



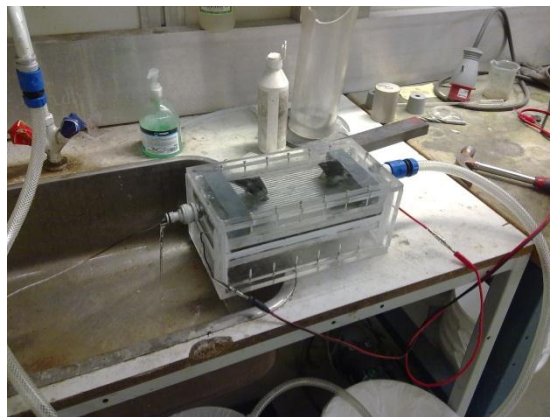
Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Konstruksjoner og materialer/maskin	Vårsemesteret, 2011 Åpen
Forfatter: Lars Topnes	Lars Topnes (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Vidar Hansen Veileder(e): Vidar Hansen, Jan Kåre Bording	
Tittel på masteroppgaven: Konstruksjon og evaluering av en termoelektrisk vann til vann varmepumpe Engelsk tittel: Construction and evaluation of a thermoelectric water to water heat pump	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Termoelektrisitet Varmepumpe	Sidetall: 67 + vedlegg: 24 Stavanger, 14/06/2011 dato/år

Konstruksjon og evaluering av en termoelektrisk vann til vann varmepumpe



Sammendrag

Denne masteroppgaven omhandler konstruksjon og evaluering av et vann til vann termoelektrisk varmpumpe system.

Hele prosessen fra idéutkast, til konstruering i CAD, maskinering av de ulike komponentene, og tilslutt testing ble gjort.

Varmepumpen ble først tegnet i CAD programmet Solid Edge. Deretter ble den maskinert og montert, og tilslutt testet på maskinlaboratoriet ved Universitetet i Stavanger.

Testingen ble i hovedsak gjort på to ulike måter:

- **Steady state:** Steady state testingen ble utført ved at varmpumpesystemet ble kjørt opp til steady state nivå, det vil si nivået hvor det ikke lenger var temperaturutvikling i varmtvannsreservoaret til varmpumpesystemet.
- **Dynamisk:** Den dynamiske testingen ble utført ved at temperaturutviklingen i varmtvannsreservoaret og kaldtvannstrømmen ble logget som funksjon av tid.

Da testingen var gjort ble dataene brukt til beregninger av COP (coefficient of performance) som forteller hvor mye varme varmpumpen tilfører i forhold til effekten som går inn i systemet.

$$COP = \frac{\text{effekt ut}}{\text{effekt inn}}$$

Hovedresultatene ble:

- Steady state målingene hadde for stor usikkerhet, og ble målt i et temperaturområde utenfor varmpumpens mest effektive. Grunnen til at målingene ble foretatt her, var at impeller vannpumpen brukt til pumping av varmtvannsreservoar, hadde et termisk bidrag til systemet som var alt for høyt.
- De dynamiske målingene viste at varmpumpen hadde synkende COP før økende ΔT , noe som er i samsvar med teori. Og COP verdiene var tilfredsstillende med $COP > 2$ for $\Delta T < 10^\circ\text{C}$, og $COP > 1 < 2$ for ΔT mellom 10°C og 30°C .

Forord

Jeg vil rette en takk til Jan Kåre Bording og professor Vidar Hansen ved institutt for konstruksjoner og materialer, ved Universitetet i Stavanger. Det var med deres hjelp problemstillingen til denne oppgaven ble definert. Og de besvarte alle spørsmål jeg hadde under arbeidet med oppgaven på en tilfredstillende måte.

Det har vært spennende og utfordrende å jobbe med denne oppgaven, som har vært en kombinasjon av teori og praksis. Det at termoelektrisitet anvendt til varmepumper var et pågående forskningsprosjekt ved Universitetet i Stavanger førte til at det var midler til rådighet slik at varmepumpen kunne lages.

Jeg har også fått god hjelp fra verkstedteknikerene ved maskinlaboratoriet ved Universitetet, som satte meg inn i hvordan de ulike maskinene og verktøyene brukt til maskinering av de ulike komponentene fungerte.

Vil også takke min samboer Camilla Vetrhus Nese for hjelp med korrekturlesning av rapporten.

Innhold

SAMMENDRAG	I
FORORD	II
1 INNLEDNING	5
1.1 VALG AV OPPGAVE	5
1.2 PROBLEMSTILLING	5
1.3 OPPGAVENS OPPBYGNING:	5
1.4 HISTORIE/BAKGRUNN	6
1.4.1 Tradisjonell Varmepumpe	6
2 TEORI	8
2.1 Arbeid	8
2.2 Termodynamikkens 2. lov	8
2.3 Elektrisitet	10
2.3.1 Ohms lov	10
2.3.2 Elektrisk effekt	11
2.3.3 Koblings teori	11
2.4 VARMEKAPASITET	12
2.5 VARME	13
2.5.1 Varmeledning ved konduksjon	13
2.5.2 Varmeledning ved konveksjon	14
2.6 TERMoeLEKTRISITET	15
2.6.1 Thomsoeffekt:	15
2.6.2 Seebeckeffekten	15
2.6.3 Peltiereffekten	16
2.7 TERMoeLEKTRISK ELEMENT	16
2.7.1 Peltierelement	16
2.7.2 Termopar	17
2.8 VIRKNINGSGRAD COP	20
2.9 VARMEVEKSLER	20
2.10 STEADY STATE	20
3 FREMGANGSMÅTE	21
3.1 UTVIKLINGSPROSSESS:	21
3.1.1 CAD	21
3.1.2 Maskinering	22
3.2 KOMPONENTER	28
3.2.1 Kjøle-/varmeribbe	28
3.2.2 Acrylplate med stoppere	29
3.3 FUNKSJONSBEKRIVELSE VARMEPUMPE SYSTEM	30
3.4 FUNKSJONSBEKRIVELSE REFERANSE SYSTEM	33
4 FORSØK	35
4.1 INNLEDENDE FORSØK	35
4.1.1 Test av impellerpumpe	37
4.1.2 Test av impellerpumpens termiske bidrag	40
4.2 TEST AV REFERANSESYSTEM	41
4.2.1 Steady state	44

4.2.2 Ohmsk oppvarming	44
4.2.3 Teoretisk beregning av ΔT som funksjon av effekt:	46
4.3 TERMoelektrisk oppvarming	48
4.3.1 Måling av ΔT over aluminiumsribbene	50
4.4 Beregning av COP for steady state	51
4.5 DYNAMISKE MÅLINGER.....	54
4.5.1 Parallell strøm målt mot motgående strøm	54
4.5.2 Dynamisk COP beregninger	56
5 DISKUSJON	62
5.1 MÅLEUSIKKERHET	62
5.2 VARMEVEKSLER	62
5.3 VANNPUMPE.....	62
5.4 FORSLAG TIL FORBEDRINGER.....	63
6 KONKLUSJON.....	64
6.1 STEADY STATE MÅLINGER.....	64
6.2 DYNAMISKE MÅLINGER.....	65
6.3 TERMoelektrisitet til bruk i varmepumpe.....	65
7 LITTERATURLISTE.....	67
VEDLEGG:.....	68
VEDLEGG A: DYNAMISKE COP BEREGNINGER.....	69
VEDLEGG B: TEMPERATURUTVIKLING FOR PARALLELL STRØM.....	73
VEDLEGG C: TEMPERATURUTVIKLING FOR MOTSTRØM	75
VEDLEGG D: TESTKJØRINGER AV SYSTEM MED FORSKJELLIGE PARAMETERE	77
VEDLEGG E: IMPELLERPUMPE MÅLINGER	78
VEDLEGG F: STEADY STATE MÅLINGER	80
VEDLEGG G: TEORETISK TEMPERATURUTVIKLING	83
VEDLEGG H: VARMETILFØRSEL IMPELLERPUMPE	84
VEDLEGG I: ΔT OVER ALUMINIUMSRIBBENE	85
VEDLEGG J: ARBEIDSTEGNINGER:	86
VEDLEGG K: EGENSKAPER FOR NOEN MATERIALER.....	89
VEDLEGG L: SPESIFIKASJONER IMPELLERPUMPE	90

1 Innledning

I Norge er elektrisitet den mest benyttede energikilden for oppvarming. Hele 70% av oppvarmingsbehovet blir dekket ved bruk av elektrisitet.[1] Ved bruk av varmpumper, som har COP > 1, vil man utnytte strømmen mer effektivt. En varmeovn som bruker elektriske motstander for å avgi varme vil ha COP = 1. Hvis varmeovnen er på 1000W vil den avgi 1000W i varme til omgivelsene. For en varmpumpe med COP > 1 vil varmpumpen avgi mer varme enn den forbruker i strøm.

I fremtiden vil det bli viktig å utnytte de ressursene som finnes mer effektivt, bruken av varmpumper til oppvarmingsformål er et steg i den retningen.

1.1 Valg av oppgave

Etter samtale med professor Vidar Hansen ble det ytret et ønske om å få en masteroppgave skrevet om temaet termoelektrisk varmpumpe. Det kom frem under samtalen at Universitetet i Stavanger hadde et forskningsprosjekt gående angående bruken av termoelektrisitet til varmpumpeformål. Det kom også frem at en eventuell masteroppgave innen dette emnet kom til å innebære en god del praktisk jobbing, fordi det var ønskelig å få en termoelektrisk vann til vann varmpumpe konstruert. Undertegnede syntes dette hørt interessant og lærerikt ut siden hele prosessen fra design, gjennom maskinering og tilslutt ferdigstillelse og testing skulle gjennomføres. Dette ville gi en meget god innsikt i hele prosessen for konseptutvikling.

1.2 Problemstilling

Målet med oppgaven var å konstruere og evaluere en termoelektrisk vann til vann varmpumpe. Varmpumpen skulle bruke vann som oppvarmingsmedium og kjølemedium. Og systemet skulle sammenlignes mot en vanlig referanse bestående av oppvarming ved hjelp av elektriske motstander.

1.3 Oppgavens oppbygning:

Først ble ulike utkast til konstruksjon av varmpumpen laget. Det utkastet som virket som det beste ble tegnet i CAD programmet Solid Edge. Arbeidstegningene fra Solid Edge ble brukt å maskinere de ulike komponentene til varmpumpen. Etter alle deler var ferdig laget ble de montert sammen, og testingen kunne begynne. Det ble først utført steady state målinger på varmpumpen mot et referanse system bestående av en referansenhet med elektriske motstander. Deretter ble det kjørt dynamiske tester av varmpumpesystemet.

1.4 Historie/bakgrunn

Følgende kapittel er hentet fra [3], med bilde og litt utfyllende i informasjon fra [9].

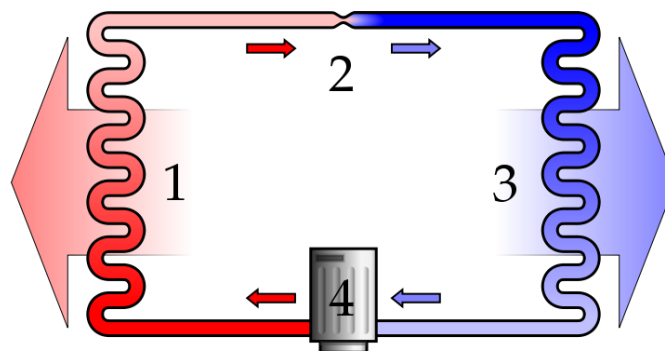
1.4.1 Tradisjonell Varmepumpe

En varmpumpe er en maskin som tar varme fra et kaldt område og pumper det til et varmere område, ved hjelp av arbeid. Et eksempel kan være å ta varme fra uteluft og pumpe den til oppvarming innendørs. En varmpumpe kan brukes til å gi varme eller til å gi kulde. I kaldere klima som her i Norge er det oppvarmingsegenskapen som er mest interessant.

Kort funksjonsbeskrivelse av tradisjonell varmpumpe:

En tradisjonell varmpumpe utnytter de fysiske egenskapene til kuldemediet ved fordamping og kondensering.

Kuldemediet blir trykksatt og sirkulert rundt i systemet ved hjelp av en kompressor. På utslippsiden av kompressoren (4) er kuldemediet svært varm gass under høyt trykk. Gjennom kondenseringsprosessen (1) avgir kuldemediet varme til omgivelsene samtidig som det går fra gass til væske. Ved inngang til ekspansjonsventilen (2) er kuldemediet væske med moderat temperatur og under høyt trykk. I ekspansjonsventilen reduseres trykket på væsken slik at den nye tilstanden blir væske med lavt trykk. Over fordamper (3) tar kjølemediet varme fra omgivelsene og på grunn av det lave trykket koker væsken til gass og blir ført tilbake til kompressor (4), syklusen gjentas.[9]



Figur 1.1: Viser prinsippskisse av en tradisjonell varmpumpe (tatt fra <http://en.wikipedia.org/wiki/File:Heatpump.svg>)

1. Kondensering
2. Ekspansjonsventil
3. Fordamping
4. Kompressor

Fra termodynamikkens 2. lov vet vi at varme bare kan gå fra varmt (høy energi) til kaldt (lav energi). Dette betyr at kjølemediet under kondensering alltid må ha høyere temperatur enn omgivelsene, og kjølemediet under fordamping alltid må ha lavere temperatur enn omgivelsene. Dette setter krav til kompressoren fordi trykkforskjellen må være stor nok til at kjølemediet kondenserer på den varme siden og fordamper på den kalde. Desto større temperaturforskjellen mellom kald og

varm side er desto større må trykkforskjellen være, det vil si at kompressoren må gjøre mer arbeid.[9]

For å måle hvor bra en varmepumpe produserer varme/kulde har man et mål som heter COP (coefficient of performance, se kapittel 2.8) som forteller hvor mye effekt man får ut i forhold til hvor mye man forbruker. For alle varmepumper synker COP ved økende temperaturredifferanse mellom kald og varm side. Dette er en utfordring fordi det er ved lave utetemperaturer man vil ha mest mulig effektivitet ut av varmepumpen.

Et av problemene med tradisjonelle varmepumper er at kjølemediumet er miljøskadelig. Frem til omtrent 1990 ble KFK (klorfluorkarbon) brukt. Disse er ødeleggende for ozonlaget. Etter KFK ble forbudt å bruke som kommersielt kjølemedium, begynte man å bruke HFK (hydrofluorkarboner). Disse er ikke like skadelig for ozonlaget, men bidrar sterkt til økt drivhuseffekt i atmosfæren. I de senere år har det vært et sterkt fokus på å bruke kjølemedium med minst mulig miljøskadelig effekt hvis det slippes ut i atmosfæren. Av moderne kjølegasser kan CO₂, hydrogen, helium, "luft" og isobutan nevnes. Disse systemene har langt bedre miljømessige egenskaper, men foreløpig for stor kostnad til at de kan brukes i stor skala.

2 Teori

I dette kapittel vil teori og bakgrunnsstoff relevant for denne oppgaven bli omtalt. Stoffet er hentet fra kildene [1] til [10].

2.1 Arbeid

Arbeid er vanligvis definert som en kraft F , som virker over en forskyvning x , hvor forskyvningen er i kraftretningen. Arbeid utført av et system har positivt fortegn, arbeid utført på et system har negativt fortegn. Arbeid er translasjon av energi gjennom et systems grensebetingelser.

$$W = \int F * dx \tag{2.1}$$

hvor

W = arbeid [J]

F = Kraft [N]

dx =forskyvning [m]

2.2 Termodynamikkens 2. lov

Det finnes to klassiske formuleringer av termodynamikkens 2. lov:

Kelvin-Planck formulering:

“Det er umulig å konstruere en maskin som opererer i syklus, og som ikke produsere annen effekt enn å løfte en vekt, og utveksling av varme fra ett reservoar.”

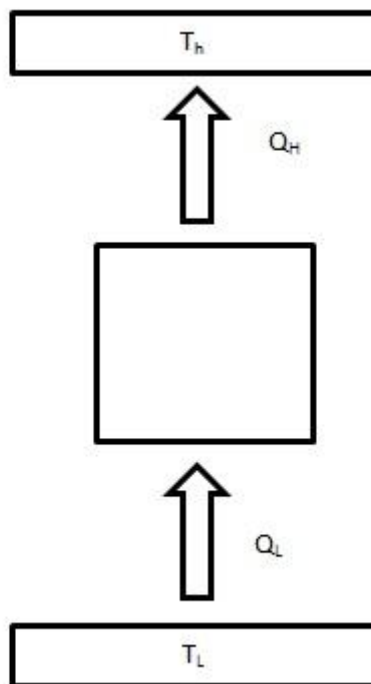


Figur 2.1: Illustrerer Kelvin-Plancks formulering av termodynamikkens 2. lov

Denne formuleringen forteller at det er umulig å konstruere en maskin som tar energi i form av varme fra et høy-temperatur område og konverterer samme mengde energi til arbeid.

Clausius formulering:

“Det er umulig å konstruere en maskin som opererer i syklus og ikke produserer annen effekt enn overføringen av varme fra et varmt legeme til et kaldt legeme.”



Figur 2.2: Illustrerer Clausius's formulering av termodynamikkens 2. lov

Denne formuleringen er relevant for et varmepumpesystem, og forteller at det ikke er mulig å konstruere en varmepumpe uten å utføre arbeid på systemet.

2.3 Elektrisitet

Følgende kapittel beskriver grunnleggende konsepter innen elektronikk.

2.3.1 Ohms lov

Ohms lov beskriver sammenhengen mellom spenning U [V], strøm I [A] og motstand R [Ω]. Spenningen over en krets er direkte proporsjonal med både motstanden i kretsen og strømmen som går gjennom kretsen.

$$U = R * I \tag{2.2}$$

hvor

U = spenning [V]

R = motstand [Ω]

I = strøm [A]

2.3.2 Elektrisk effekt

For en elektrisk krets utsatt for et elektrisk potensial i form av likespenning, kan sammenhengen mellom effekt [W], spenning [V] og strøm [A] uttrykkes slik:

$$P = U * I \quad (2.3)$$

hvor

P = elektrisk effekt [W]

U = spenning

I = strøm

Effekt er definert som arbeid utført per tidsenhet, J/s, som er ekvivalent med enheten watt [W].

Ved å kombinere Ohms lov får man:

$$U = R * I \rightarrow P = R * I^2 \quad (2.4)$$

Og innføring av tid, t, gir Joules lov:

$$Q = I^2 * R * t \quad (2.5)$$

Som forteller hvor mye varme [J] som blir produsert i en krets med motstand R [Ω], strøm I [A] i løpet av tiden t [s].

Q er et mål på arbeid og ligning 2.5 dividert på tiden t gir $Q/t = J/s$, som er definisjonen på effekt.

2.3.3 Koblings teori

Ved å koble motstander i en krets på ulike måter blir den totale motstanden i kretsen forskjellig.

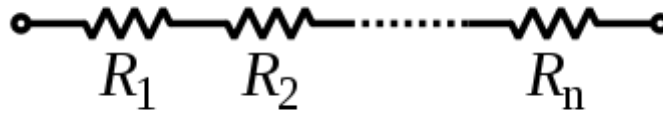
Kobling i serie:

Ved å koble motstander i serie blir strømmen gjennom alle motstander lik, men total spenning i kretsen blir summen av spenningen over alle motstandene.

$$R_{tot} = \frac{U_{tot}}{I} = \frac{U_1}{I} + \frac{U_2}{I} + \dots + \frac{U_n}{I} \quad (2.6)$$

Som gir:

$$R_{tot} = R_1 + R_1 + R_3 \dots R_n \quad (2.7)$$



Figur 2.3: Viser en seriekobling av motstander (tatt fra <http://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>)

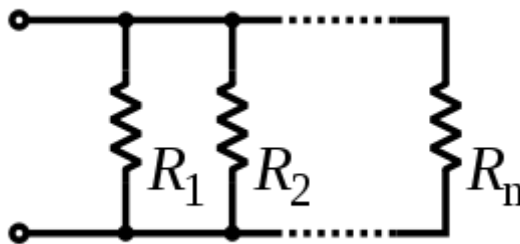
Kobling i parallell:

Ved å koble i parallell blir spenningen over hver motstand lik, mens den totale strømmen gjennom motstandene blir summen av strømmen gjennom hver motstand.

$$R_{tot} = \frac{U}{I_{tot}} = \frac{U}{I_1} + \frac{U}{I_2} + \dots U/I_n \quad (2.8)$$

som gir:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \frac{1}{R_n} \quad (2.9)$$



Figur 2.4: Viser en parallellkobling av motstander (tatt fra <http://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>)

2.4 Varmekapasitet

Varmekapasitet er definert som mengden energi som kreves for å øke temperaturen til en materie med 1°K.

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (2.10)$$

hvor

C = varmekapasitet [J/g*K]

Q = varme [J]

ΔT = økning i temperatur [K]

For anvendelse er det mer interessant å vite den spesifikke varmekapasiteten til en materie. Som er mengden energi som kreves for å varme opp ett gram materie med 1°K. Den spesifikke varmekapasitet finnes i tabellverk, med et utdrag i vedlegg K.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.11)$$

hvor c = spesifikk varmekapasitet

Ved å omforme 2.11 til:

$$Q = mc\Delta T \quad (2.12)$$

Får man et uttrykk for hvor mye energi som kreves for å oppnå en bestemt ΔT for en gitt masse med en gitt spesifikk varmekapasitet.

2.5 Varme

Varme Q [J] kan defineres som translasjon av energi mellom to systemer hvor en temperaturgradient eksisterer. Denne translasjonen kan opptre på tre måter; Ved varmeledning, ved konveksjon eller ved varmestråling (vil ikke bli behandlet i denne oppgave). Mengden energi overført mellom to systemer har enheten Joule. Mengden varme overført per tidsenhet kalles varmeoverføringsraten \dot{Q} [J/s], og er ekvivalent med effekt [W].

2.5.1 Varmeledning ved konduksjon

For å beskrive varmeledning ved konduksjon må man ned på mikronivå. For en gass ved $T=0$ K, ved det absolutte nullpunkt, har molekylene gassen består av ingen energi i form av vibrasjoner. Ved økende T får molekylene tilsvarende økende vibrasjonsenergi. For en vilkårlig gass hvor en temperaturgradient eksisterer vil molekyler med høy vibrasjonsenergi overføre energi til molekyler med lavere vibrasjonsenergi helt til temperaturgradienten opphører. Denne prosessen kalles varmeledning ved konduksjon.

For et fast stoff hvor atomene er ordnet i et gitter, forklares konduksjonen med gittervibrasjoner, kalt fononer. På grunn av gitterorienteringen, vil vibrasjonsenergien til hvert atom overføres med mye mindre tap enn tilfellet er for gasser.

Dette kan beskrives matematisk ved hjelp av Fouriers varmeledningslov:

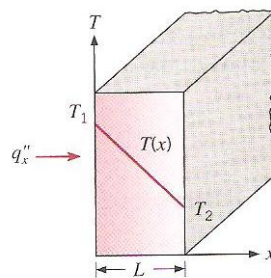
$$\dot{Q} = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.13)$$

hvor k = termisk konduktivitet.

T = temperatur i Kelvin.

x = tversnittstykkelse.

Ved å bruke Fouriers lov på denne måten blir konduksjonen forenklet til å være endimensjonal og med det ledende elementet i stabil tilstand gjennom et konstant tverrsnitt. Temperaturgradienten gjennom tverrsnittet blir da lineær[4].



Figur 2.5: Viser endimensjonal varmeoverføring ved konduksjon (tatt fra [4])

2.5.2 Varmedledning ved konveksjon

Varmedledning ved konveksjon består av to mekanismer. Varmedledning ved tilfeldige molekylære bevegelser (diffusjon) og varmedledning som følge av makroskopisk bevegelse av en fluid over en flate. Ved at fluiden beveger seg relativt til flaten og ved en temperaturgradient til stede mellom flate og fluid vil varme bli overført.

Konveksjon blir klassifisert i to kategorier: tvungen konveksjon og naturlig konveksjon. Tvungen konveksjon har man når fluidstrømmen er indusert av ytre krefter for eksempel ved hjelp en vifte eller pumpe. Som eksempel kan kjøling av en bilmotor nevnes. Her virker konveksjon på to måter. Først blir vann pumpet rundt i kammer i bilmotoren hvor det blir oppvarmet til rundt 100 °C forutsatt "varm" motor. Konveksjon virker mellom motor og vannstrøm. En ventil sikrer at riktig volumstrøm opprettholdes slik at vannet ikke koker. Fra motor blir det varme vannet transportert ved hjelp av slanger til radiatoren. Her sørger en luftstrøm mellom radiatorfennene for konveksjon mellom radiator og luftstrøm.

Ved naturlig konveksjon er luftstrømmen over overflaten bestemt av oppdriftkrefter. Varme fluider har som regel mindre tetthet enn kalde. Dette medfører at kald fluid hele tiden blir tilført ettersom den varme stiger. Som eksempel kan en varmtvannsbereider med varmespiralen nederst i berederen nevnes[2]. Når vannet nederst i tanken varmes opp vil dette få mindre tetthet og dermed stige opp.

$$\dot{Q} = h(T_s - T_\infty) \quad (2.14)$$

hvor h = konveksjons varmeledningskoeffisient

T_s = overflate temperatur

T_∞ = fluid temperatur

2.6 Termoelektrisitet

Termoelektrisitet kan deles inn i:

- Thomseffekt
- Seebeckeffekt
- Peltiereffekt

2.6.1 Thomseffekt:

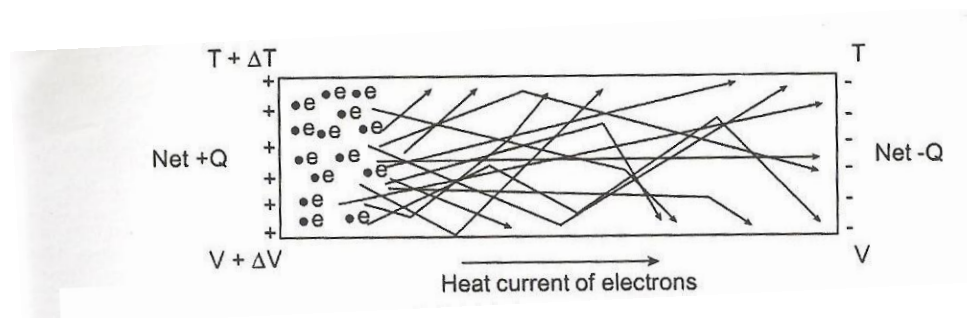
Thomseffekten beskriver oppvarming eller kjøling av en strømførende leder hvor en temperaturgradient er til stede. Alle strømførende ledere, med unntak av superledere, hvor en temperaturgradient er til stede langs den strømførende retningen vil enten avgi eller ta opp varme fra omgivelsene.[5]

I noen metaller, for eksempel i kobber når strøm går i samme retning som temperaturgradienten, fra varm mot kald side, vil det genereres varme. For andre metaller eksempelvis jern, vil det absorberes varme fra omgivelsene når strøm går med temperaturgradienten.

Dette er ikke relevant for denne oppgaven og vil ikke bli omtalt nærmere.

2.6.2 Seebeckeffekten

Seebeckeffekten blir brukt i termoelektriske generatorer og er induksjon av elektrisk strøm som følge av en påtvungen temperaturforskjell i et termoelektrisk element. Den vil være en begrensende faktor for maksimal utnyttelse av peltiereffekten som blir beskrevet i neste avsnitt. Drivkraften i seebeckeffekten er temperaturforskjell.



Figur 2.6: Viser strømmen av elektroner i seebeckeffekten (tatt fra [1])

Følgende er hentet fra [1]. Figuren viser et tverrsnitt av et termoelektrisk materiale som har en temperaturgradient. På grunn av temperaturgradienten vil elektronene diffundere fra varm mot kald side av materialet. Denne opphopingen av elektroner på en side vil føre til en potensialforskjell i uttrykt ved spenning [V] over tverrsnittet.

2.6.3 Peltiereffekten

Peltiereffekten er induksjon av en temperaturforskjell på de to sidene av et termoelektrisk element ved bruk av elektrisk strøm. Det er det samme som skjer som for seebeckeffekten, bare motsatt. Drivkraften i peltiereffekten er den påtvungne strømmen gjennom tverrsnittet, og resultatet blir temperaturforskjell. For en gitt spenning over et termoelektrisk element, i denne oppgaven et peltierelement, vil det etter en tid oppnås en konstant temperaturforskjell mellom de to sidene på elementet. Grunnen til at ΔT mellom de to flatene oppnår en likevekt er hovedsakelig seebeckeffekten. Som beskrevet over vil en temperaturforskjell indusere en elektrisk strøm, og den vil motvirke den påsatte elektriske strømmen gjennom elementet og man får en likevektstilstand.

2.7 Termoelektrisk element

Et termoelektrisk element omgjør en temperaturforskjell til elektrisk spenning og omvendt. Det vil si at dersom man setter elektrisk spenning på et termoelektrisk element vil man få en temperaturforskjell over elementet. Dette fenomenet kalles Peltier effekten (se 2.6.3).

Peltiereffekten kan brukes til å produsere elektrisk strøm, måle temperatur, eller til oppvarming/nedkjøling. Det faktum at et termoelektrisk element har egenskapen oppvarming/nedkjøling, gjør at det kan brukes som en varmpumpe. Hovedfordelen ved bruk av et slikt element til varmpumpe er at retningen til oppvarming/nedkjøling bestemmes av retningen på strømmen. Slik at å holde en konstant temperatur i for eksempel et rom oppnås.

Termoelektriske element kan brukes til varmpumpe ved å konstruere systemet slik at de termoelektriske elementene tar varme fra et miljø og pumper det til et annet.

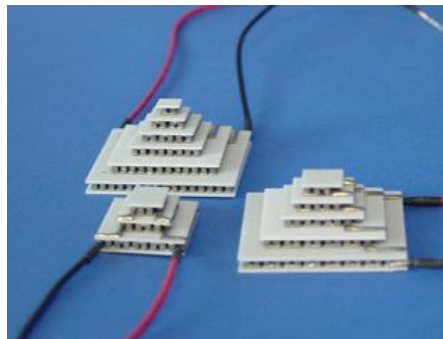
2.7.1 Peltierelement

Et peltierelement er et termoelektrisk element som transporterer varme fra den ene siden av elementet til den andre, når likestrøm går igjennom det. Retningen på varmefluksen er bestemt av strømretningen, ved å snu strømretningen snur også retningen på varmefluksen. Et peltierelement består av mange termopar (se 2.7.2) som er koblet sammen. Termoparene kan skimtes mellom de keramiske platene på figur 2.7. Fordelen med et peltierelement er at geometrien på elementet kan velges fritt slik, at elementene kan lages svært små (ned til 1mm^2 overflate) og brukes i dag mye til internkjøling i avanserte elektroniske komponenter.



Figur 2.7: Viser et peltierelement (tatt fra http://en.wikipedia.org/wiki/File:Peltierelement_16x16.jpg)

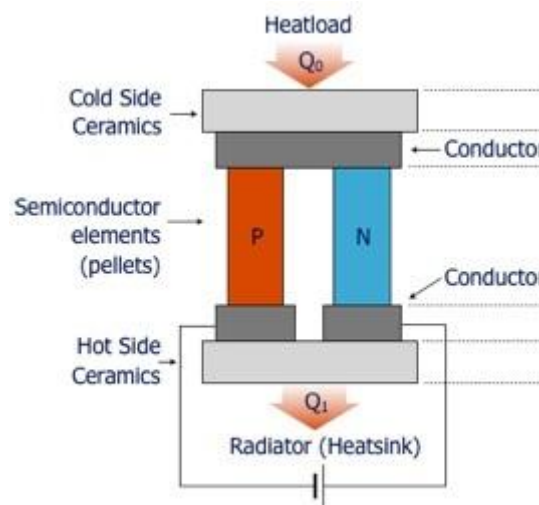
Termoparene kan også bygges i høyden slik at man oppnår en enda høyere ΔT over elementet. Som figur 2.8 viser kan man få maksimal nedkjøling ved å bygge elementet i en pyramidestruktur. Den øverste overflaten vil da få en svært lav temperatur hvis en effektiv transportering av varme fra den nederste overflaten finner sted.



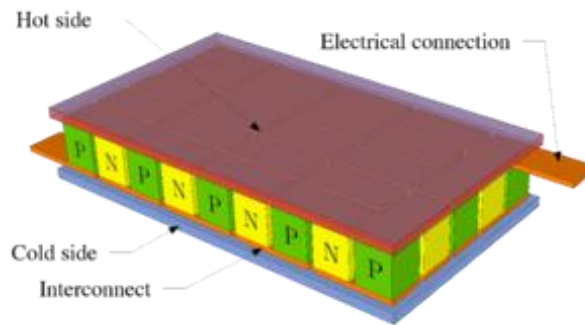
Figur 2.8: Viser multistage peltierlement (tatt fra http://www.supplierlist.com/photo_images/229480/peltier_module.jpg)

Dette illustrerer litt bruksområdene til peltierelementer. I denne oppgaven ble det brukt peltierelementer med ett lag termopar. Dette fordi det var ønskelig med samme størrelse på de to overflatene på elementene, for å minimalisere kompleksiteten av varmepumpekonstruksjonen.

2.7.2 Termopar

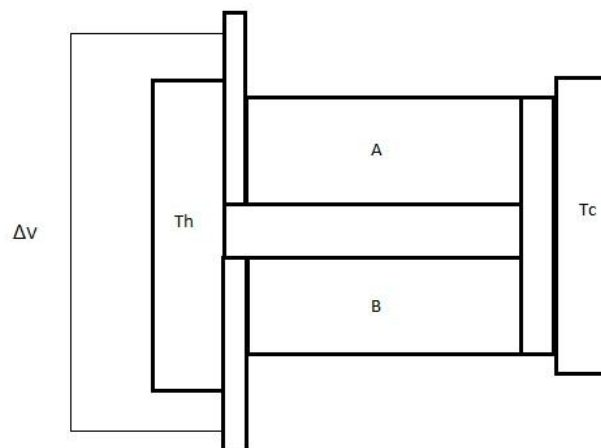


Figur 2.9: Viser et termopar (tatt fra fra http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html)



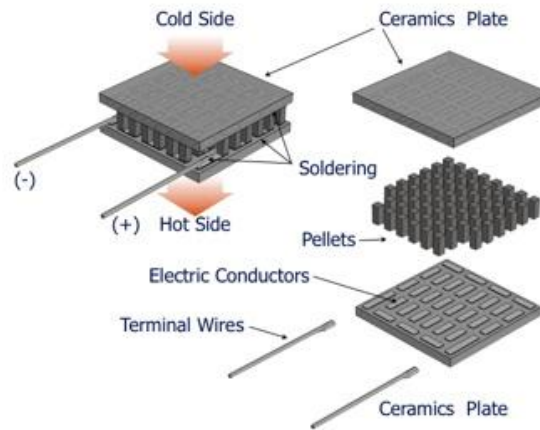
Figur 2.10: Viser hvordan termoparene er orientert i peltelementet (tatt fra fra http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html)

Et peltierelement er satt sammen av mange termopar som figur 2.9 viser. Og de er koblet sammen slik figur 2.10 viser, termisk i parallell og elektrisk i serie. Termoparet består vanligvis av en N-type og en P-type halvleder koblet slik figuren viser. Ved å bruke kombinasjonen N-type (negativ) og P-type (positiv) halvledere, vil potensialforskjellene i termoparet opprettholdes. Ved bare å bruke en type halvleder, vil disse potensialforskjellene utlignes ved en konstant temperaturdifferanse, og det vil ikke kunne gå strøm gjennom halvlederen. [1]



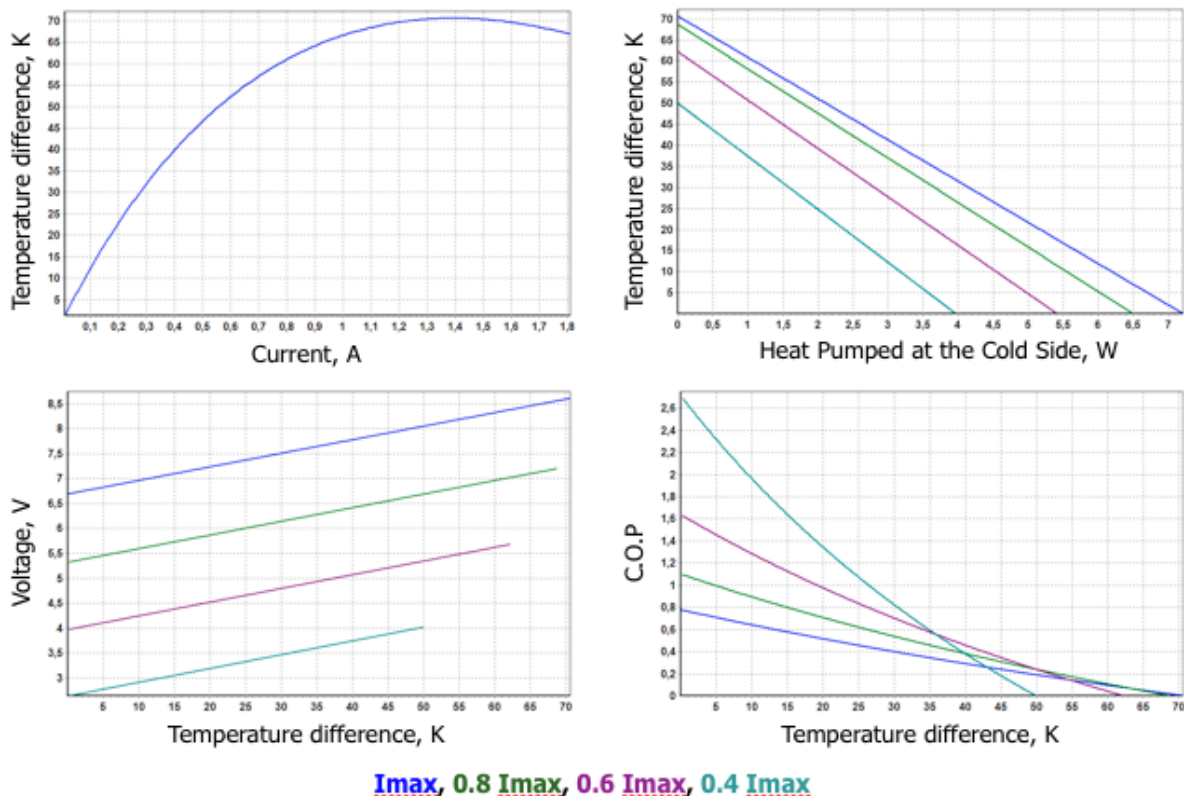
Figur 2.11: Viser et termopar

Figur 2.10 viser hva som menes med at termoparene er koblet termisk i serie og elektrisk i parallell. Varme går fra T_c til T_h , mens strømmen går gjennom material A og material B med spenning, ΔV , over dem slik figuren viser.



Figur 2.12: Viser hvordan et peltierlement er bygget opp (tatt fra http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html)

Figur 2.12 viser de ulike komponentene i et peltierelement. Øverst ligger et keramisk materiale som er elektrisk isolerende, men termisk ledende. Etterfulgt av termoparene som er loddet sammen elektrisk i serie og termisk i parallell, deretter kommer et nytt keramisk materiale i bunn. Det keramiske materialet har som oppgave å skape en god termisk kontakt mellom halvlederene inne i peltierelementet, samtidig som det isolerer elektrisk, og en eventuell kjøle-/varmeribbe. Slik at varmestrømmen gjennom peltierelementet og over i kjøle-/varmeribbene blir så effektiv som mulig.



Figur 2.13: Viser hvordan et typisk peltierlement opptrer for ulike parametere (tatt fra http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html)

Figur 2.13 viser hvordan et typisk peltierelement opptrer for ulike målte verdier.

2.8 Virkningsgrad COP

COP i varmesammenheng er definert som forholdet mellom tilført energi i watt [J/s] og økningen i varme på systemet i watt [J/s].

$$COP = \frac{\text{varmeøkning}}{\text{tilført varme}} \quad (2.15)$$

For en varmepumpe vil COP være hvor stor varmeøkningen på systemet er i forhold til strømforbruket. For en termoelektrisk varmepumpe vil den tilførte effekten være strømforbruket til peltierelementene i effekt [W]. Og varmeøkningen vil være hvor mye varme som blir tilført systemet i effekt [W].

$$COP = \frac{\dot{Q}_{\text{varmtvannsreservoar}}}{P_{\text{peltierelementer}}} \quad (2.16)$$

For COP = 1 vil varmepumpen forbruke akkurat like mye energi i P [W], som den tilfører systemet i oppvarming \dot{Q} [W]. Dette vil være tilfellet for Ohmsk oppvarming, som man finner i en panelovn. For en panelovn som forbruker 1000W i effekt, vil den avgi varme per tidsenhet [W] tilsvarende 1000W til omgivelsene. For oppvarming ved hjelp av en varmepumpe vil man oppnå en høyere COP verdi, fordi en varmepumpe utnytter at den jobber i to miljøer. Den har en kald og en varm side som opererer i forskjellige miljøer. Og kan forflytte varmeenergien mellom disse to miljøene slik at man får en oppvarming av den ene miljøet og en nedkjøling av det andre. Når disse to miljøene har stor volumforskjell i m³, vil det ene miljøet ha et overskudd på varmeenergi som kan pumpes inn i det andre.

COP vil være størst når ΔT mellom de to miljøene er liten, og synke for økende ΔT .

2.9 Varmeveksler

En varmeveksler er en enhet som muliggjør varmevekselvirkning mellom to fluider som har forskjellig temperatur, og som er separert av en solid vegg [4]. Poenget med en varmeveksler er å kontrollere temperaturen til fluider. Som eksempel kan radiatoren i en bil nevnes, for å unngå at kjølevæsken i kjøleanlegget til motoren begynner å koke, er det nødvendig at kjølevæsken pumpes gjennom radiatoren slik at den utveksler varme med luften som strømmen gjennom.

Varmeveksleren i denne oppgaven har som oppgave å trekke varme fra kaldvannstrøm, og å avgi varme til varmtvannstrøm.

2.10 Steady state

Tilstanden steady state vil si at systemet har oppnådd en stabil tilstand. Alle målbare verdier har inntatt en slik posisjon at de ikke endrer seg over tid. Fordelen med å måle når systemet har oppnådd steady state er at feilkildene blir færre, fordi alle målbare enheter er konstante. Systemet kan måles på mindre parametere for å få et tilfredsstillende resultat.

3 Fremgangsmåte

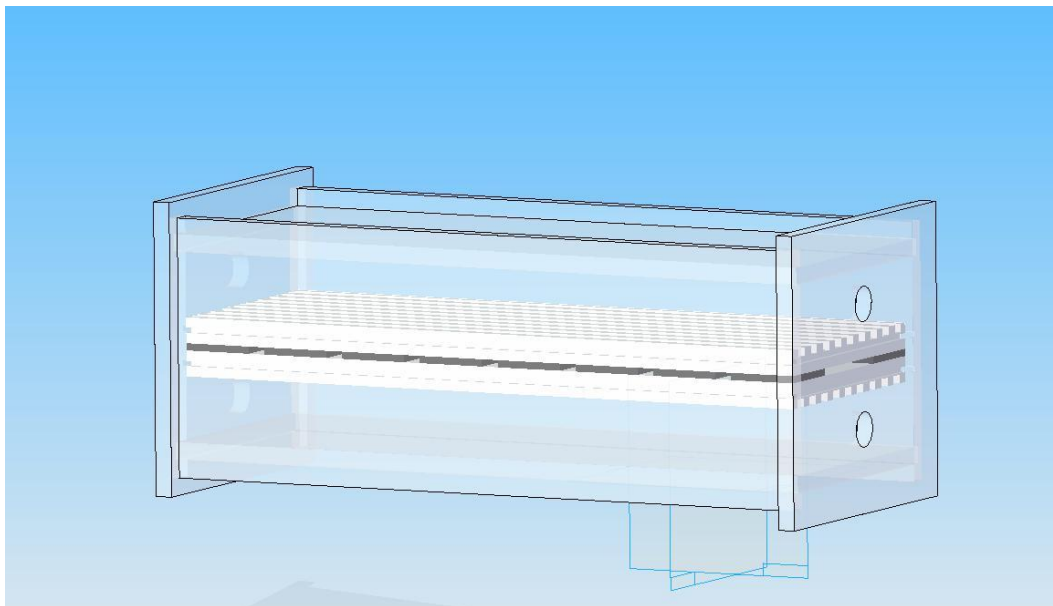
I dette kapitlet vil prosessen fra utkast, gjennom tegning i CAD, til maskinering og ferdigstillelse beskrives. Samt beskrivelse av de ulike komponentene i varmepumpen. Og til slutt en funksjonsbeskrivelse av varmepumpe systemet og referanse systemet.

3.1 Utviklingsprosess:

Etter innledende samtaler med veiledere Jan Kåre Bording og professor Vidar Hansen ble det diskutert litt rundt ulike typer oppsett som kunne fungere. Etter møtet ble det tegnet noen utkast til design av varmepumpen. Og det utkastet som virket som det beste ble tegnet i Solid Edge (se kapittel 3.11). Videre ble det gjort en undersøkelse på hvilke grunnmaterialer varmepumpen skulle bestå av. Det ble lagt vekt på hvilken tilgjengelighet og hvilken pris det var på materialene. Som isolator og material til kabinett ble acryl valgt på grunn av lav termisk konduktivitet, høy styrke, at det var lett å maskinere, hadde forholdsvis lav pris og var lett tilgjengelig på anskaffelsestidspunktet. Til kjøle/varmeribber ble aluminium valgt fordi det har meget høy termisk konduktivitet i forhold til pris, og det var lett tilgjengelig på anskaffelsestidspunkt. For tilkobling av slanger for vannføring ble det kjøpt inn hageslangekoblinger, slik at lett av og på kobling var mulig.

3.1.1 CAD

Varmepumpen ble designet i programmet Solid Edge. Målsetningen for konstruksjonen var å tegne en varmepumpe som var lett å maskinere, og som bestod av to kammer med separat vannstrøm. En for kaldtvannstrøm og en for varmtvannstrøm. Varmepumpen som ble designet i Solid Edge var som figur 3.1 viser tiltenkt å ha ett lag peltierelementer og det var ingen mulighet for å åpne og lukke den. Etter konferering med Jan Kåre Bording var det ønskelig å få til en løsning hvor antall peltierelementer kunne stables oppå hverandre. Det var da en nødvendighet at boksen kunne åpnes og lukkes. De opprinnelige arbeidstegningene ble brukt, men det ble gjort diverse modifikasjoner underveis som vil bli kommentert.



Figur 3.1. Viser hvordan varmepumpen tegnet i Solid Egde så ut.

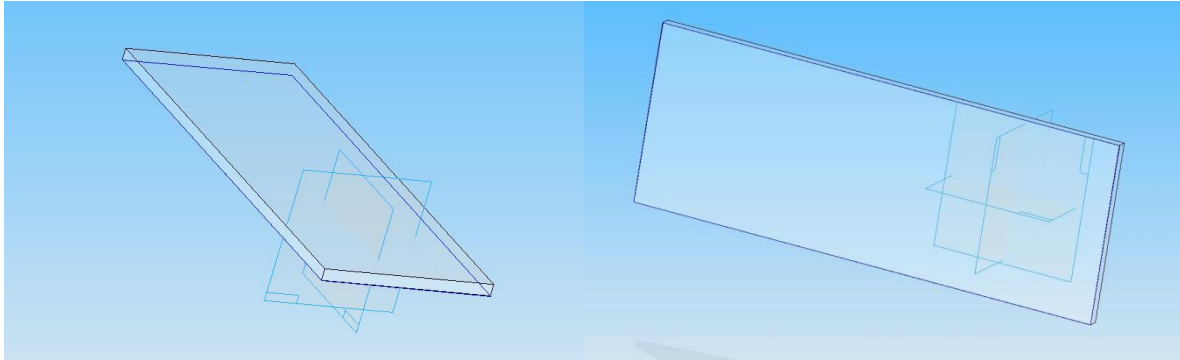
3.1.2 Maskinering

Til maskinering av de ulike komponentene ble fresemaskinen avbildet i bilde 3.1 brukt. Dette var en fresemaskin med innstillbar dreiehastighet, og manuell og automatisk mating i x og y retning. Innspenningmekanismen som var montert på fresebordet var litt liten i forhold til noen av arbeidsstykkene brukt i denne oppgaven.



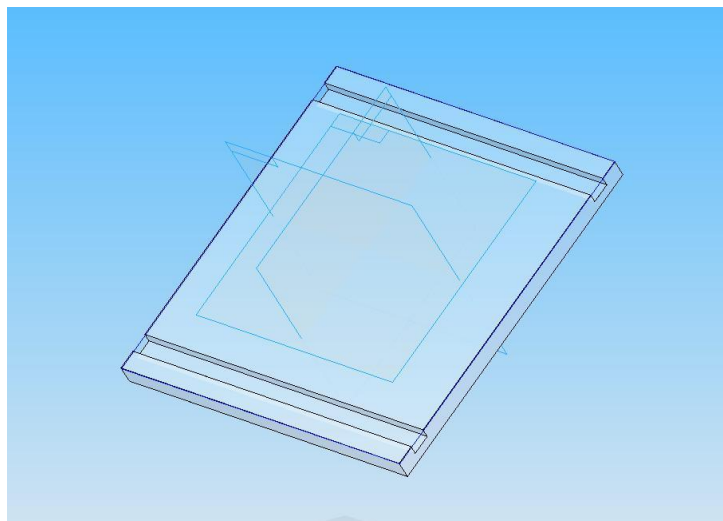
Bilde 3.1: Fresemaskinen brukt til freseoperasjonene

Det første som skulle maskineres var acrylplater til alle sidene av kabinettet, og aluminiumsplater til kjøle-/varmeribber.



Figur 3.2: Acrylplater tegnet i Solid Edge

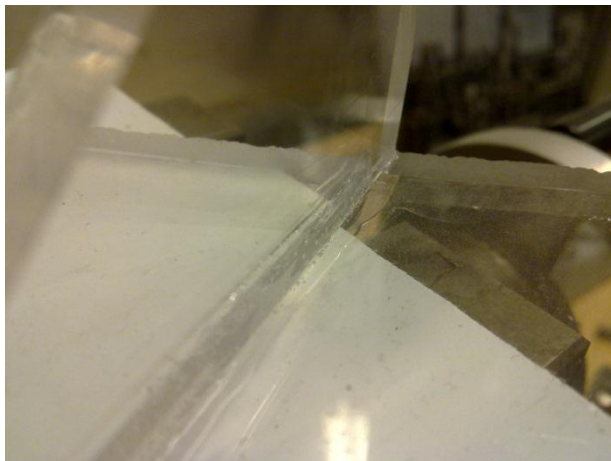
Først ble acrylplatene sagt slik at de var omtrent den dimensjonen de skulle være, for å redusere mengden materiale før fresing. Deretter ble sidene og topp/bunn av boksen (se figur 3.2) frest ut med planfres i henhold til arbeidstegningene. Men dette viste seg å være en utfordring da dette var første gang undertegnede var i befatning med freseutstyr. Det var vanskelig å få dimensjonene til å stemme helt. Ved fresing var det en god del vibrasjoner og kast i arbeidsstykket. Grunnen til dette var at den eneste måten arbeidsstykket kunne festes på, på grunn av dets størrelse, var på en måte som gjorde at det ble en viss avstand mellom innspenningspunktet og angrepspunktet til fresen. Det ble brukt avstivere i form av jernplater, dette reduserte vibrasjoner betydelig, men problemet ble ikke eliminert. Kjølevæske ble sprutet på for hånd for å unngå varmgang og dårlig planhet etter freseprosedyren. Det ble brukt en kombinasjon av automatisk mating og mating for hånd av arbeidsstykket. I områdene hvor avstand mellom innfestingspunkt og angrepspunkt var stor var også vibrasjonene størst og håndmating var den beste måten å mate på for å holde vibrasjonene på et minimum.



Figur 3.3: Fremside/bakside av kabinettet til varmpumpen

Det neste som stod for tur var utfresing av fremside og bakside (se figur 3.3). Her ble først sidene frest ut med en planfres, deretter ble sporet hvor sideplatene skulle limes fast frest med pinnefres. Resultatet av disse to komponentene ble meget bra, fordi de var lette å innspenne og vibrasjoner i arbeidsstykket var nesten fraværende. Automatisk mating ble benyttet. Matingshastighet ble valgt etter skjønn. Den hastigheten som gav lavest overflateruhet, men som samtidig gikk kjapt ble valgt. Det var også mulig å høre på lyden når man freste om matehastigheten ble for høy.

I utgangspunktet var det tenkt at det skulle freses ut spor til o-ring i kabinettet. Dette ble sløyfet etter konferering med Jan Kåre Bording for å minske kompleksiteten i konstruksjonen, og for å kunne variere antall peltierelementer uavhengig av o-ring spor. Ved å sløyfe o-ring spor ville o-ringen hvile rett mot innsiden av kabinettet, og pasningen mellom o-ring og innsiden ville avgjøre vanntettheten av konstruksjonen.



Bilde 3.2: Viser limefugen langs sideplatene til kabinettet

Etter at alle delene til kabinettet var ferdig maskinert måtte de monteres sammen. Sideplatene se (figur3.2) ble først limt med vanlig hurtigtørkende lim. Deretter ble et løsemiddel som ble supplert med acrylplatene (mest sannsynlig metylenklorid) brukt til å løse opp kontaktflatene i acrylplatene. Metylenklorid løser opp bindingene i acryl slik at den blir flytende, og når den fordampes blir acrylen like hard igjen. Da løsemiddelet hadde fordampet ble det en perfekt vanntett sveis mellom acrylplatene.



Bilde 3.3: Borreoperasjon på kabinettet



Bilde 3.4: Kabinettet etter fullført borreoperasjon

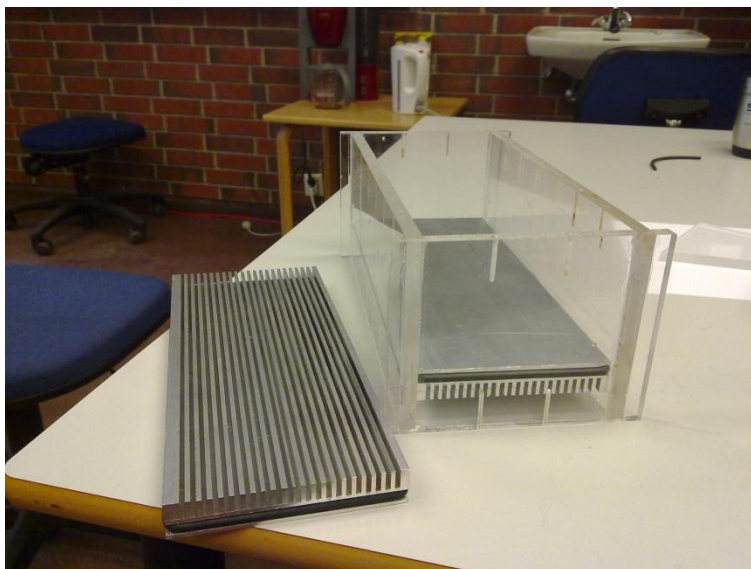
I følge arbeidstegning (se vedlegg J) skulle toppplate og bunnplate også limes. I stedet ble en løsning med skruer valgt, da kabinettet lett skulle kunne åpnes og lukkes. Etter limet hadde tørket ble det borret og gjenget opp langs topp og bunn av den foreløpige konstruksjon (se bilde 3.4) slik at topp- og bunnplate kunne monteres. Det ble valgt boltetype M3 med 40mm avstand mellom hvert hull, og totalt 16 hull. Gjengetype og dimensjoner ble bestemt etter skjønn, ingen beregninger ble gjort da det ikke er spesielt store krefter involvert. Hovedformålet var å holde boksen tett.



Bilde 3.5: Fresing av riller i aluminiumsribbene

Neste steg var å sage ut to aluminiumsplater fra råmaterialet, som var en aluminiumsskinne med dimensjoner 150mm x 20mm x 1500mm. Aluminiumsskinnen ble lagt i en båndsgag, og to plater med omtrentlige dimensjoner i forhold til de ferdige aluminiumsribbene ble saget ut. Platene ble grovtilpasset i sagen først fordi denne metoden er betydelig raskere enn om hele platen skulle

tilpasses fullstendig i fresen. For å få dem helt etter hva som var spesifisert i arbeidstegningen ble en planfres i fresemaskinen brukt. Til o-ring sporet rundt kantene ble en pinnefres brukt. Da de utvendige mål stemte med arbeidstegningene, stod maskinering av rillene for tur. Det ble diskutert litt frem og tilbake om hvilken metode som ville være den mest effektive for å lage nøyaktige riller. Men i følge verkstedsteknikerene ved UIS ville den mest effektive metoden være å montere et sagblad i fresemaskinen. Denne metoden viste seg å være forholdsvis effektiv (se bilde 3.5). Det var viktig å gå meget sakte frem på grunn av innspenningen, spesielt når antall riller økte var det helt tydelig at platen fikk mindre stivhet og vibrasjonene økte.



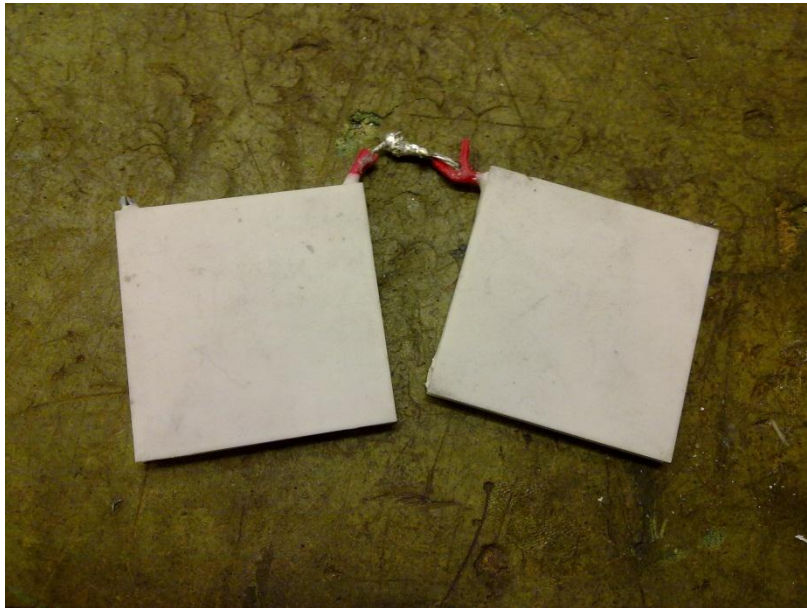
Bilde 3.6: Aluminiumsribber med o-ringer, og hvordan de er montert i kabinettet

Bilde 3.6 viser de to aluminiumsribbene med o-ringer festet rundt og hvordan de er montert i boksen.



Bilde 3.6: Viser varmepumpen ferdig montert

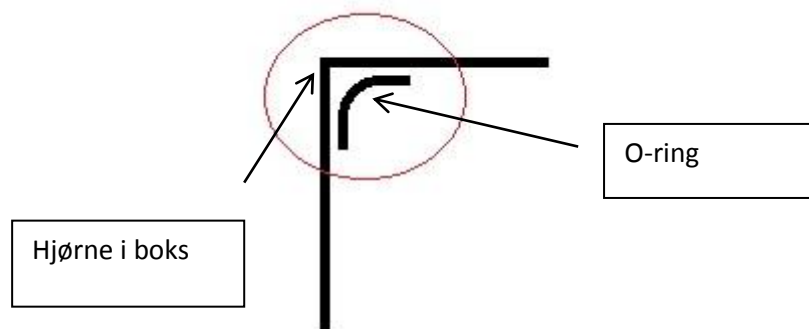
Bildet viser hvordan varmepumpen ble sende ut etter alle delene var ferdig maskinert og montert sammen.



Bilde 3.7: Viser hvordan peltierelementene ble loddet sammen

Peltierelementene ble loddet sammen 5 i serie, deretter ble 2 serier loddet i parallell slik at totalt 10 peltierelementer inngikk i kretsen. En ledning for pluss strømføring og en ledning for minus strømføring ble loddet på til slutt.

O-ringene som ble kjøpt inn viste seg å være litt for store. De ble derfor først snittet og tilpasset til o-ringsporet på aluminiumsribbene før de ble limt sammen igjen med hurtigtørkende lim. De fikk herde over natten før de var klar til montering.



Figur 3.4: Viser hjørnet i kabinettet hvor o-ringen ikke hadde pressspasing

Siden o-ringen ikke hadde noe spor i sideveggene i kabinettet var det ingen kontakt mellom o-ring og sidevegg i hjørnene, som figur 3.4 viser. Dette måtte løses på en måte, og i første omgang ble det fylt opp med silikon langs hele kanten slik at det var kontakt mellom o-ring og silikon.

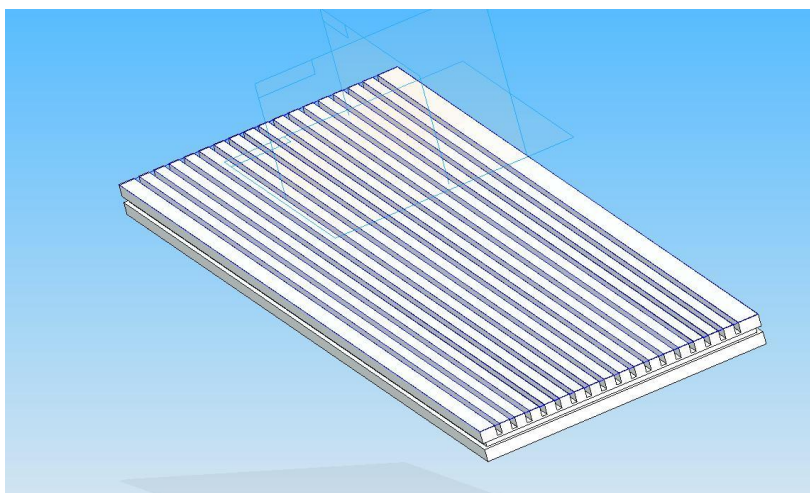
Varmepumpen var nå klar for testing. Men det viste seg å bli det et stort problem å få vannpumpen tett mellom de to kamrene (se kapittel 4). Var det ikke tett ville rommet hvor peltierelementene lå bli fylt med vann og all oppvarming ville opphøre.

3.2 Komponenter

Varmepumpen består av:

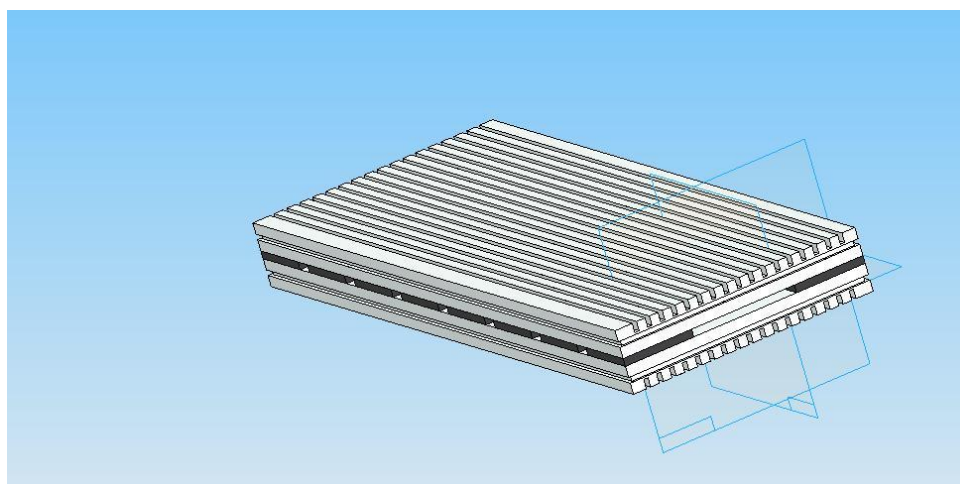
- Kabinett
- Kjøleribbe/varmeribbe som sammen blir en varmeveksler
- Acrylplate med stoppere limt fast slik at vannstrøm blir tvunget gjennom øvre aluminiumsribbe.
- Peltierelementer
- Koblinger

3.2.1 Kjøle-/varmeribbe



Figur 3.5: Aluminiumsribbe tegnet i Solid Edge

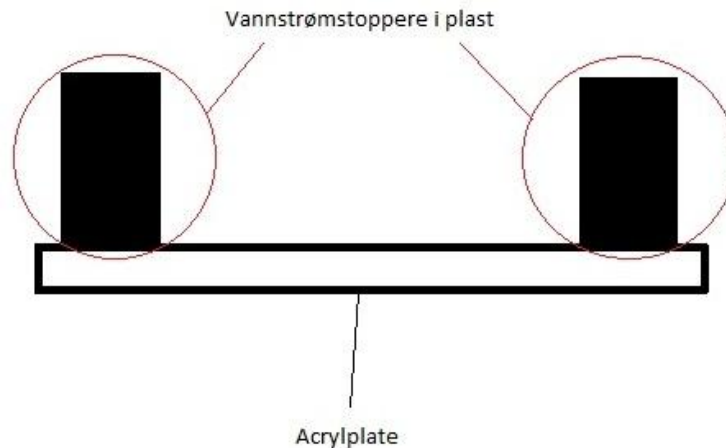
Ribber ble valgt i aluminium for best mulig konveksjon og konduksjon av varme/kulde fra peltierelementer og over i vannstrøm. Rillene ble maskinert slik at de har dimensjoner som tillater vannet å strømme gjennom dem. Det var ønskelig med turbulent strøm, ikke stasjonær, slik at maksimal konveksjon mellom aluminiumsribbe og vannstrøm ble oppnådd.



Figur 3.5: Aluminiumsribbene montert sammen til varmeveksler

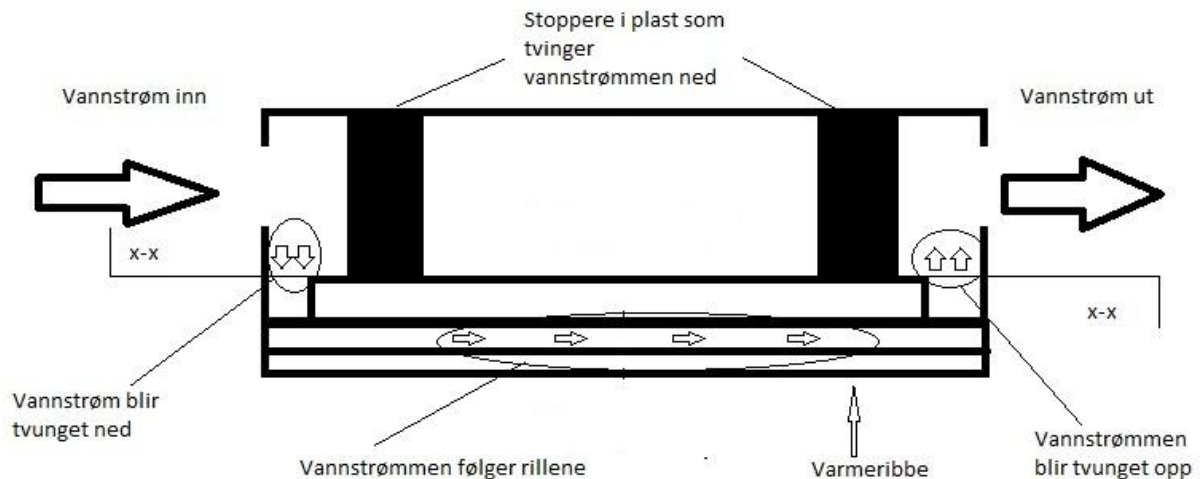
Figur 3.5 viser hvordan aluminiumsribbene ble montert sammen til en varmeveksler, med peltierelementer i mellom. Slik som bildet viser ble peltierelementene lagt i to rekker. Antallet peltierelementer som ble brukt i forsøkene var 10 og ikke 16 som bildet viser. Peltierelementene var orientert likt som bildet viser, med to rekker koblet i parallell med 5 peltierelementer koblet i serie hver.

3.2.2 Acrylplate med stoppere



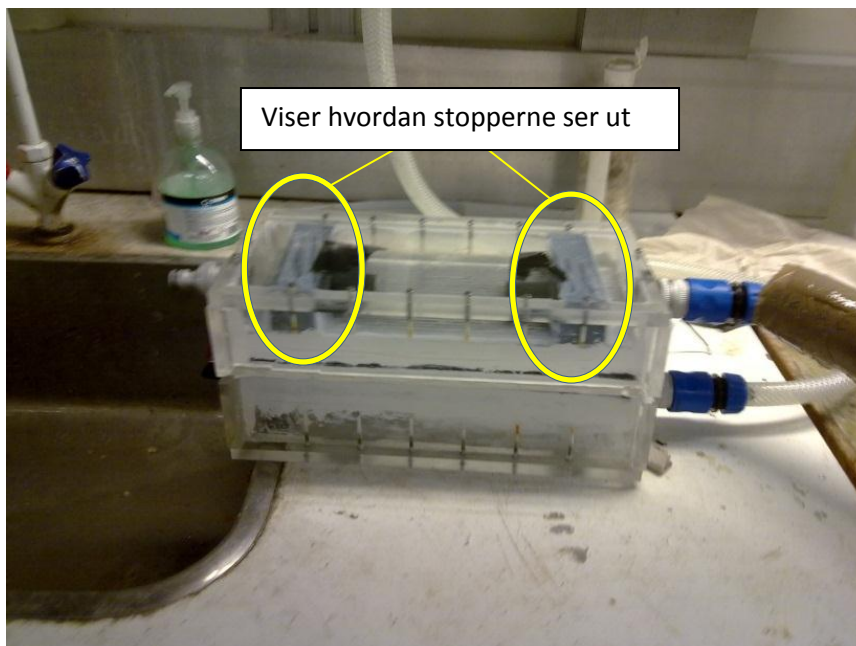
Figur 3.6: Illustrasjon av acrylplate med vannstoppere

Figur 3.6 viser hvordan vannstoppere i plast ble limt fast til en acrylplate med dimensjoner som gjorde at den passet ned i boksen og over den øvre aluminiumsribben. Dette ville føre til at den varme vannstrømmen ble tvunget ned i rillene på aluminiumsribbene slik at optimal konveksjon ville finne sted.



Figur 3.7: Illustrasjon av strømmingen til vannet gjennom varmtvannskammeret

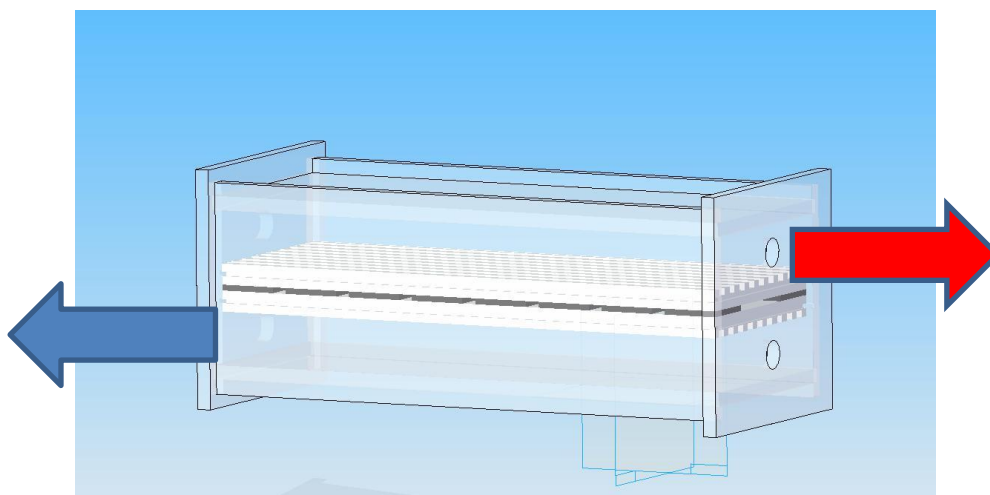
Figur 3.7 viser hvordan vannstrømmen inne i varmepumpen er. Oppvarmet vann med T_1 kommer inn fra venstre og følger pilene slik figuren viser, hvor den tilslutt kommer ut på høyre side med T_2 . For at varmepumpen skal varme opp må vannet må $T_1 < T_2$. Etter at vannet har forlatt på venstre side går vannstrømmen tilbake til reservoaret.



Bilde 3.8: Viser hvordan vannstopperne er montert i varmepumpen

Bildet 3.8 viser hvordan vannstopperene er montert inne i varmepumpen. De er limt fast og fuget med silikon slik at ikke noe vann lekker inn i kammeret i midten, og all vannstrøm blir tvunget ned over aluminiumsribben.

3.3 Funksjonsbeskrivelse varmepumpe system

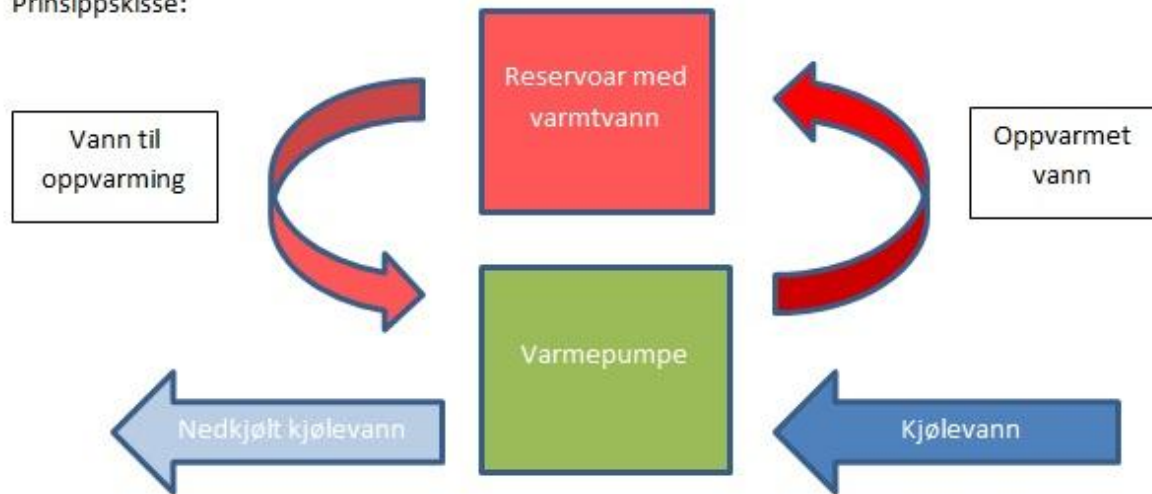


Figur 3.8: Illustrasjon av vannstrømning i varmepumpen

Figur 3.8 viser i prinsipp hvordan varmepumpen fungerer. Det øvre kammeret varmer opp vann, mens kammeret under fjerner kulde. Egentlig tilfører den kalde strømmen varme til peltierelementene, som tilstreber en overflatetemperatur lavere enn temperaturen til den kalde vannstrømmen. Peltierelementene kan skimtes mellom de to aluminiumsribbene. Slangekoblinger ble koblet til der det er tegnet inn hull på figuren.

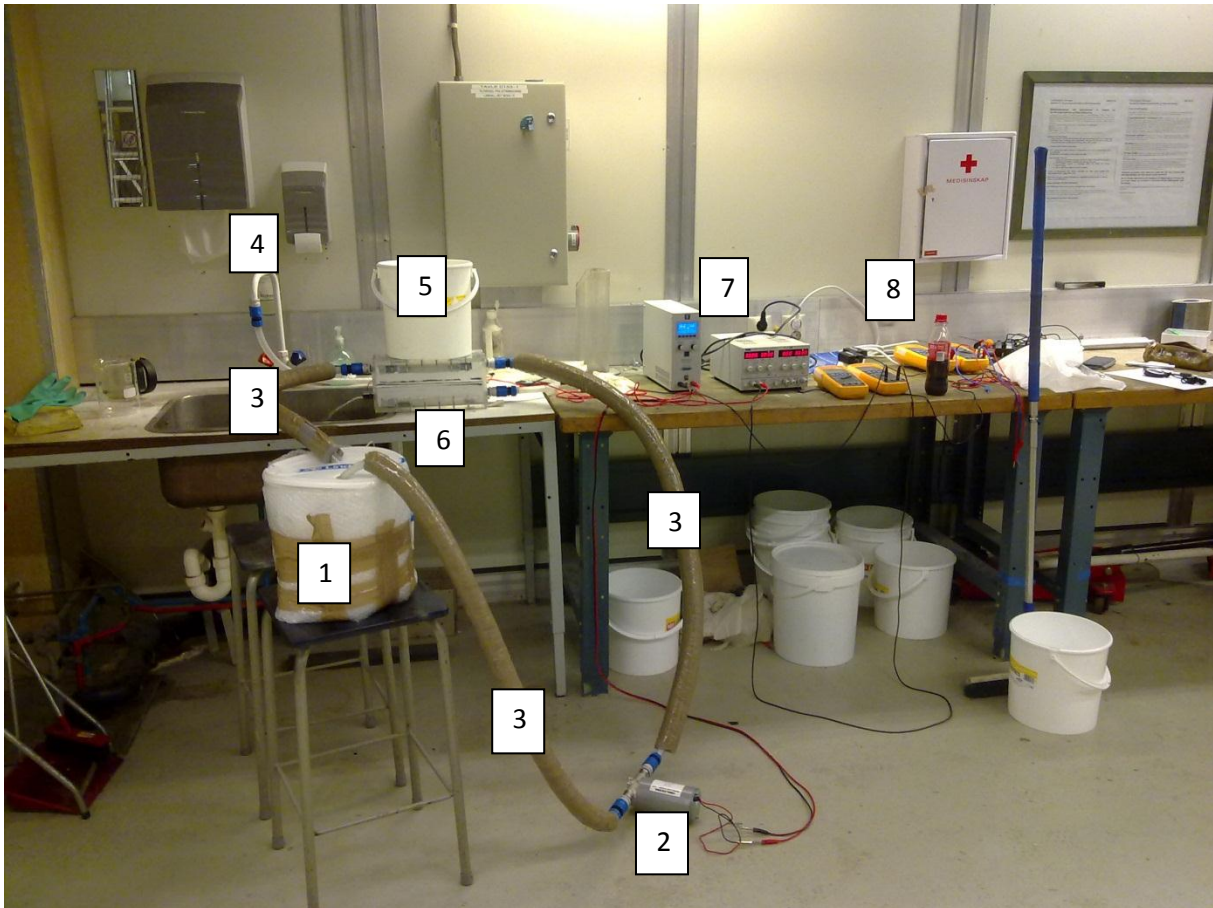
Vann renner inn i boksen og over kjøleribbene. På den varme siden blir vannet tvunget ned rillene ved hjelp av en acrylplate og stoppere (se figur 3.6). Dette for å få best mulig konveksjon mellom aluminiumsribbe og vann.

Prinsippskisse:



Figur 3.9: Prinsippskisse av varmepumpesystemet

Prinsippskissen viser hvordan systemet virker. Reservoaret med varmtvann inneholdt vann som ble sirkulert gjennom det varme kammeret i varmepumpen, slik figur 3.9 viser, ved hjelp av en impellerpumpe. For hver runde vannet tok gjennom varmepumpen økte temperaturen litt. Kjølevannet ble tatt fra vannettet og strømningshastigheten til vannet ble regulert ved hjelp av en vannkran. Kjølevannet ble ytterligere kjølet ned etter å ha passert kaldtvannskammeret i varmepumpen. Alle slanger var vanlige hageslanger som var isolert, og vanlige hageslangetilkoblinger ble benyttet slik at det var lett å koble slangene av og på. Varmepumpen ble gjenget opp slik at den tilfredstilte spesifikasjonene til vanlige slangekoblinger.



Bilde 3.9: Viser testoppsettet

Bilde 3.9 viser det faktiske oppsettet.

1. Varmtvannsreservoar
2. Vannpumpe
3. Isolerte slanger for varmtvannstrøm
4. Uttak kaldvannstrøm
5. Last for å få optimal termisk kontakt mellom varmeveksler og peltierelementer
6. Varmepumpeenheten
7. Strømforsyning
8. Måleutstyr

Vann som skulle varmes opp ble pumpet fra reservoar (1) ved hjelp av impellerpumpe (2) og isolerte slanger (3). Kaldvannstrømmen (4) ble tatt fra vannettet og ført ved hjelp av en slange inn i kaldtvannkammeret i varmepumpen. Oppsettet på bilde 3.9 viser målingene for parallell strøm (vil bli omtalt nærmere i kapittel 4). For å få optimal termisk kontakt mellom peltierelementene og varmeveksleren, var det nødvendig med en ytre last (5) som presset komponentene mot hverandre. Lasten bestod av en bøtte fylt med 10 liter vann, dette ble funnet tilstrekkelig. Varmepumpeenheten (6) varmet opp varmtvannsreservoaret samtidig som den kjølte ned kaldvannstrømmen. To strømforsyningsenheter (7) som gav likestrøm ble brukt. Den ene til peltierlementene og den andre

til vannpumpen (2). Måleinstrumenter (8) i form av termometer, voltmeter og amperemeter ble brukt.

Bøtten ble plassert i omtrent samme høyde som varmpumpen for å få en så stabil vannstrøm igjennom vannpumpen som mulig. Ved å ha forskjellig høyde på reservoar og vannpumpe ville pumpen måtte ha gjort et større arbeid, og vannstrøm for en gitt pumpeeffekt ville blitt lavere. Vannpumpen var det laveste punktet i systemet slik at all luft ble pumpet ut og det kunne kalles "liquid filled". Dette var nødvendig for at pumpen skulle fungere optimalt. Pumpen var av typen impeller, og det ble observert at pumpen pumpet meget dårlig når en luftboble satt seg i impellerhuset.

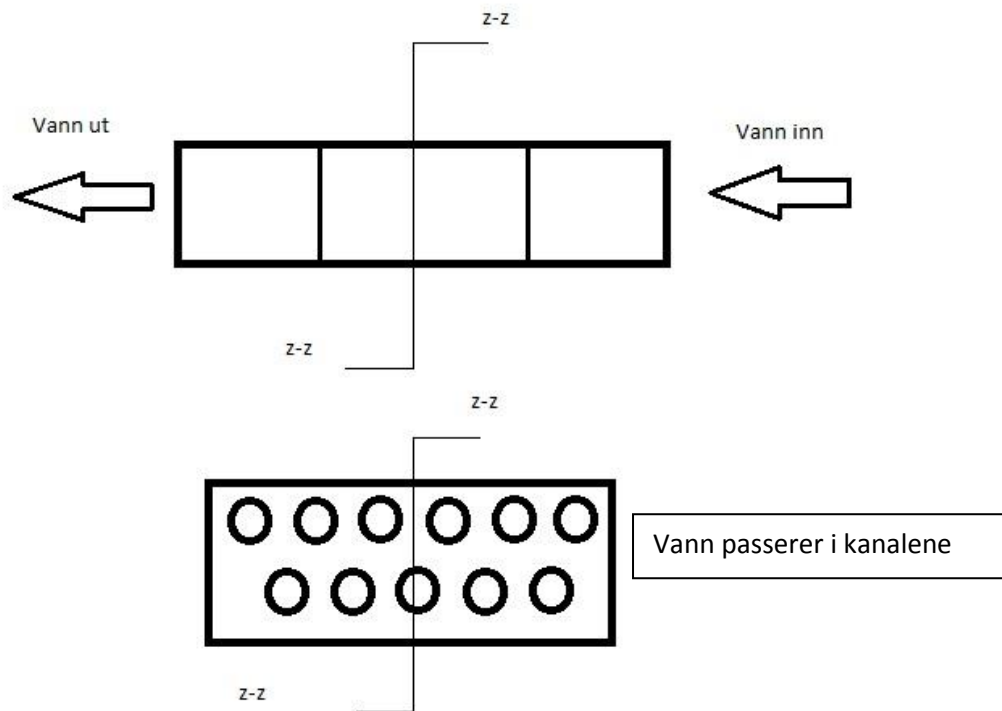
Alle slanger som var koblet til varmtvannstrømmen, var isolerte slik at varmetap gjennom slanger var på et minimum.

3.4 Funksjonsbeskrivelse referanse system

Oppsettet på referansesystemet var identisk oppsettet for varmpumpesystem bortsett fra at varmpumpeenheten ble byttet ut med en referanseenhet (se bilde 3.10) laget av Jan Kåre Bording.



Bilde 3.10: Viser hvordan referanseenheten var koblet til



Figur 3.10: Snitt av referanseenheten

Figur xx gir en illustrasjon av hvordan referanseenheten fungerer. Vann blir pumpet inn i enheten ved hjelp av samme impeller vannpumpe som ved varmepumpesystemet, og strømmer gjennom kanalene som figur 3.10 viser. Den midterste blokken som kanalene er borret gjennom er av aluminium, og denne blokken blir varmet opp av to motstander (se kapittel 4.2.1) tilkoblet likestrømkilden. Vannet starter i varmtvannreservoaret og blir pumpet gjennom referanseenheten, hvor det blir varmet opp av de Ohmske motstandene og returnerer deretter til reservoaret. Syklusen fortsetter helt til systemet blir stoppet.

4 Forsøk

Dette kapitlet vil forklare hvordan forsøkene ble gjort, og viktige oppdagelser vil bli kommentert underveis.

4.1 Innledende forsøk.

Som beskrevet under kapittel 3.1.2 var det å få vannpumpen helt vanntett et stort problem. Det ble brukt lang tid, og varmpumpen måtte demonteres utallige ganger for inspeksjon og feilsøking for å finne ut hvorfor det lakk vann.

Grunnen til at varmpumpen ikke var tett var at presspasningen mellom o-ring og sidekantene i boksen ikke var konstant. Dette på grunn av diverse ujenheter som oppstod i freseprosessen og i monteringsprosessen. Det resulterte i store problemer med å få varmtvannskammer og kaldvannskammer sammen med kammeret hvor peltierelementene var, fullstendig fri for vannlekkasje seg imellom. Det ble gjort flere forsøk på tetting ved hjelp av tetningsmiddel men det viste seg å være vanskelig å få det helt tett, noe som var en forutsetning for drift av varmpumpen.



Bilde 4.1: Viser hvordan tetningsmiddelet ble lagt

Det ble forsøkt å stoppe vannlekkasjen ved bruk av store mengder “Marin og Teknik” fra limprodusenten Casco. “Marin og Teknik” er en fuge-/tetningsmasse. Den har egenskapen å herde under vann, og blir hard som gummi når den har herdet. Dette tetningsmiddelet ble fuget rundt og mellom aluminiumsribbene. Da alt var montert sammen viste det seg at det hadde oppstått et ledningsbrudd mellom peltierelementene, som nå var fuget inne. Siden aluminiumsribbene var limt fast av fugemassen, var eneste løsning å få de separert å frese hele boksen i to.



Bilde 4.2: Viser hvordan varmepumpen ble delt i to



Bilde 4.3: Viser varmepumpe satt sammen etter freseoperasjonen

Siden varmepumpen nå var delt i to ble ikke aluminiumsribbene i varmeveksleren presset mot hverandre, og den termiske kontakten mellom aluminiumsribber og peltierelementer ble mindre. Løsningen ble å sette en bøtte fylt med 10 liter vann som last oppå varmepumpen, slik at den termiske kontakten ble gjenopprettet.

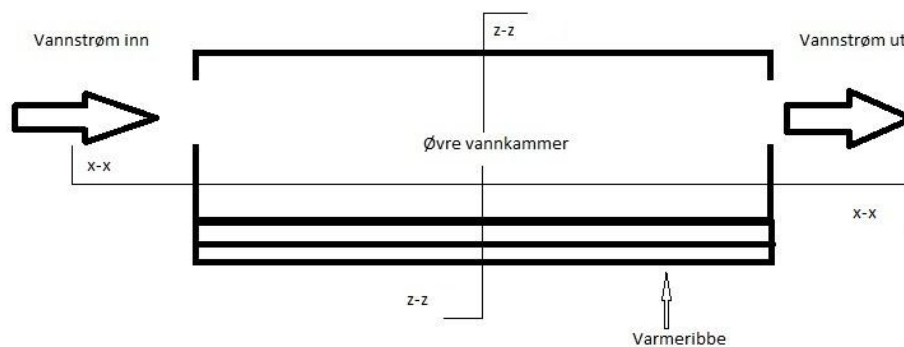


Bilde 4.4: Viser den ytre last i form av en bøtte med vann

4.1.1 Test av impellerpumpe

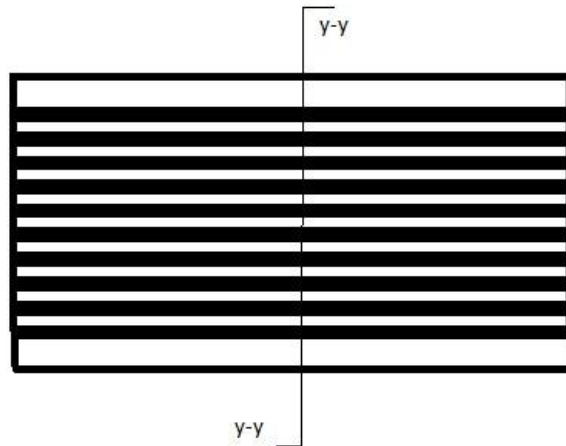
Impellerpumpen ble testet i to omganger for å finne ut for hvilken pumpeeffekt pumpen gav best forhold mellom mengde pumpet vann [l/m] og effekt [W]. Med andre ord, når pumpen pumpet mest vann i forhold til strømforbruk. Pumpen ble testet med og uten tvungen vannstrøm gjennom varmeribben (det vil si med og uten vannstopper montert). Måling av volumstrøm vann [l/m] ble foretatt ved å se hvor lang tid det tok å fylle opp et målebeger på 0,9 l. Pumpeeffekt ble beregnet ut i fra Ohms lov. Og måleverdiene ble hentet ut ved hjelp av et amperemeter og et voltmeter. Under vises kun grafene, for utfyllende data se vedlegg E.

Figur 4.1 definerer retninger inne i varmepumpen.



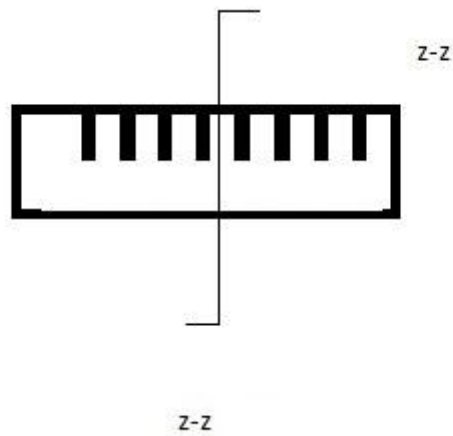
Figur 4.1: Definerer x-x retning i varmepumpen

Som illustrasjonen viser er x-retning strømningsretningen til vannet, z-retning er høyden på vannkammeret.



Figur 4.2: Definerer y-y retning

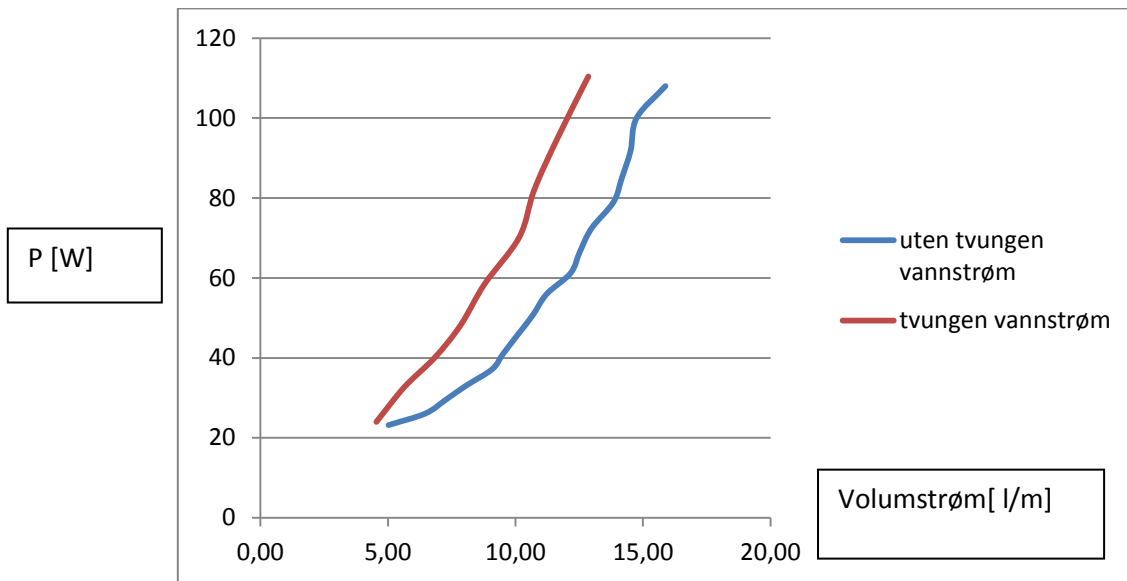
Figur 4.2 definerer y-retning langs bredden til aluminiumsribben.



Figur 4.3: Definerer z-z retning

Figur 4.3 viser et utsnitt av tverrsnittet til aluminiumsribben.

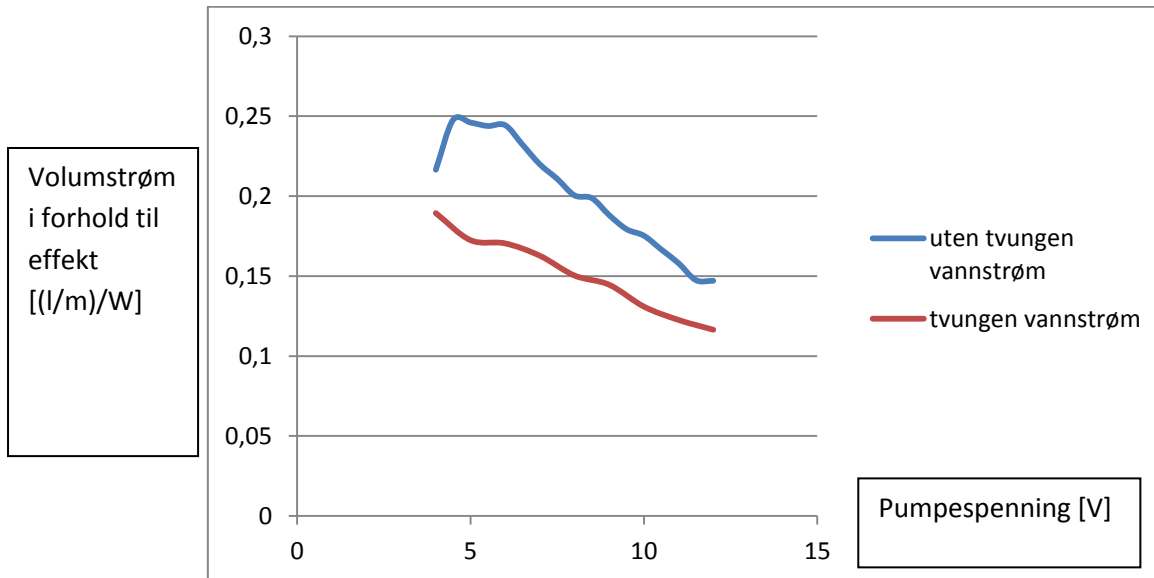
Volumstrøm med og uten tvungen vannstrøm



Graf 4.1: Pumpeeffekt [W] som funksjon av volumstrøm [l/m]

Disse to grafene viser pumpeeffekt [W] som funksjon av volumstrøm [l/m] med og uten tvungen vannstrøm. De viser at for en gitt effekt, er volumstrømmen vann lavere ved tvungen vannstrøm. Ved tvungen vannstrøm ble vannet tvunget ned i rillene i varmeribben ved en fysisk sperre, slik at rillene var den eneste mulige strømningsretningen. Dette medførte at det totale strømningsstverrsnitt ble betydelig redusert både i y-retning og z-retning. Som figur 4.1 og 4.2 viser. Ved tvungen vannstrøm øker den lokale hastigheten til vannstrømmen betydelig gjennom rillene, samtidig som en større overflate av vannstrømmen i forhold til volum er i kontakt med rillene. Dette øker friksjonen, og gir utslag i kurven i graf 4.1. Den totale volumstrøm [l/m] vann er lavere for tvungen vannstrøm ved en gitt effekt i forhold til når det ikke er tvungen vannstrøm.

Volumstrøm i forhold til effekt som funksjon av pumpespenning



Graf 4.2: Volumstrøm i forhold til pumpeeffekt [(l/m)/W] som funksjon av pumpespenning [V]

Graf 4.2 viser volumstrøm i forhold til effekt [(l/m)/W] som funksjon av pumpespenning [V]. Den forteller når pumpen jobber mest effektivt i forhold til spenning. Effekt er som kjent $P = U * I$. Det vil si at pumpespenning er proporsjonal med effekten. Det betyr grafene ser akkurat like ut om enheten langs x-aksen er i watt. De er fremstilt på denne måten fordi det da forteller hvilken spenning som skal settes på pumpen for at den skal produsere en viss volumstrøm.

Av grafene kan en lese at pumpen er mest effektiv ved lav spenning, dette er ugunstig. I spesifikasjonene til varmepumpen (vedlegg L), kan en lese at pumpen er ment å arbeide på 12 volt. Men som grafene viser har pumpen da lavere effektivitet. For forsøkene ble en spenning på 8 volt valgt. Ved lavere spenning enn 8 volt hadde pumpen problemer med å holde jevn hastighet. Men optimalt sett burde en lavere spenning blitt valgt for at pumpen skulle være mest mulig effektiv. Det at pumpen har synkende effektivitet for økende spenning, vil si at impellerbladene har en ugunstig geometri i forhold til hvilken spenning og følgende omdreiningshastighet pumpen er konstruert for i henhold til vedlegg L.

4.1.2 Test av impellerpumpens termiske bidrag

Det ble kjørt test for å finne ut hvor mye varme pumpen tilførte systemet. Testen gikk i 4,5 timer og målsetning var å komme opp i steady state.

T(timer)	T (°C)
0	27,5
0,5	28,5
1	29,7
1,5	30,6
4,5	35

Tabell 4.1: Temperatur måling over tid

Som tabell 4.1 viser ble steady state oppnådd ved 35°C, dette betyr at vannpumpen bidrar med ganske mye varme og vil være en stor usikkerhetsfaktor. Det ble også observert at strømforbruket til vannpumpen økte betraktelig når vannet i reservoaret ble høyt (>50°C). Strømforbruket til vannpumpen lå rundt 50W (< 35°C) ved lave temperaturer, 55W-60W ved middels temperatur (35 °C-40°C) og opp mot 75W for høye temperaturer. Uten å ha tatt målinger på det virket det som om volumstrømmen vann var uforandret, dette betyr at økningen i strømforbruk gikk til Ohmsk oppvarming av vannpumpe som igjen overførte en del av denne varmen til vannstrømmen.

Ved å bruke ligning 2.12 kan verdiene i tabell 4.1 brukes til å finne gjennomsnittlig varmebidrag:

$$Q = mc\Delta T$$

$$\text{antar } \rho \text{ for vann} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$c = 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} \cdot \text{K}}$$

$$\text{masse vannreservoar} = 10 \text{ kg} = 10000\text{g}$$

$$Q = 10000 * 4,18 * (35 - 27,5) = 313500\text{J}$$

for å finne dette uttrykt i $W = \dot{Q} = \text{J/s}$

$$\frac{313500\text{J}}{4,5\text{t} * 3600\text{s}} = 19,4 \text{ W}$$

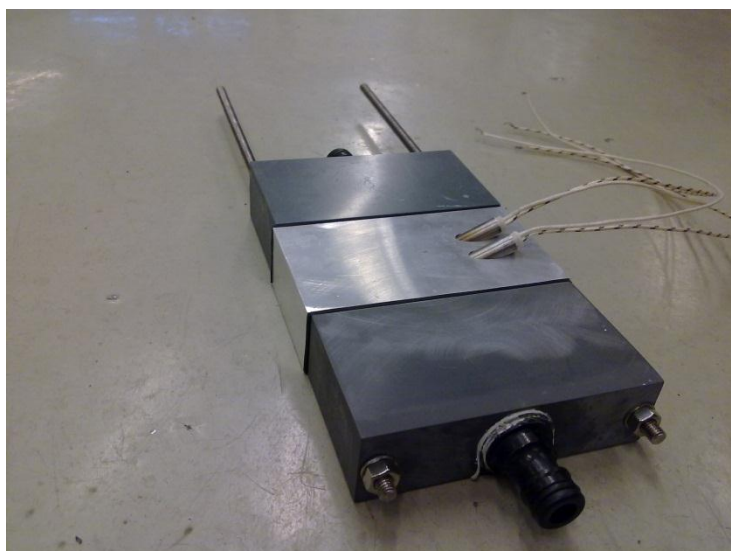
Dette betyr at det gjennomsnittlige termiske bidraget er 19,4W for lav til middels temperatur, antakeligvis større for økende temperatur i reservoaret.

4.2 Test av referansesystem

Referansesystemet var identisk til varmepumpesystemet bortsett fra at varmepumpen ble byttet ut med en enhet for Ohmsk oppvarming. Ohmsk oppvarming vil si oppvarming ved hjelp av en elektrisk motstand.



Bilde 4.5: Viser den ohmske motstanden brukt i referansesystemet



Bilde 4.6: Referansenheten med to motstander

To motstander av typen som bilde 4.5 viser ble koblet i parallell og satt i sporet på varmeveksleren som bilde 4.6 viser. De ble koblet i parallell fordi det gir lavere total motstand enn å koble i serie (se under). Motstandene var egentlig konstruert for en spenning på 230V vekselspenning, men strømforsyningen som var tilgjengelig kunne maks gi 80V likespenning. Den totale motstanden måtte da reduseres slik at det gikk nok strøm gjennom motstandene til å avgi en tilfredsstillende mengde varme.

Beregninger under forutsetter konstant motstand uavhengig av temperatur.

Kobling i serie ville gitt en totalmotstand på (ligning 2.7):

$$R_{tot} = R_1 + R_1$$

$$R_{tot} = 300\Omega + 300\Omega = 600\Omega$$

Som ved en spenning på 80V ville gitt(ligning 2.2):

$$U = R * I \rightarrow I = \frac{U}{R} = \frac{80}{600} = 0,133 A$$

Dette ville gitt et varmebidrag i effekt på (ligning 2.3):

$$P = U * I = 80 * 0,133 = 10,64 W$$

10,64W ved en spenning på 80V ville vært for lite.

Kobling i parallell gav en totalmotstand på (ligning 2.9):

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{300\Omega} + \frac{1}{300\Omega} \rightarrow R_{tot} = 150\Omega$$

Ved å sette spenning på 80v(ligning 2.2):

$$U = R * I \rightarrow I = \frac{U}{R}$$

$$I = \frac{80v}{150\Omega} = 0,533A$$

som i effekt gav (ligning 2.3):

$$P = U * I$$

$$P = 80 * 0,53 = 42,64W$$

Ved å sette 80v spenning på denne kretsen ble effekten 42,64W.

Teoretiske verdier ved å følge prosedyre over gav:

U	R	I	P
80	150	0,533333	42,66667
60	150	0,4	24
45	150	0,3	13,5

Tabell 4.2: Beregnede verdier for motstand, strøm og effekt

Målte verdier gav:

U	I	P
80	0,53	42,4
60	0,4	24
45	0,296	13,32

Tabell 4.3: Målte verdier for motstand, strøm og effekt

Målte og teoretiske verdier stemmer bra overens, og vi si antakelsen om konstant motstand var riktig.

4.2.1 Steady state

Det var ønskelig å kjøre systemet opp til steady state. Det vil si opp til det nivå hvor tilført varme på systemet var lik avgitt varme fra systemet. Dette nivået var nådd når temperaturstigningen i varmtvannsreservoaret opphørte og reservoaret fikk en konstant temperatur.

Steady state forsøkene ble gjort i to hovedtester:

1. Med ohmsk oppvarming av reservoar.
2. Ved bruk av den termoelektriske varmepumpen.

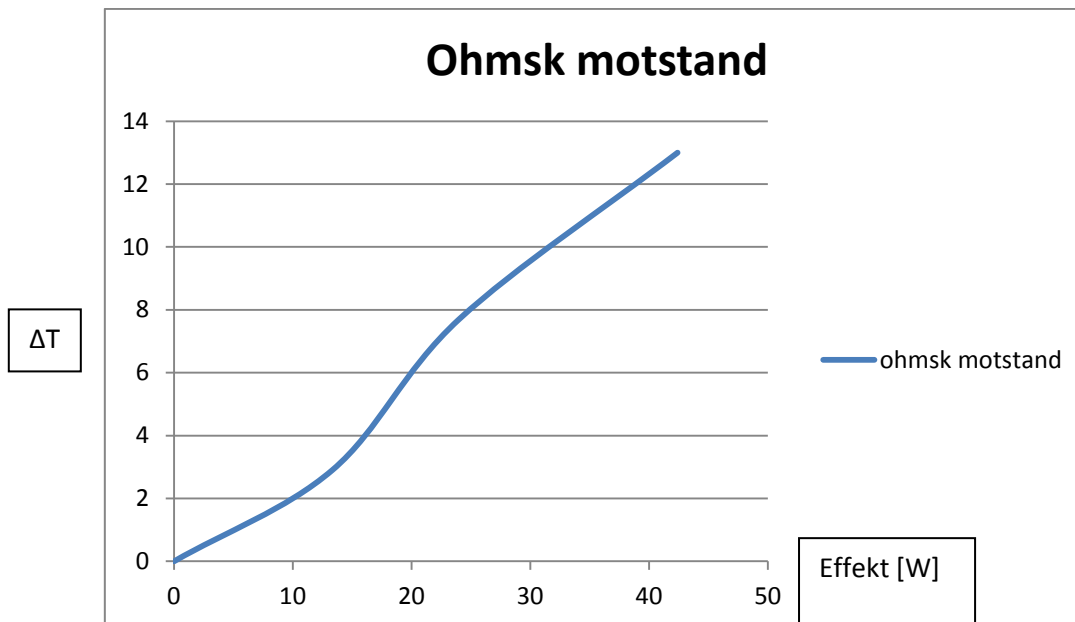
4.2.2 Ohmsk oppvarming

Ved å kjøre den Ohmske testen som i teorien skal ha en COP på 1, ble verdien for COP lik 1 definert. Testen ble kjørt i tre omganger med forskjellig spenning over varmeelementene. Det ble antatt initialbetingelse at ved $t=0$ var $P=0$ og $T=35^{\circ}\text{C}$. Det ble brukt totalt 10 liter vann i systemet.

Målinger Ohmsk motstand				
U[V]	I[A]	P[W]	T[°c]	ΔT
0	0	0	35	0
45	0,296	13,32	37,9	2,9
60	0,4	24	42,7	7,7
80	0,53	42,4	48	13

Tabell 4.4: Målinger av ohmsk motstand

Plottet i graf gir dette:



Graf 4.3: Viser ΔT som funksjon av effekt

Denne grafen viser ΔT , hvor ΔT er temperaturdifferanse over steady state til vannpumpe (35°C), som funksjon av effekt [W]. Det er en tilnærmet lineær stigning av ΔT for økende tilført effekt på systemet. Grafen definerer COP = 1 for beregninger av steady state ytelsene til den termoelektriske varmpumpen.

4.2.3 Teoretisk beregning av ΔT som funksjon av effekt:

Fra steady state målingene viste det seg at steady state ble oppnådd etter ca. 3 timer for den Ohmske oppvarmingen av reservoaret (se vedlegg F). Prosedyren under viser hvordan ΔT kan finnes for en gitt effekt hvis systemet får kjøre i 3 timer.

Prosedyre for utregning (ligning 2.12)

$$Q = mc\Delta T$$

innfører t = tid i ligningen

$$\frac{Q}{t} = \frac{mc\Delta T}{t} = P [W] \quad \rightarrow \quad \Delta T = \frac{P * t}{m * c} \quad (4.1)$$

fra tidligere er:

$$c = 4,18 \frac{J}{g * K} \text{ og } m = 10000g \text{ (10L reservoar)}$$

$$\text{hvis } P = 50W \text{ og } t = 3 \text{ timer} * 3600s = 10800s$$

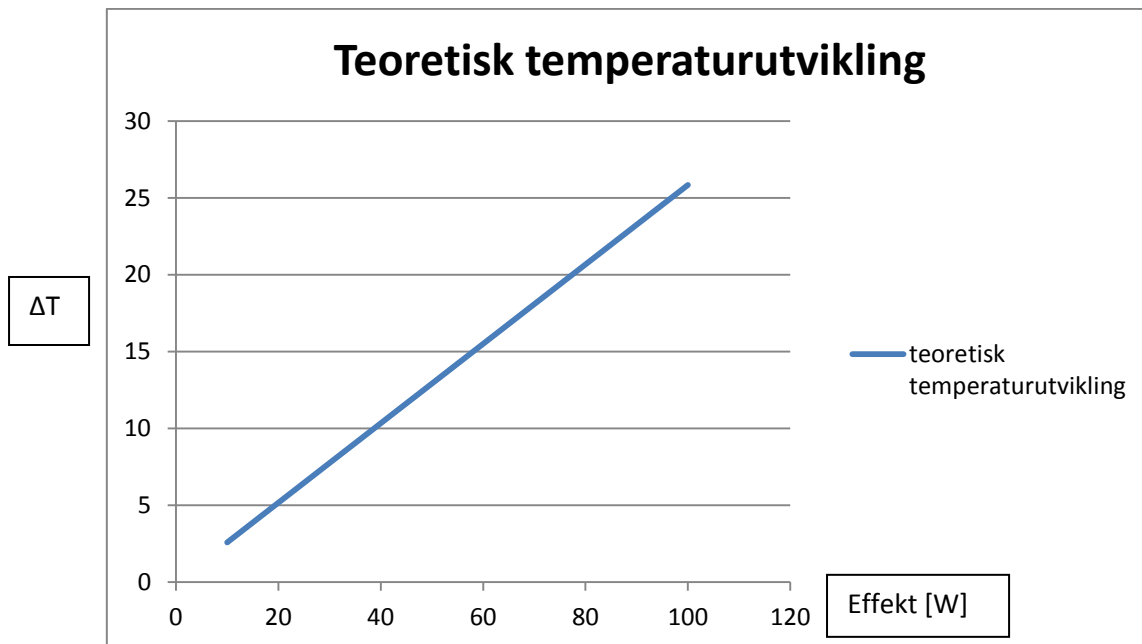
$$\Delta T = \frac{50 * 10800}{10000 * 4,18} = 12,9^{\circ}C$$

Det vil si at ved å sette 50W effekt i 3 timer på et reservoar med 10L vann vil man oppnå en ΔT på 12,9 °C (se tabell 4.5).

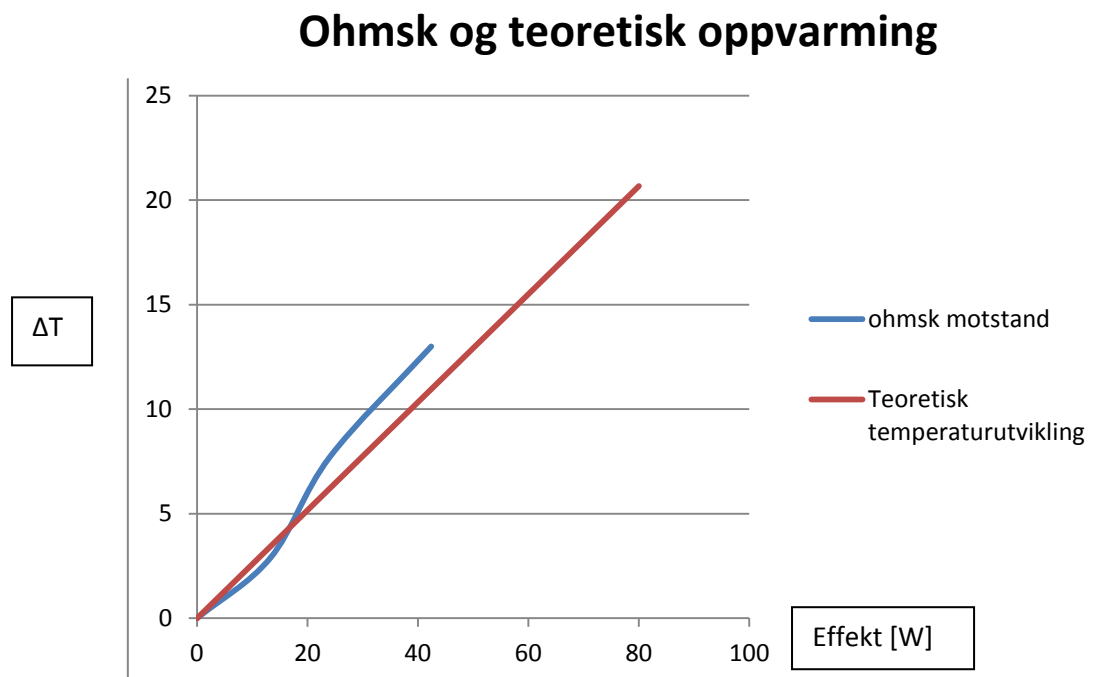
P	ΔT
10	2,583732
15	3,875598
20	5,167464
25	6,45933
30	7,751196
35	9,043062
40	10,33493
45	11,62679
50	12,91866
55	14,21053
60	15,50239

Tabell 4.5: Teoretiske verdier for ΔT

Ved å plote ΔT som funksjon av ulike effekter får man graf 4.4. For komplett tabell se vedlegg G. Man ser at det er en lineær stigning av ΔT ved økende effekt.



Graf 4.4: Teoretisk temperaturutvikling



Graf 4.5: Kombinasjon av teoretisk og målte verdier for ohmsk oppvarming

Ved å kombinere graf 4.3 og graf 4.4 stemmer resultatene fra den Ohmske oppvarmingen bra med resultatene fra teoretiske beregninger. Grunnen til at ΔT ligger litt høyere for Ohmsk oppvarming var at vannpumpens termiske bidrag førte til økt oppvarming av vannreservoar.

4.3 Termoelektrisk oppvarming

Målingene ble utført ved at den termoelektriske varmpumpen ble kjørt helt til den oppnådde steady state tilstand. Målingene ble logget for ulike spenninger og dermed ulike effekter for peltierelementene. Dette var en forholdsvis møysommelig fremgangsmåte fordi varmpumpen trengte flere timer for å oppnå steady state. Det ble gjort tiltak for å prøve å redusere tiden hver test tok ved å bruke et forvarmet vannreservoar slik at varmpumpen ikke trengte å varme vannet helt fra romtemperatur. Det ble brukt totalt 10 l vann i systemet. Varmpumpen ble kjørt til steady state tilstand totalt 10 ganger, og initialbetingelsene var at ved $t = 0$ var $P = 0$ og $T = 35$ °C. For å kunne sammenligne steady state for Ohmsk oppvarming og oppvarming ved hjelp av termoelektrisk varmpumpe ble ΔT beregnet ut i fra en $T_0 = 35$ °C. Det vil si hvor mange grader over vannpumpens steady state de respektive oppvarmings metodene oppnådde steady state.

De ulike steady state nivåene for termoelektrisk oppvarming var følgende:

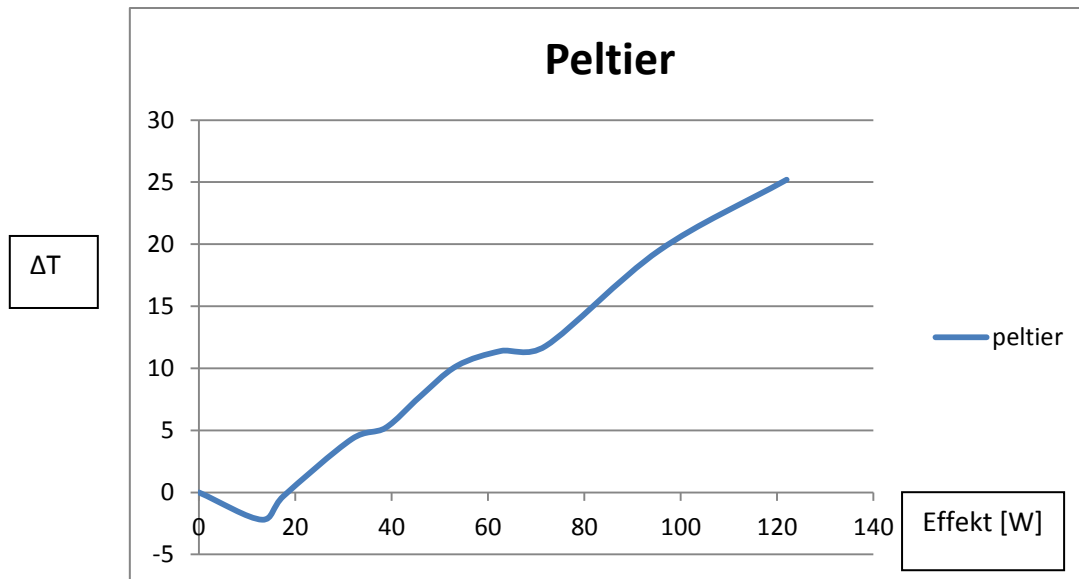
Steady state:
Målinger for varmpumpe:

V	A	W	T	ΔT
0	0	0	35	0
13	1,01	13,13	32,8	-2,2
15	1,17	17,55	34,7	-0,3
20	1,587	31,74	39,3	4,3
22	1,76	38,72	40,2	5,2
24	1,91	45,84	42,7	7,7
26	2,06	53,56	45,2	10,2
28	2,24	62,72	46,4	11,4
30	2,4	72	46,8	11,8
35	2,73	95,55	54,5	19,5
40	3,05	122	60,2	25,2

Tabell 4.6: Steady state målinger for varmpumpe

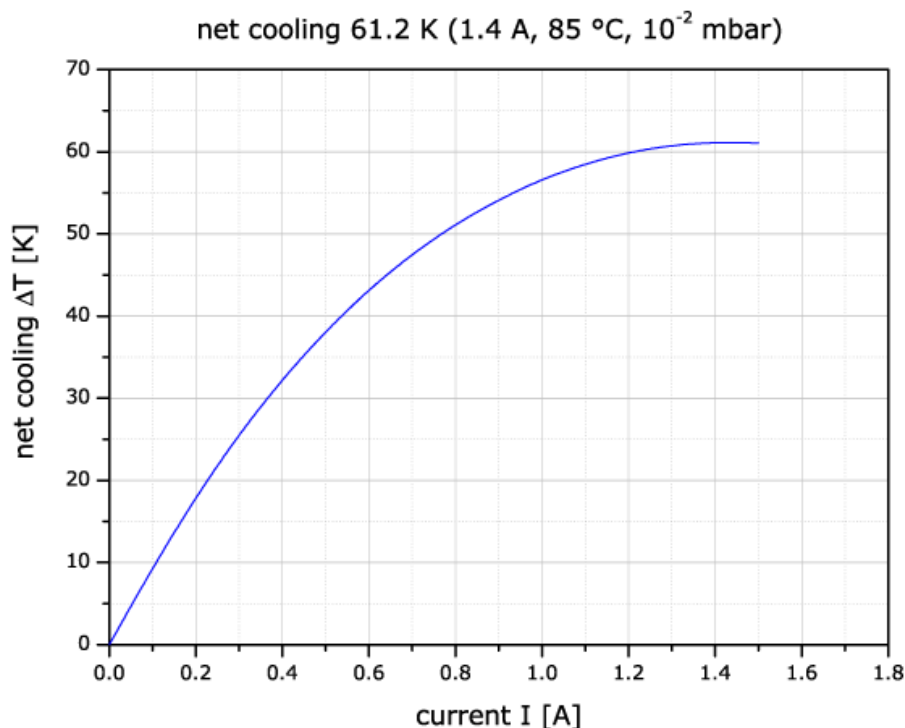
Hvor volt [V], ampere [A] og temperatur [T] var de faktisk målte verdiene.

Ved å plote resultatene inn i en graf får man følgende:



Graf 4.6: Viser ΔT som funksjon av effekt [W] for termoelektrisk oppvarming

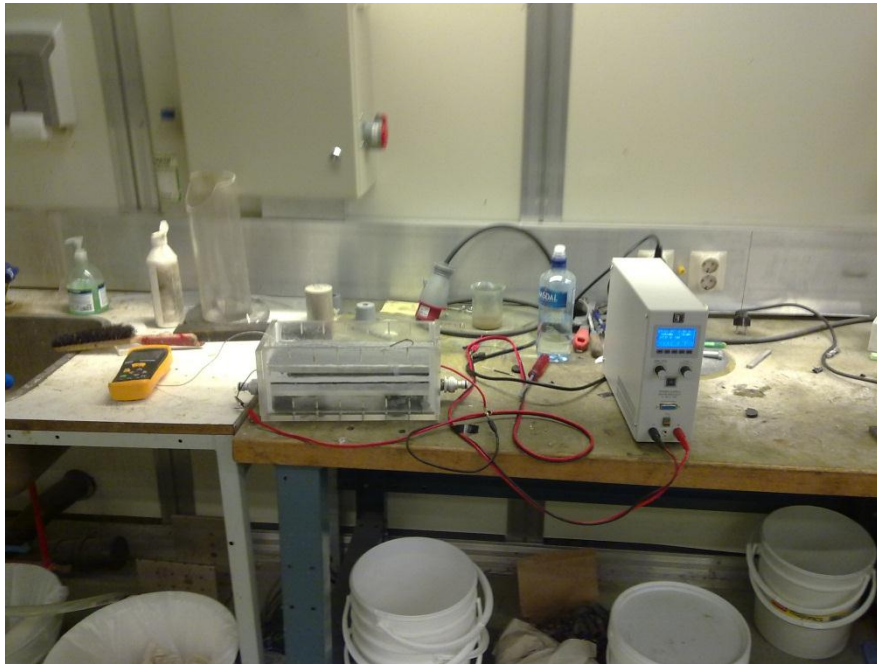
Grafen viser ΔT som funksjon av effekt [W]. Ved bruk av termoelektrisk oppvarming skal man i teorien få en temperaturutvikling som graf 4.7 viser. Nå viser riktignok graf 4.7 kjøling i stedet for oppvarming, og strøm langs x-akse, men grafen vil få samme form med effekt langs x-akse. ΔT i graf 4.7 er temperatordifferansen mellom varm og kald side av peltierelementet og ikke differansen mellom grunntemperatur og oppvarmet temperatur som det er i graf 4.6.



Graf 4.7: Teoretisk temperaturutvikling for et peltierelement (hentet fra http://www.micropelt.com/products/peltier_cooler.php)

4.3.1 Måling av ΔT over aluminiumsribbene.

Denne testen ble gjort for å sjekke at det var samsvar mellom teoretisk peltieroppvarming og peltieroppvarming i oppsettet til denne oppgaven. Det var også ønskelig å se hvor varme/kalde kjøleribbene ble. Det ble benyttet en spenning på 25V over peltierelementene.



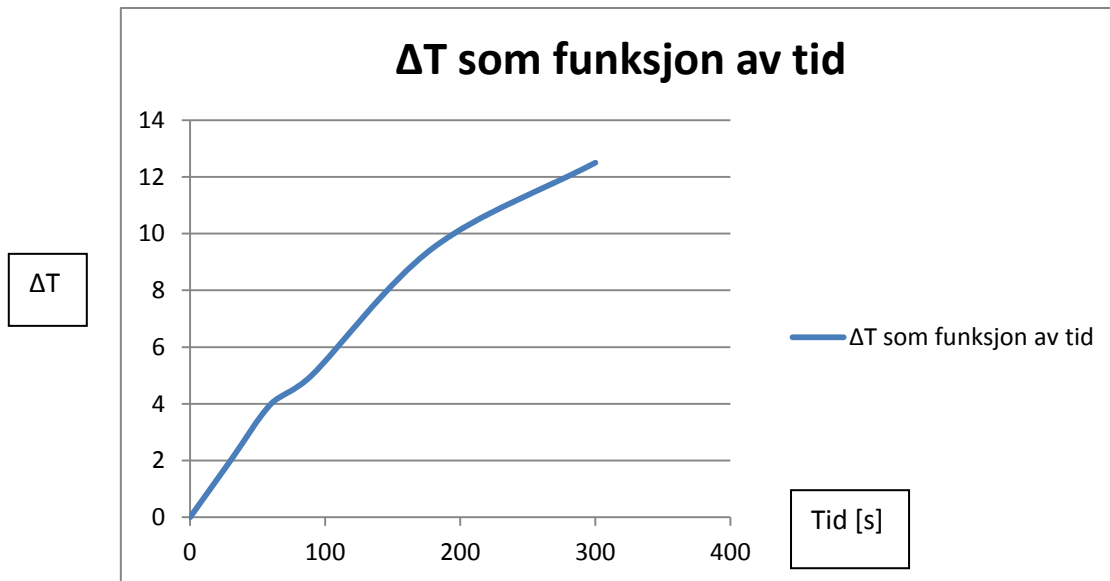
Bilde 4.7: Testoppsett for temperaturmåling over aluminiumsribbene

Målte verdier:

ΔT	t [s]	W
0	0	78
2	30	74
4	60	71
5	90	70
9,5	180	65
12,5	300	62

Tabell 4.7: Målte verdier for temperaturdifferanse over aluminiumsribbene

Temperaturutviklingen gav tabell 4.7, og plottet i grav ble det seende slik ut:



Graf 4.8: ΔT som funksjon av tid over aluminiumsribbene

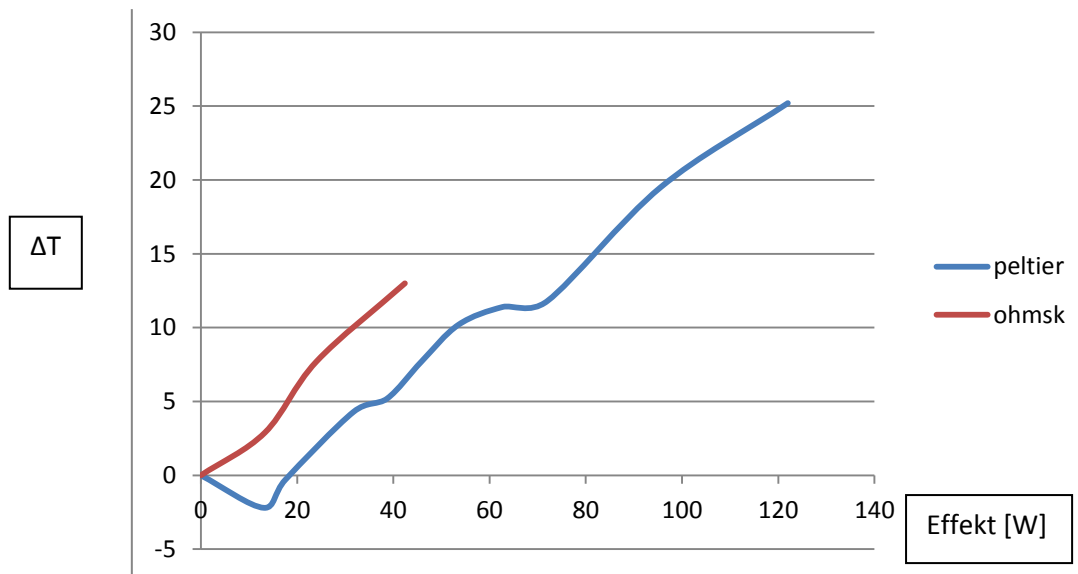
Grunnen til at ΔT ble vesentlig mindre målt på kjøleribbene i forhold til å måle direkte på hvert enkelt peltierelement, var at det kreves en god del energi for å varme aluminiumsribbene. I tillegg virker naturlig konveksjon fra aluminiumsribbe og over til luft. For å få en litt større ΔT kunne testen kjørt lenger enn 300 sekunder (5min), men poenget her var å se om det var samsvar mellom teoretiske verdier og faktiske verdier i oppsettet.

4.4 Beregning av COP for steady state

Det første målet ved steady state testingen var å definere $COP = 1$. Det ble oppnådd ved å kjøre referansetesten. Deretter var målet å se hvordan den termoelektriske varmpumpen opptrådte i forhold til referansen.

Før utregning av COP er det en fordel å plote graf 4.3 og graf 4.6 i samme koordinatsystem. Det gir graf 4.8.

Temperaturutvikling for Peltier og Ohmsk oppvarming



Graf 4.8: Temperaturutvikling ΔT som funksjon av effekt [W]

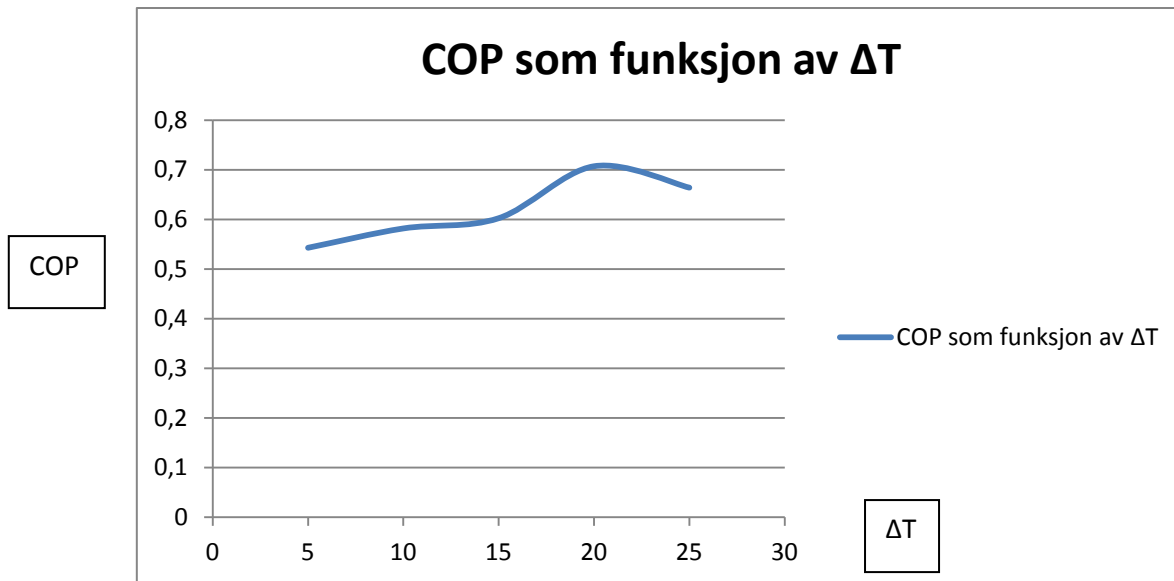
Her ser man temperaturutviklingen i form av ΔT som funksjon av P [W]. Verdiene til Ohmsk oppvarming (rød graf) definerer $COP = 1$. Grafisk avlesning av graf 4.8, for henholdsvis Ohmsk og Peltier, gir effekt ved en gitt ΔT . Dette er presentert i tabell 4.8. COP er forholdet mellom "Ohm" og "Peltier" (Ohm/Peltier).

P ved delta T

Peltier[W]	Ohm[W]	ΔT		cop
35	19	5		0,542857
55	32	10		0,581818
83	50	15		0,60241
99	70	20		0,707071
125	83	25		0,664

Tabell 4.8: Effekt [W] ved en gitt ΔT

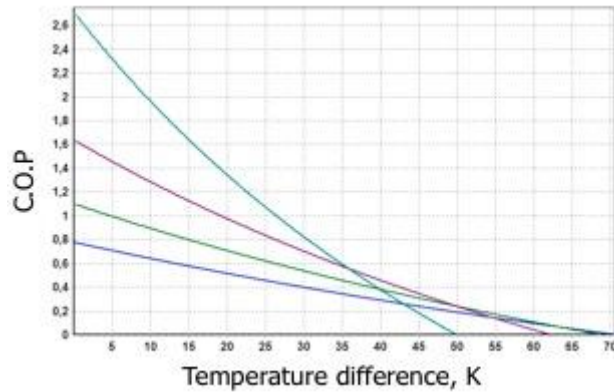
Ved å plote COP som funksjon av ΔT får man:

Graf 4.9: COP som funksjon av ΔT

Grafen viser en COP godt under 1. Dette betyr at målingene av steady state tilstand utført i forbindelse med denne oppgaven, ble gjort i et område utenfor peltierelementenes mest effektive. Alle steady state målinger ble gjort i et område hvor varm side (reservoar) var over 35 °C, med unntak av de to første som mest sannsynlig ikke hadde oppnådd steady state, da nivå for varmebidrag vannpumpe ikke var nådd. Grunnen til at COP er stigende var at målingene mest sannsynlig ikke er helt nøyaktige, eller at steady state ikke var helt oppnådd. Ved å se på graf 4.10 kommer det frem at en teoretisk COP under 1 skjer ved en ΔT på ca. 25 – 30 °C. Her er ΔT temperaturforskjell mellom kald og varm side av peltierelementet, og ikke temperatur forskjell mellom reservoar og varmebidrag vannpumpe slik det var for tester utført i forbindelse med denne oppgaven. For å få en sammenlignbar ΔT må man se på ΔT over varmtvannstrøm og kaldtvannstrøm i varmepumpen.

$T_{\text{kaldtvann}}$ ble målt til å ligge forholdsvis stabilt på 11°C.

Ved $T_{\text{varmtvann}}$ på over 35°C betyr dette at ΔT på steady state målingene begynte på $\Delta T = 35 - 11 = 24^\circ\text{C}$. Ved å se på graf xx viser dette at det er omtrent her den teoretiske temperatur differansen hvor COP går under 1 finner sted.



Imax, 0.8 Imax, 0.6 Imax, 0.4 Imax

Graf 4.10: Teoretisk COP verdi (tatt fra http://www.tec-microsystems.com/EN/Intro_Thermoelectric_Coolers.html)

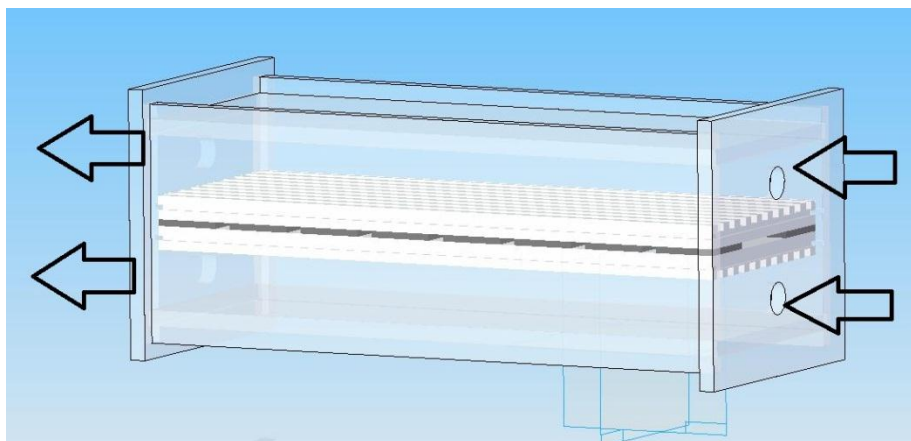
Viser hvordan plottingen burde sett ut.

4.5 Dynamiske målinger

De dynamiske målingene ble utført ved at temperaturstigningen [°C], spenning [V] og strøm [A] ble logget over tid.

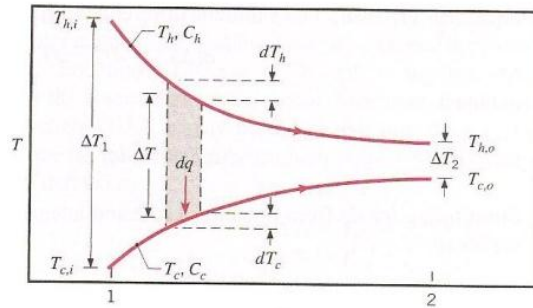
4.5.1 Parallell strøm målt mot motgående strøm

Målet med denne testen var å se om hvordan strømningsretningene var orientert i forhold til hverandre hadde noe å si for temperaturutviklingen. Under testene ble temperaturutvikling [°C] over tid [s] logget for henholdsvis parallell og motgående vannstrømning.



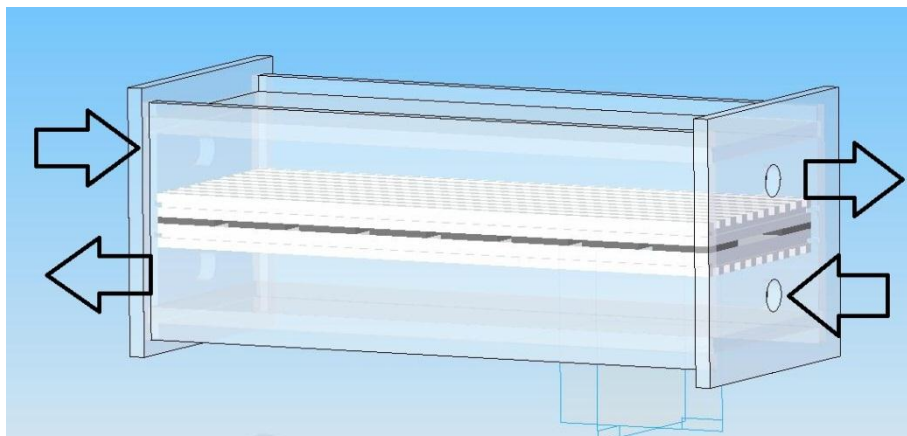
Figur 4.4: Definerer parallell strøm gjennom varmepumpen

Figur 4.4 definerer parallell strøm. Varmtvannstrøm og kaldtvannstrøm har samme retning over kjøle-/varmeribbene.



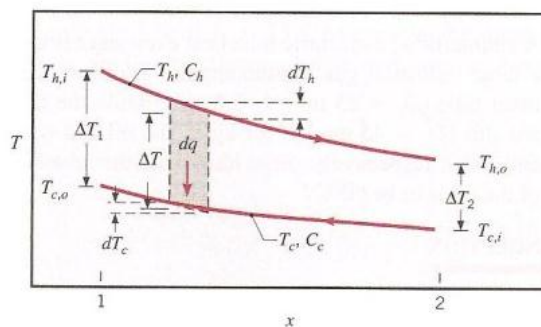
Figur 4.5: Varmeveksler med parallell strøm (tatt fra [4])

Som figur 4.5 viser vil en varmeveksler utsatt for parallell strømning få minkende temperaturdifferanse, ΔT , over strømningsretningen. Dette betyr for varmpumpen at arbeidsområdet til de ulike peltierelementene ikke blir lik. Peltierelementene som ligger i starten av varmeveksleren vil få en større ΔT over seg enn de som ligger ved strømningsutløpet. Dette vil føre til at de ulike peltierelementene arbeider i forskjellig temperaturområde, og som graf 4.10 viser vil dette føre til at de ulike peltierelementene får forskjellig COP verdi. Dette tilsier at varmpumpesystemet vil ikke fungere optimalt.



Figur 4.6: Definerer motgående strøm i varmpumpen

Bilde 4.6 definerer motgående strøm (counterflow). Varmtvannstrøm og kaldtvannstrøm har motgående retninger.

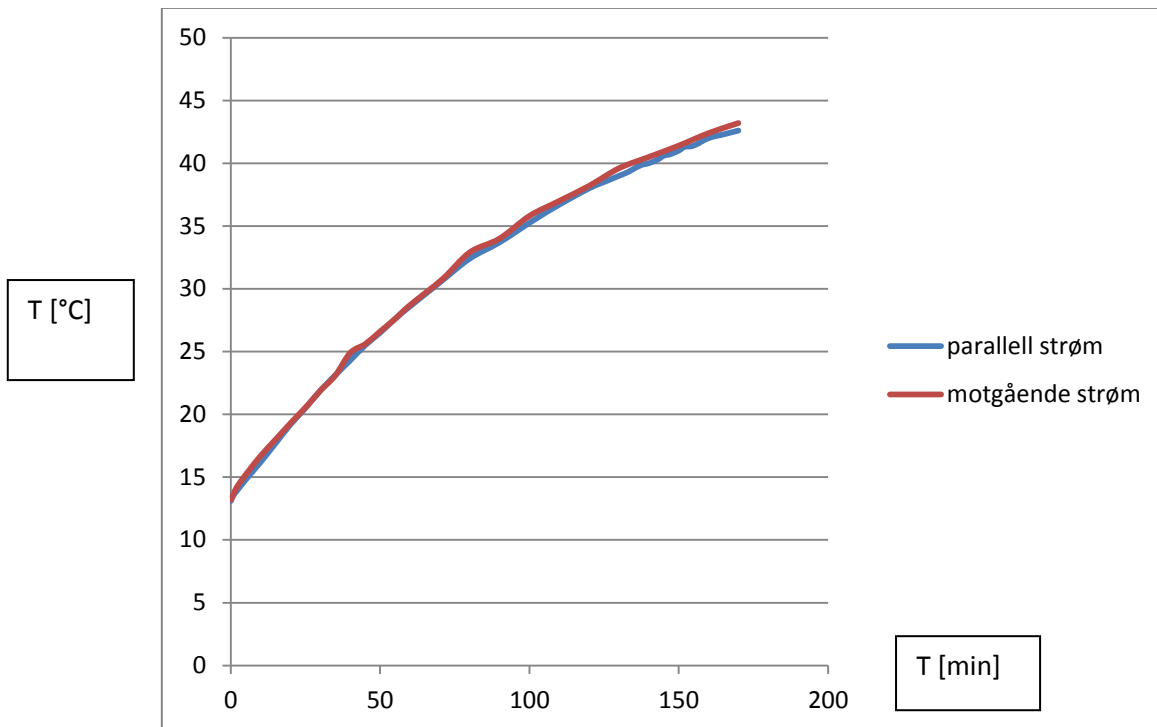


Figur 4.7: Varmeveksler utsatt for motgående strøm (tatt fra [4])

Som figur 4.7 viser vil en varmeveksler utsatt for motgående strømning ha relativt konstant temperaturdifferanse, ΔT , langs strømningsretningen. Dette fører til at alle peltierlementene arbeider innenfor samme temperaturområde, og vil gi samme COP verdi. Dermed arbeider varmepumpesystemet optimalt med tanke på COP verdi.

Graf 4.11 viser temperatur utvikling [$^{\circ}\text{C}$] som funksjon av tid for de to respektive strømningsretningene. For utfyllende måledata se vedlegg B og C.

Parallell- og motgående strøm



Graf 4.11: Parallell strøm sett i forhold til motgående strøm

Det er en marginal forskjell i favør motgående strøm. Men det kan ikke trekkes ut noen konklusjon i fra et forsøk. Motgående strømning skal i teorien gi en lik temperaturforskjell over varmevekslerflaten på varm og kald side (se figur 4.7). Dette vil føre til at alle peltierlementene jobber i det samme temperaturområdet.

4.5.2 Dynamisk COP beregninger

Målingene fra forsøk under kapittel 4.5.1 ble brukt.

Fremgangsmåte:

Utgangspunkt var ligning 2.12:

$$Q = mc\Delta T$$

Ved å innføre tidsbegrep (ligning 4.1):

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} = P [W]$$

T/t i tabell 4.9 er analog med:

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = T/t$$

(4.2)

For T/t ved t=5 min blir utregningen for motgående strømning:

$$\frac{T}{t} = \frac{15,2 - 14,2}{5 - 2} = 0,33$$

(se tabell 4.9 under t=5)

Samme fremgangsmåte ble gjort for alle målepunkter i tabell 4.9 og 4.10.

T/t blir den deriverte dT/dt med stor verdi for henholdsvis dT og dt. Med andre ord gir den en approksimasjon av dT/dt for de gitte måleverdiene. Og forteller hvor stor temperaturstigningen dividert med tiden er mellom to måleverdier. Desto større verdi for T/t, desto raskere varmer varmpumpen opp reservoaret.

counterflow					
t	V	A	W	T	T/t
0	26	3	78	13,2	
1	27,4	3	82,2	13,7	0,5
2	27,5	3	82,5	14,2	0,5
5	27,7	3	83,1	15,2	0,333333
10	28,1	3	84,3	16,7	0,3
15	28,44	3	85,32	18	0,26
20	28,8	3	86,4	19,3	0,26
25	29,2	3	87,6	20,8	0,3

Tabell 4.9: Temperaturutvikling over tid for motgående strøm

Tabell 4.9 viser målinger for motgående strøm. For utfyllende måledata se vedlegg C.

parallell					
t	V	A	W	T	T/t
0	27	3	81	13,1	
1	27	3	81	13,6	0,5
2	27,5	3	82,5	13,9	0,3
5	27,7	3	83,1	14,8	0,3
10	28,2	3	84,6	16,2	0,28
15	28,6	3	85,8	17,7	0,3
20	29	3	87	19,2	0,3
25	29,3	3	87,9	20,5	0,26

Tabell 4.10: Temperaturutvikling for parallell strøm

Tabell 4.10 viser utdrag fra målingene til parallell strøm.

Videre var det interessant å finne hvilken effekt [W] dette tilsvarer i oppvarming av reservoar. Følgende fremgangsmåte ble benyttet:

Fra ligning 4.1:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} = P [W]$$

Hvor (ligning 4.2):

$$\frac{\Delta T}{\Delta t} = \frac{T}{t} \text{ (fra tabell 4.10)}$$

Får man ved t = 5 min:

$$T/t = 0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{min}$$

$$m_{\text{vann}} = 10000\text{g}$$

$$c_{\text{vann}} = 4,18 \text{ J/g}\cdot\text{K}$$

$$P = \frac{4,18 * 10000 * 0,3}{60} = 209 \text{ W}$$

Som tabell 4.11 viser for t = 5 min blir P = 209W for counterflow. Dette forteller at varmpumpen varmer opp reservoaret med en gjennomsnittseffekt på 209W mellom målepunkt t=2min og t=5min.

Effektiv [W] tilført varme ved t [min]
--

t	counter	parallell
0	348,3333	348,3333
1	348,3333	209
2	232,2222	209
5	209	195,0667
10	181,1333	209
15	181,1333	209
20	209	181,1333
25	153,2667	195,0667

Tabell 4.11: Effekt [W] tilført varme ved t [min]

Etter beregning av tilført effekt [W] til varmtvannreservoar, var det mulig å bruke disse dataene til videre beregning av COP verdier ved en gitt tid [min].

Beregning av COP (ligning 2.16):

$$COP = \frac{Q_{ut}}{Q_{inn}} = \frac{P_{oppvarming}}{P_{peltier}}$$

For COP1 (motgående strømming):

Ved t = 5 min

$P_{peltier} = 83,1W$ (fra tabell 4.10)

$P_{oppvarming} = 209W$ (fra tabell 4.11)

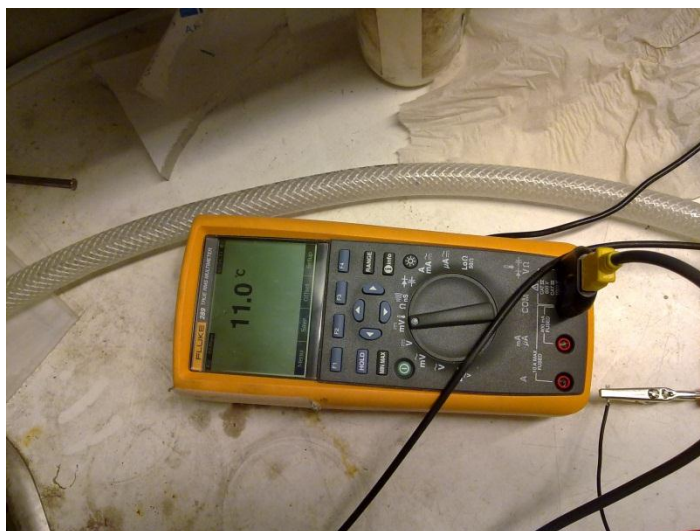
$$COP = \frac{209W}{83,1W} = 2,51$$

Denne fremgangsmåten ble brukt for dynamisk beregning av de ulike COP verdiene ved en gitt t[min].

COP1 er COP for motgående strøm. COP2 er COP for parallell strøm.

t	COP1	COP2
0	4,465812	4,300412
1	4,237632	2,580247
2	2,814815	2,533333
5	2,515042	2,347373
10	2,148675	2,470449
15	2,122988	2,435897
20	2,418981	2,081992
25	1,749619	2,219188

Tabell 4.12: COP for motgående og parallell strøm



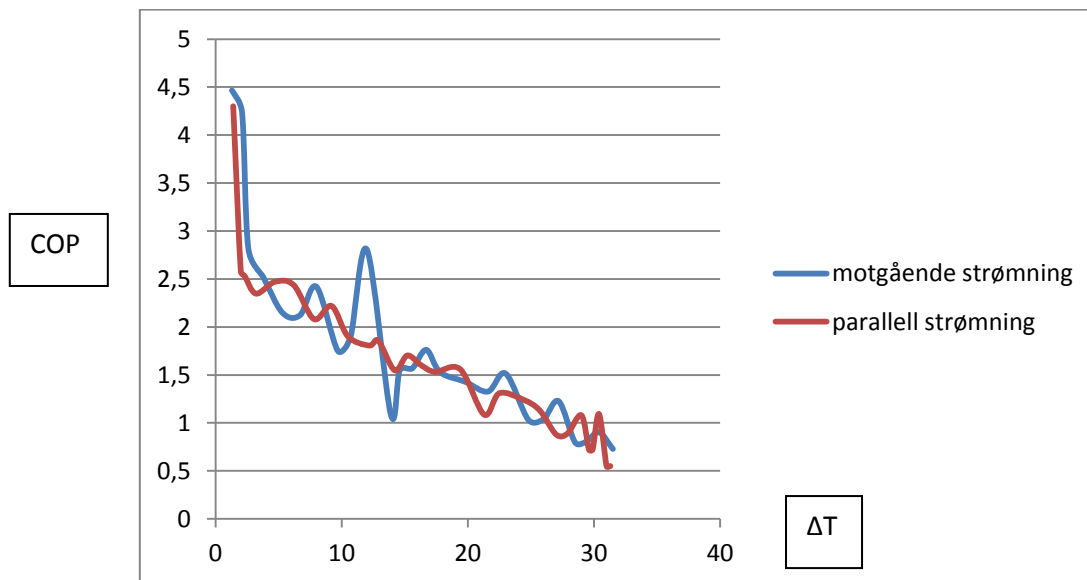
Bilde 4.8: Temperaturenhet brukt til temperaturmålingene

Ved å definere ΔT som temperaturforskjell mellom varm og kald side av varmeveksleren. Hvor T_k er målt temperatur [$^{\circ}\text{C}$] i kaldvannstrøm i varmepumpen, og ΔT er differanse mellom T (se tabell 4.9 og 4.10) og T_k .

counter			parallell		
t	T_k	ΔT	t	T_k	ΔT
0	11,9	1,3	0	11,7	1,4
1	11,6	2,1	1	11,6	2
2	11,6	2,6	2	11,6	2,3
5	11,4	3,8	5	11,6	3,2
10	11,4	5,3	10	11,5	4,7
15	11,3	6,7	15	11,5	6,2
20	11,3	8	20	11,4	7,8

Tabell 4.13: ΔT ved tid [s]

Får man ved å plote ΔT som funksjon av COP (se tabell 4.13) følgende graf:

Graf 4.12: COP som funksjon av ΔT

Denne grafen gir et representativt bilde over virkningsgraden til varmpumpen over temperaturforskjellen mellom varm og kald side av varmeveksleren. Sammenlignet med graf 4.10 har varmpumpen omtrent samme form som den teoretiske utviklingen til grafen for I_{\max} . Optimal COP får man ved lav ΔT som grafen viser.

5 Diskusjon

I dette kapittel vil resultatene bli diskutert og forslag til forbedringer nevnt.

5.1 Måleusikkerhet

Den største måleusikkerheten i denne oppgaven var om steady state ble fullstendig oppnådd ved utførelse av forsøkene. Ved forsøk på oppnåelse av steady state stoppet temperaturutviklingen aldri helt, men det ble bestemt etter skjønn når temperaturutviklingen var så liten at forsøket skulle stoppes, og tilstanden skulle antas å ha oppnådd steady state. Skjønnnet ble utøvd ved å logge temperaturutviklingen (se vedlegg F). Når den var tilnærmet stabil ble forsøket stoppet. Optimalt burde testene kjørt ett døgn per gang, men dette ville vært ekstremt tidkrevende, og store mengder vann ville blitt brukt siden kjølevannet ble tatt fra vannettet og ikke ble resirkulert. Det var også risikabelt å gå fra varmpumpen i lang tid mens den gikk på grunn av kaldvannstrømmen som ved en eventuell lekkasje ville medføre store mengder vann på avveie.

Vannpumpens termiske bidrag var også en usikkerhetsfaktor. Det termiske bidraget ble målt til å ha en steady state ved 35°C, men observasjoner av effekten til pumpen viste at den økte for stigende temperatur (kapittel 4.1.2), uten at pumpekapasiteten [l/m] endret seg. Dette betyr at det termiske bidraget mest sannsynlig økte for økende temperatur.

For de dynamiske målingene var det bedre samsvar mellom teori og målte verdier. Her viser graf 4.12 tydelig at COP for varmpumpen synker for økende ΔT . For å få en optimal dynamisk måling burde tidsintervallene vært mindre enn 5 min. Desto mindre tidsintervall desto bedre resultater. Den begrensende faktor som gjorde at tidsintervallene ble 5 min, var oppløsningen til termometeret. Det hadde en oppløsningen var på 0,1 °C. Ved tilstrekkelig høy ΔT var temperaturstigningen så lav at det hadde vært ønskelig med et termometer som kunne måle i bedre oppløsning.

5.2 Varmeveksler

Det er usikkert om geometrien og antall riller i aluminiumsribbene var optimal. Dette er en faktor som ikke vil ha veldig mye å si for COP, men vil nok være målbart.

Den termiske kontakten mellom peltierelementer og varmeveksler er avhengig å være god for å få gode resultater for COP. Det ble lagt til rette for at den skulle være god, men det ble ikke foretatt noen målinger på hvor god den var. Det at varmpumpen måtte fresas i to gjorde at den opprinnelige konstruksjonen som skulle sikre god termisk kontakt opphørte. Som en nødløsning ble en ytre last påført for å få termisk kontakt.

5.3 Vannpumpe

Typen vannpumpe brukt i forsøkene viste seg å være dårlig egnet til formålet, men det var den eneste som var tilgjengelig. Problemene med vannpumpen var at den ikke kunne pumpe vann

varmere enn 60 °C (se vedlegg L). Det ble gjort forsøk som overskredet denne spesifikasjonen, men det var da tydelig at vannpumpen begynte å få problemer (gikk ujevnt). Pumpens termiske bidrag som beskrevet over gjorde at målingene for steady state ble gjort i et lite gunstig temperaturområde fordi varmepumpens optimale temperaturområde ble overskredet. Vannpumpen varmet opp reservoaret til et temperaturområde som gjorde at varmepumpens COP verdi aldri kunne bli bra. Dette førte til at alle steady state målinger på varmepumpe ble foretatt i et temperaturområde som tilsa at COP ville være lav, og det ble den. (kapitel 4.4)

Det står i bruksanvisningen til pumpen (vedlegg L) at den ikke er designet til å kjøre kontinuerlig, dette kan forklare at effekten [W] til pumpen øker over tid hvis komponenter inne i vannpumpen blir overopphetet slik at friksjonen øker, men dette blir bare spekulasjoner.

5.4 Forslag til forbedringer

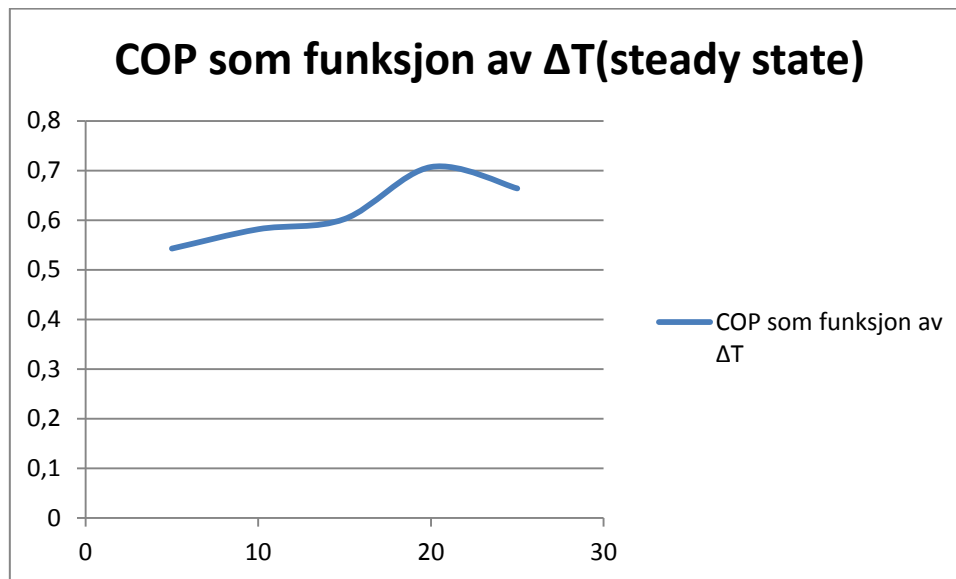
Som forslag til forbedringer kan følgende nevnes:

- Konstruere varmepumpen slik at termisk kontakt mellom peltierelementer og varmeveksler blir bedre.
- Bruke en vannpumpe som ikke tilfører varme på systemet.
- Koble vannstrømningene til en radiator slik at testing av oppvarming av et rom kan utføres.
- Bruke en lukket krets for kaldtvannstrøm slik at ikke vann fra vannettet blir brukt.
- Se om COP blir bedre ved legge peltierelementer lagvis i høyden.
- Kjøre testene lenger slik at fullstendig steady state oppnås.

6 Konklusjon

Dette kapittel gir en beskrivelse av hovedkonklusjonen i denne oppgaven.

6.1 Steady state målinger

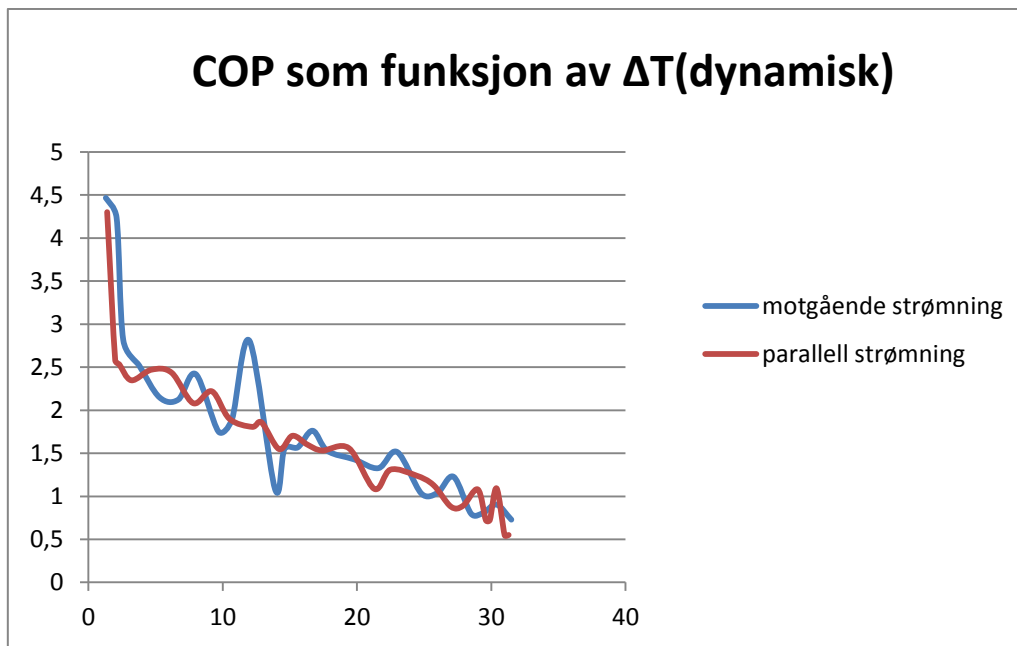


Graf 4.9: COP som funksjon av ΔT

Den beste måten å måle systemet på er å kjøre systemet opp til steady state, da blir det mindre måleparametere. Men for å kunne gjennomføre steady state målinger er man avhengig av å bruke en vannpumpe som ikke tilfører varme til systemet, det var det ikke i oppsettet til denne oppgaven og det gjorde at målingene for steady state ble foretatt i et temperaturområde der peltierelementene ikke var effektive. Dette forklarer de lave COP verdiene. Grunnen til at COP er stigende er at vannreservoaret ikke hadde oppnådd fullstendig steady state.

I graf 4.9 er ΔT differansen mellom steady state vannpumpe (35°C) og varmtvannsreservoar. Dette betyr at for sammenligning med ΔT i figur 4.12, som har ΔT definert som temperaturforskjell mellom varmtvannsreservoar og kaldtvannstrøm, blir $\Delta T=0$ i figur 4.9 tilsvarende $\Delta T=35^{\circ}\text{C} - 11^{\circ}\text{C} = 24^{\circ}\text{C}$ i figur 4.12.

6.2 Dynamiske målinger



Graf 4.12: COP som funksjon av ΔT

De dynamiske målingene gir et bedre bilde av COP for varmepumpen. Her er det tydelig at COP er høyest for lav ΔT . Ved å holde ΔT under ca. 28°C vil man ha en COP bedre enn 1, og med ΔT på 20°C har varmepumpen en COP på 1,5.

Ved å holde varmepumpen innenfor et ΔT område, hvor ΔT er temperaturforskjell mellom kaldtvannstrøm og varmtvannsreservoar, under 28°C vil varmepumpen ha en COP verdi over 1. Med andre ord vil den gi mer varme enn hva den forbruker i strøm. Dette er tilfredsstillende resultater, men det finnes forbedringspotensial slik at COP kan bli bedre (se kapittel 5.4).

6.3 Termoelektrisitet til bruk i varmepumpe

Termoelektrisitet kan aldri oppnå COP verdiene til en tradisjonell varmepumpe fordi prinsippene som ligger bak ikke er like effektive som for bruken av et kjølemedium og dets egenskaper ved fordamping og kondensering.

Men fordelene ved bruk av termoelektrisitet er at varmepumpeenhetene kan bygges veldig små, slik at oppvarmingen av for eksempel et hus kan styres mer effektivt ved at mange små varmepumper brukes i stedet for en stor. En termoelektrisk varmepumpe har heller ingen bevegelige deler eller bekymringsfulle gasser, og de ulike delene er meget robuste og har lang levetid. Eksempelvis har en tradisjonell varmepumpe levetid på mellom 10-15 år ved jevnlig service[X]

Så avslutningsvis vil jeg påstå at bruken av termoelektrisitet kan ha en funksjon som varmepumpe i større skala en gang i fremtiden, men det må nok forskes en del mer på området slik at enda bedre

termoelektriske elementer kan utvikles. Det er hvor effektive de termoelektriske elementene er, som bestemmer effektiviteten til varmepumpen.

7 Litteraturliste

1. Kvernmo, G., *konstruksjon og analyse av solarbasert mikro chp-anlegg med termoelektrisk generator*. Masteroppgave
2. Guzs, D., *Kraft- og varme-produksjon av røykgass ved bruk av termoelektrisk generator (TEG)*. Masteroppgave 2009
3. Sonntag, R.E., Borgnakke, C., Van Wylen, G.J., *Fundamentals of thermodynamics*. Wiley, USA, 2003.
4. Incropera, F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine A.S., *Introduction to heat transfer*. Wiley, USA, 2007.
5. Hambley, A.R., *Electrical Engineering, Principles and applications*. Pearson Prentice Hall. USA, 2008.
6. Goldsmid, H.J., *Applications of Thermoelectricity*. Methuens Physical Monographs, USA , 1960.
7. Macdonald, D.K.C., *Thermoelectricity: an introduction to the principles*. John Wiley & Sons, USA, 1962.
8. Ukjent forfatter, *Unngå varmpumpefella*. [online] Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/nyheter/energi/article30958.ece>, [nedlastet 14.06.2010]
9. Ukjent forfatter, *Heat pump*. [online] Tilgjengelig fra: http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pump [nedlastet 04.2010]

Vedlegg:

I dette kapitlet finnes alle vedlegg som er relevant til oppgaven.

VEDLEGG:	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG A: DYNAMISKE COP BEREGNINGER.....	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG B: TEMPERATURUTVIKLING FOR PARALLELL STRØM.....	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG C: TEMPERATURUTVIKLING FOR MOTSTRØM.....	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG D: TESTKJØRINGER AV SYSTEM MED FORSKJELLIGE PARAMETERE	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG E: IMPELLERPUMPE MÅLINGER.....	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG F: STEADY STATE MÅLINGER	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG G: TEORETISK TEMPERATURUTVIKLING	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG H: VARMETILFØRSEL IMPELLERPUMPE	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG I: ΔT OVER ALUMINIUMSRIBBENE	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG J: ARBEIDSTEGNINGER:	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG K: EGENSKAPER FOR NOEN MATERIALER.....	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.
VEDLEGG L: SPESIFIKASJONER IMPELLERPUMPE	FEIL! BOKMERKE ER IKKE DEFINERT.

Vedlegg A: Dynamiske COP beregninger

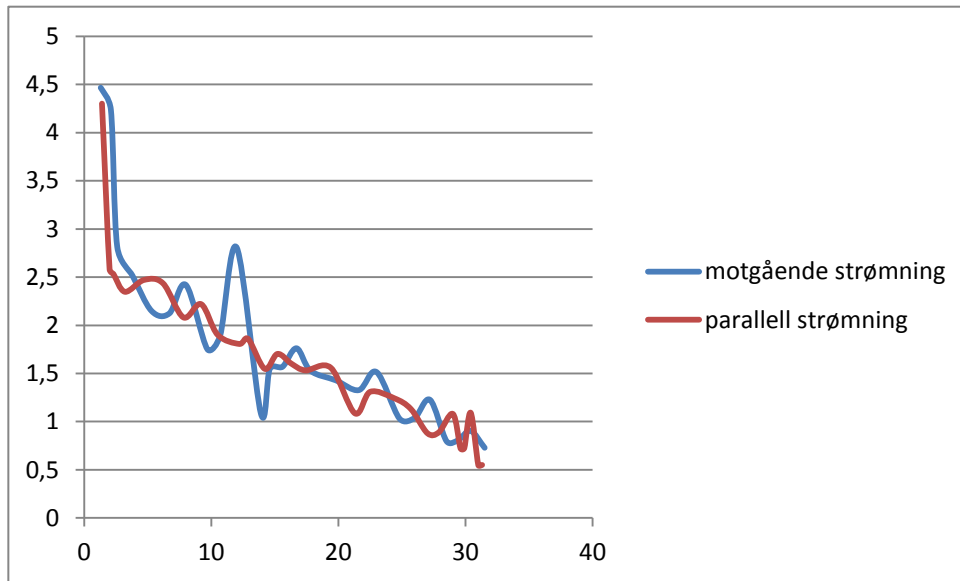
counterflow						parallell					
t[min]	V	A	W	T[°C]	T/t	t[min]	V	A	W	T[°C]	T/t
0	26	3	78	13,2		0	27	3	81	13,1	
1	27,4	3	82,2	13,7	0,5	1	27	3	81	13,6	0,5
2	27,5	3	82,5	14,2	0,5	2	27,5	3	82,5	13,9	0,3
5	27,7	3	83,1	15,2	0,333333	5	27,7	3	83,1	14,8	0,3
10	28,1	3	84,3	16,7	0,3	10	28,2	3	84,6	16,2	0,28
15	28,44	3	85,32	18	0,26	15	28,6	3	85,8	17,7	0,3
20	28,8	3	86,4	19,3	0,26	20	29	3	87	19,2	0,3
25	29,2	3	87,6	20,8	0,3	25	29,3	3	87,9	20,5	0,26
30	29,4	3	88,2	21,9	0,22	30	29,67	3	89,01	21,9	0,28
35	29,8	3	89,4	23,1	0,24	37	30	3	90	23,6	0,242857
40	30	3	90	24,9	0,36	40	30	3	90	24,3	0,233333
45	30	3	90	25,6	0,14	45	30	3	90	25,5	0,24
50	30	2,96	88,8	26,6	0,2	50	30	3	90	26,5	0,2
55	30	2,9	87	27,6	0,2	55	30	2,9	87	27,6	0,22
60	30	2,9	87	28,7	0,22	60	30	2,88	86,4	28,6	0,2
71	30	2,89	86,7	30,8	0,190909	70	30	2,83	84,9	30,5	0,19
80	30	2,8	84	32,4	0,177778	80	30	2,78	83,4	32,4	0,19
90	30	2,76	82,8	34	0,16	90	30	2,74	82,2	33,7	0,13
100	30	2,7	81	35,8	0,18	101	30	2,7	81	35,4	0,154545
110	30	2,68	80,4	37	0,12	110	30	2,67	80,1	36,7	0,144444
120	30	2,65	79,5	38,2	0,12	120	30	2,64	79,2	38	0,13
130	30	2,62	78,6	39,6	0,14	130	30	2,61	78,3	39	0,1
140	30	2,59	77,7	40,5	0,09	140	30	2,58	77,4	40	0,1
150	30	2,57	77,1	41,4	0,09	145	30	2,57	77,1	40,6	0,12
160	30	2,55	76,5	42,4	0,1	150	30	2,56	76,8	41	0,08
170	30	2,52	75,6	43,2	0,08	155	30	2,55	76,5	41,4	0,08
						160	30	2,54	76,2	42	0,12
						165	30	2,53	75,9	42,3	0,06
						170	30	2,53	75,9	42,6	0,06

	Effektiv varme tilført				
t	counter	parallell	t	COP1	COP2
0	348,3333	348,3333	0	4,465812	4,300412
1	348,3333	209	1	4,237632	2,580247
2	232,2222	209	2	2,814815	2,533333
5	209	195,0667	5	2,515042	2,347373
10	181,1333	209	10	2,148675	2,470449
15	181,1333	209	15	2,122988	2,435897
20	209	181,1333	20	2,418981	2,081992
25	153,2667	195,0667	25	1,749619	2,219188
30	167,2	169,1905		1,895692	1,900803
35	250,8	162,5556		2,805369	1,806173
40	97,53333	167,2		1,083704	1,857778
45	139,3333	139,3333		1,548148	1,548148
50	139,3333	153,2667		1,569069	1,702963
55	153,2667	139,3333		1,761686	1,601533
60	133	132,3667		1,528736	1,532022
70	123,8519	132,3667		1,42851	1,559089
80	111,4667	90,56667		1,326984	1,085931
90	125,4	107,6667		1,514493	1,309813
100	83,6	100,6296		1,032099	1,242341
110	83,6	90,56667		1,039801	1,13067
120	97,53333	69,66667		1,226834	0,87963
130	62,7	69,66667		0,79771	0,88974
140	62,7	83,6		0,80695	1,080103
150	69,66667	55,73333		0,903588	0,722871
160	55,73333	55,73333		0,72854	0,725694
170	0	83,6			1,09281
180	0	41,8			0,548556
190	0	41,8			0,550725
200					

counter			parallell		
t	T_0	ΔT	t	T_0	ΔT
0	11,9	1,3	0	11,7	1,4
1	11,6	2,1	1	11,6	2
2	11,6	2,6	2	11,6	2,3
5	11,4	3,8	5	11,6	3,2
10	11,4	5,3	10	11,5	4,7
15	11,3	6,7	15	11,5	6,2
20	11,3	8	20	11,4	7,8
25	11,1	9,7	25	11,3	9,2

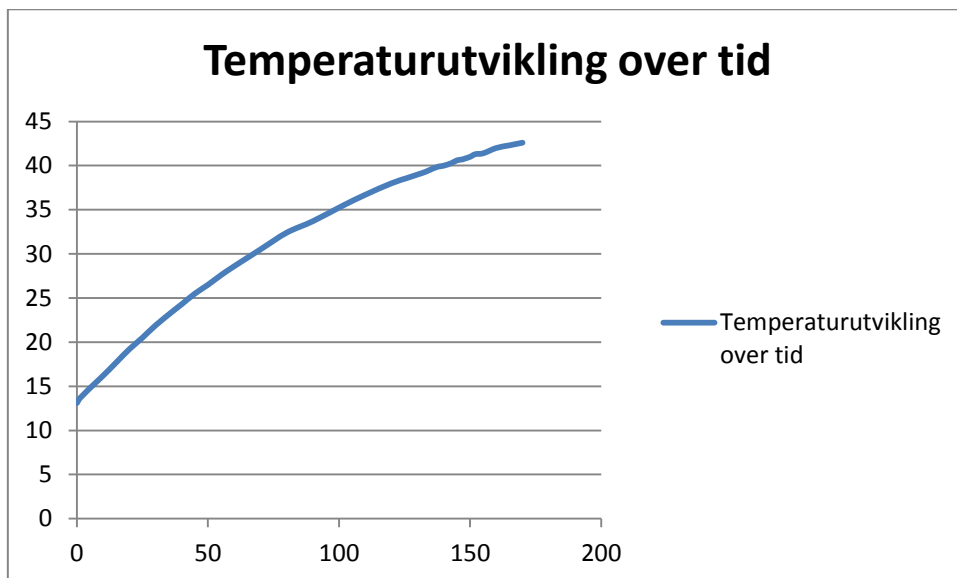
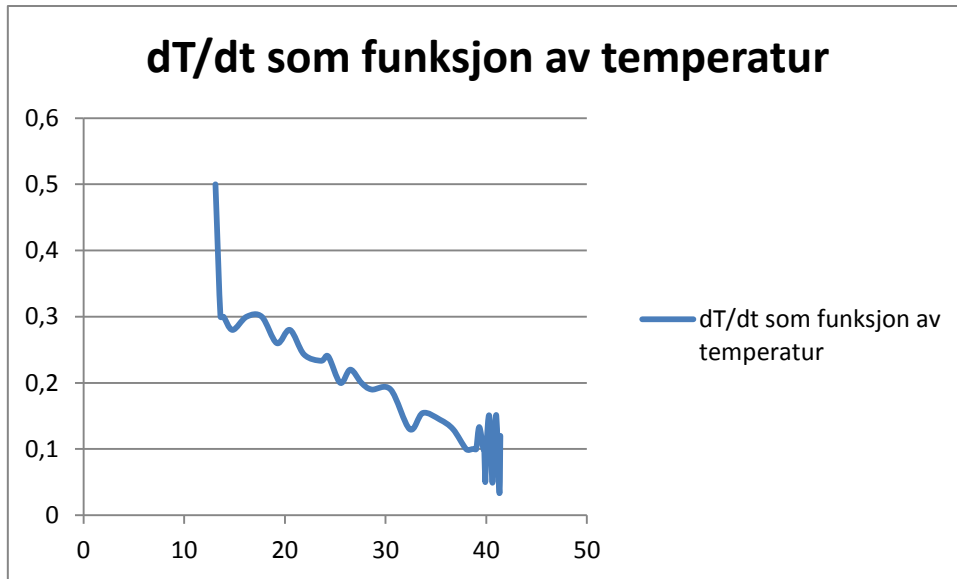
30	11,2	10,7	30	11,4	10,5
35	11,1	12	35	11,4	12,2
40	11	13,9	40	11,4	12,9
45	11	14,6	45	11,3	14,2
50	11	15,6	50	11,3	15,2
55	10,9	16,7	55	11,3	16,3
60	10,9	17,8	60	11,2	17,4
71	11	19,8	70	11,1	19,4
80	10,8	21,6	80	11,1	21,3
90	11	23	90	11,2	22,5
102	11	24,8	101	11	24,4
110	11	26	110	11	25,7
120	11	27,2	120	11	27
130	11,1	28,5	130	11,1	27,9
140	11,1	29,4	140	11	29
150	11	30,4	145	11	29,6
160	10,9	31,5	150	11,1	29,9
170	11	32,2	155	11	30,4
			160	11	31
			165	11	31,3
			170	11	31,6

COP som funksjon av ΔT



Vedlegg B: Temperaturutvikling for parallell strøm

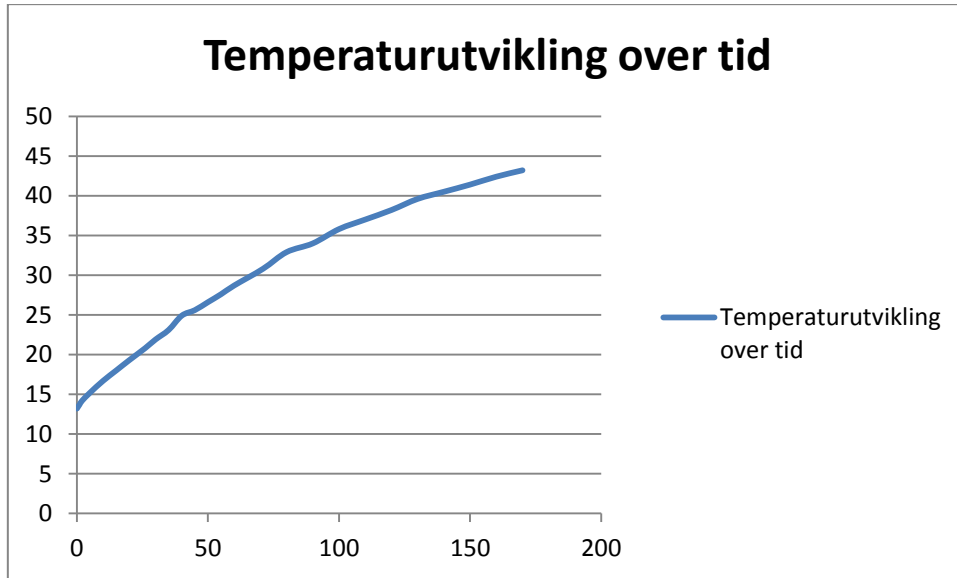
t[min]	T[$^{\circ}\text{C}$]		dT/dt
0	13,1		0,5
1	13,6		0,3
2	13,9		0,3
5	14,8		0,28
10	16,2		0,3
15	17,7		0,3
20	19,2		0,26
25	20,5		0,28
30	21,9		0,242857
37	23,6		0,233333
40	24,3		0,24
45	25,5		0,2
50	26,5		0,22
55	27,6		0,2
60	28,6		0,19
70	30,5		0,19
80	32,4		0,13
90	33,7		0,154545
101	35,4		0,144444
110	36,7		0,13
120	38		0,1
126	38,6		0,1
128	38,8		0,1
130	39		0,1
133	39,3		0,133333
136	39,7		0,1
137	39,8		0,1
138	39,9		0,05
140	40		0,1
143	40,3		0,15
145	40,6		0,05
147	40,7		0,1
148	40,8		0,1
150	41		0,15
152	41,3		0,033333
155	41,4		0,12
160	42		0,06
165	42,3		0,06
170	42,6		



Vedlegg C: Temperaturutvikling for motstrøm

Målinger counterflow

t[min]	T[°C]	V	A	W
0	13,2	26	3	78
1	13,7	27,4	3	82,2
2	14,2	27,5	3	82,5
5	15,2	27,7	3	83,1
10	16,7	28,1	3	84,3
15	18	28,44	3	85,32
20	19,3	28,8	3	86,4
26	20,8	29,2	3	87,6
30	21,9	29,4	3	88,2
35	23,1	29,8	3	89,4
40	24,9	30	3	90
45	25,6	30	3	90
50	26,6	30	2,96	88,8
55	27,6	30	2,9	87
60	28,7	30	2,9	87
71	30,8	30	2,84	85,2
80	32,9	30	2,8	84
90	34	30	2,76	82,8
100	35,8	30	2,7	81
110	37	30	2,68	80,4
120	38,2	30	2,65	79,5
130	39,6	30	2,62	78,6
140	40,5	30	2,59	77,7
150	41,4	30	2,57	77,1
160	42,4	30	2,55	76,5
170	43,2	30	2,52	75,6



Vedlegg D: Testkjøringer av system med forskjellige parametere

Test 10 L vann pumpe 8 v

kald strøm 16,57

s/0,9l

3,2589 l/m

pumpe 8 v

t	T	A	W
0	14,4	3	78
1	14,9	3	78
1,5	15,1	3	84
2	15,2	3,03	84,84
3	15,5	3,03	84,84
5	16,1	3,03	84,84
10	17,5	3,03	84,84

t	T	A	W
0	18,6	3	84
1	18,9	3	87,3
2	19,2	3	88,2
3	19,5	3	88,5
4	19,7	3	88,8
5	20	3	88,8
6	20,5	3	89,1
7	20,8	3	90
8	21	3	90
9	21	3	90
10	21,3	3	90
20	23,8	3	90

Pumpe 12 v			
t	T	A	W
0	23,9	3	90
1	24,3	2,99	89,7
2	24,6	2,94	88,2
3	24,9	2,94	88,2
8	26,3	2,94	88,2
10	26,8	2,94	88,2
15	28,2	2,94	88,2
20	29,5	2,8	84
30	32,1	2,8	84

	pumpe 4 v				pumpe 12 v			
t	T	A	W		t	T	A	W
0	31	2,72	81,6		0	31,2	2,7	81
1	31,2	2,72	81,6		1	31,5	2,7	81
2	31,4	2,72	81,6		2	31,7	2,7	81
3	31,5	2,72	81,6		3	32	2,7	81
5	31,7	2,72	81,6		5	32,5	2,7	81
10	32,4	2,72	81,6		10	33,5	2,7	81
					15	34,4	2,7	81

counterflow		pumpe 12 v	
t	T	A	W
0	34,4	2,69	80,7
1	34,3	2,69	80,7
2	34,5	2,69	80,7
3	34,7	2,69	80,7
5	35,1	2,69	80,7
10	36,2	2,69	80,7
15	37,2	2,69	80,7

Vedlegg E: Impellerpumpe målinger

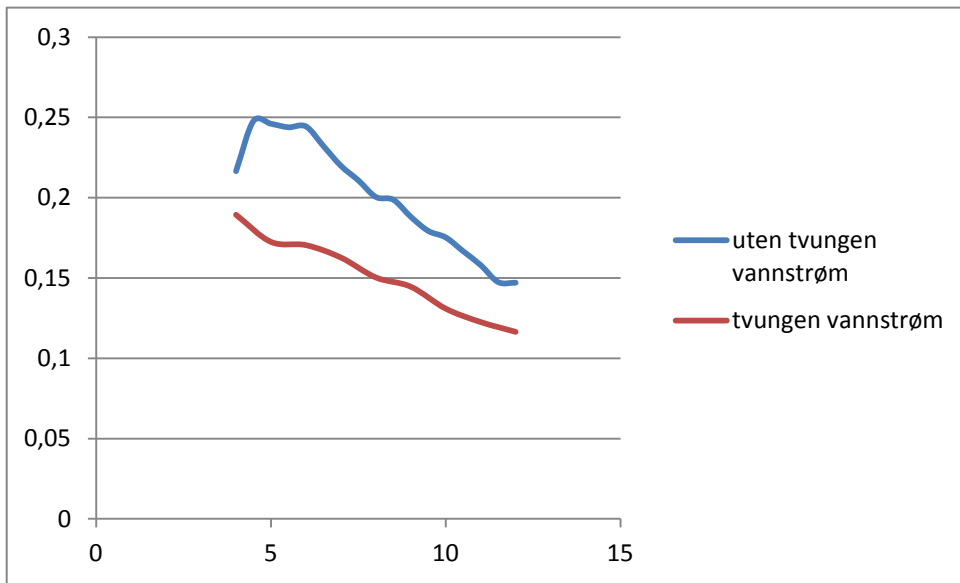
Uten vannstopper

V	A	W	s/0.9l	l/m	(l/m)/w
4	5,8	23,2	10,75	5,02	0,21652
4,5	5,8	26,1	8,35	6,47	0,24778
5	5,9	29,5	7,44	7,26	0,246036
5,5	6	33	6,71	8,05	0,243869
6	6,2	37,2	5,94	9,09	0,244379
6,5	6,3	40,95	5,68	9,51	0,232162
7	6,57	45,99	5,34	10,11	0,219882
7,5	6,75	50,63	5,06	10,67	0,210804
8	7	56	4,81	11,23	0,200475
8,5	7,2	61,2	4,44	12,16	0,198728
9	7,4	66,6	4,31	12,53	0,188123
9,5	7,62	72,39	4,16	12,98	0,179317
10	7,9	79	3,9	13,85	0,175268
10,5	8,1	85,05	3,81	14,17	0,166646
11	8,35	91,85	3,72	14,52	0,158042
11,5	8,7	100,1	3,66	14,75	0,147467
12	9	108	3,4	15,88	0,147059

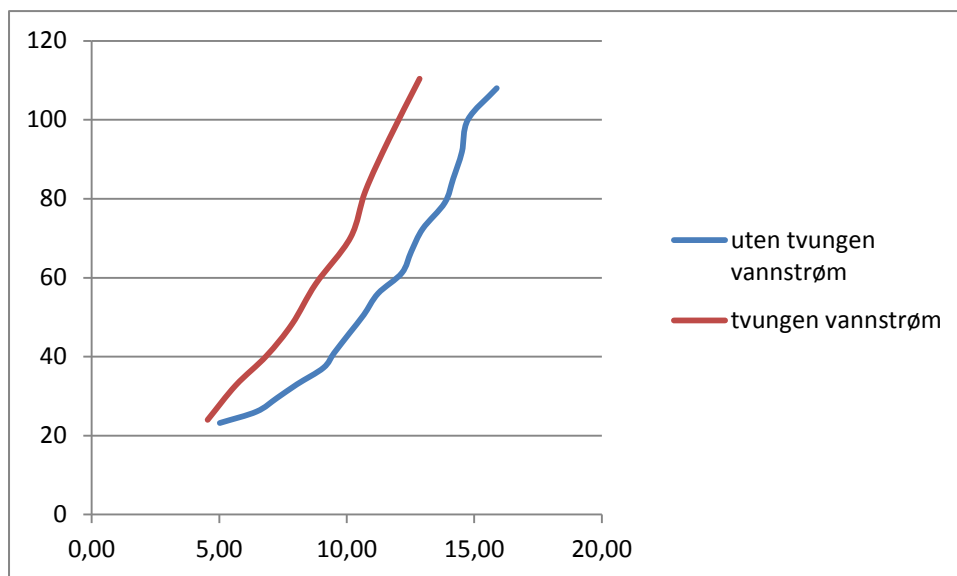
Med vannstopper

v	A	W	s/0,9l	l/m	(l/m)/w
4	6	24	11,88	4,55	0,189394
5	6,55	32,75	9,56	5,65	0,172474
6	6,7	40,2	7,88	6,85	0,170467
7	6,9	48,3	6,87	7,86	0,162738
8	7,3	58,4	6,15	8,78	0,150351
9	7,8	70,2	5,32	10,15	0,144592
10	8,2	82	5,03	10,74	0,130922
11	8,65	95,15	4,63	11,66	0,122576
12	9,2	110,4	4,2	12,86	0,11646

$(l/m)/w$ som funksjon av pumpeeffekt



pumpeeffekt som funksjon av l/m



Vedlegg F: Steady state målinger

steady state

målinger for varmepumpe

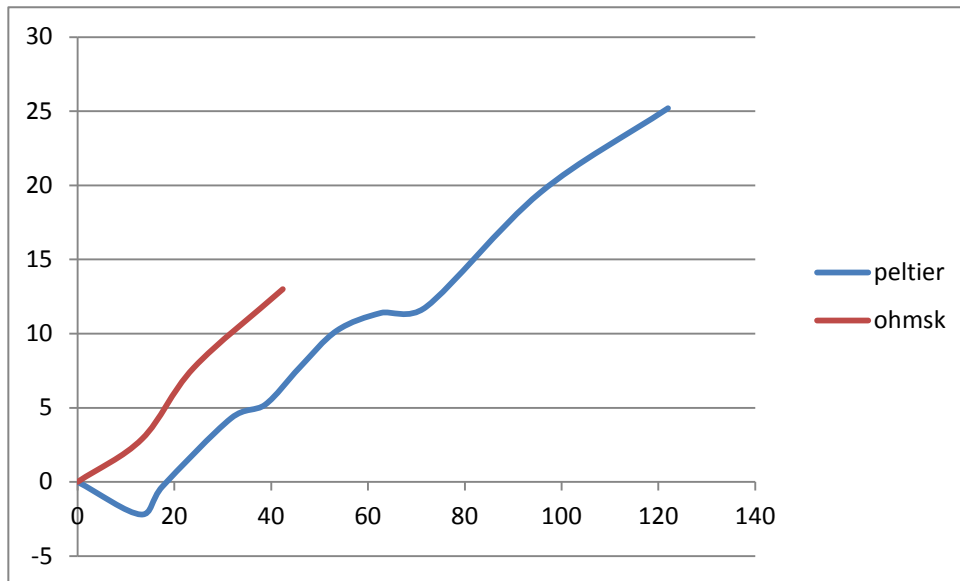
V	A	W	T[min]	ΔT
0	0	0	35	0
13	1,01	13,13	32,8	-2,2
15	1,17	17,55	34,7	-0,3
20	1,587	31,74	39,3	4,3
22	1,76	38,72	40,2	5,2
24	1,91	45,84	42,7	7,7
26	2,06	53,56	45,2	10,2
28	2,24	62,72	46,4	11,4
30	2,4	72	46,8	11,8
35	2,73	95,55	54,5	19,5
40	3,05	122	60,2	25,2

Målinger ohmsk motstand

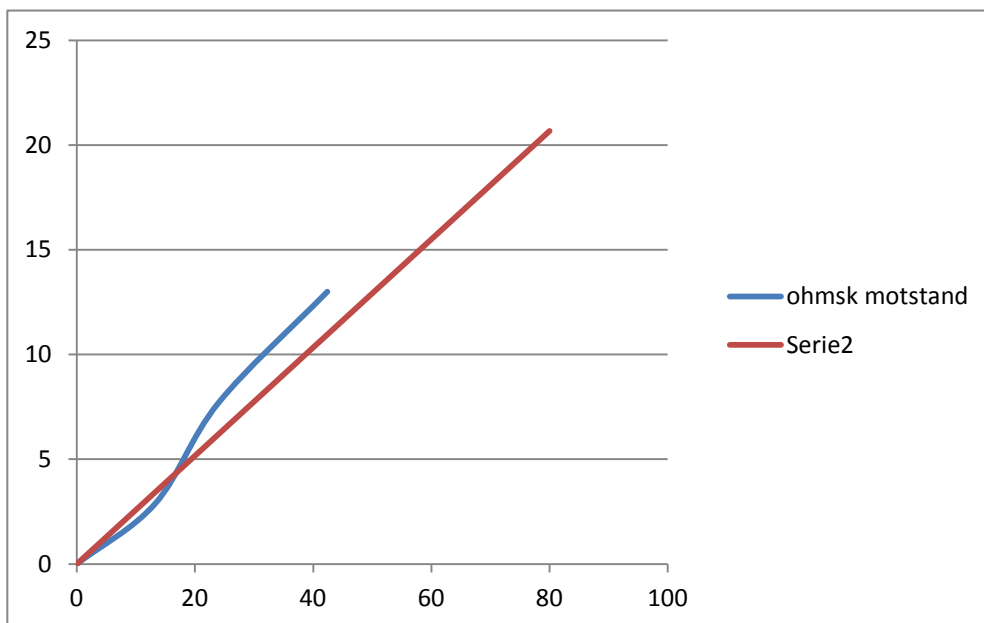
V	A	W	T	ΔT
0	0	0	35	0
45	0,3	13,32	37,9	2,9
60	0,4	24	42,7	7,7
80	0,53	42,4	48	13

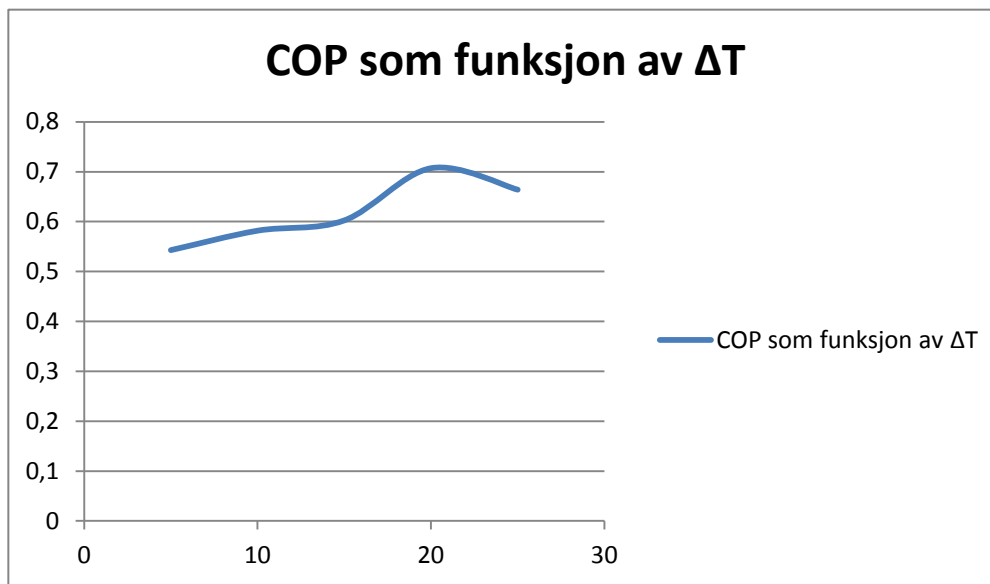
P ved delta T				
peltier	ohm	ΔT		cop
35	19	5		0,543
55	32	10		0,582
83	50	15		0,602
99	70	20		0,707
125	83	25		0,664

Temperaturutvikling for ohmsk og peltier



Temperaturutvikling for ohmsk og teoretisk



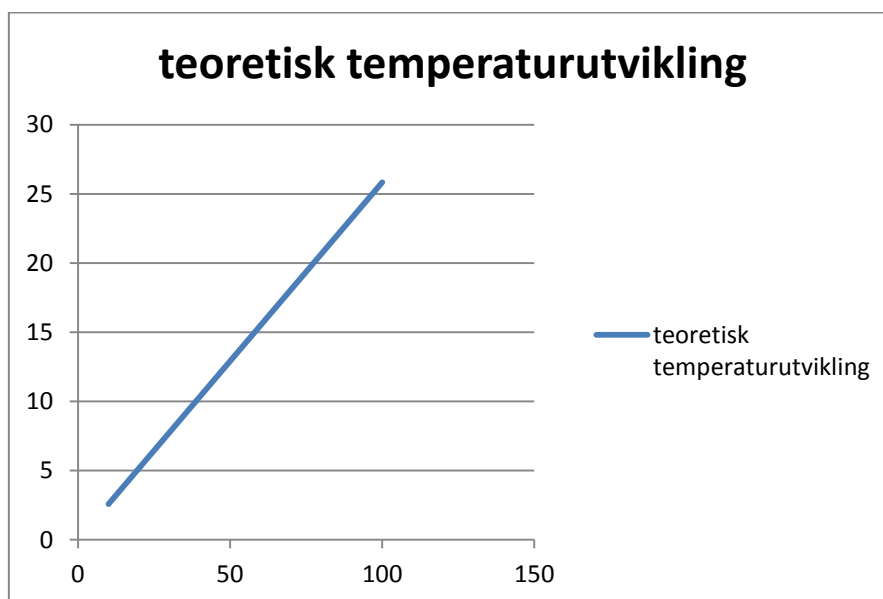


Vedlegg G: Teoretisk temperaturutvikling

Teoretisk temperatur utvikling som følge av økende P

Ved kjøring i 3 timer =
 $3 \cdot 3600s$

P	ΔT
10	2,583732
15	3,875598
20	5,167464
25	6,45933
30	7,751196
35	9,043062
40	10,33493
45	11,62679
50	12,91866
55	14,21053
60	15,50239
65	16,79426
70	18,08612
75	19,37799
80	20,66986
85	21,96172
90	23,25359
95	24,54545
100	25,83732



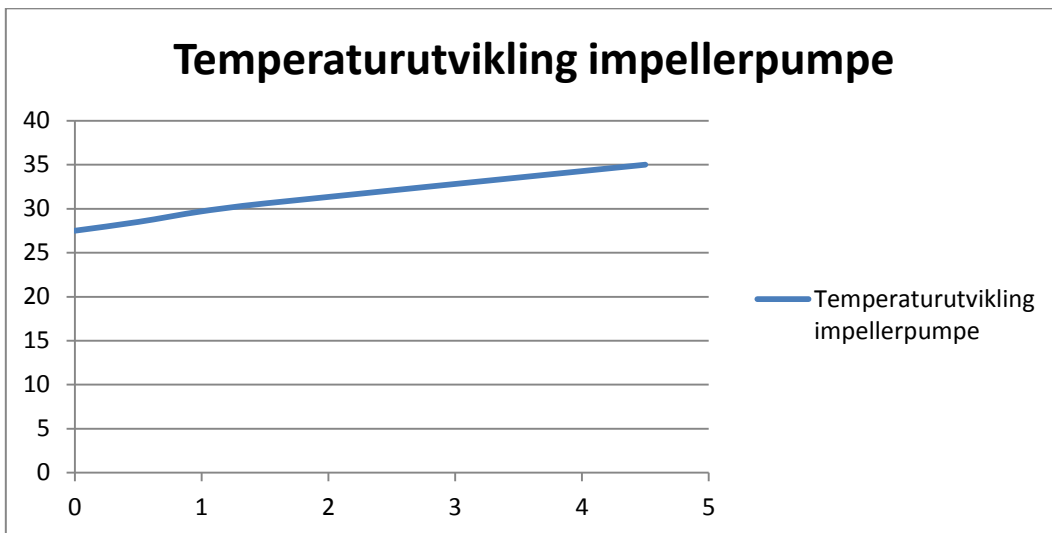
Vedlegg H: Varmetilførsel impellerpumpe

Evaluering av varmetilførsel vannpumpe

t[time]	T[°C]	Tilført P[W]
0	27,5	
0,5	28,5	23,22
1	29,7	27,87
1,5	30,6	20,90
4,5	35	17,03

Viser at pumpe tilfører i overkant av 20 w varme

pumpe har et omtrentlig forbruk på 55 w for lave temperaturer, og 75 w for høye.

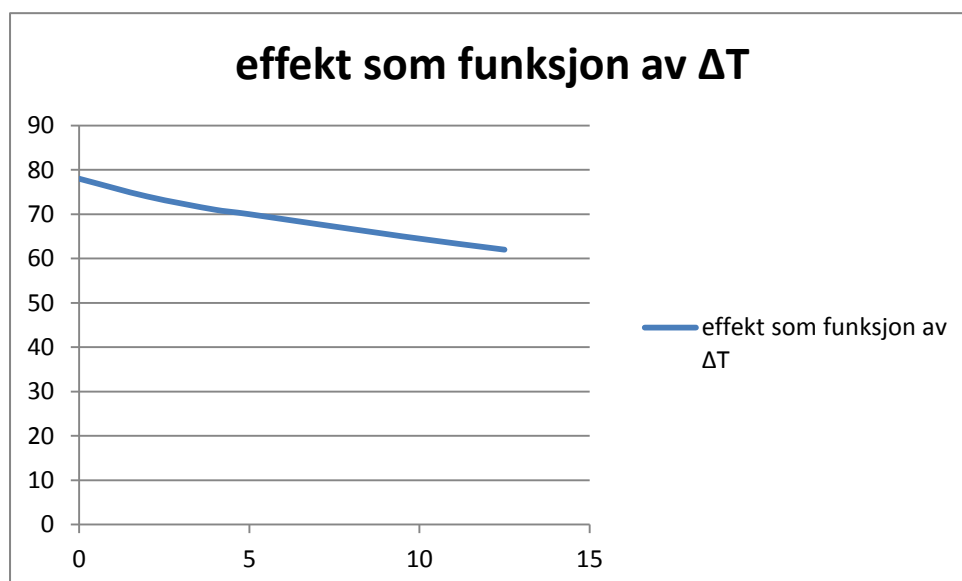
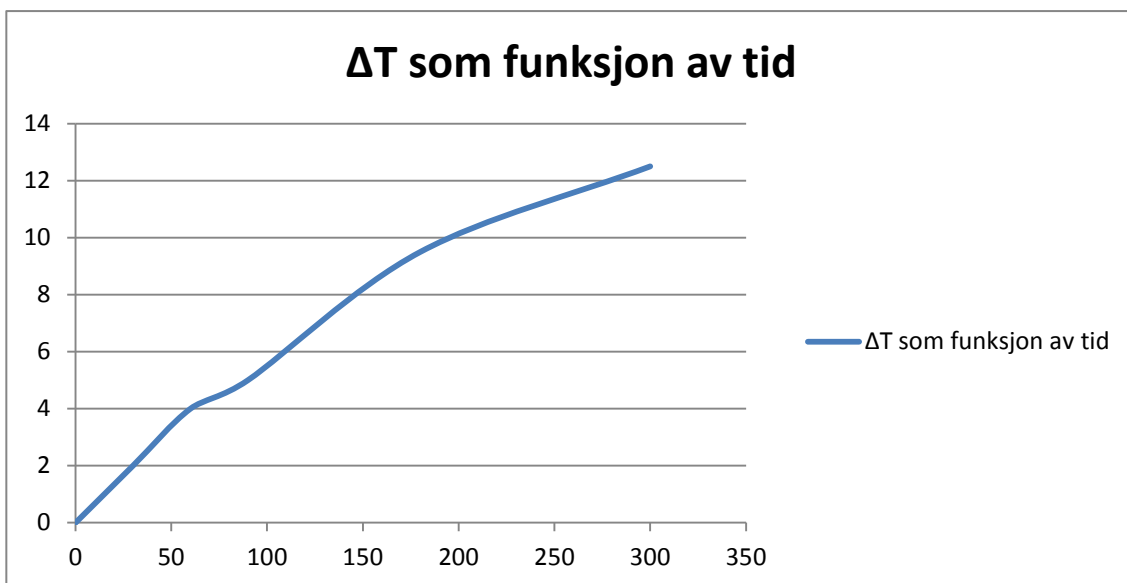


Vedlegg I: ΔT over aluminiumsribbene

Test av temperaturforskjell mellom kald og varm kjøleribbe.

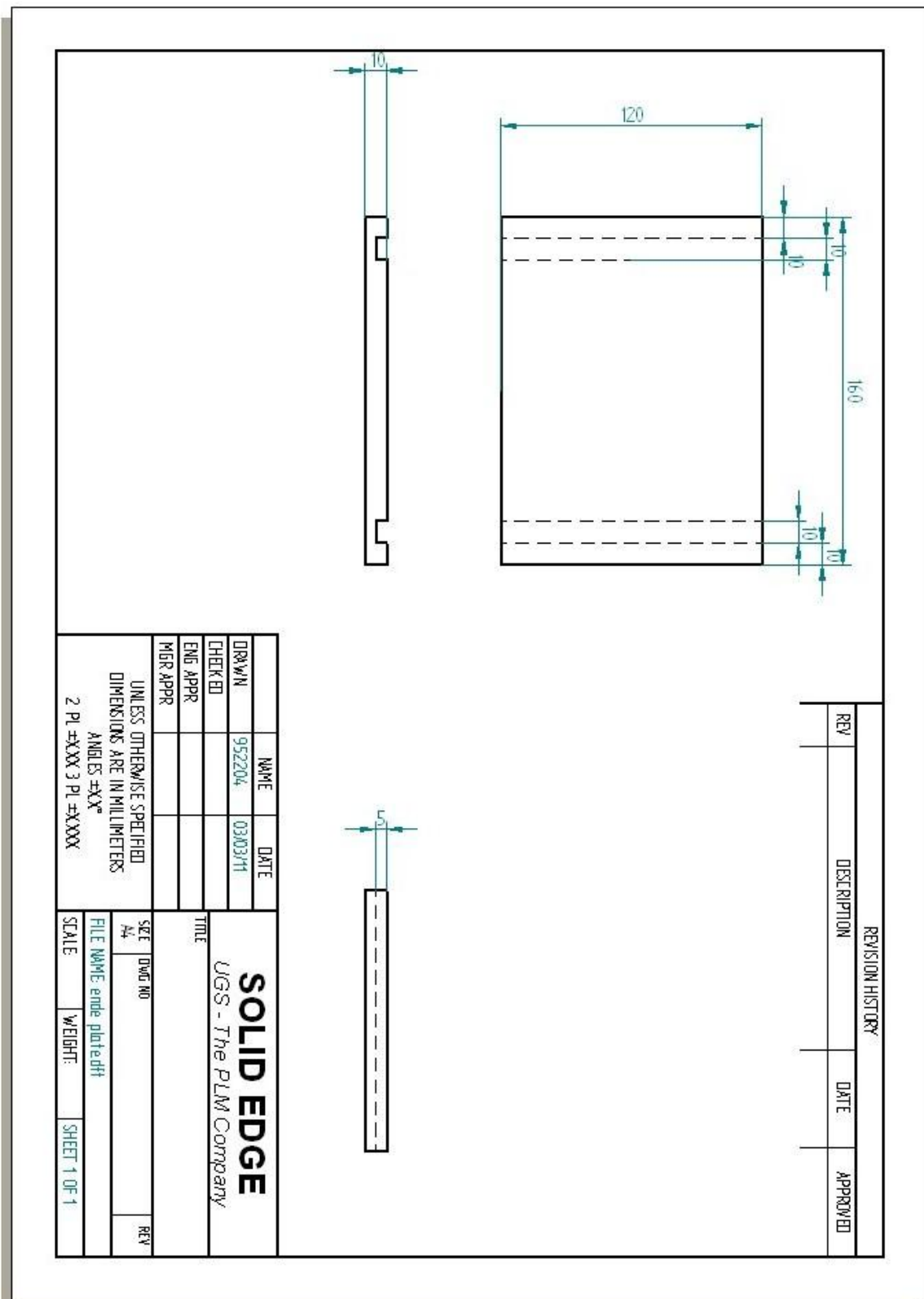
spenning
25v

$\Delta T [^{\circ}\text{C}]$	t[s]	P[W]
0	0	78
2	30	74
4	60	71
5	90	70
9,5	180	65
12,5	300	62

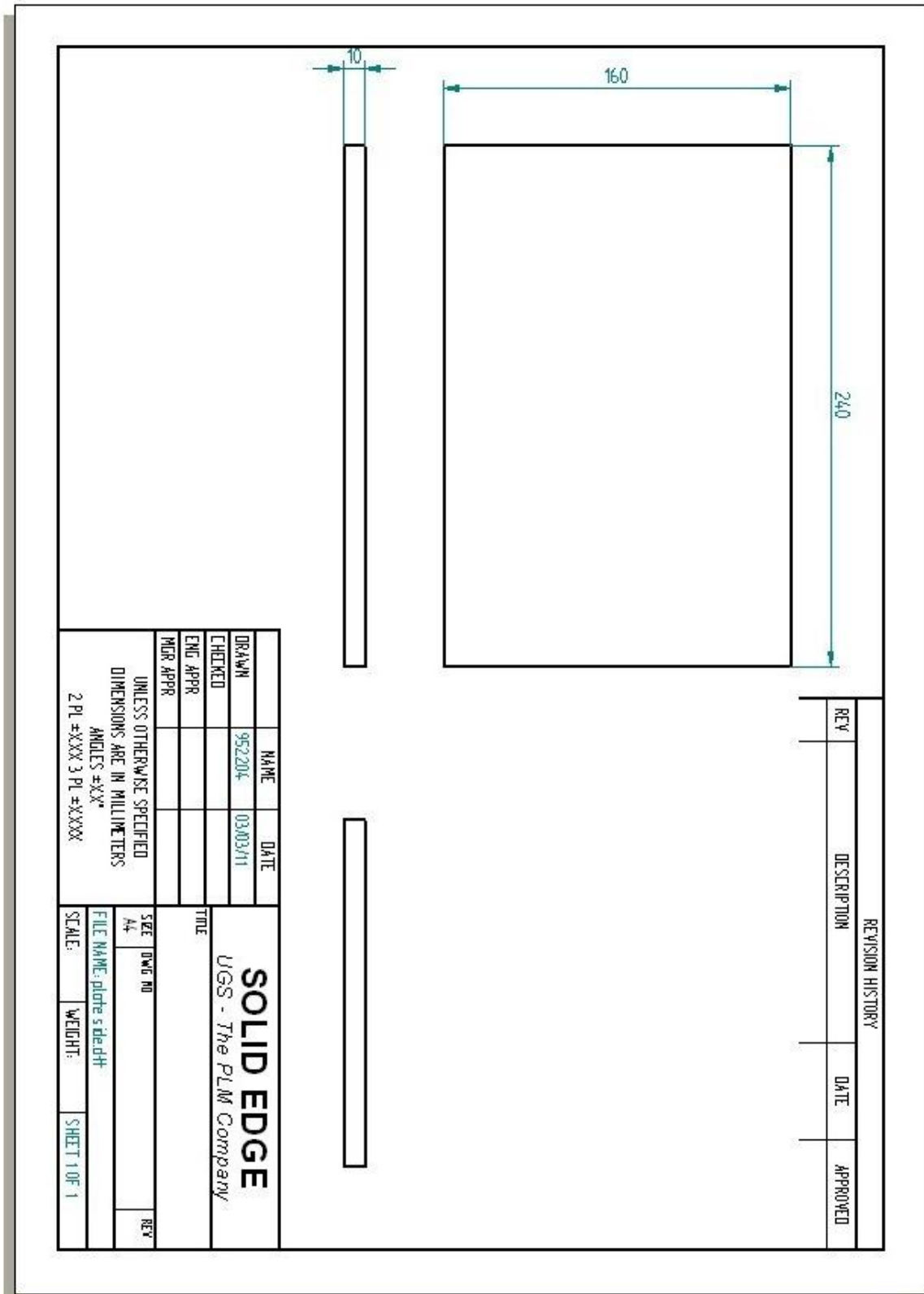


Vedlegg J: Arbeidstegninger:

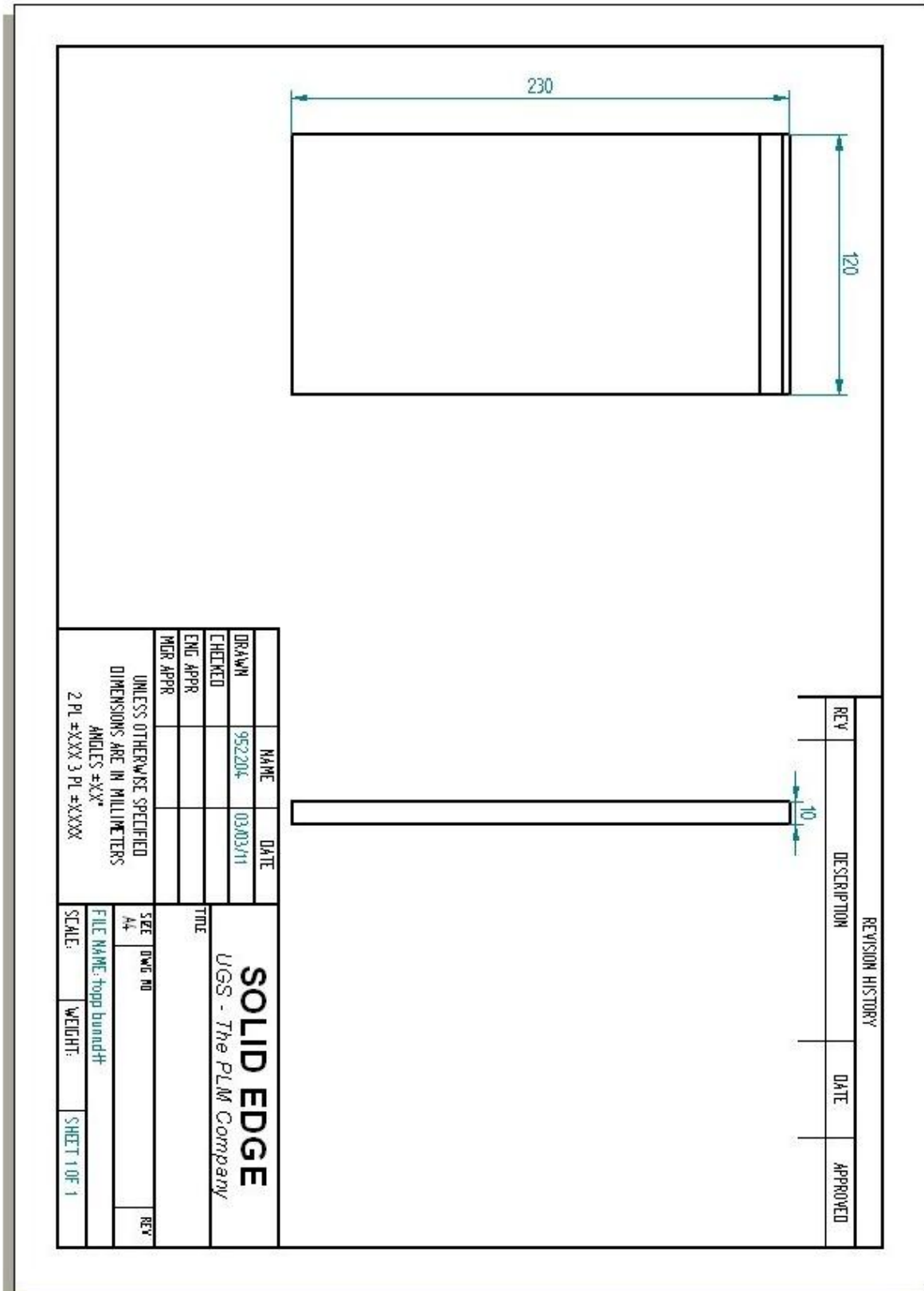
Endeplater:



Sideplater:



Topp og bunn:



Vedlegg K: Egenskaper for noen materialer

Følgende er kopiert fra [3]:

Properties of Selected Solids at 25°C

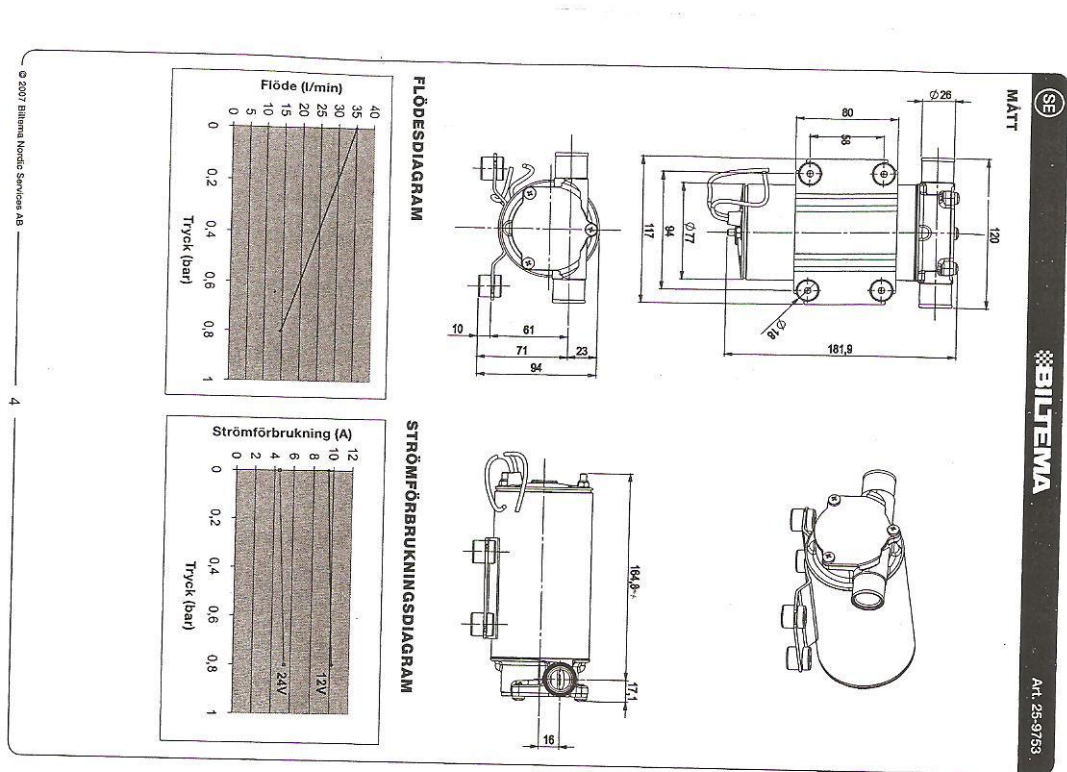
Substance	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg-K)
Asphalt	2120	0.92
Brick, common	1800	0.84
Carbon, diamond	3250	0.51
Carbon, graphite	2000–2500	0.61
Coal	1200–1500	1.26
Concrete	2200	0.88
Glass, plate	2500	0.80
Glass, wool	200	0.66
Granite	2750	0.89
Ice (0°C)	917	2.04
Paper	700	1.2
Plexiglass	1180	1.44
Polystyrene	920	2.3
Polyvinyl chloride	1380	0.96
Rubber, soft	1100	1.67
Sand, dry	1500	0.8
Salt, rock	2100–2500	0.92
Silicon	2330	0.70
Snow, firm	560	2.1
Wood, hard (oak)	720	1.26
Wood, soft (pine)	510	1.38
Wool	100	1.72
Metals		
Aluminum	2700	0.90
Brass, 60-40	8400	0.38
Copper, commercial	8300	0.42
Gold	19300	0.13
Iron, cast	7272	0.42
Iron, 304 St Steel	7820	0.46
Lead	11340	0.13
Magnesium, 2% Mn	1778	1.00
Nickel, 10% Cr	8666	0.44
Silver, 99.9% Ag	10524	0.24
Sodium	971	1.21
Tin	7304	0.22
Tungsten	19300	0.13
Zinc	7144	0.39

*Properties of Some Liquids at 25°C**

Substance	ρ (kg/m ³)	C_p (kJ/kg-K)
Ammonia	604	4.84
Benzene	879	1.72
Butane	556	2.47
CCl ₄	1584	0.83
CO ₂	680	2.9
Ethanol	783	2.46
Gasoline	750	2.08
Glycerine	1260	2.42
Kerosene	815	2.0
Methanol	787	2.55
<i>n</i> -octane	692	2.23
Oil engine	885	1.9
Oil light	910	1.8
Propane	510	2.54
R-12	1310	0.97
R-22	1190	1.26
R-32	961	1.94
R-125	1191	1.41
R-134a	1206	1.43
Water	997	4.18
Liquid metals		
Bismuth, Bi	10040	0.14
Lead, Pb	10660	0.16
Mercury, Hg	13580	0.14
NaK (56/44)	887	1.13
Potassium, K	828	0.81
Sodium, Na	929	1.38
Tin, Sn	6950	0.24
Zinc, Zn	6570	0.50

*Or T_{melt} if higher.

Vedlegg L: Spesifikasjoner impellerpumpe



IMPPELLERPUMPE

PRODUKTBEKRIVELSE
Selvsugende elektrisk Pumpe for vann, med Impeller av Nitridummi, for høy ytelse og lang levetid.
Valget som ferskvannpumpe og lensepumpe.
Kan beregnet for fersk- og saltvann, samt vann som inneholder glykol.
Ikke beregnet for kontinuerlig drift.

TEKNISKE SPEKIFIKASJONER

Volt: 12 V
Sikring: 12 V/20 A
Strømførbruk: ca. 11 A
Kapasitet: ca. 35 l/min. (2 m trykkehøyde)
Impeller: Nitridummi
Slangetilkobling: R 1/2" rørgjenge
Trykk: 0,8 bar
Mål: 176 x 120 x 94 mm (lxbxh)
Vekt: 2,8 kg

TEMPERATUR OG FUKTIGHET
Temperatur: min. -10 °C/maks. +60 °C
Relativ luftfuktighet: maks. 90 %
Oppbevaring av pumpen skal skje på et tørt sted, og i samsvar med temperaturene angitt ovenfor.

INLENDENDE KONTROLL
Kontroller at det ikke har oppstått skader på pumpen under transport eller lagring. Både innløps- og utløpskanal må rengjøres grundig. Fjern beskyttelseslokkene og eventuelt støv eller rester av emballasjematerialet. Kontroller at båtens elektrisk anlegg (12 V) er i samsvar med pumpens tekniske spesifikasjoner.

PLASSERING AV PUMPEN
Plassering og montering kan skille i hvilken som helst posisjon. Skrus fast sammen med de vibrasjonsdempende gummitætnene som følger med pumpen. Montering av disse reduserer støy- og vibrasjonsnivå.
Monter IKKE pumpen på et sted der det er lettentennelige damper eller gasser. Monter pumpen på et sted som lett kan nås for inspeksjon.
Pumpen er merkebeskyttet iht. IP55.

RØR/SLANGETREKKING
Fjern først eventuelle beskyttelseslokk fra pumpens tilkoblinger.
For trykkslangen tilkobles, fyll pumpekammeret delvis med vann for å lette strømmingen.
Plasser ikke pumpen høyere enn 1,5 m over minimumsnivået på væsken som skal pumpes.
Bruk ikke konisk gjengede koblinger fordi dette kan skade pumpens tilkoblingsgjenget ved for hard strammning.
Montering av innløpsfilter anbefales.
Bruk slanger og koblinger godkjent for formålet.
Bruk slange med Ø 25 mm innv. diam.

ELEKTRISK TILKOBLING
Tilkobling skal styre direkte til båtens 12 V-batteri.
Pumpemotorens (+) tilkobling kobles til batteriets pluss (+) pol og pumpemotorens (-) tilkobling kobles til batteriets minus (-) pol.
Pumpen må beskyttes med egnet sikring (20 A).
Elekabelens værsnitt ved forskjellige avstander mellom pumpe og batteri:
< 5 m = 2,5 mm², 5-10 m = 4 mm², > 10 m = 6 mm².
For tynne kabler innebærer spenningsfall/effektapp og dermed redusert pumpeeffekt, samt også overoppheting av kablene.

STELL OG VEDLIKEHOLD
Dersom pumpen ikke skal brukes på en periode på minst 30 dager (spesielt i saltvann), bør du kløre ferskvann gjennom pumpen og deretter lasne frontplattens skruer. Når du bruker pumpen igjen,jør den kort (noen sekunder) og kontrollér jevnlig pumpen og hold eventuelt innløpsfilter rent.
Kontroller hver måned pumpekammeret og hold det rent for fremmedlegemer.

© 2007 Biltema Nordic Services AB

NO **BILTEMA** Art. 25-9753

Kontroller hver måned at den elektriske kabel-
trekkingen er i god stand.
Hver 500. driftstime skal pumpeledetens
kullørster skiftes ut.

For hver sesong skal pumpeens Impeller av
gummi skiftes ut.
Ved eventuell service og reparasjon skal det
brukes kun originale reservedeler.

SPRENGSKISSE

NR.	ANTALL	BENEVNELSE	NR.	ANTALL	BENEVNELSE
1	3	Skrue M5 x 10	9	1	Kullelager
2	1	Frontplate	10	1	Pumpebeskrel med magnetter
3	1	O-ring	11	4	Gummitlot
4	1	Impeller	12	2	Stang
5	1	Pumpehus	13	1	Kompenassjorslifer
6	1	Gummlippeetting	14	1	Kullebærstønder
7	1	Kullelager	15	2	Skive
8	1	Anker	16	2	Mutter

© 2007 Biltema Nordic Services AB 6

NO **BILTEMA** Art. 25-9753

MÅL

STRØMNINGSDIAGRAM

Trykk (bar)	Strømning (l/min)
0	35
0.2	30
0.4	25
0.6	20
0.8	15
1.0	10

STRØMFORBRUKSDIAGRAM

Trykk (bar)	12V Strømforbruk (A)	24V Strømforbruk (A)
0	10	5
0.2	10	5
0.4	10	5
0.6	10	5
0.8	10	5
1.0	10	5

© 2007 Biltema Nordic Services AB 7