

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og teknologi
Institutt for naturforvaltning

Masteroppgave 2015
30 stp

Varmepumper: Drift eller vedlikehold? – Hvorfor varmepumper ikke alltid står til forventningene.

Tord Ståle N. Storbækken

Forord

Denne mastergradsoppgaven markerer avslutningen på mitt masterstudium i fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Etter noen år på Ås har det gått opp for meg at jeg i all hovedsak er temmelig takknemlig og dette forordet er i bunn og grunn en lang liste med takk. Resten av oppgaven skal være usedvanlig fri for takking, med unntak av en enslig og bortgjemt forekomst av takk i *Vedlegg A*.

Hjertelig takk til veileder Monica Havskjold, uten henne ville denne oppgaven aldri blitt til.

Takker Helle Grønli og gjengen hennes på Enova SF for hyggelig og særdeles lærerikt samarbeid. Takk til Geir Eggen i Cowi og Torkel Grotøy i Johnson Controls. Ikke minst vil jeg takke alle som tok seg tid til å svare på spørreundersøkelsen, for ikke å glemme både anonyme og navngitte som tok seg tid til å svare på e-post, snakke med meg i telefonen og møte meg *in persona*.

Ellers vil jeg takke Erik Nygaard for våkne øyne i rettskrivingsøyemed, for generell "muntermangsomhet" og gemyttlighet, og takk til husvert Marit Kristine Svenkerud for nydelig kost og losji. Kollegaer i IT-avdelingen ved NMBU takkes også.

Til sist, men ikke minst, en noe ufortjent morgengretten, men særdeles oppriktig takk til alle som har bidratt til å vekke meg på morgenkvisten i løpet av studietiden.

Medgir forøvrig at eventuelle feil og mangler i oppgaven selvfølgelig er forfatterens hele og fulle ansvar, og ønsker med dette leseren god lesning.

Ås, 13. Mai 2015

Tord Ståle N. Storbækken

Sammendrag

Denne oppgaven tar utgangspunkt i NOU 1998:11 (1998) og Varmepumpeplanlegger: orientering om varmepumpas virkemåte og aktuelle henvendelser (SINTEF 1988) hvor det for overslagsmessige beregninger foreslås at årlige drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumper eksklusive kostnader til driftsenergi, ligger på 2-3% av investeringskostnadene. Det ønskes å undersøke i hvilken grad dette overslaget fortsatt kan sies å være reelt, eller om det samsvarer i mindre grad med dagens realiteter. Videre ønskes det å undersøke om det finnes en eventuelt bakenforliggende årsak til at kostnadsnivået for varmepumper er avvikende.

For å beregne varmepumpenes driftskostnader ble det utarbeidet en web-basert spørreundersøkelse for Enova-støttede varmepumpeprosjekter. Undersøkelsen hadde som hovedmål å kartlegge sluttbrukernes årlige kostnader til drift og vedlikehold av varmepumpen, eksklusive kostnader til strøm til kompressoren. Videre ble varmepumpenes øvrige attributter og beskaffenhet undersøkt, og om varmepumpeanlegget hadde hatt driftsproblemer, eventuelt av hvilken art og kostnadsstørrelse. Avslutningsvis ble respondentene bedt om å gjøre rede for sine subjektive vurdering av varmepumpeanlegget, herunder hvorvidt de var fornøyd med anlegget.

Responsraten på spørreundersøkelsen var lav og supplerende intervjuer og en litteraturanalyse ble gjennomført.

Det lyktes ikke å trekke generelle konklusjoner for varmepumpeanlegg generelt, men for anlegg hvor data kunne framvises viste det seg at kostnader for drift og vedlikehold var under de tidligere nevnte 2-3% for anlegg som var i drift.

Årsaken til at negative driftserfaringer og at drifts- og vedlikeholdskostnader avviker fra 2-3%-verdien ser ut til å være manglende kompetanse i ulike instanser, spesielt i prosjekteringsfasen.

Summary

This thesis looks at the NOU 1998:11 (1998) and “Varmepumpeplanlegger: orientering om varmepumpas virkemåte og aktuelle henvendelser” (SINTEF 1988) that for rough calculations suggests an annual operating and maintenance costs for heat pumps excluding costs of operating energy is at 2-3 % of the investment costs. It is desired to examine to what extent this estimate can still be said to be relevant. In the event of discrepancy, efforts will be made to find the underlying causes.

To calculate the heat pumps' operating costs, a web-based survey was developed to examine heat pump projects supported by Enova. The study's main objective was to identify the annual costs for operation and maintenance of the heat pump, excluding costs to power the compressor. The heat pumps' attributes and characteristics were examined, and any operational problems were duly noted. Finally, the respondents were asked to explain their subjective evaluation of the heat pump installation, including their experiences and whether they were satisfied with the facility.s

The survey response rate was low and supplementary interviews and an analysis of literature regarding the subject was conducted.

The survey failed to draw conclusions for heat pump systems in general, but for most of the systems where data was available it was showed that costs for operation and maintenance was below the aforementioned 2-3% for installations that were in operation at the time of the survey.

Lack of expertise, especially in the design phase, is most likely the cause of negative experiences during heat pump operation, and may also be the cause that some heat pump installations experience deviations from the anticipated 2-3% value.

Innhold

Forord.....	I
Sammendrag	II
Summary.....	III
Innhold.....	IV
Figurliste.....	VII
Tabelliste.....	VII
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn.....	1
1.2 Problemstilling.....	2
1.2.1 Forutsetninger.....	2
1.2.2 Dokumentanalyse og intervjuer	3
1.3 Kort om varmepumper.....	4
1.3.1 Grunnleggende om virkemåte	4
1.3.2 Ulike kompressortyper	5
1.3.3 Drift og vedlikehold.....	8
1.3.4 Vanlige problemer	10
1.4 Oppgavens struktur	12
2 Metode	13
2.1 Introduksjon	13
2.2 Forskningsdesign	13
2.3 Spørreundersøkelse.....	14
2.3.1 Utarbeidelse av spørreskjema.....	15
2.4 Intervju	18
2.4.1 Utvalg av informanter	18
2.5 Supplerende litteraturanalyse.....	18
3 Resultater	19
3.1 Oppslutning.....	19
3.2 Generelt om anleggene	20
3.3 Kvantitative data	22

3.4	Kvalitative tilbakemeldinger	24
3.4.1	Dimensjonering.....	24
3.4.2	Driftssikkerhet	24
3.4.3	Tur/returtemperatur	24
3.4.4	Generelle driftserfaringer og observasjoner	25
3.4.5	Tilfredshetsnivå	25
3.4.6	Sammenheng mellom tilfredshet og driftskostnad	26
3.5	Intervjuer	26
3.5.1	Kostnader	27
3.5.2	Kostnadsdrivende elementer.....	28
3.5.3	Driftserfaringer	28
3.5.4	Grunner til problemer.....	29
3.6	Litteraturanalyse.....	31
3.6.1	"Varmepumpeveileder 2003"(Statsbygg 2003)	31
3.6.2	"Kun en av 11 varmepumper virket"(Seehusen 2006).....	32
3.6.3	"Varmepumper – Norske ingeniører kan for lite om varmepumper"(Seehusen 2014).....	32
3.6.4	"Støy er det problemet som er vanskeligst å fikse"(Tekniske Nyheter 2015) 34	
3.6.5	"Boligeieres erfaringer med varmepumper med energibrønn som varmekilde"(Bøhn 2003).....	35
3.6.6	"The Economics Of Geothermal Heat Pump Systems For Commercial And Institutional Buildings"(Bloomquist 2001).....	36
3.6.7	"IEA HPP Annex 29 – Ground-Source Heat Pumps Overcoming Technical and Market Barriers. Status Report NORWAY"(Stene 2004)	37
3.6.8	"Analyse av varmepumpeanlegg i nærvarmesystem"	38
4	Diskusjon	42
4.1	Systemgrenser	42
4.2	Kostnader til drift- og vedlikehold	43
4.3	Dimensjonering og styringssystemer.....	43
4.4	Sluttbrukers opplevelse.....	44
4.5	Kompetanse.....	45
4.6	Styrker og svakheter ved metoden	46
4.7	Oppsummering.....	47
4.8	Forslag til videre arbeid.....	48

5	Konklusjon	49
6	Litteraturliste.....	50
	Vedlegg A	i
	Vedlegg B	iv
	Vedlegg C.....	v
	Vedlegg D	vi

Figurliste

Figur 1.1 Varmepumpeprinsippet. Ved å tilføre høyverdig energi kan varmeenergi flyttes fra en kilde med lav temperatur til en mottager med høy temperatur (Abelsen 2007).	4
Figur 1.2 Varmepumpen er satt sammen av hovedkomponentene kondensator, strupeventil, fordampere og kompressor (Abelsen 2007).	5
Figur 3.1 Illustrasjon av <i>total quality</i> -konseptet for et geotermisk varmepumpesystem med hensyn til design, konstruksjon, installasjon og vedlikehold (Stene 2004).	38

Tabelliste

Tabell 3.1 Fordeling av respondenter	20
Tabell 3.2 Data for fem respondenter, A til E.	22
Tabell 3.3 Svar på spørsmålet "Alt i alt, hvor tilfreds er du med varmepumpeanlegget?"	26
Tabell 3.4 Vedlikeholdskostnader i prosent av investering (grønt) for Selvågs alternativ 1, tottrinns amoniakkvarmepumpe (Selvåg 2007).	39
Tabell 3.5 Drift- og vedlikeholdskostnader (tottrinns NH ₃ -anlegg) i prosent av investeringskostnad, gitt 1500kW installert effekt og investeringskostnad på 5000kr/kW (Selvåg 2007; Selvåg & Stene 2007).	40
Tabell 3.6 Drift- og vedlikeholdskostnader (fire små turbokompressorer) i prosent av investeringskostnad, gitt 1500kW installert effekt og investeringskostnad på 5000kr/kW (Selvåg 2007; Selvåg & Stene 2007).	40

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

I kjølvannet av internasjonale sammenslutninger som Montrealprotokollen og Rio-konferansen og dets derivat Kyoto-avtalen har mange land gjort seg forpliktet til å gjennomføre tiltak for å redusere samlede utslipp av de viktigste klimagassene til minst 5% under 1990-nivå.

Et av tiltakene som ble gjennomført her til lands var å stifte Enova SF.

Enova ble etablert av Stortinget i 2001 for å få fart på energiomleggingen i Norge og har som hovedformål å "...drive fram en miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon, samt bidra til utvikling av energi- og klimateknologi." (*Om Enova* 2014). Enova forvalter Energifondet og eies av Olje- og Energidepartementet.

Å drive fram miljøvennlig omlegging energibruk og energiproduksjon innebærer en rekke ulike løsninger innenfor både konsument- og produsentenden av energikjeden. Tidligere ble olje ofte benyttet for å varme bygg med vannbåren varmedistribusjon, men dette er man av åpenbare årsaker på vei bort fra ettersom mer miljøvennlige teknologier har blitt tilgjengelig. For å foreta riktig teknologivalg er det viktig å vite mest mulig om de ulike teknologiene. Det er mange faktorer som spiller inn: døgn- og årsmiddeltemperaturer, klimasone, soldager, tilgang på brensel, investeringskostnader, driftskostnader og pris på levert varme for å nevne noen. Særlig viktig er det å ha et korrekt bilde av kostnadene for hver enkelt teknologi for å foreta riktig teknologivalg.

Utgangspunktet for denne oppgave var å ta for seg en liten del av dette: Drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumper. Det ble imidlertid klart at mange store byggeiere opplever at de har varmepumper som ikke fungerer som forutsatt, eller at varmepumpene ikke var i drift. Fokuset dreide seg etter hvert i retning av hvorfor varmepumpesystemene ikke alltid fungerte som de skulle, og hva som måtte til for at varmepumpene skulle fungere.

1.2 Problemstilling

1.2.1 Forutsetninger

Fra NOU 1998:11 (1998) :

For overslagsberegninger forutsetter man gjerne at drifts- og vedlikeholdskostnadene per år, eksklusive driftsenergi, er på 3 prosent av investeringskostnadene for små anlegg og 2 prosent for mellomstore og store varmepumpeanlegg.

Disse beregningene er fra 1988, og stammer fra "Varmepumpeplanlegger: orientering om varmepumpas virkemåte og aktuelle anvendelse" (SINTEF 1988). Tallene er også å finne i Bäckström og Halléns(1988) "Underhållskostnader för värmepumpar" fra samme år. Fagpersoner hos Enova SF og NMBU fornemmer at de faktiske drifts- og vedlikeholdskostnadene kan være høyere. Statsbyggs varmepumpeveileder av noe nyere dato(2003) benytter litt høyere tall; 2,5-5,0% av investeringsbeløpet til selve varmepumpen. Geir Eggen (2015) som i sin tid var med å skrive Varmepumpeplanleggeren opplyser at 2-3% gjelder investeringskostnad i maskinrom.

Denne oppgaven tok i utgangspunktet sikte på å kartlegge drifts- og vedlikeholdskostnader (eksklusive driftsenergi til kompressor) for ulike varmepumpeinstallasjoner i næringsbygg i Norge, sammenligne de erfarte kostnadene med de foreslåtte overslagsberegningstallene og vurdere om prosentsatsene for overslagsberegninger av drift- og vedlikeholdskostnader bør justeres. Videre ville jeg undersøke hvilke faktorer som påvirker kostnadsnivået og hvilke erfaringer de som benytter varmepumpene har med drift og vedlikehold av disse.

Problemstilling:

- Stemmer overslagsberegningstallene 2-3%?
- Hvis ikke, hvorfor kan det være slik at drifts- og vedlikeholdskostnader er større enn antatt?

Oppgaven tar for seg drifts- og vedlikeholdskostnader utenom driftsenergi til kompressor, i alle sammenhenger sees det altså bort fra driftskostnader som har med driftsenergi til kompressor å gjøre.

1.2.2 Dokumentanalyse og intervjuer

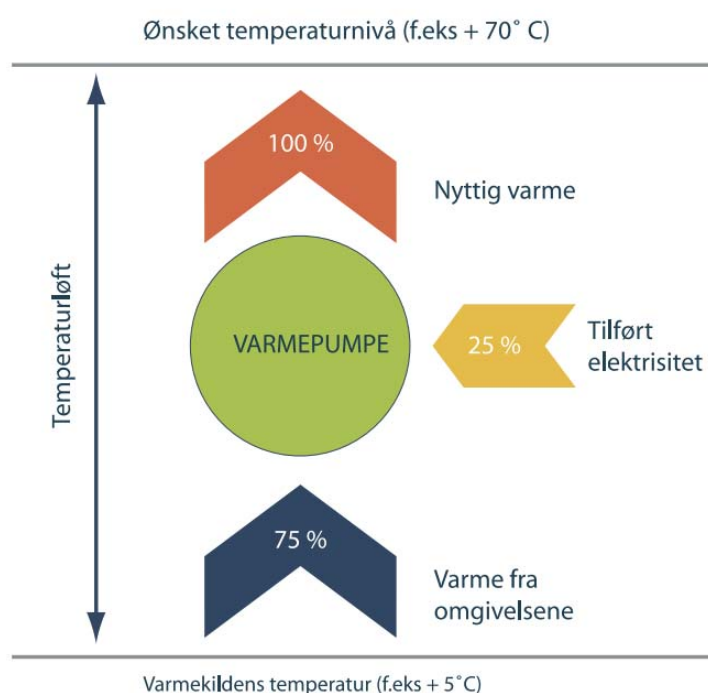
Som det vil bli gjort rede for i resultatkapittelet, skulle det vise seg at responsraten på spørreundersøkelsen som ble gjennomført beklageligvis var lav og at de kvantitative tilbakemeldingene respondentene kunne bidra med var både få og i enkelte tilfeller mangelfulle. Jeg har derfor gjennomført intervjuer med ulike representanter for varmepumpebransjen og undersøkt ulike dokumenter for å kartlegge hvilke driftserfaringer som er gjort, om det er vanlig at drifts- og vedlikeholdskostnader ikke er som forventet, og hva som kan være grunnen til dette.

1.3 Kort om varmepumper

1.3.1 Grunnleggende om virkemåte

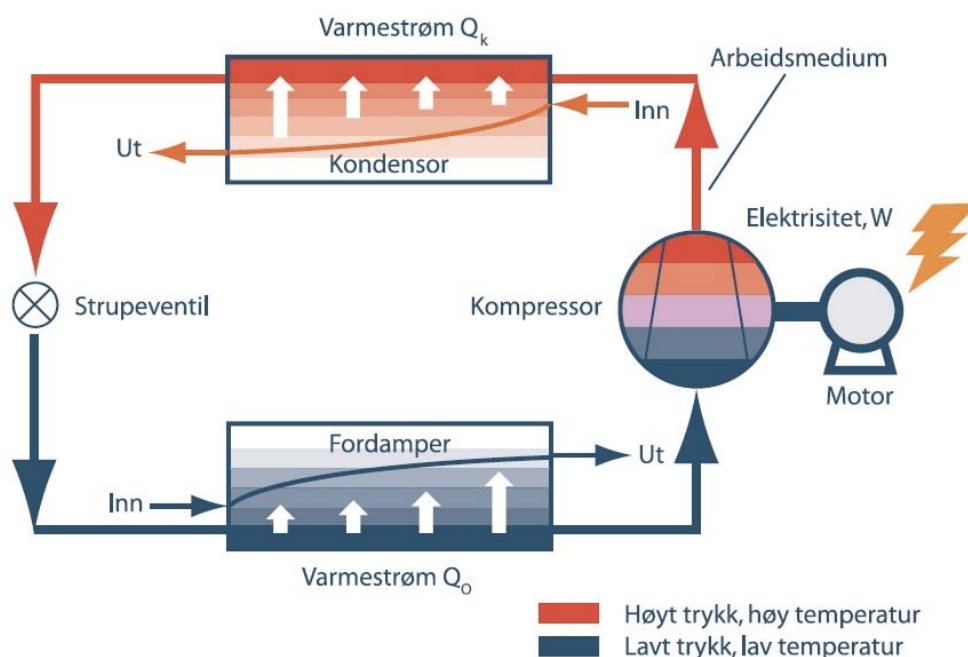
En varmepumpe fungerer ved å flytte termisk energi fra et område med lav temperatur til et område med høy temperatur (Abelsen 2007).

Selv om varmepumper snur om på retningen for den naturlige prosessen er de ikke magiske – de krever de tilførsel av energi av høy kvalitet, for eksempel elektrisitet, for å utnytte energi av lavere kvalitet, for eksempel 4°C i borehull. Av prinsippskissen i *figur 1.1* fremgår det at mengden tilført elektrisitet er mindre enn mengden termisk energi som produseres (Abelsen 2007), eller sagt på en annen måte, at varmeoutput er større enn input av eksergi (samtidig er eksergimengden som kommer ut mindre enn den som kommer inn, dette gjelder alle reelle prosesser). Denne egenskapen gjør varmepumpen til en viktig bidragsyter til energisparing(ibid.).



Figur 1.1 Varmepumpeprinsippet. Ved å tilføre høyverdig energi kan varmeenergi flyttes fra en kilde med lav temperatur til en mottager med høy temperatur (Abelsen 2007).

Prinsippene som ligger til grunn for at varmepumpen skal fungere er at væske som går over til gassform (fordamper) trekker til seg varme, og at gass som går over til væske (kondenserer) gir fra seg varme (Rasmussen 2000). For å holde prosessen med kondensering og fordamping i gang benyttes en kompressor for å suge gass ut av fordamperen og til å trykke den inn i kondensatoren, trykkforskjellene mellom reguleringsventilen og kompressoren gjør at varmemediet vil opptre i den tilstanden det finner naturlig under de gitte trykkforhold. *Figur 1.2* viser varmepumpens hovedkomponenter.



Figur 1.2 Varmepumpen er satt sammen av hovedkomponentene kondensator, strupeventil, fordamper og kompressor (Abelsen 2007).

1.3.2 Ulike kompressortyper

Det er flere måter å oppnå kompresjon i en krets. Rasmussen (2000) deler kompressorer i to hovedgrupper, fortregningskompressorer, og dynamiske kompressorer. Fortregningskompressorene fungerer ved å manipulere et lukket rom, dynamiske kompressorer benytter seg av skovlhjul med høy hastighet.

Under følger en kort presentasjon av to kompressortyper som det er vanlig å benytte i varmepumpeanlegg.

1.3.2.1 Stempelkompressorer

Stempelkompressoren fungerer ved at et eller flere stempel drevet av en aksling føres frem og tilbake i en sylinder. Arbeidsmedium i gassform suges inn gjennom sylinderens sugeventil før ventilen lukkes og stempelet komprimerer gassen. Gassen får større trykk, høyere tetthet og temperatur, men mindre volum. Trykkventilen slipper gassen ut av sylindren på høytrykksiden og hindrer gassen i å strømme tilbake til lavtrykksiden(Rasmussen 2000).

Kompressorene leveres i mange ulike størrelser, gjerne opp mot 1500kW varmeytelse. Designtrykk på opp til 50 bar muliggjør turtemperatur på bortimot 90°C(Grotøy 2015). Høyere temperatur gir mulighet for å benytte varmepumpe i flere sammenhenger.

Ventilene i stempelbaserte kompressorer styres av trykket. Dette medfører liten grad av over- og underkompresjon, samt at kompresjonen tilpasses endringer i driftsforholdene av seg selv; en fordel ved varmeleveranse med varierende temperatur på turvannet eller varmekilden (Selvåg 2007).

Kapasitetsregulering av stempelkompressor foregår på ulike måter. Den enkleste og billigste måten å regulere kapasiteten er stillstandsregulering. Stillstandsregulering foregår ved at kompressoren starter og stopper avhengig av behov. Denne metoden er ikke særlig gunstig for å holde temperaturen konstant og brukes bare i små anlegg(Rasmussen 2000).

I større anlegg benytter man ventilløftregulering for å regulere kapasiteten på stempelkompressoren. Metoden går ut på at sugeventilene åpnes på noen av sylindrene, slik at det ikke foregår noen kompresjon når stempelet beveger seg i sylindren. Ved å tvangsåpne ventiler på noen av sylindrene og la andre ventiler operere som normalt oppnår man en reduksjon i kompresjonen. Denne metoden gir

så å si tapsfri, trinnvis kapasitetsregulering med redusert effektforbruk (Rasmussen 2000).

Stempelkompressoren trenger olje for å fungere som den skal. Stemplene må smøres og kapasitetsreguleringen styres av oljetrykket. Noe olje følger med arbeidsmediet rundt i kretsen, men det meste holdes på plass av en oljeutskiller som sender oljen tilbake til kompressoren (Rasmussen 2000).

1.3.2.2 Sentrifugalkompressor

I motsetning til stempel- og skruekompressorer som utnytter at volumet minskes i et sluttet rom, benytter sentrifugalkompressoren et svær hurtig roterende hjul med skovler for å danne kompresjon(Rasmussen 2000). Det hurtigroterende løpehjul gir gassen hastighet og utnytter ifølge Rasmussen (2000) blant annet sentrifugalkraften for å oppnå trykkstigning. Hastighetsenergien omsettes til trykkenergi i en diffusor(Selvåg 2007).

Sentrifugalkompressorer er en radiell turbokompressor, hvilket vil si at gassen suges inn parallelt med rotorens aksling og slynges ut radielt (ibid.).

Sentrifugalkompressorer benyttes i anlegg med begrenset trykkforhold og hvor det sirkulerer store mengder arbeidsmedium per tidsenhet, gjerne med effektbehov på over 100kW(Rasmussen 2000), og gjerne i anlegg på over 1500kW. Avhengig av ulike variable som størrelse og arbeidsmedium kan antallet kompressorer og kompressorhjul variere, benytter man for eksempel NH_3 (ammoniakk) som arbeidsmedium benyttes stort sett mer enn ett kompressorhjul(Rasmussen 2000).

Effektstyring av sentrifugalkompressorer foregår på flere måter. Turtallstyring, sugestrupe og omløpsstyring er vanlig. I tillegg kan ledeskovlestrupe benyttes; vribare ledeskovler i innløpet til kompressoren endrer vinkel og bidrar til å regulere strømmen(Rasmussen 2000).

Turbokompressorene har få bevegelige deler og slitedeler, ingen ventiler og er ikke avhengig av olje for å fungere, noe som er med på å gjøre at kompressortypen har

rykte på seg for å ha lave vedlikeholdskostnader (Selvåg 2007). (Selvåg & Stene 2007) Det er også verdt å merke seg at varmeoverføring i varmevekslere kan bli bedre om det ikke er olje i kretsen (Crowther & Smithart 2004).

1.3.3 Drift og vedlikehold

1.3.3.1 Daglig drift

Et varmepumpeanlegg som er i drift er i stor grad autonomt, men må likevel ha ettersyn. Slikt ettersyn gjøres ofte av en lokal vaktmester eller mekaniker, andre ganger av entreprenører med ansvar for drift. Hva som gjøres av hvem på hvert enkelt anlegg varierer, men ifølge Rasmussen (2000) må følgende ettersyn utføres på et anlegg som er i drift:

- Jevnlig kontroll av oljenivå og oljetrykk.
- Lese av trykk og temperatur for kuldemediet på ulike steder i anlegget med jevne mellomrom.
- Kontroller at lydnivået til kompressoren er normalt.
- Visuell kontroll av seglass med fuktindikator for å avdekke eventuelt vann i kuldemediet. Er det vann i kuldemediet er det viktig å stoppe anlegget og rette feilen med en gang.
- For åpne kompressorer: Sørg for at sugetrykket ikke er lavere enn atmosfærisk trykk for å unngå at luft – og dermed fukt – suges inn gjennom akselpakningen.

Informasjons- og kommunikasjonsteknologi er et godt hjelpemiddel for å gjøre både loggføringer og avlesninger av enkelte verdier mulig uten å ha fysisk tilgang til systemet. Rasmussen (2000) anbefaler å føre maskindagbok, denne kan også være elektronisk. Ved å sammenligne loggføringer fra dag til dag kan man oppdage problemer før anlegget får en så alvorlig feil at det havarerer.

Havari kommer ofte av feil som har utgangspunkt i en arbeidsmedielekkasje (ibid.). Slike lekkasjer kan på sikt føre til for sterk overoppheting av arbeidsmediet på

varmgassiden av kompressoren, som i sin tur kan føre til at oljen brytes ned. Dette kan for eksempel skje ved at i kompressorventiler som i utgangspunktet skal holde ferdig komprimert gass ute fra kompressoren lar noe gass slippe tilbake. Gassen vil da komprimeres en gang til, og det fører til høy varmgasstemperatur(ibid.).

Kostnad på daglig drift er det vanskelig å sette et fast tall på, ettersom det er mange ulike måter å løse den praktiske gjennomføringen. Som nevnt er det ofte en vaktmester eller noen med lignende funksjon som følger med på utstyret, men hvor mye tid og ressurser som brukes er ofte individuelt. Rasmussen (2000) fremholder at om man sørger for korrekt pass og vedlikehold av anlegg, vil man få færre og billigere reparasjoner, som i sin tur medfører reduserte drift- og vedlikeholdskostnader.

1.3.3.2 Periodisk vedlikehold

Som de fleste maskiner med bevegelige deler trenger også varmepumper periodisk vedlikehold, og da helst vedlikehold som utføres av noen som har god kunnskap om den spesifikke maskinen. Her er det ikke uvanlig at leverandøren selv møter opp for å foreta en service og noen ganger flys fagfolk inn fra utlandet for å gjøre viktige vedlikeholdsoppgaver på maskineriet.

Arbeidet innebærer ulike punkter, avhengig av anleggets driftstid. Komponenten som ofte og ikke uten grunn vies mest oppmerksomhet er kompressoren.

Kompressoren har bevegelige deler og slidedeler – som stempelringer, pakninger, kulelager, fjærer og oljefilter – som byttes ved gitte driftsintervaller(Grotøy 2015). Hvor ofte kompressoren trenger service regnes ut fra hvilke arbeidsforhold som ligger til grunn, forhold som arbeidsmedium, temperatur og turtall spiller inn.

Johnson Controls (2010) benytter for eksempel en serviceguide med diagrammer og tabeller hvor man kan lese av ulike vedlikeholdsintervall basert på arbeidsmedium og temperaturer. Kjøres kompressoren på et annet turtall enn standard, benyttes en korreksjonsfaktor som beregnes ved å dele standard turtall på faktisk turtall.

Avhengig av hvor mange timer kompressoren har vært i drift iverksettes ulike typer vedlikehold. For en helt vanlig HPO 28-stempelmaskin fra Sabroe gjennomføres standard service hver titusende time og hovedservice etter førtitusen (Grotøy 2015). Prisen på en standard service ligger på mellom 20 000kr og 40 000kr, avhengig av antall stempler i kompressoren. Den mer omfattende hovedservicen koster det dobbelte (ibid.).

Andre komponenter som vedlikeholdes ved jevne mellomrom er for eksempel plateveksler og sekundærkrets. Sekundærkretsen må i noen tilfeller vaskes for å forhindre korrosjon – særlig om varmekilden er sjøvann eller andre korrosive væsker. For å unngå korrosjon stenger man sjøvannskretsen og fyller på en blanding som inneholder lut for å rense systemet (Eggen 2015). Det er som regel vaktmester eller tilsvarende lokalt driftspersonell som utfører denne rengjøring av varmevekslere og renser ulike filtre (Grotøy 2015; Statsbygg 2003). For platevekslere er det vanlig å gjennomføre et pakningsbytte på denne hvert 7.-8. år, leverandør av plateveksler står regel for denne delen av vedlikeholdet (Grotøy 2015).

1.3.4 Vanlige problemer

Regulering av varmpumpesystemet er viktig for at det skal fungere etter intensjonen, og for å sørge for at systemet ikke opererer utenfor tillatte grenseverdier. Etter Statsbyggs varmpumpeveileder (2003) å dømme finnes det mange eksempler på at varmpumper har hatt driftsproblemer med påfølgende havari på grunn av at systemet har vært kjørt med for høye/lave temperaturer og trykk. Statsbygg anbefaler at drift og regulering må skje etter retningslinjer som er fremkommet i løpet av prosjekteringen av anlegget.

Større varmpumpesystemer kan være mer utsatt for feilregulering ettersom de kan være mer komplekse og inneholde flere komponenter som skal fungere sammen. I slike tilfeller er det ikke alltid at standardprogrammerte styringsprogrammer kan benyttes, og sjansen for å oppleve feil og mangler er større enn om man hadde kunne

benytte et standardprogram som man vet fungerer(Statsbygg 2003). Samspillet med tilleggsvarme må også reguleres på en hensiktsmessig måte for at driften av varmepumpen skal være så økonomisk som mulig. Tilleggsvarme fra en el.-kjel kan virke mot sin hensikt om den kobles inn for tidlig, slik at temperaturen i distribusjonssystemet blir for høy(ibid.).

Feildimensjonering kan forårsake at anlegg ikke fungerer optimalt, og være en faktor som bidrar til å redusere kompressorens levetid. Dette kan for eksempel skje ved at arbeidsmediet overopphetes og fører til for høy trykkrørstemperatur, som videre kan medføre at arbeidsmediet spalter seg og oljen koker, ingen gunstig situasjon(Rasmussen 2000). En tommelfingerregel er ifølge Eggen (2015) at levetiden på kompressoren halveres for hver tiende grad man øker turtemperaturen. Kjøres anlegg på maksimal effekt over lengre tid kan dette også ha drastisk innvirkning på kompressorens levetid. Eggen (2015)legger til at en måte å unngå dette på er å sette pressostaten til eksempelvis 55°C om anlegget er dimensjonert for 60°C.

Ferskvannsvarmekilder kan fryse til is vinterstid. For energibrønner kan prøveboring fastslå varmeopptak, grunnvannsbevegelse og om man eventuelt må lade energibrønnen om sommeren. (Statsbygg 2003)Elvevann har generelt en temperatur på mellom 0,0°C og 0,5°C i fyringssesongen og varmeuttak lar seg ikke gjøre uten at vannet fryser. Henter man varmen fra en innsjø, bør denne være både dyp og av en viss størrelse (ibid.).

1.4 Oppgavens struktur

Kapittel 1 tar for seg oppgavens tema, bakgrunn og problemstilling.

Kapittel 2 gjør rede for metodiske valg og hvorfor jeg har valgt å metodetriangulere ved hjelp av en *mixed methods design*, datainnsamlingsprosessen beskrives, hvilke utvalg som er gjort og hvordan de innsamlede data er behandlet.

Resultater fra spørreundersøkelsen, intervjuene og litteraturanalysen presenteres i *kapittel 3*. Funnene diskuteres i *kapittel 4*, hvorpå *kapittel 5* oppsummerer funnene fra *kapittel 3* og *4* til en konklusjon.

2 Metode

2.1 Introduksjon

Samfunnsvitenskapenes hensikt er å bidra med kunnskap om hvordan virkeligheten ser ut, men i motsetning til naturvitenskapen – som i hovedsak forholder seg til fenomener uten språk og evne til å forstå seg selv og omgivelsene – befatter samfunnsvitenskapen seg med mennesker, vesener med tanker og oppfatninger om seg selv og alt rundt (Johannessen et al. 2010). Termiske prosesser og slitasje på komponenter er i høyeste grad naturvitenskap, men kostnadsstørrelsen av at disse finner sted, hører hjemme i det samfunnsvitenskapelige domenet, ettersom det er mennesker og deres verdigrunnlag som står for å sette en pris på de ulike handlingene som fører til at drift og vedlikehold finner sted.

Valg av metode kan være utslagsgivende for hvilke resultater man ender opp med på et senere tidspunkt. Jeg vil først ta for meg metodene som ble benyttet for å forsøke å kartlegge faktiske drifts- og vedlikeholdskostnader, deretter utfordringer og hvordan jeg behandlet datamaterialet. Videre vil jeg gjøre rede for den rent kvalitative datainnsamlingen. Avslutningsvis vil jeg beskrive styrker og svakheter, før den supplerende litteraturanalysen beskrives.

2.2 Forskningsdesign

Samfunnsvitenskapen skiller mellom kvantitativ og kvalitativ metode (Johannessen et al. 2010). Førstnevnte henter mange av sine prosedyrer fra naturvitenskapelig metode (ibid.), og tar utgangspunkt i data som er kvantifiserbare og måler virkeligheten ut fra statistikk og tallverdier, nærmere bestemt forståelsen av et fenomen ut fra forhåndsdefinerte spørsmål og svaralternativer (Jacobsen 2005). Kvalitativ metode benyttes når det som skal måles ikke er kvantifiserbart, som kontekstavhengige tanker og meninger (ibid.), og benyttes når man vil finne ut noe om kvalitet, kjennetegn eller egenskaper ved det man undersøker (Johannessen et al. 2010).

Johannessen et al. (2010) forklarer at forskningsdesign er måten en undersøkelse «...gjennomføres for at forskningsspørsmålet eller problemstillingen skal kunne besvares...»(2010; 396). Som nevnt tidligere vil jeg forsøke å finne ut av drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumper, og helst være i stand til å si noe om årsakene til at kostnadene er som de er. Å finne ut av hva kostnadene er, er i og for seg et relativt kvantitativt stykke arbeid, men for å finne ut hvorfor de er slik ser jeg for meg at det kan være nyttig å høre hvilke tanker de som har førstehånds kjennskap til anleggene har om nettopp sine anlegg.

Å blande både kvantitativ og kvalitativ metode i samme forskningsprosjekt er blitt vanligere og Creswell (2008) kaller dette *mixed methods design*, *blandet design* eller *metodetriangulering*. Begrepet *triangulering* kommer opprinnelig fra landmåling og navigasjon, og er en metode hvor man benytter to kjente punkter for å finne den ukjente avstanden til et tredje punkt (Røykenes 2008).

Tanken bak er at de ulike metodene utfyller hverandre (Creswell 2008; Røykenes 2008). Kvantitativ metode lar meg finne ut størrelsesordener og «i hvor stor grad», kvalitativ metode lar meg undersøke hva de som befinner seg i umiddelbar nærhet av anleggene tenker om dem, og gir forklaringer på hvorfor det er slik.

Ifølge Jacobsen(2005) benyttes i hovedsak intervju, observasjon og dokumentanalyse for å for å samle inn data i når man benytter seg av kvalitativ metode. For å danne meg et bilde av varmepumpebransjens syn på problemstillingen gjennomførte jeg intervjuer med ulike representanter for bransjen.

2.3 Spørreundersøkelse

Til den kvantitative datainnsamlingen benyttet jeg en spørreundersøkelse, ifølge Johannessen et al. (2010) en vanlig måte å samle inn kvantitative data på. Det er bra om 50% av utvalget svarer, skjønt 30-40% mer vanlig svarrespons på en undersøkelse av et bestemt utvalg. (ibid.). For å finne ut av kostnadstallene gjennomførte jeg en tverrsnittsundersøkelse med blandet design. Selve

undersøkelsen er utformet som en web-basert tverrsnittsundersøkelse, gjennomført ved hjelp av QuestBack AS sin internettbaserte "Ask & Act"-tjeneste.

At det er en tverrsnittsundersøkelse vil si at det benyttes data fra et avgrenset tidsrom eller et bestemt tidspunkt, i dette tilfellet året 2011. Johannesen et al. (2010) gjør oppmerksom på at slike undersøkelser er ikke egnet for å avdekke årsakssammenhenger, men kan gi et øyeblikksbilde på hvordan situasjonen var på det tidspunktet undersøkelsen tar for seg. Johannessen et al. (2010) føyer til at longitudinelle – langsgående – undersøkelser egner seg bedre til finne årsakssammenhenger i og med at det samles inn data for mer enn ett tidspunkt. Videre forteller han at de fleste forskere nok ønsker dette, men at begrensning av tid og ressurser kan gjøre at man må nøye seg med et tverrsnitt.

2.3.1 Utarbeidelse av spørreskjema

2.3.1.1 Mottakere

For å utarbeide spørreskjemaet fulgte jeg generelle retningslinjer fra (Johannessen et al. 2010) og (Riksrevisjonen 2012) veileder for utarbeidelse av spørreundersøkelser, som at det er veldig viktig at respondenten forstår hva det snakkes om og at man bruker respondentens begreper. Det ble lagt arbeid i å gjøre spørreundersøkelsen forståelig for prosjektledere i varmepumpeprosjekter, ettersom det som regel er prosjektledere som er kontaktperson opp mot Enova når det omsøkes støtte til prosjektene.

For å ha noe å sammenligne resultatene med ble det også utarbeidet og til en viss grad gjennomført en lignende, men mindre detaljert undersøkelse for lokale energisentraler med bioenergi som varmekilde. Undersøkelsen ble imidlertid ikke her, ettersom varmepumpeundersøkelsen hadde hovedprioritet under arbeidet med denne oppgaven.

2.3.1.2 Spørsmålene i undersøkelsen

Når man setter i gang med en spørreundersøkelse er det viktig å unngå spørsmål som en ser for seg at "det kunne vært kjekt å vite", spørsmål som man egentlig ikke prøver å finne ut av, men som man kanskje får bruk for senere (Jacobsen 2005; Johannessen et al. 2010). Dette måtte jeg ha i bakhodet samtidig som jeg var interessert i å finne ut mest mulig om de ulike varmepumpeanleggene. Tanken var at med et stort og allsidig datasett ville jeg kunne sammenligne de ulike anleggene med hensyn til flere variabler.

Da det første utkastet til spørreundersøkelsen var klart forhørte jeg meg en representant for bransjen (Vittersø 2012). Han mente detaljeringsgraden var stor nok til å finne ut hvilke ut hvilke kostnader som var størst, men at det kunne være vanskelig å få svar på alt, og at det det burde legges opp til at man måtte kunne svare selv om man bare hadde grovere tall. I tillegg ble det foreslått å legge inn mulighet for å taste inn totalkostnad for vedlikehold de siste 5-10 årene. Dette for å gjøre det mulig å danne et bilde av utvikling av kostnadene over tid, et grep som gjør undersøkelsen mer langsgående, jamfør de fleste forskeres ønske om å gjøre undersøkelser longitudinelle (Johannessen et al. 2010).

Spørreundersøkelsen er delt i tre deler. Den første delen etterspør varmepumpens fysiske attributter, som installert effekt, spisslastløsning, varmemottakers varmebehov, levert energi, antall kompressorer, varmekilde, antall kompressorer, kompressortype og så videre.

Del nummer to tar for seg varmepumpens økonomi, ansvarsfordeling med tanke på drift og vedlikehold. Undersøkelsen avsluttes med spørsmål om eventuelle problemer med anlegget, generelle driftserfaringer og åpner for subjektive vurderinger av anlegget som helhet.

Tanken bak å undersøke brukernes erfaringer var å se om det kunne finnes en sammenheng mellom driftskostnader og brukernes grad av tilfredshet med anlegget. Det var også en tanke å forsøke å finne ut om driftssikre anlegg kjennetegnes ved at de har lave driftskostnader.

Bruken av QuestBack™ gjorde det mulig å bygge opp spørreskjemaet slik at respondentene kun trengte å svare på spørsmål som var aktuelle for deres anlegg. Eksempel: Svarte en respondent nei på spørsmålet om anlegget hadde en spisslastløsning ble vedkommende ikke spurt om type spisslastsystem og installert kapasitet på disse.

En komplett oversikt over spørsmålene stilt i spørreundersøkelsen finnes i *vedlegg A*.

2.3.1.3 Utvalg av studieobjekter.

For å få et mest mulig komplett bilde av varmepumpene som skulle undersøkes fikk jeg tilgang til Enovas varmeportefølje, hvor Enova har en del data om de ulike prosjektene, blant annet kontaktperson, investeringskostnad, installert kapasitet, andel fornybar energi, med mer, for alle varmeprosjekter som har søkt om støtte gjennom Enovas varmeprogram. Varmeporteføljen inneholder varmeprosjekter med ulike teknologier, og omtrent en åttendedel av prosjektene benytter i hovedsak varmepumpe for å levere varme.

Kvantitative undersøkelser har gjerne som mål at et utvalg skal trekkes tilfeldig, slik at det kan være representativt for en populasjon, mens kvalitative undersøkelser kjennetegnes av en mer strategisk utvelging av informantene (Johannessen et al. 2010). I dette tilfellet lot jeg tilfeldighetene styres av hvilke anlegg som hadde søkt og fått innvilget støtte fra Enova, en kvasistrategisk utvelging.

Ved bruk av en sorteringsfunksjon i varmeporteføljen valgte jeg alle lokale energisentraler som benyttet varmepumpe som grunnlast, uansett varmekilde. De fleste vanlige varmekildene var representert, med unntak av luft/luft-varmepumpe, som Enova ikke støtter (Enova 2009).

For at anleggene skulle ha mulighet til å ha vært i drift i minst en fyringssesong før 2011 ble grensen for når anleggene hadde blitt ferdigstilt satt til 2010.

Undersøkelsen ble sendt ut til 52 respondenter med en total installert effekt på 49,0 MW fordelt på ulike installasjoner med effekt fra 16 kW til 16,7 MW, aritmetisk gjennomsnittlig installert kapasitet var 846kW og medianen var 278 kW (Enova 2012). Sammen med spørreundersøkelsen ble det sendt et introduksjonsbrev som fortalte mottaker hvorfor vedkommende mottok spørreundersøkelsen og hvorfor det var viktig at vedkommende svarte (*Vedlegg B*).

2.4 Intervju

Som nevnt i kapittel 2.2 ville jeg danne meg et bilde av bransjens syn på problemstillingen. For å gjøre dette falt valget på den kvalitative teknikken intervju. Teknikken intervju kjennetegnes ved at den som undersøker og den som undersøkes fører en samtale, dataene som samles inn er ord, setninger og fortellinger (Jacobsen 2005).

2.4.1 Utvalg av informanter

Innenfor kvalitativ metode er det ifølge Johannesen et al. (2010) vanlig å gjøre et strategisk utvalg av informanter, i skarp kontrast til den kvantitative metodens mål om at utvalget skal være tilfeldig og representativt. Begrepet *informant* er, slik Jacobsen (2005) beskriver det, en som ikke er en direkte representant for det som undersøkes, men som har god kjennskap til det. Dette i motsetning til en *respondent*, som representerer det man ønsker å undersøke.

Jeg forsøkte å få til intervjuer med ulike representanter for varmepumpebransjen, både på kunde- og leverandørside, og også representanter interesseorganisasjoner i innland og utland. Oversikt over informanter som er intervjuet finnes i Vedlegg C.

2.5 Supplerende litteraturanalyse

I lys av tidligere nevnte grep som metodetriangulering og blandet design, samt for lav svarprosent på spørreundersøkelsen, så jeg meg nødt til å benytte meg av andre måter å innhente informasjon. Som nevnt i *kapittel 1.4.2* ble det foretatt undersøkelser av sekundærdata.

Jeg ønsket å finne litteratur som omhandlet drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumper, og litteratur som inneholdt driftserfaringer. Spesielt var jeg interessert i å finne dokumenter som kunne knytte kostnader og driftserfaringer sammen for bedre å forstå hvorfor kostnadene er som de er.

3 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene med analyserende kommentarer. Først går jeg gjennom de relevante kvantitative dataene som ble innhentet, deretter en gjennomgang av de kvalitative dataene. Kapittelet avsluttes med gjennomgang av de mest interessante tilbakemeldingene fra intervjuene og funn fra litteraturanalsen.

3.1 Oppslutning

Undersøkelsen som ble sendt ut fikk en mye lavere svarprosent enn de tidligere nevnte 30-40% som bruker å være vanlig svarrespons (Johannessen et al. 2010). Svarprosenten lå på 7% etter første runde men etter noen runder med purringer kom den opp i 17%, det vil si 9 av 52, hvorav 4 av respondentene ikke hadde relevante tall for drifts- og vedlikeholdskostnader (*tabell 3.1*). De fire som ikke hadde relevante tall var likevel interessante i kvalitativ sammenheng. Det var også tre respondenter som medga at de ikke kunne nok, eller manglet for mye data til å svare ordentlig på undersøkelsen. Disse er ikke tatt med i resultatene.

Tabell 3.1 Fordeling av respondenter

Varmekilde	Sjøvann	Luft	Ferskvann	Grunnvarme	Spillvarme	Totalt
Antall i utvalget	9	7	3	29	4	52
Prosentvis fordeling, varmekilder i utvalget	17 %	13 %	6 %	56 %	8 %	-
Antall respondenter	1	3	1	4	0	9
Svarprosent i forhold til utvalg	2 %	6 %	2 %	8 %	0 %	17 %
Svarprosent per varmekilde	11 %	43 %	33 %	14 %	0 %	-
Respondenter med kvantitative data	0	0	1	4	0	5

Omgjort til installert effekt var det 49,0 MW som mottok spørreskjema. 5,2MW svarte, hvorav 4,2MW hadde fylt ut de viktigste feltene for denne undersøkelsen. Prosentvis utgjør dette henholdsvis 10,7% og 8,6%. Den gjennomsnittlige installerte kapasiteten til anleggene hvor tilstrekkelig kvantitative data forelå var 843kW, overraskende nært de 846kW som var gjennomsnittet for de 52 som undersøkelsen ble sendt til. Medianen for mottatte svar var 130kW og for hele utvalget 300kW, som kan sies å være i nærheten tatt i betraktning at utvalget spente fra 16kW til 16 700kW. Til tross for dette er svarraten for lav til å til å trekke generelle konklusjoner.

3.2 Generelt om anleggene

Den geografiske spredningen av anleggene som det eksisterer data for er stor, og hele landet er representert. Klimatisk sett er det også spredning, med representanter fra kyst både kyst og innland. Aldersmessig er det også stort spenn

på anleggene. Av de til sammen ni anleggene er omtrent halvparten fra 2009 og 2010, mens resten er fra 2003 til 2006.

Ikke alle respondentene var kjent med begrepet COP – Coefficient of Performance – og følgelig ikke hva denne var for anlegget. Resten av respondentene svarte at den var omkring 3.

Alle de ni anleggene benytter vannbåren varme til romoppvarming, og fem av dem benytter også varmepumpen i forbindelse med viftekonvektorer. Tre av anleggene har kjølebehov og to av disse benytter frikjøling.

Tre respondenter oppga energikilde for spisslast. En benyttet olje, en annen gass, og den siste benyttet olje og el-kjel.

På tidspunktet undersøkelsen ble gjennomført var to av anleggene havarert. Ingen av disse kunne vise til kostnader for drift- og vedlikehold. Fire av anleggene har opplevd driftsstans og/eller tekniske problemer med en eller flere kompressorer. To av dem etter bare kort driftstid.

3.3 Kvantitative data

Data som presenteres i dette delkapitlet gjelder for de fem anleggene som hadde oversikt over driftskostnader (*tabell 3.2*).

Tabell 3.2 Data for fem respondenter, A til E.

	A	B	C	D	E
Varmekilde	Grunnvarme	Grunnvarme	Ferskvann	Grunnvarme	Grunnvarme
I drift fra	2006	2010	2009	2010	2003
Antall kompressorer	1	2	2	4	Ingen data
Kompressortype	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Ingen data	Skruekomp.
Installert effekt, varmepumpe	40 kW	45 kW	130 kW	300 kW	3700 kW
Installert effekt, spisslast	Ingen data				
Driftsansvar	Eier	Vaktmester	Vaktmester	Vaktmester	Innleid pers.
Investeringskost. registrert hos Enova.	kr 753 000	kr 1 267 000	kr 1 757 000	kr 2 545 000	kr 66 000 000
Årlig d&v-kost.	kr 8 820	kr 4 500	kr 22 000	kr 25 000	kr 5 400 000
Årlig d&v-kost. i prosent av investeringskostnad	1,17 %	0,36 %	1,25 %	0,98 %	8,18 %

Som man kan se av *tabell 3.2* er det store ulikheter i årlige drifts- og vedlikeholdskostnader.

Det kan se ut til at *B* har eksepsjonelt lave drifts- og vedlikeholdsutgifter, men ifølge respondenten er utgifter til ettersyn ikke tatt med. Også sammenlignet med *A*, som er omtrent like stort, har *B* lave kostnader. En forklaring på forskjellen i investeringskostnad kan være at *B* benytter to kompressorer. Det er ikke mulig å si noe om forskjellen i driftskostnader skyldes at *B* har høyere kvalitet enn *A*. Begge anleggene er relativt billige i drift. En analyse som inkluderer energibruk til

kompressorer kunne gitt et bilde av totale pris for levert varme. *B* er for øvrig et av de yngste anleggene i undersøkelsen

E har høyere kostnader enn de andre, en forklaring på dette er at leverandøren har totalansvar for daglig drift, og at vedlikeholdsavtalen dekker normal oppfølging og arbeid. Uforutsette kostnader kommer i tillegg. *E* oppgir for øvrig at anleggets kostnader til drift og vedlikehold har økt noe siden oppstarten i 2003, men angir ikke størrelsesorden på økningene. Anlegg *E* har hatt flere runder med lekkasjer, både kjølemediumslekkasje og lekkasje på oljekjøler, og minst en av lekkasjene hadde kostnader på over 1,2 millioner kroner. Det tilsvarer 1/5 av anleggets samlede drifts- og vedlikeholdskostnadene for 2011. Anlegg *E* er også undersøkelsens eldste.

De ellers jevnt over lave driftskostnadene for anleggene *A* til og med *C* kan forklares med de ikke har hatt driftsstans eller dyre reparasjoner etter igangsetting. Anlegg *D* hadde havari på én av fire kompressorer i lavsesong, og opplevde noe større kostnader enn forventet på grunn av feilkalibrering, ettersom dette ble ordnet opp i sier respondenten seg fornøyd. Anlegg *D* opplevde at leverandøren gikk konkurs før igangkjøring av anlegget, dette førte til en ekstra investeringskostnad på kr200 000 for anlegget.

Aritmetisk gjennomsnittet av årlig drifts- og vedlikeholdskostnader i prosent av investeringskostnad er 2,39% for de fem. I et såpass lite utvalg med så stor spredning kan det være bedre å benytte medianen, 1,17%. Et avkortet gjennomsnitt kan være til hjelp for å luke ut slengere, for disse fem er et slikt gjennomsnitt 1,13% om man fjerner den høyeste og laveste verdien, og 0,94% om man fjerner verdien som ligner minst på de andre (8,18%).

3.4 Kvalitative tilbakemeldinger

Tilbakemeldingene som presenteres her gjelder for alle ni anlegg.

3.4.1 Dimensjonering

De fleste respondentene mente at anleggene var riktig dimensjonert.

Ett av anleggene var overdimensjonert i forhold til dagens behov, dette ble gjort med overlegg for å dimensjonere for en fremtidig planlagt utbygging. Et annet anlegg ble klassifisert som underdimensjonert, dette luft/væske anlegget har kun vært i drift i få timer etter installasjon i 2010 og var på undersøkelsens tidspunkt totalhavarert og ikke lenger i drift.

3.4.2 Driftssikkerhet

Sju av ni oppfatter varmepumpeanlegget sitt som driftssikkert. Ett av disse anleggene er en luft/vann-varmepumpe som har hatt driftsstans to ganger. Første gang fordi installatør fylte feil arbeidsmedium på varmepumpen, andre gang fordi utedelen ble tatt av en orkan. Eiereren understreker at dette ikke er varmepumpens feil, og at han er godt fornøyd med anlegget.

De to anleggene som ble oppfattet som oppfattes som *ikke driftssikre* var ikke lenger i drift.

3.4.3 Tur/returtemperatur

Spørreundersøkelsen tok ikke for seg tur/returtemperatur spesifikt, men på spørsmålet om anlegget kunne tenkes å være over- eller underdimensjonert svarte en respondent at bygget ikke var egnet for den installerte varmepumpen fordi infrastrukturen var tilpasset høyere tur/returtemperatur enn varmepumpen kunne levere. Den opprinnelige distribusjonsinfrastrukturen var beregnet på langt varmere vann enn varmepumpen kunne levere. Problemet ble forsøkt løst ved å bygge om distribusjonskretsen. Dette hjalp til en viss grad, likevel hadde varmepumpen vært lite i bruk på grunn av havari. Anlegget ligger langt nord og serviceteknikeren befant seg på en annen del av landet, noe som viste seg å være ugunstig både for driftskostnader og tilgang på kompetanse.

Et annet anlegg hadde hatt problemer med å kjøre allerede fra det ble installert og hadde kun logget få driftstimer. Anlegget var fortsatt totalhavarert på undersøkelsens tidspunkt.

3.4.4 Generelle driftserfaringer og observasjoner

Tre av respondentene erfarte at varmepumpen hadde fungerte bedre enn forventet. Begge var positivt overrasket over varmepumpens virkningsgrad, henholdsvis fordi "varmepumpen leverte mer energi enn teoretisk beregnet", og fordi det ikke hadde vært behov for at gasskjelen måtte benyttes de to siste vintrene.

Noen hadde hatt problemer med innkjøring av anlegget, og var skuffet over leverandørens evne til å bidra i prosessen. I ett av tilfellene var dette fordi leverandøren var konkurs.

En respondent rapporterte at det hadde vært problemer med at styringen mellom varmepumpe og gasskjel var for dårlig; "Dersom varmepumpe ikke leverte nok varme overtok gasskjelen og varmepumpen ble stoppet".

3.4.5 Tilfredshetsnivå

Undersøkelsen ble avsluttet med spørsmålet "Alt i alt, hvor tilfreds er du med varmepumpeanlegget?" (*tabell 3.3*), og hele seks av ni oppga at de var *tilfreds* eller *svært tilfreds*, hvorav majoriteten av disse benyttet grunnvarme eller ferskvann som varmekilde. De som ikke var tilfreds hadde anlegg med henholdsvis luft og sjøvann som varmekilde.

Tabell 3.3 Svar på spørsmålet "Alt i alt, hvor tilfreds er du med varmepumpeanlegget?"

	Antall	Prosent	Grunnvarme	Ferskvann	Luft	Sjøvann
Svært tilfreds	5	56 %	3	1	1	
Tilfreds	1	11 %	1			
Nøytral	1	11 %			1	
Utilfreds	0	0 %				
Svært utilfreds	2	22 %			1	1†
Totalt	9	100 %	4	1	3	1

† Det foreligger ikke entydige data på hvor tilfreds respondenten var, men vedkommendes uttryksmåte kan tyde på at *svært utilfreds* er et dekkende begrep.

3.4.6 Sammenheng mellom tilfredshet og driftskostnad

Samtlige som svarte at de var *tilfreds* eller *svært tilfreds* hadde drifts- og vedlikeholdskostnader lavere enn to til tre prosent, med unntak av anlegg *E* som hadde kostnader på litt over åtte prosent (Tabell 3.2). Av de som var *mindre tilfreds* hadde ingen av dem drifts- og vedlikeholdskostnader å vise til, men den manglende graden av både tilfredshet og konkrete tall for drift- og vedlikehold kan tenkes å henge sammen med at disse anleggene hadde hatt driftsstans som følge av havari, var lite tilpasset eksisterende infrastruktur eller hadde problemer med innkjøring i lengre tid.

3.5 Intervjuer

Det ble intervjuet sju personer fra ulike deler av bransjen (Vedlegg C). De fleste ønsket å være anonyme, blant disse var to energirådgivere, en teknisk leder, en vaktmester og en disponent som ønsket å være anonyme. I tillegg til disse hadde jeg kontakt med Geir Eggen i Cowi og Torkel Grotøy i Johnson Controls. Spørsmålene (Vedlegg D) ble utformet for å finne generelle oppfatninger om forhold rundt drifts- og vedlikeholdskostnader, og hvilke erfaringer som fantes med i forbindelse med

drift og vedlikehold. Noen hadde generelle erfaringer fra både egne og andres anlegg, andre kunne bare uttale seg på bakgrunn av erfaringer med egne anlegg.

3.5.1 Kostnader

Det viser seg at ulike aktører har et ulikt syn på hva som regnes som kostnader for drift- og vedlikehold og hvordan disse beregnes. Hvordan systemgrensene ble definert varierte også.

Anonym 2 (Vår 2015) opplyser at de benytter bredere systemgrenser enn kun maskinrom, og kostnadene er ofte basert på erfaringstall, dessuten brukes en del skjønn. Eksempelvis vil kostnadene for et anlegg med installert effekt på 500kW koste om lag 25 000 kroner per år, og dekker generell drift og vedlikehold. Dette inkluderer også uforutsette hendelser som for eksempel lekkasjer.

Et lignende anlegg gir kostnader på rundt 0,2kr per produsert kWh for luft-vann-anlegg. Vann-vann ligger nærmere 0,1kr per produsert kWh.

Anonym 1 (Sommer 2012) opplevde at høye investeringskostnader og store driftsproblemer gjør at det ville vært billigere med elektrisk oppvarming. Anonym 1 stiller også spørsmålstegn ved om målet [...med å benytte varmepumper...] er å spare penger eller energi, og hvorvidt man egentlig gjør noen av delene.

Anonym 3 (Vår 2015) er enig i at overslagsmessig kan 2-3% av investeringskostnad i maskinrom høres riktig ut. Dette inkluderer imidlertid ikke usynlige kostnader som bruk av egen tid til ettersyn og loggføring som nevnt i kapittel 1.3. Systemgrenser nevnes også, og det bemerkes at i tillegg til faktiske utlegg til drift og vedlikehold, er det flere forhold som kan passe inn i kategorien, som for eksempel egen og andres tidsbruk, merkostnad ved driftsstans og i noen tilfeller oppgradering av anlegg.

3.5.2 Kostnadsdrivende elementer

På spørsmål om hva informantene opplevde som kostnadsdrivende kom det frem at det som kostet i hovedsak var årlig vedlikeholdsarbeid og deler, og syntes den prosentmessige fordelingen mellom disse var ganske lik. Grotøy (2015) legger til at om man skal sette kategoriene "arbeid" og "deler" opp mot hverandre, er gjerne kategorien "arbeid" en litt større utgiftspost, ettersom transport og losji inngår i denne. Dette er særlig aktuelt er dette om servicepersonell må flys inn fra utlandet, eller om varmepumpeanlegget befinner seg langt unna servicebedriftens normale virkeområde.

For øvrig kan det tenkes at F-gass-direktivet har gjort det litt dyrere å benytte syntetiske kjølemedier, men ikke i nevneverdig grad (Anonym 2, Anonym 3, Grotøy 2015)

3.5.3 Driftserfaringer

Informantene hadde opplevd ulike problemer med ett eller flere av anleggene sine, og det var stor diversitet i både omfang og alvorlighetsgrad.

- Distribusjonssystemet hadde for høy returtemperatur for varmepumpen, og spisslastkjelen tok over (Anonym 4, Vår 2015).
- Et utendørsmontert anlegg hadde for høyt støynivå til å kjøres kveld og natt av hensyn til naboer. Enkelte systemer hadde en lekkasjer fra tid til annen, men ingenting alvorlig eller spesielt kostbart (Anonym 2, Vår 2015).
- Har hatt forskjellige problemer, korrosjon i sjøvannskrets, feildimensjonering av system, styringsfeil og feil på instrumentering. Betrakter problemene som særlig markante i forbindelse med totalentrepriser (Anonym 1, Sommer 2012). Har for inntrykk av at andre store bygningseiere (kommune og stat) har opplevd det samme

- Har ikke hatt nevneverdige problemer, annet enn at et borehull frøs til for en tid tilbake. Feilen ble funnet og har ikke opplevd problemer siden (Anonym 3, Vår 2015)
- Kompressoren havarerte etter åtte år med problemfri drift og ingen utgifter til vedlikehold. (Her er det verdt å merke seg at varmepumpeeieren likevel var veldig fornøyd med varmepumpen og ny varmepumpe var allerede bestilt.) Sammenlignet med hva det ville koste å benytte direkte elektrisk oppvarming er varmepumpen mye billigere (Anonym 5, Vår 2015).

Anonym 3 (Vår 2015) informerer om at varmepumper er relativt nytt i deres bedrift, men at de har vært flinke til å plukke opp kunnskap underveis, og de er av den oppfatning at det å investere i varmepumper har vært gode avgjørelser. I tillegg til å følge godt med på varmepumpene og å ha tilegnet seg egen kompetanse i egen bedrift, har det vært til hjelp at det finnes bedrifter som har spesialisert seg på varmepumper i nærheten.

Ofte har det vært vanskeligere å finne feilen enn å reparere den.

3.5.4 Grunner til problemer

Anonym 1 (Sommer 2012) mener problemene kan ligge på flere nivåer. Først og fremst at varmepumper hadde vært "på moten" og at det hadde "gått politikk" i å favorisere varmepumper som oppvarmingsalternativ. I ulike anbud som ble utlyst ble det ofte beskrevet at varmepumper var ønsket metode for oppvarming. Anonym 1 (Sommer 2012) legger til at prosjektene ofte var totalentrepriser og at det kan være en grunn til å tenke at entreprenøren valgte en billig løsning, en løsning man i ettertid kan se at det var manglende kompetanse på.

Grotøy (2015) mener grunnen til at enkelte varmepumpeanlegg til stadighet trenger ettersyn på grunn av problemer kan være sammensatt:

For plassbygde anlegg kan problemet være en konstruksjonsfeil. Feil kan skyldes at man har valgt komponenter med lav kvalitet for å nå fram i pris i forbindelse med anbudskonkurranse.

Andre grunner kan være varierende flyt (flow) i varmekilden(Grotøy 2015). Ettersom kompressoren jobber best når den har stabil temperatur i sekundærkretsen og styringssystemene opererer etter kriterier som er ment for å beskytte blant annet kompressor mot uhensiktsmessig drift, kan det hende at kompressoren stopper om flyten i varmekilden er for varierende. Sluttbruker kan oppleve misnøye når elektronikken starter og stopper kompressoren på i et tilsynelatende ulogisk mønster. Brukernes misnøye er berettiget; ikke alle kompressortyper tåler hyppige start- og stoppsekvenser like godt.

Grotøy(2015) nevner også at feildimensjonering er også mulig årsak til gjenvendene problemer, for eksempel om man har dimensjonert anlegget på bakgrunn av feil temperatur i varmekilde og/eller -sluk.

Manglende eller mangelfull opplæring av lokal personell er en annen årsak(Grotøy 2015).

Noen ganger problemer skyldes brukerfeil, som i sin tur kan komme av at leverandør ikke har vært god nok til å formidle hvordan anlegget fungerer.

3.6 Litteraturanalyse

For å finne ut mer om driftserfaringer og årsaker til at varmepumper i enkelte tilfeller ikke fungerer valgte jeg som nevnt tidligere å benytte meg av sekundærdata fra ulike dokumenter. Konkrete tall var vanskelige å finne, men driftserfaringer og mulige grunner til hvorfor varmepumper noen ganger er mindre effektive enn ønskelig fantes det mye av. I dette er det samlet relativt ferske dokumenter som tar for seg ulike aspekter av tematikken.

3.6.1 "Varmepumpeveileder 2003"(Statsbygg 2003)

På initiativ fra Statsbygg og NVEs byggoperatør ble Varmepumpeveilederen – heretter bare omtalt som *veilederen* – utarbeidet for å gi byggherrer et bedre grunnlag for å sette seg inn i viktige forhold for å få varmepumper til å fungere best mulig i sine bygg. Sekundært skal den kunne "gi en god del råd og anbefalinger til rådgivere som ønsker å påta seg konsulentoppdrag innenfor den del av varmepumpeteknikken som anvendes til byggoppvarming."

Bakgrunnen for veilederen er at en del varmepumpeanlegg i bygg ikke har gitt de resultatene som ble forutsatt i beslutningsprosessen om å benytte varmepumper til oppvarming. Veilederen (Statsbygg 2003, s.9)peker på en rekke grunner til at resultatene av installasjonen ikke ble som forespeilet, og trekker spesielt fram følgende punkter:

- Beslutning om installasjon av varmepumpe tas på sviktende grunnlag vedrørende effekt- og energibehov.
- Varmekildens leveringskapasitet over året er ikke godt nok fastlagt.
- Samspillet mellom varmepumpen og byggets/anleggets sekundære varmeanlegg er ikke koordinert og riktig instrumenter og ofte ikke tilpasset det temperaturnivå som gir gunstige driftsforhold for varmepumpen.
- Oppfølging, kontroll, drift er ikke tilfredsstillende, ofte på grunn av manglende instrumentering og effektivt overvåknings- og driftsanlegg.

- Oversikt over helhet mangler, for dårlig koordinering, uheldig entrepriseoppdeling og ansvar for helhet.

3.6.2 "Kun en av 11 varmepumper virket"(Seehusen 2006)

I Teknisk Ukeblads nettutgave kunne man i 2006 lese denne artikkelen som omhandler Statsbyggs uheldige erfaringer med varmepumper installert i statlige bygg gjennom 1990-tallet. Av elleve varmepumpesystemer som ble satt i drift i statlige bygg i løpet av 1990-årene var det fem som ikke fungerte, fem som fungerte, men ikke som forutsatt. Kun ett system fungerte som det skulle. Videre i artikkelen kan man lese at Helge Lunde i Thermokonsult bekrefter at Statsbyggs erfaringer er vanlige og at en god del systemer ikke fungerer godt nok.

Slik Statsbygg oppfatter saken er det ikke nødvendigvis varmepumpene som ikke fungerer, men at kompetanse på systemene som helhet er for lav og at mangelen på resultatoppnåelse i noen tilfeller kan skyldes prosjekteringsfeil.

Forskningsrådet satset på tidlig 1990-tall stort på varmepumper og det ble kjørt en del kurs om varmepumper for rådgivere, men det var ikke noe marked på den tiden. Artikkelen avsluttes med at det nå er stor etterspørsel etter varmepumpekompetanse, og at det er behov for kursing av norske rådgivere. Det poengteres også at det ikke nødvendigvis er rådgivernes feil, men snarere at opplæringen på ingeniørhøyskolene ikke er grundig nok.

3.6.3 "Varmepumper – Norske ingeniører kan for lite om varmepumper"(Seehusen 2014)

Artikkelen er fra Teknisk Ukeblad, februar 2014 og tar for seg Undervisningsbygg og Statsbyggs erfaringer med varmepumper. Av åtte varmepumper montert hos Undervisningsbygg før 2008 fungerte ingen som de skulle, etter 2008 ble det installert seks, og av disse hadde tre av systemene til dels omfattende problemer. I artikkelen intervjues personer fra Undervisningsbygg, Statsbygg og Technoconsult, et firma som spesialiserer seg på varme- og kuldeteknikk.

Statsbyggs varmepumpeproblemer nevnes også, de har etter det journalisten erfarer problemer med at "opp til en tredjedel av varmepumpene" ...ikke virker "som de skal ved overlevering" (Seehusen 2014).

Feildimensjonering er ett av problemene Undervisningsbygg opplever (ibid.). Både at det leveres for store varmepumper, som medfører for mange start/stopp-sekvenser og i ytterste konsekvens havari, men også underdimensjonering har også forekommet. I tilfeller hvor gamle oljefyrkjeler med distribusjonssystem dimensjonert for tur-returtemperatur på 80/60 har man opplevd at varmepumper dimensjonert for 60/40 har vært problematisk: El-kjelen koblet inn og økte vanntemperaturen så mye at varmepumpen slo seg av. Problemet løste seg da distribusjonsanlegget ble bygget om for å operere ved 60/40 (ibid.).

Av andre erfaringer og meningsytringer som kommer frem i artikkelen (Seehusen 2014) er det verdt å merke seg følgende

- De som prosjekterer systemene har ikke full oversikt over hele systemet, og feil som for høy returtemperatur og for lite vann fører til at anleggene ikke fungerer optimalt.
- Det er mange ulike fag som inngår i prosjektering og montering av varmepumpeanlegg, og de ulike fagretningene har problemer med å koordinere seg.
- "De som tar ut varmepumpene og prosjekterer systemene har ikke den fulle oversikten over hele systemet".
- Manglene kunnskap i ulike ledd hos kunde, rådgivere og leverandører. For kundens del er det ofte driftsavdelingen som vet hva som fungerer, mens det er prosjektavdelingen som står for innkjøp.
- Det kan se ut som det har vært en kompetanseheving på leverandørsiden, men ikke på rådgiversiden.
- Totalentrepriser ender ofte med at entreprenører uten varmepumpekompetanse velger de billigste systemene.

Offentlige anbudsregler fremgår også som et problem:

-Når vi spesifiserer at en varmepumpe skal være slik, får vi ikke lov. De kaller det særkrav som vil utelukke enkelte leverandører. Selvfølgelig utelukker vi, det er jo fordi de ikke leverer godt nok(Grjøtheim, via Seehusen 2014).

3.6.4 "Støy er det problemet som er vanskeligst å fikse"(Tekniske Nyheter 2015)

Denne artikkelen tar også for seg Undervisningsbyggs erfaringer med varmepumper. Det opplyses at Undervisningsbygg har hatt varmepumper siden 2002 og at de har om lag 30 varmepumper, hvorav ca. 20 henter energi fra grunnvarmebrønner og de resterende 10 benytter andre varmekilder(ibid.).

"Det er ikke varmepumpen det er noe galt med, når varmepumpen ikke virker", (Tekniske Nyheter 2015) de fleste andre feilene går det an å gjøre noe med. Etter det Undervisningsbygg erfarer er svært sjeldent selve varmepumpene eller energibrønnene det er noe galt med, selv om de har hatt en del havarier og brønnene ikke alltid leverer like mye som det er behov for. For brønnens del skyldes mangelen enkelt og greit at det ikke er boret nok hull.

Andre problemer som nevnes er kortere driftstid enn planlagt, hyppig stopp og start, mye bruk av spisslast, manglende varmeleveranse ved lave utetemperaturer og støy(ibid.).

Det kommenteres at målerstrukturen fortsatt er litt mangelfull og det vil bli lettere å analysere varmepumpeanleggene når komponentene i større grad kan overvåkes, og videre at styringssystemene i noen tilfeller ikke har vært gode nok.

Undervisningsbygg har også vært med på at prosjekteringsgrunnlaget har vært feil. I ett tilfelle var det feil effektbehov, feil varmebehov og til og med feil areal. Videre var det montert en kjølemaskin som ikke var beregnet for bruk i varmepumpeøyemed, og som dessuten var for liten og hadde feil på styringen. Til slutt endte det med

kompressorhavari, alt dette på grunn av prosjekteringsfeil. Etter fire år og ulike tiltak har varmepumpen oppnådd normal drift.

”Undervisningsbygg har erkjent at de har behov for kompetanse på hele systemet, ikke bare enkeltdelene.” (Tekniske Nyheter 2015, s.3) Det er ikke nødvendigvis slik at kompetansen må være tilgjengelig i egen bedrift, men det er viktig at man har muligheten til å få inn noen som har kompetansen som trengs når den trengs, og gjøre det riktig på første forsøk (ibid.). Det er billigere enn prøve og feile.

3.6.5 “Boligeieres erfaringer med varmepumper med energibrønn som varmekilde” (Bøhn 2003)

På oppdrag fra Enova har Bøhn (2003) utført en undersøkelse som kartlegger i hvilken grad varmepumper med energibrønn fra 90-tallet og frem til 2003 er vellykket basert på intervjuer av 81 huseiere.

På en skala fra 1 til 6 (hvor 1 = ikke fornøyd og 6 = godt fornøyd), var snittet 5,0 når boligeierne ble spurt om hvor fornøyd de var med varmepumpeinstallasjonen som helhet Bøhn (2003). Boligeierne var godt fornøyd med kundebehandling og kompetanse hos selger/leverandør, karaktersnittet lå på rundt 5,0. Bøhn (2003) forteller videre at det var hensiktsmessig for kundene å benytte en totalleverandør for å oppnå klare ansvarsforhold mellom kunde og leverandør.

1 av 4 hadde hatt tekniske problemer med varmepumpa de første 3 årene etter installasjonen og dette antas å ha sammenheng med at varmepumpene er av variabel kvalitet (Bøhn 2003). Skadetilfellene ble i sin helhet dekket av garanti, og Bøhn (2003) minner om at kjøpsloven sikrer fem års reklamasjonsrett på hele installasjonen. Det kommer fram at dette er svakhetstegn for varmepumpebransjen at en så kostbar installasjon har såpass høy skadeprosent (Bøhn 2003).

Rapporten tar for seg varmepumper i private boliger, og den inneholder ingen konkrete tall om drift- og vedlikeholdskostnader. Disse resultatene er neppe direkte

overførbare til varmepumper i næringsbygg, men de har likevel fellestrekk med resultatene driftsstans og tilfredshetsnivå *kapittel 3.3 og 3.5.5.*

3.6.6 "The Economics Of Geothermal Heat Pump Systems For Commercial And Institutional Buildings"(Bloomquist 2001)

Bloomquist (2001) introduserer geotermiske varmepumper som en teknologi som ble kjent i USA på 1950-tallet, likevel er det etter 50 års bruk en overraskende liten andel av HVAC-anlegg(Heating, Ventilation and Air Conditioning) i Amerika som benytter seg av dem. Han mener mangel på informasjon og forståelse med tanke på investerings-, drifts-og vedlikeholdskostnader står i veien for at teknologien skal være mer allment akseptert. Studien viser til en rekke kostnadseksempler hvor geotermiske varmepumper kommer godt ut i forhold til andre HVAC-løsninger som er vanlige i USA.

Bloomquist (2001) konkluderer med at det er gjort få undersøkelser om emnet, men det lille som er gjort kan tyde på at det er store summer å spare på å benytte en geotermisk varmepumpe, selv om investeringskostnaden er noe høy. Han fortsetter med at bransjen sliter med at det mangler detaljert informasjon om både investeringskostnader og kostnader for langsiktig drift og vedlikehold av både geotermiske anlegg og alternativene. Han foreslår at interessegrupper og føderale energimyndigheter bør samle inn detaljerte data om alle typer HVAC-anlegg slik at man i fremtiden kan evaluere de ulike alternativene med en realistisk livssyklus-kostnad. Uten denne informasjonen er han redd for at HVAC-relaterte avgjørelser tas på feil grunnlag, gjerne det alternativet som er billigst på kort sikt.

Situasjonen Bloomquist mener at den amerikanske HVAC-bransjen befinner seg i kan til en viss grad overføres til norske forhold. Også i Norge mangler detaljert informasjon om kostnader for drift og vedlikehold, særlig over tid. Når det gjelder de spesifikke kostnadene Bloomquist legger frem for ulike teknologier er disse oppgitt i amerikanske dollar per kvadratfot og jeg har valgt å ikke forsøke å overføre dem til norske forhold på grunn av USAs geografiske beliggenhet og utstrekning.

3.6.7 "IEA HPP Annex 29 – Ground-Source Heat Pumps Overcoming Technical and Market Barriers. Status Report NORWAY"(Stene 2004)

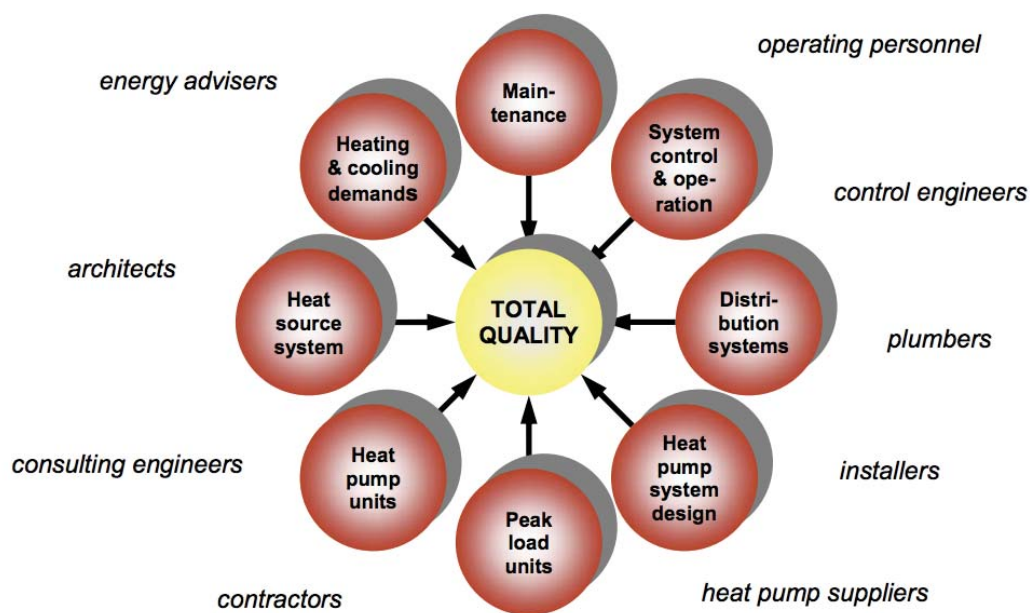
Rapporten er utarbeidet av Jørn Stene ved SINTEF på oppdrag fra Enova. Den gir status for geotermiske varmepumpeanlegg i Norge med hensyn til teknologi, installasjon, geologiske data, kostnader og muligheter i markedet (Stene 2004). Rapporten sier ikke mye om driftskostnader direkte, men Stene (2004) har gjort en generell observasjon:

Generally, heat pump installations with low capital costs achieve lower energy efficiency and have more operational problems than high-quality systems with higher capital costs.

Observasjonen gjelder for geotermiske anlegg, men den kan tenkes å ha overføringsverdi til varmepumpeanlegg generelt ettersom brorparten av anleggene med problemer i *kapittel 3.5* er luft/væske-anlegg, og faktisk har lavere kapitalkostnader.

Rapporten oppsummerer også rapporterte problemer for norske geotermiske varmepumpeanlegg med en oversikt over hvilke konsekvenser de ulike problemene vil ha for det rammede anlegget. Noen av problemene vil på sikt kunne føre til uventede – og i noen tilfelle kostbare – problemer som for eksempel skade på bygninger og andre installasjoner.

Stene (2004) presenterer også et begrep *total quality concept* (*figur 3.1*) som enkelt forklart går ut på at den samlede kvaliteten på et prosjekt er avhengig av kvaliteten på de ulike bestanddelene i prosjektet, herunder både fysiske elementer og teoretisk kunnskap i rådgivende og utførende ledd.



Figur 3.1 Illustrasjon av *total quality*-konsept for et geotermisk varmepumpesystem med hensyn til design, konstruksjon, installasjon og vedlikehold (Stene 2004).

Rapporten er imidlertid av teknisk art, og tar ikke for seg drifts- og vedlikeholdskostnader i særlig grad utover at konklusjonen er at det kan lønne seg å satse på kvalitet i alle ledd om man vil ha et anlegg med færrest mulig problemer. Antakelig vil færrest mulig problemer føre til lavere vedlikeholdskostnader. Rapporten er i høyeste grad aktuell for norske forhold.

Enova har en policy om at de ikke støtter prosjekter som er bedriftsøkonomisk lønnsomme uten støtte (Enova 2009). Ettersom samtlige anlegg i undersøkelsen er støttet av Enova og ingen av dem hadde vært økonomisk lønnsomme uten støtte fra Enova, kan det tenkes at et akseptabel *total quality* er oppnådd på grunn av valg av bedre kvalitet.

3.6.8 "Analyse av varmepumpeanlegg i nærvarmesystem"

Mastergradsoppgaven "Analyse av varmepumpeanlegg i nærvarmesystem" (Selvåg 2007) sammenligner fire forskjellige varmepumpeløsninger for et boligfelt hvor romoppvarming og varmtvannsberedning foreløpig dekkes av en varmesentral med gass- og elektrokjel. Varmepumpeløsningene som analyseres er ett- og totrinns stempel- og skruekompressoranlegg med NH₃ (ammoniakk) og R134a som

arbeidsmedium i ulike konfigurasjoner, samt et anlegg med fire turbokompressorer. Beregningene er gjort for Tomasjordnes i Tromsø, et område med lang fyringssesong, lav årsmiddeltemperatur, 2,9°C, og moderat dimensjonerende utetemperatur på -12°C (Selvåg & Stene 2007; Stene 1997).

Til simuleringene har Selvåg (2007) benyttet FrigoSim som bygger på PROSIM, et program utviklet av Sintef. FrigoSim lar brukeren analysere anlegget som helhet, samt optimalisere ytelse og økonomi (ibid.).

Av analysen framkommer det at et tottrinns ammoniakkanlegg på 1500kW vil være det optimale for nærvarmeanlegget, som er dimensjonert for en temperatur på 80/50 °C. Ut fra vedlikeholdskjema for varmepumper fra York Kulde, korrespondanse med aktører i næringen og Selvågs egne beregninger anslås de årlige drift- og vedlikeholdskostnadene til å være 180 788 kr (2007). Analysen tar ikke med kostnader til et komplett anlegg, som kloakkpumper, bygninger, grøfter og pumper til nærvarmesystemet, men har lagt inn en driftskostnad på 49 999 kr per år for pumping av kloakk (ibid.).

Tabell 3.4 Vedlikeholdskostnader i prosent av investering (grønt) for Selvågs alternativ 1, tottrinns amoniakkvarmepumpe (Selvåg 2007).

Alt 1a, NH3 2tr	Investering		Vedlikehold	
	Kompressor	Aggregat	Vedl.kost.	Vedl.kost i % av Investering
SMC116L	613 000		94 609	2,48 %
HPC108S	408 900		86 179	2,25 %
Totalt	1 021 900	2 800 000		
Årlig		368 127	180 788	4,73 %

I og med at analysen ikke tar for seg et komplett anlegg, kan det gi et noe feil bilde å trekke konklusjoner ut av tallmaterialet (*tabell 3.5*), men det kan gi en indikasjon på kostnadsnivået. Etter hvert som man legger til flere investeringskostnader i anlegget, for eksempel de tidligere nevnte kloakkpumper, bygninger og grøfter, er det rimelig å anta at investeringskostnaden blir en del høyere, uten at vedlikeholdskostnadene forandrer seg nevneverdig.

I artikkeladapsjonen av analysen foreslås en imidlertid en investeringskostnad på 5000kr/kW (Selvåg & Stene 2007) for , noe som med en installert effekt på 1500kW gir en investeringskostnad på 7,5 millioner kroner. Tas kostnader for drift av kloakkpumper med i beregningene, ender de årlige kostnadene på cirka 3%(tabell 3.6), hvilket stemmer godt overens med SINTEFs 2-3%(1988).

Tabell 3.5 Drift- og vedlikeholdskostnader (totrinns NH₃-anlegg) i prosent av investeringskostnad, gitt 1500kW installert effekt og investeringskostnad på 5000kr/kW (Selvåg 2007; Selvåg & Stene 2007).

Investering	Vedlikehold	Drift (kloakkpumpe)	D&v-kost i % av investering
kr 7 500 000	kr 180 788	kr 49 999	3,08 %

Videre gjør analysen det klart at ved å etterstrebe lavest mulig temperaturer i nærvarmenettet, vil det være mulig å benytte små turbokompressorer med R134a som arbeidsmedium. Turbokompressorene som er simulert i analysen har relativt lave vedlikeholdskostnader fordi de benytter seg av magnetisk lagring; turbinakselen svever under drift, og er så godt som friksjonsfri, dette medfører i sin tur ikke trenger olje (Selvåg 2007). Videre vises det til at Crowther og Smithart (2004) har funnet ut at et "oljefritt medium kan bedre varmeovergangen i varmevekslerne og sparer utgifter til oljeretursystem".

Tabell 3.6 Drift- og vedlikeholdskostnader (fire små turbokompressorer) i prosent av investeringskostnad, gitt 1500kW installert effekt og investeringskostnad på 5000kr/kW (Selvåg 2007; Selvåg & Stene 2007).

Investering	Vedlikehold	Drift (kloakkpumpe)	D&v-kost i % av investering
kr 7 500 000	kr 41 456	kr 49 999	1,22 %

Til tross for turbokompressorenes lave vedlikeholdskostnader egner de seg ikke i nærvarmeanlegget på Tomasjordnes, ettersom dette er dimensjonert for 80/50°C. Selvåg (2007) viser at energikostnadene for turbokompressorer i denne konfigurasjonen er langt høyere enn for et tilsvarende totrinns ammoniakkanlegg, og gevinsten med lavere investerings- og vedlikeholdskostnad (Tabell 3.7) er ikke like forlokkende med tanke på at brorparten av driftskostnadene er strøm til kompressorer.

Turbokompressorene i simuleringen leverer en maksimal vanntemperatur på 57-58°C, noe som er for lavt for et 80/50°C- anlegg, men er ifølge Selvåg (2007) svært godt egnet for anlegg med en dimensjonerende tur/-returtemperatur 60/40°C.

Selvågs analyse er i høyeste grad aktuell for norske forhold, og at den konkluderer med et løsningsalternativ som gir en årlig drifts- og vedlikeholdskostnad på rundt 3% av investeringskostnaden stemmer bra med de 3% som kan benyttes i overslagsmessige vurderinger av små anlegg(SINTEF 1988) om man definerer anlegget som lite. Definerer man som Eggen og Frivik (1990), at mellomstore anlegg er mellom 50kW og 500kW, burde drifts- og vedlikeholdskostnadene vært nede i 2%(SINTEF 1988). I lys av at anlegget har ekstraordinære kostnader i forbindelse med kloakkpumping er 3% likevel ikke dårlig.

Det er også interessant at teknologi som tradisjonelt kun har vært tilgjengelig i stort format begynner å bli tilgjengelig i mindre format, men med samme fordeler. Dette kan borge for mer effektive og rimeligere installasjoner i fremtiden.

4 Diskusjon

52 anlegg ble forsøkt undersøkt og av disse lyktes det å få svar fra 9.

De fleste av anleggene som var i drift hadde lavere kostnader enn de 2-3% som man kan regne med for varmepumpeanlegg. Det eldste anlegget, som også var det største, hadde størst prosentvise driftskostnader.

Mottakere av varme er stort sett fornøyd med varmepumper, både i private husholdninger og i næringsbygg (Bøhn 2003). Dette fordrer imidlertid at de fungerer.

Det eksisterer lite litteratur som direkte omhandler drift- og vedlikeholdskostnader (Bloomquist 2001), men både Rasmussen(2000) og (2003) skriver om hva man bør gjøre for å gi varmepumpene best mulig forutsetninger for å kjøre optimalt og redusere risikoen for nedetid og kostbare reparasjoner.

4.1 Systemgrenser

For å være sikker på at man diskuterer samme sak er det nødvendig å avklare hvilke systemgrenser som legges til grunn. Som nevnt tidligere defineres systemgrensen for vedlikeholdskostnadene "2-3% av investeringskostnad" som "investering i maskinrom" (Eggen 2015). Statsbyggs(2003, s.47) definisjon av det litt høyere og bredere 2,5-5% av "investeringsbeløpet til selve varmepumpen" ligger ganske nært. Det er nærliggende å anta at disse tallene måler det samme, ettersom et maskinrom kan inneholde komponenter som er viktige for at varmepumpen skal fungere. Disse komponentene kan være med å gjøre investeringskostnaden i maskinrommet høyere sammenlignet med "investeringsbeløpet til selve varmepumpen" uten at de nødvendigvis innebærer noen økning i kostnader til drift og vedlikehold. Den prosentvise andelen av kostnader til drift og vedlikehold kan bli mindre, selv om kostnadene kan være de samme.

En annen forklaring kan være at Statsbyggs er preget av erfaringene som Seehusen (2006) beskriver.

Anleggene undersøkt i kapittel 3 oppgir langt lavere kostnader, og er ligger som vist i tabell 3.2 mellom 0,36% og 1,17% prosent for alle anleggene unntatt ett. En mulig

feilkilde her kan være at det systemgrensene ikke ble kommunisert godt nok i spørreundersøkelsen, og at sekundærdata fra tredjepart ble benyttet for å regne ut den prosentvise andelen. Usikkerhetsmomentet ligger i hvilke systemgrenser tredjepart har benyttet.

Som Anonym 2(2015) opplyser var det vanskelig å finne tall som kunne sammenlignes med systemgrensene denne oppgaven benytter; både investeringskostnader og drifts- og vedlikeholdskostnader ble beregnet som deler av større prosjekter.

4.2 Kostnader til drift- og vedlikehold

Over halvparten (6 av 9) av de undersøkte anleggene i kapittel 3 rapporterer at driftskostnadene er som forventet. Som nevnt over ligger kostnadsnivået på under 2% av investeringskostnad for fire av fem anlegg med kvantitative data.

Hos informantene kan man spore en viss enighet om at 2-3% kan være et godt anslag for drift- og vedlikeholdskostnader, gitt at anlegg fungerer som de skal.

4.3 Dimensjonering og styringssystemer

I lys av det undersøkte materialet er det skjellig grunn til å anta at riktig dimensjonering av varmepumpeanlegg er avgjørende for å oppnå ønsket resultat. Som Rasmussen(2000) forklarer kan feildimensjonering i verste fall føre til havari. Dette er i tråd med Statsbyggs(Seehusen 2006; Statsbygg 2003) erfaringer, og med erfaringen fra ett av anleggene i spørreundersøkelsen, som var underdimensjonert og totalhavarert. Av litteratur som er undersøkt fremgår det at feildimensjonering kan være hovedårsaken til sub-optimal drift, havarier og store vedlikeholdskostnader.

De fleste varmepumpene som ble undersøkt (7 av 9) fungerte problemfritt etter en innkjøringsperiode. De resterende hadde havarert etter kort tids drift og lot ikke til å bli satt i drift igjen med det første. Feildimensjonering ser ut til å være hovedårsaken.

Som både Grotøy (2015) og Statsbygg (Seehusen 2014) påpeker, er varmepumpeanlegg er følsomme for hvordan de dimensjoneres. Av årsakene til dette er det først og fremst manglende kompetanse som trekkes frem. At feildimensjonering forekommer kan også skyldes at enkelte instanser har fått oppgitt mangelfulle eller feil data om forhold som er viktige for å dimensjonere riktig – et forhold som i seg selv kan forsterke påstanden om at kompetanse mangler. At kompetanse må være på plass harmoniserer med Stenes (2004) *total quality concept*.

I avanserte tekniske installasjoner er det viktig at systemer for styring og sikker drift fungerer godt, og at systemene fungerer sammen. Større anlegg med flere komponenter som skal fungere sammen krever mer avanserte styringsprogrammer, og standardprogrammer holder i noen tilfeller ikke.

Som det fremgår i kapittel 3 ga noen respondenter uttrykk for at de hadde hatt problemer med styringssystemene, særlig i innkjøringsprosessen. Videre ga de uttrykk for at misfornøyd med leverandørens evne til å bidra i prosessen. Dette stemmer med det Grotøy(2015) sier om at det i noen ganger er manglende kompetanseoverføring ved overlevering av anlegget.

Ett av anleggene hadde som nevnt problemer med at koblingen mellom varmepumpe og spisslastkjel ikke fungerte optimalt. Slike problemer kan også skyldes at varmedistribusjonssystemet er dimensjonert for høyere temperatur enn varmepumpen slik Undervisningsbygg erfarer; spisslastkjelen slår inn fordi turtemperaturen er for høy i forhold til hva varmepumpen kan levere (Seehusen 2014).

4.4 Sluttbrukers opplevelse

Fornøyde brukere kjennetegnes ved at de har fått varmepumpeanleggene sine til å fungere som planlagt. Om ikke med en gang, så på sikt. Og ofte i samarbeid med leverandør eller tredjepart som har vært med å justere anlegget. For større

byggeiere ser det ut som at det å finne en leverandør man samarbeider godt med er viktig. At brukerne har opparbeidet seg kompetanse – og/eller har tilgang på folk med kompetanse – til å være med og kvalitetssikre i anskaffelsesprosessen, ser ut til å være viktig. Videre later det til at sluttbrukere foretrekker at drifts- og vedlikeholdskostnader er forutsigbare og lave.

4.5 Kompetanse

Kompetanse, og tilgang på kompetanse går igjen flere steder i kapittel 3. Under arbeidet med tilbakemeldingene fra respondentene kom det frem at ikke alle var like godt kjent med sine respektive anleggs beskaftenhet, som for eksempel hva slags kompressortype som benyttes eller systemets COP.

Noen respondenter tok også kontakt og opplyste at de ikke kunne nok eller ikke hadde tilstrekkelige data til å svare. Dette kan tolkes dit hen at kompetansen ikke har vært optimal hos alle respondenter, noe som kan være en mulig feilkilde for spørreundersøkelsens del.

Viktigheten av kompetanse går igjen flere steder i kapittel 3 og ser ut til å være avgjørende for at varmepumpeanlegg skal fungere. Dette er i tråd med Stenes (2004) tidligere nevnte *total quality concept* (figur 3.1) som tar for seg at det må være kvalitet i alle ledd, både material- og komponentmessig og ikke minst i teoretisk sammenheng, altså for planleggende og utførende ledd. Dette kan sees i sammenheng med resultater ellers i kapittel 3, hvor det ofte påpekes at kompetansen i enkelte instanser er for lav, og det at det ved installasjon av komplekse systemer er behov for bedre koordinering av de ulike fagretningene.

4.6 Styrker og svakheter ved metoden

En av fordelene med å benytte en blandet design er som nevnt i kapittel 2.5 at de ulike metodene utfyller hverandre. Jeg ønsket å samle inn store mengder kvantitative data som jeg kunne sammenstille med kvalitative data for å finne ut av sammenhenger mellom kostnader og driftserfaringer.

En åpenbar svakhet at det hele står og faller på hvorvidt spørreundersøkelsen blir besvart og i lys av undersøkelsens gang er det flere grep som kunne vært gjort på en annen måte:

Det kan for eksempel tenkes at studien burde vært gjennomført som en eller flere case-studier, med tettere oppfølging av et mer homogent utvalg over lengre tid, i stedet for å gripe bredt og gjøre en tverrsnittsanalyse. En slik case-studie ville kunne finne forskjeller og likheter mellom anlegg som i utgangspunktet ligner på hverandre, for eksempel i størrelse og utforming, og muligens finne årsaker til ulike kostnadsnivå med tanke på drift og vedlikehold. Man kunne også gått nærmere inn på årsakssammenhenger for kostnader.

Ser man på undersøkelsens svarrate og kvaliteten på innsamlede data, er det mulig at spørreskjemaet i for stor grad ble designet på å samle inn store mengder data om mange ulike anlegg, og at det ble lagt for mye vekt på å samle inn faktaopplysninger og for lite vekt på at det satt mennesker i andre enden som faktisk skulle svare på dem. Et enklere spørreskjema med spørsmål kun om varmekilde, installert kapasitet, drifts- og vedlikeholdskostnader, investeringskostnad og mulighet til å skrive om erfaringer og eventuelle problemer ville vært mer brukervennlig for respondentene. Tiden som ble brukt til å lage sammenligningsgrunnlag med utgangspunkt i bioenergi-fyrte nærvarmeanlegg kunne vært brukt til å følge opp hver enkelt respondent ytterligere. Det er imidlertid ikke sikkert at en slik tilnærming ville hatt innvirkning på sluttresultatet.

Å sette i gang spørreundersøkelsen i fellesferien viste seg ikke å være optimalt. Purring på deltakerne på senere tidspunkt måtte iverksettes.

Selv om oppslutningen var lav var det også positive overraskelser. Til tross for at utvalget var relativt lite, var det god spredning i størrelse på de ulike respondentene. At spørreskjemaet hadde en mer åpen kvalitativ del var nyttig. De utfyllende kommentarene var til stor hjelp under arbeidet med de kvantitative verdiene, så vel som for å danne et bilde av hvilke utfordringer man kan møte i et varmepumpeanlegg.

4.7 Oppsummering

- Blant anleggene som ble undersøkt i kapittel 3 hadde flere hatt problemer i løpet av driftstiden, men de fleste lot til å ha funnet og utbedret feilene og opplever normal drift, og lavere drifts- og vedlikeholdskostnader enn 2-3%.
- Systemene kan være i orden mekanisk sett, men dimensjoneringen er feil.
- Feil dimensjonering kan forårsake en rekke ulike følgefeil, og varmepumpene får ikke de fysiske forutsetninger de trenger for å gjøre jobben de er designet for å gjøre.
- Manglende kompetanse i mange ledd og manglende helhetskompentanse er årsaken.

4.8 Forslag til videre arbeid

Ettersom oppslutningen om undersøkelsen ikke var særlig stor kan det være en idé å gjøre den en gang til, men som en langsgående studie over flere år med for eksempel kvartalsvis innrapportering fra frivillige. I så måte kan det være aktuelt med premiering eller annen form for kompensasjon for å øke lysten til å delta. Kvartalsvis innrapportering av kostnadstall sammen med eventuelt automatisert sensoravlesning kan være en løsning som gir både økonomiske data og bruksdata. I likhet med Bloomquist (2001) foreslår også jeg at detaljert kartlegging av kostnader er noe interessegrupper og energimyndigheter bør prioritere.

En annen tilnærmingstype som kan være like aktuell og er å gjøre som det foreslås i til slutt kapittel 3.7.2: Send rådgiverne på kurs! Dette vil heve kompetansen, og kan innen få år øke antallet varmepumper som kjører optimalt både energi- og miljømessig.

5 Konklusjon

Det lyktes ikke å samle inn tilstrekkelige mengder data gjennom spørreundersøkelsen til å gi en generell konklusjon av nivået for kostnader til drift og vedlikehold. For de undersøkte anleggene gjelder det at de fleste opererer med lavere drift- og vedlikeholdskostnader enn 2-3% av investeringskostnad, og sluttbrukerne er i all hovedsak fornøyde.

Likevel er det verdt å legge merke til at det i Norge i dag er to fremtredende varmepumpekategorier: De som fungerer som de skal, og de som ikke gjør det. Varmepumpene som fungerer som de skal opererer innenfor de fysiske og økonomiske rammer som ble forespeilet i prosjekteringsfasen, og fungerer så godt som uten uventede og kostbare opphold. Disse varmepumpesystemene kjennetegnes gjerne ved at det har vært kompetanse i alle ledd. Kompetansen kan ha vært tilstede hele veien fra prosjektering til ferdig system i velfungerende drift, eller den har blitt hentet inn for å korrigere et mindre optimalt system. For disse varmepumpesystemene er det rimelig å anta at overslagsberegningene stemmer.

For varmepumper som ikke fungerer som de skal, er det vanskeligere å si noe om faktisk drift og vedlikeholdskostnad. I en del tilfeller er det kun snakk om noen små justeringer for å få anlegget til å fungere optimalt. Det fordyrende leddet kan for eksempel være at anlegget kjøres ineffektivt og bruker mer energi enn det burde på grunn av dårlig styring mellom varmepumpe og spisslastkjel.

I andre tilfeller kjører ikke varmepumpen i det hele tatt, det kan være havarert, eller være så feildimensjonert at det ikke er lønnsomt å kjøre det. I slike tilfeller kan man ikke benytte overslagsberegninger for drift- og vedlikeholdskostnader, ettersom anleggene mest sannsynlig ikke har de fysiske forutsetningene for å gjøre den jobben som trengs. Fellesnevneren for varmepumper som ikke fungerer ser ut til å være at det har vært manglende kompetanse i flere ledd i anskaffelsesprosessen.

6 Litteraturliste

- Abelsen, A. (2007). *Fornybar energi 2007*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat. ill. : 181 s.
- Bloomquist, R. G. (2001). The economics of geothermal heat pump systems for commercial and institutional buildings. *Proceedings of the International Course on Geothermal Heat Pumps, Bad Urach, Germany*.
- Bäckström, B. & Hallén, T. (1988). *Underhållskostnader för värmepumpar*, b. R49:1988. [Stockholm]: Byggeforskningen. 18 s. : diagr. s.
- Bøhn, T. I. (2003). Boligeieres erfaringer med varmepumper med energibrønn som varmekilde - Evalueringsrapport, SID 02/789: E-CO Tech AS. 14 s.
- Creswell, J. W. (2008). *Educational research: planning, conducting, and evaluating quantitative and qualitative research*. Upper Saddle River, N.J.: Pearson. 670 s.
- Crowther, H. & Smithart, E. (2004). Frictionless-Compressor Technology-The winning technology for the 2003 AHR Expo Innovation Award for energy efficiency is profiled in this feature article. Oil-free magnetic bearings, an integrated. *HPAC Engineering*, 76 (1): 69-73 (sitert etter Selvåg, E. 2007).
- Eggen, G. & Frivik, P.-E. (1990). *Medium sized heat pumps for cold districts*, b. STF11 A90024. Trondheim: SINTEF. 14 s.
- Eggen, G. (2015). COWI AS Avd. Trondheim (red.). geeg@cowi.no, E-post og personlig kommunikasjon våren 2015.
- Enova. (2009). *Fornybar varme - fjernvarme og lokale energisentraler*. Energiseminar kommuner 2009: Enova SF. Tilgjengelig fra: <http://www.klimakommune.enova.no/file2.axd?fileID=b1e59d54-9f93-4b88-902f-4676602eb667> (lest 12. juni 2014).
- Enova. (2012). *Varmeportefølje*. Trondheim: Enova SF. Upublisert manuskript.
- Grotøy, T. (2015). Johnson Controls Norway AS: torkel.grotoy@jci.com, E-post og personlig kommunikasjon våren 2015.
- Jacobsen, D. I. (2005). Hvordan gjennomføre undersøkelser. *Innføring i samfunnsvitenskapelig metode*, 2: 60-66.
- Johannessen, A., Tufte, P. A. & Christoffersen, L. (2010). *Introduksjon til samfunnsvitenskapelig metode*. Oslo: Abstrakt. 436 s.
- Johnson Controls (2010). *Service Guide, SMC/TSMC 100 Mk4 Reciprocating compressor unit*. 007070-en 2010-05.
- NOU 1998:11 (1998). *Energi- og kraftbalansen mot 2020: utredning fra et utvalg oppnevnt ved kongelig resolusjon 16. april 1997 : avgitt til Olje- og*

- energidepartementet 3. juli 1998*. OED. Oslo: Statens forvaltningstjeneste. Informasjonsforvaltning. 425 s.
- Om Enova, *Formål*. (2014). Enova SF. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/om-enova/rammebetingelser/57/0/> (lest 05.03.).
- Rasmussen, R. (2000). *Drift og vedlikehold av kuldeanlegg og varmepumper: teknisk fagskole*. [Oslo]: Gyldendal yrkesopplæring. 478 s.
- Riksrevisjonen. (2012). *Veileder i utarbeiding og bruk av spørreskjema*. Tilgjengelig fra: http://www.riksrevisjonen.no/SiteCollectionDocuments/Vedlegg/Revisjonsmetodikk/Veileder_i_utarbeiding_og_bruk_av_sporreskjema.pdf.
- Røykenes, K. (2008). Metodetriangulering - et metodisk minefelt eller en berikelse av fenomener? *Sykepleien Forskning* (04.2008): 224-226.
- Seehusen, J. (2006). *Kun én av 11 varmepumper virket*: Teknisk Ukeblad. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/bygg/2006/12/18/kun-en-av-11-varmepumper-virket> (lest 10.04.2015).
- Seehusen, J. (2014). *Varmepumper - Norske ingeniører kan for lite om varmepumper*: Teknisk Ukeblad. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/bygg/2014/02/04/-norske-ingeniorer-kan-for-lite-om-varmepumper> (lest 10.04.2015).
- Selvåg, E. (2007). *Analyse av varmepumpeanlegg i nærvarmesystem*. Mastergradsoppgave. Trondheim: NTNU, Institutt for energi- og prosesseteknikk 59 s.
- Selvåg, E. & Stene, J. (2007). 1,5 MW kloakkbasert ammoniakkvarmepumpeanlegg. *KULDE Skandinavia* (6): 38-42.
- SINTEF. (1988). *Varmepumpeplanlegger: orientering om varmepumpas virkemåte og aktuelle anvendelser*. [Oslo]: NVE. 15 s.
- Statsbygg (2003). *Varmepumpeveileder*. Rustad, H., Boland, L. S. & Lunde, H.: Statsbygg. 153 s.
- Stene, J. (1997). *Varmepumper: bygningsoppvarming*, b. STF84 A97303. Trondheim: SINTEF. 242 s.
- Stene, J. (2004). IEA HPP Annex 29-Ground-Source Heat Pumps Overcoming Technical and Market Barriers. Status Report NORWAY: SINTEF Energiforskning AS, Trondheim (Norway). 44 s.
- Tekniske Nyheter (2015). Støy er det problemet som er vanskeligst å fikse. *EnergiRapporten*, Årgang 12 (nr. 5): 13 sider.
- Vittersø, G. (2012). *E-postkorresponanse, Thermoconsult*. Ikke publisert (07.06 - 08.06).

Vedlegg A

Oversikt over spørsmål i spørreundersøkelsen

Respondent

Dato

2: Prosjektets SID-nummer (f.eks. 05/1234 . Er ikke strengt nødvendig, men gjør det enklere å supplere manglende data med data fra Enovas database. SID kan være nevnt i e-posten med invitasjonen til denne undersøkelsen.)

3: Hva er totalt varmebehov for mottaker av varme? (kWh/år)

4: Hvor mange prosent av totalt varmebehov dekkes av varmepumpen? (%)

5: Installert kapasitet på varmepumpe(r)? (kW)

6: Hva er varmepumpens virkningsgrad? (COP - Coefficient of Performance)

7: Har anlegget et reserve-/spisslastsystem? (F.eks olje-, gass- eller biokjel)

8: Installert kapasitet reserve-/spisslastsystem? (kW)

9: Gass

9: Olje

9: Biokjel

9: El-kjel

9: Fjernvarme

9: Vet ikke

9: Annet

10: Har mottaker av energi fra varmepumpen kjølebehov?

11: Hvor stort er kjølebehovet? (kWh/år)

12: Benyttes frikjøling?

13: Hvor mye av kjølebehovet dekkes av frikjøling? (kWh/år)

14: Varmepumpens varmekilde

15: til romoppvarming (vannbåren).

15: til romoppvarming (ventilasjon).

15: til oppvarming av tappevann.

15: Annet

16: Når ble varmepumpen satt i drift? (år, f.eks. 2004)

17: Antall kompressorer i varmepumpen?

18: Stempelkompressor

18: Skruekompressor

18: Scrollkompressor

18: Sentrifugalkompressor

18: Vet ikke

18: Annet

20: Varmesentralens samlede strømforbruk i 2011 (kWh)

21: Hvor mye strøm brukte varmepumpens kompressor(er) i 2011? (kWh)

22: Energi levert i 2011: (kWh)

23: 2010

23: 2009

23: 2008

23: 2007

23: 2006

23: Har ikke slike tall, men har en formening om det har gått opp eller ned.

24: Total energi levert i 2010 (kWh)

25: Total energi levert i 2009 (kWh)

26: Total energi levert i 2008 (kWh)
 27: Total energi levert i 2007 (kWh)
 28: Total energi levert i 2006 (kWh)
 29: Her kan du skrive inn din formening om levert varme per år (kWh) har gått oppe eller ned. Utfyllende kommentarer mottas med takk.
 30: Hvem har driftsansvaret for varmepumpen?
 31: Foreligger det vedlikeholdsavtale med leverandør?
 32: Hva slags arbeid og deler dekker vedlikeholdsavtalen? (Dekker den kun arbeid/og eller slitedeler, eller er det mer som en kaskoavtale der leverandør tar totalansvar?)
 33: Her kan du beskrive hva som menes med "annet" med tanke på vedlikeholdsavtale. Før gjerne opp utgifter, avtalens natur, ansvarsfordeling mellom sluttbruker og leverandør og lignende.
 35: Reelle investeringskostnader eks. moms (kr)
 36: Hva var inkludert i investeringskostnadene? F.eks. Spisslastsystem, bygging av eget bygg, prosjektering, kompressor(er), distribusjonssystem osv. (Svar i ca-kroner for hver post du noterer)
 37: Totale drifts- og vedlikeholdskostnader eks. moms (Untatt strøm til kompressor!) for 2011 (kr)
 38: Lønn eller timer, egne ansatte
 38: Leie av eksternt personell
 38: Forsikringer
 38: Leie av bygg/lokaler til varmesentral
 38: Kostnader for strøm til hjelpemekanikk/-elektronikk som vifter, pumper osv. (ikke kompressor)
 38: Vedlikeholdsavtale
 38: Annet
 39: Lønn eller timer til egne ansatte i 2011 eks. moms (spesifiser om det er timer eller kroner)
 40: Kostnad leie av eksternt personell i 2011 eks. moms (kr)
 41: Kostnad 2011 for forsikringer eks. moms (kr)
 42: Kostnader for leie av bygg/lokaler til varme-/energisentral i 2011 eks. moms (kr)
 43: Kostnader for strøm til hjelpesystemer som vifter, pumper og stryngssystemer osv. eks. moms (kr) (MERK: Ikke til kompressor)
 44: Kostnader i forbindelse med vedlikeholdsavtale eks. moms (kr)
 45: Kostnader i forbindelse med "annet" eks. moms (kr)
 46: Har du tall for totale drifts og vedlikeholdskostnader eks. moms (untatt strøm til kompressor) for hele, eller deler av perioden 2006-2010? (Om du ikke er helt sikker på tallene, men kan gjøre et overslag velger du "Ja")
 47: Her kan du beskrive hvordan utviklingen av totale drifts- og vedlikeholdskostnader (eksklusive strøm til kompressor) i perioden 2006 og fram 2011 har vært:
 48: Før inn totale kostnader (eks. moms) for drift og vedlikehold (eksklusive strøm til kompressor) for de årene du har tall for. Om du gjør et overslag er det fint om du noterer at tallene er basert på skjønn.
 49: Påløp det (uventede)kostnader forbundet med innkjøring og kalibrering av varmepumpeanlegget?
 50: Hva var de viktigste kostnadene i forbindelse med innkjøring og kalibrering, og hvilken størrelsesorden var kostnadene i?
 51: Beregnet pris per kWh levert energi da investeringsbeslutning ble tatt: (kr/kWh levert energi)
 52: Hvor mye ble antatt å være drifts- og vedlikeholdskostnader da investeringsbeslutning ble tatt? (kr/kWh levert energi) (MERK: Eksklusive strøm til kompressor)
 53: Dagens prissituasjon per kWh levert energi (kr/kWh levert energi)
 54: Dagens situasjon, driftskostnader per kWh levert energi? (kr/kWh levert energi) (MERK: Eksklusive strøm til kompressor)
 56: Har driftskostnadene vært som forventet? Har det vært store avvik? Kommenter gjerne her:
 57: Har driftstiden vært som forventet? Kommenter gjerne her:
 58: Har anlegget hatt alvorlige driftsstans, som for eksempel kompressorhavari eller problemer med varmekilden? Kommenter gjerne her:
 59: Har anlegget hatt problemer med korrosjon?
 60: Har du mulighet til å utdype korrosjonsproblemene, kan du gjøre det her:
 61: Er varmepumpens virkningsgrad som forventet?
 62: Her kan du utdype nærmere om virkningsgraden og hvorfor den ikke er som forventet.

- 63: Kan det tenkes at varmepumpen er over-/underdimensjonert?
64: Her kan du utdype over-/underdimensjonering hvis du vil:
65: Har det vært år med ekstraordinære utgifter til drift og vedlikehold av varmepumpen? Om mulig, angi år og størrelsesorden.
66: Hva mener du om anleggets driftssikkerhet?
67: Overlates mye av driften til leverandør?
68: Har du andre kommentarer eller tanker om varmepumpen og sentralen?
69: Til slutt: Alt i alt, hvor tilfreds er du med varmepumpeanlegget?

Forklaringer:

- 9: = Hva slags varmekilde benyttes i reserve-/spisslastsystem? (Her er det mulig å krysse av flere alternativer)
15: = Varmepumpen benyttes ... (Her er det mulig å krysse av flere alternativer)
18: = Hva slags kompressor(er) benyttes i varmepumpen(e)? (Her er det mulig å krysse av flere alternativer)
23: = Kryss av for hvilke år du har oversikt over total energi (kWh) levert fra varmepumpen: (Her er det mulig å krysse av flere alternativer)
38: = Merk av kostnadsposter som du har tall på for drift og vedlikehold av varmesentralen. Det er mulighet for å fylle inn tallene på de neste sidene. Om du ikke har nøyaktige tall, men vil buke skjønn, går det bra. (MERK: Strøm til kompressor skal ikke inkluderes her.)

Vedlegg B

Introduksjonsbrev som fulgte med spørreundersøkelsen



Enova SF
Postboks 5700 Sluppen
NO-7437 Trondheim

www.enova.no
Tlf 73 19 04 30
Faks 73 19 04 31
post@enova.no

Org.nr. 983609155

Dato:
14.06.2012

Vår ref:
12/665/HEG

Deres ref:

Kartlegging av faktiske kostnader for bioenergianlegg

Du blir kontaktet fordi du står som kontaktperson på et bioenergi prosjekt støttet av Enova, og vi håper du har anledning til å bidra med informasjon i forbindelse med en masteroppgave.

Enovas sommervikar Tord Ståle Storbækken studerer fornybar energi ved Universitetet for miljø- og biovitenskap på Ås, hvor han skal skrive en masteroppgave med arbeidstittel "Kartlegging og analyse av faktiske kostnader for varmepumper". Grunnen til at også bioenergianlegg inkluderes i oppgaven er for å finne kontraster mellom kostnader for de to ulike løsningene. For å finne de faktiske kostnadene er han avhengig av tilbakemelding fra bransjen. Først og fremst om hvilke drifts- og vedlikeholdskostnader man opplever med bioenergianlegg som har vært i drift i noen år, men også generelle erfaringer vedrørende drift og vedlikehold.

Enovas støttetilbud til lokale energisentraler er basert på en del forhåndsdefinerte verdier for å gjøre søknadsprosessen så enkel som mulig. Drifts- og vedlikeholdskostnadene er en slik forhåndsdefinert verdi. En regelmessig kartlegging av hva som er de faktiske kostnadene eierne av bioenergianleggene står ovenfor er nødvendig for at støttetilbudet til enhver tid skal være best mulig. Enova ser derfor frem til resultatene av Storbækkens masterarbeid med stor interesse. Han er imidlertid avhengig av å få besvart sin undersøkelse, og vi håper du vil ta deg tid til å fylle ut skjemaet han har utarbeidet.

Det viktigste er å få vite siste års drift- og vedlikeholdskostnader, anleggets installerte effekt og årlig produksjon. Om mulig vil det også være fint å få informasjon om siste fem års energileveranse, drift- og vedlikeholdskostnader, generelle driftserfaringer, og noen detaljer om hvordan bioenergianlegget er konfigurert.

Opplysningene vil bli behandlet konfidensielt, og kun anonymiserte resultater vil publiseres i masteroppgaven.

Med vennlig hilsen
Enova SF


Trond Bratsberg
Rådgiver

Vedlegg C

Intervjuer

Anonym 1, Energirådgiver, ønsker i minst mulig grad å identifiseres. 110 minutter. Sommer 2012

Anonym 2, Energirådgiver, VVS-entreprenør, telefon 28 minutter, 2015

Anonym 3, Teknisk leder, Kommune, Møterom, ca60 minutter, vår 2015

Anonym 4, Vaktmester, Fylkeskommune, telefon, ca20 minutter, vår 2015

Anonym 5, Disponent, Gårdsbruk/boligkompleks, e-post

Geir Eggen, Cowi telefon, 30 minutter

Torkel Grotøy, Johnson Controls, telefon 35 minutter, e-postkorrespondanse, Vår 2015

Vedlegg D

Intervjuguide – eksempler på spørsmål som ble stilt i intervjusammenheng

Som en tommelfingerregel sier man gjerne at kostnader til drift- og vedlikehold er 2-3% av investering i maskinrommet i årlig kostnad, vil du si at dette tallet stemmer i deres tilfelle?

Hva regner dere som drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumpeanlegg?

Har du eksempler på konkrete tall?

Har du en ca-pris på drift- og vedlikehold som dere benytter i bedriften du er tilknyttet?

Hva er etter din erfaring kostnadsdriverne for drift- og vedlikehold?

Hva er de viktigste elementene?

Har F-gassdirektivet hatt noe å si for drift- og vedlikeholdskostnader?

Har du kjennskap til at drift- og vedlikeholdskostnader for varmepumper har vært større enn forutsett?

Hva kan etter din mening ha gått feil i tilfeller hvor en varmepumpe til stadighet trenger service og/eller reparasjoner?

Hvordan kan dette unngås?

Hva er etter din oppfatning grunnen til at varmepumper havarerer?

Er dette noe som skjer ofte?



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no