





## Forord

Denne oppgaven markerer avslutningen på fem års studier innen fornybar energi ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet.

Gjennom sommerjobb og datainnsamling ved Enova SF har jeg fått et innblikk i kostnadsbildet rundt fornybare nærvarmesentraler, og slik ble grunnlaget for oppgaven lagt.

Jeg vil gjerne takke Thomas Berg i Enova SF for tålmodig å ha ledet meg til de rette kildene under datainnsamlingen. Jeg vil også takke alle øvrige i Enova som har hjulpet meg, besvart spørsmål og ellers tatt meg godt imot. En stor takk går til min veileder Erik Trømborg, for rettledning og raske og gode tilbakemeldinger gjennom hele prosessen. Takk også til respondentene som har besvart spørreundersøkelsen og slik gjort analysene mulig.

Kristin Johansen

Ås, 11.05.2015



## Sammendrag

Etter myndighetenes forslag om utfasing av fossil fyringsolje og innskrenking av elektrisitetsforbruk til boligoppvarming, er lokal fornybar varme blitt et mer utbredt alternativ i den norske bygningsmassen. Likevel er nærvarmens markedsandel stadig beskeden, blant annet på grunn av høye investeringskostnader kombinert med vedvarende lave strømpriser.

Praktiske og økonomiske barrierer for økt utbygging av lokal varme er kartlagt i flere studier. I denne oppgaven evalueres situasjonen pr. 2015, for flisanlegg, pelletsanlegg, luft/vann-varmepumper og væske/vann-varmepumper. Gjennom statistiske analyser av investeringskostnader og kommunetilhørighet forbundet med et utvalg lokale varmesentraler, blir det undersøkt om sentralitet og regionsspesifikk kompetanse har innvirkning på anleggenes energikostnad. Til grunn for analysene ligger opplysninger hentet fra søknader til Enova SF sine støtteprogrammer for lokale varmesentraler. En spørreundersøkelse blant aktører som de siste årene har gått til anskaffelse av en lokal fornybar varmesentral kartlegger brukererfaringer rundt det å drifte slike anlegg.

Hovedfunnene i oppgaven er at investeringskostnad pr. årlig forventet energileveranse for en sentral i liten grad avhenger av hvor i landet sentralen befinner seg, og om folketallet i den aktuelle kommunen er høyt eller lavt. Varmepumper, spesielt væske/vann, har noe høyere investeringskostnad pr. energienhet enn biovarmesentraler, men resultatene er preget av enkelte avvikende verdier som antas å skyldes feilrapporteringer. Av spørreundersøkelsen kommer det fram at eierne av fornybare nærvarmesentraler stort sett er fornøyd med ulike aspekter ved drift og vedlikehold av sine anlegg. Varmepumper kommer jevnt over noe bedre ut enn flis- og pelletsanlegg basert på respondentenes besvarelser. Konklusjonene er fattet på grunnlag av et relativt lite antall observasjoner, og grundigere utredninger må til for å kunne trekke generelle slutninger vedrørende de lokale varmesentralenes driftsmessige og økonomiske aspekter.



## **Abstract**

As a consequence of the government proposal concerning reduction in use of fossil oil and direct electricity for heating purposes, local renewable heating centrals has appeared as a growing alternative in Norway. Despite this, the market share of heat produced from renewable sources is relatively low, due to high investment costs and continuously low electricity prices.

Practical and economical barriers for increased implementation of local renewable heating have been investigated in several studies. In this thesis, the situation as it appears in 2015 is evaluated for local heat plants based on wood chips and wood pellets, air-to-water heat pumps and water-to-water heat pumps. By conducting statistical analyses regarding investment costs and geographical location associated with a sample of local heating centrals, the relationship between the two variables were investigated. It could then be determined whether location and region-specific expertise would have an impact on the energy cost of each heating central. Data needed for the analyses were collected from applications to Enova SF's support programs for local renewable heating centrals. A survey among actors that over the last years have built or established local heating plants investigates user experiences concerning daily operation and maintenance of such plants.

The main findings in this study is that geographical location, and population density in the municipality in which a heating central is situated , has little influence on investment cost per expected annual energy deliverance. Heat pumps, particularly water-to-water, have a slightly higher investment cost per unit of energy produced than biomass fired heating centrals. These results however are not totally reliable due to probable discrepancies in the collected reports. From the survey it appears that the owners of local heating centrals are content with the various aspects of operation and maintenance of their devices. Owners of heat pumps are slightly more satisfied than owners of bio-heat plants. The analyses are based on relatively small samples, and more thorough investigation is needed to draw general conclusions concerning the operational and financial aspects of local heating centrals.





# Innholdsfortegnelse

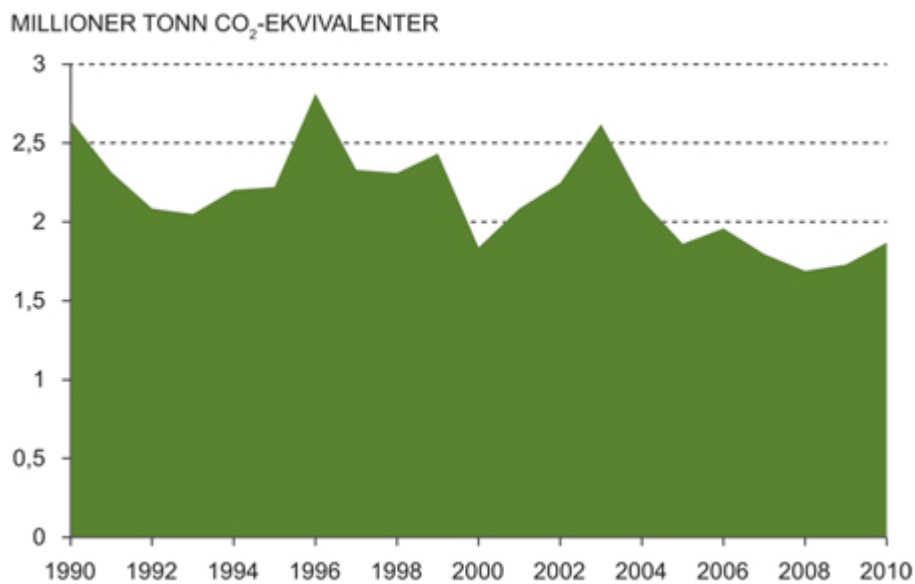
Innholdsfortegnelse .....	7
1. Innledning.....	9
1.1. Bakgrunn .....	9
1.2. Problemstilling.....	10
1.3. Tidligere studier.....	11
1.3.1. Den fornybare varmens rolle i energisystemet.....	11
1.3.2. Konvertering fra fossil fyringsolje og direktevirkende el .....	11
1.3.3. Barrierer for utbygging av fornybare varmesentraler.....	13
1.3.4. Brukererfaringer fra tidligere studier .....	15
1.3.5. Varmesentralenes virkningsgrad.....	16
2. Materiale og metode.....	18
2.1. Metodevalg og metodetriangulering .....	18
2.2. Datamaterialet .....	18
2.3. Metode .....	19
2.3.1. Delproblemstilling 1: Kostnad og kommunetilhørighet .....	19
2.3.2. Estimeringsmetode .....	20
2.3.3. Variansanalyse.....	20
2.3.4. Variablene .....	22
2.4. Delproblemstilling 2, 3 og 4: Drift av varmesentralene .....	26
3. Resultater .....	27
3.1. Kostnader og kommunetilhørighet .....	27
3.1.1. Statistiske analyser .....	29
3.2. Energileveranse og effektivitet .....	36
3.2.1. Årsaker til avvik i energileveranse og effektivitet .....	37
3.3. Drifts- og vedlikeholdskostnader .....	38
3.4. Evaluering av brenseltilgang, brenselpris og driftssikkerhet .....	39
3.4.1. Evaluering av brenseltilgang.....	39
3.4.2. Evaluering av brenselpris.....	41
3.4.3. Evaluering av driftssikkerhet .....	42
4. Diskusjon .....	44
4.1. Diskusjon av metode .....	44
4.1.1. Diskusjon av kvalitativ undersøkelse.....	44
4.1.2. Diskusjon av kvantitativ undersøkelse .....	46

4.2. Diskusjon av resultater .....	48
5. Konklusjon .....	55
6. Referanseliste .....	56
7. Vedlegg .....	58

# 1. Innledning

## 1.1. Bakgrunn

I forkant av at 20-20-20-målene ble slått fast gjennom EUs fornybardirektiv i 2008, la den rødgrønne regjeringen i 2007 fram Stortingsmelding nr. 34 (2006-2007), senere avløst av Stortingsmelding nr. 21 (2011-2012), som skulle bli kjent som «Klimameldingen». Et av målene i meldingen var å kutte Norges klimagassutslipp med 30 % innen 2020, med 1990 som referanseår. Samme melding beskrev målet om et karbonnøytralt Norge innen 2050 (Miljøverndepartementet 2012). En del av klimagassutslippene signert Norge har sitt opphav i bygningsoppvarming. Nordmenn varmer opp hus og andre bygninger store deler av året, og mye av oppvarmingen baserer seg på direktevirkende elektrisitet eller fossile brenslere som fyringsolje. Figur 1 er hentet fra Klimameldingen og viser utslipp av klimagasser ved bruk av fossile brenslere til bygningsoppvarming i Norge fra 1990 til 2010:



Figur 1: Utslipp av klimagasser fra oppvarming av bygg fra 1990 til 2010. Kilde: Miljøverndepartementet (2012)

Som et konkret tiltak i arbeidet med å nå målene i den opprinnelige Klimameldingen, ble det i 2010 nedlagt forbud mot å installere oljekjel for fossilt brensel som grunnlast til bygningsoppvarming i Norge. Samtidig kom et forslag om å fase ut eksisterende oljekjeler som oppvarmingskilde innen 2020. Målet var en utstrakt bruk av varmesentraler basert på fornybare kilder.

For å fremskynde prosessen ble Enova SF opprettet i 2001. Enova er et statlig foretak eid av Olje- og energidepartementet som skal «drive fram en miljøvennlig omlegging av energibruk og energiproduksjon, samt bidra til utvikling av energi- og klimateknologi (...) hovedsakelig gjennom økonomisk støtte og rådgivning» (Enova 2014). I Meld. St. nr. 21 er en stadfestet strategi å «styrke Enovas øvrige oppgaver, slik som innsatsen rettet mot overgang fra fossilbasert energibruk til fornybar energi og energieffektivisering.»

I 2008 introduserte Enova et eget støttetilbud til lokale energisentraler. Dette støttetilbudet har blitt kontinuerlig videreutviklet, og Enova opplever en økning i antall varmesentraler som omsøkes og

støttes hvert år» (Enova 2012). Siden oppstarten i 2002, hadde Enova pr. 2013 støttet 8 TWh fornybar varme. Av dette utgjør lokal varme i yrkesbygg om lag 1,3 TWh.

En annen aktør innen statlig energiforvaltning er Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), grunnlagt 1921 og underlagt Olje- og energidepartementet. NVE har som oppgave å «fremme en effektiv kraftomsetning, kostnadseffektive energisystemer, og bidra til en effektiv energibruk» (NVE 2011). Som en del av sitt arbeid med å forvalte norske energiressurser formidler NVE oppdatert kunnskap om teknologi og kostnader knyttet til produksjons- og overføringssystemet for energi i Norge. I en av sine rapporter presiserer direktoratet at mange enkeltfaktorer kan påvirke kostnadsbildet for ulike energiinstallasjoner, herunder lokale fornybare varmesentraler.

Ifølge Kristoffersen (2007) kan det ses, av støttesøknadene som kommer Enova i hende, et stort sprang i energiutbytte på «prosjekter i samme kategori», og at det forekommer «lokale forskjeller». Om investeringskostnadene pr. levert energi påvirkes av hvor i landet et lokalvarmeanlegg befinner seg, med tanke på sentralitet og derav tilgang på kvalifiserte konsulenttenester, er av interesse i forbindelse med den videre utbyggingen av den fornybare varmekapasiteten.

## **1.2. Problemstilling**

Omleggingen fra fossil til fornybar varme i Norge er en langsiktig, pågående prosess. Hovedmålet med denne oppgaven er å danne et bilde av holdningene til lokal varme i Norge, basert på oppfatningene til den delen av befolkningen som allerede har gått til anskaffelse av en fornybar varmesentral. Om beliggenhet i sentrale eller mindre sentrale strøk har noen innvirkning på investeringskostnaden fordelt på anleggets årlige forventede energileveranse skal også undersøkes. Slik kan en evaluere omleggingen som til nå har foregått, og utsiktene for videre utvikling av varmemarkedet. Kostnader og brukererfaringer ved fornybare varmesentraler i yrkesbygg eller større boligkomplekser skal forsøkes kartlagt gjennom å besvare følgende delproblemstillinger:

1. Hvordan varierer investeringskostnadene mellom ulike teknologier? Varierer kostnadene også med lokalisering i sentrale eller mindre sentrale områder?
2. Viser enkelte teknologier seg å fungere bedre enn andre med tanke på energileveranse og effektivitet?
3. Er det store avvik mellom forventede driftskostnader og faktiske driftskostnader, og hva forårsaker eventuelle avvik?
4. I hvilken grad er eierne av lokale fornybare varmesentraler fornøyde med sine anlegg?

## **1.3. Tidligere studier**

### **1.3.1. Den fornybare varmens rolle i energisystemet**

Det totale stasjonære energiforbruket i Norge var omtrent 150 TWh i 2011 (Bøeng & Holstad 2013). I husholdninger utgjør oppvarming av boareal og tappevann ca. 70 % av energiforbruket. Tallet for yrkesbygg er noe lavere, men fortsatt betydelig (Killingland et al. 2011).

Ifølge FN's klimapanel kan reduksjon av karbonutslipp fra bygningssektoren reduseres ved å integrere fornybar energi i kraftsystemet. Elektrisitet er den mest brukte energikilden i Norden. I Norge brukes direktevirkende elektrisitet til boligoppvarming i mye større grad enn i de andre nordiske landene. Denne trenden skyldes tilgangen på vannenergiressurser og derav lave strømpriser her til lands (IEA 2013). Bruken av olje i norske yrkesbygg er relativt lav, men langt større enn bruken av bioenergi, til tross for bioenergiens mange fordeler (IEA 2013). Biomassefyrte anlegg baserer seg i svært liten grad på elektrisk strøm og kan dermed bidra til fleksibilitet i elnettet dersom anleggene erstatter elkjeler eller panelovner (Aarvig 2008). Energien fra sentralene er fornybar med relativt kort omløpstid for brenselet. I et langsiktig perspektiv er energien fra sentralene karbonnøytral, regnet etter EUs kriterier (Holtmark 2012). Pr. 2009 ble under halvparten av tilveksten i norske skoger høstet, hvilket fører til en hurtig akkumulasjon av trevirke, og dermed et økt potensiale for uttak av biomasse til energiformål (Sjølie et al. 2010). Biosentralene er ikke forbundet med store naturinngrep og påvirker ikke direkte omkringliggende økosystemer. Ressurstilgangen er god, avfallet lett håndterlig, og teknologien er kjent, pålitelig og effektiv. Varmepumper bygger også på en kjent og godt utviklet teknologi, som ikke forringer natur og økosystemer i nevneverdig grad. Energikilden, varmeenergi fra luft, vann eller jord, blir ikke oppbrukt og regnes således som fornybar.

### **1.3.2. Konvertering fra fossil fyringsolje og direktevirkende el**

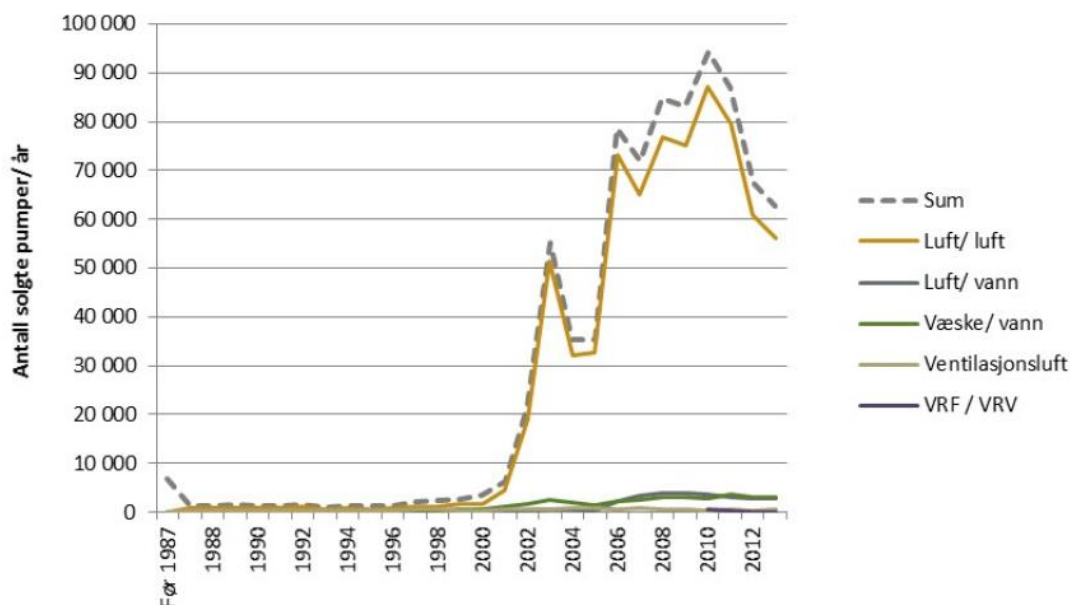
For å stimulere til redusert bruk av elektrisitet til oppvarmingsformål er krav til energiforsyning i nye bygninger innarbeidet i byggeteknisk forskrift av 2010, kjent som TEK 10. § 14-7 stiller krav til at bygninger under 500 m<sup>2</sup> bruksareal skal prosjekteres og utføres slik at 40 % av netto varmebehov kan dekkes av annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker. For bygninger over 500 m<sup>2</sup> bruksareal gjelder kravet for 60 % av bygningens netto varmebehov (KMD 2010). I tillegg kommer pålegget om utfasing av oljekjeler basert på fossil fyringsolje.

Ikke alle er positive til utviklingen. I en artikkel på TU.no av Lie (2013) uttrykker Norsk Petroleumsinstitutt (NP) bekymring for at utfasingen kan føre til økt bruk av el og potensielt svekket forsyningssikkerhet. Bransjeforeningen mener at støttebeløpet som tilbys av Enova er for lite med tanke på prisen tiltakshaverne må betale for å bytte ut oljekjelen. Ifølge generalsekretær Inger-Lise M. Nøstvik i NP er det tale om mellom 17000 og 20000 større varmeanlegg som må byttes ut i yrkesbygg og boligkomplekser, og etter bransjeaktøren Eco-1 sin regnemåte tilsvarer dette om lag 5 milliarder kroner i installert kapasitet (Eco-1 2015). Eco-1 har følgende melding: «For å fase ut fossil energi krever det at en bruker den varmeløsningen som fungerer best i de ulike tilfellene. En må vurdere kostnad pr kWh og driftssikkerhet ved ekstremisituasjoner og høyere energipriser, f.eks. på

elektrisitet. En skal også vurdere utslipp til luft, spesielt i byer og tettbygde strøk». Belbo og Fisknes (2012) trekker fram redusert bruk av el til fordel for biomasse som en vei å gå: «Elektrisk energi øker i verdi, og fossile brensler som fyringsolje, propan og kull pålegges CO<sub>2</sub>- og forbruksavgifter. Sammen gjør dette at utnyttelse av biomasse fra jord og skogbruk til energiformål blir et økonomisk interessant alternativ.» Det interdepartementale arbeidsutvalget for bioenergi skriver i en rapport fra 2007 at det «gjennom de senere år er tatt flere initiativ og iverksatt en rekke enkeltstående bioenergi prosjekter. Dette har dels skjedd ved hjelp av statlig støtte. For mange av prosjektene er økonomien tilfredsstillende fra et samfunns- og et bedriftsøkonomisk synspunkt» (OED 2007). Den samme rapporten påpeker den direkte positive virkningen en får i CO<sub>2</sub>-regnskapet ved å erstatte fossilt brensel med biobrensel, samt bioenergisatsingens bidrag til næringsutvikling i distriktene, og økt energifleksibilitet i områder med lav nettkapasitet.

Varmepumper bidrar også til økt fleksibilitet i nettet, gitt at pumpene erstatter elkjeler. Å bytte ut en oljekjel med en varmepumpe vil i utgangspunktet føre til økt press på strømnettet, og potensielt lavere forsyningssikkerhet i den enkelte bygning siden varmepumpas funksjon er avhengig av tilgang på elektrisitet. Varmepumpekapasiteten øker likevel mer enn biomassebasert kapasitet i prosessen med å fase ut fossile varmeinstallasjoner.

I en artikkel av Åserud (2011) kommer det fram at de fleste som tar kontakt med Enova i forbindelse med utskifting av oljekjel, vurderer en form for varmepumpe. Det var pr. 2014 installert mer enn 750 000 varmepumper i Norge (NOVAP 2014). Bjørn Birkeland i Prognosesenteret sa i et innlegg på Varmepumpekonferansen 2013 at erstatningssalget ville få stor betydning for varmepumpebransjen, og at erstatningsmarkedet i 2020 alene kunne utgjøre 45 % av det totale markedet, mot 10 % i 2010. Birkeland sa videre at potensialet for varmepumper i yrkesbygg er 5000 enheter i privat sektor og 2000 i offentlig sektor fram mot 2020. Også rehabilitering av eksisterende bygg kan bidra betydelig: «Det finnes 200 000 yrkesbygg som potensielt venter på varmepumper, og om lag 35 000 boligkomplekser» (NOVAP 2014). I en relatert artikkel beskriver Norsk varmepumpeforening markedstrendene på følgende måte: «Når privathusholdninger skal skifte ut sin oljefyr er varmepumpe førstevalget. Enova og Oslo Kommune har støtteordninger hvor over 95 prosent har valgt varmepumpe når de søker tilskudd. Utfordringen med konvertering til varmepumpe er at pumpa setter andre krav til varmesystem og innregulering enn en oljekjel. Dette er det viktig at installatør er kjent med når de skal installere varmepumper som skal erstatte et eksisterende oljefyringsanlegg» (NOVAP 2013). Figur 2 viser salget av varmepumper i Norge fra 1988 til 2013:



Figur 2: Salg av varmepumper i Norge 1988 – 2013. Kilde: Ericson et al. (2015)

Også større institusjoner ser på fornybar nærvärme som en del av sin langsiktige energistrategi. I forbindelse med utfasing av oljefyrte varmesentraler kom eksempelvis fylkesrådmannen i Vestfold med følgende innstilling i 2009 (utdrag): «Fjernvarme foretrekkes som primær varmekilde, forutsatt at denne produseres miljøvennlig og til en konkurransedyktig pris. Bioenergi eller varmepumpe velges der fjernvarme ikke er aktuelt» (VFK 2009). Også Arendal kommune har i en utredning fra 2008 planer om å koble kommunale bygg på fjernvarmenettet, med aktuelle alternative energiløsninger som biobrensel og varmepumper (Oustad 2008). Men det er langt igjen til mål. Sentralenes positive sider tatt i betraktning kunne lokal fornybar varme tenkes å ha en større markedsandel enn tilfellet er i dag.

### 1.3.3. Barrierer for utbygging av fornybare varmesentraler

Årsakene til den beskjedne varmekapasiteten er ikke overraskende av økonomisk karakter. I den nevnte rapporten om energiutredning for Arendal kommune påpeker Oustad (2008) at prisforholdet mellom olje, elektrisitet og biobrensel pr. 2008 resulterte i negativ nåverdi for samtlige prosjekter i utredningen. Dette prisforholdet har vedvart.

Da Norsk Bioenergiforening, Norsk Varmepumpeforening og Norsk Petroleumsinstitutt gjennomførte studien for Enova i 2007 som skulle få det talende navnet «10 år med røde tall», fant de to overordnede barrierer for aktører som ønsket å etablere lokal fornybar varme: manglende marked, og manglende lønnsomhet (Aadnevik et al. 2007). Med lokal fornybar varme menes i rapporten alle fornybare varmeprosjekter som omfatter mer enn en enkelthusholdning, men som samtidig ikke er så store at de defineres som fjernvarmeprosjekter.

Redaktørene forklarer «manglende marked» som «fysiske barrierer knyttet til infrastrukturen i den norske bygningsmassen». Den andre barrieren, manglende lønnsomhet, henger nøye sammen med den første, i det at høye investeringskostnader grunnet fravær av nødvendig infrastruktur resulterer i

kalkyler med marginal lønnsomhet eller ulønnsomhet i prosjekter som i utgangspunktet skulle redusere energikostnadene. De høye investeringskostnadene fører ifølge Aadnevik et al. til at mange prosjekter gjennomføres med sterkt fokus på kostnadsminimering. Kostnadsfokuset kan resultere i økte driftskostnader på sikt, som følge av driftsproblemer og driftsstans. Dette bidrar til å redusere lønnsomheten og til å gi teknologien et dårlig omdømme, noe som igjen bygger opp nye barrierer i det lange løp.

Aadnevik et al. fant videre ut at øvrige barrierer omfattet: manglende kompetanse gjennom hele verdikjeden, rabattordninger på nettleie for uprioriterte overføringer, svakheter ved Enovas støtteprogramtilbud, tilgangen på kvalifiserte konsulenter, høy pris på nødvendig utstyr og laber tilgang på brensel av tilstrekkelig kvalitet. Kvaliteten på utstyret sies å være svært varierende, men dette skyldes i hovedsak utbredt mangel på innkjøpskompetanse. «De som vet hva de trenger og klarer å sette opp en riktig kravspesifikasjon får sjelden problemer, men de som har mindre kunnskap, og i større grad kjøper kun etter pris, kan få svært dårlige løsninger.»

Det er også stor variasjon i respondentenes erfaringer når det gjelder oppfølging fra leverandørene i etterkant av installering. Eksemplene på dårlig oppfølging er mange. Det er ei heller god tilgang på kvalifiserte konsulenter. Kvaliteten på kompetansen varierer sterkt, blant annet som følge av at tilbydernes virksomhetsområde er for generelt. Feildimensjonering av anlegg er et vanlig resultat. Tilgangen på kompetanse til prosjektering oppleves ifølge studien som spesielt dårlig i Nord-Norge, i Midt-Norge, på Vestlandet og på Sørlandet. «Siden spisskompetansen ofte må hentes utenfor disse regionene, bidrar de høye reisekostnadene fort til at det blir for dyrt for mindre prosjekter å bruke kompetente konsulenter.» Også tilgang på biobrensel av rett kvalitet varierer landsdelene imellom.

For varmepumper kan mangelfull kravspesifikasjon, og urealistiske forutsetninger i forkant av dimensjonering, føre til at pumpene ofte fungerer dårlig til tross for god kvalitet på de enkelte komponentene.

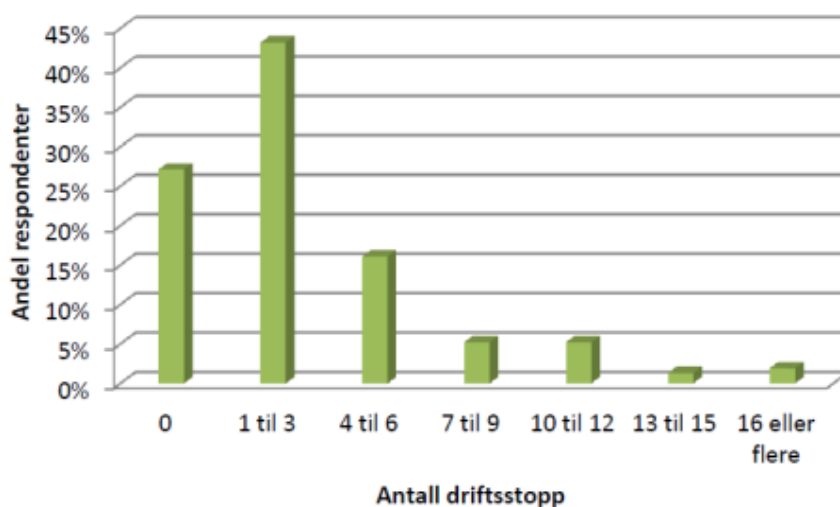
Mangelen på spesifikk kompetanse innen prosjektering av varmepumpeanlegg er et problem ved mange rådgivnings- og konsulentfirmaer. Innsikt i flere ulike fagfelt er ofte påkrevd ved større varmepumpeprosjekter, og ofte er ikke ressurser til prosjektering avsatt. Beliggenhet spiller også en rolle. «Geografisk er tilgangen på kompetanse best på det sentrale Østlandet» skriver Aadnevik et al. Dette handler ikke om at konsulentene er dyktigere her enn i mindre sentrale strøk, men at de er flere og således lettere å nå for kundene. «I Nord-Norge er det på grunn av store geografiske avstander i enkelte prosjekter vanskelig å få inn kvalifiserte anbud på varmepumpeprosjekter.»



### 1.3.4. Brukererfaringer fra tidligere studier

#### *Biovarmesentraler*

Fløystad (2013) kom i sin masteroppgave fram til at flisanlegg produserte 11 % mindre varme årlig enn det tiltakshaverne på forhånd hadde planlagt. Dette funnet baserte seg på en spørreundersøkelse blant eiere av gårdsvarmeanlegg, med 100 respondenter. De samme flissentraleierne ble spurt om antall driftsstopp årlig ved anlegget, med resultat som vist i figur 3:



Figur 3: Driftsstopp ved flissentraler. Kilde: Fløystad (2013)

Den samme studien kartla investeringskostnad pr. levert energienhet for flisfyringsanlegg, med et resultat på 460 øre/kWh for selve varmeanlegget i sentralen. Flisaneleggene hadde videre en arbeidskostnad for drift og vedlikehold på 2 øre/kWh, hvilket var den minste kostnaden blant de undersøkte biomassebaserte teknologiene halm, ved og «flere typer brensel». Brenselkostnad for flis ble oppgitt til 21 øre/kWh. 92 % og 28 % av flissentraleierne var fornøyde med henholdsvis brenseltilgang og brenselpris. Årsaken til den lave prosentandelen hva gjelder pris, er at 67 % av respondentene har erklært seg nøytrale eller svart at spørsmålet er irrelevant, trolig fordi de henter brensel fra egen skog. Kun 1,4 % av respondentene for alle biovarmeanleggene samlet sier seg uenig i påstanden «Jeg har god kompetanse om drift og vedlikehold av biovarmeanlegget». Likeledes er langt de fleste fornøyd med kompetansenivået til og servicen fra håndverkere, leverandører og konsulenter (Fløystad 2013).

I en annen masteroppgave om brukererfaringer ved flisfyringsanlegg skriver Fønhus (2007): «Anbefalinger til framtidige utbyggere av mindre flisfyringsanlegg går i store trekk ut på at en bør gjøre grundige foranalyser og et godt prosjekteringsarbeid. Innhentinger av alternative priser i markedet og en vurdering av hvordan man skaffer råstoff, er en annen anbefaling.»

## Varmepumper

Driftskostnader ved varmpumper kan være vanskelige å predikere. Ericson et al. (2015) poengterer at «kostnadene er avhengige av oppvarmings- og kjølebehovene (effekt og energi), temperatur på energikilden, temperaturvariasjon over året og avstand til varmekilden.» Hognestad (2014) skriver i sin masteroppgave om lønnsomhetsanalyser av varmpumper i 18 spesifikke yrkesbygg: «Analysene viser et tydelig positivt resultat for installasjon og drift av varmpumpe i yrkesbygg. Sammenlignet med oljekjel har varmpumpe betraktelig høyere lønnsomhet. Grunnet varmpumpens effektive energiforbruk og dermed lave elektrisitetsforbruk er systemet robust mot endret forbruksprofil, virkningsgrad, drifts- og investeringskostnader.»

Selve strømforbruket som kreves for å drive pumpesystemet er beskjedent sammenlignet med oppvarming basert på direktevirkende el. Likevel er varmpumper alt i alt ikke veldig utbredt i den samlede norske bygningsmassen, på tross av hva salgsstatistikken vist i figur 3 måtte antyde. Hvorfor er det slik? ADAPTConsulting (2012) kommer med følgende forklaring: «I et historisk perspektiv har lave investeringskostnader og lave energipriser ført til at varmeløsninger basert på direkte bruk av elektrisitet eller oljefyr har dominert varmemarkedet. Folke- og bolig tellingen i 2001 avslørte at hele 79,1 % av norske husholdninger baserte oppvarmingen på elektrisitet eller elektrisitet i kombinasjon med andre oppvarmingsløsninger. Nye skjerpede krav til energiforsyning vil imidlertid vri valg av varmeløsninger til alternativer basert på bioenergi eller varmpumper». Konsulentbyrået peker også på at løsninger basert på varmpumper vil ha en høyere installasjonskostnad enn elbasert varmeteknologi, men at det for utbyggere likevel vil kunne fremstå som et lønnsomt alternativ på sikt gjennom lavere energiutgifter.

Når det gjelder øvrige brukererfaringer ved drift av større varmpumper har studier rundt dette vært vanskelig å oppdrive. Hognestad (2014) peker på det samme i sin studie: «På tross av stor økning av antall installerte varmpumper de siste årene, er teknologien fremdeles relativt ny, og varmpumper i yrkesbygg har snever utbredelse i forhold til andre oppvarmingsteknologier. Dette medfører mangel på data og statistikk forbundet med installasjon og drift av varmpumpe.»

### 1.3.5. Varmesentralenes virkningsgrad

Med virkningsgrad menes innfyrt energi delt på levert energi fra den enkelte sentral. Fliskjeler har en virkningsgrad på mellom 80 og 85 % (Hagen 2006), mens pelletsjeler kan komme opp mot 90 % (Enova). Innfyrt energi beregnes ut fra biomassens respektive brennverdi og mengde, mens levert energi betegner den konverterte varmeenergien. Virkningsgraden varierer med kjelens egenskaper i samspill med kvaliteten på brenselet. Eksempelvis kan en stor fliskjel håndtere fuktig brensel på en mer effektiv måte enn en liten fliskjel, og enkelte kjeler krever en renere og mindre grov brenselkvalitet enn andre. Dette er forhold som er relativt enkle å kontrollere for den som drifter biosentralen. Biokjeler virkningsgrad påvirkes ei heller i særlig grad av klimatiske forhold som ute- og innetemperatur, luftfuktighet, isdannelse på apparatur etc.

En varmepumpe utnytter varmeenergi fra sine omgivelser, ved hjelp av et arbeidsmediums varierende energinivå i ulike aggregattilstander. En kompressor som driver denne prosessen henter elektrisitet fra elnettet (Christensen & Folkestad 2008). I utregningen av pumpas virkningsgrad regnes kun tilført elektrisitet som innfyrt energi, og varmepumpa får dermed en virkningsgrad på over 1. Om denne formuleringen strides imidlertid de lærde, da «virkningsgrad» er et mål som per definisjon skal ligge mellom 0 og 1. Når det i forbindelse med en varmepumpe tales om virkningsgrad på over 1, gjerne opp i 3-4, skyldes dette sammenblanding av begreper fra en bransjerelatert ordliste hvor også effektfaktor, COP (coefficient of performance) og årsvarmefaktor bidrar til forvirringen. Ifølge David Zijdemans, teknisk sjef i Oso Hotwater pr. 2010, kan årsvarmefaktor være et mer nyttig effektivitetsmål enn effektfaktor eller virkningsgrad, da denne tar all tilført og avlevert energi gjennom et helt år med i betraktningen (Zijdemans 2010). Noe av grunnen til at et øyeblikksbilde, som effektfaktor, har begrenset verdi som mål for prestasjonen til en varmepumpe, er at pumpas funksjon påvirkes av mange forhold som til dels ikke lar seg kontrollere. Effektfaktoren er en dynamisk størrelse som endrer seg for den enkelte pumpe med varierende temperatur i varmekilde og inneluft, og systemvirkningsgraden varierer i løpet av året (Bryn et al. 2011). Det er kort sagt lett å feilvurdere funksjonen til en varmepumpe ut fra opplysninger om virkningsgrad, effektfaktor, energileveranse, varmfaktor og varmeeffekt.

## 2. Materiale og metode

### 2.1. Metodevalg og metodetriangulering

I denne oppgaven anvendes både kvantitativ og kvalitativ metode. En slik kombinasjon av metoder betegnes metodetriangulering, og er et mye brukt grep innen samfunnsvitenskapelige studier. Kombinasjoner av ulike teoretiske perspektiver i en og samme studie kan være til hjelp når komplekse sammenhenger skal beskrives (Grønmo 2007). Samfunnsøkonomi regnes som den mest kvantitativt orienterte disiplinen innen samfunnsvitenskapen. Samtidig kan økonomiske fenomener og sammenhenger gjerne avhenge av forhold som best lar seg beskrive kvalitativt. Grønmo (2007) trekker frem følgende argument for bruk av metodetriangulering: «At samfunnsforholdene er komplekse og mangeartede, tilsier (...) at det ikke bare er fruktbart å kombinere ulike teoretiske perspektiver, men at det også er hensiktsmessig å kombinere forskjellige metoder.» Slik kan vi få en mer allsidig belysning av de fenomenene som skal under lupen.

Resultatene i denne oppgaven bygger på analyse av både kvalitative og kvantitative data. I en del av oppgaven gjøres bruk av lineær regresjon og variansanalyse med både kvantitative og kategoriske variabler. Den videre undersøkelsen baserer seg på besvarelser av en semistrukturert utspørring, i hvilken både konkrete målbare data og mer subjektive oppfatninger etterspørres.

### 2.2. Datamaterialet

Datamaterialet som benyttes i analysen er hentet fra søknader som Enova har mottatt og innvilget innenfor støtteprogrammene «Lokale energisentraler» (LES), og senere «Varmesentral forenklet» (VSFORE) og «Varmesentral utvidet» (VSUTV), som er Enovas støtteprogrammer for varmesentraler i næringsbygg, offentlige bygg og større boligkomplekser. Dette utelukker på den ene siden sentraler til oppvarming av enkeltstående bolighus, og på den andre siden større sentraler som kan erstatte fjernvarme, eller tilfeller der eksternt rørnett utgjør mer enn 15 % av investeringskostnaden. Eksempler på prosjekter som støttes er varmesentraler ved gårdsanlegg, skoler, sykehjem, borettslag, boligblokker og industribygg. Overgangen mellom støtteprogrammene LES, VSFORE og VSUTV er glidende, og programmene blir i oppgaven behandlet enhetlig.

Enova introduserte i 2008 støtteprogrammet «Lokale energisentraler», som kontinuerlig har blitt videreutviklet. I 2011 ble programtilbudet utvidet fra ett til fire, herunder VSFORE og VSUTV.

For å få økonomisk støtte fra Enova må søkerne sette opp et nøyaktig budsjett basert på bindende pristilbud fra leverandører av varmesentraler og entreprenører som installerer dem. Enova krever også dokumentasjon på faktiske investeringskostnader etter at varmesentralen er installert, før eventuell støtte utbetales. Denne dokumentasjonen kan eksempelvis være kvitteringer og fakturaer for påløpte utgifter. Sistnevnte kostnadsopplysninger benyttes i analysen.

Blant øvrige opplysninger som foreligger er planlagt energileveranse, effekt, investeringskostnad for ulike komponenter av sentralen, hvilke teknologier sentralen erstatter, samt postnummer og poststed som beskriver sentralens geografiske plassering. Planlagt energileveranse skulle i utgangspunktet brukes til å kalkulere responsvariabelen i regresjonsanalysen. Dette lot seg ikke gjøre, da denne informasjonen av ukjente årsaker manglet i mange av sakene. Også kategorien

«effekt» var for mange observasjoner ikke oppgitt. Enova opererer med enda et mål for energileveranse, heretter kalt «fornybar energileveranse», og i denne kategorien foreligger konkrete verdier for alle observasjonene i datasettet. «Fornybar energileveranse» benyttes dermed som grunnlag for analysen. En nærmere beskrivelse av denne størrelsen foreligger i kapittel 2.3.4.

Arkivering av søknadsdata har foregått på ulike måter gjennom årene, og hvilke opplysninger som er lagret i databasene varierer til en viss grad fra år til år. Datasettet som ligger til grunn for analysene i denne oppgaven omfatter saker fra og med 2009 til og med 2014. Samtlige søknader fra 2008 er utelatt på grunn av mangelfulle opplysninger for saker behandlet dette året. Sakene som utgjør observasjonene i regresjonsanalysen teller totalt 441. Disse er fordelt mellom 65 fliskjeler, 47 pelletskjeler, 129 luft/vann-varmepumper og 200 væske/vann-varmepumper. Luft/luft-varmepumper omfattes ikke av Enovas støtteprogrammer for varmesentraler og er derfor ikke med i undersøkelsen.

## 2.3. Metode

### 2.3.1. Delproblemstilling 1: Kostnad og kommunetilørighet

I områder med høy befolkningstetthet, mange husstander, god infrastruktur og utstrakt næringsvirksomhet finnes det sannsynligvis flere varmesentraler enn i mer perifere og usentrale strøk. Jo flere innbyggere som befolker et område, desto flere aktuelle bygg og potensielle kjøpere kan tenkes å investere i en slik innretning. Tilbudet av anlegg, entreprenørtjenester og rådgivning er større, hvilket kan føre til økt konkurranse og gunstigere kjøpsvilkår. Servicetilbudet er større, erfaringene mer tallrike, og én installert sentral kan gjerne generere flere.

I områder der avstanden til naboen er stor, kan antallet service-, entreprenør-, og leverandørforetak være tilsvarende lite, og færre sentraler bli installert.

Hvilke forhold påvirker energikostnaden, her målt i investeringskostnad pr. levert energienhet, forbundet med en varmesentral? Er det av betydning om strøket sentralen befinner seg i er tettbygd eller spredtbygd? Vil energikostnaden påvirkes av hvorvidt den aktuelle kommunen er folkerik eller ei, og om anleggets beliggenhet kan karakteriseres som «i nærhet av sentrale områder»? Dette skal bli forsøkt kartlagt, delvis gjennom en regresjonsanalyse der innbyggertall i kommune inngår som forklaringsvariabel, og delvis gjennom variansanalyse av energikostnad i ulike kommunekategorier. Når det videre i oppgaven blir referert til energikostnad, menes investeringskostnad pr. forventet årlig energileveranse.

Dataene som ligger til grunn for regresjonen utgjør et tverrsnittsdatasett. Wooldridge (2006) bruker følgende forklaring på begrepet tverrsnittsdata: «Et tverrsnittsdatasett består av et utvalg individer, husholdninger, firmaer, byer, stater, land, eller et mangfold av andre enheter, innhentet på et gitt tidspunkt.» Videre sier han at tidspunktet kan variere for de ulike enhetene, for eksempel kan flere familier bli undersøkt i løpet av forskjellige uker i et år, og at man i en ren tverrsnittsanalyse kan ignorere små tidsforskjeller i datainnsamlingen. Dataene som brukes i denne oppgaven anses som tverrsnittsdata, selv om de er innhentet over en periode på seks år. Dette fordi tidsaspektet ikke er relevant i analysen, det vil si at inflasjon, prisutvikling på brensel, teknologilæring og andre tidsrelaterte aspekter ikke inngår som direkte forklaringsfaktorer. Videre forutsettes det at andelen

sentraler for hvilke det er søkt om Enovatilskudd, utgjør så godt som hele populasjonen av lokalvarmesentraler basert på de aktuelle teknologiene, i yrkesbygg og boligkomplekser. Det antas at aktørene som går til anskaffelse av en slik sentral er kjent med støtteordningene som tilbys, og at de benytter disse. Enkelte innrapporterte saker er utelatt fra datasettet som benyttes i regresjons- og variansanalysen, grunnet ufullstendige opplysninger vedrørende teknologi. Organiseringen av Enovas søknadssystem har i enkelte perioder tillatt innrapportering av teknologi uten de, for analysens vedkommende, nødvendige spesifikasjoner. Mange av varmesentralene står oppført som kun «Varmepumpe» eller «Lokal energisentral», og kan dermed ikke brukes i en analyse som baserer seg på en mer nøyaktig gruppering av teknologi.

Sakene representert i datasettet anses likevel som representative for den underliggende populasjonen. Utvalget vil forhåpentligvis generere pålitelige resultater til bruk i denne oppgaven, ut fra de forutsetningene som er lagt til grunn.

### 2.3.2. Estimeringsmetode

For å finne en statistisk sammenheng mellom grad av tettbygdhet på den ene siden og investeringskostnad pr. energileveranse på den andre siden, benyttes «minste kvadraters metode», bedre kjent som «ordinary least squares» (OLS), som; hvis forutsetningene for den klassiske lineære regresjonsmodellen (KLRM) er oppfylt; beregner BLUE - «Best Linear Unbiased Estimators» eller «Beste lineære forventningsrette estimatorene» for de ulike koeffisientene i modellen (Gujarati & Porter 2009).

Regresjonsmodellen (PRF, population regression function) som benyttes er som følger:

$$CE = \beta_0 + \beta_1 INNB + \mu$$

Hvorvidt modellen er riktig spesifisert kan undersøkes ved å vurdere  $R^2$ -verdien, samt fortegnene til de estimerte koeffisientene og om disse stemmer overens med antagelsene forut for regresjonen.

Korresponderende SRF (sample regression function) antar følgende form:

$$\widehat{CE} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 INNB + \hat{\mu}$$

Estimatoren for koeffisienten  $\beta_1$  forventes i utgangspunktet å være negativ, ut fra hypotesen om at beliggenhet i sentrale strøk fører til lavere investeringskostnad pr. energienhet levert fra varmeanlegget enn beliggenhet i usentrale strøk.

### 2.3.3. Variansanalyse

I variansanalysen grupperes observasjonene av energikostnad etter hvilken kommunekategori hver enkelt varmesentral befinner seg i. Variablene energikostnad og kommunekategoriene er beskrevet i kapittel 2.3.4. Førstnevnte variabel er lik for regresjons- og variansanalysen.

Hver gruppe har en median, og det er enkelt forklart disse medianene som sammenlignes i en variansanalyse. I testen blir  $y$ -verdiene, energikostnadene, ordnet i jevnt stigende rekkefølge etter sin opprinnelige verdi. Det innebærer at utliggere ikke påvirker testresultatene mer enn de øvrige

observasjonene. En forutsetning for variansanalyse er at variansen er homogen i alle gruppene, ergo at dataene i de ulike gruppene følger samme distribusjon. Ved å sammenligne medianene i gruppene kan en dermed avgjøre om utvalgene kommer fra identiske populasjoner. I så tilfelle er dette en indikasjon på at kommunekategori ikke har noe å si for størrelsen på energikostnad.

For hver av de fire teknologikategoriene separat sammenlignes distribusjon, varians og median for å undersøke om det forekommer signifikante forskjeller gruppene imellom.

For å kontrollere om kommunetilknypning har en påvirkning på energikostnaden skulle i utgangspunktet benyttes vanlig variansanalyse, eller «analysis of variance» (ANOVA). En forutsetning for ANOVA er imidlertid at dataene og residualene følger en normaldistribusjon. Histogrammer og kvantil-normal-diagram for hver enkelt teknologi viste at normaldistribusjon ikke forekom verken for observasjoner eller residualer.

Dermed utføres i stedet en Kruskal-Wallis-test for alle de fire teknologiene. Dette er en ikke-parametrisk form for enveis-ANOVA, som ikke er like sterk, men som til forskjell fra parametrisk ANOVA også kan utføres ved ikke-normalfordelte data og residualer.

Fire forutsetninger må være oppfylt for bruk av Kruskal-Wallis-test:

1. Responsvariabelen må være på intervall- eller forholdstallnivå. Forutsetningen er oppfylt for alle fire teknologier.
2. Forklaringsvariabelen må bestå av to eller flere kategoriske, uavhengige nivåer. Forutsetningen er oppfylt for alle fire teknologier.
3. Observasjonene må være uavhengige av hverandre innad i gruppene og mellom gruppene. Forutsetningen er oppfylt for alle fire teknologier.
4. Det må være konstant varians gruppene (her kommunekategoriene) imellom. Dette vil i praksis si at distribusjonene av energikostnadsobservasjoner i hver enkelt kommunekategori antar samme form. Bare da gir det mening å sammenligne medianverdiene i gruppene. Forutsetningen må testes for hver enkelt teknologi. Til dette benyttes Levene's test.

I en Kruskal-Wallis-test kontrolleres:

$H_0$ : Utvalgene er fra identiske populasjoner

mot

$H_1$ : ikke  $H_0$

$H_1$  innebærer i praksis at varmesentralene beliggende i én kommunekategori har en signifikant forskjellig energikostnad fra sentralene beliggende i en annen kommunekategori. Dersom  $H_0$  forkastes indikerer dette at minst én av kommunekategoriene skiller seg ut fra de resterende hva gjelder energikostnaden for varmesentralene i denne kategorien. Dersom  $H_0$  ikke kan forkastes indikerer dette at kommunetilhørighet ikke har noen signifikant innvirkning på investeringskostnad pr. energienhet.

## 2.3.4. Variablene

### 2.3.4.1. Responsvariabel

På venstre side av likhetstegnet i modellen benyttes, på grunnlag av de dataene som foreligger, variabelen CE med enheten kr/kWh. Bak forkortelsen finner vi begrepet «Capex pr. energienhet». Capex er nok en forkortelse, for capital expenditure, et begrep brukt innen finans og investeringsanalyse. Capex defineres som «et beløp brukt for å anskaffe eller oppgradere anleggsmidler (som bygninger, maskiner, utstyr og kjøretøy) for å øke kapasiteten eller effektiviteten til en bedrift for mer enn én regnskapsperiode» (*Business Dictionary*).

En varmesentral til bruk i yrkesbygg og boligkomplekser havner litt på kanten av definisjonen, ettersom en sentral ikke direkte bidrar til økt kapasitet eller effektivitet i foretakenes grunnleggende virksomhet. Sentralen anses likevel som et anleggsmiddel, med tilstrekkelig lang levetid, som frigjør kapital ved planlagte besparelser i foretakets oppvarmingsutgifter, og capex virker å være et dekkende begrep for investeringskostnaden til en sådan innretning.

Som utgangspunkt for variabelen ble også et annet kostnadsmål; LCOE; vurdert. LCOE (levelized cost of energy) er et mål på energikostnad der investeringskostnad fordelt over levetida, renter, brenselkostnader, samt faste og variable drifts- og vedlikeholdskostnader fordeles på antall leverte energienheter fra sentralen. Opplysningene om investeringskostnad for hver enkelt sentral fra søknadsdataene ville da blitt benyttet som utgangspunkt for beregningen av LCOE, sammen med estimater for drifts- og vedlikeholdskostnader nedskrevet i rapporten «Kostnader i energisektoren» utarbeidet for NVE av Ericson et al. (2015). Her foreligger oppdaterte kostnadsdata for varmesentraler av ulike teknologier og størrelser. LCOE kunne vært et mer presist utgangspunkt for responsvariabelen i regresjonen enn capex, som er brukt her. LCOE er et mål brukt utelukkende i forbindelse med energiproduksjon og tar hensyn til kostnader og leveranse gjennom hele sentralens livsløp. Valget falt likevel på capex av flere grunner. Estimaten i håndboka fra NVE er veiledende, og oppdelt i relativt grove intervaller. For å nyttiggjøre estimatene må en kjenne den installerte effekten til hver sentral. Dette er ikke tilfelle. Verdien bygger videre på forutsetninger som ikke er nødvendige å gjøre for å sammenligne grupper av varmesentraler, hvilket hensikten er i undersøkelsen. Siden problemstilling og tilhørende hypoteser også baserer seg på variasjoner i investeringskostnad fremfor spesifikk energikostnad, velges capex som grunnlag for responsvariabelen.

Nevneren i variabelen, «energienhet», tar utgangspunkt i den fornybare årlige energileveransen som forventes levert fra den enkelte varmesentral, målt i kWh. Den fornybare energileveransen er beregnet av Enova for hver enkelt sentral ut fra oppgitt effekt og teknologi for sentralen, og to de parameterne «brukstid» og «fornybareffekt». De to sistnevnte er fastsatt av Enova på bakgrunn av gjennomsnittsverdier for hver enkelt teknologi. Brukstid beskriver forholdet mellom årlig produksjon (kWh) og maksimal ytelse (kW). De ulike teknologiene har følgende gjennomsnittlig brukstid, utledet av Enova:



- Fliskjel: 2955 timer
- Pelletskjel: 2312 timer
- Varmepumpe luft/vann: 2973 timer
- Varmepumpe væske/vann: 3866 timer

Fornybareffekten, ikke å forveksle med installert effekt eller andre tilsvarende effektmål, er et tall mellom 0 og 1 som beskriver den andelen av energien levert av sentralen som kan betegnes som fornybar. For biokjeler er fornybareffekten satt til 1, ettersom selve energikilden, biomassen, regnes som fornybar. For varmpumpe luft/vann og varmpumpe væske/vann er fornybareffekten satt til henholdsvis 0,583 og 0,615. Dette beskriver det for teknologiene gjennomsnittlige forholdet mellom tilført og avgitt energi, hvor tilført energi regnes som elektrisiteten som går med til drift av kompressoren i pumpe.

I min analyse har jeg valgt å regne om «fornybar energileveranse» til «total energileveranse» for alle observasjonene, ved å dividere «fornybar energileveranse» på den tilhørende «fornybareffekten» i hvert enkelt tilfelle. For biosentraler vil energileveransen forbli den samme ved omregningen, mens den for varmpumper vil bli noe større. Jeg velger å gjøre dette av to grunner. For det første tjener det analysens hensikt, som er å kartlegge det kostnads mønsteret som oppleves av forbrukerne. Med forbrukerne menes her de som har gått til anskaffelse av en varmesentral. For disse har ikke Enovas beregning av fornybar energileveranse noen økonomiske implikasjoner, og total energileveranse er således et mer interessant mål i denne sammenhengen. Det fører også til at gruppene «varmpumper» og «biokjeler» sammenlignes på et kostnadsmessig mer likeverdig grunnlag. For det andre bygger både fornybareffekt faktorene og brukstidene på forutsetninger og generaliseringer, noe som alltid vil redusere nøyaktigheten av analyseresultatene. Ved å eliminere den ene av disse parameterne, fornybareffekten, vil resultatene av analysen forhåpentligvis representere virkeligheten bedre.

Investeringskostnaden som opptrer i datasettet er fra Enovas side delt opp i 16 ulike poster. «Bygg og opparbeidelse av tomt», «Prosjektering», «Varmevekslere» og «Grunnvannsbrønner med kollektorsystem» er eksempler. Den eneste kategorien som innehar kostnadsopplysninger for samtlige saker i det aktuelle datasettet er «Enhet for varmeproduksjon». Denne posten ble derfor valgt som grunnlag for responsvariabelen i analysen. Med «Enhet for varmeproduksjon» menes selve innkjøpskostnaden for varmpumpe eller biokjel uten annet nødvendig utstyr, og ikke medregnet prosjekterings- og installeringskostnader.

#### **2.3.4.2. Forklaringsvariabel**

Forklaringsvariabelen INNB betegner totalt innbyggertall i den aktuelle kommunen der en varmesentral befinner seg. Innbyggertallene er hentet fra Statistisk sentralbyrå sin kommunestatistikk datert 01. januar 2015 (SSB 2015).

#### **2.3.4.3. Kommunekategorier for variansanalyse**

I variansanalysen er de aktuelle kommunene inndelt i intervaller etter innbyggertall. I arbeider som på ulike måter tar for seg tettbygde versus spredtbygde strøk i Norge, er ulike kriterier og omtalemåter brukt for å definere de ulike kategorier av bystrøk og bygdestrøk, tettsteder, perifere bosetninger og dets like. Ifølge SSB defineres en hussamling som et tettsted dersom det bor minst 200 personer der og avstanden mellom husene ikke overstiger 50 meter. Tettbygde strøk er videre de områdene som omfattes av tettsteder, og spredtbygde strøk er alle områder utenfor.

Til grunn for kommuneinndelingen i denne oppgaven ligger Statistisk sentralbyrå (SSB) sine kriterier for sentralitet, som beskrevet i «Standard for kommuneklassifisering 1994» (SSB 1994). Her deles norske kommuner opp i nivåer etter deres «geografiske beliggenhet sett i forhold til et senter hvor det finnes funksjoner av høy orden (sentrale funksjoner)» (SSB 1994).

Ifølge denne standarden deles først Norges *tettsteder* inn i fire nivåer etter folketall. Tettsteder på nivå 3 skal ha et folketall på minst 50 000 og ellers ha funksjoner som et landsdels-senter. Tettsteder på nivå 2 skal ha et folketall på mellom 15 000 og 50 000. Tettsteder på nivå 1 skal ha et folketall på mellom 5 000 og 15 000, mens tettsteder med mindre enn 5000 innbyggere faller inn under nivå 0. Videre deles kommunene opp i kategorier etter sentralitet, forankret i et sett kriterier angående folketall og nærhet til tettsteder av ulike nivåer som nevnt over. Det forutsettes at kategoriene «innbyggertall» og «sentralitet» korresponderer tilstrekkelig til at de kan behandles enhetlig i denne analysen. Målene for sentralitet er det som i det følgende blir omtalt som kommunekategorier, der kommunekategori 3 korresponderer med «sentralitet 3» osv.

Valget av kommuneinndeling etter SSBs standard av 1994 ble gjort som et kompromiss mellom høyoppløselig data for nøyaktige analyser, og praktisk gjennomførbarhet innen rimelige tidsrammer. Det mest detaljerte målet for geografisk plassering av varmesentralene var postdistrikt, da hver sak var tilknyttet et postnummer som indikerte sentralens beliggenhet. Kommunekategori som beskrevet av SSB ble likevel av praktiske årsaker valgt som høyeste sorteringsnivå i analysen.

Siden hypotesen denne studien knytter seg til forhold som karakteriseres nettopp av forskjellene mellom by- og bygdekommuner, virker inndeling i kommunekategorier å være en god tilnærming, ut fra antakelsen om at innbyggertall i en kommune korresponderer med grad av sentralitet.

Kommunekategoriene er kodet med numre: 0, 1, 2 og 3, for å kunne analyseres i statistikkprogramvaren R. Selve tallene, 0, 1, 2, og 3 er valgt fordi de korresponderer med SSB sin navngivning av tilsvarende kommunekategorier, men de tillegges ingen verdi i R da kommunekategori behandles som en kvalitativ variabel.

Bak kodene befinner seg følgende informasjon:

- Kategori 0: 0 - 5000 innbyggere
- Kategori 1: 5001 - 15000 innbyggere
- Kategori 2: 15001 – 50000 innbyggere
- Kategori 3: Over 50000 innbyggere

#### **2.3.4.4. Regresjonsmodellens forklaringskraft**

En forutsetning for at en regresjonsanalyse skal kunne produsere pålitelige resultater, er at regresjonsmodellen er riktig spesifisert med korrekt funksjonell form. Om modellen er riktig spesifisert med tanke på hvilke variabler som er inkludert og hvilke som ikke er det, kan være vanskelig å avgjøre. Som mål på modellens gyldighet brukes målet  $R^2$ , kalt determinasjonskoeffisienten eller mer intuitivt: forklart varians.  $R^2$  henger nøye sammen med prinsippene for estimeringsmetoden OLS, som tar sikte på å estimere koeffisienter som minimerer observasjonenes samlede varians fra det i analysen beregnede gjennomsnittet. En regresjonsmodell vil kunne forklare en viss andel av denne variansen, det vi kaller «forklart varians».

$R^2$  er imidlertid en omstridt indikator på modellens forklaringskraft, ettersom inkludering av en ekstra forklaringsvariabel aldri vil senke  $R^2$ -verdien, uansett om variabelen er relevant for analysen eller ikke. På tross dette vil det i denne oppgaven gjøres kun bruk av  $R^2$  som mål på modellens gyldighet. Dette kan forsvares ved at den aktuelle modellen kun inneholder én forklaringsvariabel, og at det dermed ikke er fare for å feiltolke en høy forklaringsgrad utelukkende induert av et høyt antall forklaringsvariabler, som et uttrykk for en god modell.

Wooldridge (2006) legger for øvrig til at lave  $R^2$ -verdier ikke er uvanlig i samfunnsvitenskapelige analyser, og at dette ikke nødvendigvis indikerer en lite troverdig modell.

#### **2.3.4.5. Valg av forklaringsvariabel**

Dersom en løfter blikket over de statistikkfaglige prinsippene og kriteriene og vurderer den valgte regresjonsfunksjonen i lys av bredere teoretiske perspektiver, kan modellen synes noe enkel. Kun én forklaringsvariabel er etter alt å dømme ikke tilstrekkelig til å forklare variasjonene i responsvariabelen fullt ut. Capex pr. levert energienhet fra en varmesentral avhenger av langt flere faktorer enn innbyggertall i den kommunen sentralen befinner seg. Teknologi er en opplagt sådan, og denne er også kontrollert for i analysen ved at regresjonene skilles på teknologinivå, det vil si at det kjøres én regresjon pr. teknologi slik at disse ikke blandes.

Blant andre variabler som på bakgrunn av forliggende teorier og forskningsarbeider kunne være fordelaktig å inkludere i modellen kan nevnes:

- sentralenes installerte effekt
- forventet virkningsgrad
- planlagt energidekningsgrad og fordeling mellom grunnlast og spisslast i anlegget
- klimatiske forhold med kjent innvirkning på sentralenes funksjon

Installert effekt er utelatt som forklaringsvariabel fordi datasettet som brukes er mangelfullt i så henseende. Virkningsgrad er ikke inkludert som en kategori i datasettet og vil derfor heller ikke benyttes i analysen. Det samme gjelder energidekningsgrad og fordeling grunnlast/spisslast. Klima er utelatt av praktiske hensyn, det å kartlegge de klimatiske forholdene i regionen til hver enkelt observasjon i datasettet ville sannsynligvis være uhensiktsmessig med tanke på hvor lite denne potensielle forklaringsvariabelen kan bidra til å forbedre modellens samlede forklaringskraft.

#### **2.4. Delproblemstilling 2, 3 og 4: Drift av varmesentralene**

For å kunne besvare de resterende delproblemstillingene ble en enkel spørreundersøkelse utarbeidet og distribuert. Mottakerne av spørreundersøkelsen var personer som i løpet av de seks siste åra, f.o.m. 2009 t.o.m. 2014, gjennom Enova har søkt om og fått innvilget økonomisk støtte til et lokalt varmeprosjekt i næringsbygg, offentlig bygg eller boligkompleks. Respondentene ble gjennom undersøkelsen bedt om å redegjøre for ulike aspekter ved drift og vedlikehold av sin sentral.

##### **2.4.1. Innsamlingsmetoden**

Ifølge Moses og Knutsen (2012) er strukturert utspørring mest aktuelt ved innsamling av kvantitative data, mens kvalitative data gjerne erverves gjennom uformelle intervjuer. I analysen av kostnader og funksjon i forbindelse med varmesentraler benyttes begge typer data. Valget av metode for datainnsamling falt på strukturert utspørring gjennom skjema på grunn av antallet potensielle respondenter, som var på 434. Skjemaet inneholdt en blanding av lukkede og åpne spørsmål, altså spørsmål henholdsvis med og uten faste svaralternativer. Enkelte av spørsmålene innebar skalaer i avkrysnings-skjemaer («Hvor fornøyd er du med...») med mulighet for utdypning under skjemaet.

Spørreundersøkelsene kan ses i vedlegg.

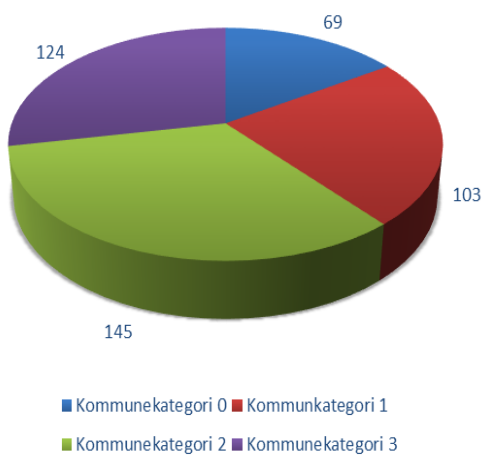
##### **2.4.2. Utvalget**

En utfordring med spørreundersøkelser er å sikre at informasjonen som samles inn i prosessen, som regel fra et mer eller mindre tilfeldig utvalg, er representativ for hele populasjonen som undersøkelsen i utgangspunktet ville vært aktuell for (Moses & Knutsen 2012). I tilfellet «Spørreundersøkelse om varmesentraler», senere forkortet og titulert «Tre spørsmål om varmesentralen», har denne gått ut til alle som eier eller drifter en Enovastøttet varmesentral basert på flis, pellets, luft/vann- eller væske/vann-varmepumpe, og lokalisert i yrkesbygg eller større boligkomplekser. Som tidligere nevnt antas denne gruppa å utgjøre nær hele den underliggende populasjonen av aktuelle varmesentraleiere.

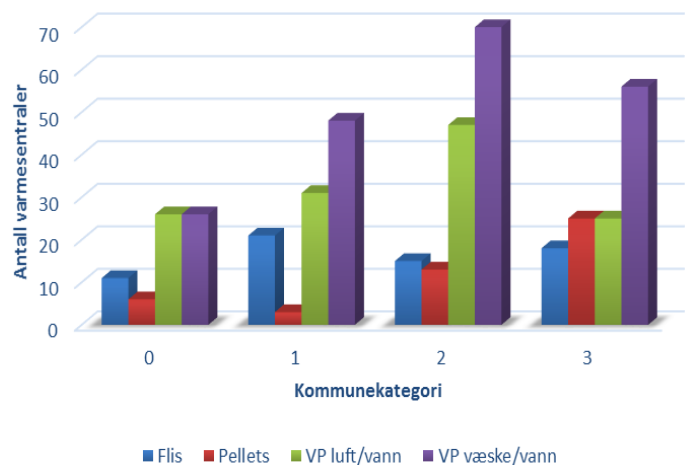
### 3. Resultater

#### 3.1. Kostnader og kommunetilhørighet

Figur 4 viser fordelingen av varmesentraler støttet av Enova mellom 2009 og 2014, fordelt på de ulike kommunekategoriene i undersøkelsen. Som forventet er antallet lavest i de minst tettbygde kommunene. Størst antall lokale varmesentraler finnes i kommuner av kategori 2, den nest største kategorien. Dette kan henge sammen med at mye bebyggelse i de største kommunene, av kategori 3, ligger innen konsesjonsområder for fjernvarme. I figur 5 er sentralene også sortert pr. teknologi. Figuren viser at andelen flisentraler av totalt antall varmesentraler i de enkelte kommunekategoriene avtar med økende kommunestørrelse. Flisbaserte anlegg er altså relativt sett mer utbredt i små kommuner. Varmepumper ligger på topp antallsmessig i alle kommunekategorier.

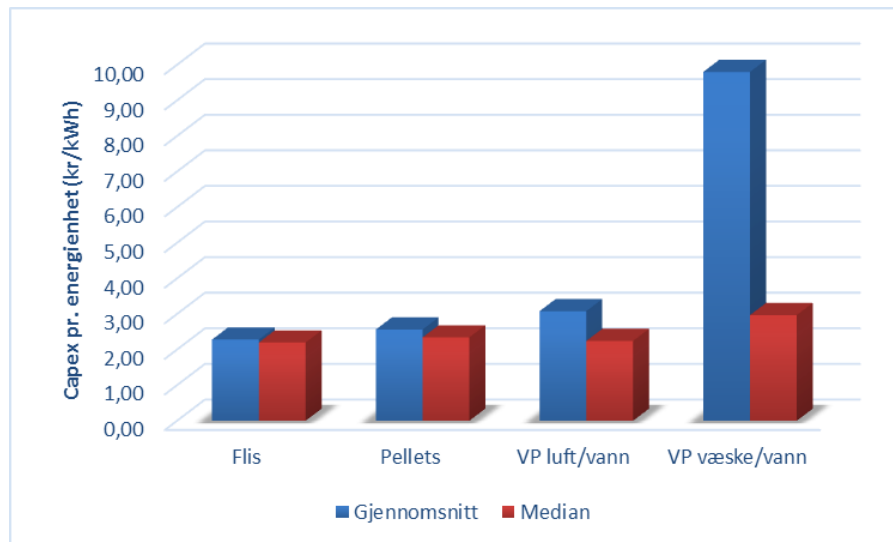


Figur 4: Antall varmesentraler pr. kommunekategori



Figur 5: Varmesentralteknologi pr. kommunekategori

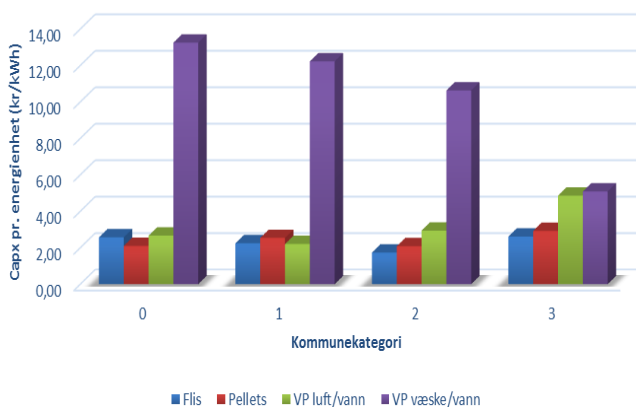
Gjennomsnittsverdi og median for energikostnaden forbundet med de ulike teknologiene vises i figur 6. Flislegg har de laveste investeringskostnadene fordelt på levert energi, mens varmepumpe væske/vann ligger i den andre enden av skalaen med høyest investeringskostnad pr. levert energi. I tilfellet væske/vann avviker gjennomsnittet synlig fra medianen, hvilket tyder på forekomst av ekstreme verdier blant observasjonene for denne teknologien.



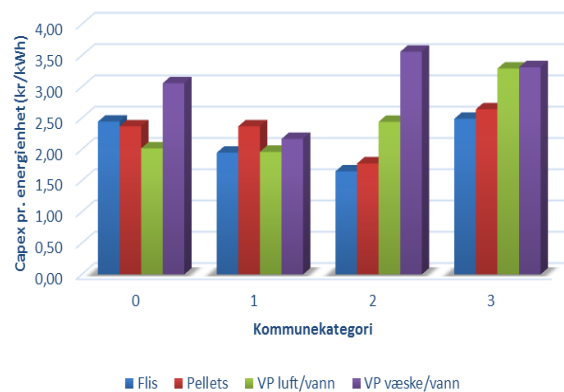
Figur 6: Investeringskostnad pr. levert energi for ulike teknologier

I figur 7 og 8 vises gjennomsnittskostnadene og medianverdiene fra figur 6 sortert etter kommunestørrelse.

Figur 7 preges av ekstreme verdier for enkelte observasjoner av væske/vann-varmepumper. Av figuren ser det ut til at energikostnaden reduseres med økende kommunestørrelse i tråd med oppgavens hypotese, mens de øvrige teknologiene følger motsatt trend. Det er tvil om gyldigheten av disse resultatene grunnet det beskjedne antallet observasjoner og den store innvirkningen fra utliggerne. Medianverdiene er jevnere fordelt, men følger i mindre grad et mønster.



Figur 7: Investeringskostnad pr. levert energi, gjennomsnitt

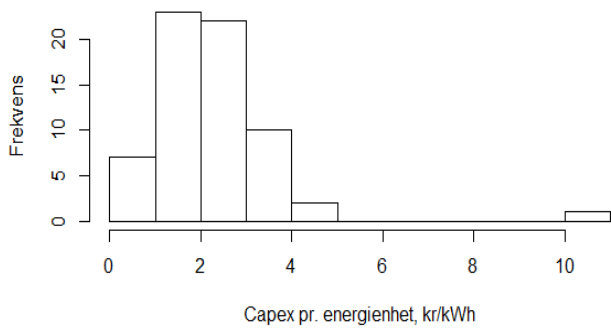


Figur 8: Investeringskostnad pr. levert energi, median

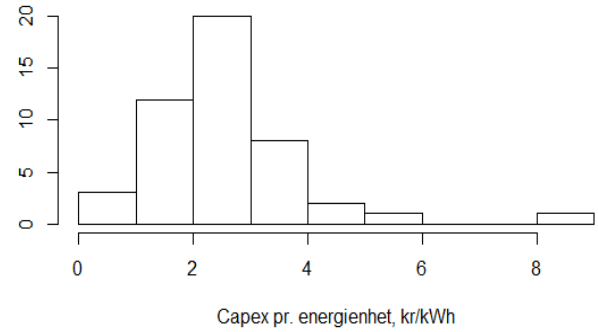
### 3.1.1. Statistiske analyser

#### Histogrammer

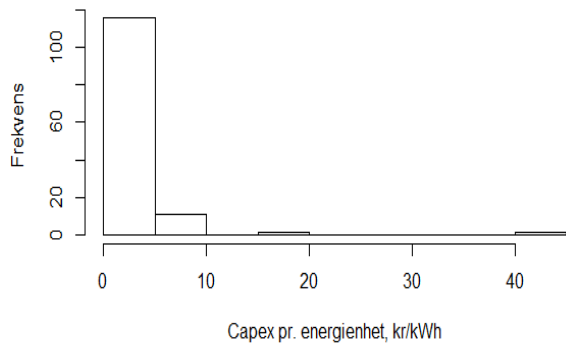
Figur 9, 10, 11 og 12 viser fordelingen av observasjonene i histogrammer med capex pr. energienhet langs førsteaksen og antall observasjoner innen hvert kostnadsintervall langs andreaksen.



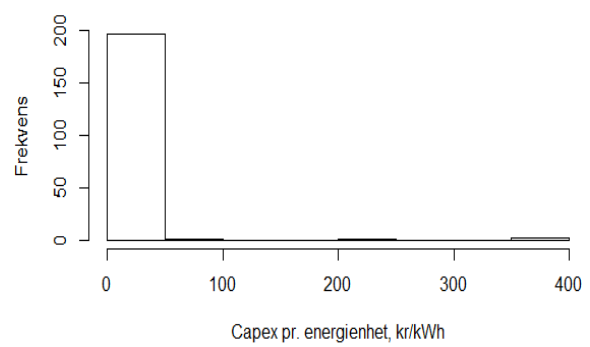
Figur 9: Energikostnad for flissentraler



Figur 10: Energikostnad for pelletssentraler



Figur 11: Energikostnad for luft/vann-varmepumper



Figur 12: Energikostnad for væske/vann-varmepumpe

## Regresjonsanalyse

I datasettene for flis, pellets, varmpumpe luft/vann og varmpumpe væske/vann foreligger henholdsvis 63, 47, 129 og 200 observasjoner av capex pr. energienhet og innbyggertall, henholdsvis responsvariabel og forklaringsvariabel, som beskrevet i kapittel 2.3.4. For hver av de fire kategoriene spesifiseres en regresjonsmodell for å undersøke om det forekommer et lineært forhold mellom de to variablene. Fremgangsmåten er i utgangspunktet lik for alle fire teknologigrupperinger, men enkelte forskjeller forekommer på grunn av at dataenes karakter er ulik fra teknologi til teknologi. Alle testene beskrevet i inneværende kapittel er utført med et signifikansnivå på 0,05.

Tabell 1 og 2 viser en oversikt over de opprinnelige variablene som benyttes i regresjonsmodellene:

Tabell 1: Responsvariabler

Teknologi	Responsvariabel	
	Variabelnavn	Beskrivelse
Ikke spesifisert	CE	Capex pr. energienhet, teknologi ikke spesifisert
Flis	CEF	Capex pr. energienhet for flissentraler
Pellets	CEP	Capex pr. energienhet for pelletssentraler
VP luft/vann	CELV	Capex pr. energienhet for VP luft/vann
VP væske/vann	CEVV	Capex pr. energienhet for VP væske/vann

Tabell 2: Forklaringsvariabler

Teknologi	Forklaringsvariabel	
	Variabelnavn	Beskrivelse
Ikke spesifisert	INNB	Innbyggertall i kommune, teknologi ikke spesifisert
Flis	INNBF	Innbyggertall i kommune, vedr. flissentraler
Pellets	INNBP	Innbyggertall i kommune, vedr. pelletssentraler
VP luft/vann	INNBVL	Innbyggertall i kommune, vedr. VP luft/vann
VP væske/vann	INNBVV	Innbyggertall i kommune, vedr. VP væske/vann

Den generelle regresjonsmodellen ble spesifisert som følger:

$$\widehat{CE} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \text{INNB} + \widehat{\mu}$$

Ved estimering av modellen på basis av observasjonene i datasettet vil betaene være de «beste lineære forventningsrette estimatorene», gitt at modellen er spesifisert i tråd med forutsetningene for OLS. Estimatoren for stigningstallet,  $\widehat{\beta}_1$ , angir hvor mye responsvariabelen i modellen vil endre seg ved én enhets endring i forklaringsvariabelen. I estimeringen testes også hvorvidt koeffisienten til forklaringsvariabelen skiller seg signifikant fra null.  $H_0: \beta_1 = 0$  testes mot  $H_1$ : Ikke  $H_0$  på et 5 % signifikansnivå.



Gjennomsnittsverdien for residualene ble for alle fire modeller lik 0. De øvrige forutsetningene for OLS; uavhengige residualer og konstant varians; ble testet med henholdsvis Durbin-Watson-test og Breusch-Pagan-test. I de tilfellene forutsetningene ikke ble oppfylt, ble ulike kombinasjoner av logtransformering og ekskludering av ekstreme verdier forsøkt. De ekstreme verdiene ble definert som statistiske utliggere gjennom Bonferroni-tester. Tabell 3 viser resultatene av de modellkjøringene som ble vurdert som best egnet, ut fra kriterier om minst mulig manipulering av modellene kombinert med oppfylte forutsetninger for OLS. Modellene som ble valgt var følgende:

$$\text{Flis: } \widehat{CEP} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \text{INNBF} + \hat{\mu}$$

$$\text{Pellets: } \widehat{CEP} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \text{INNBP} + \hat{\mu} \text{ (én utligger ekskludert)}$$

$$\text{Varmepumpe L/V: } \ln \widehat{CELV} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \ln \text{INNBLV} + \hat{\mu}$$

$$\text{Varmepumpe V/V: } \widehat{CEVV} = \widehat{\beta}_0 + \widehat{\beta}_1 \text{INNBVV} + \hat{\mu} \text{ (tre utliggere ekskludert)}$$

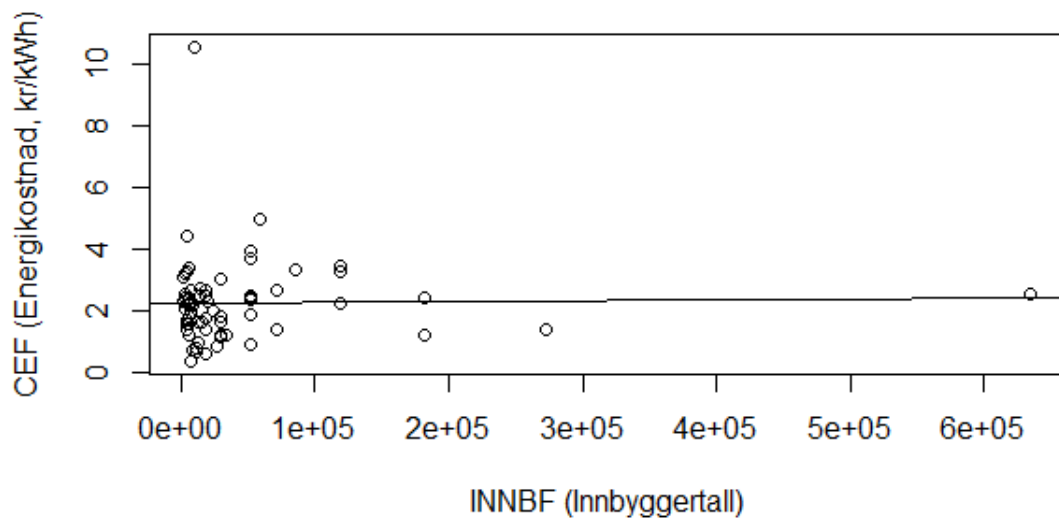
Tabell 3: Resultater fra estimering

	$\widehat{\beta}_0$	$\widehat{\beta}_1$	SE $_{\beta_0}$	SE $_{\beta_1}$	R <sup>2</sup>	p-verdi
<b>Flis</b>	2,27	2,55e-07	0,195	1,97e-06	0,00026	0,90
<b>Pellets</b>	2,41	1,49e-07	0,18	7,49E-07	0,00090	0,84
<b>VP L/V</b>	-0,043	0,093	0,39	0,039	0,042	0,034
<b>VP V/V</b>	4,86	-3,62E-07	0,55	3,47E-06	0,000056	0,92

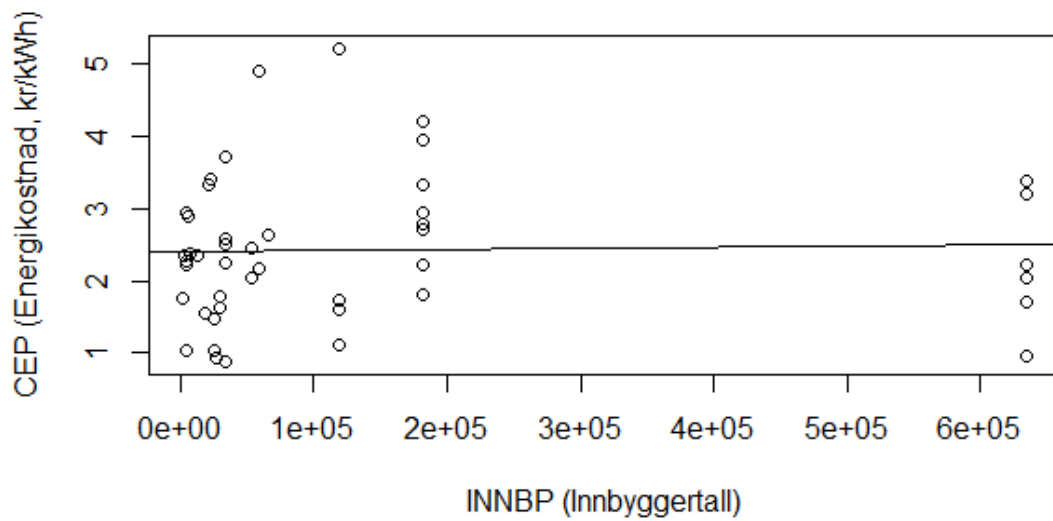
Tabell 3 viser at modellene for flis, pellets og varmpumpe luft/vann fikk et estimat for stigningstallet  $\beta_1$  tilnærmet lik null. De tre modellene fikk også svært lave forklaringsgrader, og høye p-verdier. Dette tyder på at det ikke forekommer et lineært forhold mellom forklaringsvariabelen og responsvariabelen i modellene. Lave R<sup>2</sup>-verdier indikerer også at modellene ikke er korrekt spesifisert.

Modellen for varmpumpe luft/vann viste en signifikant sammenheng mellom kommuneinnbyggertall og energikostnad. I denne modellen er begge variabler logtransformert. R<sup>2</sup>-verdien er høyere enn for de resterende modellene, men fortsatt svært lav. P-verdien på 0,034 nærmer seg kritisk verdi på 0,05. En viss korrelasjon er til stede, men den er ikke sterk.

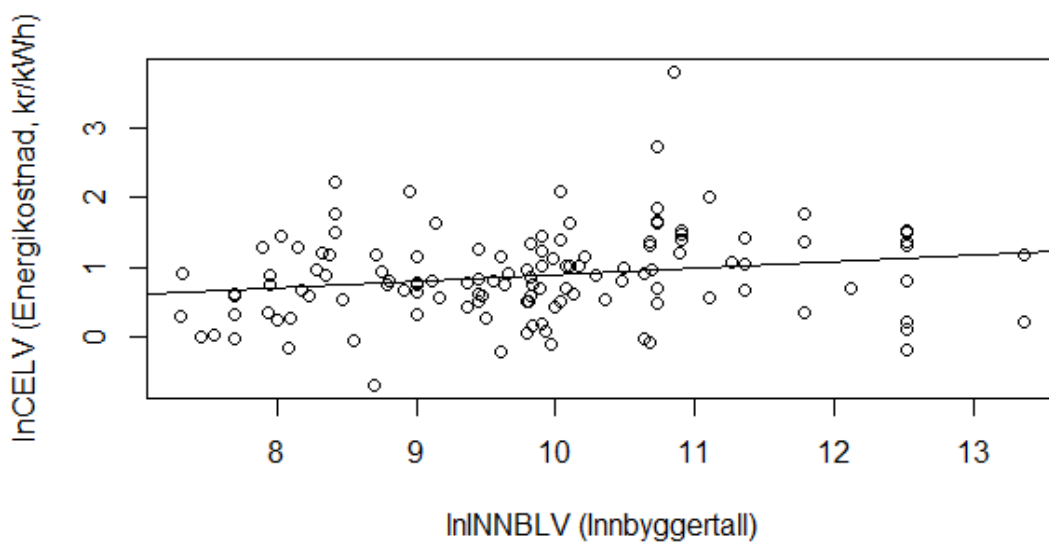
Figur 13, 14, 15 og 16 viser plott av forklaringsvariabel mot responsvariabel for hver enkelt modell. Merk at figur 15 har logaritmiske akser.



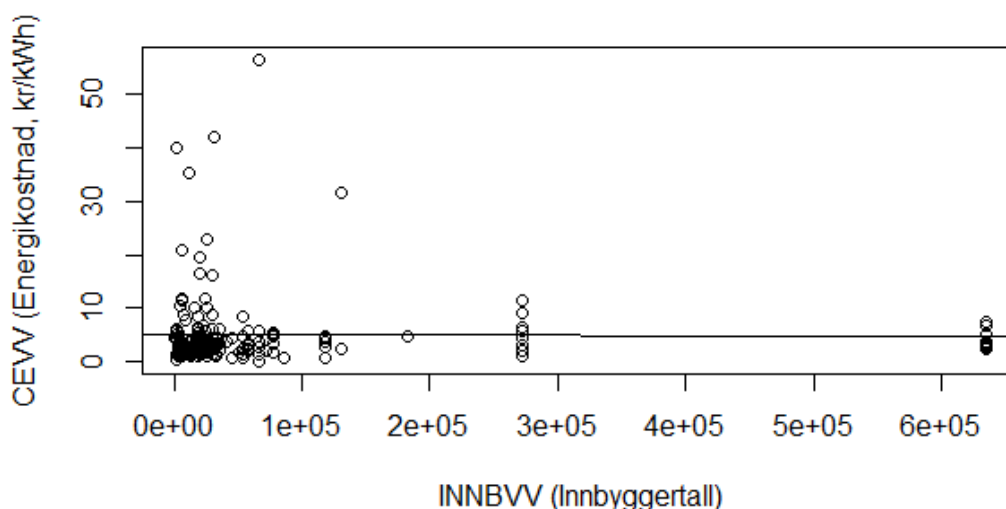
Figur 13: Regresjonslinje for flis



Figur 14: Regresjonslinje for pellets



Figur 15: Regresjonslinje for varmepumpe luft/vann



Figur 16: Regresjonslinje for varmepumpe væske/vann

Figurene viser det samme som estimatene og de øvrige verdiene i tabell 3. Kommune tilhørighet ser ut til å ha liten eller ingen påvirkning på investeringskostnad fordelt på forventet årlig energileveranse. Dette kan tyde på at regionsspesifikk kompetanse og utstyrstilgang ikke spiller noen avgjørende rolle for sentralenes investeringskostnad. På den annen side må et høyt innbyggertall i en kommune må ikke nødvendigvis implisere et tilsvarende høyt antall nærvarmesentraler og dermed høy grad av kompetanse. Videre er det med modellenes høye p-verdier, lave forklaringsgrader og enkle utforming stor sannsynlighet for at feilspesifisering har funnet sted.

#### Variansanalyse

Levene's test for homogen varians ble utført for alle fire datasett, og homoskedastisitet ble påvist i samtlige tilfeller. Forutsetningene for Kruskal-Wallis-test er dermed oppfylt.

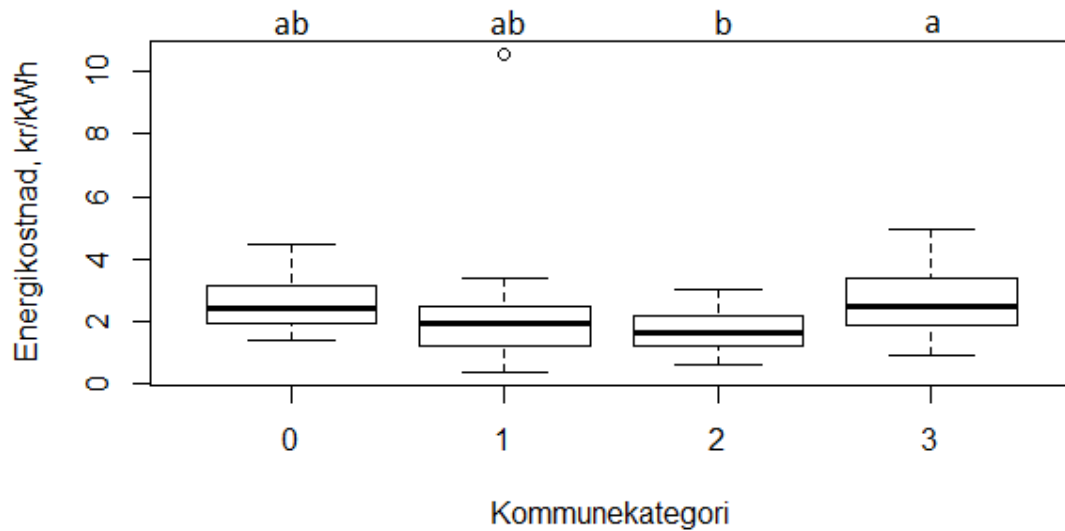
Tabell 4: Testresultater, Kruskal-Wallis-test

	<b>p-verdi</b>
Flis	0,026
Pellets	0,29
Varmepumpe luft/vann	0,036
Varmepumpe væske/vann	0,030

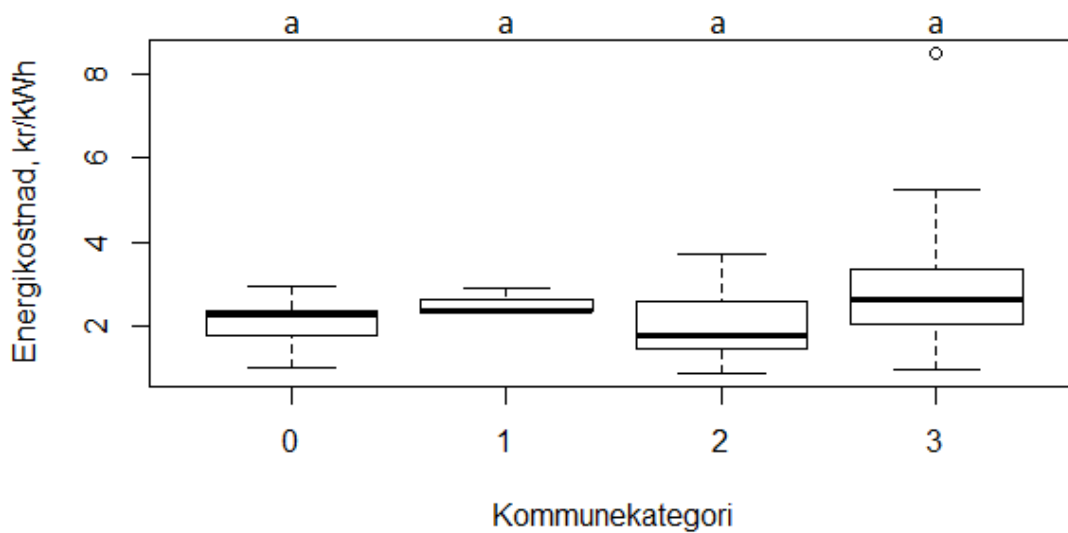
Tabell 4 viser at nullhypotesen om utvalg fra identiske populasjoner kan forkastes på et 0,05 signifikansnivå for teknologiene flis, varmepumpe luft/vann og varmepumpe væske/vann. Hvilken kommune kategori sentralene befinner seg i har etter analysen å dømme en innvirkning på energikostnaden for sentralene.

For å avgjøre hvilke grupper (kommunekategorier) som har signifikant forskjellig energikostnad utføres en Nemenyi-test for hver av de tre teknologiene. Testen sammenligner gruppene parvis

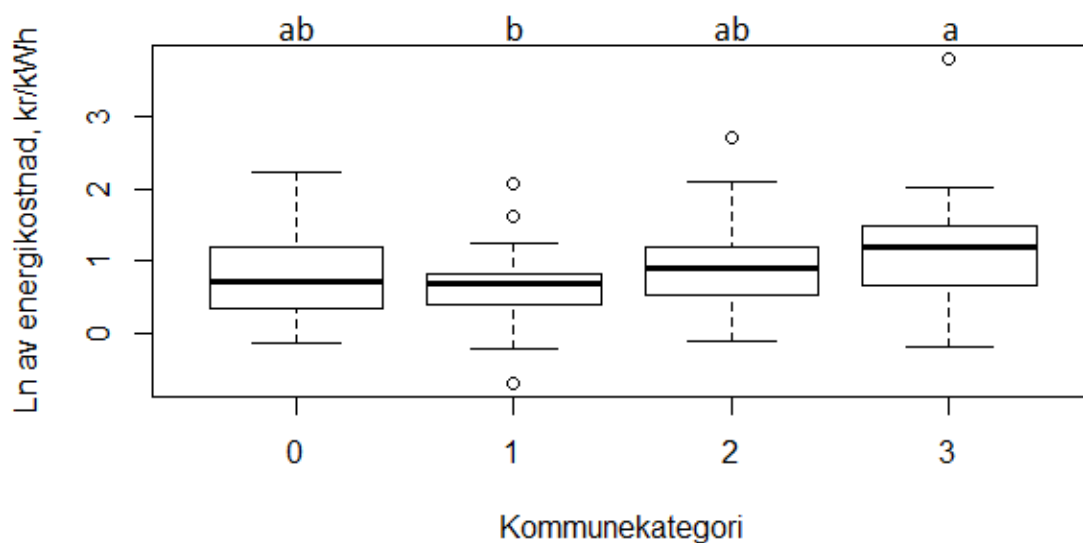
innen de respektive teknologiene. Resultatene vises i boxplot i figur 17, 18, 19 og 20. Sammenligningen er betegnet med kombinasjoner av bokstavene a og b. De kategoriene som har en eller flere bokstaver felles, forventes å komme fra identiske populasjoner. Det er ingen sammenheng mellom bokstavsammensetningene teknologiene imellom. Hver teknologi må vurderes isolert.



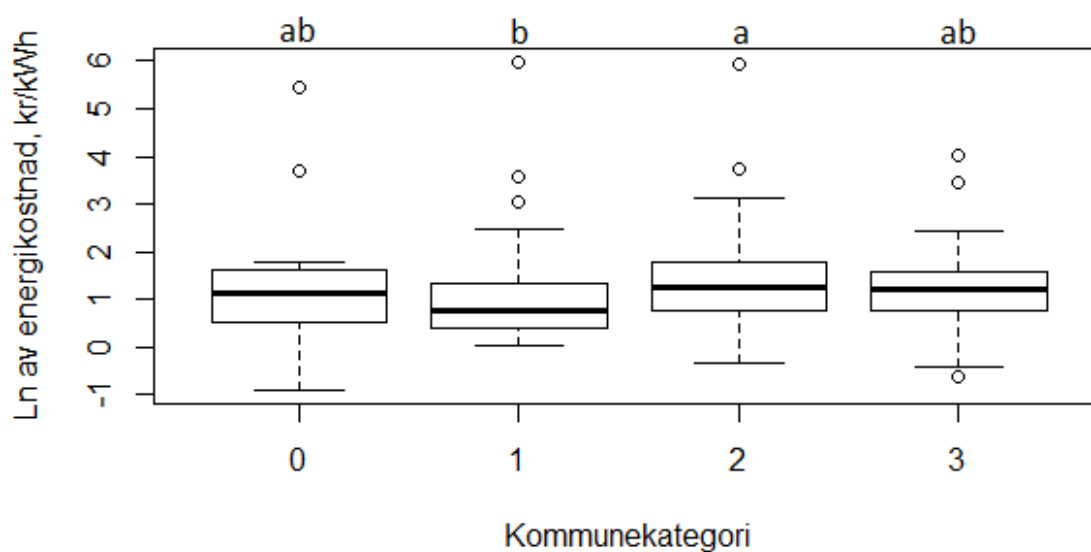
Figur 17: Variansanalyse, flissentraler



Figur 18: Variansanalyse, pelletssentraler



Figur 19: Variansanalyse, luft/vann-varmepumper



Figur 20: Variansanalyse, væske/vann-varmepumper

Boxplottene, og de tilhørende testresultatene fra Nemenyi-testene illustrert med bokstavkombinasjoner, viser at det er forskjeller i energikostnader mellom enkelte kommunekategorier innenfor tre av fire teknologier. Resultatene antar imidlertid ikke noe mønster, og hvilke kommunekategorier som avviker fra hverandre varierer for hver teknologi. Siden typene av kommunekategorier som avviker fra hverandre varierer så vidt fra teknologi til teknologi, forventes resultatene av variansanalysen å skyldes tilfeldigheter og ekstreme verdier blant observasjonene.

### 3.2. Energileveranse og effektivitet

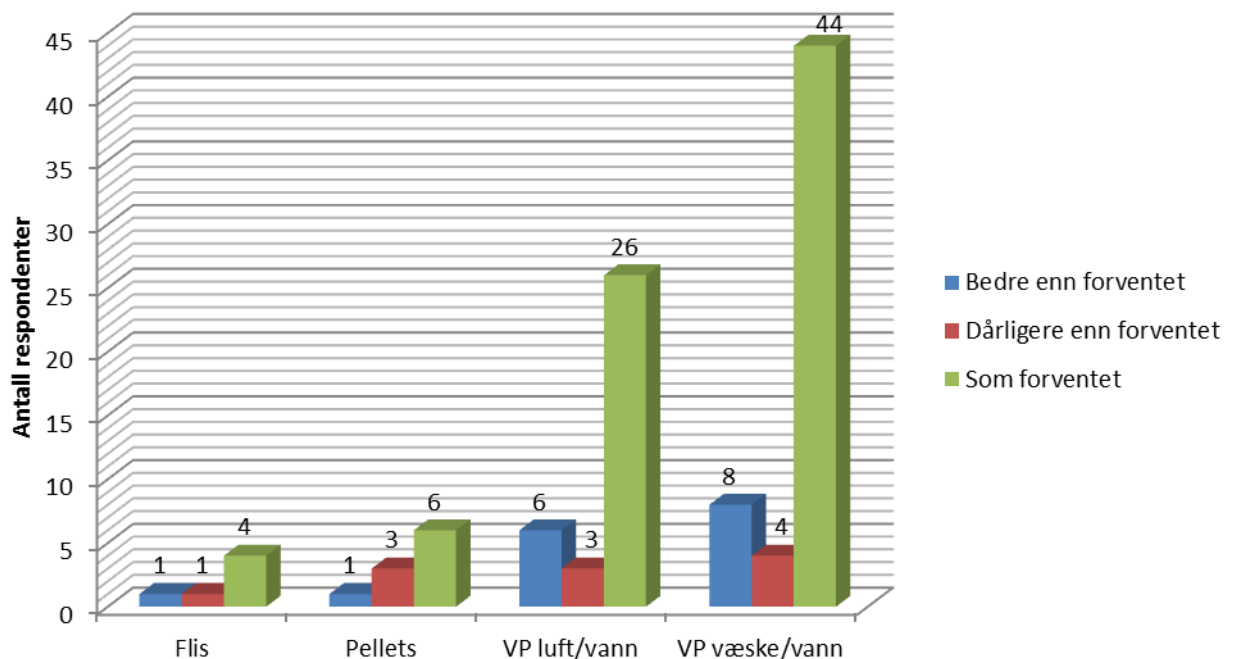
Installert effekt, planlagt energidekningsgrad og driftserfaringer fra andre sammenlignbare installasjoner kan gi et teoretisk estimat på hvilken energileveranse som kan forventes fra en varmesentral. Hvor stort varmebehov en har i de aktuelle byggene er dessuten, sammen med effektbehov, utgangspunktet for dimensjonering av sentralene. Dette estimatet vil kunne si noe om hvor stor energileveranse som kan forventes levert av en sentral, før installering. Av ulike årsaker viser forventningen seg ikke alltid å stemme.

I spørreundersøkelsen sendt ut til varmesentraleiere registrert i Enovas søkerlister ble respondentene spurt om varmesentralen etter deres oppfatning hadde fungert tilfredsstillende, i forhold til hva som var forventet ut fra de tekniske spesifikasjonene i forkant av installeringen. Spørsmålet var todelt og etterspurte evaluering av energileveranse og virkningsgrad separat. Delspørsmålene ble besvart av henholdsvis 108 og 100 respondenter.

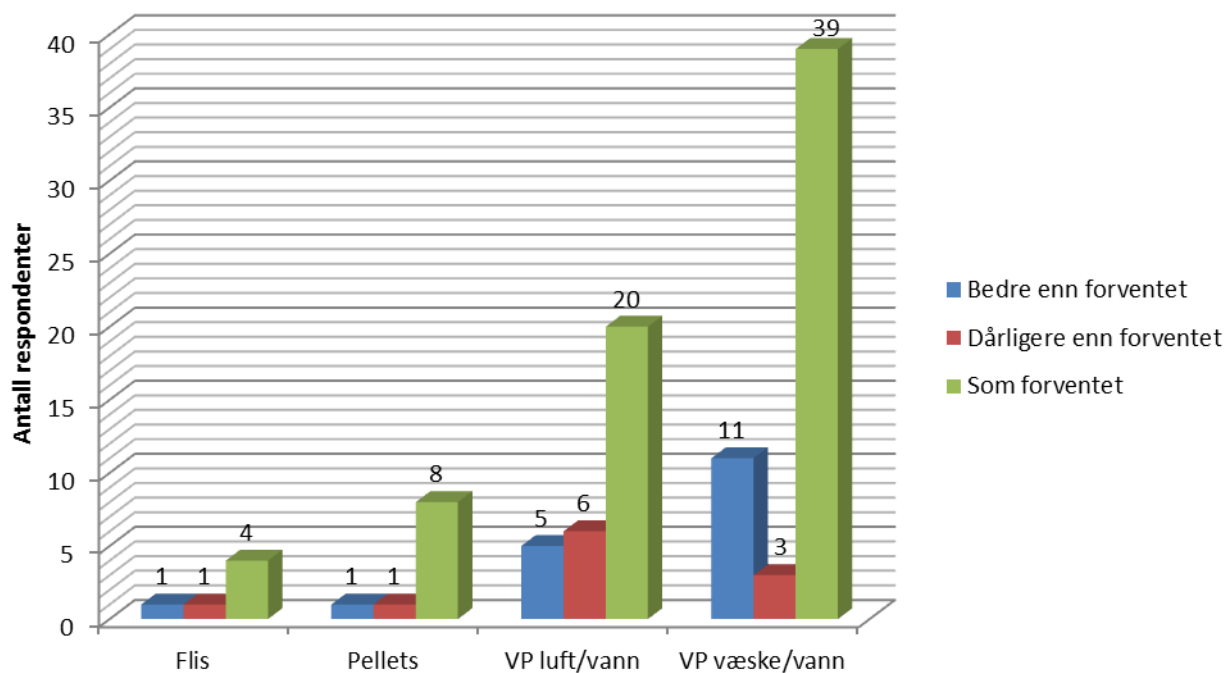
Hovedtrenden var at varmesentralene fungerte som forventet.

Når det gjelder «effektivitet» er dette som beskrevet i teorikapitlet et flertydig begrep, som kan bidra til forvirring blant så vel bransjefolk som uerfarne varmepumpeeiere, jmfør kapittel 1.3.5.

Likevel viser resultatene fra spørreundersøkelsen at av de rundt 90 respondentene som driver en varmepumpebasert sentral opplevde 76 % en energileveranse og virkningsgrad i tråd med forventningene. 63 % av de 16 respondentene med biomassefyrt sentral oppgitt at energileveranse og virkningsgrad ble som forventet.



Figur 21: Brukererfaringer, energileveranse



Figur 22: Brukererfaringer, effektivitet

### 3.2.1. Årsaker til avvik i energileveranse og effektivitet

Respondenten med flissentral som svarte «Lavere enn forventet» på spørsmål om energileveranse oppgir dårlig fliskvalitet med høyt fuktinnhold som årsak til den lave leveransen. Dette nevnes også i bisetninger av andre respondenter som ikke har besvart spørsmålet direkte, men likevel har erfaring med flisfyring. Også én respondent har oppgitt lavere virkningsgrad enn antatt for fliskjelen. Dette er ikke samme respondent som oppgav lavere energileveranse enn forventet som nevnt over. Vedkommende oppgir ingen begrunnelse for avviket.

Av de fire teknologiene er det pellets som i størst grad leverer mindre energi enn forventet, målt i prosent av svarene for den enkelte teknologi. Årsakene til de uventet lave energileveransene var driftsstopp forbundet med kjeltypen kombinert med lite behjelpelig respons fra leverandør, utilstrekkelig pellets kvalitet, og varmetap i rør. Som en følge av dette er det også pelletskjeler som har den laveste prosentandelen «Energileveranse som forventet» av de undersøkte teknologiene.

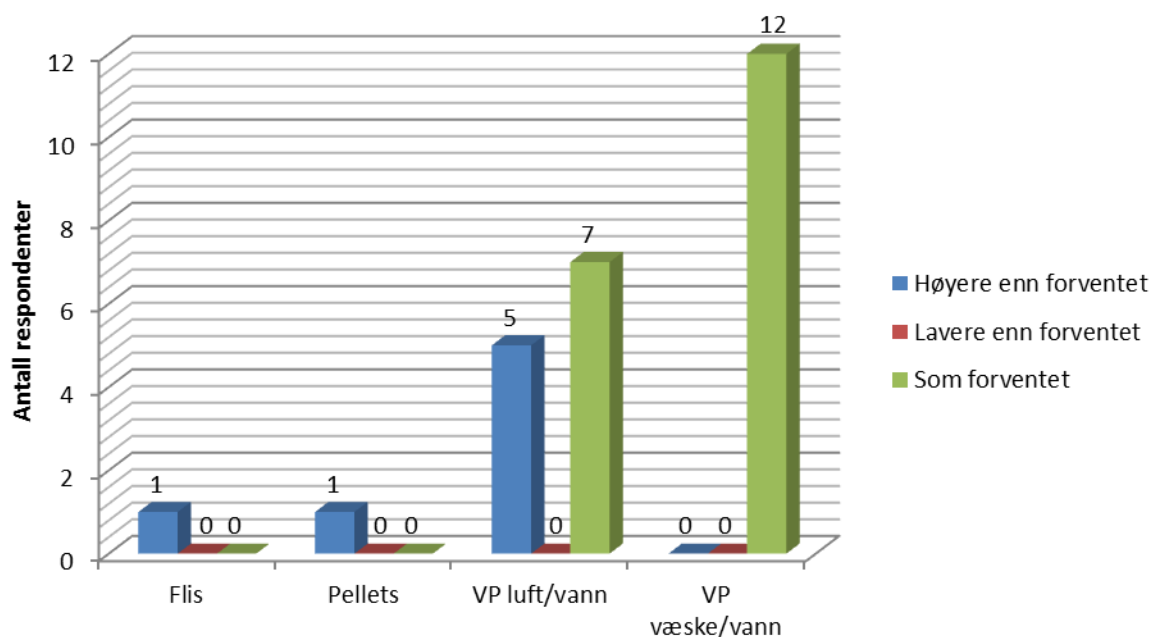
Én av pelletsentralene ble oppgitt å være mindre effektiv enn forventet. Begrunnelsen fra respondenten var at kjelens beskjedne størrelse gjorde anlegget følsomt for kvalitetsvariasjoner i brenselet. Likeledes oppgir én respondent en virkningsgrad bedre enn forventet.

Som årsaker til lav energileveranse ved luft/vann-varmepumper nevnes feil ved selve pumpa, og feil valg av pumpe. I de tilfellene der effektivitet ikke stod til forventningene oppgis som årsaker uspesifisert feil ved pumpe, feil valg av pumpe, og driftsstopp uten videre presisering.

Denne teknologien har imidlertid, sammen med varmepumpe væske/vann, den laveste prosentandelen besvarelser lydende «Dårligere enn forventet» samt den høyeste prosentandelen «Bedre enn forventet» for energileveranse.

For væske/vann-varmepumper er oppstartsproblemer med brønnpark og pumpe samt uspesifiserte tekniske problemer oppgitt som årsak til lav energileveranse. «Muligens nødvendigheten av høy varme i varmekretsen» er forslaget til en av de tre av respondentene som har opplevd lavere effektivitet enn forventet.

### 3.3. Drifts- og vedlikeholdskostnader



Figur 23: Drifts- og vedlikeholdskostnader

Svarene som presenteres i figur 23 over er av et beskjedent antall, 26 totalt, ettersom spørsmålet om drifts- og vedlikeholdskostnader ble endret før utsendelse av revidert spørreundersøkelse, og kun responsen på denne blir benyttet her. Revideringen beskrives nærmere i kapittel 4.5.: «Diskusjon av metode».

Det kan se ut til at væske/vann-teknologien er den som av de fire undersøkte er lettest å sette opp et korrekt driftsbudsjett for.

Av begrunnelser for hvorfor drifts- og vedlikeholdskostnadene ble høyere enn forventet for luft/vann-varmepumper, blir det nevnt uforutsette utgifter på grunn av utskifting av deler, problemer med styringsautomatikk, og driftsstans som følge av feil på innebygde komponenter. Én respondent forteller om full driftsstans et halvt år etter garantitidens utløp, utskifting av deler uten resultat og en installatør som gikk konkurs midt oppe i det hele, slik at ingen i vedkommendes distrikt lenger har kjennskap til den aktuelle varmepumpeserien.



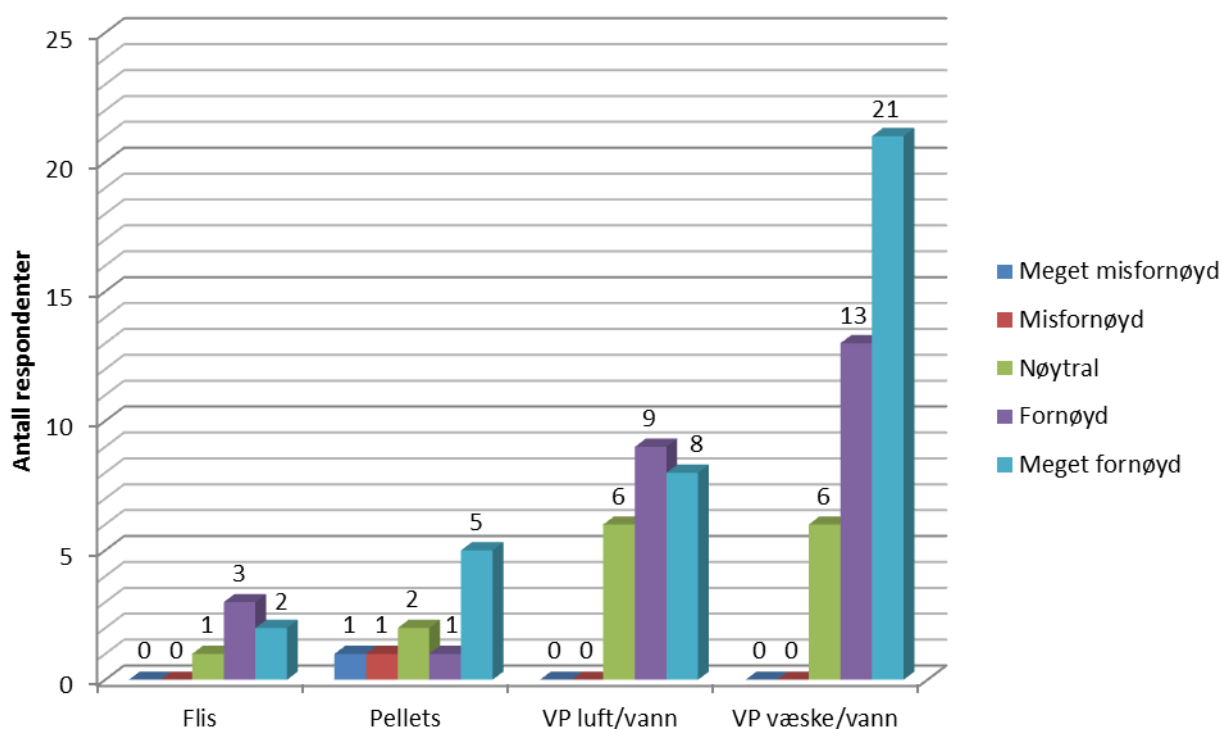
Uforutsett høye servicekostnader ved spisslastdelen av anlegget trekkes fram som årsak ved flissentralen. Ved pelletsanlegget var det brenselkvaliteten som ikke holdt mål.

### 3.4. Evaluering av brenseltilgang, brenselpris og driftssikkerhet

Videre ble respondentene spurt om deres erfaringer med brenselpris, brenselkvalitet og driftssikkerhet vedrørende sentralene. Spørsmålet innebar fem svaralternativer for hver av kategoriene: «Meget fornøyd», «Fornøyd», «Nøytral», «Misfornøyd» og «Meget misfornøyd». Respondentene ble også bedt om å kommentere svarene sine. Et spørsmål som dette kan by på problemer ved at det tolkes ulikt fra person til person. Der én person svarer at han/hun forholder seg nøytral til sentralens driftssikkerhet fordi det ikke har heftet problemer eller driftsstans ved vedkommendes sentral, kan en annen svare «Meget fornøyd» på spørsmålet av nøyaktig samme grunn. Hvilket svar som avgir avhenger av hvilke forventninger respondenten hadde til sentralen før igangsetting. Likeledes kan svaret «Nøytral» avgitt på spørsmål om brenselpris indikere at sentralen har fungert som forventet med kostnadsbesparelser i henhold til budsjett, eller det kan indikere at energileveransen fra sentralen ikke fører til noen besparelser i forhold til alternativ eller opprinnelig ikke-fornybar energikilde. Enkelte andre ville i så tilfelle kanskje svare «Misfornøyd» eller «Meget misfornøyd» på samme spørsmål.

Med dette i tankene kan en se etter mønstre i de innkomne svarene, for å avgjøre om enkelte teknologier stikker seg merkbart ut i den ene eller andre enden av skalaen.

#### 3.4.1. Evaluering av brenseltilgang



Figur 24: Brukererfaringer, brenseltilgang

## Respondentens kommentarer

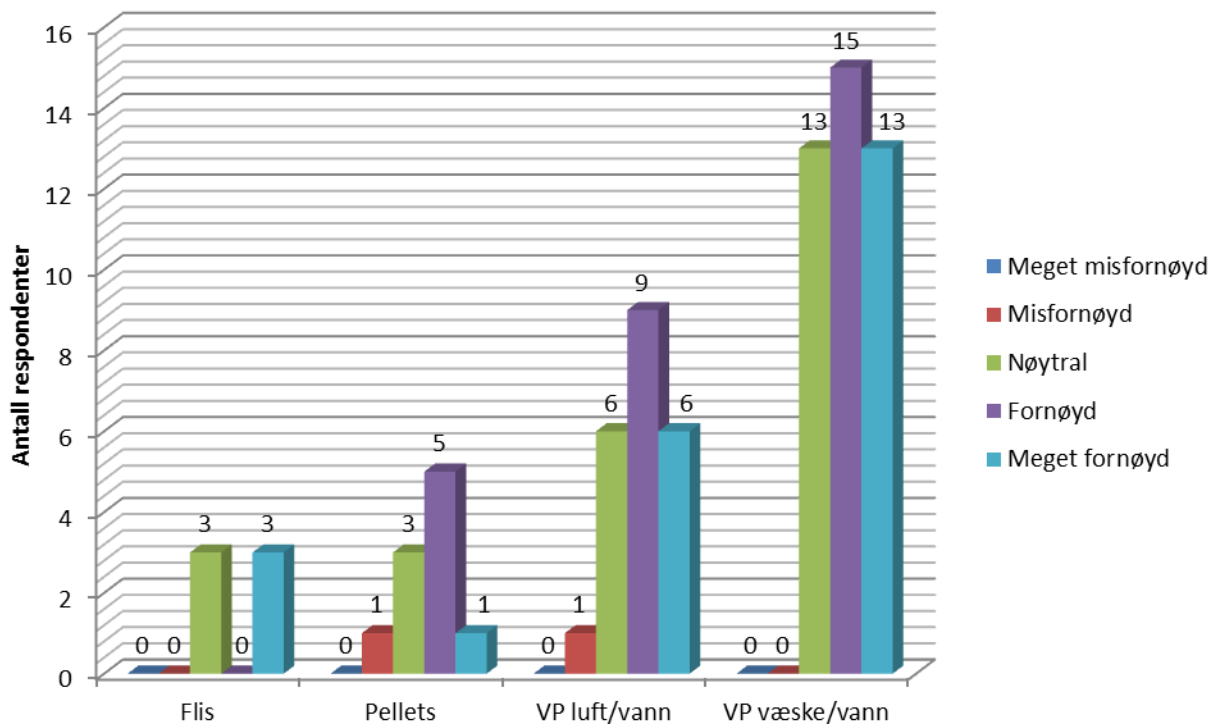
Av de seks som driver en flissentral er fem enten fornøyd eller meget fornøyd med brenseltilgangen. Én av disse har kommentert at foretaket der fliskjelen er installert har tilvirkning av treprodukter som virksomhetsområde, og dermed tilgang på gratis flis til fyring av sentralen.

I forbindelse med pelletsanlegg forekommer én meget misfornøyd respondent. Denne har begrunnet sitt svar med pellets kvalitet «så dårlig at pelletstransportanlegget er stanset». Det er altså kvaliteten på brenselet som utgjør kjernen i problemet. Respondenten som krysset av for «misfornøyd» på spørsmålet om tilgang begrunner dette med få aktører og manglende konkurranse.

I den andre enden av skalaen finner vi kommentarer som beskriver enkel pelletstilgang og rimelig energikostnad i forhold til alternativer som oljefyr.

For eierne av varmpumper var spørsmålet om brenseltilgang noe irrelevant, ettersom brensel for varmpumpe kun regnes som elektrisiteten som må til for å drive kompressoren og eventuelt andre elektrisitetsdrevne komponenter. Formålet med undersøkelsen var ikke å kartlegge elnettets kapasitet i norske byer og bygder. Spørsmålet kunne gått ut til kun eiere av biosentraler, men pga. spørreundersøkelsens utforming, samt det at den ble sendt ut i separate eposter uten mulighet for automatiserte filterspørsmål vurderte jeg det som mest hensiktsmessig å la alle mottakerne få en lik undersøkelse. Dette for å unngå altfor mange forklaringer i skjemaet, jeg ville holde utforminga så enkel som mulig. Mange av varmesentraleierne har da også unnlatt å svare på spørsmål om hvor fornøyde de er med brenseltilgangen. Av de som har svart har ingen oppgitt annet enn at de er enten meget fornøyde, fornøyde eller nøytrale. Dette tolker jeg som et tegn på generell tilfredshet med eldistribusjonen i de representerte områdene. Det blir også trukket frem spesifikt av enkelte respondenter at brønnene tilhørende grunnvarmpumpe fungerer bra. Én beskriver problemer med borehull som frøs igjen vinterstid, men vedkommende sier seg likevel meget fornøyd med brenseltilgangen. Mange uttrykker også at strømmen kommer som den skal og driver pumpene uten problemer. Dette underbygger antakelsen om at respondentene regner brensel som tilført elektrisitet.

### 3.4.2. Evaluering av brenselpris



Figur 25: Brukererfaringer, brenselpris

#### Respondentens kommentarer

Responseren på spørsmålet om brenselpris viser en stor overvekt av nøytrale eller positive erfaringer. Blant svarene dominerer alternativene «Nøytral», «Fornøyd» og «Meget fornøyd» for alle teknologier.

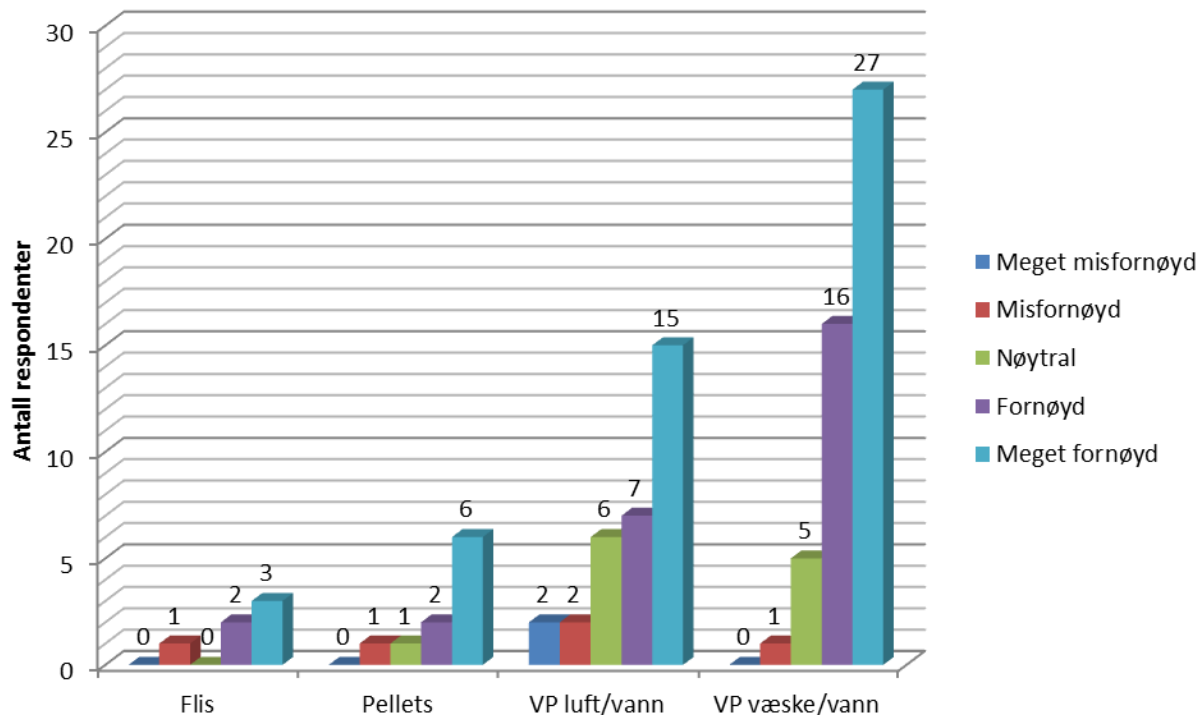
Ingen av flissentralene har svart annet enn «Meget fornøyd» eller «Nøytral» på spørsmålet om deres oppfatning av brenselprisen. Dermed foreligger heller ikke utfyllende kommentarer.

Én respondent for pelletsanlegg er misfornøyd med brenselprisen. «Få aktører og manglende konkurranse» trekkes fram som begrunnelse. Også for varmepumper er totalt én respondent misfornøyd med brenselprisen. Flere uttrykker gunstig drift på grunn av lave strømpriser. Den misfornøyde respondenten beskriver også driftssikkerheten som dårlig, med kommentaren «Jeg har plagdes med anlegget siden dag én. Utallige feil med varmepumpen.» Dette er unntaket blant respondentene, som i hovedsak er enten nøytrale, fornøyde eller meget fornøyde med prisen de betaler for å drive varmepumpene. Om dette betyr at de er nøytrale til selve strømprisen, eller om de er nøytrale til den prisen de betaler pr. kWh levert varmeenergi kan ikke sies med sikkerhet. Én respondent ytrer ønske om tilgang på samme nettariiff som større anlegg på over 125 kW. En annen respondent har følgende kommentar:

«Brenselpris er i vårt tilfelle strøm og nettleie. Personlig ment burde vel disse prisene vært langt lavere og nettleien burde vært redusert vesentlig. Blir litt uvirkelig å måtte betale nettleie på oppimot lik sum som betalt strømbruk.»

Atter én hevder at investering i denne type alternativ energiforsyning generelt ikke er lønnsomt, fordi investeringskostnad er for høy med tanke på den effekt som skal tilføres årlig. De erklærer seg likevel nøytrale til brenselprisen.

### 3.4.3. Evaluering av driftssikkerhet



Figur 26: Brukererfaringer, driftssikkerhet

### Respondentens kommentarer

Den ene misfornøyde flissentraleieren gir ingen forklaring på hva som ikke fungerer tilfredsstillende. Én av de fornøyde respondentene sier at selve sentralen fungerer bra, men at varmetap i tilhørende nett er en utfordring. Flere utfyllende kommentarer foreligger ikke i forbindelse med flissentralene.

Driftssikkerheten til pelletsanleggene er, som figuren viser, stort sett tilfredsstillende. Én misfornøyd respondent kommenterer at «anlegget er lite driftssikkert og har mange stopp og det er liten service å få fra leverandøren på anlegget. Det tar veldig lang tid med responsen fra leverandøren for å rette opp i feil, det medfører at vi må kjøre olje. Dette medfører mye frustrasjon og mange arbeidstimer på driftsteknikerne».

Når det kommer til driftssikkerhet for varmepumpene er svarene noe mer varierende, men respondentene er i all hovedsak fornøyde med sentralenes funksjon. De meget misfornøyde eierne

av luft/vann-varmepumper peker på uspesifiserte feil ved pumpe og tallrike driftsstopp kombinert med tidvis meget dårlig oppfølging fra leverandør.

Væske/vann kommer som vist i figuren best ut hva gjelder driftssikkerhet blant varmepumpene når en ser på fordelingen av svaralternativer innen de to teknologiene.

## 4. Diskusjon

### 4.1. Diskusjon av metode

#### 4.1.1. Diskusjon av kvalitativ undersøkelse

“The results of research are only as good as the quality of the data.” (Gujarati & Porter 2009)

Som nevnt i metodekapitlet er mottakerne av spørreundersøkelsen i denne oppgaven «personer som i løpet av de seks siste åra, f.o.m. 2009 t.o.m. 2014, gjennom Enova har søkt om og fått innvilget økonomisk støtte til et varmeprosjekt i næringsbygg, offentlig bygg eller boligkompleks.» Bakgrunnen for utvalget var rent praktisk, i den forstand at valget av analysemetode baserte seg på nettopp tilgjengeligheten av kontaktinformasjon gjennom Enovas søknadsdatabaser. På sett og vis kan det sies at problemstillingen var et resultat av et ferdig datasett. Denne tilnærmingen strider med Jacobsen (2005) sin oppfatning om at det første steget i en undersøkelsesprosess alltid vil være utvikling av en problemstilling, med påfølgende valg av undersøkelsesopplegg og metode. Den noe uortodokse rekkefølgen som her har funnet sted har vist seg å generere både fordeler og ulemper i det videre arbeidet. En klar fordel er den at en unngår de klassiske problemene med datainnsamling, nemlig at responsen fra informantene uteblir eller varierer i kvalitet i forhold til den standarden en forventer å kunne bygge analysen på. Grønmo (2007) peker på at typiske problemer under datainnsamling knytter seg til respondentenes vilje og evne til å svare, samt deres forståelse av spørsmålene. Opplysningene i det foreliggende datasettet er hentet fra søknadsskjemaer og dokumentasjon som søkerne (tilsvarende respondentene) har måttet fylle ut og sende inn i forbindelse med søknad til, og utbetaling fra, Enova. Opplysningene ble gitt på det aktuelle tidspunktet for investering i sentralen, hvilket eliminerer problemet med at respondenten ikke husker detaljer rundt prosjektet fordi gjennomføringen fant sted for flere år siden. Mange søkere får hjelp av rådgivende ingeniører i søkeprosessen, noe som i større grad sikrer korrekte tekniske opplysninger om sentralene enn om eierne selv skulle besvart tilsvarende spørsmål av teknisk art. Dette fordi mange eiere av varmesentraler ikke innehar dypere teknisk innsikt i sentralens egenskaper og virkemåte, og ikke er familiære med energitekniske termer. Rådgivningen i søknadsprosessen gjenspeiles i datasettet, der opplysningene som foreligger om effekt, energileveranse og investeringskostnad stort sett står i stil med hverandre i en innbyrdes sammenligning i den enkelte sak, og i tillegg fremstår som korrekte og fornuftige ut fra de øvrige opplysninger om sentralene, med unntak av noen ekstreme verdier. Det samme kan ikke sies om svarene på spørreundersøkelsen som ble sendt ut til de samme søkerne i forbindelse med denne oppgaven. Det legges i mange tilfeller for dagen en manglende innsikt i energifaglige begreper. Dette er ikke nødvendigvis et problem for varmesentraleierne i den daglige driften av sentralene, og dermed ikke bekymringsverdig på et generelt grunnlag, men i datainnsamlingsøyemed representerer det en utfordring. Enkelte spørsmål er åpenbart tolket ulikt fra respondent til respondent, og besvarelsene korresponderer ikke. Eksempelvis kan energileveranse være oppgitt i kW, og spørsmål om energileveranse pr. år besvares med et estimat for kostnad pr. levert energienhet. Dette vanskeliggjør en kvantitativ analyse, ettersom åpenbart ukorrekte observasjoner ikke bør innbefattes i datagrunnlaget. Slike og lignende svar sår også tvil om gyldigheten til resten av opplysningene fra de aktuelle respondentene. Grønmo (2007) skriver at spørsmål som antas å ha resultert i mange upålitelige svar ikke bør inkluderes i analysen. Dette var bakgrunnen for en revidering av

spørreundersøkelsen, hvor spørsmål som i stor grad genererte mistenkelige svar ble fjernet, eller endret og forenklet.

Ved tolkningen av en undersøkelse som denne må det også tas høyde for at det kan forekomme systematiske skjevheter i de innsamlede dataene. Eksempelvis kan det tenkes at en overvekt av de respondentene som besvarte undersøkelsen, valgte å gjøre dette nettopp fordi de hadde erfaringer som i stor grad avviker fra gjennomsnittet, i positiv eller negativ retning. Utvalget blir dermed ikke representativt. På den annen side kan det være at respondentene har gjort oppgaven med å besvare undersøkelsen enklest mulig for seg selv, ved å velge det svaralternativet som ikke fordret utfyllende informasjon. Respondentene ble bedt om å oppgi årsaker til eventuelle negative avvik i energileveranse og effektivitet, og har i de fleste tilfeller fulgt oppfordringen, men en trend for undersøkelsen som helhet var at de åpne spørsmålene ble besvart i langt mindre grad enn de strukturerte spørsmålene. Dette er kun hypotetiske påstander som ikke kan underbygges, men resultatene av undersøkelsen bør i alle tilfelle leses med henblikk på at skjevhet kan forekomme.

Et mønster som manifesterte seg i datasettet fra Enova, var at investeringskostnaden for varmereproduksjonsenheten i varmesentralen ble feilestimert i søknadsprosessen. I de seks årene datasettet dekker er 593 ulike støttesøknader behandlet og innvilget av Enova. Søknadsprosedyren innebærer at søkerne må sette opp et nøyaktig budsjett basert på bindende pristilbud fra leverandører og entreprenører som henholdsvis leverer og installerer varmesentraler. Enova krever også dokumentasjon på faktiske investeringskostnader i etterkant av installeringen, før eventuell støtte utbetales. Dokumentasjonen kan eksempelvis være kvitteringer og fakturaer, i tillegg til bilder fra installeringsprosessen, og av de ulike komponentene av den ferdige sentralen. Det viser seg at budsjettet og regnskapet sjelden går i balanse, og at investeringskostnadene for varmereproduksjonsenheten i de fleste tilfellene er under- eller overestimert. Denne observasjonen resulterte i et ønske om å kartlegge årsakssammenhengen bak feilbudsjetteringen, og å finne ut om avvikene fulgte et mønster. Spørreundersøkelsen ble dermed delvis utformet med det for øyet å se om søkerens oppfatning av investeringskostnadene ved egne sentraler korresponderte med de dataene som tidligere var oppgitt i søknadsprosessen i forkant av installering.

Et av grepene i så måte var å spørre etter planlagt investeringskostnad for selve varmereproduksjonsenheten i sentralen, og om den faktiske kostnaden for den samme komponenten ble høyere eller lavere enn dette, og i tilfelle hvor stort avviket ble i prosent av planlagt kostnad. Dette var dels for å kunne føre en viss kontroll med gyldigheten av de resterende svarene på spørsmålene i undersøkelsen. Tanken var at en respondent som besvarte spørsmålene om planlagt og realisert investeringskostnad i noenlunde samsvar med de allerede foreliggende kostnadstallene i datasettet, hadde tilsvarende god oversikt over andre tekniske og økonomiske detaljer vedrørende sin sentral. Resultatet stod ikke til forventningene, da bortimot ingen av besvarelsene stemte overens med opplysningene i datasettet. En av årsakene til dette kan være at spørsmålet om investeringskostnad kun gjaldt varmereproduksjonsenheten i sentralen, noe som ikke er intuitivt dersom man ikke kjenner bakgrunnen for spørsmålsformuleringen. Grunnen til at det ble spurt om varmereproduksjonsenheten eksklusivt var at denne komponenten var den eneste som i dataene fra Enova hadde full dekning, det vil si at det forelå en verdi for denne komponenten for samtlige observasjoner i datasettet. Dette gjaldt ikke for noen av de andre kostnadspostene, deriblant prosjektering, opparbeidelse av tomt, grunnvannsbrønner og distribusjonsnett. Spørsmålet viste seg imidlertid å være problematisk for mange av respondentene å besvare. Enkelte oppgav at de hadde

fått installert anlegget ved totalentreprise og ikke kunne skille de ulike kostnadspostene fra hverandre. Andre oppgav investeringskostnad som spesifikt inkluderte flere komponenter enn varmeproduksjonsenheten. Mange oppgav kun et kronebeløp uten videre presiseringer, men disse beløpene bør også vurderes kritisk, ut fra besvarelsenes øvrige karakter. Det var mange misforståelser å lese ut fra responsen på de resterende tekniske og økonomiske spørsmålene i undersøkelsen. Jeg vil dermed ikke utelukke at de tilsynelatende realistiske svarene som innimellom forekommer på spørsmålet om investeringskostnad også bygger på misforståelser hos mange av respondentene.

Når det gjelder årsakene til avvikene ble heller ikke disse forklart gjennom svarene på undersøkelsen. Søkerne ble spurt om investeringskostnaden for varmeproduksjonsenheten ble høyere eller lavere enn planlagt, eller om den ble som forventet. 80 % av dem som besvarte spørsmålet oppgav at investeringskostnaden ble «som planlagt», altså at intet avvik forekom mellom budsjetterte og realiserte investeringskostnader. Dermed mangler også forklaring på eventuelle avvik, som var neste spørsmål i undersøkelsen. I de tretten tilfellene der avvik ble bekreftet av respondenten, ble ti oppgitt å skyldes ekstrakostnader ved grunnarbeider og brønnboring, eloppgradering, ekstraustyr og rørleggertjenester, forhold som spesifikt ble forespurt utelatt fra besvarelsen.

Noe av grunnen til at spørsmålet i mange tilfeller ble besvart på en annen måte enn forventet, kan være at respondenten ikke ser formålet med det spesifikke og tilsynelatende unødvendig smale spørsmålet. Jeg ser i ettertid at det kunne vært nyttig med en forklaring på hvorfor jeg etterspør kun investeringskostnaden for selve varmeproduksjonsenheten og ikke tilhørende utstyr eller relaterte prosesser. Dette ville kanhende bidratt til større forståelse for mitt forehavende, og større forståelse resulterer sannsynligvis i mer pålitelige besvarelser. Problemet henger trolig sammen med det Grønmo (2007) trekker fram som ett av tre problemer ved datainnsamling basert på strukturert utspørring, nemlig at respondentene forstår spørsmålet på en annen måte enn det var ment å stilles: «At spørsmålene ikke blir forstått, eller at de blir misforstått, vil først og fremst føre til upålitelige svar, men det kan også resultere i frafall, fordi uforståelige spørsmål kan påvirke både evnen og viljen til å svare.»

Grunnen til at jeg ikke forklarte bakgrunnen for spørsmålsformuleringen var at jeg overfor respondentene ville unngå å presisere at jeg allerede hadde innhentet opplysninger om økonomien i deres varmesentralprosjekter gjennom Enovas søkerlister. Dette fordi jeg antok at en slik kjennskap ville kunne påvirke respondentenes besvarelser.

#### **4.1.2. Diskusjon av kvantitativ undersøkelse**

Som beskrevet i kapittel 2.3.4. benyttes kostnader forbundet med «Enhet for varmeproduksjon» i varmesentralene som grunnlag for responsvariabelen i regresjons- og variansanalysen. Valget av en såpass snever kostnadskategori ble gjort på bakgrunn av manglende opplysninger for øvrige relaterte kostnader ved prosjektering og installering. Resultatene kan gi et misvisende bilde av kostnadene totalt sett, ettersom poster som opparbeidelse av tomt og boring av grunnvannsbrønner kan utgjøre en betydelig del av investeringskostnadene, spesielt knyttet til en væske/vann-varmepumpe. Denne typen sentral kan dermed fremstå med unaturlig lav investeringskostnad pr. energileveranse i forhold til øvrige teknologier. Med dette i mente kan resultatene av regresjonsmodellen og



variansanalysen fortsatt tolkes på et likeverdig grunnlag, siden modellene og testene kjøres separat for de ulike teknologiene, og alle væske/vann-varmepumper behandles likt i analysen.

Videre bør det påpekes at total investeringskostnad for alle sentralenes respektive komponenter samt arbeidskostnader ved nødvendige prosesser i installeringen, ville gitt et bedre grunnlag for analyse av den aktuelle problemstillingen. Som nevnt utgjør kostnader forbundet med boring, tomtbearbeidelse og liknende operasjoner en betydelig del av investeringskostnaden for mange varmesentraler. Den potensielle betydningen av regionsspesifikk kompetanse ville sannsynligvis komme tydeligere fram dersom arbeidstimene nedlagt i forbindelse med installering og diverse servicetjenester var inkludert i analysen, og problemstillingene var formulert deretter. Igjen ble valg av analysemetode gjort delvis på grunnlag av tilgjengelig data. Med en lenger tidshorisont kunne ytterlige opplysninger om investeringskostnader bli forsøkt innhentet. Dette ville etter alt å dømme tjene analysen med tanke på kvalitet og anvendelighet i videre studier.

## 4.2. Diskusjon av resultater

I all hovedsak viser resultatene i denne studien at lokale varmesentraler fungerer som de skal uavhengig av type, forventet energileveranse og geografisk beliggenhet, og at eierne jevnt over er fornøyde med sentralene når det kommer til drift og økonomi. Analysen underbygger funn fra studiene til eksempelvis Fønhus (2007) og Fløystad (2013), som viste til overveiende positive brukererfaringer ved lokal fornybar varme. Sett i sammenheng med markedstrendene observert gjennom Enovas søknadsportefølje og varmesentralleverandørenes salgsstatistikker, kan utviklingen i varmemarkedet virke å gå i riktig retning. Dette er i tråd med Birkeland sin prognose om erstatningssalgets betydning (NOVAP 2014).

Utgangspunktet for analysen av forholdet mellom kommunestørrelse og investeringskostnad pr. levert energienhet var følgende hypoteser:

- konkurransen blant entreprenører og leverandører er større i tettbygde strøk enn i spredtbygde strøk, hvilket gir seg utslag i lavere priser på komponenter som varmeproduksjonsenhet i lokale varmeanlegg og bedre servicetilbud ved driftsproblemer
- tettbygde strøk innehar en større kollektiv teknisk kompetanse og effektivitet enn spredtbygde strøk, noe som gir et bedre servicetilbud ved driftsstans og tekniske problemer
- den bygningsinterne infrastrukturen i tettbygde strøk forenkler installeringen og reduserer behovet for dyre spesialkomponenter sammenlignet med infrastrukturen i mindre sentrale områder
- komponentene til sentralene er forholdsvis billige i tettbygde strøk på grunn av nærhet til fremstillingsfasiliteter
- tettbygde strøk betyr økt folketall, og økt folketall impliserer flere installerte sentraler og dermed økt erfaringsbasert kunnskap om hvilke teknologier og hvilken grad av effektdekning som fungerer best i det aktuelle området.

De statistiske analysene viste imidlertid at energikostnaden ikke økte ved avtagende innbyggertall. Ved å se på plottene av responsvariabler mot forklaringsvariabler kunne det for alle fire teknologier se ut til at en lineær sammenheng ikke forelå. De fleste observasjonene av energikostnad var sentrert rundt det respektive gjennomsnitt for hver enkelt teknologi, mens verdiene til forklaringsvariabelen «kommunestørrelse» var langt mer spredt. Det var ikke mulig å lese en spesiell trend ut av resultatene, verken den ene eller andre veien, hva angikk samspillet mellom kostnad og sentralitet.

I ett av tilfellene; ved luft/vann-varmepumpe; ble begge variablene logtransformert, med det til følge at dataene ble mer normalfordelte, og forholdet mellom de transformerte variablene kunne uttrykkes lineært. Nullhypotesen om at forklaringsvariabelen var lik 0 ble forkastet på et 5 %-nivå. Modellen hadde imidlertid så lav  $R^2$ -verdi (0,042) at sammenhengen ikke kan anses som pålitelig. Denne konklusjonen ble fattet delvis på grunnlag av funnene fra estimeringene av de andre

teknologiene. Ingen tidligere studier tilsier at størrelsen på energikostnad ved varmepumpe luft/vann skulle være mer avhengig av befolkningstetthet enn energikostnad for øvrige teknologier.

For de øvrige teknologiene ble hypotesen om redusert energikostnad ved økt befolkningstetthet forkastet på grunnlag av resultatene fra hver enkelt modellkjøring. Ingen sammenhenger viste seg signifikante, og korrelasjon uteble. Disse resultatene kan enten ha sitt opphav i at modellene manglet essensielle forklaringsvariabler, eller også at det faktisk ikke foreligger noen lineær sammenheng mellom energikostnad og kommunestørrelse. Begge alternativer fremstår som sannsynlige. Tidligere nevnt er forhold som kan forventes å forme energikostnaden for varmesentraler, ved at de har en innvirkning på sentralenes årlige energileveranse. Installert effekt, forventet virkningsgrad, energidekningsgrad og klima ble trukket fram som mulige slike forhold. Å utelate variabler som representerer et eller flere av disse forholdene kan, dersom de *har* en klar innvirkning på responsvariabelen, bidra til å svekke modellen.

Ved begge varmepumpeteknologiene, især væske/vann, var det et relativt stort avvik mellom gjennomsnittsverdi og median for responsvariabelen. Dette vitner om utliggere, noe som også kunne ses av histogrammene. Utliggere kan påvirke regresjonsresultatene og bidra til feilspesifisering av modellene, noe som godt kan ha forekommet for disse to teknologiene. Tre utliggere ble besluttet fjernet fra væske/vann-dataene, siden de avvek så radikalt fra gjennomsnittet at de kunne antas å ha sitt opphav i feilrapportering.

Aadnevik et al. (2007) pekte på «fysiske barrierer knyttet til infrastrukturen i den norske bygningsmassen» som et hinder for etablering av fornybar varme i rapporten «10 år med røde tall», heretter referert til som «barrierestudien». Påstanden over om mer tilrettelagt infrastruktur i tettbygde strøk kunne også tenkes å gjelde bygningsintern infrastruktur, og således underbygges av barrierestudien. Funnene fra regresjons- og variansanalysene indikerer på den annen side at grad av tilretteleggelse hva infrastruktur angår ikke har noen innvirkning på investeringskostnad pr. energileveranse. Det må i den sammenheng understrekes at investeringskostnaden som brukes i regresjonen kun gjelder selve varmeproduksjonsenheten i anlegget, grunnet datatilgang. Dersom utgiftene forbundet med installering og utbygging av varmedistribusjonssystemer var inkludert i investeringskostnaden, ville bildet kanskje sett noe annerledes ut, og mer i tråd med Aadnevik et al. sine funn fra 2007. Barrierestudien tar videre opp problematikken rundt kostnadsminimering ved prosjektering og påfølgende høye driftskostnader på grunn av ikke optimal drift. Dette aspektet henger sammen med NOVAP (2013) sin melding om nødvendigheten av rett kompetanse hos installatører, samt de videre funnene i barrierestudien: manglende kompetanse og tilgang på kvalifiserte konsulenter. Verken den kvantitative eller den kvalitative analysen i denne oppgaven virker å underbygge funnene fra 2007. Enkelte respondenter i den utførte spørreundersøkelsen grunngir driftsproblemer med begrensede konsultasjonsmuligheter i distriktene. Dette gjelder likevel bare et fåtall som ikke kan anses representativt.

## **Energileveranse og virkningsgrad**

76 % av respondentene med varmepumpebasert sentral oppgav at effektivitet og årlig energileveranse ble som forventet. Tatt i betraktning tidligere omtalte egenskaper ved varmepumper, som at produksjonsprofil og COP er avhengig av skiftende klimatiske forhold, er dette ingen liten andel. Til sammenligning har kun 63 % av biovarmeutbyggerne anslått energileveranse og

effektivitet for sin sentral korrekt. Sistnevnte gruppe består av kun 16 respondenter totalt, så resultatet bør leses deretter, men er tallene representative vil det si at et varmpumpeanlegg har en mer forutsigbar varmeproduksjonsprofil enn en biokjel. At leveransen fra biovarmesentraler er vanskeligere å predikere enn leveransen fra varmpumper er uventet, sett i lys av påstandene om at bioanlegg ikke i like stor grad påvirkes av vind og vær. Også det at andelen som svarte «Som forventet» på spørsmålene om energileveranse og effektivitet, er såpass lik for eiere av luft/vann- og væske/vann-varmpumper, henholdsvis 74 % og 77 %, er noe uventet. Luft/vann-varmpumper skulle i teorien ha en mer varierende funksjon enn væske/vann-varmpumper, da de i større grad påvirkes av eksterne forhold som utelufttemperatur, luftfuktighet, nedbør, løvnedfall og isdannelse på apparatur.

Én av de seks flissentraleierne som lot høre fra seg, svarte at energileveransen fra anlegget ble dårligere enn forventet. Vedkommende oppgir dårlig fliskvalitet med høyt fuktinnhold som begrunnelse, noe som også trekkes fram av andre respondenter i øvrige spørsmål i undersøkelsen. Fuktig eller grovkalibret flis er ikke et problem i seg selv, men små fliskjeler er mer følsomme for varierende fliskvalitet enn store kjeler, så kvaliteten må tilpasses det enkelte anlegg. Dersom resultatet av undersøkelsen er representativt, kan det imidlertid indikere kommunikasjonssvikt mellom flisprodusent og kunde eller utstyrsleverandør og kunde, begrenset produksjon av rett fliskvalitet som indikert i barrierestudien, eller også mangel på kompetanse i et eller flere ledd.

Av ti eiere av pelletssentraler blant respondentene, har seks oppgitt at energileveranse stod til forventningene. Tre har opplevd en uventet lav leveranse. En av begrunnelsene var, som for flisanlegget beskrevet over, at kjelen var følsom for kvalitetsvariasjon i brenselet. Dette førte til driftsstopp, som vedvarte på grunn av «lite behjelpelig respons fra leverandør». I dette tilfellet var kombinasjonen av kjelstørrelse og varierende pellets kvalitet spesifisert som årsaken til driftsvanskene. Igjen kan mangel på kompetanse eller sviktende kommunikasjon være kjernen til problemet. Kunnskap om optimal drifting av sentralene er en forutsetning for god energileveranse, og om både utstyr og brensel er av god kvalitet hver for seg, fungerer det ikke nødvendigvis godt sammen. Aadnevik et al. (2007) pekte på at slike eksempler kan hemme utviklingen av biovarmemarkedet:

«Det gjennomgående problemet er at kompetansen til tilbyderne er for generell: mange firmaer er gode på beregning av energibehov og energiflyt i bygg. Færre er gode på utstyr. Mange er dårlige på dimensjonering av anlegg, og det er gjentatte eksempler på at det settes inn alt for store kjeler, dimensjonert med tanke på de aller kaldeste dagene. Slike eksempler har bidratt til å svekke omdømmet til biovarme i flere konkrete tilfeller.»

Dersom resultatene av min undersøkelse gjenspeiler pelletsbransjen generelt, og to av ti pelletsanlegg lider under feiltilpasset brenselkvalitet, kan det virke som om problemet beskrevet i barrierestudien fortsatt er reelt. Et kompetanseløft i alle ledd av de respektive biovarmeteknologienes verdikjeder virker å være nødvendig.

91 % dekning for svaralternativene «Som forventet» eller «Bedre enn forventet» må sies å være et godt resultat når det kommer til luft/vann-varmpumper. Som nevnt av Zijdemans (2010), Bryn et al. (2011) og flere andre, er optimal dimensjonering og drift av luft/vann-varmpumpe en utfordring i områder med store klimatiske variasjoner. Responsen kan tyde på at kompetansenivået innen prosjektering av varmpumpeløsninger er godt. Om det har bedret seg siden barrierestudien ble

publisert i 2007 er vanskelig å avgjøre, basert på det beskjedne antallet respondenter som i mellomtiden har installert sine pumper. Men om så er tilfelle, tyder dette på at utviklingen går i riktig retning for luft/vann-teknologien.

Av dem som har opplevd dårligere funksjon enn forventet oppgis feil ved pumpe, feil valg av pumpe og driftsstopp uten videre presisering, som årsaker. En av respondentene svarer følgende: *«Ble lovet bedre effekt enn det anlegget gir. Det skulle vært installert en tank/kolbe som kunne varme opp vannet. Nå blir det varmet opp når det passerer kolbene fra retur til tur.»* Betydningen av dette svaret er for mitt vedkommende vanskelig å avgjøre. Er det gjort feil ved installeringen, eller kommer respondenten med et forslag til utbedring av eksisterende teknologi? Tvetydigheter som denne preger mange av de utfyllende svarene i undersøkelsen, og gjør resultatene til dels vanskelige å tolke. Svaret underbygger i alle tilfelle funnene til Aadnevik et al., nemlig at «kvaliteten på kompetansen varierer sterkt, blant annet som følge av at tilbydernes virksomhetsområde er for generelt.»

Også for væske/vann svarer 91 % at sentralen har levert som forventet eller bedre, og av det trekker jeg de samme konklusjoner som for luft/vann i forrige avsnitt.

Av dem som ikke opplevde forventet leveranse og effektivitet lød to av begrunnelsene som følger:

*«Muligens nødvendigheten av høy varme i varmekretsen.»*

og

*«Hadde problem i startfasen med at anlegget ikke verka og måtte derfor gå på tilleggsvarme, noko som førte til meirutgifter på varme/straum for oss. Etter at dette er utbetra har anlegget fungert som forventa.»*

Igjen må betydningen av svarene vurderes av mottakeren, hvilket kan føre til feiltolkninger. Skyldes «nødvendigheten av høy varme i varmekretsen» hos den første respondenten uforutsette forhold som på grunn av feilinformasjon, defekte komponenter eller eksterne påvirkninger? Hva lå til grunn for «problemene i startfasen» hos den andre respondenten? Mangler på anlegg, feilaktig drift eller andre faktorer? En kan ikke trekke konklusjoner rundt typiske mønstre for feil ved væske/vann-varmepumper basert på innkomne svar. Hovedfunnet er likevel at pumpene stort sett fungerer som de skal, ut fra et utvalg som kan begynne å nærme seg representativt.

## **Drifts- og vedlikeholdskostnader**

Som nevnt i resultatkapitlet er den samlede responsen vedrørende drifts- og vedlikeholdskostnader for liten og uensartet til å kunne legges til grunn for generelle konklusjoner. Den responsen som foreligger underbygger imidlertid funnene fra barrierestudien fra 2007, angående geografisk betinget kompetansenivå. En av respondentene med luft/vann-varmepumpe har følgende melding vedrørende kostnadene:

*«Vedlikeholdskostnaden blir nok mye høyere enn antatt. Har hatt full krasj på varmepumpen, skjedde et halvt år etter at garantitiden gikk ut. Må bytte utedelen og har fått en pris på kr. 15.000,- Da har jeg ikke fått regning på alle turene de har vært her og byttet div. deler uten resultat. Dessverre har installatøren gått konkurs (var konkurs knapt 2 år etter at jeg fikk det installert), så det er ingen i mitt*

*distrikt som har kjennskap til varmepumpemodellen. Dermed virker det som de tar opplæringen hos meg. Synes leverandøren har opptrådt meget kritikkverdig.»*

Den aktuelle pumpa befinner seg i en kommune med mellom 1000 og 2000 innbyggere i Troms. Antakelsen til Aadnevik et al. om utfordringene med å skaffe kvalifiserte tilbud på varmepumpeprosjektering i Nord-Norge er i så måte treffende.

For øvrig tyder resultatene fra undersøkelsen på at drifts- og vedlikeholdskostnader for væske/vann-varmepumper, pelletskjeler og flis kjeler ikke byr på de store overraskelsene, utover tilfellene som skyldes diverse tekniske feil eller uholdbar brenselkvalitet. Blant luft/vann-varmepumpene endte halvparten opp med uventet høye drifts- og vedlikeholdskostnader. Et antall på totalt tolv respondenter for luft/vann kan ikke antas representativt, men i undersøkelsen isolert sett er dette teknologien som representerer de største avvikene mellom planlagte og realiserte drifts- og vedlikeholdskostnader. Dette kan skyldes forhold beskrevet i tidligere kapitler, som fuktproblemer, riming og isdannelse, saltholdig luft som forringer komponentene, og andre klimatiske faktorer. Også behov for nærmere kontroll av driftsforholdene ved lave utetemperaturer som beskrevet av Bryn et al. (2011) kan føre til høyere driftskostnader for denne teknologien.

### **Evaluering av brenseltilgang, brenselpris og driftssikkerhet**

Både brenseltilgang og brenselpris oppleves som tilfredsstillende for eierne av flisfyringsanlegg i undersøkelsen. I barrierestudien fra 2007 siteres en bioenergiaktør med følgende utsagn: *«Alle prosjektene jeg jobber med er avhengige av høyere pris på elektrisitet enn i dag. Det er ikke lønnsomt. Vi gjør dette med en forventning om høyere pris – og vi gjør det fordi vi er ildsjeler.»* Dersom dette var gjengs oppfatning av bioenergiens lønnsomhet i 2007, kunne en forvente at dagens flisentralieiere hadde noenlunde samme syn på situasjonen, ettersom strømprisene er stabilt lave i disse tider. Når dette ikke er tilfellet, kan det tyde på en økt konkurransekraft for flis som brensel. Også driftssikkerheten ved flisanleggene ser ut til å holde et akseptabelt nivå, ut fra de få observasjonene som foreligger. Fem av seks flisentraler fanget opp av spørreundersøkelsen befinner seg i kommuner av kategori 1 eller 0, altså små kommuner i mindre sentrale strøk. Sentralene er spredt over hele Sør-Norge med Nord-Trøndelag som det nordligste punktet. Sjansene var altså tilstede for at mangel på lokal kompetanse om fliskvalitet, dimensjonering og optimal drift ville føre til mindre gode brukererfaringer, hvis man legger antakelsene fra barrierestudien til grunn. Det at kun én respondent har sagt seg misfornøyd med driftssikkerheten kan tyde på at kompetansen i skrivende stund er god.

*«Få aktører innen biobrensel i regionen gjør at vi har måttet benytte oss av pellets. Ikke tilgang på konkurransedyktig pris på skogsflis. Heller ikke flis i nødvendig kvalitet (tørr skogsflis). På grunn av manglende "konkurranse" og lokale tilbydere ser vi også at vi blir belastet med høyere kostnader, spesielt da knyttet til transport.»* Slik lyder kommentaren til respondenten som svarte «Misfornøyd» på spørsmål om brenseltilgang, og vedkommende treffer dermed spikeren på hodet med tanke på Aadnevik et al. sine konklusjoner fra 2007. Den noe ufrivillige pelletsentralieieren er også misfornøyd med brenselprisen. Sentralen er beliggende i en kommune av kategori 2, på Nordvestlandet. Her ligger biobrenselprisen ifølge barrierestudien høyt grunnet små produksjonsfasiliteter og lange transportavstander. Dersom respondenten kan regnes som representativ for regionen, kan det virke

som situasjonen er uendret siden den gang. På den annen side er to andre pelletsanlegg i Midt-Norge representert, der eierne er fornøyde med både pris, tilgang og drift. Disse befinner seg dog i større og mer sentrale kommuner med mer aktiv skogsdrift. Også med øvrige pelletskjeler i undersøkelsen er erfaringene stort sett gode.

Også når det kommer til driftssikkerhet er pelletssentral et godt valg respondentenes tilbakemeldinger tatt i betraktning. Kunnskap og erfaring er igjen stikkord for vellykket drift. En av respondentene påpeker dette spesifikt: «*Vi har etablert oppunder 40 biovarmesentraler og har opparbeidet oss solid kompetanse på feltet og benytter faste leverandører.*»

Som nevnt i forrige kapittel var én av pelletseierne misfornøyd med driften som følge av mange driftsstopp, lang reaksjonstid fra leverandørens side, og dermed mye bruk av reservelast. Denne sentralen befinner seg i indre Østfold, og altså i relativ nærhet til sentrale strøk med antatt høy grad av kompetanse. Bransjen har tilsynelatende fortsatt en vei å gå dersom pellets skal vinne synlig terreng blant varmeløsningene.

Aadnevik et al. peker på høye investeringskostnader ved anskaffelse av varmpumper som en av barrierene for økt bruk av denne teknologien. Dette er fortsatt i dag et ankepunkt for mange potensielle kjøpere. De som likevel går til investering i et slikt anlegg sier seg stort sett fornøyd med de økonomiske aspektene ved driften. Dette underbygger ADAPTConsulting (2012) sin antakelse om reduserte energiutgifter på sikt ved installering av varmpumpe. Én hevder gjennom spørreundersøkelsen at investering i alternativ energiforsyning, i dette tilfellet luft/vann-varmpumpe, generelt ikke er lønnsomt. Barrierestudiens resultater tatt i betraktning er dette et lite antall. 85 % av deltakerne i barrierestudien så på lave strømpriser som et hinder for fornybar utbygging, og 91 % mente det samme om nivået på investeringskostnadene for fornybare sentraler. Dette kan indikere en forbedring av de økonomiske vilkårene for lokal varmeutbygging siden 2007. På den annen side må en ha i mente at sentralene i denne spørreundersøkelsen representerer de mest lønnsomme prosjektene de siste seks årene, siden Enova støtter utbygginger med gode økonomiske utsikter fremfor mer usikre prosjekter. Angående støttenivået fra Enova ble dette kritisert av Norsk Petroleumsinstitutt som for lavt, i forhold til prisen tiltakshavere må betale for å bytte ut en oljekjel (Lie 2013). Enkelte respondenter i inneværende undersøkelse er av samme oppfatning.

Det at nærmere 93 % av respondentene er enten meget fornøyde, fornøyde eller nøytrale hva gjelder varmpumpenes driftssikkerhet må sies å være et resultat i varmpumpeteknologiens favør. Mange rapporter beskriver varmpumpe som en innretning vanskelig å drifte optimalt under varierende klimaforhold, som de norske. De 7 % som var enten misfornøyd eller meget misfornøyd med driftssikkerheten begrunner dette med feil ved pumpene, uten å beskrive nærmere hva feilene skyldes. Driftsstopp som følge av tekniske feil ville imidlertid kanskje ikke ha påvirket respondentenes holdning til driftssikkerheten like negativt dersom de opplevde god oppfølging. Læber respons og lite assistanse fra leverandørens side blir trukket fram av de mindre fornøyde varmpumpeeierne. Igjen står varmesentralbransjens omdømme i fare for å svekkes. Om den dårlige oppfølgingen skyldes mangel på kompetanse i området, sprengt kapasitet eller andre forhold vites ikke, men et kompetanseløft i form av økt spesialisering eller mer lokal ekspertise vil uansett være en fordel.

## Videre arbeid

Mange av respondentene i denne oppgaven peker på at det er svært vanskelig å budsjettere korrekt i forbindelse med installering av varmesentraler. Flere sier også at arbeidsinnsatsen de la ned i søknadsprosessen ikke stod i stil med det tilskuddet de endte opp med å få fra Enova. Det kan virke som om mange så for seg et høyere støttebeløp enn det som ble dem til del, til tross for at Enova har klare retningslinjer for beregning av støtte. Et offentlig foretak som forvalter statlige midler må nødvendigvis operere med strikte og konkrete regler og strenge krav til dokumentasjon av påløpte utgifter. Søknadsprosessen oppleves imidlertid av mange som tidkrevende, omfattende og vanskelig. Ofte blir det mye korrespondanse fram og tilbake mellom søker og saksbehandler, fordi søknaden er mangelfull etter Enovas kriterier. Dette fører til en mer tid- og kostnadskrevende behandlingsprosess, og er ikke til gagn for noen av partene. Ei heller er det gunstig i et samfunnsøkonomisk perspektiv. For at Enova skal kunne utføre sitt samfunnsoppdrag på en best mulig måte er foretaket avhengig av å nå ut til sine potensielle søkere. Negativ omtale fra de som har søkt midler og funnet systemet tungrodd og lite innbringende vil svekke Enovas omdømme. Dette kan føre til at færre potensielle søkere velger å benytte seg av tilbudet om støtte.

Hvorfor finner så mange søkere det vanskelig å sende inn en korrekt søknad som oppfyller alle Enovas kriterier? En del av svaret kan ligge i kompetansenivået til søkerne. I søknaden etterspørres flere tekniske og økonomiske detaljer om varmeanlegget det søkes for. Installert effekt, planlagt årlig energileveranse, pris på anleggets ulike komponenter, og kostnad per leverte energienhet er opplysninger som må oppgis i søknaden. Mange søkere er ikke fortrolige med disse begrepene, og dette gir grobunn for flere misforståelser i søknadsprosessen.

Enova utvidet i 2011 sitt programtilbud innen fornybar varme fra ett til fire programmer. Det var i den forbindelse programmene «Varmesentral forenklet» og «Varmesentral utvidet» ble opprettet. Større prosjekter sorteres under programmet «Varmesentral utvidet». Programmet innebærer en søknadsprosess med krav til omfattende dokumentasjon av tekniske spesifikasjoner og påløpte utgifter. «Varmesentral forenklet» retter seg mot mindre prosjekter. Programmet tilbyr predefinerte støttesatser, kravene til dokumentasjon er begrenset og behandlingstiden relativt kort. Programmet er ment å lette prosessen for søkere med små varmesentraler gjennom et mer intuitivt søknadsskjema og færre fallgruver, også for søkere som ikke innehar nevneverdig energiteknisk kompetanse. Utvidelsen av programtilbudet har fungert godt, på den måten at antall omsøkte varmesentraler har økt betraktelig fra og med 2011. På den annen side utgjør selve søknadsprosessen fortsatt et problem i begge støtteprogrammene, og feil og mangler forekommer i betydelig grad.

Et spørsmål som melder seg er om det kunne vært samfunnsøkonomisk forsvarlig å kurse potensielle støttemottagere i ulike aspekter ved varmesentraler og installering av disse, i forkant av at søknad sendes inn. Dette ville sannsynligvis føre til en mer strømlinjeformet saksbehandlingsprosess for begge parter, og redusert kostnadene ved behandlingen. Det vil også være en fordel for søkere å besitte en viss teknisk innsikt i sentralen de skal drifte i årene som kommer. En samfunnsøkonomisk nytte-kostnadsanalyse som kvantifiserer nytteeffektene av en slik opplæring og stiller dem opp mot de samfunnsmessige eller privatøkonomiske kostnadene det måtte innebære, er forslag til videre studier som kan gjøres på feltet.



## 5. Konklusjon

Det ble i diskusjonen foreslått at pelletsbransjen har en vei å gå for å «vinne synlig terreng blant varmeløsningene». Det samme kan sies om de fornybare varmeteknologiene generelt kontra konvensjonell el- og oljebasert oppvarming. Markedsandelene til biovarme og varmepumpeløsninger er foreløpig små for næringsbygg og offentlige bygg. Bedret konkurransekraft via økt lønnsomhet er en forutsetning for å nå målene om økt fornybar varmeleveranse i bygningsmassen. Veien til lønnsomhet går gjennom kompetanseheving, bedret tilgang på utstyr og brensel av rett kvalitet, tettere oppfølging fra leverandører, bevisstgjøring blant potensielle kunder, og omdømmebygging i bransjen. Politiske virkemidler som lovbestemt utfasing av fossile fyrkjeler og konkrete regler for begrensning av direktevirkende elektrisk bygningsoppvarming er viktige bidrag. Det samme gjelder statlige støtteordninger for alternative løsninger. Enova, Innovasjon Norge og flere andre aktører deler ut midler til fornybare varmeprosjekter. Hvorvidt dette er lønnsomt fra et samfunnsøkonomisk perspektiv krever grundigere undersøkelser for å avgjøre. Men for den enkelte varmeaktør er støtteordningene et skritt på veien mot lønnsomhet, om så meningene om støttenivåene er delte.

I evalueringen av de biosentralene og varmepumpeanleggene som er i drift pr. i dag, er tilbakemeldingene overveiende gode. Varmepumper har en større andel fornøyde respondenter enn flis- og pelletsfyringsanlegg. Til gjengjeld er ingen av biovarmeeierne «meget misfornøyd» med driften av sine anlegg, som tilfellet er ved enkelte varmepumper. Noen biosentraleiere er dog meget misfornøyd med brenseltilgangen, og dette forekommer ikke blant varmepumpeeierne. Det kan se ut til at eiere av varmepumper opplever bedre drift med færre heftelser i det lange løp, når diverse oppstartsproblemer er forsert. Resultatene bør leses kritisk, da de bygger på få observasjoner.

Geografisk tilknytning ser ikke ut til å spille noen rolle for hvorvidt eierne er fornøyde med sine sentraler. Det fåtallet som har erklært seg ikke fornøyd med et eller flere aspekter ved sitt varmeanlegg, er fordelt på alle fire kommunestørrelser, med et geografisk spenn fra Troms i nord til Vestfold i sør. Igjen må det lave respondenttallet tas i betraktning ved tolkningen av besvarelsene. Ei heller energikostnaden, målt i investeringskostnad pr. levert energienhet, ser ut til å påvirkes av hvorvidt et varmeanlegg befinner seg i sentrale eller mindre sentrale strøk. Dette kan tyde på at regional kompetanse og læring er av liten betydning hva angår selve prissettingen av en varmesentral.

## 6. Referanseliste

- Aadnevik, Ø., Asheim, K., Baardsen, B., Kjølstad, C. & Martinsen, A. (2007). 10 år med røde tall - Barrierer for økt utbygging av lokale varmesentraler og nærvarmeanlegg: Norsk Bioenergiforening, Norsk Varmepumpeforening og Norsk Petroleumsinstitutt.
- Aarvig, S. (2008). *Kan forhindre kraftunderskudd*: Norges forskningsråd. Tilgjengelig fra: <http://forskning.no/alternativ-energi-energi/2008/02/kan-forhindre-kraftunderskudd> (lest 20.04).
- ADAPTConsulting. (2012). Varmepumpens markedspotensial i forbindelse med teknisk forskrift.
- Belbo, H. & Fisknes, G. (2012). Flisfyring i Nord-Trøndelag 2012: Norsk institutt for skog og landskap.
- Bryn, I. H., Petersen, A. J. & Gedsø, S. (2011). Varmeløsninger og deres dekningsgrader: Erichsen & Horgen A/S.
- Business Dictionary*. Tilgjengelig fra: <http://www.businessdictionary.com/definition/capital-expenditure-CAPEX.html> (lest 10.04.).
- Bøeng, A. C. & Holstad, M. (2013). Fakta om energi - utviklingen av energibruk i Norge: Statistisk sentralbyrå.
- Christensen, A. & Folkestad, H. (2008). "Varmepumper". 9: Norsk Teknologi.
- Eco-1. (2015). *Oljekjelen kan raskt gi 1 500 000 tonn reduksjon i CO2-utslipp!* Tilgjengelig fra: <http://www.eco-1.no/oljekjelen-kan-raskt-gi-1-500-000-tonn-reduksjon-i-co2-utslipp/> (lest 04.05.).
- Enova. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/pelletsjel/-pelletsjel/115/137/> (lest 12.04.).
- Enova. (2012). *Varmefakta 2012*. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/innsikt/rapporter/varmerapport-2012/varmesentraler/693/0/> (lest 20.01.2015).
- Enova. (2014). *Om Enova*. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/om-enova/36/0/> (lest 20.01.2015).
- Ericson, T., Fonnep, J. E., Groth, L. H., Haukeli, I., Husabø, L. I., Isachsen, O., Langseth, B., Magnussen, I., Nybakke, K., Paulen, S.-L., et al. (2015). *Kostnader i energisektoren*. Norges vassdrags- og energidirektorat.
- Fløystad, K. G. (2013). *Biovarme for folk og dyr - kostnader og brukererfaringer fra eiere av mindre fyringsanlegg med flis, ved eller halm*. Masteroppgave: UMB.
- Fønhus, A. E. (2007). *Kostnader og brukererfaringer fra et utvalg av mindre flisfyringsanlegg i Norge*. Masteroppgave: UMB.
- Grønmo, S. (2007). *Samfunnsvitenskapelige metoder*: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- Gujarati, D. N. & Porter, D. C. (2009). *Basic econometrics*. New York: McGraw-Hill. XX, 922 s. : fig. s.
- Hagen, A. (2006). *Tre som brensel i Innlands-Norge*: Fylkesmannen i Hedmark.
- Hognestad, M. Y. (2014). *Varmepumper i yrkesbygg*. Masteroppgave: NMBU.
- Holtmark, B. (2012). Skog, bioenergi og klima. *Samfunnsøkonomen* (4): 10-17.
- IEA. (2013). *Nordic Energy Technology Perspectives - Pathways to a Carbon Neutral Energy Future*: Nordic Energy Research.
- Jacobsen, D. I. (2005). *Hvordan gjennomføre undersøkelser?*: Høyskoleforlaget AS.
- Killingland, M., Magnussen, I. H. & Spilde, D. (2011). *Energibruk i Fastlands-Norge*: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- KMD. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*: Kommunal- og moderniseringsdepartementet.
- Kristoffersen, B. K. (2007). *Enovas nye programstruktur, Varme*. Upublisert manuskript.
- Lie, Ø. (2013). Utfasing av oljefyr kan svekke forsyningssikkerheten. Tilgjengelig fra: <http://www.tu.no/kraft/2013/09/19/utfasing-av-oljefyr-kan-svekke-forsyningssikkerheten> (lest 02.05.2015).
- Miljøverndepartementet. (2012). *Klimameldingen (Meld. St. 21 (2011-2012))*.

- Moses, J. W. & Knutsen, T. L. (2012). *Ways of knowing - competing methodologies in social and political research*: Palgrave MacMillan.
- NOVAP. (2013). *Forbud mot oljefyring fra 2020 gir muligheter og utfordringer*. Tilgjengelig fra: <http://www.novap.no/artikler/forbud-mot-oljefyring-gir-muligheter-og-utfordringer> (lest 04.05.).
- NOVAP. (2014). *Bulletin - Nyhetsbrev fra Norsk varmepumpeforening*.
- NVE. (2011). *Om NVE*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Om-NVE/> (lest 27.01).
- OED. (2007). Rapport fra det interdepartementale arbeidsutvalget for bioenergi: Olje- og energidepartementet.
- Oustad, K. (2008). *Utfasing av oljekjeler i kommunale bygg*: Arendal kommune.
- Sjølie, H. K., Trømborg, E., Solberg, B. & Bolkesjø, T. F. (2010). Effects and costs of policies to increase bioenergy use and reduce GHG emissions from heating in Norway. *Forest Policy and Economics*, 12 (1): 57-66.
- SSB. (1994). *Standard for kommuneklassifisering 1994*.
- SSB. (2015). *Folkemengde, 1. januar 2015, berekna*: Statistisk sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkemengde/aar-berekna/2014-12-18?fane=tabell&sort=nummer&tabell=212146> (lest 07.05.).
- VFK. (2009). *Plan for utfasing av oljekjeler*: Vestfold fylkeskommune. Upublisert manuskript.
- Wooldridge, J. M. (2006). *Introductory econometrics: a modern approach*. Mason, Ohio: Thomson South-Western. XXII, 890 s. : ill. s.
- Zijdemans, D. (2010). *Ut med virkningsgrad*. Nylund, H. K. (red.). Norsk VVS.
- Åserud, R. (2011). *Når oljefyren skal pensjoneres*: Hus & Bolig. Tilgjengelig fra: <http://www.huseierne.no/hus-bolig/tema/oppvarming-og-enok/oljefyr/oljefyr-nar-oljefyren-skal-pensjoneres/> (lest 03.05.).

## 7. Vedlegg

### Vedlegg A: Opprinnelig spørreundersøkelse

#### Spørreundersøkelse

Du mottar denne mailen fordi du i løpet av de seks siste år har søkt om midler fra Enova SF i forbindelse med investering i fornybar nærvarmesentral. Spørreundersøkelsen går ut til alle som har søkt tilskudd gjennom støtteprogrammene «Lokale energisentraler», «Varmesentral forenklet» eller «Varmesentral utvidet».

Jeg er student ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, og skriver for tiden masteroppgave om kostnader forbundet med fornybare nærvarmesentraler. I den forbindelse har jeg noen spørsmål rundt dine erfaringer med investering i og drift av din sentral. Opplysningene vil bli behandlet konfidensielt, og resultatene av undersøkelsen vil ikke kunne spores tilbake til enkeltanlegg.

Undersøkelsen tar ca. 5 minutter.

Det viser seg i mange tilfeller at investeringskostnaden ved installering av en varmesentral er vanskelig å forutse nøyaktig før prosjektet igangsettes. Kostnaden forbundet med selve varmeproduksjonsenheten blir som regel enten høyere eller lavere enn planlagt.

Målet med denne undersøkelsen er å bestemme årsakene til at investeringskostnaden så ofte blir feilestimert. I tillegg vil jeg forsøke å kartlegge erfaringer med drift og vedlikehold av varmesentraler.

Takk for at du tar deg tid til å svare på undersøkelsen og slik hjelpe meg i arbeidet!

**Spørsmål 1: Hvilken teknologi baserer din varmesentral seg på? (Kryss av, eller presiser ved «Annet»)**

	Grunnlast	Spisslast/reservelast
Flis		
Pellets		
Briketter		
Varmepumpe væske/vann		
Varmepumpe luft/vann		
Sol		
Annet		

**Spørsmål 2: Hva er installert effekt på grunnlastenheten(e) i anlegget (i kW)?**

Skriv her:

**Spørsmål 3: Hva er planlagt årlig energileveranse fra grunnlastenheten(e) i anlegget (i kWh)?**

Skriv her:

**Spørsmål 4: Har varmesentralen fungert som forventet med tanke på energileveranse og effektivitet (virkningsgrad)?** Kryss av for både energileveranse og effektivitet.

	Som forventet	Bedre enn forventet	Dårligere enn forventet
Energileveranse			
Effektivitet (virkningsgrad)			

**Spørsmål 4.1**

Dersom du svarte «Dårligere enn forventet» på én eller begge kategorier over, har du noen formening om hva som er årsaken til at sentralen ikke har fungert som forventet?

Skriv her:

**Spørsmål 5: Hva var den planlagte investeringskostnaden for din varmesentral (i kr)?**

Med varmesentral menes her kun selve grunnlastenheten(e). Se bort fra kostnader forbundet med prosjektering og bygging, distribusjonssystemer, varmevekslere og annet teknisk utstyr, og eventuelle borekostnader.

Skriv her:

**Spørsmål 6:** Ble investeringskostnaden for din varmesentral høyere/lavere enn planlagt? Hvis ja, hvor stort var avviket i prosent av planlagt investeringskostnad?

	% av planlagt investeringskostnad
Høyere (angi prosent)	
Lavere (angi prosent)	
Som planlagt (sett kryss)	

Hvis svaret var «Høyere» eller «Lavere» i spørsmål 5, fortsett med spørsmål 6.1. Hvis svaret var «Som planlagt», hopp til spørsmål 7.

**Spørsmål 6.1:** Hva var årsaken(e) til avviket?

Skriv her:

**Spørsmål 7:** Hva anslår du følgende kostnader å være for din varmesentral? Oppgi svaret i enten kr/år eller kr/kWh levert energi, eller gjerne begge deler.

	kr/år	kr/kWh levert energi
Driftskostnader ekskl. brensel		
Vedlikeholdskostnader		

**Spørsmål 8:** I forbindelse med din varmesentral, hvor fornøyd er du med følgende:

	Meget fornøyd	Fornøyd	Nøytral	Misfornøyd	Meget misfornøyd
Brenseltilgang					
Brenselpris					
Driftssikkerhet					

**Spørsmål 8.1:** Eventuelle kommentarer til dine svar i spørsmål 8:

## Vedlegg B: Forenklet spørreundersøkelse

### Spørreundersøkelse

Innledningsvis, hvilken teknologi baserer din varmesentral seg på? (Kryss av, eller presiser ved «Annet»)

	Kryss av
Flis	
Pellets	
Varmepumpe væske/vann	
Varmepumpe luft/vann	
Annet	

Spørsmål 1: Har varmesentralen fungert som forventet med tanke på energileveranse og effektivitet (årsvirkningsgrad)? Kryss av for både energileveranse og effektivitet.

	Som forventet	Bedre enn forventet	Dårligere enn forventet
Energileveranse			
Effektivitet (årsvirkningsgrad)			

Spørsmål 2: Har drifts- og vedlikeholdskostnadene (eksklusive brenselkostnader) vist seg å bli høyere/lavere enn antatt? Hva er i så fall den viktigste årsaken til dette?

**Spørsmål 3: I forbindelse med din varmesentral, hvor fornøyd er du med følgende:**

	<b>Meget fornøyd</b>	<b>Fornøyd</b>	<b>Nøytral</b>	<b>Misfornøyd</b>	<b>Meget misfornøyd</b>
<b>Brenseltilgang</b>					
<b>Brenselpris</b>					
<b>Driftssikkerhet</b>					

**Kommentarer til dine svar:**

**Dersom varmesentralen ikke har fungert som forventet, hva er de viktigste årsakene til dette? Har du eventuelt andre kommentarer angående drift og vedlikehold av din varmesentral?**

**Tusen takk for at du tok deg tid til å besvare undersøkelsen!  
Mvh Kristin Johansen**





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)