Karina Skogvang-Melbye ved institutt for maskinteknikk og produksjon. Oppgaven er det avsluttende arbeidet i ingeniørstudiet maskiningeniør med fordypning i VVS-teknikk.

Maskin & Industriteknikk er oppdragsgiver som jobber med å utvikle en gråvannsvarmepumpe som skal bygges på Rørosmeieriet. Oppgaven går i hovedsak ut på testing av en prototype som de har bygget, bearbeiding av disse dataene, men har også noen generelle punkter om CO2 som arbeidsmedium, og bruk av gråvann.

Jeg håper at noe av arbeidet mitt vil være til noe hjelp når de skal bygge den reelle varmepumpa på Rørosmeieriet.

Ønsker å takke veileder Bjørn Austbø for veldig god hjelp gjennom arbeidet med hele denne oppgaven, var alltid en fryd å gå ut fra kontoret ditt.

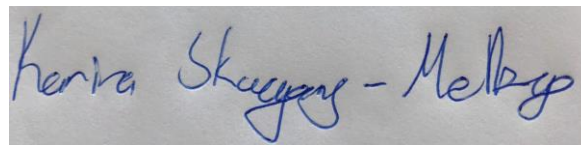
Videre vil jeg også takke ekstern veileder Sigmund Jenssen og Roger Tellefsen fra Maskin & Industriteknikk, jeg har lært veldig mye av dere gjennom denne prosessen og det har vært en glede å få samarbeidet med dere.

Retter også en stor takk til Skala fabrikken på Heimdal, og fabrikk sjef Atle Monsås for at de har latt testingen foregå på fabrikken. Og sist med ikke minst all hjelp og støtte fra min mann Stian Skogvang-Melbye.

Har lært utrolig mye gjennom denne prosessen, hovedsakelig om varmepumper, og dette spesielle tilfellet hvor det brukes både CO2 og gråvann, men også mye om rapportskrivning.

Trondheim 19 Mai 2019

Forfatter

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink. The signature reads "Karina Skogvang-Melbye".

## Sammendrag:

Denne rapporten handler om testing av en varmepumpe prototype som henter varme fra gråvann fra meieriproduksjon og bruker CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium. Det er bygget en prototype som jeg har kjørt en del tester på, og det skal senere bygges en reel varmepumpe som skal monteres på Rørosmeieriet. Prototypen er bygget og testene er gjort for at den reelle varmepumpa skal bli best mulig.

Ut ifra de testene er det blitt beregnet COP for varmepumpa på tre forskjellige temperaturer på oppvarmet vann, med forskjellige temperaturer på gråvannet. Det er beregnet COP både ved å bruke de opplysningene som vi kom fram til under testene, samt en kombinasjon av Coolpack og målingene.

Testene viser at man oppnår høyest COP på de lave temperaturene, ved forholdsvis høy hastighet på gråvannet. Det var som forventet, men da vi senket hastigheten på gråvannet for samtidig og senke gråvannstemperaturen mest mulig, blir COP lavere.

Når vi produserer vann som er 75 grader oppnås en COP på rundt 5 ut ifra tall lest av på energimåleren. 55 grader ut er vi oppe på nesten 8 med en gråvannstemperatur på 30 grader. Ved 35 grader ut er vi oppe i en COP på rundt 10. Med beregningene med Coolpack er COP en del høyere.

Har konkludert med at den optimale fordelingen mellom mellomveksleren og fordamperen er der vi når høyes COP. Disse resultatene finnes under konklusjon.

Det er regnet ut hvor mye tap som oppstår i prosessen og skrevet litt om de tiltakene man kan gjøre for at tapene skal bli minst mulig. Tapene skyldes blant annet fordi testene skjer når varmepumpa er helt «naken» og man taper temperatur til omgivelsene.

Har skrevet kort om generell bruk av CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium, benyttelse av gråvann, en liten del om ejetor, hvordan vaskeprosessen skal gjennomføres, og en grundig beskrivelse av hvordan testene ble gjennomført. Fokuset har vært på både bruk av gråvann samt CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium, enten sammen eller hver for seg.

Det er beskrevet grundig hvordan testene er utført, og hvordan bruke loggeren. Den som er brukt er en Intab Pc logger 2100. Har også skrevet kort om bruken av Coolpack i kombinasjon med data fra testene.

Avdekket en del tiltak som burde vurderes, og som vi er kommet fram til for å gjøre prosessen enda bedre. Slik som gjenvinning av varmen som varmepumpa produserer, teste ut vaskeprosessen ordentlig og hvordan gråvannstanken er bygget, hvor mange grader man ønsker å hente ut av gråvannet. Alt i alt virker dette som en allsidig varmepumpe som både kan benyttes i alle typer bygg med stor gråvannsmengde samt med temperaturer over 20 grader, eksempelvis badeanlegg, leilighetsbygg og produksjonsvirksomhet.



## Abstract:

This report is about testing a heat pump prototype that collects heat from greywater from dairy production and uses CO<sub>2</sub> as working medium. A prototype has been built, and I ran a number of tests on it, later it will be built a real heat pump that will be mounted on Rørosmeieriet. The prototype has been built, and some tests has been made to make the real heat pump best as possible.

Based on the tests, COP for the heat pump has been calculated with three different temperatures for heated water, and with different temperatures on the greywater. It is calculated COP with use of the information that we came up with during the tests, by a combination of Coolpack and the information from the tests.

The tests show that the highest COP that is achieved at lowest temperatures of the water out, and the high speed on the greywater. This was as expected, but when we lowered the speed on the greywater we also lowered the grey water temperature as much as possible, the COP then became lower. When we produce water that was 75 degrees, we achieve a COP of around 5 based on real numbers. 55 degrees out the COP are up at almost 8 with the greywater temperature of 30 degrees. At 35 degrees out, we are up in a COP of around 10. The calculations with Coolpack COP is a bit higher.

Have concluded that the optimal distribution between the intermediate exchanger and the evaporator is where we reach the high COP. These results is found in conclusion.

It is calculated how much loss occurs in the process and written a little about the effort that can be done to make the losses as small as possible. The losses are partly due because the tests has taken place when the heat pump is completely "naked" and it loses temperature to the surroundings.

It has been written briefly about the general use of CO<sub>2</sub> as a working medium, use of grey water, and a small part about ejector, how the washing process should be carried out, and a thorough description of how the tests was done. Focusing on both the use of grey water and CO<sub>2</sub> as a working medium, together or separately.

It is described in detail how the tests are performed and how to use the logger. The logger we used is an Intab Pc logger 2100. Have also written briefly about the use of Coolpack in combination with data from the tests.

There are some things to consider making the process even better. Such as recycling produced heat from the heat pump, tests out the washing process properly. How the grey water tank is formed, considering how many degrees you want to extract from the grey water. Over all, this seems like a good heat pump that can be used in all types of buildings with a large amount of graywater with temperatures above 20 degrees, such as swimming facilities, apartment buildings and production activities.

## Innholdsfortegnelse

1 Innledning: .....	1
1.1 Bakgrunn og motivasjon .....	1
1.2 Problembeskrivelse .....	1
1.3 Begrensninger .....	2
1.4 Oppgavens oppbygging:.....	3
1.5 Oppdragsgiver: .....	4
2 Metode: .....	5
2.1 Analyse:.....	5
2.2 Bruken av loggeren: .....	6
2.3 Bruk av Coolpack:.....	8
2.4 Kvalitetssikring: .....	9
3 Teori: .....	10
3.2 CO2 som arbeidsmedium:.....	10
3.4 Ejektor .....	12
3.3 Gråvann .....	13
3.4 Vaskeprosessen: .....	14
4 Testene: .....	15
4.1 Utførelse av testene generelt: .....	15
4.2 Utførelse av test nummer 1: .....	18
4.3 Utførelse av test nummer 2: .....	19
4.4 Utførelse av test nummer 3: .....	20
5 Resultat og diskusjon: .....	21
5.1 Høyest COP.....	21
5.2 CO2 som arbeidsmedium:.....	23
5.3 Benytte gråvann i varmepumper .....	25
5.4 Vurdering av vaskeprosessen:.....	26
6 Konklusjon:.....	27
7 Videre arbeid:.....	32
Referanser .....	33
Vedlegg:.....	A
Vedlegg A Populærvitenskapelig artikkel: .....	A

Vedlegg B Tap i systemet: .....	C
Vedlegg C Trykk entalpi diagram: .....	D
Vedlegg D Bilde av gasskjøler:.....	E
Vedlegg E Bilda av varmepumpa i sin helhet: .....	F
Vedlegg F Bilde av sugegassvarmeveksler: .....	G
Vedlegg G Systemskjema: .....	H
Vedlegg H Komponentliste:.....	I
Tabeller: .....	J
Oversikt over COP beregning ut ifra sirkulert vannmengde:.....	J
COP beregninger og oversikt over målte data: .....	K
COP beregninger ved hjelp av Coolpack: .....	L
Beregninger tilhørende COP grafer: .....	M
Oversikt over fordelingen mellom Q mellomveksler og fordamper: .....	N
Oversikt over alle målingene: .....	P
Vann 75 grader ut:.....	P
Vann ut 55 grader:.....	Q
Vann ut 35 grader:.....	S

## Begrepsliste:

- Gråvann: Avløpsvann som kommer fra sluk, dusj, servant og varmemaskiner
- Svartvann: Avløpsvann som kommer fra WC og urinaler
- COP: Coefficient of performance Effektfaktoren i varmepumpa (virkningsgraden)
- Ejektor: Gjenvinner ekspansjonsarbeidet i varmepumpa, utnytter trykkdifferansen i anlegget til å suge lavtrykksgass fra fordampere og dermed øke trykket i gassen.
- Gråvannsgjenvinner: Gjenvinner energien som er i gråvannet
- Arbeidsmedium: Gassen man bruker i en varmepumpe
- Kompressor: Øker trykket på arbeidsmediet
- Varveksler: Innretning for varmeoverføring fra et medium til et annet
- Mellomveksler: Varveksleren mellom gråvannet og ladekrets
- Fordamper: Arbeidsmediet tar opp varme fra varmekilden
- Gasskjøler: Arbeidsmediet avgir varme ved nedkjøling ved tilnærmet konstant trykk.
- Kondensator: Varme avgitt gjennom nedkjøling og kondensasjon av arbeidsmediet.
- Strupeventil: Senker trykket på arbeidsmediet
- Akkumulatortank: Tank for oppbevaring av varmtvann
- Sugegassvarveksler: Internvarveksler som utnytter varmen internt i varmepumpa
- GWP: Global Warming Potential
- Ladekrets: Lukket krets som hindrer direkte veksling fra gråvann til forbruksvann
- Coolpack: Databeregningsprogram for å simulere varmepumpesykluser
- Varmeovergangstall: Karakteriserer varmeutveksling mellom en materialoverflate og et flu

# 1 Innledning:

## 1.1 Bakgrunn og motivasjon

Jeg syns at denne oppgaven virket veldig spennende da jeg fikk den presentert, og hadde veldig lyst til å jobbe med den. Dette er en oppgave som er helt i startfasen av et pilotprosjekt, denne måten å utnytte energi på kommer nok til å bli mer og mer aktuell i tiden framover. Syns at dette området til å utnytte energi på er veldig spennende, og er en ressurs som er alt for lite brukt.

Har i mange år jobbet som rørlegger og i løpet av tiden min som det, har jeg ofte tenk på hvorfor denne energien ikke tas bedre vare på. Har lenge sett at det er et stort potensiale her, og har hatt lyst til å ta bedre vare på denne energien Det er også en motivasjon for meg å sette mer fokus på dette, slik at når nye større bygg skal prosjekteres, kan man legge til rette for å dele gråvann og sortvann slik at gråvann kan bli mer brukt.

Miljøaspektet ved at man slipper å produsere like mye energi til oppvarming av vann, hvis man bare utnytter dette bedre er også en viktig del. Dette er en energibesparende ressurs, som ikke blir godt nok ivaretatt som det blir sløst for mye med. Mener helt klart at dette burde brukes mer enn det gjøres i dag.

Hvis man får gode resultater med denne varmepumpa tror jeg nok dette kan bli et satsingsområde.

## 1.2 Problembeskrivelse

Mine fokusområder

- Finne optimal fordeling av kapasitet til mellomveksleren og fordamperen til varmepumpa, og dermed høyest COP.
- Testing av prototypen og gjennomgå de resultatene man kommer fram til under testingen, for igjen og optimaliserer den varmepumpa som skal bygges.
- Kort vurdering av vaskeprosessen av varmeveksleren.
- Fordeler og ulemper med å bruke CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium.
- Hvorfor benytte gråvann til oppvarming av vann.

Har skrevet litt generelt om de forskjellige temaene, og prøvd å tilpasse det til denne oppgaven. Dette er et spesialtilfelle av en varmepumpe så det er ikke mye konkret litteratur som går akkurat på en slik varmepumpe, men det er en selvfølge når dette er en prototype.

Maskin og Industriteknikk har holdt på med mye nyutvikling, og spesielt av CO<sub>2</sub> anlegg, mye av det jeg skriver i oppgaven har jeg lært av deres erfaringer.

## 1.3 Begrensninger

Det har være vanskelig å finne litteratur om utnytting av gråvann som er relevant for denne varmepumpa, så har ikke fått skrevet så mye som jeg hadde ønsket om dette temaet, trodde at det skulle være litt mer teori på dette området.

Har ikke tatt med så mye om CO<sub>2</sub> siden i varmepumpa, har bare skrevet generelt om bruk av CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium, men ikke konkretisert det noe til dette tilfellet.

På grunn av strenge regler på sikkerhet rundt forurensning av vann, har vi sagt at dette er en ladekrets, og at det er en ny varmeveksling mot det faktiske forbruksvannet, men dette har jeg ikke skrevet mer om, har kun holdt meg til denne kretsen som varmepumpa er.

Kunne vært gjort mer med tanke på å finne det beste intervallet til vaskeprosessen for at den ikke skal vaske for ofte, men dette har ikke latt seg gjøre siden vi ikke har fått testet vaskeprosessen.

Miljøaspektet skulle også vært skrevet noe om, dette ble det heller ikke tid til.

Beskrivelse av hvordan styringen på varmepumpa er ikke tatt med, har bare skrevet kort om de viktigste elementene for at varmepumpa skal gå

Har ikke hatt tid til å se på priser og direkte besparelse på å investere i dette kan gi, dette var en del av problemstillingen min, men det ble ikke tid til å få gjort dette.

Beregninger om varmtvannsforbruk, og hvor store akkumuleringstankene må være er ikke gjort. Dette skulle vært gjort med tanke på hvor stor den faktiske varmepumpa skal bygges, for å kunne produsere nok til hele varmtvannsbehovet på meieriet.

Denne listen over begrensninger ble litt lengere enn ønsket, årsaken til dette er at vi egentlig var to stykker som startet på denne oppgaven.

## 1.4 Oppgavens oppbygging:

I kapittelet om metoder har jeg beskrevet så godt som mulig om hvilke metoder jeg har brukt gjennom hele denne prosessen.

Under teoridelen har jeg skrevet generelt om de forskjellige temaene som jeg skal fokusere på. I denne delen kommer den eksisterende litteraturen fram. Noe av det som står i teoridelen kan kobles til denne konkrete varmepumpa som jeg har testet, andre temaer det beskrevet generelt om, for eksempel og bruk av gråvann og bruk av CO<sub>2</sub>.

Grunnen til at det er brukt tid på å skrive generelt om de forskjellige temaene i teoridelen var at varmepumpa ikke var ferdig bygget og klar for testing da jeg startet på oppgaven.

Det er gjort Coolpack beregninger i startfasen som jeg ikke fikk brukt etter at jeg lærte hvordan oppbyggingen av denne varmepumpa var. Har brukt Coolpack til å lage en delvis teoretisk utregning av COP ved hjelp av testresultatene og programmet.

Har også beskrevet hvordan testene ble gjennomført så grundig som mulig, samt skrevet nøye om bruken av loggeren. Her kommer all informasjon om når, hvor og hvordan testene ble utført.

Under Resultat og diskusjon kommer all informasjon og teori som er knyttet direkte opp mot denne oppgaven, og hva vi har kommet fram til under testene.

Til slutt konklusjon og videre arbeid. Det er en del punkter under videre arbeid som man kan ta tak i og som jeg ikke fikk tid til å gjennomføre.

Hadde håpet da jeg startet med oppgaven at jeg skulle komme i gang med testene tidligere. Det var først planen at den skulle være klar til testing i slutten av februar, men fikk ikke kjørt de første testene før i starten av april, sånn blir det ofte når ting skal utvikles. Har klart å gjennomføre de testene som var planlagt.

## 1.5 Oppdragsgiver:

Maskin og Industriteknikk

Maskin & Industriteknikk AS ble stiftet i 2010 og har besøksadresse Persillesletta 42, 1622 Gressvik, Fredrikstad. Selskapet er eid av Bjørn Skofterud.

Bjørn Skofterud har utdannelse som maritim maskinist og statens kjølemaskinist skole, har erfaring med å bygge og drifte alle typer kjøleanlegg. Har også jobbet mange år med internasjonale relasjoner innen import. Har siden 2010 jobbet med utvikling og import av kjøleanlegg med klimanøytrale arbeidsmedium.

Selskapet ble etablert for å utvikle og levere energianlegg (kuldeanlegg og varmpumper) med naturlig og klimanøytrale arbeidsmedier (CO<sub>2</sub>, propan, butan etc.). Framtidsrettede og driftssikre, servicevennlige og effektive anlegg med høy SCOP er deres hovedfokus.

Min kontaktperson her i Trondheim har vært Sigmund Jensen og Roger Tellefsen som har bygget varmpumpa og vært med under testene vi har kjørt. Har vært en fryd og jobbe sammen med Sigmund og Roger.

Varmpumpa skal utvikles til Rørosmeieriet, de har som visjon å være Norges fremste økologiske meieri. Rørosmeieriet har gjort og skal gjøre flere energisparende tiltak, med installasjon av fjernvarme, skifte til energieffektive vinduer, ut med oljefyr, installasjon av en internasjonal innovativ anleggstype med CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium. Dette vil være første implementering i Norge og globalt. Denne type teknologi har potensiale for anvendelse i bla. Næringsmiddelindustrien, øvrig prosessindustri, hoteller og borettslag der det vil bidra til energieffektivisering og reduksjon av klimagassutslipp. (Rørosmeieriet, 2019)



## 2 Metode:

### 2.1 Analyse:

Det er gjort omfattende litteratursøk for å få en oversikt over hva det er som eksisterer på markedet. Har ikke klart å finne noen andre varmepumper som benytter seg av både gråvann, og som har CO<sub>2</sub> som arbeidsmediet. Siden dette er en prototype som skal bygges er det jo ikke så rart at jeg ikke finner så mye om dette temaet

Etter av prototypen var ferdig bygget har jeg testet varmepumpa på Skala fabrikk på Heggstadmoen. Denne testingen blir gjennomført med rent vann på begge sider da det ble for komplisert å få til testing med gråvann. Ideelt sett burde testene vært utført på meieriet på Røros med det gråvannet som de produserer, men dette lar seg ikke gjennomføre i denne omgang.

Testene ble gjennomført tre forskjellige dager:

Dato	Sted	Antall tester
04.04.19	Skala	3
26.04.19	Skala	3
01.05.19	Skala	9

*Oversikt over testdagene*

Har brukt både kvalitative og kvantitative metoder for å komme i mål med denne oppgaven. Den kvalitative metoden ble benyttet til innhenting av data om bruk av CO<sub>2</sub>, ejetor og bruk av gråvann. De kvantitative metodene ble benyttet til testingen av kombinasjonen gråvann og CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium i varmepumper.

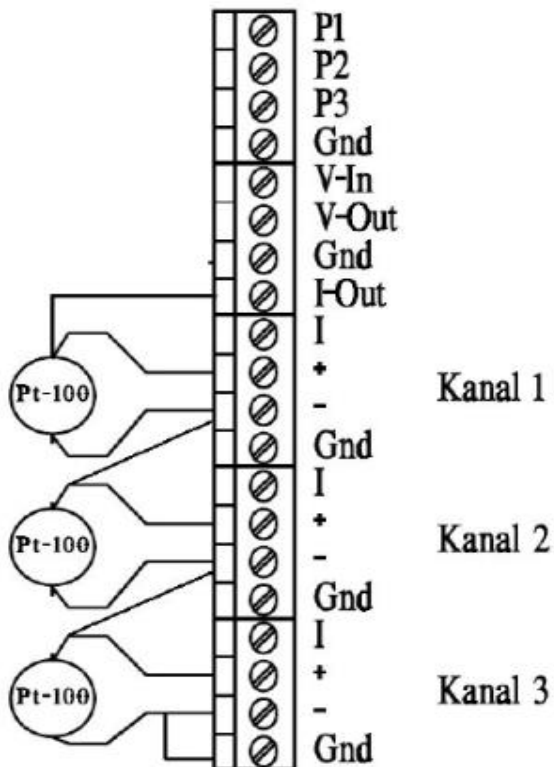
Har også tegnet et systemskjemaet, dette har jeg brukt autocad til å utforme. Systemskjemaet sammen med komponentliste se vedlegg.

## 2.2 Bruken av loggeren:

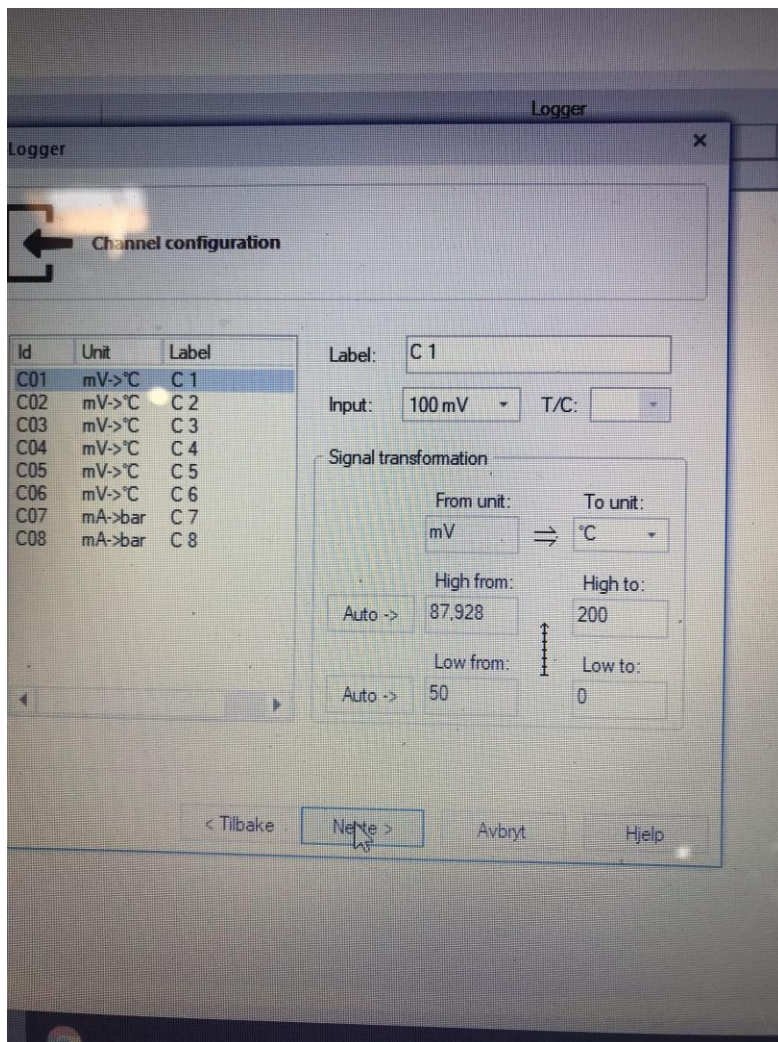
Når jeg skulle gjennomføre testene måtte jeg bruke en logger for å logge temperatur og trykk. Etter mye frem og tilbake endte jeg opp med å bruke en Intab PC-logger 2100. Til den loggeren måtte jeg laste ned programmet Easyview, dette programmet kan man ha gratis i 1 måned. På programmet legger man inn alle ønskede dater som man skal ha (trykk, temperatur osv.). Man kan ha forskjellig informasjon på de forskjellige kanalene på loggeren, i dette tilfellet logget vi temperatur i celsius og trykk i bar.

Loggeren var gammel, men de var veldig hjelpelig på Intab i Sverige. Jeg snakket med de flere ganger på telefon og de sendte meg koblingsskjemaer på mail for at vi skulle få koblet riktig slik at man får ut de riktige dataene. På Intab fikk jeg veldig god hjelp av Niklas Hassdal som guidet meg gjennom bruken av loggeren steg for steg. Ble veldig imponert over hjelpen han ga meg, Anbefaler å ringe de direkte hvis det er noe dere lurer på når det gjelder disse loggerne.

Hvis man ikke kobler riktig i forhold til det koblingsskjemaet som er ment til det formålet man skal bruke det til, blir verdiene som loggeren leser av feil. Man må også fylle inn riktige verdier når man skal starte å logge for at dette skal bli rett. Alt dette var Niklas på Intab til stor hjelp med.



*Koblingsskjema for loggeren slik jeg brukte den. Det er viktig å huske på at koblingsskjemaene er forskjellig for hvilke verdier man skal måle.*



Verdiene som må fylles inn for at loggeren skal regne om til riktige verdier. Eget bilde

Når man skal komme i gang med å logge må man fylle inn riktige data for å få ut de verdiene som man er ute etter, og hvordan kanaler som skal brukes på de forskjellige plassene. Disse verdiene fikk jeg over telefon hos Niklas. Over er et bilde av de verdiene som vi brukte for at loggeren skulle regne om fra volt til celsius og fra amper til bar. Her kommer en oversikt over de dataene som måtte fylles inn for at jeg skulle få ut riktige verdier:

mV	C	mA	Bar
High from	High to	High from	High to
87,928	200	20	7
Low from	Low to	Low from	Low to
50	0	4	-0,5

Under testen logger vi en gang i minuttet, og testene foregår i omtrent 1 time. Testene er veldig stabile, noe som er veldig bra. Vi ser litt utslag på trykket gjennom mellomveksleren, men det skyldes forbruk av vann på bygget. Bortsett fra dette så er grafene som programmet lager nesten helt uforandrede, på de siste testene logget vi ikke like lenge.

På alle testene jeg har gjort startet jeg målingene fra loggeren, den ene dagen hadde jeg problemer og måtte bruke øyeblikkelig start, da logget fungerte den. Om man har problemer med at verdiene ikke blir riktig avles, er det en mulighet å forsøke dette.

Siste dagen vi kjørte tester fungerte loggeren bra. Da startet jeg alle målingene fra datamaskinen, og da ble det ikke noe tull. Man kan se at når den logger kommer det opp minustall på multimeteret, hvert minutt når den registrerer, men den registrerer riktig. Det var det som kom opp den dagen jeg hadde problemer, da var det bare mange minustall.

### 2.3 Bruk av Coolpack:

For å kunne gjøre en teoretisk beregning har jeg benyttet meg av Coolpack programmet. Dette er gjort for å få en teoretisk COP beregning ved at jeg har regnet ut Q for mellomveksleren og gasskjøleren ved hjelp av sirkulert mengde. Bruker formelen:  $Q = m \cdot C_p \cdot (\Delta T)$ , regner ut hver for seg Q gasskjøler og Q mellomveksler. Satt inn i Coolpack Q gasskjøler som jeg regnet ut, bruker fordampertemperatur og utløpstemperatur på gassen som er lest av under testene. Da får jeg ut en W kompressor fra Coolpack, og regner ut COP på følgende måte:

$$\text{COP} = \frac{Q_{\text{gasskjøler}} + Q_{\text{mellomveksler}}}{W_{\text{fra Coolpack}}}$$

Jeg har regnet ut Q gasskjøler ved hjelp av de vannmengdene og temperaturene som vi fant under målingene, og lagt dette inn i Coolpack for å få en teoretisk beregning. Jeg startet å regne litt i Coolpack før jeg kom i gang med testene men de vil ikke være korrekt så disse har jeg ikke tatt med.

Disse beregningene vil bare bli tilnærmet riktig siden dette er en varmpumpe med spesiell oppbygging, men har tatt med disse beregningene siden jeg har brukt mye tid på beregninger i Coolpack i forkant av testene av varmpumpa. Det er brukt en kombinasjon av data fra tester og Coolpack for å komme fram til teoretisk COP. Når man sammenligner disse med de andre COP beregningene er det noe forskjell. COP blir litt høyere ved hjelp av Coolpack.

Klarte ikke å få tak i den riktige virkningsgraden på sugegassveksleren, så tallet 0,23 har jeg og eksternveileder kommet fram til at vi skulle bruke, ved at vi estimerte effekten og kom fram til et passende tall. Har også testet med en mye høyere verdi for å se og det har stort utslag på tallene, og det har det ikke, så det ble ikke bruk mere tid på å få dette tallet korrekt.

Ved Coolpack beregningene er det kun brukt W for kompressoren, det er ikke lagt til noe annet pumpearbeid ol som er med når COP er beregnet ut ifra energimåleren.

## 2.4 Kvalitetssikring:

For å få et best mulig resultat på oppgaven har jeg funnet det meste av litteraturen på NTNU OPEN, og Google Scholar, men noe av det jeg har funnet er hentet fra andre mindre pålitelige kilder. Den ene kilden min er en vvs blogg, som viser til hvor mange liter gråvann et bygg bør produsere for at det skal lønne seg å gjenvinne det. Dette er ikke en bra kilde, men jeg valgte å ta det med bare for å vise at jeg har forsøkt å finne ut mest mulig om gråvannsgjenvinning.

Vi har gjennomført i alt 15 tester av varmpumpa med forskjellige temperaturer. Grunnen for at vi har gjort så mange tester er for å få et best mulig resultat, og for å sjekke kvaliteten på disse testene. De første tre testene er ikke med videre i rapporten.

For å få til et enda bedre og reelt resultat skulle testene vært utført med gråvann, men det lot seg ikke gjennomføre.

Det er bygget en lignende varmpumpe på en skole i Oslo, men denne er det også Maskin og industriteknikk som har bygget, og de har bedt meg om å se bort fra denne varmpumpa. Artikkel om denne varmpumpa finner her: (Fremtidensbygg atrikler, 2019).

For å kvalitetssikre at resultatene fra loggeren skulle bli bra fikk jeg hjelp fra Intab i Sverige over telefon og mail når vi skulle komme i gang med testingene. Etter testene oppdaget vi at det var feilvisning på temperaturene, da gjennomførte vi en kalibrering av følerne i en bøtte med isvann, hvor vi hadde to andre temperaturfølere, og kunne da se at det var en feilvisning på alle sammen på 3,5 grader. Denne feilvisningen er tatt hensyn til ved utregning.

En stor del av det som jeg skriver om i oppgaven har jeg lært hos Sigmund, og Roger i løpet av tiden jeg har jobbet sammen med dem, spesielt når vi holdt på med testene på Skala. De har holdt på i mange år med utvikling av forskjellige typer anlegg, og spesielt med bruk av CO<sub>2</sub>. Siden dette er nyutvikling har det vært vanskelig for meg å finne annen litteratur som underbygger dette, men jeg opplever at de sitter på stor kunnskap om dette fagfeltet, og er utrolig dyktige.

En god dialog med veileder og ekstern veileder har også vært veldig viktig med tanke på kvalitetssikring. Det synes jeg at jeg har fått til, har fått masse hjelp fra veilederne.

Navnet på alle de som blir nevnt i rapporten har jeg bekreftelse på mail om at det er i orden at deres navn står i rapporten

## 3 Teori:

### 3.2 CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium:

Grunnleggende egenskaper:

Karbondioksid (R744, CO<sub>2</sub>) har lavt kritisk trykk (31,1 C) og høyt kritisk trykk (7,38Mpa) noe som gjør at det har høyt arbeidstrykk (3-12Mpa). Har veldig gunstige termofysikalske egenskaper som fører til høy kompressorvirkningsgrad og meget god varmeoverføring i varmeveksleren. Høy spesifikk varmekapasitet (cp-verdi) i nærheten av kritisk punkt medvirker til: Høyt strupningstap – kan reduseres betydelig ved optimalisert komponentutforming og systemtilpasning samt valg av gunstige rammebetingelser. (Jørn Stene T. A., 2004)

Fordeler:

Det er mange fordeler med å bruke CO<sub>2</sub> som arbeidsmediet i en varmepumpeprosess, en av de er at man kan oppnå mye høyere temperatur på oppvarmet vann. Når man skal bruke CO<sub>2</sub> i en varmepumpe er det en fordel at temperaturforskjellene er store, og det vil det jo være på dette anlegget som jeg skriver om i denne rapporten. CO<sub>2</sub> er en naturlig gass som ikke er giftig og ubrennbar, noe som ikke er tilfellet i de fleste andre arbeidsmedier som i dag hovedsakelig blir brukt i varmepumper, mye av den gassen som brukes i de fleste varmepumper i Norge er svært skadelig.

Når man skal bruke CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium er man avhengig av å ha større temperaturforskjell, og det er det jo når man skal varme opp vann fra 10 grader til 75 grader. Derfor er det spesielt gunstig å bruke CO<sub>2</sub> til varmepumper som brukes til å varme opp vann.

Moderat molvekt og svært høy gasstetthet gir mindre kompressorer og mindre dimensjoner på varmevekslere og rør. Kompressorene kan bli fra 10-25 % mindre enn vanlige kompressorer. (Jørn Stene, 2006)

Når man bruker CO<sub>2</sub> i varmepumpe prosesser foregår prosessen i det såkalte transkritiske området. Her avgis all varme ved nedkjøling av høytrykksgassen og ikke ved kondensasjon. (Jørn Stene T. A., 2004) Derfor blir det benyttet en gasskjøler og ikke en kondensator i denne varmepumpa.

CO<sub>2</sub> har også veldig lav GWP Global Warming Potential, som er et begrep for hvor stor innvirkning 1kg av et stoff har på global oppvarming i forhold til 1kg CO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> har GWP = 1. Dersom CO<sub>2</sub> som ellers ville blitt sluppet ut fanges opp og brukes, ville GWP = 0. (Solendal, 2013)

Kjølemedium	T <sub>kritisk</sub> [C]	P <sub>kritisk</sub> [bar]	Fordampingsvarme[KJ/Kg], 0 °C	Molekylær masse	GWP
CO <sub>2</sub>	31,7	73,8	377,3	44	1
Ammoniakk	132	113,3	1261,7	17	0
R-134A	101,1	40,6	198,4	102	1300
R-410A	71,4	49,5	221	73	1890

*Egenskaper til forskjellige kjølemedier (Solendal, 2013)*

Tar med denne tabellen for å vise hvor stor forskjellen på GWP er.

Ulemper:

En ulempe som har vært ved bruk av CO<sub>2</sub> som arbeidsmediet i varmepumper er at prosessen foregår i det såkalte transkritiske området, her er det høyt trykk og de forskjellige komponentene må være laget litt annerledes for å tåle det høye trykket.

Det vil også være større tap på en slik prosess ved struping enn ved mer brukte arbeidsmedier.

En annen ulempe med å skulle installere CO<sub>2</sub> varmepumper er at det ikke er mange nok som har kompetanse når det gjelder montering og service av varmepumper med CO<sub>2</sub> som arbeidsmediet, disse er ikke nok utbredt ennå. Hvis man skal montere en CO<sub>2</sub> varmepumpe må man ta det med i beregningene at det må benyttes fagfolk med riktig kompetanse. Firmaer som er godt nok kvalifisert til å prosjektere CO<sub>2</sub>-anlegg er det også ganske få av.

### 3.4 Ejektor

Ejektor generelt:

Å bruke en ejektor i en varmepumpe som har CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium har vist seg kan være veldig gunstig. Og bruken av en ejektor er ikke noe nytt fenomen. Ejektoren ble oppfunnet allerede i 1901 av Sir Charles Parson for ekstraksjon av luft fra kondensatoren til en dampmotor, og har vært forsket på siden den tid. (Hundseth, 2011)

Ejektoren har ingen bevegelige deler og er dermed svært robust og pålitelig. Hovedkomponentene i en ejektor er drivdysen og mikseseksjonen. Ejektoren har to hovedfunksjoner, omgjøring og overføring av energi. Dette skjer stegvis i det sugestrømmen og drivstrømmen passerer de forskjellige seksjonene i ejektoren. Drivkraften er drivstrømmen. Fluidet kommer inn i ejektoren med høyt trykk og temperatur, her potensiell energi (trykk) konvertert til kinetisk energi (hastighet). Fluidet kommer inn i ejektoren med lav hastighet, og ut med svært høy hastighet, og svært redusert trykk. Det finnes hovedsakelig to typer ejektordesign, en type hvor trykket er konstant, en annen hvor arealet er konstant. (Hundseth, 2011)

En ejektor består av fire hoveddeler, en dyse, et sugemunnstykke, en blandedel og en diffuser. Ejektor er et enkelt innretning med lite driftskostnad og har lang levetid. (Hoyas, 2014)

Det finnes mange rapporter som viser god effekt på bruk av ejektor spesielt i CO<sub>2</sub> anlegg. Den kan øke virkningsgraden på anlegget, og dette er gratis energi.

#### **Ejektor i vårt tilfelle:**

Ejektoren slik den blir brukt i vårt tilfelle har den lite å si på virkningsgraden, den er plassert på motsatt side altså på lavtrykksiden, og blir kun bruk for tilbakeføring av olje til kompressoren. Dette er noe Maskin og industriteknikk har gode erfaringer med å bruke ejektor på denne måten.

Da jeg først fikk tegningene av varmepumpa og oppdaget at det var tegnet inn en ejektor på tegningen, trodde jeg at denne skulle brukes slik de vanligvis gjør. Da vi holdt på med testene lærte jeg at denne ejektoren ikke er brukt på samme måte som man vanligvis gjør. Hadde allerede skrevet litt om ejektor når jeg fant ut av dette så derfor har jeg bare tatt med en liten del om ejektor.

Måten de har kommet fram til dimensjonen på ejektoren er basert mange tester, erfaring og enkle empiriske formler som Maskin og industriteknikk har kommet fram til over tid. Bruk av ejektor på denne måten skal være brukt i mange sammenhenger, og fungerer veldig bra. Disse formlene er noe som de ikke ønsker å offentliggjøre, men de erfaringene de har med tanke på denne bruken ser ut til å fungere bra.



### 3.3 Gråvann

Gråvann er avløpsvann fra dusj, servant, vaskemaskiner, oppvaskmaskiner og lignende. Dette vannet har ofte forholdsvis høye temperaturer, og denne energien går de fleste plasser rett ut til rensesanleggene, og blir ikke benyttet. Så her er det et stort potensial for energibesparelse ved å gjenvinne denne energien.

Gråvann kan være et fantastisk temperaturresoar til en varmepumpe, har man forbruk på 7000-8000 liter gråvann i løpet av et døgn burde man gjenvinne gråvannet. (vb blogg, 2017)

Dette er en spennende måte å spare energi på ved å ta i bruk avløpsvann til å varme opp nytt vann. Dette er noe som ikke er særlig mye i bruk per i dag, men noe som burde bli benyttet mer og mer framover. På eksisterende bygg er det ikke helt enkelt å få til å bruke gråvann, da er ikke gråvannet og sortvannet delt, der vil nok alt avløpsvann fra utstyr være blandet. Ved prosjektering av nye bygg er dette noe man bør vurdere hvis man har store mengder med gråvann i perioder av døgnet. Det vil typisk være bygg som skoler, badeanlegg, industri og stort leilighetsbygg hvor man kan vurdere å bruke gråvannsgjenvinnere.

Jeg finner bare en produsent av varmepumper hvor de bruker gråvann (Menerga). (vvsaktuelt, 2014) Men de bruker ikke CO2 som mediet så de klarer ikke å komme opp i like høye temperaturer som man kan hvis man benytter CO2.

Det finnes noen typer av gråvannsgjenvinnere som er beregnet på mindre boliger, hvor det kalde vannet inn i en bolig går gjennom en tank med en spiral for forvarming av forbruksvannet, det finnes også noen typer avløpssluker hvor det ligger en sløyfe med rør i sluken hvor vann blir varmet opp noen grader mens man dusjer. På dette markedet kommer det flere og flere produkter for gjenvinning av gråvann.

Har også kommet fram til en leverandør i Sverige som leverer varmevekslere til gjenvinning av gråvann/sortvann. Har forsøkt å komme i kontakt med dem, de har ikke svart meg på hvordan rensingen av avløpsvannet foregår.

Gråvannsvarmepumper er ikke tatt noe særlig i bruk ennå, og du må ha et ganske stort forbruk av vann gjennom hele døgnet for at varmepumpa skal ha noe å jobbe mot. Det beste er nok å installere en gråvannstank som samler opp en del gråvann for å få best driftstid på varmepumpa. I de fleste bygg harmonerer forbruket slik at når det brukes varmtvann, produseres det gråvann, dette gjelder også på Rørosmeieriet.

En ting man må huske på når man skal installere en gråvannsvarmepumpe er at det stilles strenge krav til mulig forurensing av vannet. Når man skal bruke gråvann til oppvarming av forbruksvann må man ha dobbelvegger mellom mediene. (Standard Norge, 2001) I vårt tilfelle blir kretsen til varmepumpa brukt som ladekrets, hvor forbruksvannet ikke er i direkte kontakt med gråvannet. Dette løses med at vannet som sirkulerer gjennom varmepumpa blir en lukket krets, på vårt system kaller vi det en ladekrets. Der må man ha en ekstra varmeveksler som veksler mot forbruksvannet.

### 3.4 Vaskeprosessen:

Noe som man må ha en god plan på når man skal bruke gråvann i en varmpumpe er at varmeveksleren som veksler mellom gråvann og forbruksvann må rengjøres ofte nok, så det må foreligge en god plan til hvordan dette skal skje.

Det som er viktig er at dette skjer ofte nok, men ikke for ofte, da sløser man med energi. Slik det ser ut nå må vasketanken som sitter inne i pumpe være stor nok slik at den klarer å holde temperaturen høy nok under hele vaskeprosessen. Planen er at vaskeprosessen foregår på kvelden/natta etter at akkumuleringstankene er fylt opp, og så går varmpumpa i hvilemodus

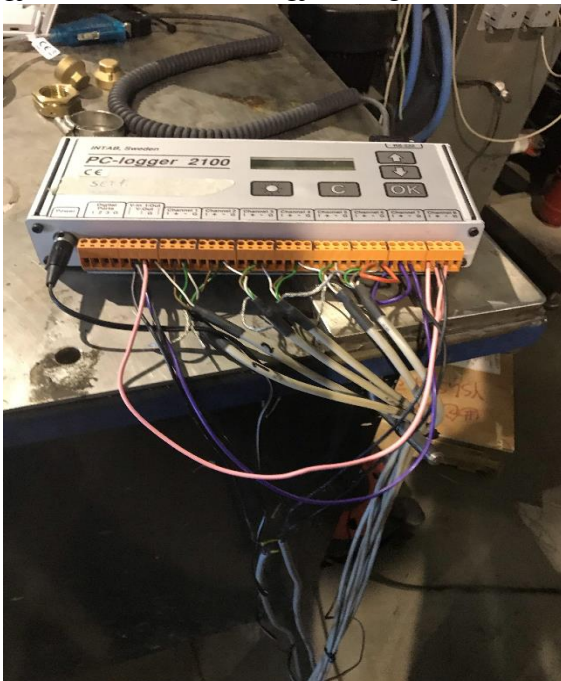
På denne prototypen virker det som om det er en god løsning de har kommet opp med, det gjenstår å se om den fungerer like bra i praksis. Det er vanskelig å finne en bra måte å gjennomføre dette på, det er ikke lett å simulere riktig fettinnhold og lignende på vannet. Siden man ikke får testet ut dette helt riktig, og selve varmpumpa er et pilotprosjekt, må kanskje vaskeprosessen forbedres noe i ettertid.

Menerga, gråvannsvarmepumpa har en løsning hvor de benytter renskuler som kjøres gjennom veksleren og fordamperen ved et gitt tidsintervall. Disse renskulene skal ta med seg smuss og fett, og de skrubber innsiden av rørene og tar med seg smuss ut i avløpsvannet. (vvsaktuelt, 2014)

## 4 Testene:

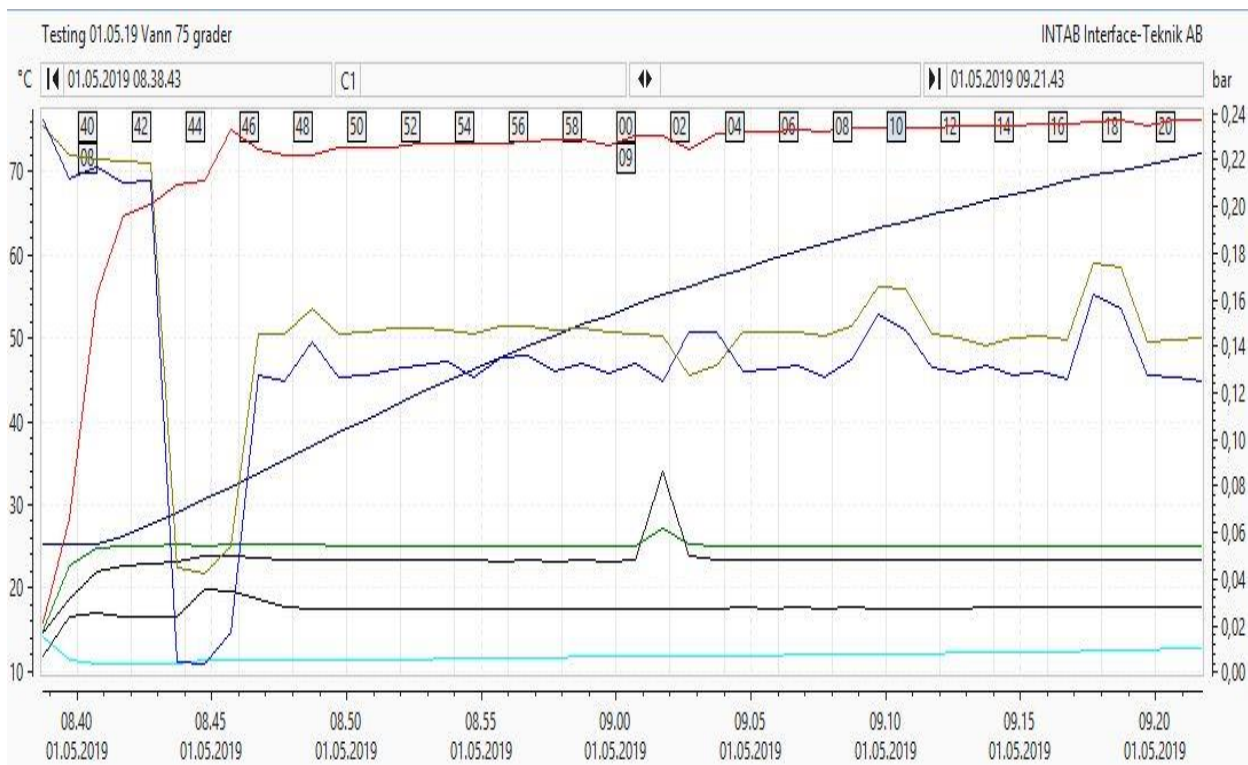
### 4.1 Utførelse av testene generelt:

- Testene av varmepumpa ble utført på Skala fabrikken på Heggstadmoen, der har Roger bygget varmepumpa. Han er utrolig dyktig, og jeg lærte masse av han da vi gjennomførte testene. Han var sammen med meg under alle testene. Han utførte, jeg var med og registrerte dataene.
- Selve fremgangsmåten går ut på at vi fyller en stor gårdstank med flere tusen liter vann som skal simulere gråvannet, når vi fyller denne tanken får vi også ønsket temperatur på gråvannet som vi skal kjøre testene med. Vi benyttet en gråvannstemperatur på 30, 20 og 26 grader, og alle testene foregår med rent vann på begge sider.
- Vi logger temperaturen med en PC-logger fra Intab 2100, og har temperaturoversikt på:
  - Vann inn fra nettet
  - Varmtvann ut fra varmepumpa
  - Vann i vasketanken
  - Gråvannstemperatur ut fra varmepumpa
  - Gråvannstemperatur ut fra mellomveksleren
  - Varmtvannstemperatur ut fra mellomveksleren
- I tillegg logger vi trykket inn og ut av mellomveksleren for å ha kontroll på trykktapet gjennom denne, dette gjøres også med samme logger.



*Loggeren koblet til alle følerne på varmepumpa. Eget bilde.*

- Hver test kjøres i omtrent en halvtime, eller vi har stopper testene når alt har stabilisert seg.
- Alle testene har vært veldig stabile noe som er veldig positivt.
- Det er ikke store forandringer som skjer under testen på temperaturene og trykkfallet, men for å få en best mulig test, lar vi testen foregå i en viss lengde. Det eneste som man ser tydelig er at temperaturen i vasketanken stiger sakte men sikkert, denne vil stige helt til den kommer opp på en temperatur på rundt 100 grader når varmepumpa er i drift. Vi ser at trykket svinger litt, men går ut ifra at det er på grunn av forbruket på nettet.
- Ut ifra erfaringer som Maskin og industriteknikk har gjennom mange tester og flere CO2 anlegg som er i drift har man satt leveringstrykket på CO2 på 99bar. Dette er det mest optimale trykket når man skal produsere varmt vann i så høye temperaturer, som de har kommet fram til ved tidligere tester. På de laveste temperaturene kunne men gått ned på dette trykket, men vi har valgt at alle de parameterne er den samme på alle testene.
- Kompressoren går på 50Hz på alle forsøkene.
- Gråvannspumpa (sirkulasjonspumpa) går på konstant hastighet på alle testene bortsett fra de siste da skulle vi senke gråvannstemperaturen mest mulig, for å se hvilken effekt dette hadde på COP.
- Etter første test ble sugegassvarmeveksleren byttet ut med en som var mye større, at denne var for liten oppdaget man ved at temperaturen var for lav inn på kompressoren, og at man ikke har noe justerings muligheter på dette.
- Vaskeprosessen er noe som vi ikke har fått testet ut, da det har ikke så stor hensikt siden vi har kjørt testene med rent vann på begge sider. Det hadde vært en fordel og testet dette ut i forkant av montering av varmepumpa for å sjekket om vasketanken er stor nok og hvordan varmepumpa oppfører seg når den er i hvilemodus, men dette har det ikke vært tid og mulighet til.
- Planen fra starten av var at vi skulle teste ut varmepumpa ved at mellomveksleren var koblet både i parallell og i serie. Dette viste seg at det ikke lot seg gjøre da den var koblet i serie var det alt for stort trykkfall gjennom mellomveksleren, så vi måtte gå bort fra å teste den i serie.



- *Bilde av grafen som loggeren lager fra 01.05.19 første test.*

Mørkeblå graf	Temperaturen i vasketanken
Turkis graf	Temperatur på nettvannet inn
Sort graf lavest	Temperatur gråvann ut av mellomveksler
Sort graf høyest	Temperatur gråvann ut av varmpumpa
Rød graf	Temperatur oppvarmet vann
Grønn graf	Temperatur nettvann ut av mellomveksleren
Blå graf	Trykk inn på mellomveksleren
Gul graf	Trykk ut av mellomveksleren

- Bildet av grafen er av første testen fra den siste dagen vi testet. Her ser man tydelig at temperaturen i vasketanken stiger ganske raskt, og at temperaturen kommer hurtig opp på 75 grader. Trykket over mellomveksleren er også høyere ut av mellomveksleren da det ikke er noe trykkfall gjennom veksleren, og det er bare høydeforskjellen som gir denne trykkdifferansen.
- Easyview programmet hadde jeg en måned gratisutgave. Måtte passe på å få lagret alle grafer og data før denne perioden gikk ut. Har lagret alle grafene fra testene, men bare valgt å ta med en da jeg har bruk gjennomsnittet av målingene til å regne ut resultatene mine.

## 4.2 Utførelse av test nummer 1:

Vi kjørte den første testen den 04.april 2019

I forkant av denne testen var det jo en del oppstartsproblemer. Når pumpa var ferdig bygget, og den skulle testes med vann, viste det seg at trykktapet gjennom mellomveksleren var altfor stort. Det trykket som var på forbruksnettet klarte ikke å drive vannet gjennom denne veksleren fordi de da var koblet i serie, og det ble for mye motstand gjennom veksleren. Så da måtte den bygges om slik at den da ble koblet i parallell. Da ble trykkfallet mye mindre, og på loggingene er trykkfallet omtrent 0-0,3 bar.

På denne testen ble det bare forsøkt med vanntemperatur ut av varmepumpa på 75 grader, fordi vi ikke hadde tid til å forandre på ting. Fokuset under denne testen var bare å få gjort en først test, og se at alt fungerte.

Under denne testen ble det oppdaget av sugegassvarmeveksleren var for liten, så den ble byttet ut til en som er mye større før vi gjennomførte de resterende testene. Resultatene fra denne testen har vi ikke valgt å ta med videre i oppgaven, da varmepumpa ble bygget om etter dette.

Hvis man monterer en sugegassvarmeveksler som er en internvarmeveksler som skal utnytte energien internt i varmepumpa som er for liten kan den virke mot sin hensikt. Er den for liten kan den bidra til at virkningsgraden blir mindre, det kan gjøre slik at temperaturen på gassen som kommer tilbake til kompressoren er for lav, og i verste fall ødelegge kompressoren på grunn av dette. Når vi byttet den ut fungerer den fint.



*Sugegassveksleren som vi måtte demontere kuttet i to, Mellomveksleren har akkurat samme utforming. Eget bilde.*

Har ikke foretatt noen beregninger med verdiene fra denne testen, da fokuset har vært på de reelle testene med riktige komponenter. Har kjørt 12 tester etter denne som er gjort beregninger med.

### **4.3 Utførelse av test nummer 2:**

Den andre testen ble gjort den 26. April. 2019

Når vi kjørte denne testen var sugegassvarmeveksleren byttet ut, den ny fungerte slik det var forventet at den skulle gjøre. Den første vi prøvde er en annen type som de ikke har prøvd før, men som var mindre og lettere å plassere, men det viste seg at den var for liten, denne var formet som et rør (se bilde over). Den nye har de lang erfaring med, de vet at denne fungerer, og vi ser på testene at denne er stor nok, til at vi kan justere på temperaturen, og den er ikke for lav inn på kompressoren med denne er en plateveksler.

På denne testen fikk vi kjørt tester både med 75, 55 og 35 grader, og vi hadde en gråvannstemperatur på 30 grader. Det viste seg at vi ikke klarer å få temperaturen lavere enn omtrent 47 grader med de gitte parameterne som vi har valgt og teste med her, skal man få temperaturen ned til 35 grader må vannhastigheten økes, eller gråvannstemperaturen senkes.

Da jeg holdt på med testene den 26.04.19 ble jeg veldig plaget med loggeren utpå dagen. Det er tydelig at den trenger en kalibrering (anbefaler dette på det sterkeste). Den leste av riktige verdier, dette kunne man vi se når man hadde multimeteret oppe, men når den skulle logge, og lage grafene ble det bare tull. Måtte restarte/bootte den mange ganger slik at den skulle klare å lage grafene. Vi fant ingen grunn til at den ikke skulle lage grafene, da alt var riktig koblet og målingene var riktig lest av på multimeteret, også på alle de første avlesningene var det riktige tall.

Måten jeg fikk den til å fungere riktig på igjen var at jeg forsøkte å starte fra pc-en, og da klarte den å logge riktig. Det var ingen grunn til at man skal gjøre det, men på alle testene etter dette startet vi testene fra pc-en, og da fungerte alt bra.

#### **4.4 Utførelse av test nummer 3:**

Den siste testen kjørte vi 1. mai. 2019

Denne dagen kjørte vi i alt 9 tester, på testene i dag forandret vi litt på gråvannstemperatur og hastigheten på gråvannet, denne har vært ganske konstant på de andre testene.

Denne gangen kjørte vi litt kortere tester, når alt hadde stabilisert seg følte vi at resultatene var gode nok.

Vi har ikke forandret på noe annet enn nettvannmengden på de resterende testene, men på de siste tre testene vi gjennomførte satt vi ned turtallet på gråvannspumpa på minimum for å få senket gråvannstemperaturen lavest mulig.

Når vi holdt på med testene den siste dagen oppdaget vi at følerne våre leste av litt feil i forhold til de andre temperaturmålerne vi hadde. Etter at vi var ferdig med alle testene kalibrerte vi følerne som viste at de viste feil med 3,5 grader. Dette regner vi med har vært tilfelle gjennom alle testene, og regulerer dette når vi regner ut resultatene.

Selve kalibreringen ble gjort ved at vi satte følerne i isvann en periode, og de stoppet på 3,5 grader som tilsier at disse føleren er feil. Jeg tror feilen er at det ene tallet som jeg fikk oppgitt fra Intab er noen desimaler feil siden alle følerne viser 3,5 grader feil. Denne feilen har jeg selvfølgelig tatt hensyn til når jeg har gjort utregninger senere. Jeg tror denne feilen kommer av feil tall på innstillingene på loggeren. At det tallet som jeg har fått opplyst og fylt inn på loggeren (87,928 high from) er noen desimaler feil.



## 5 Resultat og diskusjon:

### 5.1 Høyest COP

Det er foretatt både teoretiske beregninger, og beregninger ut ifra de testene som vi gjennomførte. Jeg startet med å regne COP ved hjelp av Coolpack programmet, men alle de beregningene som jeg gjennomførte da ble ubrukelig etter at jeg lærte hvordan denne varmpumpa er bygget. Etter at vi var ferdig og teste brukte vi en kombinasjon av Coolpack og testresultatene mine for å komme fram til en teoretisk COP.

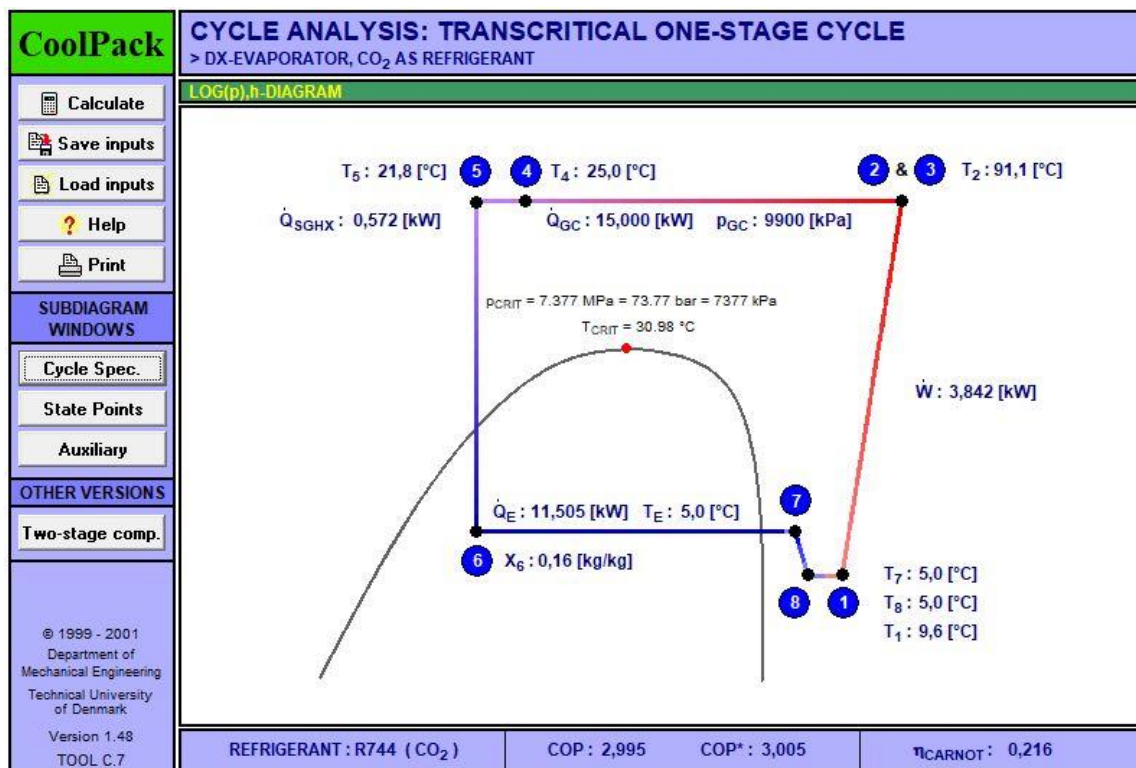
For å kunne bruke Coolpack beregninger, har jeg regnet ut effekten på gasskjøleren ved forskjellige temperaturene, satt denne effekten inn i Coolpack programmet og regnet COP ut ifra dette.

CYCLE SPECIFICATION					
<b>EVAPORATOR</b>		<b>SUCTION GAS HEAT EXCHANGER (SGHX)</b>		<b>SUCTION LINE PRESSURE LOSS</b>	
$T_E$ [°C]:	5,0	$\Delta T_{SH}$ [K]:	0,0	Thermal efficiency [-]	0,23
<b>GAS COOLER (GC)</b>		$\Delta P_{SL}$ [K]: 0,2			
Pressure [MPa]:	9,9	Outlet temperature ( $T_4$ ) [°C]: 25,0			
<small>For CO<sub>2</sub> the critical pressure (<math>p_{CRIT}</math>) is 7.377 MPa = 73.77 bar = 7377 kPa, and the critical temperature (<math>T_{CRIT}</math>) is 30.98 °C.</small>					
CYCLE CAPACITY					
Heating capacity $\dot{Q}_{GC}$ [kW]	15	$\dot{Q}_E$ : 11,505 [kW]	$\dot{Q}_{GC}$ : 15,000 [kW]	$\dot{m}$ : 0,0640 [kg/s]	$\dot{V}_S$ : 2,16 [m <sup>3</sup> /h]
COMPRESSOR PERFORMANCE					
Isentropic efficiency $\eta_{IS}$ [-]	0,63	$\eta_{IS}$ : 0,630 [-]	$\dot{W}$ : 3,842 [kW]		
COMPRESSOR HEAT LOSS					
Heat loss factor $f_Q$ [%]	10	$f_Q$ : 10,00 [%]	$T_2$ : 91,1 [°C]	$\dot{Q}_{LOSS}$ : 0,384 [kW]	
SUCTION LINE HEATING					
Unuseful superheat $\Delta T_{SH,SL}$ [K]	0,0	$\dot{Q}_{SL}$ : 37 [W]	$T_{OUT}$ : 5,0 [°C]	$\Delta T_{SH,SL}$ : 0,0 [K]	
<b>Calculate</b> <b>Print</b> <b>Help</b> <b>Home</b> <b>Auxiliary</b> <b>State Points</b> <b>COP: 2,995</b> <b>COP*: 3,005</b>					

Bilde av Coolpack til å forklare hva jeg har puttet inn hvor.

Tallene jeg har fra målingene har jeg satt inn i T4, satt inn Qgc og TE for å få ut en W. Har regnet ut Q gasskjøler og Q mellomveksler lagt disse sammen delt på W kompressor fra Coolpack og fått ut en teoretisk COP.

Coolpack har jo ikke noe som heter mellomveksler så dette måtte legges til Coolpack beregningene, dette er jo ren gratis energi. Har valgt å tatt med disse kombinasjonene, selv om det mest sannsynlig ikke er helt korrekte.



Bilde av prosessen fra Coolpack programmet, dette bildet forandrer seg ikke etter input, dette er med tilfeldige tall.

For inntegnet reell prosess i egnet trykk entalpi diagram se vedlegg C.

Vi har kjørt ulike tester med ønskede temperaturer på vannet ut av varmpumpe på 75-55-35, temperaturen ut er det eneste som vi har forandret på, reguleringer her har vært hastigheten på vannet gjennom varmpumpe. Varmepumpe klarer raskt å produsere vann som er 75 grader etter bare noen minutter, men når vi skal ha 35 grader ut, greier vi ikke å komme ned på denne temperaturen med de forholdene som vi har brukt ved testing. Det laveste vi kommer ned på er 40-46 grader når gråvannet er 32 grader. For å klare dette må hastigheten på gråvannet senkes mer enn det vi har gjort. Grunnen for at denne gråvannstemperaturen er 32 grader og ikke 30 var at det var det temperaturen på tanken ble når vi fylte opp til denne testen.

Vi har testet varmpumpe med faste gråvannsmengder på de fleste testene, men har gjort en test på hver temperatur hvor vi har senket gråvannet mest mulig. Hadde trodd at Ytelsen skulle bli best når vi hentet ut mest mulig fra gråvannet, men da er temperaturen på gassen så lav at COP blir dårligere under disse forholdene.

Når vi har kjørt disse testene har varmpumpe stått helt «naken», det er ingenting som er isolert og alle veggene er også borte. Temperaturen inne på fabrikken ligger også på omtrent 16-18 grader, det har jo vært mye tap under denne prosessen, se vedlegg B. Dette vil jo forbedre COP en når vasketanken senere blir isolert, og det er isolasjon i veggene som skal monteres. Så de beregningene som er gjort i denne rapporten vil jo bli bedre etter ferdigstilling av varmpumpe.

En ting som man da igjen må tenke på er at denne prosessen produserer mye varme, og denne varmen burde også gjenvinnes. For at det ikke skal oppstå overoppheting inne i kabinettet som varmepumpa står i må denne varmen slippes ut. Her er det mulig å montere en liten varmeveksler som det kalde vannet kan gå gjennom for å utnytte denne varmen. Det kan være litt å hente her i stedet for å bare slippe denne varmen ut. Hvis det ikke monteres en slik varmeveksler må det være en luke i kabinettet for å slippe ut varmen.

For å komme fram til tapet som oppstår i selve prosessen har jeg regnet ut  $Q$  for gråvannet,  $Q$  for nettvannet, funnet differansen som blir tapet i kW. For så å finne ut hvor mye dette utgjør i prosent har jeg delt denne  $W$  på  $Q$  vann for å komme fram til prosenten i tap på systemet. Oversikt over denne utregninger finnes i Vedlegg B.

## **5.2 CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium:**

Det er store fordeler ved å bruke CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium det har jeg allerede skrevet om under teoridelen. CO<sub>2</sub> er en billig gass med meget gunstige egenskaper. En ting som også er en vesentlig faktor og som jeg har lært under denne prosessen er prisen på kjølemedium, og miljøavgiftene på de forskjellige andre typer arbeidsmedium. CO<sub>2</sub> er en billig gass, og mange av de tradisjonelle arbeidsmediene er veldig dyre, og de har miljøavgifter som også må betales siden de er så skadelige for miljøet. Det kommer alt for lite fram hvor stor prisforskjell det er på de forskjellige ander arbeidsmedier kontra CO<sub>2</sub>, og heller ikke hvor skadelig denne gassen er.

# Nye priser på HFK & HFO kuldemedier

Listepriser eks. mva. pr. 20.03.2019



www.renkulde.no

Varenr.	HFK	GWP	Brannklasse	Vekt (kg)	Bruttopris pr. kg	Bruttopris	Depositum beholder	Avgift pr. kg 2019
610023	R23	14800	A1	12,00	-	På forespørsel	2000,00 (kjøpeflaske)	7518,40
621032	R32	675	A2L	10,00	733,00	7330,00	1000,00	342,90
620134	R134a	1430	A1	14,00	795,00	11130,00	1000,00	726,44
620404	R404A	3922	A1	11,00	1900,00	20900,00	1000,00	1992,17
620471	R407A	2107	A1	11,00	2692,00	29612,00	1000,00	1070,36
620407	R407C	1774	A1	11,00	860,00	9460,00	1000,00	901,11
620476	R407F	1825	A1	11,00	1330,00	14630,00	1000,00	926,85
624410	R410A	2088	A1	4,00	1222,00	4888,00	1000,00	1060,46
620410				10,00	1212,00	12120,00	1000,00	
620417	R417A	2346	A1	12,00	2692,00	32304,00	1000,00	1191,77
620421	R422A	3143	A1	12,00	2692,00	32304,00	1000,00	1596,62
620422	R422D	2729	A1	12,00	2692,00	32304,00	1000,00	1386,31
620427	R427A	2138	A1	10,00	1150,00	11500,00	1000,00	1086,10
620437	R437A	1805	A1	12,00	2692,00	32304,00	1000,00	916,96
620448	R448A	1387	A1	11,00	1085,00	11935,00	1000,00	703,99
620449	R449A	1397	A1	11,00	1257,00	13827,00	1000,00	709,19
620450	R450A	604	A1	14,00	700,00	9800,00	1000,00	305,10
620452	R452A	2141	A1	11,00	1696,00	18656,00	1000,00	1086,74
620507	R507	3985	A1	10,70	2279,00	24385,30	1000,00	2024,38
610508	R508B	13396	A1	4,54	-	På forespørsel	2000,00 (kjøpeflaske)	6805,17
620513	R513A	631	A1	11,00	1242,00	13662,00	1000,00	319,63
612341	R1234yf	4	A2L	5,00	2939,00	14695,00	1000,00	0,00
612342	R1234ze	7	A2L	5,00	845,00	4225,00	1000,00	0,00

Oversikt over priser på kuldemedier pr 20.03.19 (Ren kulde, 2016)

Andre tradisjonelle kjølemedier er også veldig skadelig både for ozonlaget og for de som jobber med det kan de. Som vist over er prisene skyhøye på enkelte kjølemedier, prisen på «CO2 ligger på omtrent 120 kr/kg, ingen avgift» ifølge ekstern veileder. Det burde vært mer fokus på å tilrettelegg for mer bruk av CO2 i varmepumpeprosesser for å få ned bruken av disse skadelige gassene. Det er noe Maskin og industriteknikk har jobbet med i mange år, og de er ledende på nyutvikling av CO2 anlegg i Norge.

Mange av de kjølemedier som er i bruk i dag skal fases ut i tiden framover. Da må man finne andre løsninger, og da vil nok CO2 bli mer og mer tatt i bruk.

### 5.3 Benytte gråvann i varmepumper

På Rørosmeieriet er planlagt å gjenvinne gråvannet, der har de store mengder med gråvann fra produksjonen og under vasking av produksjonslokaler. Derfor ønsker de å utnytte dette bedre enn det som blir gjort i dag. De holder nå på med ombygging av meieriet, og om ikke alt for lenge skal det bygges en gråvannsvarmepumpe som skal installeres der.

I dette prosjektet er det planen at varmepumpa skal varme opp alt vannet som det er behov for på meieriet. Varmepumpa går så lenge det er behov for varmtvann til lagringstankene er fylt opp. På nettene når det ikke er produksjon fylles tankene opp, vekslerne vaskes og varmepumpa går i "hvilemodus". Varmepumpa skal levere alt varmtvann.

Forbruket på Meieriet på Røros er ganske stort, og tilgangen på gråvann er også stor. Når vi kjører testene ser vi at fordamperen og mellomveksleren senker gråvannstemperaturen med omtrent 10 grader (dette gjør den på alle tre temperaturer). Da har vi fortsatt en gråvannstemperatur ut fra varmepumpa på 23-25 grader når vi produserer vann med 75 graders temperatur.

Dette er ganske mye, så her må man se på hvordan oppbyggingen av gråvannstanken skal være. En mulighet som kanskje er mest aktuell er at gråvannet ledes tilbake til samme gråvannstank fra varmepumpa. Da vil temperaturen på gråvannstanken synke etter hvert når det ikke er produksjon på meieriet, men viser at varmepumpa fungerer bra selv ved temperaturen ned mot 20 grader. Siden det er stor produksjon av gråvann på meieriet kan nok det tenkes at det er den beste løsningen.

En annen løsning kan være å senke hastigheten på gråvannet enda mer slik at man klarer å senke denne temperaturen mer. Men vi ser at når hastigheten senkes går virkningsgraden på varmepumpa ned.

## 5.4 Vurdering av vaskeprosessen:

Det som er tenkt når det gjelder vaskeprosessen er at gråvannet, og forbruksvannet blir stengt av på treveisventilene slik at vannet som er i varmpumpe sirkulerer gjennom varmeveksleren og fordamperen. Da blir dette vannet varmet opp til omtrent 100 grader, og alt fett som er blitt samlet her blir smeltet bort.

Samtidig som denne vaskeprosessen startet girer turtallet på gråvannspumpe opp og ned slik at det oppstår turbulens og vibrasjoner i vekslerne og fett og annet smuss i veksleren og fordamperen blir revet med. Dette pågår i en gitt tidsperiode, eller til temperaturen i vasketanken blir for lav da avbrytes denne vaskeprosessen og varmpumpe starter igjen.

Når vaskeprosessen er ferdig åpnes ventilene igjen, slipper ut det vannet som er i varmpumpe, for at alt smuss skal bli fraktet ut av systemet, hvis det ikke er behov for oppvarming av mer vann stenger tre-veis ventilene igjen, turtallet på pumpe går ned på det laveste, slik at det sirkulerer vann i varmpumpe hele tiden. Når varmpumpe er i denne hvilemodusen, kan temperaturen i vasketanken falle ned til romtemperatur. Varmepumpe starter igjen når det på nytt igjen blir behov for oppvarming av vann.

Siden vannet aldri stopper å sirkulere, regner vi med at det ikke vil feste seg mye smuss inne i veksleren selv om vannet ikke varmes opp, og det som eventuelt fester seg vil bli smeltet bort under vaskeprosessen. Dette er etter vaskeprosessen er ferdig, og før det er behov for mer oppvarming av vann. Når varmpumpe er i denne hvilemodusen vil temperaturen synke i vasketanke.

For å ikke sløse med energi må man finne ut hvor ofte denne prosessen må gjennomføres. Er en gang i døgnet nok, for ofte eller for sjeldent? Hvordan kan man komme fram til det rette intervallet på denne prosessen? Det beste er at den starter akkurat før det oppstår belegg på varmeveksleren slik at ikke går ut over varmeledningsevne. Det er fordamperen og varmeveksleren som må vaskes, disse to vil nok ha ulike former for avleiring fra gråvannet, men det er den hvor det først oppstår avleiring hvor man må ta utgangspunkt i.

Hvis vannet i vasketanken ikke klarer å holde høy nok temperatur under den gitte vaskeprosessen, kan det være en indikator på at vasketanken er for liten. Dette har vi jo ikke fått testet, jeg vil anbefale at hvis det lar seg gjøre burde varmpumpe, spesielt med tanke på vaskeprosessen blitt testet ut med gråvann.

Siden de holder på å bygge om på meieriet på Røros kan det jo tenkes at man kan få fraktet prototypen ned til Røros, og kjøre noen tester der før den reelle varmpumpe bygges.

Mulig at denne vaskeprosessen ikke vil være god nok over tid, så det kan tenkes at den må ha en grundigere vask hvor komponentene demonteres og rengjøres etter en tid. Dette er noe som kanskje må gjøres med jevne mellomrom, og her burde det plasseres en føler/indikator som gir et signal når gjennomstrømningen gjennom mellomveksleren, og gjennom fordamperen kommer under et kritisk punkt.

## 6 Konklusjon:

En slik gråvannsvarmepumpe vil være gunstig i drift, denne prototypen har flere bruksområder, og kan tilpasses hvert enkelt bygg. Den kan brukes til både produksjon av varmt vann ved høye temperaturer, og til produksjon av lavere temperatur til badeanlegg på samme tid. Den kommer raskt opp til en temperatur på 75 grader, og da produserer den omtrent 300 liter vann med denne temperaturen i timen (dette er ut ifra de parameterne som vi har testet med). Dette er ikke så mye varmtvann, så akkumuleringsbehovet er stort spesielt på de høye temperaturene.

Det å utnytte gråvann på denne måten er veldig gunstig, det anbefales å ta dette mer i bruk. Det er også muligheter å benytte sortvann til varmepumper av lignende slag, hvis det bare renses godt nok i forkant av varmepumpa, finnes noe av disse på markedet, men ikke med CO<sub>2</sub>.

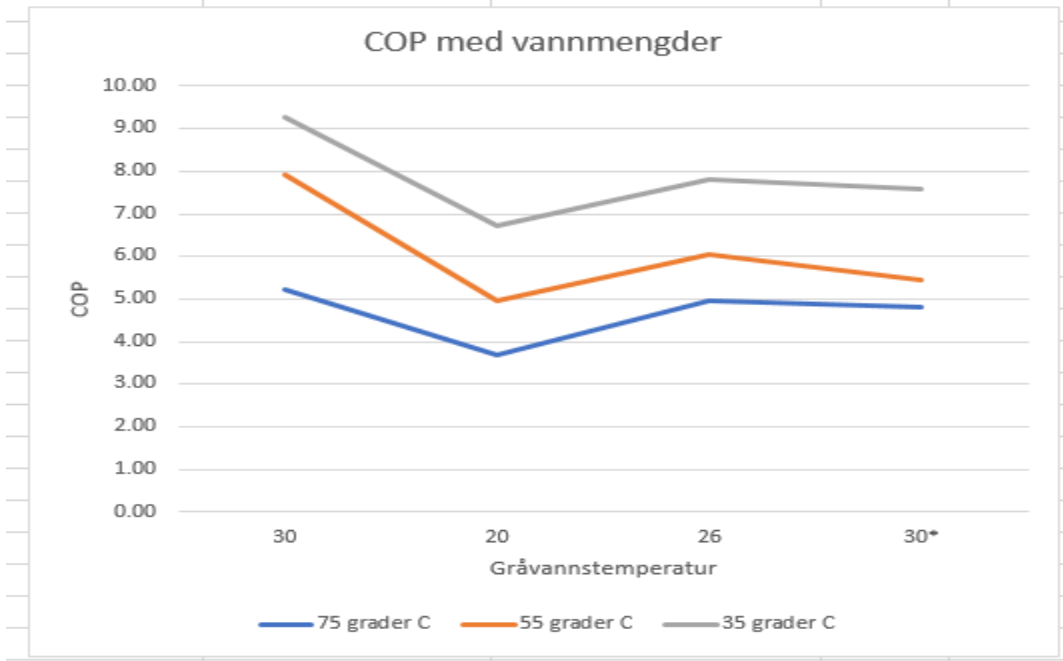
Bruk av CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium ser jeg stort sett bare fordeler med, og det burde brukes mer i tiden fremover siden mange andre typer arbeidsmedier skal fases ut. Bruk av CO<sub>2</sub> til oppvarming av vann til høye temperaturer er svært gunstig, og det er en gass som er mye mer miljøvennlig en andre arbeidsmedier.

Har regnet på COP på flere forskjellige måter både ved hjelp av sirkulerte vannmengder, en kombinasjon at dataen fra testene og Coolpack og ved kun å se på de avleste energimengdene som vi leste av på energimåleren.

Vi ser at det er høyest COP på de laveste temperaturen ut, det var som forventet. Men vi hadde trodd at når vi senket gråvannstemperaturen for å hente ut mest mulig fra gråvannet, blir COP lavere enn når det senkes med 6-15 grader. Årsaken kan skyldes at gråvannet får en mer laminær strømming, noe som igjen resulterer i at varmeledningsevnen blir dårligere. Det er satt opp grafer under med oversikt av hvordan disse COP beregningene er i forhold til hverandre.

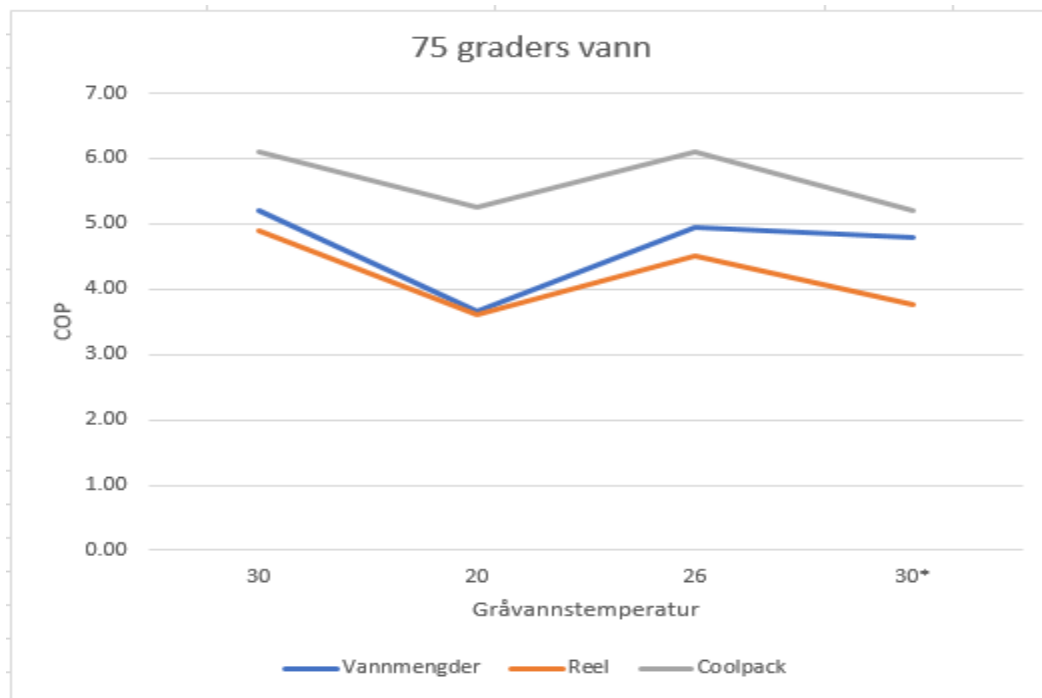
Det viser seg ut ifra testene som er gjort, at det kan være den beste løsningen å senke gråvannstemperaturen med rundt 10 grader (mellomveksleren og fordamperen sitt gjennomsnittlig arbeid) for å oppnå høyest COP. De forsøkene hvor vi senker gråvannet mest mulig oppnådde vi lavere COP. Grunnen til dette er nok at temperatur på gassen blir mye lavere, men også at strømmingen gjennom veksleren blir mer laminær, dernest går varmestrømmen saktere.

På alle diagrammer under er gråvannstemperaturen på x-aksen, de har konstant sirkulert mengde på 20,26,30 gradere, men har lavere hastighet på den merket 30\*.



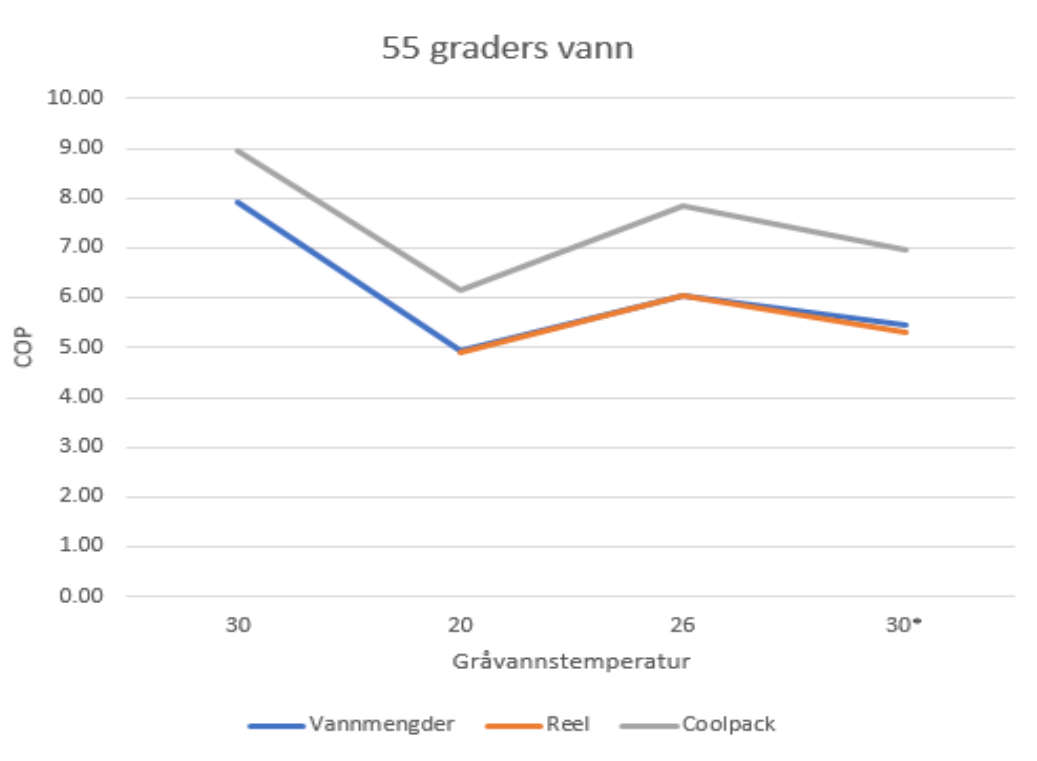
Oversikt over COP beregninger ved bruk av sirkulert vannmengde.

Her er en oversikt over forskjellig COP på de forskjellige temperaturene på gråvannet og vantttemperatur ut av systemet. Alle disse COP er regnet ut ifra sirkulert vannmengder.

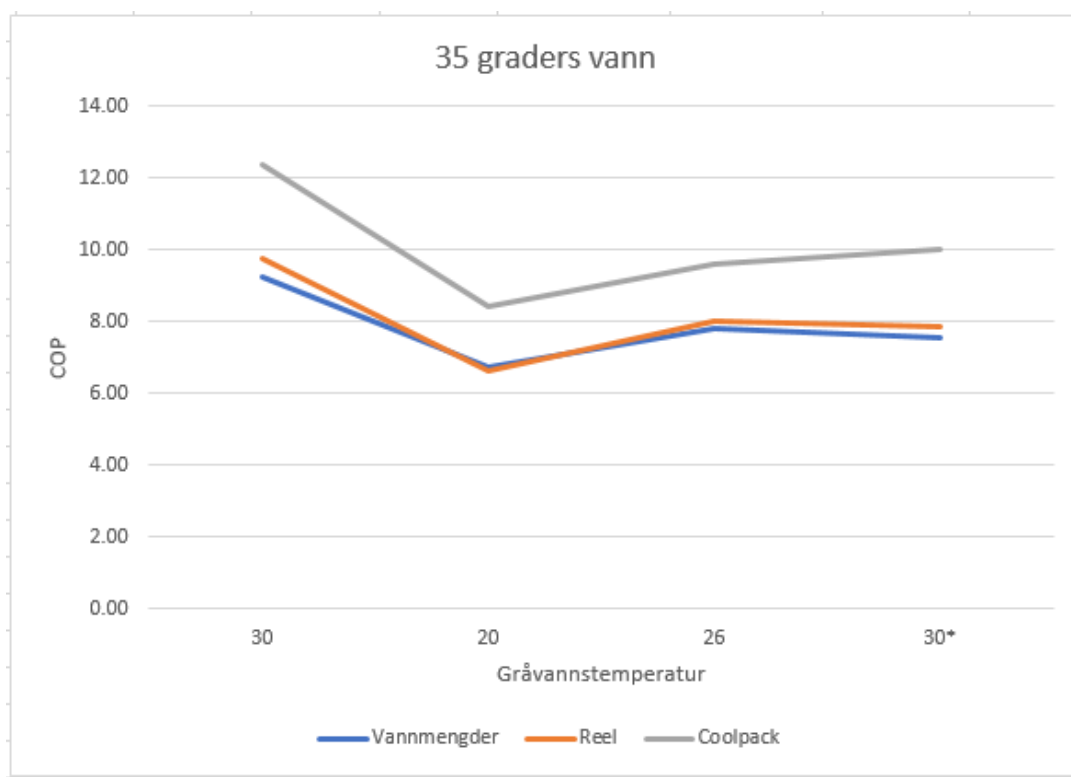


75 graders vann ut.





55 graders vann ut



35 grader vann ut.

Ved de tre grafene over, ser man forskjellen på COP når man regner de ut ved hjelp av sirkulert vannmengde:  $m \cdot c_p \cdot \Delta T = Q$  Som blir  $COP = \frac{Q}{W}$  Denne er vist som COP vannmengde.

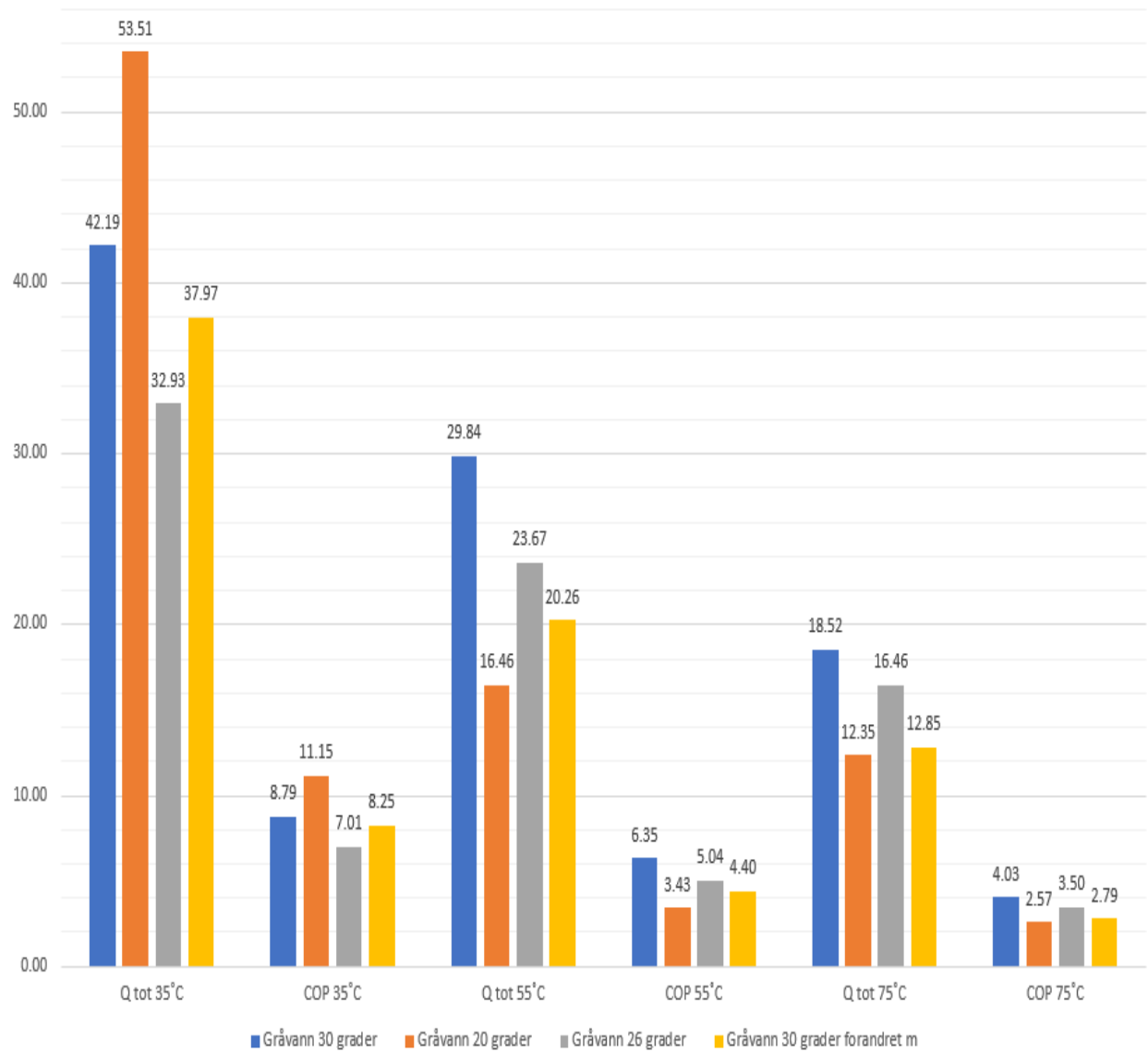
Reell er regnet ut ifra energimåleren og avlest data under tester:  $COP = \frac{Q_{\text{energimåler}}}{W_{\text{total}}}$

Den siste er regnet ut ved hjelp av Coolpack samt vannmengder som er beskrevet under metode.

Ut ifra mine gjennomførte beregningene, har jeg kommet fram til at man oppnår høyest COP når vi har en gråvannstemperatur på 30 grader, samt en gråvannshastighet på 0,49l/sekund.

Resultatet blir da den høyeste COP på alle tre temperaturene ut av varmpumpa.

For å finne den beste fordelingen mellom fordampere og mellomveksleren, har jeg regnet ut disse ut ifra gråvannsmengdene. Komplette oversikter over disse, se tabeller. Mellomveksleren som er «gratis» energi, produserer opp imot 75 % av total Q der COP er høyest. Høyest COP finner vi der nett vannstemperatur er på 35 grader, samt gråvannstemperatur på 32 grader. Se hele oversikten under:



Ved disse to stk 35graders målingene, er gråvannstemperaturen nærmere 32 grader(ikke 30grader)

Disse grafene viser COP regnet med sirkulert gråvannsmengde. Tabellen hvor tallene er hentet fra finnes under tabeller. Der ser man også fordelingen mellom Q mellomveksler samt Q fordeler.

## 7 Videre arbeid:

- Her kan man finne ideelt intervall for hvor ofte vaskeprosessen skal gjennomføres for at man ikke skal sløse med energi. Det mest optimale vil nok være at den vasker rett før det vil oppstå avleiringer inne i veksleren. Vet ikke om det er så veldig mye å spare på å bruke mye tid og tester på å finne ut av dette, men det kan være et tema som kan sjekkes bedre ut.
- På testene ser vi at denne varmepumpa er ideell til bruk i svømmeanlegg o.l. når den skal produsere lavere temperaturer eller en kombinasjon. Denne prototypen som vi har drevet og testet skal mest sannsynlig monteres i et badeanlegg. Ikke medtatt i denne oppgaven.
- Det er ikke gjort beregninger av varmtvannsforbruket på Rørosmeieriet, eller hvor stor akkumuleringstankene bør være
- Utformingen av gråvannstankene er det bare skrevet kort om, så det kunne vært gjort grundigere undersøkelser på om gråvannet bør ledes tilbake i samme tank siden det er stor gråvannsproduksjon, eller om man skal senke gråvannet til laves mulig temperatur.
- Hvor stor besparelsen hadde blitt med å installere en slik varmepumpe har det ikke blitt tid til å gjennomføre regne på, den blir nok litt dyr å installere, men siden virkningsgraden er ganske høy vil det nok lønne seg over tid.

## Referanser

- (2017, 07 17). Hentet fra vb blogg: <https://blogg.vb.no/proff/varmegjenvinning-fra-avlopsvann-i-naringsbygg>
- (2019, 02 21). Hentet fra Fremtidensbygg artikler: <https://fremtidensbygg.no/artikler/nytt-enok-tiltak-kan-spare-skolen-for-81-000-kwh/442008>
- Hoyas, R. C. (2014). *Energy efficient Supermarket Refrigeration with Ejectors*. Trondheim: NTNU.
- Hundseth, Ø. (2011). *Varmegjenvinning i fryseanlegg med bruk av ejektorsystem*. Trondheim: NTNU.
- Jørn Stene, A. J. (2006). *Forprosjekt-Prototype CO2 varmepumpesystem for oppvarming og kjøling av en større bygning*. Trondheim: Sintef.
- Ren kulde*. (2016, 03 20). Hentet fra [www.renkulde.no](http://www.renkulde.no).
- Rørosmeieriet*. (2019, 04 08). Hentet fra <https://rorosmeieriet.no/om-rorosmeieriet/>
- Solendal, Y. (2013). *CO2-kjølesystemer for data-/telesentraler*. Trondheim: NTNU.
- Standard Norge*. (2001, 03 06). Hentet fra NS1717: <https://www.standard.no/nettbutikk/sokeresultater/?search=ns1717&subscr=1>
- vvsaktuelt*. (2014, 10 29). Hentet fra <https://www.vvsaktuelt.no/varmegjenvinning-fra-gravann-i-bade-og-svommeanlegg-80386/nyhet.html>

## Vedlegg:

### Vedlegg A Populærvitenskapelig artikkel:

#### Varmepumpe med gråvann og CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium:

Gjenvinning av gråvann er et aktuelt tema for tiden, det kommer flere og flere produsenter på markedet av ulikt slag både for små og større bygninger. Om man har en gråvannsmengde på 7-8000 liter eller større i døgnet ved en angitt temperatur, skal det lønne seg å gjenvinne denne energien. Det eksempelvis være næringsmiddelindustri, større leilighetsbygg, skoler og badeanlegg. Her er det altså mye energi som går tapt i dag.

Har vært med på å teste ut en varmpumpe som skal gjenvinne gråvann fra et meieri, Dette skal da varme opp varmtvann ved hjelp av CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium. Har vært en spennende prosess da det er to forskjellige faktorer som er lite brukt, og som nå settes sammen til å bli en varmpumpe med mange bruksområder. Resultatene fra testene viser at dette kan bli en meget anvendelig varmpumpe.

Varmepumpa skal utvikles til Rørosmeieriet, de har som visjon å være Norges fremste økologiske meieri. Rørosmeieriet har gjort, og skal gjøre flere energisparende tiltak. Installasjon av fjernvarme, skifte til energieffektive vinduer, avskaffe oljefyr, installasjon av en internasjonal innovativ anleggstype med CO<sub>2</sub> som arbeidsmedium. Dette vil være første implementering i Norge og globalt. Denne type teknologi har potensiale for anvendelse i bla. Næringsmiddelindustrien, øvrig prosessindustri, hoteller og borettslag der det vil bidra til energieffektivisering og reduksjon av klimagassutslipp

Å bruke CO<sub>2</sub> til oppvarming av vann har vist seg at er svært effektivt, man klarer raskt å få opp temperaturen på vannet til 75 grader. Ved å hente ut energi fra gråvann gjennom en spesialbygget varmeveksler som forvarmer vannet før det går inn på gasskjøleren, gjør denne varmpumpa svært effektiv.

Under testene vi gjennomførte, har vi oppnådd en COP på rundt 5 når vi produserer vann med en temperatur på 75 grader. Dette skjer når varmpumpa er helt "naken" i et ganske kaldt lokale, så denne COP en kommer til å stige noe når den blir isolert, siden tapet viser seg å være ganske stort under disse testene. Når vi produserer vann som er 35 grader ligger COP på over 10.

Det som er viktig når man skal utnytte varmen som er i gråvannet til å varme opp varmtvann, er at man har en bra varmeveksler mellom gråvannet og vannet. Det er også viktig å huske at det ikke er tillatt å ha direkte veksling mellom vann og gråvann, på grunn av regler når det gjelder forurensing av vann. I dette tilfelle er kretsen som sirkulerer gjennom varmpumpa en ladekrets, med en ny varmeveksler mot forbruksvannet.



*Bilde av varmepumpa. Eget bilde*

Denne prototypen blir mest sannsynlig montert på et badeanlegg, det viser seg ut ifra testene at den er veldig gunstig på de lave temperaturene, vi oppnår høy COP ved lave temperaturen. Ved å bruke denne i en kombinasjon til å produsere vann til basseng på temperaturer rundt 35 grader. Samtidig som den også produserer vann til dusjanlegget med høyere temperaturer, vil den være veldig gunstig da den har lengst mulig arbeidstid, og dernest kan gå store deler av døgnet.

Siden dette er nytt på markedet vil den være litt mer kostbar enn tilsvarende produkter, men miljøaspektet er også en del man burde fokusere på. Om ikke mange år skal mange typer arbeidsmedium som er veldig skadelig for miljøet faset ut. Da er CO<sub>2</sub> et bra alternativ fordi det ikke er giftig. Det er også mulig å fange opp CO<sub>2</sub>, samt anvende dette, noe som er meget gunstig med tanke på reduksjon av CO<sub>2</sub> utslipp.

## Vedlegg B Tap i systemet:

Temperatur Vann ut	Temperatur gråvann	Vannmengde Nettvann	Vannmengde Gråvann	Cp	delta T vann	delta T gråvann	Q Vann	Q Gråvann	Tap	Tap %
C	C	kg/s	kg/s	kJ/kg°C	C	C	kW	kW	kW	
75	30	0.0885	0.49	4.2	64.5	10	23.97	20.58	3.39	14.16
55	30	0.1994	0.49		44.5	11.5	37.27	23.67	13.60	36.49
35	32	0.286	0.49		37	20.5	44.44	42.19	2.26	5.07
75	20	0.066	0.49		63.5	6	17.60	12.35	5.25	29.85
55	20	0.135	0.49		42	8.5	23.81	17.49	6.32	26.54
35	20	0.296	0.49		26	12.5	32.32	25.73	6.60	20.41
75	26	0.082	0.49		64	8	22.04	16.46	5.58	25.30
55	26	0.156	0.49		43.5	11.5	28.50	23.67	4.83	16.96
35	26	0.291	0.49		30	16	36.67	32.93	3.74	10.19
75	30	0.081	0.133		65	24	22.11	13.41	8.71	39.37
55	30	0.139	0.201		43	23.5	25.10	19.84	5.26	20.97
35	30	0.286	0.287		29	25.5	34.83	30.74	4.10	11.76

*Beregning av tap i systemet.*

I tabellen over har jeg regnet ut tapet i systemet ut ifra sirkulert vannmengder på vann og gråvann. Det er gjort ved å regne ut Q mottatt, Q avgitt, funnet denne differansen som blir arbeidet W, og til slutt funnet prosenten av dette.

$$Q \text{ mottatt} = m \cdot c_p \cdot \Delta T = Q \text{ vann}$$

$$Q \text{ avgitt} = m \cdot c_p \cdot \Delta T = Q \text{ gråvann}$$

$$W = Q \text{ vann} - Q \text{ gråvann}$$

$$\text{Tap} = \frac{W}{Q \text{ vann}} * 100$$



### Vedlegg C Trykk entalpi diagram:



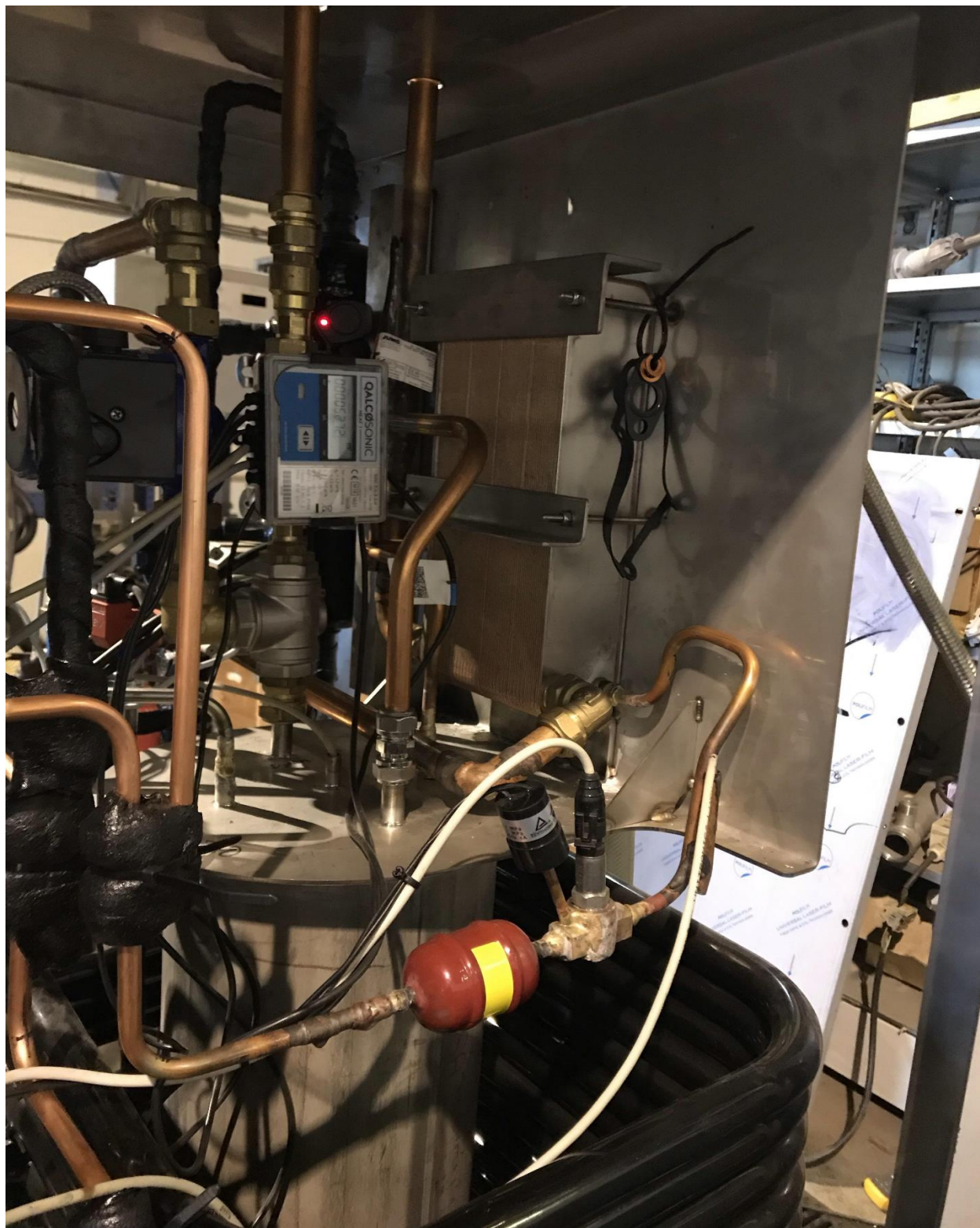
Her er prosessen tegnet inn i et trykk entalpi diagram ut ifra den ene testen som ble gjort. Dette er når vi har redusert gråvannsmengde, gråvannstemperatur 30 grader og 75 grader ut på vannet.

Sugetrykk 36,3 bar, 2,7 grader

Temperatur ut av gasskjøler 34,2 grader.

Leveringstrykket 99 bar.

**Vedlegg D Bilde av gasskjøler:**



*Gasskjøleren, filter og vasketanken. Egne bilder*

**Vedlegg E Bilda av varmepumpa i sin helhet:**



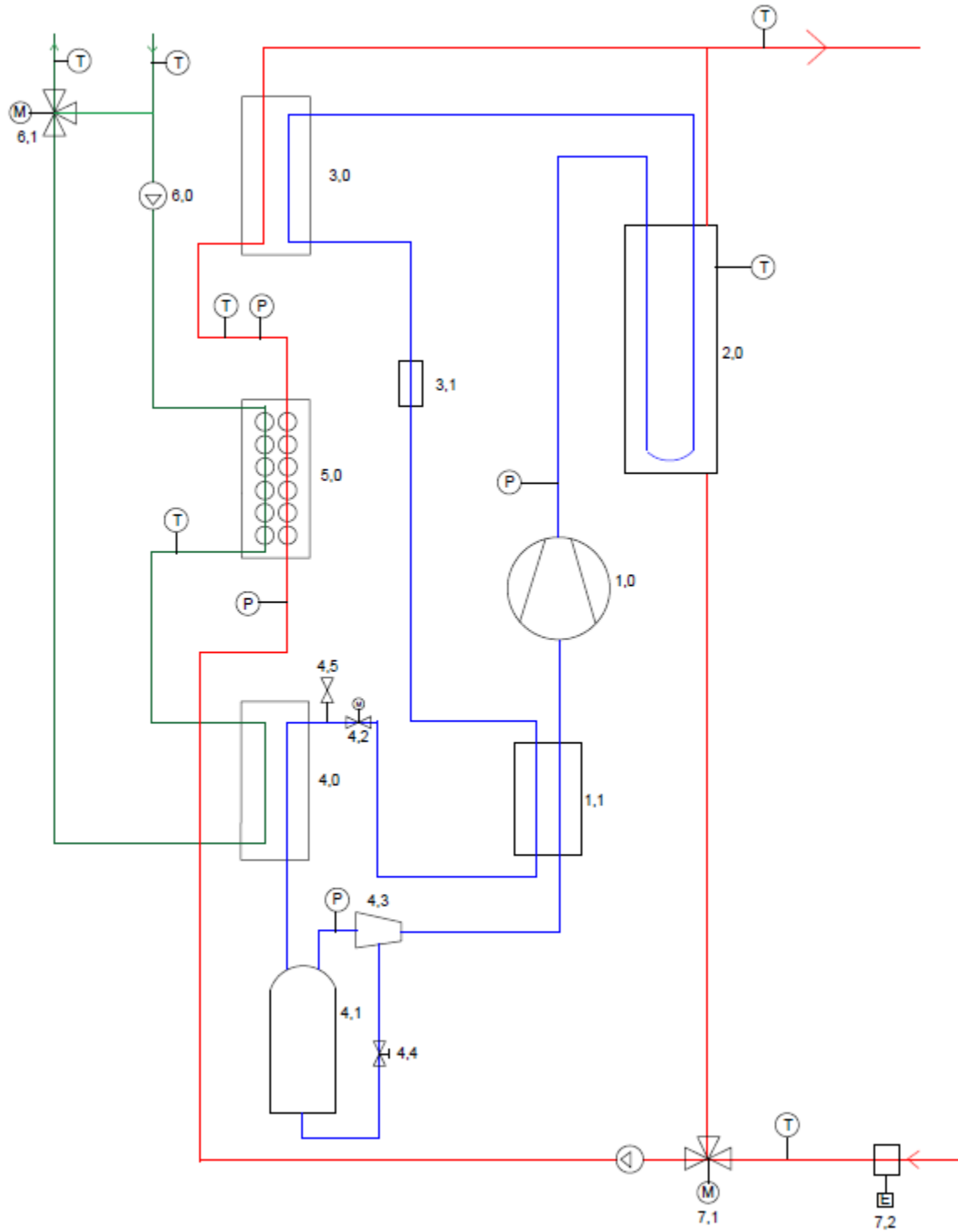
*Varmepumpa i sin helhet. Eget bilde.*

**Vedlegg F Bilde av sugegassvarmeveksler:**



*Sugegassvarmeveksleren*

**Vedlegg G Systemskjema:**



## Vedlegg H Komponentliste:

	Komponent	Fabrikat	Type
1.0	Kompressor	DORIN	CD 380H
1.1	Internvarmeveksler (sugegassvarmeveksler)	KAORI	C022-M30-W2-S3
2.0	Vasketank	SKALA	44L
3	Gasskjøler	KAORI	C042P4-64C-S306
3.1	Filter	HPEOK	PKHE-033S-CDH
4.0	Fordamper CO2	MIT	SS-0270GTTI-F-S
4.1	Væskeutskiller	KLIMAL	RCO 114,39.3.80
4.2	Strupeventil	CAREL	E2V24CS000
4.3	Ejektor	CADIO	6M
4.4	Stoppventil	ESSEN	CRBV-10
4.5	Stoppventil til påfylling		
5.0	Mellomveksler	MIT	SS-0360TTI-F-6
6.0	Gråvannspumpe	MIT	CDLF 2-9
6.1	Motorstyrt 3-veis ventil gråvann	THONE	A100-T25-S3L-C
7.1	Motorstyrt 3-veis ventil nettvann	THONE	A100-T25-S3L-C
7.2	Energimåler	AxFlow	QALCOSONIC HEAT 1

## Tabeller:

### Oversikt over COP beregning ut ifra sirkulert vannmengde:

Temperatur Vann ut	Temperatur gråvann	Vannmengde Nettvann	Cp	delta T vann	Q	W Tot	COP
C	C	kg/s	kJ/kg*C	C		kW	
75	30	0.0885	4.2	64.5	23.97	4.60	5.21
55	30	0.1994		44.5	37.27	4.70	7.93
35	32	0.286		37	44.44	4.80	9.26
75	20	0.066		63.5	17.60	4.80	3.67
55	20	0.135		42	23.81	4.80	4.96
35	20	0.296		26	32.32	4.80	6.73
75	26	0.082		64	22.04	4.70	4.69
55	26	0.156		43.5	28.50	4.70	6.06
35	26	0.291		30	36.67	4.70	7.80
75	30	0.081		65	22.11	4.60	4.81
55	30	0.139		43	25.10	4.60	5.46
35	30	0.286		29	34.83	4.60	7.57

Tabell over COP beregning ut ifra sirkulert vannmengde.

Som er regnet ut:  $m \cdot c_p \cdot \Delta T = Q$  Som blir  $COP = \frac{Q}{W}$  Der W er det totale som vi har hentet fra da vi kjørte testene.

## COP beregninger og oversikt over målte data:

Dato	Motoreffekt	Totalforbruk	Energimåler	Sugetrykk	Sugetrykk	Vannmengde Nettvann	Vannmengde Gråvann	Temperatur gasskjøler	Temperatur gråvann	Temperatur Vann ut	COP
	kW	kW	kW	bar	C	l/s	l/s	C	C	C	
4/26/2019	4.26	4.60	22.6	52.7	17.2	0.0885	0.49	40.4	30	75	4.91
	4.32	4.7		45.2	11.1	0.1994	0.49		30	55	0
	4.4	4.8	46.9	41.8	8	0.286	0.49	30.6	32	35	9.77
5/1/2019	4.4	4.8	17.34	44	9.7	0.066	0.49	33	20	75	3.61
	4.4	4.8	23.5	40.7	6.9	0.135	0.49	21.5	20	55	4.90
	4.4	4.8	31.8	37.1	3.4	0.296	0.49	20.9	20	35	6.63
	4.3	4.7	21.2	48.2	13.6	0.082	0.49	35.6	26	75	4.51
	4.4	4.7	28.4	44.1	10.1	0.156	0.49	26.7	26	55	6.04
	4.4	4.7	37.8	39.3	5.6	0.291	0.49	26.6	26	35	8.04
	4.3	4.6	17.3	36.3	2.7	0.081	0.133	34.2	30	75	3.76
	4.4	4.6	24.4	36.7	3	0.139	0.201	29.1	30	55	5.30
	4.3	4.6	36.2	34.8	1	0.286	0.287	25.9	30	35	7.87

Her er en oversikt over de målingene vi foretok under de forskjellige testene, Her er sirkulerte mengder på gråvann, nettvann, avlesning på energimåleren, trykk og temperaturer i prosessen. Mangler en avlesning på energimåleren og temperaturen på gasskjøleren på den ene testen med

$$55 \text{ graders vann. COP} = \frac{\text{Energimåler}}{\text{Totalforbruk}}$$



## COP beregninger ved hjelp av Coolpack:

Vannmengde Nettvann	Vannmengde Gråvann	Temperatur gråvann	Temperatur Vann ut	Cp	delta T melleom	Qmv	Delta T Gk	Q Gk	W Coolpack	COP teoretisk	Temperatur gasskjøler	Sugetrykk	Sugetrykk
kg/s	kg/s	C	C	kJ/kg°C	C	kW	C	C	kW		C	C	bar
0.0885	0.49	30	75	4.2	20.00	7.43	40.50	15.05	3.69	6.10	40.4	17.2	52.7
0.1994	0.49	30	55		24.50	20.52	20.00	16.75	4.17	8.95	35*	11.1	45.2
0.286	0.49	32	35		25.00	30.03	12.00	14.41	3.59	12.38	30.6	8	41.8
0.066	0.49	20	75		15.30	4.24	50.50	14.00	3.48	5.25	33	9.7	44
0.135	0.49	20	55		12.00	6.80	30.00	17.01	3.86	6.17	21.5	6.9	40.7
0.296	0.49	20	35		13.50	16.78	12.50	15.54	3.83	8.45	20.9	3.4	37.1
0.082	0.49	26	75		19.50	6.72	44.50	15.33	3.61	6.11	35.6	13.6	48.2
0.156	0.49	26	55		18.50	12.12	25.00	16.38	3.64	7.83	26.7	10.1	44.1
0.291	0.49	26	35		17.50	21.39	12.50	15.28	3.82	9.61	26.6	5.6	39.3
0.081	0.133	30	75		22.50	7.65	40.50	13.78	4.12	5.20	34.2	2.7	36.3
0.139	0.201	30	55		20.00	11.68	22.00	12.84	3.53	6.95	29.1	3	36.7
0.286	0.287	30	35		18.50	22.22	10.50	12.61	3.48	10.02	25.9	1	34.8

Her har jeg regnet ut ved hjelp av Coolpack, og sirkulerte vannmengder. Der hvor jeg manglet to verdier har jeg satt inn en verdi som er omtrent midt i mellom 75 graderen og 35 graderen for å kunne gjennomføre dette. Disse beregningene vil ikke bli helt korrekte siden denne varmepumpa er et spesialtilfelle. Med har valgt å ta de med i oppgaven siden det er brukt mye tid på Coolpack.

Har Beskrevet i rapporten hvordan jeg har gått fram når jeg har regnet ut dette ved hjelp av Coolpack.

## Beregninger tilhørende COP grafer:

Temperatur Vann u	Temperatur gråvann	Vannmengde Nettvann	Cp	delta T melleom	Qmv	Delta T Gk	Q.Gk	Q.Tot	W Tot	COP
C	C	kg/s	kJ/kg°C	C	kW	C	C	kW	kW	
75	30	0.0885	4.2	20	7.43	40.5	15.05	22.48	4.6	4.89
55	30	0.1994		24.5	20.52	20	16.75	37.27	4.7	7.93
35	32	0.286		25	30.03	12	14.41	44.44	4.8	9.26
75	20	0.066		15.3	4.24	50.5	14	18.24	4.8	3.80
55	20	0.135		12	6.8	30	17.01	23.81	4.8	4.96
35	20	0.296		13.5	16.78	12.5	15.54	32.32	4.8	6.73
75	26	0.082		19.5	6.72	44.5	15.33	22.05	4.7	4.69
55	26	0.156		18.5	12.12	25	16.38	28.5	4.7	6.06
35	26	0.291		17.5	21.39	12.5	15.28	36.67	4.7	7.80
75	30	0.081		22.5	7.65	40.5	13.78	21.43	4.6	4.66
55	30	0.139		20	11.68	22	12.84	24.52	4.6	5.33
35	30	0.286		18.5	22.22	10.5	12.61	34.83	4.6	7.57

I rapporten er det noe grafer over COP beregninger, her er oversikt over noen av tallene som er brukt til utregninger til disse. Her er det også regnet ut Q mellomveksler og Q gasskjøler hver for seg.

## Oversikt over fordelingen mellom Q mellomveksler og fordamer:

Her er det regnet ut fordelingen mellom fordamperen og mellomveksleren, og COP ved hjelp av gråvannsmengdene. Her er det også regnet ut prosentfordelingen mellom gasskjøler og fordamer. Man ser at det er litt forskjell på COP når man bruker gråvannsmengdene. Har valg å legge disse ved for å vise at jeg har regnet COP på mange forskjellige måte for å komme fram til optimal COP.

### 75 graders vann:

	m	Cp	delta T melleom	Delta T for	Qmv	% av forbruk mell	Q for	% av forbruk for	Q tot 75°C	W tot	COP 75°C
	kg/s	kJ/kg°C	C	C	kW	%	kW	%			
Gråvann 30 grader	0.49	4.2	3.5	5.5	7.20	38.89	11.32	61	18.52	4.60	4.03
Gråvann 20 grader			0.5	5.5	1.03	8.33	11.32	92	12.35	4.80	2.57
Gråvann 26 grader			2.5	5.5	5.15	31.25	11.32	68.75	16.46	4.70	3.50
Gråvann 30 grader forandret m	0.133	4.2	10.5	12.5	5.87	45.65	7.0	54.35	12.85	4.60	2.79

### 55 grader:

	m	Cp	delta T melleom	Delta T for	Qmv	% av forbruk mell	Q for	% av forbruk for	Q tot 55°C	W tot	COP 55°C
	kg/s	kJ/kg°C	C	C	kW	%	kW	%			
Gråvann 30 grader	0.49	4.2	8.5	6	17.49	58.62	12.35	41.38	29.84	4.70	6.35
Gråvann 20 grader			1.5	6.5	3.09	18.75	13.38	81.25	16.46	4.80	3.43
Gråvann 26 grader			5	6.5	10.29	43.48	13.38	56.52	23.67	4.70	5.04
Gråvann 30 grader forandret m	0.201	4.2	13	11	10.97	54.17	9.29	45.83	20.26	4.60	4.40

35 grader:

	m	Cp	delta T melleom	Delta T for	Qmv	% av forbruk mell	Q for	% av forbruk for	Q tot 35°C	W tot	COP 35°C
	kg/s	kJ/kg°C	C	C	kW	%	kW	%			
Gråvann 30 grader	0.49	4.20	15.00	5.50	30.87	73.17	11.32	26.83	42.19	4.80	8.79
Gråvann 20 grader			16.50	9.50	33.96	63.46	19.55	36.54	53.51	4.80	11.15
Gråvann 26 grader			10.00	6.00	20.58	62.50	12.35	37.50	32.93	4.70	7.01
Gråvann 30 grader forandret m	0.29	4.20	18.00	13.50	21.70	57.14	16.27	42.86	37.97	4.60	8.25

## Oversikt over alle målingene:

Her legger jeg ved alle målingene som jeg har brukt når jeg har gjort mine beregninger. Det er gjennomsnittet fra de 12 testene som jeg har tatt med som er relevant. Det kan forekomme noen forandringer på tallene som jeg har brukt i forhold til disse gjennomsnittene. Dette er fordi at når vi startet testene justerte vi inn vannmengden, og da kunne det bli en del temperaturforandringer.

På alle tabellene og oversiktene står det 35 grader, men det er flere ganger vi ikke får temperaturen lavere enn 40-45 grader, men da er dette tatt med i beregningene.

## Vann 75 grader ut:

Gråvann 30 grader, Vann 75 grader

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	76.28	65.8	83.99
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	10.74	9.93	11.37
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	24.41	23.6	27.4
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	29.84	29.43	31.63
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	74.78	66.6	77.11
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	33.9	33.71	36.71
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.25	0.2	0.29
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.25	0.21	0.29

Gråvann 26 grader, Vann 75 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	75.07	71.65	79.2
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	11.21	11.01	11.48
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	21.49	20.49	26.84
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	27.37	26.82	29.97
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	73.34	61.5	75.67
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	30.67	30.6	31.24
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.23	0.17	0.3
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.23	0.19	0.29

Gråvann 20 grader, Vann 75 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	50.89	25.22	72.02
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	11.84	10.92	14.1
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	17.53	11.79	19.9
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	23.33	14.78	33.96
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	71.32	15.83	76.02
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	24.94	14.89	27.22
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.13	0	0.24
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.15	0.04	0.23

Gråvann 30 grader, Vann 75, redusert gråvannsmengde:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	81.91	74.97	90.46
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	11.67	10.75	12.5
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	10.63	5.86	17.53
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	23.23	14.89	26.49
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	70.77	32.53	78.65
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	33.88	29.56	34.29
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.11	0.05	0.37
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.13	0.08	0.34

**Vann ut 55 grader:**

Gråvann 30 grader, Vann 55 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	90.89	89.36	92.22
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	9.96	9.81	10.22
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	18.86	18.73	18.98
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	25.12	25	25.29
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	54.81	46.02	56.08
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	34.78	34.72	34.85
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	1.24	1.16	1.29
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	1.12	1.06	1.17

Gråvann 26 grader, Vann 55 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	81.14	79.32	82.87
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	12.15	11.55	12.45
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	17.64	16.47	19.25
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	23.92	22.65	24.65
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	53.67	48.05	56.93
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	30.47	30.37	30.55
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.92	0.73	1.36
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.83	0.66	1.22

Gråvann 20 grader, Vann 55 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	77.5	73.46	80.79
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	13.12	12.42	13.88
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	15.4	14.9	17.03
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	21.8	21.27	23.01
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	55.96	47.18	68.38
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	24.94	24.84	25.01
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.51	0.23	0.87
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.47	0.22	0.78

Gråvann 30 grader, Vann 55 grader, redusert gråvannsmengde:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	90.74	89.76	91.73
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	12.82	12.42	13.09
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	10	4.48	18.54
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	19.64	15.69	21.06
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	51.9	39.63	56.67
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	32.45	29.09	33.3
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	0.75	0.49	1.1
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	0.68	0.45	1

## Vann ut 35 grader:

Gråvann 32 grader, Vann ut ønsket 35 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	89.78	87.83	91.3
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	9.43	9.14	9.6
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	15.06	14.75	15.36
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	20.74	20.44	20.99
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	46.57	42.59	47.06
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	34.51	34.27	34.71
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	2.91	2.75	2.99
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	2.63	2.49	2.7

Gråvann 26 grader, Vann 35 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	82.95	82.02	84.11
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	11.4	10.99	11.88
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	13.68	13.36	14.9
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	19.4	19.1	19.64
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	41.36	40.22	41.56
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	29.35	29.24	29.42
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	2.88	2.85	2.92
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	2.59	2.57	2.63

Gråvann 20 grader, Vann 35 grader:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	72.5	70.47	75.88
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	10.58	10.41	11.34
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	11.79	11.11	14.56
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	17.27	16.05	19.5
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	36.86	29.87	46.17
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	24.31	23.08	24.96
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	2.68	0.74	2.96
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	2.41	0.67	2.66



Gråvann 30 grader, Vann ønsket 35 grader, redusert gråvannsmengde:

	Color	Unit	Type	Name	Cursor 1	Cursor 2	Average	Minimum	Maximum
1		°C	mom	C 1	N/A	N/A	93.95	91.73	95.4
2		°C	mom	C 2	N/A	N/A	11.21	10.69	11.86
3		°C	mom	C 3	N/A	N/A	8.19	7.42	8.5
4		°C	mom	C 4	N/A	N/A	15.88	15.41	16.23
5		°C	mom	C 5	N/A	N/A	40.27	39.51	40.69
6		°C	mom	C 6	N/A	N/A	29.72	29.14	29.89
7		bar	mom	C 7	N/A	N/A	2.88	2.85	2.91
8		bar	mom	C 8	N/A	N/A	2.59	2.56	2.62

