

Fagprojekt

---

# Varmepumpeprojekt Alstion



Danmarks Tekniske Universitet  
Institut for MEK  
41801 Fagprojekt  
Gruppe 1  
23. juni 2009

# Fagprojektrapport

Gruppe 1

Vejleder:

Brian Elmegaard

Institut for Mekanik

Gruppens Medlemmer:

---

Martin Rytkjær                      s072408

---

Niels P. Hendriksen                s072368

---

Christian Kok Nielsen              s061933

---

Mads C. Jørgensen                 s072392

---

Anders Knudsen                     s072403

---

Svend Petersen                     s072374

Danmarks Tekniske Universitet  
2800 - Kgs. Lyngby

# Indhold

<b>Indledning</b>	<b>4</b>
<b>Resumé</b>	<b>4</b>
<b>1 Projektplanlægning</b>	<b>5</b>
1.1 Målsætning . . . . .	5
1.2 Interessentanalyse . . . . .	6
1.3 Planlægning . . . . .	7
<b>2 Grundlæggende Teori</b>	<b>8</b>
2.1 Generel virkemåde . . . . .	8
2.1.1 Kompressor . . . . .	9
2.1.2 Kølemiddel . . . . .	9
2.1.3 Varmeveksler . . . . .	10
<b>3 Case - Alsion</b>	<b>11</b>
3.1 Databehandling . . . . .	11
3.1.1 Fjernvarmedata . . . . .	11
3.1.2 Vandtemperaturer i Alssund . . . . .	12
3.2 Dimensionering . . . . .	13
3.2.1 EES- Egeengineering Equation Solver . . . . .	13
3.2.2 Varmeveksler . . . . .	14
3.2.3 Tryktab - Cirkulationspumpe . . . . .	15
3.2.4 Fordeling af gulvvarme og radiatorvarme . . . . .	15
3.2.5 COP og Carnotvirkningsgraden . . . . .	15
3.2.6 Peak . . . . .	16
3.3 Anlægstyper . . . . .	16
3.3.1 Simpelt Anlæg . . . . .	16
3.3.2 CO <sub>2</sub> . . . . .	17
3.3.3 Udvidet Anlæg . . . . .	18
3.4 Løsningsmuligheder . . . . .	19
3.4.1 System 1: Varmepumpe kun til gulvvarme . . . . .	19
3.4.2 System 2: Varmepumpe til højtemperatur . . . . .	19
3.4.3 System 3: Varmepumper med R134a i parallel forbindelse . . . . .	19
3.4.4 System 4: Optimeret varmpumper i serie forbindelse . . . . .	20
3.4.5 System 5: CO <sub>2</sub> . . . . .	20
3.4.6 System 6: Varmepumpe med R134a og CO <sub>2</sub> . . . . .	20
3.4.7 COP - Systemernes effektivitetsgrad . . . . .	21
<b>4 Økonomi &amp; Miljø</b>	<b>22</b>
4.1 Økonomi . . . . .	22
4.2 Miljø . . . . .	23
4.2.1 Restriktioner og påvirkning af nærmiljø . . . . .	23
4.2.2 CO <sub>2</sub> -emissioner . . . . .	24

<b>5</b>	<b>Diskussion, Konklusion &amp; Perspektivering</b>	<b>26</b>
5.1	Diskussion . . . . .	26
5.2	Konklusion . . . . .	27
5.3	Perspektivering . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Projektervaluering</b>	<b>28</b>
6.1	Projektorganisering . . . . .	28
6.1.1	Projektopdeling & ansvarsområder . . . . .	28
6.2	Rollefordeling . . . . .	29
6.3	Gruppens meninger om projektarbejdet . . . . .	30
	<b>Referencer</b>	<b>32</b>

---

## Indledning

I dagens samfund er energi et ofte diskuteret emne, specielt i forbindelse med klimaproblemer og klimaforandringer. Der arbejdes derfor hårdt, over hele verden, på tiltag der kan hjælpe på disse problemer. Nogle af tiltagene er opsætning af varmepumpesystemer. Dette vil ikke kunne løse verdens energiproblemer, men kan muligvis være et skridt i den rigtige retning.

Energistyrelsen har netop bevilget 500.000 kr (se appendix A.2) til undersøgelse af mulighederne for udnyttelse af havvand som energikilde. Midlerne er gået til Alsion, Sønderjyllands viden- og kulturcenter, som har et ønske om at opsætte et varmepumpeanlæg der netop benytter havvand som varmereservoir. Ønsket lyder oprindeligt om et anlæg der både vil kunne varme og køle, men pga. dette projekts omfang medtages ikke sidstnævnte. Rammen om projektet er dermed dimensioneringen af et anlæg der kan levere varme, hvor der tages udgangspunkt i Alsion. På trods af ønsket fra Energistyrelsen om en generel og landsdækkende case, er der så mange unikke faktorer der spiller ind, at det formentlig kun er selve varmepumpesystemerne der kan benyttes generelt. Læseren af denne rapport forventes at have et vist kendskab til energiteknik. Der vil dog være en kort gennemgang af de vigtigste komponenter i systemet, samt disses funktioner og indflydelse på den samlede proces.

- Hvorledes kan et varmepumpeanlæg sammensættes og optimeres til udnyttelse af lavtemperaturrenergi fra havvand?
- Vil opsætningen af et sådan anlæg være en økonomisk fornuftig løsning for et sted som Alsion?
- Hvorledes vil opsætningen påvirke CO<sub>2</sub>-emission for Alsion?

Formålet med projektet er som antydnet, at undersøge mulighederne for opsætning af et varmepumpeanlæg til udnyttelse af havvand til opvarmning af radiator- gulvvarme- og brugsvand. Dette belyses ved at dimensionere og optimere en række varmepumpesystemer, der helt eller delvist vil kunne dække Alsions varmebehov henover året. Ydermere vil det blive undersøgt om det økonomisk set vil være fornuftigt at opsætte systemet. Herunder om, og i givet fald, hvor stor en besparelse der vil være og om tilbagebetalingstiden er realistisk. Det vil desuden blive belyst hvilke miljømæssige ændringer der vil være, ved benyttelse af anlægget som varmekilde, i forhold til den nuværende energilevering.

Samlet set vil der ud fra dette arbejde blive givet et ingeniørmæssigt bud på om det er fornuftigt at gennemføre opsætningen af et sådant system.

## Resumé

Igennem denne rapport bliver der arbejdet med en grundlæggende teori om varmepumper med henblik på at udnytte varmen fra havet. Arbejdet leder til konkrete beregninger og løsningsforslag til en case - Alsion. Beregningerne tager udgangspunkt i data for Alsion såsom varmemeforbrug, temperaturer på varmen, fordelingen af forbruget og data om vandtemperaturen i Alssund. Ud fra en kombination af beregningerne, Alsions behov og ønsker er der opstillet seks løsningsforslag. Disse sammenlignes på flere måder, både økonomisk og miljømæssigt. Resultatet af dette fører til to mulige løsninger der kunne være interessante for Alsion at kigge nærmere på, idet anlægsomkostninger kan tjenes ind på ca. 12 år. Et af Alsions hovedargumenter for projektet er at få en mere miljøvenlig profil, kigges der også på en eventuel CO<sub>2</sub>-besparelse. Det har vist sig at det er svært at kalde varmen fra en varmepumpe mere grøn end varmen fra fjernvarmen i Sønderborg, idet denne i forvejen udnytter spildenergi fra affaldsforbrænding.

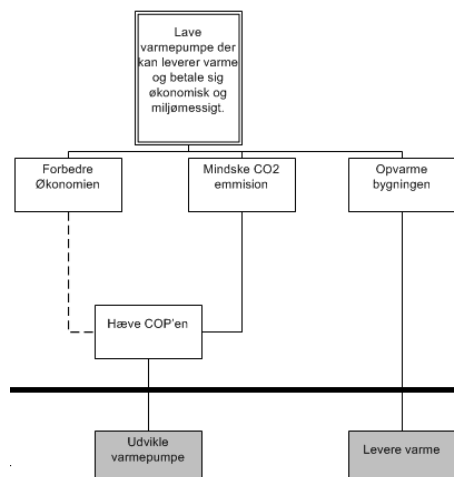
# Kapitel 1

## Projektplanlægning

En vigtig del af et projektarbejde er planlægning og forståelse af hvad formålet med arbejdet er. Dette afsnit beskriver hvordan projektet er planlagt og tænkt gennemført.

### 1.1 Målsætning

Det overordnede mål for projektet er at undersøge om opvarmning ved brug af havvand som varmereservoir, vil være en fornuftig måde at dække Alsions varmebehov på. Dette kan dækkes ved brug af en eller flere varmepumper. Oprindeligt var målet at varmepumpen skulle dække hele behovet, men det blev hurtigt klart at dette ikke skulle være et krav, da den eksisterende fjernvarme ville kunne supplere efter behov. Der skal, for at undersøge ideen med varmepumpeanlæg, udvikles forskellige varmepumpesystemer der skal levere energi til opvarmning. Når der er fundet en række løsningsmuligheder, undersøges efterfølgende om de er økonomisk rentable og miljømæssigt fordelagtige. Der ønskes en tilbagebetalingstid på højst 10 år, og enhver besparelse i CO<sub>2</sub>-emission vil ses som en succes. Da dette projekt er et teknologisk byggeprojekt, fylder målsætningsfasen ikke meget i den samlede proces. Succeskriterierne er meget specifikke og formålet er en hypotese der skal be- eller afkræftes af succeskriterierne.



Figur 1.1: Målhierarki

For at få udviklet og præciseret målsætningen, er der blevet udarbejdet et målhierarki, se fig. 1.1. Dette blev gjort fælles i gruppen for at alle gruppemedlemmer skulle få den størst mulige indsigt i

opgaven. I målhierarkiet kan man bevæge sig ned ved at 'spørge': hvordan?, og op ved at 'spørge': hvorfor?. De grå bokse over den vandrette streg er formålene, og de hvide nederst er leverancerne. Målsætningerne opfylder SMART-kriterierne (se referencen pkt. [11, s. 109]). Tidsperspektivet til at opfylde målsætningen har været to ugentlige dage af 4 timer i løbet af semesteret (13 ugersperioden) samt fuldtid i 3 uger.

## 1.2 Interessentanalyse

Projektet involverer nogle aktører der hver har forskellige tilgange og holdninger til, og påvirkninger af projektet. For at få et overblik over interessenterne og deres roller, skabes en interessentanalyse. Analysen er skabt ud fra de kompetencer der er tilegnet i faget 'Konstruktion og Problemløsning', og overvejelser gjort ud fra projektledelesbogen (se referencen pkt. [11] s. 103). Alsion er kommet med oplægget til projektet, og der er blandt alle de vigtige interessenter en generel enighed om målet, hvilket er grunden til at der ikke er valgt modellen fra bogen. Interessenterne er rangeret efter vigtighed for projektet (se Tabel 1.1).

Interessent	Interesse i projektet	Påvirkning af projektet	Bidrag til projektet	Forventninger til projektet
Gruppen	Opnå større viden om varmerpumpesystemer, og bidrage til undersøgelsen af anlægget	Ved at sætte mål, og opfylde dem	Udfærdigelse af rapport på baggrund af de beregninger og den tilegnede viden	At kunne komme med en vurdering af om opstilling af systemet er en god idé
Alsion/KVCA	At få et udkast til et testanlæg, samt at få bedre miljøomdømme	Er kommet med den oprindelige problemstilling/ønsker til projektet	Information om forbrug, nuværende system og andre oplysninger	At få en afklaring om varmerpumpeprojektet er en fornuftig idé
Rambøll A/S	Vidensdeling og udarbejdelse af forundersøgelse, og evt. opsættelse af systemet	Erhvervsmæssig erfaring	Gennem råd og vejledning	Visse data og beregninger til videre behandling
Energistyrelsen	Gøre projektet landsdækkende, og ikke kun for Alsion	Har gjort projektet mere generelt		En rapport der skal være grundlag for det videre arbejde
Fjernvarme-producenten	Kunne være interesseret i ikke at miste en stor kunde	Fastsætter afgifterne for tilslutning til fjernvarmenettet, hvilket kan påvirke projektets økonomi	Information om priser og emissioner	
Varmerpumpe-producenter	Reklame for deres produkter, hvilket kan føre til flere ordrer		Evt. råd og prisoverslag	

Tabel 1.1: Interessentanalysen

### 1.3 Planlægning

Projektplanen er et redskab til at administrere og planlægge arbejdet i den tid der er til rådighed. Projektet blev delt op i 6 indsatsområder, hvorefter Gantt-charten blev lavet, så der kunne følges med i hvor fremskredent projektet var. I fig. 1.2 viser Gantt-charten.

Delmålene så som teori og dimensionering blev sat således at delresultaterne, ville være færdige når de skulle bruges i andre dele af projektet. Dette skulle have medvirket til at ikke alle af aktiviteterne var kritiske, således der kunne rykkes rundt på ressourcerne i gruppen. Den manglede erfaring i større projekter gjorde det dog svært at fastlægge hvor lang tid de forskellige delmål ville tage. Det ses når der kigges på opfyldelse af delmålene. Et eksempel på dette har været at få fat i de oplysninger der skulle bruges. Dog har planen været der til at læne sig op af, således at selv om projektet overskred de fastsatte tidgrænser, blev overblikket alligevel bevaret.

Helt fra starten i gruppekontrakten blev sat to milepæle. Disse milepæle var tænkt som en form for opsummering af hvor langt projektet var nået, og hvad der stadig manglede. Milepælene har været for ukonkrete, hvilket har gjort at de reelt set ikke har været benyttet.



Figur 1.2: Gantt-chart for projektet

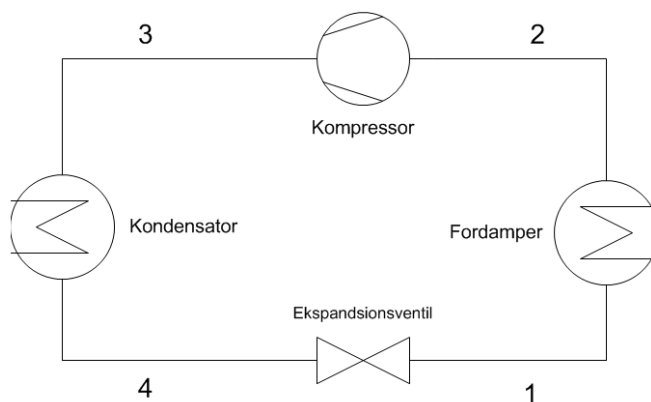
## Kapitel 2

# Grundlæggende Teori

I afsnittet vil den mest grundlæggende teori blive gennemgået. Teorien skal skabe en del af grundlaget for dimensionering og udarbejdelse af løsningsmodeller.

### 2.1 Generel virkemåde

Et varmepumpeanlæg er et anlæg der kan udnytte varmen fra omgivelserne, ved at trække lavværdig varme ud af et reservoir og konvertere det til højværdig varme, ved brug af højværdig energi i form af elektricitet, som oftets brugt energikilde. Der findes flere forskellige typer varmepumpeanlæg, der hver især udnytter forskellige omgivelser, og disses varmereservoirer til at få energi fra. Det kan f.eks. være et luft-til-luft-anlæg som udnytter varme fra luften og hvor det medie der ønskes opvarmet ligeledes er luft. Fælles for dem alle er at de bruges til at flytte energi i form af varme fra et sted til et andet. Den omvendte proces kan også lade sig gøre, hvormed det hedder et køleanlæg. I fig. 2.1 ses en enkel principskitse af en varmepumpe.

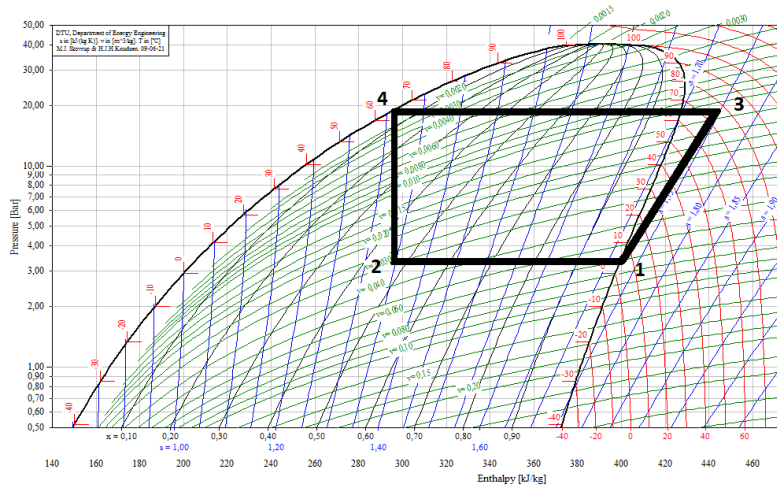


Figur 2.1: Principdiagram for en simpel varmepumpe

Processen i varmepumpen foregår ved, at kølemidlet i rørsystemet passerer en fordamper (1-2). Herved benyttes temperaturforskellen/potentialet mellem kølemidlet og omgivelserne, til at fordampe kølemidlet. I denne proces optager mediet energi fra omgivelserne. Fordampningen sker ved en isobar proces, da trykfaldet over varmeveksleren er negligibelt. Herefter løber kølevæsken, i form af overhedet damp, gennem en kompressor (2-3) der hæver trykket i kølevæsken. Denne proces er ideelt set isentrop, men da pumpen har et energitab pga. af gnidning, vil den i realiteten afvige lidt fra den tænkte proces. Herefter kommer væsken til en kondensator (3-4), hvor den kondenserer og derved afgiver energi i form af varme til det ønskede medie, f.eks. vandet der skal bruges til opvarmning af bygningen. Sidste trin i processen er en drøvling af kølevæsken gennem en ekspansionsventil (4-1), hvormed væsken køles, og trykket falder ved konstant enthalpi, hvorefter

kredsprocessen er nu fuldendt.

Den ideelle cyklus vil være en Carnot-cyklus, som har den teoretisk højeste effektfaktor. Denne optimale proces kan i realiteten ikke lade sig gøre, grundet friktion og varmeafgivelse til omgivelserne, og processen for et reelt varmepumpeanlæg vil se lidt anderledes ud. En måde at analysere processen i et varmepumpeanlæg er ved at indtegne processen i et  $\log(p)$ ,  $h$  diagram (se fig. 2.2)



Figur 2.2:  $\log(p)$ ,  $h$  diagrammet viser kredsprocessen

### 2.1.1 Kompressor

Kompressoren er den mest energikrævende komponent i varmepumpesystemet. Der er flere typer kompressorere der kan benyttes i dette projekt. En typisk model vil enten være en stempel- eller skruekompression grundet kompressionen til det meget høje tryk og af store mængder kølemidler.

Stempelkompressor fungerer ved, at gas bliver suget ind i toppen af et stempelhus. Når stemplet efterfølgende presses op komprimeres gassen.

Skruekompressoren fungerer ved, at to eller flere skrue, roterer mod hinanden. Når gas tilføjes i den ene ende, bliver den indesluttet af rillerne i skrueerne, og ved rotationen sker en volumendmindskelse af skrueillerne, og der vil derigennem ske en kompression. Effektivitetsgraden af kompressoren afhænger hovedsageligt af trykforskellen, mellem kompressorens to sider. Jo højere tryk kompressoren skal levere, des mere energikrævende er processen.

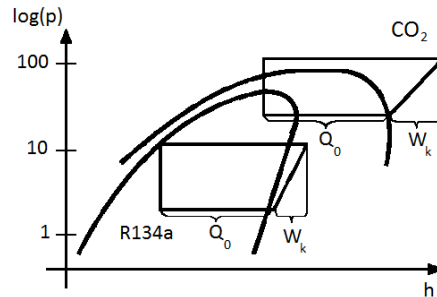
### 2.1.2 Kølemiddel

Valg af kølemiddel baseres på hvilke egenskaber de forskellige kølemidler har, samt hvilke varmepumpesystemer der er tilgængelige på markedet. Arbejdsområdet, dvs. under hvilke tryk og temperaturer processen forløber, er nødvendigt at kende, for at bestemme hvilke kølemidler der er brugbare. Ved varmeoptag er vandtemperaturen fra sundet  $1-17\text{ }^{\circ}\text{C}$  og forventes at blive nedkølet til  $0-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ved varmeafgivelse skal kølemidlet være omkring  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Tidligere blev freon benyttet pga. dets gode varmekapacitet og de gode temperatur- og trykegenskaber

I dag bruges ofte kølemidlet R134a, som er en syntetisk HFC-opløsning. Dette har de gode egenskaber, som kendes fra freon, men R134a er desværre også en drivhusgas, hvilket der så vidt muligt gerne vil undgås pga. dets skadelige påvirkning af ozonlaget. Som erstatning bliver der gjort en del forsøg med naturlige kølemidler som f.eks.  $\text{CO}_2$  (kølemiddelnavn R744). Af tabel C.2a i Teknisk Termodynamik, se reference pkt. [10], ses for R134a i mætningstilstanden, at trykket ved  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  er ca.  $2,9\text{ bar}$  - Dette er trykket der kræves for fordampning, ved en temperatur af kølemiddel på  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

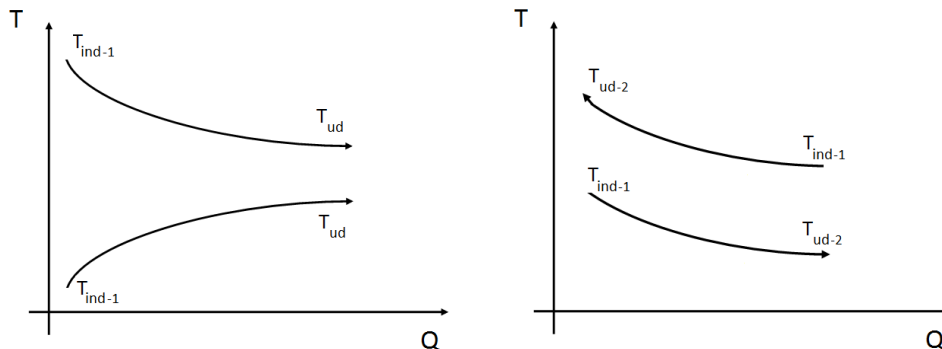
Ved at benytte  $\text{CO}_2$  skal systemet arbejde på nogle helt andre præmisser. Hovedsageligt arbejdes der ved højere tryk, og kondenseringen sker i den kritiske tilstand. Kølemidlerne sammenlignes i fig. 2.3.



Figur 2.3: Kredsprocesser for R134a og  $\text{CO}_2$ . Se referencen pkt. [2]

### 2.1.3 Varmevexsler

For at overføre varme fra et varmereservoir til kølemidlet og videre, benyttes varmevekslere. Der er to forskellige måder at lade de to vandstrømme passere, enten medstrøms eller modstrøms. Modstrømsvarmevekslere er mere effektive end medstrømsvarmevekslere, hvilket skyldes at der ved medstrøm er en stor temperaturforskel i starten af varmeveksleren og en lille til sidst, hvorimod temperaturpotientialet en modstrømsvarmeveksler vil være ens hele vejen igennem. Se fig. 2.4



Figur 2.4: Graf over varmestrømme

Der fokuseres kun på pladevarmevekslere i dette projekt. Disse består af en række plader hvor der på den ene side strømmer varmt fluid og koldt på den anden side. Pladevarmeveksleren giver en rigtig god effektivitetsgrad og mulighed for en stor kapacitet.

Den første udfordring ved havvandsindtag opstår ved korrosion i rør og vekslere, alger og svampesporer samt andre fremmedlegemer som tang og vandplanter.

Først ledes vandet gennem et grovfilter og herefter et finfilter for at fjerne disse. Dette bliver opsat så det ikke stopper og er nemt at rense. For at fjerne de små partikler, føres vandet igennem et bernulli filter, eller et sandfilter. Fordelene ved disse filtertyper er, at man har et relativt lavt trykfald og en meget fin rensning. For at rense filterne laver man en returskylling, hvor man blæser væske den modsatte vej gennem filteret, og på den måde skyller alle urenheder tilbage i havet. Da havvandet ikke overstiger 45 grader vil det ikke være noget problem at bruge rustfrit stål og en almindelig pladevarmeveksler. For at varmeveksleren ikke tilstopper, laves systemet så det kan lukkes af, for at kunne gennemskylle med høj hastighed, og blæse skidt ud.

# Kapitel 3

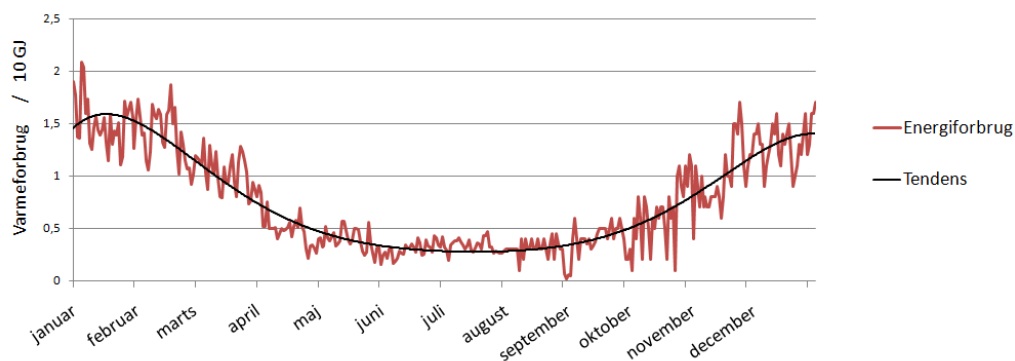
## Case - Alsion

### 3.1 Databehandling

Det vil her blive gennemgået hvordan databehandlingen er foregået, og dermed hvordan det er estimeret samt hvor meget og under hvilke forhold varmepumpesystemet skal yde i løbet af året. Driftchef Knud Degn Larsen har leveret data for Alsions varmekonsumC.1, mens Lars Storm fra DMU (Danmarks Miljøundersøgelser) har bidraget med havtemperaturer fra Alssund D.1.

#### 3.1.1 Fjernvarmedata

Til undersøgelse af varmekonsumet på Alsion, er der gennem Knud givet daglige målinger af forbrug fra medio april 2008 til maj 2009 fra Sønderborg Fjernvarme. For at opstille målingerne mere sammenhængende laves diagrammerne fra januar til december, og er ikke kronologisk, idet januar til april er tal fra 2009. Forbruget fordeler sig som vist i fig. 3.1.



Figur 3.1: Graf over energiforbruget

For at kunne verificere varmekonsumet, er der fundet data for graddage for samme periode som forbruget, der også opstilles fra januar til december, samt antal graddage for hver måned på et normalt år.

Kurven for varmekonsumet over året sammenlignes i fig. 3.2 med antallet af graddage. Det ses at varmekonsumet generelt følger kurven for graddage. Dog ser forbruget i april lavt ud i forhold til antallet af graddage i samme måned. Dette kan skyldes solens øgede opvarmning af bygningen, hvilket jo ikke direkte afspejles i antal graddage. Omvendt er varmekonsumet i sommermånedene ret højt i forhold til det meget lave antal graddage. Dette må først og fremmest skyldes, at brugsvandet (opgivet til ca. 90 MWh årligt) normalt ikke medregnes i det varmekonsum der kan sammenholdes med graddagene. I dette tilfælde har det dog ikke været muligt at få særskilt forbrug

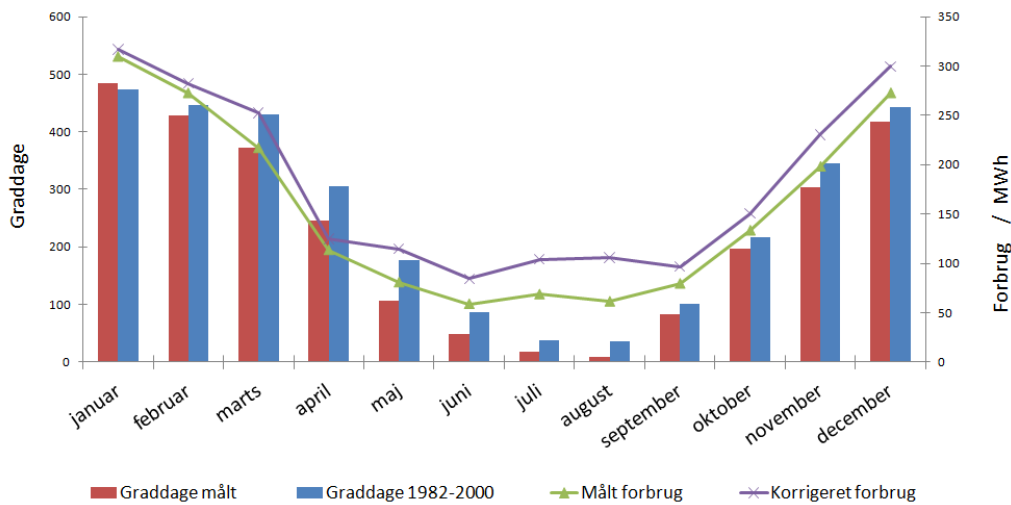
af brugsvands og vand til opvarmning månedsvis. En anden grund kunne være at fx kælderareal og koncertsal ikke direkte påvirkes af den udendørs lufttemperatur og solindfaldet.

Det daglige forbrug er opgivet i 10 GJ. I fig.3.2, hvor sammenlignes forbruget med graddøgn, er disse tal omregnet til MWh for hver måned, se appendix, der løber op i 1890 MWh på et år inkl. varmtvandsforbrug. For at korrigere varmeforbruget til normal-året, modregnes varmeforbruget ud fra de normale graddage og graddagene for det aktuelle år.

Varmeforbruget korrigeres ved følgende udtryk:

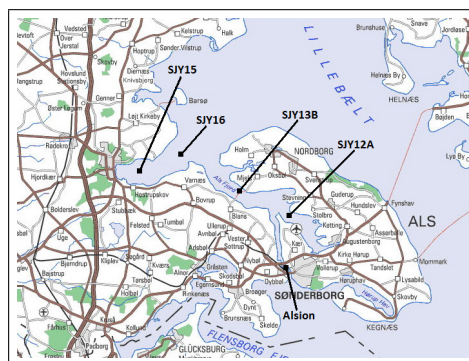
$$Q_{kor} = \frac{T_{norm} - T_{målt}}{T_{norm}} \cdot Q_{var} + Q_{målt}$$

Hvor  $T_{norm}$  er det normale antal graddage den givne måned,  $T_{målt}$  det målte antal graddage i år,  $Q_{målt}$  er det målte varmeforbrug for måneden, mens  $Q_{var}$  er  $Q_{målt}$  fratrukket det faste månedlige energiforbrug. Hermed kan det korrigerede varmeforbrug udregnes, og kurven fås som den ses af fig. 3.2. Summen af  $Q_{kor}$  bliver over 2000 MWh på et år, men det normale år har ikke højere  $Q$  for den koldeste måned end for  $Q_{målt}$ , januar har som den eneste måned været koldere end normalt.



Figur 3.2: Graf over graddage sammenlignet med varmeforbruget over året

### 3.1.2 Vandtemperaturer i Alssund

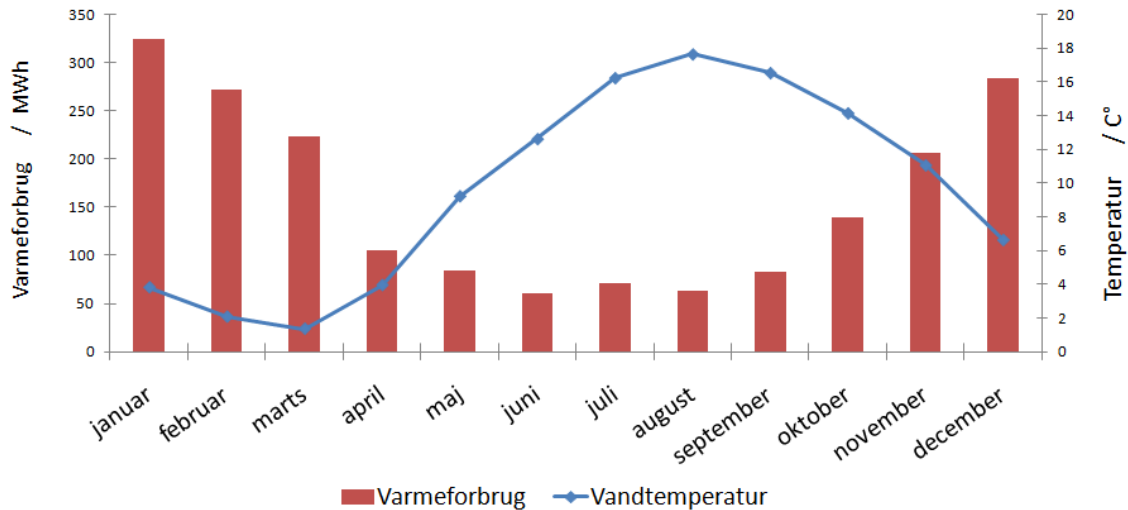


Figur 3.3: Placering af målestationer

Danmarks Miljøundersøgelser, DMU, får foretaget målinger af bl.a. havtemperaturer af de forskellige miljøcentre rundt om i landet. Disse målinger bliver foretaget med varierende intervaller, på mellem 14 dage og en måned. Desværre er der ingen målestationer i Alssund ud for Sønderborg, men der er placeret målestationer rundt i det omkringliggende vand.

Ud fra en vurdering giver målestationen SJY13B den måling, der minder mest om den for Alssund. Denne målestation ligger i vand med strøm og har målinger for passende vanddybder (se fig. 3.3). Information omkring vanddybden ud for Alsion er estimeret af Hans A. Pedersen til at være ca. 10-12 meter. Det er derfor også disse vanddybder der er blevet brugt data fra. Dette er mest passende da temperaturen på bunden vil være mest konstant over året.

Tabellen over de målte vandtemperaturer i Alssund er baseret på målinger med forskellige intervaller fra 2005-2006, samt fra 2. halvår af 2007 og 2008. De tal der er benyttet i diagrammet er gennemsnitstemperaturen for hver måned, taget fra disse 4 år, og viser derfor den forventelige havtemperatur i sundet.



Figur 3.4: Graf over graddage sammenlignet med havvandstemperaturen over året

Som det ses af fig. 3.4, kommer temperaturen meget langt ned på trods af at dybden reducerer temperatursvingningerne. Dette kan til dels skyldes nogle kolde vintre i 2005 og 2006, og ville måske have set anderledes ud hvis man også havde kunne skaffe tal fra de sidste par år hvor det har været noget varmere. Se i referencenpkt. [6]

I diagrammet er vandtemperaturen sammenlignet med varmeforbruget i løbet af året. De to kurver er modsat rettet, hvilket også forventes, hvorved vandtemperaturen har maksimums- og minimumspunkter med en forsinkelse på omkring 2 måneder ifht. lufttemperatur, og dermed varmeforbrug. Dette har naturligvis stor indflydelse på COP'ens fordeling over året, hvilket senere vil blive gennemgået.

## 3.2 Dimensionering

For dimensionering af systemet tages udgangspunkt i tre forskellige systemer, simpelt-, optimeret-, og CO<sub>2</sub>-system. I udarbejdelsen af et funktionelt system, er der som udgangspunkt lavet en meget simpel model, se fig. 3.6. Denne model beskriver et varmepumpesystem med de mest grundlæggende og nødvendige komponenter. Ud fra modellen er der lavet et EES program til beregning af forskellige data såsom masseflow, tryk og temperaturer. Se appendix B.1 Med modellen og tilhørende EES-program som basismodel, er der forsøgt koblet flere komponenter på for et mere effektivt system. På anmodning af Alsion er der også lavet en simpel beregning af et anlæg med CO<sub>2</sub> som kølemiddel. I det følgende vil der blive henvist til disse systemer, idet de forskellige komponenter forsøges dimensioneret.

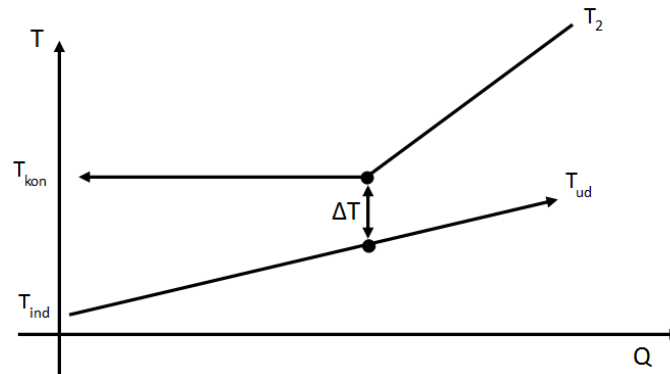
### 3.2.1 EES- Egeengineering Equation Solver

Der henvises til tilhørende forklaringer i appendix B.1, B.2, B.3, B.4, B.5 og B.5. I programmet beregnes alle de forskellige parametre, som x-antal ligninger med x-antal variable. For hver vari-

abel/parameter skal der opstilles én ligning. For overblik over hvor disse parametre er i systemet, kan de findes i vedlagt systemoversigt med symboler i bilag, hvor de forskellige punkter henviser til indekset af parameteren. For eksempel  $h_{2c}$  henviser til enthalpien i punkt 2c.

### 3.2.2 Varmeveksler

For at finde den optimale kondenseringstemperatur og undgå at temperaturen på kølemidlet ikke kommer under vandets, skal pinch-point findes. se fig. 3.5 samt appendix D.3.



Figur 3.5: Pinch-point på grafen er markeret som  $\Delta T$

Kondenseringstemperaturen sættes til 2 grader over vandtemperaturen ved pinchpoint for at undgå problemer. For at beregne størrelsen af varmeveksleren, benyttes nogle simplificeringer af varmeledningen deri. Ved beregning af overfladearealet, antages at overfladen er en plade med konstante materialedata og endimensionel varmefflux. Varmefluxen,  $q$ , gennem en sådan plade, kan da beskrives som potentialeforskellen i temperatur divideret med den samlede modstand.

Det fremgår at der er en modstand i overfladen på begge sider der afhænger af varmeovergangstallet,  $h$ , tykkelsen af pladen,  $s$ , og varmeledningsevnen,  $k$ , af materialet. Et udtryk kan nu stilles op:

$$q = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \quad (3.2.1)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{T_h - T_k}{\frac{s}{k \cdot A} + \frac{1}{A \cdot h_{vand}} + \frac{1}{A \cdot h_{vand}}} \\ &= \frac{(T_h - T_k) \cdot A}{\frac{s}{k} + \frac{2}{h_{vand}}} \iff \\ A &= \frac{q \cdot \left(\frac{s}{k} + \frac{2}{h_{vand}}\right)}{T_h - T_k} \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

Materialedata tilnærmes med:

$$k = 0,0135 \frac{kW}{m^2 \cdot K} \text{ - For rustfrit stål AISI 316, se referencer pkt. [3]}$$

$$h = 2,4 \frac{kW}{m \cdot K} \text{ - se referencer pkt. [3]}$$

Det ses at den eneste ubekendte i udtrykket er varmeffluxen. Denne kan beregnes som  $\delta h$  gange massestrøm hen over varmeveksler, hvilket må gøres i hver af de fem varmevekslere. Dette er gjort i samme EES program som de resterende parametre

- Fordamper = 168,4 m<sup>2</sup>
- Kondensator til radiatorvand = 26,26 m<sup>2</sup>

- Kondensator til brugsvand = 9,62 m<sup>2</sup>
- Kondensator til gulvvarmevand = 9,22 m<sup>2</sup>
- Intern varmeveksler = 0,35 m<sup>2</sup>

### 3.2.3 Tryktab - Cirkulationspumpe

Beregning af tryktab i systemets rørsystem, gøres med det formål at understrege, om tryktabet vil have nogen nævneværdig indflydelse på valg af komponenter og COP. Beregninger kan gøres ud fra et fluiddynamisk grundlag, med estimerede rørlængder, bøjninger, rørdiameter og ruhed. Der er ikke gået yderligere i dybden med systemet, efter sammenråd med vejleder.

For beregning af hvor stor cirkulationspumpen til havvandet skal være, er der lavet simple fluidderegninger, i appendix B.4. I beregningerne er der lavet visse antagelser om rørerne, såsom; længden, ruhed efter bevoksning som alger og lign., antal bøjninger samt tryktab ved ind og udløb. Beregninger viser at der skal bruges en pumpe på ca. 5 kW. Sammenlignet med den samlede kompressoreffekt på 282 kW (se Tabel 3.1), er effekten til pumpen, og dermed pumpens indvirkning på COP'en, meget lille. Resultatet er medtaget i COP-beregningen, men kan negligeres. Beregninger skal dermed primært udføres med det formål at bestemme størrelse og model til indkøb.

### 3.2.4 Fordeling af gulvvarme og radiatorvarme

I oplysninger om Alsions samlede varmeforbrug, fremgår det ikke direkte hvordan det er fordelt på gulvvarme og radiatorer. Dette er imidlertid en vigtig oplysning for beregning af COP, og dermed hvor god en investering det ville være. Der søges derfor en måde at beregne dette på. Til dette kan benyttes tre fremgangsmåder. Den mest tekniske bygger på varmeledningsteori, mht. hvor stort forhold der er mellem overfladeareal af radiatorerne og gulvvarmen, samt deres temperaturpotentiale. En anden metode tager udgangspunkt i hvor stort et gulvareal, der bliver opvarmet med gulvvarme. Da gulvvarmen er benyttet i Alsions store åbne arealer, som kantinen og biblioteket, og disse rum går fra stueetagen op til loftet (fem etager) ganges grundarealet med 5. Ved denne metode, bidrager gulvvarme med ca. 20% af det samlede varmeforbrug, da grundarealet opvarmet med gulvvarme svarer til 4% af Alsion. Dette estimat er dog noget upræcist. Den sidste metode benytter det eksisterende systems dimensionering, mht. hvad de forskellige varmetyper skal levere. Disse er fundet ud fra plantegninger af teknikrummet. Det er dog ikke sikkert det kan kobles til det aktuelle forbrug. Metoden tager udgangspunkt i, at der allerede må foreligge beregninger på disse, og må anses som et fornuftigt udgangspunkt. Selvom disse beregninger ikke er fundet, benyttes denne metode i beregningerne i EES programmet, da det er den mest simple.

### 3.2.5 COP og Carnotvirkningsgraden

Beregning af Carnot er givet som:

$$\text{Carnot} = \frac{T_{\text{varm}}}{T_{\text{varm}} - T_{\text{kold}}} \quad (3.2.3)$$

Da det udvidede system har tre forskellige  $T_{\text{varm}}$ , er det svært at komme med en entydig metode til at udregne Carnot hér. Der er forsøgt at komme med et bedste bud en sådan. Denne benytter og vægter de forskellige temperature ved deres varmeandel og lægger dem sammen til en slags middeltemperatur. Den samlede  $T_{\text{varm}}$  bliver da

$$T_{\text{varm}} = T_{\text{brugsvand}} \cdot 0,1 + T_{\text{radiator}} \cdot 0,49 + T_{\text{gulvvarme}} \cdot 0,41 \quad (3.2.4)$$

Her angiver koefficienterne hvor stor del af varmeproduktionen, der benyttes til de forskellige aftagersystemer, som et samlet anlæg. Det ses at hvis systemet fx kun skal levere gulvvarme skal der kun bruges  $T_{\text{gulvvarme}}$ , da de andre bliver ganget med nul.  $T_{\text{kold}}$  defineres til altid at være havtemperaturen. Denne varierer kun i løbet af året.

Systemets COP (Coefficient of Performance) er defineret som:

$$\text{COP} = \frac{\dot{Q}_{ud}}{\dot{W}_{kom}} \quad (3.2.5)$$

Hvor  $\dot{Q}_{ud}$  er den samlede varmeeffekt som systemet leverer, og  $\dot{W}_{kom}$  er den samlede effekt for alle kompressorer i systemet. Ved endnu mere avancerede systemer vil der ofte være tilsluttet cirkulationspumper og andre styringsapparater, der forbruger strøm. Disse effekter kan da tages med i nævneren i udtrykket. Det vil ofte ikke have nogen særlig betydning for COP, da de kun udgør et par procenter af effekten af kompressoren. Hvis disse alligevel tages med, kan varmen fra kompressor og de andre hjælpeapparater, ved systemer som hermetiske anlæg, udnyttes til opvarmning af kølemidlet. Effekterne fra disse skal så også tilføjes i tælleren. Cirkulationspumper der driver det eksterne system (havvandet og vandet i radiator- og gulvvarmesystemet), skal kun opskrives i nævneren, da disse ikke bidrager med varme.

Da temperaturen i Alssund ikke er konstant henover året vil COP ændres løbende. Dette er illustreret i fig. 3.8, hvor det ses hvordan COP ændres over året for de forskellige anlæg. De brugte vandtemperaturer for sundet er gennemgået under delafsnittet Databehandling.

Som det ses på grafen (se fig. 3.8) kører COP modsat af det tidspunkt hvor varmebehovet er størst. For senere at se på økonomien i varmepumperne skal der bruges en COP som er vægtet gennem hele året. Dette gøres ved at bruge COP'en for de forskellige måneder, som der ses i grafen og efterfølgende vægte disse mht. hvor mange graddage der er i hver måned for til slut at tage gennemsnittet af disse. Dette resultat er den vægtede COP, der benyttes til udregning af CO<sub>2</sub>-emission og økonomisk rentabilitet i næste kapitel.

### 3.2.6 Peak

Fjernvarmetilslutningen på Alsion kan køre med en maksimum-effekt på 2,4 MW. Forbruget vil formentlig aldrig blive så højt, og man kan derfor istedet dimensionere varmepumpen ud fra det egentlige varmemeforbrug leveret af Sønderborg Fjernvarme.

Den højeste gennemsnitlige varmeeffekt, i de givne data, over et døgn findes 5. januar 2009. Her ligger gennemsnittet på 0,617 MW. Går man i dybden med denne dato, finder man en makseffekt kl. 10. Her er effekten 0,42 MW for den ene varmemaalør og 0,44 MW for den anden. Sammenlagt giver dette et peak på 0,86 MW, som er den højeste målte effekt i løbet af året. Størstedelen af tiden er effektbehovet dog under 0,5MW, hvorfor varmepumpen i flere af de systemer, der senere vil blive foreslået, dimensioneres hertil. Effektbehov større end dette må derfor være bidrag fra fjernvarme, der i tilfældet ikke er blevet koblet helt fra.

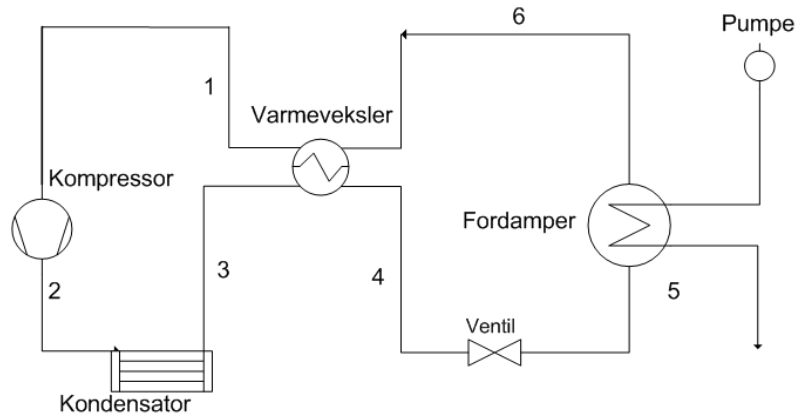
Der er på timebasis opgivet fjernvarmeforbrug i de første måneder fra 2009. For januar-marts 2009 bliver der sammenlagt brugt 39 MWh varme overforbrug ifht. de 500 kW (se appendix D.3) for Peak appendix). Da der ikke findes tal for de sidste måneder af 2008, estimeres disse tal til (lidt højt sat) også at være 39 MWh. Hermed bliver der et årligt fjernvarmeforbrug på ca. 78 MWh. Vil man derimod koble fjernvarmen helt fra, og hermed slippe for at betale afgift, estimeres maksydelsen til 0,9 MW.

## 3.3 Anlægstyper

I dette afsnit vil de tre hovedsystemer, der benyttes til udarbejdelsen af løsningsforslag blive beskrevet. Det ene er et simpelt anlæg der kort men konkret kan beregne de vigtigste data for en varmepumpe. Den anden er et simpelt system med CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Det tredive er et udvidet system af denne, der er lavet med henblik på en optimering.

### 3.3.1 Simpelt Anlæg

Modellen i fig. 3.6 beskriver et grundlæggende varmepumpeanlæg. Anlægget, der vil blive benyttet senere hen, er sat op til 500 kW af grunde omtalt i peak sektionen. De vigtigste generelle tal for systemet ses i Tabel 3.1



Figur 3.6: Principskitse over det simple anlæg

Det opgivne energioutput (se Tabel 3.1) er anlæggets maksimale ydelse når der ikke tages højde for peakydelse. I dette anlæg ses der ikke nærmere på COP'ens og havvandstemperaturens variation henover året, da det er mere tiltænkt som et referenceanlæg, der giver anledning til optimering, for at imødekomme behovene for en samlet løsning til brugsvand, radiator- og gulvvarme.

Forklaring	Værdi	Medie
Energioutput	ca. 500 kW	-
Komp. Effekt	ca. 282 kW	Kølemiddel
Pumpe effekt	ca. 5 kW	Havvand
Komp. isentropvirkningsgrad	80 % (estimat)	-
Radiator temp. fremløb	60 °C	Vand
gulvvarme temp. fremløb	40 °C	Vand
Temp. retur	30 – 40 °C	Vand
Temp. hav fremløb	5 °C (vinter)	Havvand
Carnot ved lav og højtemp.	LT=7,825 HT=5,386	-
COP ved lav og højtemp.	LT=5,375, HT=3,289	-

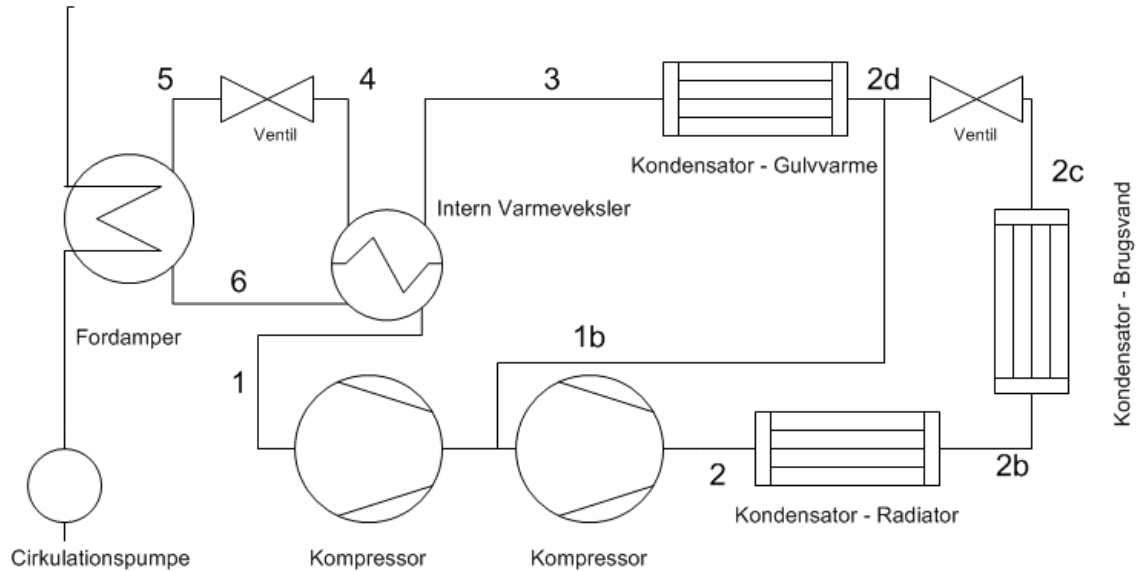
Tabel 3.1: Parametre for det simple anlæg (pr. blok).

### 3.3.2 CO<sub>2</sub>

Modellen af det grundlæggende system kan også bruges til at beregne værdier, med CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Selve beregningerne minder meget om hinanden, med den undtagelse at CO<sub>2</sub> bliver overkritisk. Dette kan med enkelte modifikationer af EES-beregningsmodellen af det grundlæggende system.

### 3.3.3 Udvidet Anlæg

Der vil i det følgende blive forsøgt optimering af et varmepumpeanlæg. Der henvises løbende til Tabel 3.2.



Figur 3.7: Principskitse over det udvidede anlæg

Da COP og Carnot-virkningsgraden afhænger af hvor stor temperaturforskellen mellem det kolde og varme reservoir er, tages der først udgangspunkt i dette.

I det grundlæggende system afgives al varmen ved den højeste temperatur der skal bruges, her temperaturen af radiatorvandet. Dette er spild af en del af energien, der bliver brugt til at hæve temperaturen til det ønskede niveau, da vandet til gulv-varme efterfølgende bliver blandet med koldt vand, i Alsions nuværende system, for at opnå en mere behagelig temperatur i gulvet. Ved at indsætte ekstra varmevekslere til brugsvand og gulvvarmen, udnyttes en større del af temperaturhævningen, og dermed energien tilført kølemidlet, inden den drøvles ned. Disse tre varmevekslere kan sættes op i serie, da sluttemperaturen af de tre vandtemperaturer ikke er ens. Systemet der skal bruge den højeste temperatur, skal være den til den første varmeveksler osv. Se fig. 3.2

Forklaring	Værdi	Medie
Energioutput	ca. 500 kW	-
Komp. Effekt #1	ca. 282 kW	Kølemiddel
Komp. Effekt #2	ca. 282 kW	Kølemiddel
Pumpe effekt	ca. 5 kW	Havvand
Komp. isentropvirkningsgrad	80 % (estimat)	-
Temp. Gulvvarme fremløb	65 °C	Vand
Temp. Gulvvarme retur	30 °C	Vand
Temp. Radiator fremløb	40 °C	Vand
Temp. Radiator retur	40 °C	Vand
Temp. Brugsvand fremløb	55 °C	Vand
Temp. Brugsvand indløb	10 °C	Vand
Temp. hav fremløb	5 °C	Vand
Carnot virkningsgrad	5.896	-
COP	4.081	-

Tabel 3.2: Parametre for det simple udvidet.

Da en kompressor har et optimalt arbejdsområde, og vandet til gulvvarme kun skal varmes op til ca. 35 °C, kan der indsættes en ekstra kompressor. Denne ekstra kompressor placeres således at den kun skal komprimere og hæve temperaturen af kølemidlet der skal bruges til at varme radiator og brugsvandet op. Dette bevirker at der mellem de to kompressore skal være et udtag af

kølemiddel(1b), der kan blandes sammen med det resterende igen(2d) efter dette har været igennem de to varmevekslere med høj temperatur(2-2c). På denne måde bruges der ikke unødigt energi på at hæve temperaturen af denne del af kølemidlet. Inden de to kølemidler kan blandes igen, skal kølemidlet med den høje temperatur og tryk, igennem en ventil(2c-2d) der sænker trykket. Efter blandingen, ledes kølemidlet igennem varmeveksleren til gulvvarme.

Da kølemidlet skal drøvles ned til en temperatur på under  $10^{\circ}\text{C}$ , kan der eventuelt indsættes en ekstra varmeveksler, der kan varme brugsvandet op fra  $10^{\circ}\text{C}$ , hvilket temperaturen af koldt drikkevand er sat til. På denne måde kan det allersidste energi trækkes ud, samtidigt med at der lige præcis vil være nok varme til den interne varmeveksler. Denne sidste varmeveksler er dog ikke taget med i EES-programmet, da det kun ville være ca. 2% af den samlede varme, der ligger i disse  $10^{\circ}\text{C}$  af brugsvandet. Optimeringen af systemet er i denne rapport kun blevet forsøgt gennem opsætningen/opbygning af forskellige komponenter. En yderlig optimering af dette vil selvfølgelig være mulig. Andre optimeringsområder der kunne arbejdes med i forbindelse med en varmepumpe, er udformning af rør for formindskelse af tryktab, effektivisering af driften mht. styre programmer, og eventuelt en akkumuleringstank.

### 3.4 Løsningsmuligheder

Der vil nu blive opstillet forskellige løsningsmuligheder ud fra de beskrevne systemer.

For at vurdere hvilke løsninger der vil være aktuelle for Alsion, sammenlignes forskellige systemer sammensat af simple og optimerede anlæg. Disse systemer opstilles i en tabel for at få et overblik over deres ydeevne og COP. I alle systemer, undtagen system 4, er der blevet brugt den simple model af en varmepumpe til beregninger. Systemerne sammenfattes i Tabel 3.3

#### 3.4.1 System 1: Varmepumpe kun til gulvvarme

Dette system kombinerer varmepumpe og fjernvarme. Varmepumpen tænkes at være det varme-ydende element til lavtemperaturkredsen, dvs. gulvvarmen, og fjernvarme som leverandør af varmen til højtemperaturkredsen af brugsvand og radiatorvand. Denne sammensætning tager udgangspunkt i at varmepumper har den højeste virkningsgrad ved lave temperature, og der undersøges derfor om der vil være økonomi i at bibeholde det nuværende fjernvarme til de høje temperature.

Ulemper ved dette system kan være den nuværende afgift Alsion betaler for fjernvarmen. Besparelsen vil derfor udelukkende ligge i elregningen fra varmepumpen kontra det sparede forbrug af fjernvarme. Denne besparelse kan vise sig at være utilstrækkelig til at betale for anlægsomkostningerne for varmepumpen. Fordelen er at der ikke vil blive problemer med peakeffekten. Størrelsen af varmepumpen skulle være i omegnen af 400 kW for at klare denne opgave.

#### 3.4.2 System 2: Varmepumpe til højtemperatur

Her tænkes varmepumpen som leverandør af varmen til højtemperatur. Al varmen afgives ved tilstrækkelig høj temperatur, ca.  $67^{\circ}\text{C}$  til en kreds, der dernæst varmeveksler med alle tidligere tre nævnte systemer. På denne måde vil varmepumpen levere al varmen. For at dette skal være aktuelt, skal varmepumpen være stor nok til at klare peakproblemer i vinterhalvåret. Dette medfører en betydelig større varmepumpe, ca. 900 kW, se kap. 3.2.6. Da Alsion ønsker at kunne lave forsøg med varmepumper antages det her at de skal kunne koble fjernvarmen på, for ikke at risikere at stå helt uden varme. På grund af dette kan varmepumpen sænkes til at lever en effekt på på 500 kW. Herved sænkes prisen på varmepumpen, men der vil opstå problemer med peak-ydelser om vinteren. Dette problem kan da løses med fjernvarme, da det kan stå standby. Som i system 1 kan fjernvarmeafgiften igen blive et problem for økonomien. I økonomiafsnittet vil system to fremgå som det med en 500 kW varmepumpe og de tilhørende konsekvenser.

#### 3.4.3 System 3: Varmepumper med R134a i parallel forbindelse

For at undgå at hæve temperaturen på hele kølemiddelsystemet vil der i dette system undersøges muligheden af to parallelle varmepumper. Den ene tænkes at levere til gulvvarme og den anden

til radiator og brugsvand. Ligesom i system et kan hver varmepumpe være lidt mindre, men sammenlagt levere den nødvendige varme uden peak-problemer. Da der her vil være to uafhængige varmesystemer, vil det være muligt at lukke den ene ned om sommeren og lade den anden levere al varmen, hvis der fx ønskes at lave forsøg. Om sommeren skal temperaturen til radiatorerne heller ikke nødvendigvis være 65 grader, hvilket også er med til at gøre dette muligt. Ved dette system kan fjernvarmen fjernes helt, og dermed afgiften til fjernvarme. Problemet med to varmepumper vil her blive pladsmangel i det eksisterende rum tiltænkt dette, og en større anlægskostning. Pladsproblemet ville eventuelt kunne løses ved fuldstændig needmontering af fjernvarmerør, hvorved rummene hertil kan benyttes. Dette vil dog give en ekstra omkostning igen.

#### 3.4.4 System 4: Optimeret varmepumper i serie forbindelse

Her vil det optimerede seriesystem prøves mod de andre mere simple varmepumper. Som tidligere beskrevet kan dette system levere til alle tre kredsløb på en gang. Grundet dette sammenlignes denne løsning nok bedst med system tre og fem. Ulempen ved dette system, her i modsætning tre og fem, vil være det samme som i system 2, med at der kun vil være et system, hvis ikke fjernvarmen bibeholdes. Afgiften kan dermed nok ikke undgås. Fordelen skulle så gerne være en bedre virkningsgrad af ét system, hvilket kan være en ide andre steder end Alston hvor de ikke allerede har fjernvarme.

#### 3.4.5 System 5: CO<sub>2</sub>

Ud fra beregningerne i bilag (EES program for CO<sub>2</sub>) ses det at CO<sub>2</sub> som kølemiddel har en relativ høj COP, ved høje temperature. Dette lægger derfor op til at det kan bruges til opvarmning til høje temperature. Der sættes derfor en model op, med dette som kølemiddel i en varmepumpe, der varmer alt op som i system 2. Ligesom system 2 vil også her kun benyttes en varmepumpe på 500kW af samme årsager.

#### 3.4.6 System 6: Varmepumpe med R134a og CO<sub>2</sub>

Dette system minder på mange måder om system 3, men med den forskel at der prøves med CO<sub>2</sub> som kølemiddel i varmepumpen til opvarmningskredsen af brugs og radiatorvand, dvs højtemperatur. Det udnyttes her at der kan opnås en høj COP for lavtemperaturkredsen fra R134a og høj COP fra CO<sub>2</sub> på højtemperaturkredsen. Dette skulle gerne resultere i et system med høj gennemsnitlig COP, ingen fjernvarmeafgift, mulighed for at lukke den ene ned til forsøg/ændringer om sommeren, samt ønsket om både at kunne køre forsøg med konventionelle kølemidler og CO<sub>2</sub>. Problemerne ville så igen primært være pladsmangel og dyrere anlægskostninger.

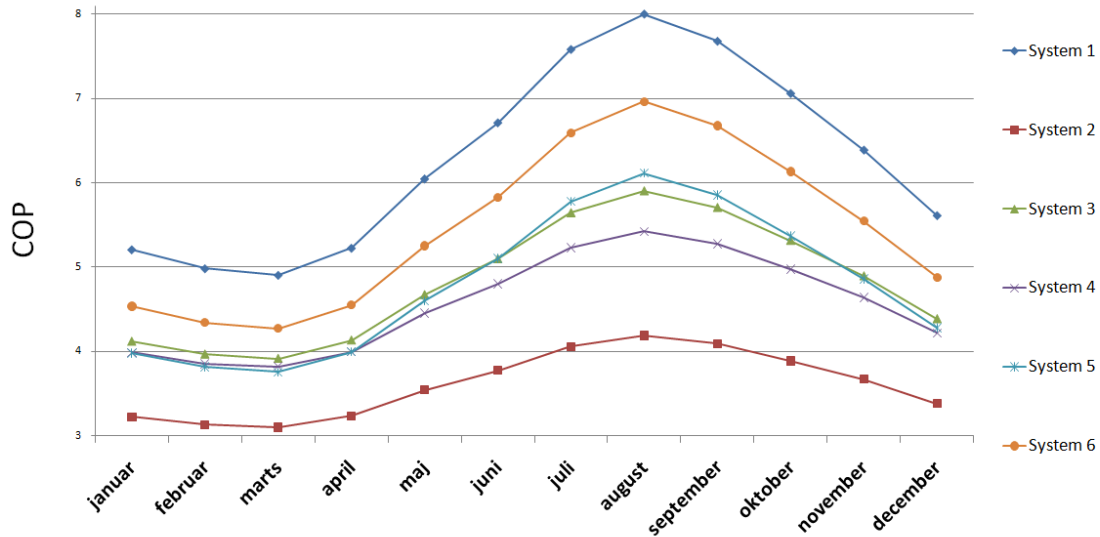
I alle systemer, undtagen system 4, er der blevet brugt den simple model af en varmepumpe til beregninger. Systemerne sammenfattes i Tabel 3.3

<b>System 1</b>	<b>System 2</b>	<b>System 3</b>
Kun LavTemperatur	Kun HøjTemperatur	Parallel: En LT(400kW) + En HT(500kW)
Op til 400kW	Op til 500 kW	Maks. belastning
Fjernvarme leverer HT	Peak-problemer	Peak-problemer undgås
COP : 5,375	COP: 3,289	COP :4,228
<b>System 4</b>	<b>System 5</b>	<b>System 6</b>
Serie: Optimeret	CO <sub>2</sub>	Parallel: R134a og CO <sub>2</sub>
Op til 500 kW	Op til 500 kW	Maks. belastning
Peak-problemer	Peak-problemer	Peak-problemer undgås
COP : 4,081	COP: 4,102	COP :4,67

Tabel 3.3: Systemoversigt ved havtemp. på 5 grader

### 3.4.7 COP - Systemernes effektivitetsgrad

Ud fra beregninger på systemet er der udregnet COP'er over året. Resultatet af de vægtede COP'er for systemerne kan ses i grafen på fig. 3.8.



Figur 3.8: COP'en variende henover året for alle systemerne

Det ses at system 6 ville være en god løsning for AlSION, hvis der skal tages hensyn til deres specielle ønsker.

Det ses ydermere at hvis den nuværende afgift der betales ikke kan reduceres kraftigt ved de systemer der har behov for backup om vinteren, bliver det meget svært at lave en økonomisk ansvarlig løsning med dem. Dette kan give anledning til nogle politiske overvejelser om hvorvidt der skal betales fuld afgift, for at have fjernvarmen tilsluttet, men kun som backup, som der overlades til AlSION og Sønderborg fjernvarme at løse. Hvis dette aspekt kan løses, vil der åbnes flere muligheder for varmepumpeanlæg.

## Kapitel 4

# Økonomi & Miljø

### 4.1 Økonomi

De økonomiske betragtninger for de forskellige dimensionerede varmepumpesystemer vil her blive belyst. Her spiller flere faktorer ind, såsom COP, anlægspris og afgifter.

Systemernes anlægsomkostninger er estimeret ud fra Rambølls prisoverslag, se appendix E.1 og E.1, ses sammen med de vægtede COP'er i Tabel 4.2.

<b>System:</b>	1	2	3	4	5	6
<b>COP:</b>	6.7	3.4	4.4	4.2	4.3	4.9
<b>Anlægsomkostninger:</b>	4 mio.	5 mio.	6 mio.	6 mio.	5 mio.	6 mio.

Tabel 4.1: Vægtede COP's samt anlægsomkostninger

Der vil formentlig være forskellige omkostninger for vedligeholdelsen af de enkelte varmepumpesystemer. Der er dog stor usikkerhed i estimerne til at differentiere mellem vedligeholdelsesomkostningerne for hver løsning, og den er derfor sat til det samme for hvert anlæg. Vedligeholdelsesomkostningerne sættes, efter bedste skøn til 75.000 kr, som diskuteret i gruppen, se appendix F.1.

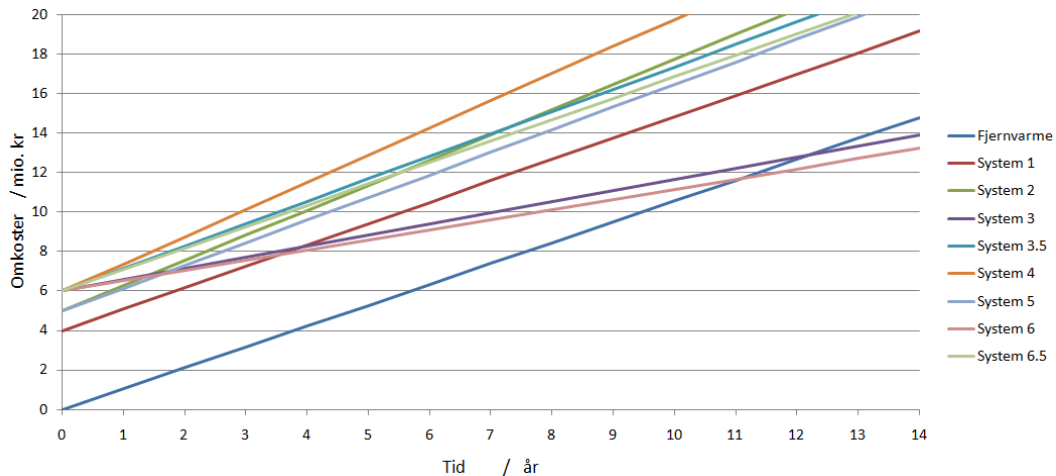
Der tages ikke højde for renterne. Den interne rente pga. en vis usikkerhed i estimerne for anlægs- og vedligeholdelsesomkostningerne, i forvejen er usikker og der vil derfor kun komme yderligere usikkerhed i de endelige økonomiske resultater. Pga disse usikkerheder kan tilbagebetalingstiderne der opnås i nedenstående beregninger, der ses i Bilag E.1, udelukkende kunne benyttes som et estimat. Den eksterne på grund af mange afhængigheder der udspringer af bygherrens situation.

Alsion har en årlig udgift til fjernvarme på 1056000krE.1. Dette inkluderer en årlig afgift til Sønderborg Fjernvarme på  $20 \frac{kr}{m^2}$ , som beløber sig til 570000kr.

Den økonomiske sammenligning sker ved at sætte de 6 fundne løsningsmuligheder op mod hinanden og mod fjernvarmeleveringen, grafisk. Dette ses i Figur 4.1 sat op som funktion af tiden.

Heraf ses det, at system 3 og system 6, er de eneste to der kan levere den nødvendige varme uden supplement fra den eksisterende fjernvarmelevering. Det vil derfor være de eneste to systemer hvor tilkoblingen til fjernvarmenettet kan undværes, og afgiften til Sønderborg Fjernvarme kan undgås. Alsion ønsker dog at beholde tilslutningen til fjernvarmenettet, og på trods af at system 3 og system 6 i princippet kan fungere selv, er fjernvarmetilslutningen i de to løsningsmuligheder bevaret, der med fjernvarmetilslutningen benævnes System 3.5 og System 6.5.

Ud fra Figur 4.1 ses det, at den bedste økonomi netop fås for de systemer der består af to parallelle kredse, en med høj temperatur og en med lav temperatur, som slet ikke benytter sig af fjernvarme. For disse systemer vil tilbagebetalingstiden være omkring 12 år.



Figur 4.1: Økonomien for løsningsmulighederne og fjernvarmen som funktion af tiden

Den procentvise årlige besparelse, såfremt man benytter system 6, vil ligge på ca. 46%. Alstion vil altså næsten kunne halvere deres årlige omkostninger til varmekonsum, hvis der ses bort fra renter fra anlægsomkostningerne, og vel at mærke ved helt at undvære fjernvarmesuppleringen.

## 4.2 Miljø

I dette afsnit vil der blive gennemgået de miljøbetragtninger og resultaterne fra miljøberegninger der er foretaget på baggrund af den nuværende varmekonsum, de dimensionerede anlæg, samt andre generelle miljøovervejelser i forbindelse med varmepumpeprojektet på Alstion.

### 4.2.1 Restriktioner og påvirkning af nærmiljø

Idet varmepumpesystemet udleder koldt vand i Alssund, kunne det forestilles, at der gælder visse restriktioner for hvor lavt temperaturen af udledningsvandet må være, idet forandret miljø vil kunne skade plante- og dyreliv. Derudover kunne der også være regler for, hvad det er tilladt at placere på bunden af sundet.

Imidlertid vil hverken Miljøforvaltningen i Sønderborg kommune, Kystdirektoratet eller Miljøstyrelsen, herunder Miljøcenter Ribe, tage stilling til sådanne tilladelser, før de har en konkret ansøgning at forholde sig til. Tom Knudsen fra Miljøcenter Ribe, kan dog umiddelbart ikke se at der skulle være miljømæssige problemer i forbindelse med projektet, men understreger at det vil blive vurderet ved en evt. ansøgning om opsætning. Dette begrundes bl.a. med at vandet i Alssund ud for Alstion ikke er et specielt naturbeskyttet område, med f.eks. fuglereservat eller lignende (se samtalereferat i appendix C.1 og C.2).

For at kunne få accepteret sin ansøgning, vil det være nødvendigt at dokumentere, hvordan fare for forurening af sundet kan undgås, samt undgå en sænkning af havtemperaturen der er til skade for det omkringliggende miljø. Disse risici skal vurderes i en såkaldt VVM (Vurdering af Virkninger på Miljøet). En sådan VVM skal indeholde en beskrivelse af anlægget, vurdering af forskellige miljøpåvirkninger, beskrivelse af alternative løsningsmuligheder, samt beskrivelse af mulige uheld, og hvordan man i givet vis vil afværge disse uheld.

I og med en sådan VVM-undersøgelse er relativt omfattende, og det ikke er formålet med dette projekt at gå i dybden med denne del af undersøgelsen, er der ikke foretaget yderligere på dette område.

### 4.2.2 CO<sub>2</sub>-emissioner

For at kunne sammenligne emissioner fra et varmepumpeanlæg på Alsion med den nuværende fjernvarmeleverance, er det nødvendigt først at undersøge hvor stor CO<sub>2</sub>-emissionen for fjernvarmen er.

Alsion modtager deres fjernvarme fra Sønderborg Fjernvarme, som ikke selv producerer varmen, men køber den fra Sønderborg Kraftvarmeværk. Sønderborg Kraftvarmeværk producerer både el og varme, hvor Sønderborg Fjernvarme er eneste aftager af varmen. Det er altså nødvendigt at se på emissionen fra kraftvarmeværket. Følgende beregninger er baseret på Sønderborg Kraftvarmeværks 'Grønne regnskab' for 2008, se reference pkt. [9].

Kraftvarmeværket består af en affalds- og gasforbrænding. Ved begge processer produceres både el og varme, dog er produktionsforholdet forskelligt for de to. Der foretages målinger og beregninger på hvor store mængder af de forskellige stoffer der udledes. Hvis denne udledning skal fordeles på de to typer energi der produceres, kan det blive svært at afgøre hvordan dette skal beregnes.

En af måderne at gribe det an på, er at kraftvarmeværket producerer el, og at varmen blot er et spildprodukt der udnyttes. Derved er udledningen af CO<sub>2</sub> ved varmeproduktionen meget lav, hvorimod den vil være høj for elproduktionen. Ud fra anlægsoversigten i årsrapporten estimeres, hvor stor indflydelse varmeproduktionen har på den samlede virkningsgrad i anlægget (se appendix B.5). Selve varmen udvindes efter dampturbinen. Fjernvarmen leveres ved 65 °C. For at opnå dette antager vi en kondenseringstemperatur på 70 °C. Herimod kan man ved ren el-produktion blot nøjes med en kondenseringstemperatur på 30 °C, hvilket er normalt for et kraftværk der ikke producerer varme. Ved kontrolvolumen om generator og turbine, beregnes at virkningsgraden stiger med ca. 11%, når der ikke produceres fjernvarme. Det er vanskeligt at omregne til forskellen i CO<sub>2</sub>-emission, da der på kraftvarmeværket er 2 turbiner, da kun den samlede virkningsgrad kendes. Hermed udgør fjernvarmens CO<sub>2</sub>-emission meget lidt, hvis dette antages at være metoden.

En anden måde at betragte det på er, at vægte udledningen efter procentdel produktion af hhv. el og varme. Beregningen af udledningen af CO<sub>2</sub> der stammer fra fjernvarmeproduktionen, sker som en vægtet del af Sønderborg Kraftvarmeværks samlede emission.

Følgende beregninger er en vægtning af CO<sub>2</sub>-emissionen. Dette er gjort på en subjektiv måde, og er derfor et bud på emissionen pr. MWh.

Ifølge en rapport fra Dansk Kompetencecenter For Affald, se reference pkt. [1], estimerede Energistyrelsen, indtil for få år siden, den ikke-CO<sub>2</sub>-neutrale andel til  $17,6 \frac{kg CO_2}{GJ}$ . Tal fra DTU, fra samme rapport, viser at andelen er ca.  $32 \frac{kg CO_2}{GJ}$  - dette tal vil blive brugt til beregningerne idet der gives et konservativt bud. Da den gennemsnitlige CO<sub>2</sub>-emission fra affald er  $112,1 \frac{kg CO_2}{GJ}$ , se reference pkt. [4], svarer de  $32 \frac{kg CO_2}{GJ}$ , der skal regnes med i CO<sub>2</sub>-regnskabet, til 28,6% af udledningen. Den CO<sub>2</sub>-neutrale del af emissionen fraregnes ved den endelige CO<sub>2</sub> udledning.

	CO <sub>2</sub> -emission	CO <sub>2</sub> -neutral emission	CO <sub>2</sub> i regnskab	Produktion el/varme	$\eta_s$ , el/varme
<b>Affald</b>	56278	0	56278	41467/156942	
<b>Gas</b>	74934	53524	21410	138770/105195	
<b>Samlet</b>	131212	53524	77688	180237/262024	0,343/0,553

Tabel 4.2: Kraftvarmeværkстал

Virkningsgraden på værket medfører at varmeproduktionen vægtet udleder ca.  $\eta = 38\%$  af den samlede mængde CO<sub>2</sub>. Dette er kun gældene når fjernvarmeproduktion kører på fuld blus. Det har den ikke gjort i 10% af tiden, hvilket ses hvis der kigges på  $\text{virkningsgrad} = \frac{\text{output}}{\text{input}}$ , for el og varme. Her burde input være ens, men der ses det er 10% højre for el. Så 90%, af CO<sub>2</sub>-emission, siges at være fordelt 38/62 varme/el mens de sidste 10% er el alene.

Jvf. 125 % metoden korrigeres forholdet mellem varme- og el-produktion, da varmeproduktionen i et vist omfang regnes som spildprodukt fra el-produktionen. Tidligere brugte man 200%, men i 2006 blev varmekorrigeringsgraden sat til 125 % ved samproduktion af el og varme ifølge energinet.dk (se reference pkt. [5] s. 3). 125% reglen betyder at udledningsfaktoren divideres med 125% til sidst.

$$\text{Udledningsfaktor}_{\text{varme}} = \frac{\text{Total emission} \cdot k_{\text{input}} \cdot k_{\eta}}{\text{Varmeproduktion} \cdot 125\%} = 81,88 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} \quad (4.2.1)$$

Disse 81,88 kg pr. MWh er den udledningsfaktor, som Alsions fjernvarmesystem forventes at have. Fremover benyttes de 81,88 kg pr. MWh, da dette tal er et reelt tal - og næsten eller ingen ved den første metode. Det årlige energiforbrug på Alsion er ca. 1801 MWh. Hermed udledes årligt:

$$1801 \text{ MWh} \cdot 81,88 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}} = 147457 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{aar}}. \quad (4.2.2)$$

Ifølge energinet.dk, se refernce pkt. [7] er emissionsfaktoren ved strømforbrug i Jylland ca. 473 g/kWh. Idet COP er fundet til 4,95 for det foreslåede varmepumpesystem, vil der med dette system årligt blive udledt:

$$\frac{1801 \text{ MWh} \cdot 473 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{MWh}}}{4,95} = 172096 \text{ kg} \frac{\text{CO}_2}{\text{aar}} \quad (4.2.3)$$

Hermed ville en investering i varmepumpesystemet, betyde en procentmæssig forskel i emissionen af CO<sub>2</sub> på:

$$\frac{147457 \text{ kg} - 172096 \text{ kg}}{162203 \text{ kg}} \cdot 100\% = -16,7\% \quad (4.2.4)$$

CO<sub>2</sub>-udledningen ville dermed øges med ca. 16,7%, svarende til omtrend 24,6 tons ekstra CO<sub>2</sub> om året. Dette må siges at være en ærgelig konklusion, idet opsætning af varmepumpen ved denne udregningsmetode ikke vil være miljømæssigt fornuftigt. Hvis den anden metode blev benyttet til at beregne CO<sub>2</sub>-emissionen, ville CO<sub>2</sub>-emissionen blive endnu mindre for fjernvarme og gøre varmepumpen end mindre miljømæssigt fornuftigt

Betraktes der derimod på den gennemsnitlige emissionsfaktor for CO<sub>2</sub> som er ca. 130 g/kWh for fjernvarme fra kraftvarmeværk i Jylland ifølge Energistyrelsen, se refernce pkt. [8], ville alsion kunne man spare

$$\frac{130 \frac{\text{kg}}{\text{mWh}} - \frac{473 \frac{\text{kg}}{\text{mWh}}}{4,95}}{130 \frac{\text{kg}}{\text{mWh}}} = 26,5\% \quad (4.2.5)$$

af CO<sub>2</sub>-udledningen.

## Kapitel 5

# Diskussion, Konklusion & Perspektivering

### 5.1 Diskussion

Arbejdsprocessen gennem projektarbejdet var i den tidlige fase præget af en noget upræcis målsætning for hvad projektet egentlig skulle føre med sig. Dette medførte flere omveje og spildte arbejdstimer på ting der blev gået i dybden med, men som senere viste sig ikke at have relevans for det endelige fokusområde. Dette kan både ses som en god og dårlig ting. Hvis der kigges rent individuelt har dette givet en god og mere bred viden om varmepumper og projektplanlægning, mens det selvfølgelig kan kaldes spild af tid, at skrive tekstudkast der ikke blev inkluderet i den endelige rapport. Læren af dette kan summeres op til at der ikke har været fokus nok på den røde tråd fra starten, og at tiden nok er givet bedre ud i starten i et sådan projek, med at lave undersøgelser og videnssøgning, og være mere afventende med at få skrevet noget, da dette hurtigt kan blive dobbelt/spildt arbejde.

Gennem sammensætning af anlæg kunne der konstateres en pæn optimering af et anlæg der leverede al varmen ved høje temperature (system 2), men ikke helt kunne måle sig med en mere simpel opsætning af to varmepumper (system 3). Da optimeringen tog udgangspunkt i system 2, kan det derfor betegnes som en succes. At det sidenhen viste sig at der kunne sættes løsninger sammen på en anden måde der var mere optimal, er kun en gevinst, da COP'en for de to næsten er den sammen, men anvendelsesmulighederne forskellige.

I løsningsmulighederne blev der inddraget to systemer med CO<sub>2</sub> som kølemiddel. Disse viste sig at være gode alternativer til de mere konventionelle kølemidler, da CO<sub>2</sub> giver en god COP ved høje temperature. En spændende anvendelsesmulighed var kombinationen af det konventionelle R134a og CO<sub>2</sub> som kølemiddel, da dette udnyttede "forcen-fra begge kølemidler og dermed opnåede den højeste COP for vores systemer. Da princippet og mange af beregningerne er de samme for CO<sub>2</sub>, som for konventionelle kølemidler er der ikke blevet gået mere i dybden med dette, selvom det er spændende område i sig selv.

I målsætningen, blev der sat en tilbagebetalingstid på 10 år, som et succeskriterie. Da den bedste løsning giver ca. 12 år, er dette lige over. Dette kriterie er derfor ikke opfyldt. Da afvigelsen ikke er mere end den er, kan løsningen dog stadig ses som fornuftig, hvis der også lægges vægt på andre værdier som forskningsmuligheder og lærerige oplysninger for fremtidige projekter.

Ønsket om at nedbringe CO<sub>2</sub>-udledningen, og blive CO<sub>2</sub>-neutrale ser tilsyneladende ud til at blive svært at efterkomme, som nævnt i afsnittet om CO<sub>2</sub> udledning. Dette kan dog stadig godt lade sig gøre, hvis Alision går videre med det og fx investerer i en vindmølle eller køber "grøn" strøm til varmepumpen. Denne vinkel har der desværre ikke været plads til at belyse, men ville være oplagt for Alision selv at tage stilling til. Dette kommer også af, at det mere er et politisk spørgsmål mht. hvor grøn der ønskes at være, og sådanne holdninger kan være svære at sætte en pris og dermed succeskriteria på.

Det kunne muligvis være ønsket, at der havde været mere eksperimentielt indhold i projektarbejdet. Der kunne være anskaffet en mindre varmepumpe til at foretage forskellige forsøg med, men

det blev vurderet, i samråd med vejleder, at dette ikke ville have en væsentlig relevans for netop dette projekt. Projektet er, på trods af det manglende eksperimentielle indhold, ikke kun teori, da anlægget er baseret på reelle målinger og behovssituationer, og da det efter yderligere bearbejdning af Rambøll Danmark A/S, er projekteret til at blive opsat i nærmeste fremtid.

Et aspekt indenfor økonomidelen kunne tænkes at være overset, nemlig renten af anlægsomkostningerne. Dette er udeladt bevidst af flere grunde: En væsentlig faktor er selvsagt om finansieringen af anlægsprojektet sker for egen kapital, eller lånte penge. Hvis kapitalen til opførelse af anlægget kan tages fra virksomhedens egenkapital, kunne disse midler istedet været investeret, hvorfor en intern rente i princippet skal tilføjes projektets omkostninger. Hvis kapitalen derimod tænkes lånt, skal der betales en vis rente, hvilket også vil have en væsentlig negativ indflydelse på anlæggets tilbagebetalingstid. Dette ville kræve estimater af afbetaling, renter m.m., hvilket ville gøre den økonomiske endnu mere upræcis. Derudover kommer en række skattemæssige aspekter, som kun yderligere komplicerer regnestykket.

## 5.2 Konklusion

Det kan konkluderes ud fra arbejdet, at det økonomisk godt kan være en fornuftig ide at investere i et varmepumpeanlæg. Som et CO<sub>2</sub> besparende tiltag kan dette dog ikke anbefales for Alsion, men værende en god løsning andre steder uden fjernvarme. Muligheden for et anlæg der ville kunne laves forsøg og forskning på, er også tilstede i løsningsforslag 6, såfremt der lægges stor vægt på dette.

## 5.3 Perspektivering

Da projektet kun er en indledende undersøgelse, om Alsions projekt kan lade sig gøre, efterlader det flere områder der skal uddybes og/eller tages stilling til. Vores vurderinger på de mest indlysende punkter der kan arbejdes videre med, er afgiften og betydningen af CO<sub>2</sub> neutral energi. Det anbefales kraftigt at Alsion prioriterer deres ønsker for projektet, inden de kan vurderer mulighederne for succes.

Det kunne være spændende, at følge udviklingen af det kombinerede anlæg i system 6, da vi ikke er stødt på produkter der har benyttet denne teknologi. Det virker som om branchen, har en lidt konservativ holdning, til at der kun skal være ét kølemiddel pr varmepumpeløsning.

# Kapitel 6

## Projektervaluering

### 6.1 Projektorganisering

Dette afsnit vil dels omhandle de dele af projektledelsen der er benyttet gennem projektet, som ikke allerede er beskrevet i kapitlet 'Projektplanlægning', og dels generelt om hvordan projektet er forløbet, og hvilke roller de forskellige gruppemedlemmer har haft.

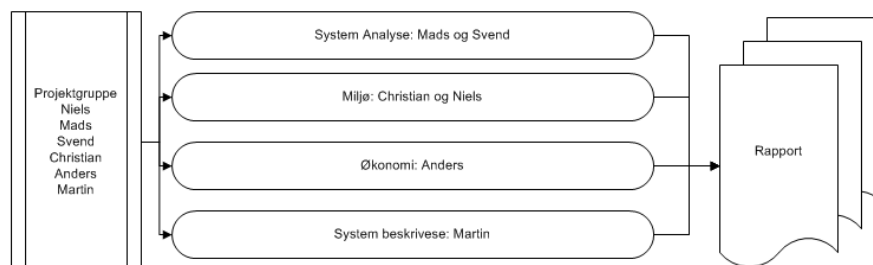
#### 6.1.1 Projektopdeling & ansvarsområder

Organisationen af projektstrukturen har primært været styret af gruppen(os). Der har dog været personer og organisationer, der har haft indflydelse. Det har gennem projektet, og i mangel på erfaring i lignende store projekter, været vanskeligt at indse dette fuldstændigt. I de opgaver der normalt arbejdes med på DTU, er der et ønske om et entydigt svar på den måde, at der skal findes frem til én rigtig løsning/facit. At projekt har været anderledes opbygget, har taget lidt tid at indse. Opbygningen og valgfriheden i projektet har dog givet mange muligheder og har gjort det muligt for gruppen at sætte sit helt eget præg på opgaven.

Af personer og organisationer der har påvirket projektet har været vejleder Brian Emlegaard, Alsion/KVCA. For Brians vedkommende med ekspertviden og vejledning, og for Alsions/KVCA's vedkommende med den oprindelige problemstilling, samt informationer omkring Alsion.

Projektgruppen valgte at dele sig yderligere op i mindre grupper, da det ikke var muligt for alle og arbejde på samme dele af opgaven samtidig. Den viden der var erhvervet af hvert gruppemedlem gennem forskellige DTU kurser, lige fra fluid mekanik og energiteknik til ledelse og teknisk økonomi, bedst udnyttes gennem projektet.

Generelt set har arbejdet med projektet båret præg af, at de forskellige gruppemedlemmer har deltaget og været med i udarbejdelsen af de fleste afsnit. Det er derfor umiddelbart svært at sætte entydig forfatter på hvert afsnit. Da dette imidlertid er et krav til rapporten, blev kapitlerne opdelt som i fig. 6.1.



Figur 6.1: Organisation

## 6.2 Rollefordeling

Projektgruppen blev skabt på baggrund af Belbins 9 teamroller. Dette blev gjort for at danne en så heterogen gruppe som muligt, bestående af forskellige typer personer, der hver især skulle beside forskellige roller. Disse roller skulle besiddes af gruppemedlemmer med forskellige kvalifikationer og personlighed, der tilsammen skulle supplere hinanden og danne en alsidig gruppe. Det viste sig dog hurtigt, at være en kunstig opdeling, og rollefordelingen skete derfor, mere eller mindre bevidst, ud fra hvad der fandtes mest naturligt. Som det ses i gruppekontrakten, var de oprindelige roller fordelt således, se appendix A.2: Mads var idemand og (delvis)formidler, Christian var analysator og (delvis)formidler, Svend var specialist, Niels var (delvis)opstarter og afslutter, Martin var organisator og kontaktskaber, og Anders var koordinator.

Det blev ikke besluttet at ændre disse roller, men i realiteten skete det alligevel. Rollerne så mere sådan ud, at Mads og Svend har været specialister, Christian og Anders har været analysatorer, Niels har været koordinator og kontaktskaber, Martin har været formidler og afslutter. Rollerne som opstarter og organisator er blevet varetaget af den samlede gruppe.

### 6.3 Gruppens meninger om projektarbejdet

Tabel 6.1 viser de enkelte gruppemedlemmers meninger og holdninger til de forskellige dele af projektet.

Gruppemedlem	Gruppedannelsen	Projektforløbet	Samarbejdet
Svend	Ideen med denne sammensætning er god, men det fungerer ikke helt så godt i praksis når den bliver tvungen	Skriveforløbet startede muligvis for tidligt, hvor gruppens viden om emnet ikke var tilstrækkelig. Dette gav ekstraarbejde	Har fungeret meget fint
Anders	Fornuftigt at sætte folk sammen på denne måde. Men rollefordelingen har ikke fungeret særlig godt. Svært at blive enige om valg af projekt, med forskellige ønsker i gruppen	Fin opdeling med informationssøgning i starten, hvor der ikke er afsat så meget tid til arbejdet, og koncentreret arbejdet i skriveperioden	Forløbet forholdsvis gnidningsfrit, set i forhold til at gruppen ikke har sammensat sig selv.
Christian	Fornuftig gruppedannelse, specielt for folk fra anden årgang. Opdelingen efter roller var lidt søgt	Tingene gik meget langsomt i starten, da man kun var 8 timer ugentligt	Det har fungeret helt fint
Niels	Det har været fint med en tvungen gruppedannelse, så gruppen har bestået af personer med forskellige faglige forudsætninger	Projektstarten gik lidt langsomt, men efterhånden som viden om emnet steg gik det noget hurtigere. Sjovt at kunne fordybe sig i et projekt	Det har fungeret rigtig godt. Det har til tider været lidt irriterende at alle ikke har kunne mødes samtidig og lave projekt
Mads	God ide med sammensatte grupper med forskellige typer personer	Sjovt at arbejde med et større projekt	Har været ganske fint, og er kommet godt ud af det med hinanden
Martin	Gruppedannelsen har været god, og har givet en god afspejling af virkelighedens projekter	Da projektet har været bredt og gruppen stor, har det desværre været vanskeligt for alle at være lige meget inde over alle emnerne	Det har fungeret rigtig fint

Tabel 6.1: Gruppemedlemmers meninger om projektarbejdet

Tak til:

Brian Elmegård, DTU

Knud Degn Larsen, Alsiön

Hans A. Pedersen, Alsiön

Rambøll A/S

# Litteratur

- [1] CO<sub>2</sub>-emission fra affaldsforbrænding. [http://www.dakofa.dk/index2.php?option=com\\_content&](http://www.dakofa.dk/index2.php?option=com_content&)
- [2] CO<sub>2</sub> som kølemiddel i varmepumper. <http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?ht7944-330-3/html/kap06.htm>.
- [3] Ees - function information. Academic Professional V8.200 3D.
- [4] Københavns kommune CO<sub>2</sub>-regnskab 2005. <http://www.miljoportal.dk/NR/rdonlyres/72D632E860C-4C18-ABEE-949EE08AD191/0/K%C3%B8benhavnsKommunesCO2kortl%C3%A6gning2>
- [5] Miljødeklarationer 2007 for el leveret i Øst- og vest-danmark. <http://www.energinet.dk/NR/rdonlyres/A5DAF3B5-0953-4DC0-98AC-4FE48F419E22/0/Milj%C3%B8deklarationer2007.pdf>.
- [6] Månedens vejr - oversigt, dmi. [http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/maanedens\\_vejr\\_-\\_oversigt.htm](http://www.dmi.dk/dmi/index/danmark/maanedens_vejr_-_oversigt.htm).
- [7] Nøgletal elforbrug. <http://www.key2green.dk/page70.aspx>.
- [8] Nøgletal fjernvarme. <http://www.key2green.dk/page71.aspx>.
- [9] Sønderborg kraftvarmeværk i/s: Årsrapport 2008.
- [10] Poul S. Larsen og Henrik Carlsen. *Teknisk Termodynamik, 3. udgave*. Institut for Mekanisk Teknologi, DTU, 2008. ISBN: 978-87-707-8001-8.
- [11] Mette L. Attrup og John R. Olsson. *Power i projekter og portefølje, 2. udgave, 1. oplag*. Jurist- og Økonomforbundets Forlag, 2008. ISBN: 978-87-574-1665-7.

# Figurer

1.1	Målhierarki . . . . .	5
1.2	Gantt-chart for projektet . . . . .	7
2.1	Principdiagram for en simpel varmepumpe . . . . .	8
2.2	$\log(p), h$ diagrammet viser kredsprocessen . . . . .	9
2.3	Kredsprocesser for R134a og CO <sub>2</sub> . Se referencen pkt. [2] . . . . .	10
2.4	Graf over varmestrømme . . . . .	10
3.1	Graf over energiforbruget . . . . .	11
3.2	Graf over graddage sammenlignet med varmekonsumet over året . . . . .	12
3.3	Placering af målestationer . . . . .	12
3.4	Graf over graddage sammenlignet med havvandstemperaturen over året . . . . .	13
3.5	Pinch-point på grafen er markeret som $\Delta T$ . . . . .	14
3.6	Principskitse over det simple anlæg . . . . .	17
3.7	Principskitse over det udvidede anlæg . . . . .	18
3.8	COP'en variende henover året for alle systemerne . . . . .	21
4.1	Økonomien for løsningsmulighederne og fjernvarmen som funktion af tiden . . . . .	23
6.1	Organisation . . . . .	28