





## Forord

Denne masterutredningen utgjør avsluttende del av masterstudiet Fornybar Energi ved Norge miljø-og biovitenskapelige universitet. Masteroppgaven er utført ved Institutt for Naturforvaltning under veiledning av Erik Trømborg.

Utredningen tar for seg lønnsomhet for varmepumper i yrkesbygg i fremtidige energiscenarier. Problemstilling har tilknytning til prosjektet FlexElTerm, hvilket er et samarbeidsprosjekt mellom NMBU og flere næringslivsaktører. Prosjektet sikter mot å bidra til effektiv samspill mellom termisk energi og kraftsystemet. Valg av tema for oppgaven bunner i egen interesse for fornybar energi, oppvarmingsteknologier samt et samfunn og kraftmarked med fokus på klimavennlige løsninger.

Arbeidet har vært omfattende, krevende og ikke minst meget lærerikt. Med økt innsikt i temaet har forståelsen gradvis økt gjennom prosessen, og det har vært et spennende arbeid.

Jeg vil gjerne benytte anledningen til å takke min veileder Erik Trømborg for gode og fornuftige innspill, konstruktive tilbakemeldinger og strukturert oppfølging gjennom hele prosessen. Jeg må også takke Hallvard Benum ved Kongsberg Kommunale Eiendom som har vært svært hjelpelig i forbindelse med innsamling av data, samt bistått med sin erfaring og ekspertise ved flere anledninger. I tillegg vil jeg takke Maria Spångberg ved NordPool Spot for rask og hjelpsom tilbakemelding ved innsamling av data.

Til slutt vil jeg også takke familie og venner for god støtte og rådgiving underveis.

Oslo, Mai 2014

Martine Yttervik Hognestad

## Abstract

The European Commission enacted in 2007 binding legislation to ensure that the EU meets its ambitious 20-20-20-objectives. When the climate package was incorporated into the EEA Agreement and then in Norwegian law through the Renewable Energy Directive in 2009, binding national objectives was established. That implies a share of 67.5 percent renewable energy in Norway by 2020. Replacing heating systems dependent on fossil fuels with technologies using renewable energy is a step towards achieving the renewable energy target. The heat pump produces heat by using geothermal energy, and is an energy efficient technology associated with low operation costs and emissions.

With change in future spot prices, grid-costs, power requirements and investment costs, is the heat pump a profitable and electricity saving option for non-residential buildings? By conducting analysis of heating systems in non-residential buildings using oil boiler, electric boiler and heat pump, the goal is to reveal revenues, expenses and net present value of future energy scenarios. What are the potential social and environmental effects of the transition to a system based on electricity?

The analysis is conducted in the model EnergyPro, a Software package for combined technical - economic analysis and optimization of the operation of complex energy systems. The material is obtained from a case in Kongsberg Municipality, an energy efficiency project where the installation of heat pumps in 18 non-residential buildings was completed in 2013. Necessary additional material is obtained from other sources.

Studies show a clearly positive result for installation and operation of the heat pump in non-residential buildings. The heat pump has significantly higher profitability compared to the oil boiler. The system is solid to change in consumption profile, efficiency requirements and operating and investment costs, due to the efficient energy consumption and thus low power consumption of the heat pump. There is some uncertainty relating to the investment costs and the lifetime of the heat pump, which require further investigation.

Based on profitability assessment in the analysis, operators should certainly expect that the transition from a heating system based on fuel oil to a system using heat pump, would in a commercial building with existing hydronic heating become a financial success. Assessment of social and environmental effects indicates national and global profit from reduced greenhouse gas emissions, in addition to increased renewable energy production due to higher electricity consumption.

## Innholdsfortegnelse

Forord .....	2
Sammendrag .....	4
<b>1. INNLEDNING .....</b>	<b>5</b>
1.1 Bakgrunn .....	5
1.2 Problemstilling .....	7
1.3 Plan for oppgaven.....	8
<b>2. VARMEPUMPEN – UTVIKLING AV TEKNOLOGI OG BRUK.....</b>	<b>9</b>
2.1 Virkemåte .....	9
2.2 Historikk .....	11
2.3 Globalt omfang.....	11
2.4 Bruk i Norge.....	12
2.4 Energibruk og økonomi .....	13
<b>3. MODELLEN ENERGYPRO .....</b>	<b>16</b>
3.1 energyPRO.....	16
3.2 Materiale .....	19
3.3 Forutsetninger .....	19
3.4 Basisscenarioer .....	24
<b>4. ANALYSE.....</b>	<b>26</b>
4.1 Basisscenario.....	26
4.2 Følsomhetsanalyse.....	29
<b>5. DISKUSJON, RESULTATER OG KONKLUSJON .....</b>	<b>34</b>
5.1 Material og metode .....	34
5.2 Resultater .....	35
5.3 Konklusjon .....	41
Referanseliste:.....	43

## Sammendrag

EU-kommisjonen vedtok i 2007 bindende lovgivning for å sikre at EU møter sine ambisiøse 20-20-20-mål. Da klimapakken ble innlemmet i EØS-avtalen og deretter i norsk lov gjennom fornybardirektivet i 2009, ble bindene nasjonale mål etablert. For Norge betyr det en andel på 67,5 prosent fornybar energi i 2020. Et steg på veien mot å nå fornybarandelen er å erstatte oppvarmingssystemer som benytter fossile energikilder med energivennlige teknologier. Varmepumpen utnytter grunnvarme for produksjon av varme, og er en svært energieffektiv teknologi forbundet med lave driftskostnader og utslipp.

Er varmepumpe et lønnsomt og elektrisitetsbesparende alternativ for et yrkesbygg dersom fremtidig spotpris, nettleie, energi-og effektbehov, virkningsgrad og investeringskostnader endres i stor grad? Ved å gjennomføre analyser av oppvarmingssystemer i yrkesbygg med både oljekjel, elektrisk kjel og varmepumpe, er målet å avsløre inntekter, utgifter og nåverdi ved fremtidige energiscenarioer. Hva er eventuelle samfunns-og miljøeffekter ved omlegging til et system basert på elektrisitet?

Analysen blir gjennomført i modellen energyPRO, en Software for kombinerte teknisk-økonomiske analyser og optimalisering av drift av komplekse energisystemer. Materialet hentes fra en case i Kongsberg Kommune, et enøk-prosjekt hvor installering av varmepumper i 18 yrkesbygg ble gjennomført i 2013. Nødvendig tilleggsmateriell hentes fra andre kilder.

Analysene viser et tydelig positivt resultat for installasjon og drift av varmepumpe i yrkesbygg. Sammenlignet med oljekjel har varmepumpe betraktelig høyere lønnsomhet. Grunnet varmepumpens effektive energiforbruk og dermed lave elektrisitetsforbruk er systemet robust mot endret forbruksprofil, virkningsgrad, drifts- og investeringskostnader. Det er noe usikkerhet relatert til investeringskostnader samt levetid for varmepumpen, her kreves ytterligere undersøkelser.

Basert på lønnsomhetsvurdering i analysen, bør aktører med sikkerhet kunne forvente at omlegging fra et oppvarmingssystem med oljekjel til varmepumpe i et yrkesbygg med eksisterende vannbåren varme blir en økonomisk suksess. Vurdering av samfunns- og miljøeffekter indikerer nasjonal og global gevinst i form av reduserte klimagass-utslipp, i tillegg vil et økt elektrisitetsforbruk være en drivkraft for satsing på fornybar energiproduksjon.

## 1. INNLEDNING

### 1.1 Bakgrunn

EU-kommisjonen vedtok i mars 2007 bindende lovgivning for å sikre at EU møter sine ambisiøse klima- og energimål for 2020. Målene, kjent som 20-20-20-målene, fremhever tre hovedmålsettinger for 2020; 20 % reduksjon i utslipp, 20 % av energibruk produsert fra fornybar energi, samt 20 % økning i energieffektivitet (European Commission 2014). Klimapakken ble innlemmet i Norsk lov da klimapakken ble implementert i EØS-avtalen gjennom fornybardirektivet i 2009. Hensikten med fornybardirektivet er å sikre et langsiktig samarbeid i Europa for å fremme produksjon og bruk av fornybar energi. Direktivet etablerer et felles rammeverk og setter bindene nasjonale mål. Norges mål i fornybardirektivet er en andel på 67,5 prosent fornybar energi i 2020. I tillegg skal alle medlemslandene ha en andel på 10 prosent fornybar energi i transportsektoren i 2020 (Regjeringen 2011).

Et tiltak i kampen for høyere fornybarandel i Norge er å finne alternativer til bruk av fossile energikilder til oppvarming av boliger og yrkesbygg. Lokaliseringen relativt langt nord gjør at Norge har lave temperaturer deler av året, og dermed høyt behov for oppvarming av både rom og tappevann. I dag finnes mange bygg med oljefyr som grunnlast, i tillegg har flere en elektrisk kjel som spisslast for spesielt kalde eller energikrevende perioder, eller som sommerlast når oppvarmingsbehovet er lite. Stortinget har gjennom klimaforliket, hvilket er en ytterligere konkretisering av virkemidlene i klimameldingen, vedtatt ny teknisk forskrift (TEK10) som trådte i kraft 1.juli 2010 (Regjeringen 2012a). Det ble da innført forbud mot å installere oljekjel som grunnlast i nye bygg. Forskriften skal sikre at bygg planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god kvalitet, universell utforming, sikkerhet, helse og miljø.



Videre spesifiseres at bygninger over 500m<sup>2</sup> skal prosjekteres og utformes slik at minimum 60 % av netto varmebehov kan dekkes med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet og fossile brensler. For bygg under 500 m<sup>2</sup> er kravet 40 % fornybar energi til oppvarming (Regjeringen 2012a). Grunnlast utgjør vanligvis 70-90 % av bygningens varmebehov over året. Stortinget har i tillegg vedtatt utfasing av omtrent 20 000 eksisterende oljefyringsanlegg i kommunale bygninger, næringsbygg og idrettsanlegg (Stortinget 2012). Aktuelle løsninger for å tilfredsstille dette kravet kan være å erstatte olje eller el-kjeler med være nær- og fjernvarme, hvor en varmepumpe eller biomassekjel er den energigivende teknologien.

Med endring og mulig økning i elektrisitetspriser, samt politikk som satser på utskifting av teknologier som benytter seg av fossile energikilder, følger også et økt fokus på alternative og energieffektiviserende systemer for oppvarming av boliger og yrkesbygg. Det oppleves allerede en jevn vekst i priser på elektrisk kraft, de siste 20 årene har det vært økning fra 39 øre/kWh i 1993 til 67,1 øre/kWh i 2012, dette gjelder for husholdninger (SSB 2011c). Det er vanskelig å forutse hvordan prisene vil utvikle seg i fremtiden, men å følge denne trenden vil gi jevn vekst fremover.

Kombinasjonen av nevnte faktorer vil skape behov for energieffektivisering samt redusert bruk av olje til oppvarming. En løsning på utfordringene kan være installasjon av varmepumper i både husholdninger og større bygninger. Denne teknologien har utviklet seg raskt og i stor grad, og er nå enkel og sikker i bruk. Varmepumpen oppnår svært høy virkningsgrad ved å benytte fornybar energi i form av omgivelsesvarme eller spillvarme, slik at behovet for levert energi til oppvarming reduseres med 50 til 80 % i forhold til direktevirkende oppvarmingssystemer. Årlig varmeleveranse fra varmepumper i Norge var i 2010 estimert til å være 8 til 9 TWh, og potensialet for ny varmeleveranse fra varmepumper fram mot 2020 er beregnet til å være 10 til 14 TWh (Energi 21 2010).

På tross av stor økning av antall installerte varmepumper de siste årene, er teknologien fremdeles relativt ny, og varmepumper i yrkesbygg har snever utbredelse i forhold til andre oppvarmingsteknologier. Dette medfører mangel på data og statistikk forbundet

med installasjon og drift av varmepumpe. Det er derfor vanskelig å vite eksakte kostnader for et system med varmepumpe. Som en teknologi med behov for elektrisitet, vil bruk av varmepumpe naturligvis føre til økt strømforbruk i forhold til f.eks. forbrennings-teknologier. Dette vil kunne påvirke forsyningssikkerheten; i perioder med lite nedbør eller svært lave temperaturer kan det oppstå vanskelige situasjoner hva angår strømforsyning.

Varmepumpens forbruk av elektrisitet kan også ha påvirkning på effektbalansen. Å opprettholde effektbalansen vil si å sikre balanse mellom momentane endringer i produksjon og forbruk. I Norge er periodene med maksimalt effektuttak månedene november til mars når etterspørsel etter elektrisk romoppvarming er på sitt høyeste. Til tross for at en situasjon med behov for maksimal effekt inntreffer sjelden, må kraftsystemet være utformet på en måte som gjør det i stand til å dekke maksimal etterspørsel. En slik sikring innebærer å opprettholde tilstrekkelig margin mellom regulerbar produksjonskapasitet og effektuttak, samt å sikre tilstrekkelig overføringskapasitet til områdene med høy etterspørsel. Varmepumpens innvirkning på slik etterspørsel avhenger av to faktorer; hva slags oppvarmingssystem som erstattes, og i hvilken grad varmepumpen makter å levere høy varmeeffekt (COP) i perioder med høy effektetterspørsel (Adapt Consulting 2011).

## 1.2 Problemstilling

Hovedproblemstilling er å analysere lønnsomhet og el-forbruk ved installasjon og bruk av varmepumper i yrkesbygg, og mer spesifikt analysere:

Hvordan kostnader, inntekter og nåverdi vil utvikle seg for et system med varmepumpe dersom fremtidige energiscenarier medfører endring av energibehov og effektbehov, uregelmessig økning av kraftpriser, nettleie og installasjonskostnader, samt lavere virkningsgrad. Ved installasjon av varmepumpe, er nåverdi bedre eller dårligere sammenlignet med et system der oljekjel allerede er installert, dersom det beregnes for en periode på 15 år?

Hvor følsomt er systemet bestående av et yrkesbygg med varmepumpe for endring av forbruksprofil og energi- og effektbehov? Vil el-forbruk og lønnsomhet påvirkes betraktelig ved justering av forutsetninger og parametere?

Er installasjon og drift av et varmepumpeanlegg i yrkesbygg lønnsomt i fremtiden dersom fremtidige kraftpriser og nettleiepriser økes betraktelig i forhold til dagens nivå? Varmepumpens samfunns- og miljømessige effekt diskuteres.

Problemstillingene analyseres ved hjelp av modellen energyPRO. energyPRO benyttes til å modellere og optimalisere simulert drift av et anlegg over en planlagt periode, gitt bestemte teknisk-økonomiske forutsetninger. Basert på den optimale anleggsdriften, benyttes den resulterende nåverdien som nøkkeltierium for å vurdere de inkluderte alternativene.

Oppgaven gjennomføres ved å samle inn data som deretter analyseres vha. modellen. Kommuner samt aktører i bransjen kontaktes for innsamling av nødvendig materiale som benyttes til analysene.

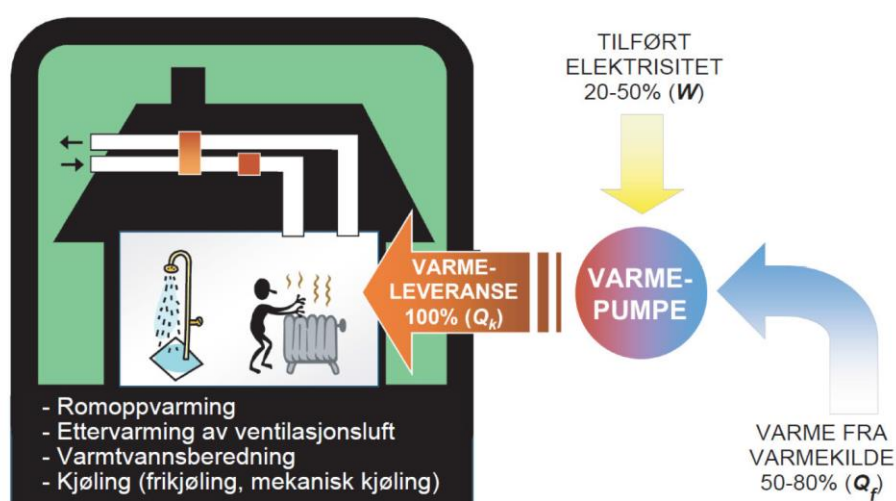
### **1.3 Plan for oppgaven**

Oppgaven følger internasjonal standard for vitenskapelige artikler. Ved behov deles kapitlene i underkapitler for en mer oversiktlig og strukturert oppgave. I kapittel 2 beskrives kort virkemåte og utvikling av varmepumper, samt bruk og potensiale for økt bruk av varmepumper i Norge. Kapittel 3 beskriver modellen energyPRO og anvendelse av denne. Videre følger analyse med resultater i kapittel 4 og deretter diskusjon samt konklusjon i kapittel 5.

## 2. VARMEPUMPEN – UTVIKLING AV TEKNOLOGI OG BRUK

### 2.1 Virkemåte

En varmepumpe er en maskin som transporterer enten omgivelsesvarme fra en fritt tilgjengelig varmekilde (luft, jord, sjøvann) eller overskuddsvarme (avfall, ventilasjon) med moderate temperaturer, og leverer varme med høye temperaturer til en varmeforbruker. Varmepumpeprosessen drives ved å tilføre høyverdig energi (eksergi), som i de fleste tilfeller vil være elektrisitet (NOVAP 2010).



Figur 2.1 Prinsipp varmepumpe – varmeopptak fra fritt tilgjengelig ekstern varmekilde, elektrisitetstilførsel og varmeleveranse (NOVAP 2010)

Maskinen består i aller enkleste form av fire hovedkomponenter; fordamp, kompressor, kondensator og strupeventil. Disse er koblet sammen av et lukket rørsystem med et sirkulerende arbeidsmedium. Ved å gjennomgå ulike tilstandsendringer transporterer mediet varme fra varmekilden til varmeforbrukeren (NOVAP 2010).

Varmepumpen kan produsere både varme og kjøling, og brukes i boligbygg, større bygninger, svømmehaller og andre haller, fjernvarme- og fjernkjølesystemer samt nærvarmeanlegg. De mest vanlige varmekildene som benyttes er sjøvann, ferskvann, grunnvann, grunnvarme, jord, uteluft, kloakk, ventilasjonsluft, gråvann eller kjølevann (SINTEF 2000).

For større bygninger som yrkesbygg er varmemediene sjøvann, grunnvarme og uteluft mest aktuelt, og i denne analysen forutsettes grunnvarme som varmekilde da dette benyttes i Kongsberg Kommune. Den enkleste måten å dimensjonere en varmepumpe i et større bygg er ved kun å la den dekke romoppvarming og oppvarming av ventilasjonsluft. I flere bygninger av typen hotell, sykehjem, skoler og idrettshaller er det riktignok et stort behov for oppvarmet vann, og det vil i mange tilfeller være aktuelt å la varmepumpen dekke dette behovet. Ved å la varmepumpen sørge for oppvarming av varmtvann vil driftstiden øke og den generelle lønnsomheten for anlegget bedres (SINTEF 2000).

Grunnvarme er en fellesbetegnelse på uttak og eventuell tilbakeføring og lagring av varme ved moderat temperatur i grunnvann, fjell og jord. Grunnvann har en temperatur på 3-8 grader, og denne relativt konstant over året (NOVAP 2010, 11). Ved større dyp enn 10-15m er temperaturen nær uavhengig av årstiden, og tilsvarer middeltemperaturen på stedet. Av denne grunn øker kvaliteten på energikilden i forhold til mange andre kilder (Statsbygg).

Brønnene bores ned til 10-40 meter i løsmasser og til maks 300 meter i fjell. Fjell har tilnærmet samme temperatur som grunnvann, og det bores en eller flere brønner med 80-250 meters dybde. I bergvarmeanlegg med flere brønner er det vanligvis nødvendig å tilbakeføre varme til brønnene utenom fyringssesongen, da varmetilførsel fra omkringliggende berg er utilstrekkelig for å opprettholde temperaturen over tid. Med reduserte temperaturer reduseres blant annet varmepumpens ytelse og effektfaktor (NOVAP 2010, 11-12). Tilbakeføring av varme kan gjennomføres ved å benytte varmepumpen til avkjøling på sommeren, da hentes avkjølt vann fra brønnen og varmt vann returneres.

Effektfaktor (COP) for en varmepumpe angir anleggets energieffektivitet ved en gitt driftstilstand. Den beregnes som forholdet mellom avgitt varmeeffekt fra anlegget (kW) og tilført elektrisk effekt (kW) til kompressorene og eventuell vifte integrert i varmepumpeaggregatet. Ved en effektfaktor på 3 tilføres varmepumpen 1 kW og avgir 3

kW. Varmepumper for bygningsoppvarming oppnår vanligvis en effektfaktor på mellom 2 og 5, og jo høyere den er, desto høyere energisparing (NOVAP 2010, 6).

COP avtar typisk med 2 til 3 % per grad økning i kondenseringstemperaturen eller senkning i fordampingstemperaturen. Ved å utnytte en varmekilde med relativt høy temperatur og levere varme ved relativt moderat temperatur, arbeider varmepumpen med minst mulig temperaturløft (NOVAP 2010, 7). Ved moderate temperaturløft (20-25 grader) er det vanlig med en COP på 3-4 (Varmepumpetest).

## 2.2 Historikk

Den første varmepumpen i Norge ble bygget til inndamping av sjøvann for å produsere salt i 1918, et prinsipp som i dag er like anvendelig, blant annet i meieri og treforedlingsindustrien. Det ble deretter i 1920 og 1930-årene bygget en rekke varmepumper til nettopp dette formålet i industrien. Slike anlegg har svært stor varmeproduksjon, men konkurrerer med andre energibesparende inndampingsmetoder, og er derfor normalt ikke inkludert i varmepumpestatistikken som utarbeides (Energilink).

Videre utvikling av varmepumpen har vært knyttet til undervisning og forskning på NTNU, og den aller første varmepumpen brukt til å varme opp en større bygning i Norge ble installert i 1964 og var uteluftbasert. Først etter energikrisen i 1973 ble det stor interesse for varmepumper. I årene som fulgte ble det bevilget offentlige midler og opprettet tilskudd og bistand til arbeid med varmepumper, hvilket har resultert i betydelige innspill til kommende prosjekter som vurderte varmepumpens bidrag til redusert energibruk i Norge (Energilink).

## 2.3 Globalt omfang

Varmepumper basert på grunnvarme er en av de raskest voksende teknologier innen fornybar energi i verden, med en årlig økning på 10 % i omkring 30 land fra 1994 til 2004. Hovedfordelen ved varmepumpen er at den utnytter normale grunn- eller grunnvannstemperaturer, hvilket er tilgjengelig i alle land i verden (Lund m.fl. 2004). Det er allikevel store regionale variasjoner i grunnforhold og sesongtemperaturer, noe

som påvirker effektiviteten hos enhetene. For øyeblikket står fem land – USA, Kina, Sverige, Norge og Tyskland for 77 % av geotermisk varmepumpekapasitet globalt, og mest kapasitet eksisterer i kalde klimaer. I 2010 utnyttet 78 land i verden geotermisk energi, hvor geotermiske varmepumper utgjorde 50 % av markedsandelen. Geotermiske varmepumper sto i 2010 for 59 662 GWh/år i benyttet termisk energi (Pike Research 2011).

## 2.4 Bruk i Norge

Tabell 2.1 gir oversikt over beregnet antall varmepumper i Norge 2009, basert på akkumulerte salgstall. Tallene er justert for antall varmepumper som har gått over sin tekniske levetid, den begrensede levetid som forutsettes er for luft-luft varmepumper 10 år, for vann/berg-vann 20 år og for luft-vann 15 år (Adapt Consulting 2011).

Tabell 2.1. Antall installerte varmepumper i Norge 2009 (Adapt Consulting 2011)

Gjennomsnittlig effekt	7 kW	17 kW	40 kW	75 kW
Vann/berg-vann	18154	1747	895	586
Luft-luft	428236	3312	539	32
Luft-vann	12027	2105	969	735

Novap anslo i april 2013 at det frem til da var solgt omtrent 750 000 varmepumper i Norge, hvor 90 % var luft til luft-varmepumper. Salg av varmepumper og nyinstallasjon i eksisterende boliger henger tett sammen med prisen på elektrisitet. For boliger og det øvrige markedet er drivkreftene byggeaktivitet, byggeskikk, myndighetskrav, støtteordninger og tilbudssiden. I markedssegmentet yrkesbygg gir forskriftskrav for andel fornybar energi god drahjelp. Det finnes 200 000 yrkesbygg med potensiale for installasjon av varmepumpe (Novap 2013).

For å vurdere potensiale for økt bruk av varmepumpen samt utvikling i energiintensitet er det nyttig å vite hvordan energibruken fordeler seg mellom ulike formål. I bygninger skilles bruken mellom el-spesifikt forbruk, som f.eks. belysning og elektriske apparater, og varmemeforbruk, som også kan dekkes av annet enn elektrisitet. Varmeforbruk omfatter romoppvarming og tappevannsoppvarming. Grunnen til at vi har høy andel elektrisitet i energibruken er at vi i stor grad bruker elektrisitet til oppvarming, men det finnes ingen statistikk for formålsfordelingen av elforbruket. NVE anslår imidlertid at 70 % av

energibruken i husholdningen går til oppvarming av rom og tappevann (Regjeringen 2012b).

Samlet energibruk i yrkesbygg var 29,4 TWh i 2009. Av dette står elektrisitet for 80 %, mens fyringsolje står for 9 % og fjernvarme 7 %. De fleste typer yrkesbygg bruker en lavere andel energi til oppvarming enn boliger. Det avhenger særlig av hvilke tjenester som produseres og bygningens driftstid. Av yrkesbygg er det kontorbygg som har størst andel energibruk til oppvarming (Regjeringen 2012b).

## 2.4 Energibruk og økonomi

Når det gjelder varmepumpens energibruk, vil en varmepumpe med SPF faktor (spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegget) på 3 øke strømforbruket med 0,33 kWh for hver kWh som leveres av ikke-elektriske varmesystemer, og redusere etterspørselen med 0,67 kWh for hver kWh som leveres av elektriske varmesystemer, se tabell 2.2 (Adapt Consulting 2011). Det vil si at ved å erstatte en oljekjel med en varmepumpe øker elektrisitetsforbruket med 30 %.

Tabell 2.2. Endret kraftforbruk ved konvertering til varmepumper (Adapt Consulting 2011)

kWh	Leverte energi	Virkningsgrad	Netto varmebehov	Strømforbruk med varmepumpe	Netto endring strømforbruk
Fossilbrensel	1,30	75%	1,0	0,33	0,33
Fjernvarme	1,00	100%	1,0	0,33	0,33
Ved, avlut, avfall	1,39	72%	1,0	0,33	0,33
Elektrisitet	1,00	100%	1,0	0,33	-0,67

Varmepumpen har i tillegg høy virkningsgrad; for oppvarming av boliger er den vanligvis mellom 2 og 5. Av den grunn er teknologien meget energieffektiv og besparende i forhold til andre teknologier med lavere virkningsgrad. Allikevel viser det seg at husholdninger som installerer varmepumper ikke alltid oppnår en slik besparelse, som man kan se av tabell 2.3.



Tabell 2.3. Gjennomsnittlig energiforbruk for husholdninger med og uten varmepumpe. kWh tilført energi (SSB 2011b)

	Boliger med boligareal mellom 100 og 149 m <sup>2</sup>				Boliger med boligareal over 149 m <sup>2</sup>			
	Total energi	Elektrisitet	Olje og parafin	Ved, kull og koks	Total energi	Elektrisitet	Olje og parafin	Ved, kull og koks
<b>2004</b>								
Husholdning uten varmepumpe	23092	18073	1069	4179	30771	21058	3020	6052
Husholdning med varmepumpe	19051	16006	385	2017	30762	25055	598	4057
<b>2006</b>								
Husholdning uten varmepumpe	24090	17055	1011	5083	32056	23030	2048	6001
Husholdning med varmepumpe	26021	19044	1061	5076	29076	23093	1084	4016
<b>2009</b>								
Husholdning uten varmepumpe	23036	17073	1042	4038	31007	23021	2001	5013
Husholdning med varmepumpe	22017	17039	3	4007	27011	23043	462	3005

Det er påvist at brukeren i enkelte tilfeller etter installasjon av varmepumpe øker sitt energiforbruk, eller benytter mer energi enn husholdninger med andre oppvarmingssystemer. Dette kan skyldes flere grunner, blant annet endring av adferd hos forbrukeren. En undersøkelse av husholdninger med installert varmepumpe viser at omtrent 25 prosent har økt innetemperatur etter anskaffelse, mens 33 prosent sier de varmer opp flere rom enn før anskaffelse av varmepumpe. Om lag 25 prosent benytter varmepumpen til kjøling i varme perioder. Fordi kunden opplever reduksjon i elektrisitetsutgifter ved å benytte seg av en teknologi som krever mindre energi for å gjøre likt arbeid, kan ønske om komfort øke. En annen grunn til at strømforbruket øker er at mange reduserer bruk av ved eller olje fordi varmepumpen er enkel i bruk, og fordi strøm til oppvarming i praksis er billigere. Husholdningen tar dermed ut tilnærmet hele energibesparingspotensialet i økt komfort (SSB 2011a).

I yrkesbygg oppstår ikke problematikken rundt økt komfort ved installasjon av varmepumpe i like stor grad som for husholdninger, grunnet et mer fastsatt energibehov som ikke endes nevneverdig etter bytte av system. I tillegg er kjøling av bygg noe som allerede anvendes. For et yrkesbygg er innetemperaturen den samme, like store mengder varmtvann kreves, og antall rom som varmes opp forblir uendret. Det er dermed et større energibesparingspotensial å finne ved å installere varmepumper i slike bygg, og dermed også potensielt større økonomisk gevinst. På tross av at varmepumper

er noe dyrere i innkjøp enn rene el- eller oljebaserte systemer, kan investeringen bli meget lønnsom grunnet varmepumpens energibesparelse (Statsbygg).

### *Andre undersøkelser*

I artikkelen "Varmepumper og Elforbruk" gjennomført av Christensen m. fl i 2011 undersøkes hvorvidt en elforbruk-reduksjon med faktor på 3-4 sammenlignet med tradisjonelle el-paneler faktisk oppnås i praksis, eller om besparingspotensialet omsettes til økt komfort i form av høyere inne-temperatur, økt oppvarmingsareal, lengre oppvarmingssesong, bruk til kjøling i sommerperioden og lignende. Prosjektet har fokusert på luft til luft varmepumper som er satt opp som erstatning for tradisjonelle panel-ovner, både til helårsboliger og sommerboliger. På bakgrunn av prosjektets resultater konkluderes det at den gjennomsnittlige el besparelse i helårsboligene er ca. 23 %, hvilket er noe mindre enn den teoretisk potensielle besparelsen. Forklaringen finnes i en rekke forskjellige forhold knyttet til endrede komfortpraksiser (Christensen m.fl. 2011).

I en amerikansk masteroppgave ble energi-ytelse og økonomi for et geotermisk varmepumpesystem i to større bygninger i Virginia vurdert. Formålet med oppgaven var å forstå energi og kostnadsfordelene til det geotermiske varmepumpesystemet gjennom sammenligning med en konvensjonell systempakke med ventilasjon, aircondition, varmtvannsbereider og luft-varmepumpesystem vha. data-simuleringer og statistiske modeller. Resultater viser at kostnadsbesparelsene ved å bruke det geotermiske varmepumpesystemet sannsynligvis ikke vil overvinne den opprinnelige investeringskostnadsforskjellen mellom det geotermiske systemet og alternative systemer. Dette grunnet de høye boringsutgiftene som medfølger geotermiske varmepumper (Dr. J. R. Jones, Professor R. Schubert og Dr. J. Randolph 2008).

### 3. MODELLEN ENERGYPRO

I dette kapitlet presenteres metode samt relevant materiale for oppgaven.

#### 3.1 energyPRO

Modellen er en Windows-basert Software pakke for kombinerte teknisk-økonomiske analyser, samt optimalisering av komplekse energiprojekter hvor elektrisitetstilførsel leveres fra flere forskjellige energiproduserende enheter. energyPRO har en unik programmering som gjør at optimaliseringen av driften kan inneholde energilagring (gjennom varme, brensel, kulde eller elektrisk lagring) samt både tekniske og finansielle parametere. Dette for å sikre en detaljert oversikt over leveranse av den definerte energietterspørselen, inkludert varme, kjøling og elektrisitetsforbruk. Brukeren blir i tillegg tilbudt en detaljert finansiell plan, utarbeidet i et standardformat som aksepteres av internasjonale banker og finansieringsinstitusjoner. energyPRO tillater at daglig optimalisering av drift utformes mot faste skatter og avgifter for elektrisitet, eller mot spotmarkedets priser. Programmet sørger også for at brukeren kan kalkulere og utforme en rapport med oversikt over utslipp fra det foreslåtte prosjektet. energyPRO er en brukervennlig, avansert og fleksibel modell for analyse av flerdimensjonale energiprojekter (EMD International AS 2013).

I energyPRO blir energietterspørsel spesifisert ved å bruke samlet årlig etterspørsel kombinert med timesbaserte distribusjonsdata. Etterspørsel kan være varme, kjøling eller elektrisitetsetterspørsel. Det er også mulig å dele opp områder i separate markeder med forskjellig etterspørsel. Disse områdene kan være sammenkoblet av brukerdefinerte overføringskabler for varme eller kjøling dersom nødvendig, men kapasitet mellom områdene vil være ubegrenset (Østergaard 2011).

Etterspørselen dekkes av en rekke energikonverteringsenheter som forsynes av brukerdefinerte brenslere tildelt de forskjellige områdene. Konverteringsenheter er generelt definert av installert kapasitet, effektivitet og brenslere. Spesifisering av delvis last kan defineres i tillegg, og også produksjon som funksjon av driften av andre energikonverteringsenheter. Varmelagre defineres av volum, øvre og nedre temperaturnivåer samt grad av utnyttelse. Tap av varmelagre kan defineres ved å

beskrive tykkelse på isolasjon, termisk ledningsevne og omgivelsestemperatur (Østergaard 2011).

Når det gjelder operasjonsstrategi, kan hver konverteringsteknologi tildeles en prioritet, delvis last kan tillates eller ikke, og produksjon til lagringsformål kan tillates eller ikke. En oljekjel kan altså foretrekkes fremfor en solfanger. Modellen kan kjøres i en modus uten tilgang til eksterne systemer, eller i en modus med "nødvendig utveksling av elektrisitet til elektrisitetsmarkedet." Den siste tillater import/eksport dersom ingen andre alternativer er tilgjengelige (Østergaard 2011).

### *Andre studier*

Modellen er tidligere benyttet i andre forskningsprosjekter med lignende vinkling, blant annet artikkelen "Large-Scale Heat Pumps in Sustainable Energy Systems: System and Project Perspectives" skrevet av Morten B. Blarke og Henrik Lund. I artikkelen undersøkes økonomisk kostnadseffektivitet og fleksibilitet i et eksisterende CHP-anlegg der storskala varmpumper installeres. Av artikkelen fremkommer at integrasjon er kritisk sensitiv til varmpumpens operasjonelle tilstand og dens ytelse, som hovedsakelig er gitt av varmekildens temperaturnivå. Motivasjon for benyttelse av energyPRO til analyseformål er her behovet for en optimaliseringsmodell for et typisk CHP-anlegg både med og uten varmpumpe. energyPRO brukes til å optimalisere simulert drift av anlegget over planleggingsperioden under gitte teknisk-økonomiske begrensninger, noe få andre verktøy gjør (Blarke og Lund 2007).

I artikkelen "Comparing Electricity, Heat and Biogas Storages' Impact on Renewable Energy Integration" skrevet av Poul A. Østergaard anvendes energyPRO til å undersøke energisystemer med forskjellige lagre. Dette i forbindelse med økt bruk av energikilder med svingende energitilførsel, og dermed behov for fleksibilitet i energisystemet for å imøtekomme disse. Valget om å benytte energyPRO til analysene ble tatt på grunnlag av behov for å analysere påvirkning fra alternative lagringsteknologier, samt at modellen er skreddersydd for prosjektanalyser med spesifikke anlegg. I tillegg oppnår man ved bruk av energyPRO bedre brukerkontroll av driften for hvert enkelt anlegg (Østergaard 2011).

Studien "The Potential for Thermal Storage to Reduce the Overall Carbon Emissions from District Heating Systems", skrevet av M. Martin og Dr P. Thornley i 2013 undersøker hvilket potensial termisk lagring har for fjernvarmesystemets ytelse. Hovedkriteriet er systemets generelle karbonutslipp. Resultatet presenteres ved å modellere et eksisterende CHP-DH (Combined Heat and Power- District Heating) system både med og uten termisk lager, med det mål å demonstrere hvorvidt lageret kan føre til økt reduksjon av karbon (Martin og Thornley 2013).

energyPRO Software ble benyttet for modellering og analyser av CHP DH systemet. De valgte å bruke energyPRO da den i en nylig sammenligning av tilgjengelige energimodeller ble identifisert som en kraftig og fleksibel applikasjon som tillater brukeren å utføre en omfattende, integrert og detaljert teknisk og finansiell analyse av kraftvarme-systemer (Martin og Thornley 2013).

Som nevnt ovenfor ble energyPRO sammenlignet med 36 andre verktøy i artikkelen "A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into Various Energy Systems", skrevet av D. Connolly, H. Lund, B.V. Mathiesen og M. Leahy i 2009. Av studien fremkom evnen energyPRO besitter til å analysere og modellere et komplett system, fra produsent til forbruker. Det er en flersidig applikasjon som utfører både tekniske og finansielle analyser hvilket gjør den godt egnet til bruk i denne sammenheng (Connolly m.fl. 2009).

I dette studiet analyseres hvordan endring av variabler påvirker lønnsomhet og valg av løsning for oppvarmingssystemet i yrkesbygg. Gjennom å utarbeide et basisscenario for et gjennomsnittlig yrkesbygg, modellere dette i energyPRO og deretter endre variablene, vil eventuell følsomhet for endring påvises. Modellen energyPRO er et utmerket verktøy i denne forbindelse, med de rette egenskapene for å gjennomføre fullstendige og pålitelige analyser. Jeg ble tildelt en seks måneders student-lisens for programmet energyPRO fra EMD International A/S for bruk i studiet.

## 3.2 Materiale

For å gi realistiske, pålitelige og anvendelige resultater fra analysene, benyttes erfaringsbaserte data. Det vil si at innhenting av kostnadstall for installasjon og drift av varmepumper, varmeforbruk hos ulike næringsbygg, samt levert effekt fra varmepumpen er mottatt fra bygg med allerede installert varmepumpe, og varmeprofiler er hentet fra et gjennomsnitt av flere bygg.

Når det gjelder data for varmepumper har jeg vært i kontakt med Hallvard Benum fra Kongsberg Kommune, og mottatt prosjektmapper for 18 bygg med oversikt over kostnader for installerte varmepumper og andre gjennomførte ENØK-tiltak.

Varmeprofiler for bygg er basert på data fra Statkraft SF (Jon Gustav Kirkerud, pers. Med.). Byggene er delt inn i kategoriene skolebygg, helsebygg, og næringsbygg. For hver kategori er det deretter benyttet et gjennomsnitt fra fem bygg, på denne måten unngås problematikk med individuelle data.

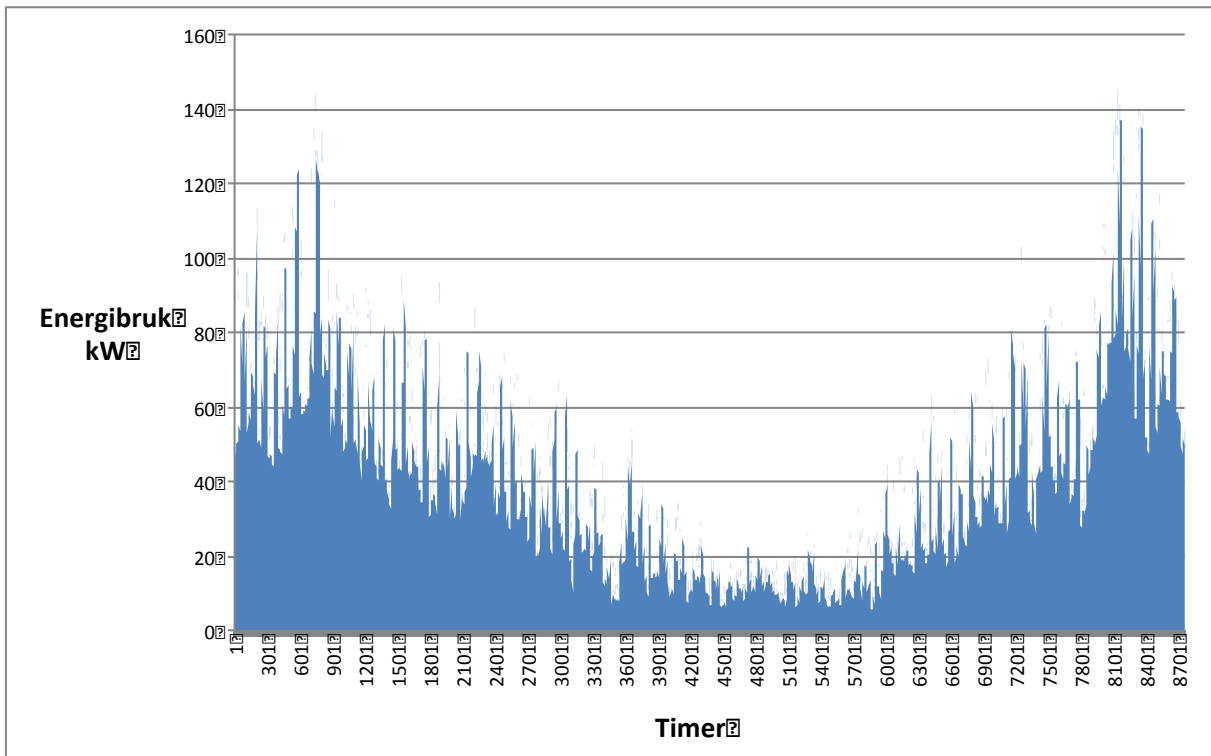
Det blir benyttet spotmarked-priser som grunnlag for pris på elektrisitet i analysen, og tilgang til spotmarked-data er gitt fra Nord Pool Spot til benyttelse i oppgaven.

## 3.3 Forutsetninger

### *Systemet*

Systemet omfatter en yrkesbygning, hvilket altså er en skole, brannstasjon, et kjøpesenter, kontor, sykehjem osv. I bygningen befinner seg et oppvarmingssystem.

Etterspørselen til bygningen er satt til 353 055 kWh/år, dette er et gjennomsnitt av de 18 bygg fra prosjektet i Kongsberg Kommune. Forbruksprofilene er fra år 2012, og året 2012 blir brukt som utgangspunkt ved henting av data til beregningene. Beregninger er gjort for en periode på 15 år. Oversikt over gjennomsnittlig forbruksprofil for de tre bygningskategoriene vises i figur 3.1.



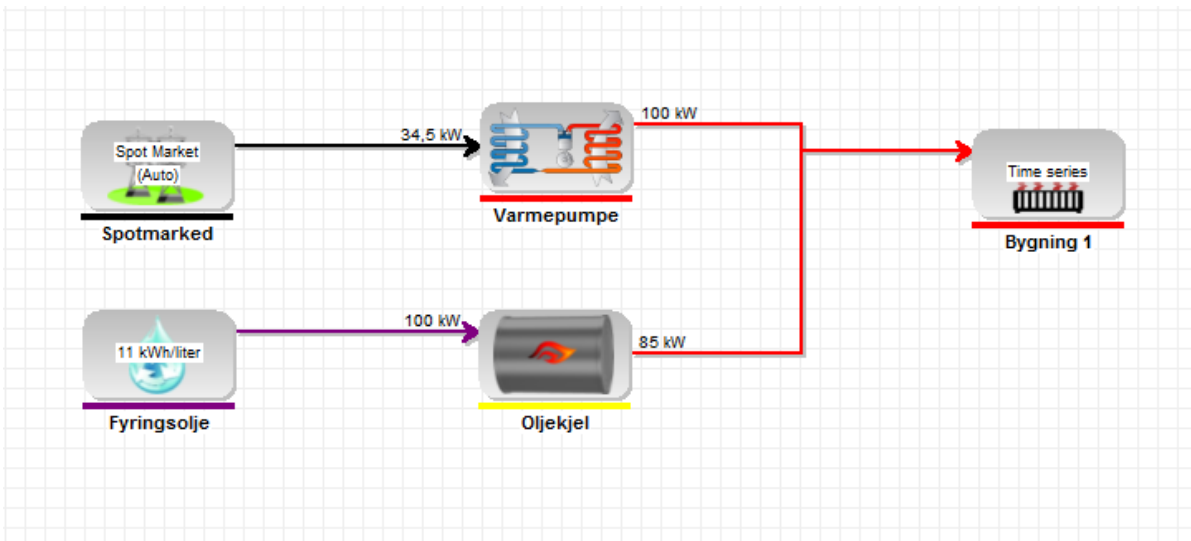
Figur 3.1 – Forbruksprofil basisscenario år 2012

### Energikonverteringsenheter

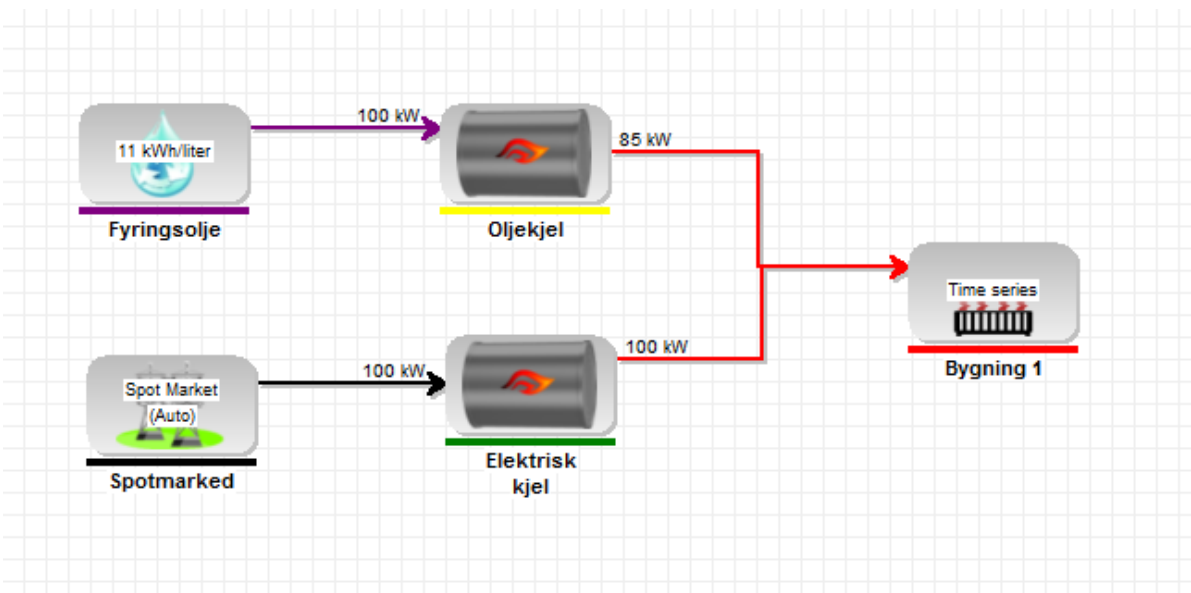
I energyPRO kan man legge til et fritt antall energikonverteringsenheter. Det velges produksjonsenhetstype (CHP, kjel, elektrisk varmepumpe osv.), deretter hvilken brensel enheten benytter seg av. Det er også mulig å hake av for minimum driftstid. Brukeren velger driftsyttelse, det vil si antall kW brensel som kreves per antall kW varme enheten leverer.

I analysen benyttes følgende energikonverteringsenheter; varmepumpe med medfølgende komponenter, oljekjel og elkjel. Varmen distribueres ved hjelp av et vannbårent oppvarmingssystem og vannbårne radiatorer. Systemet med varmepumpe inkluderer også energibrønner for utnyttelse av grunnvarme som varmekilde til varmepumpen. Oljekjelen benytter fyringsolje som brensel, og varmepumpen og den elektriske kjelen benytter seg naturligvis av elektrisitet.

I energyPRO er det opprettet to systemer, det ene hvor varmepumpe dekker grunnlast og oljekjel spisslast, i det andre dekker oljekjel grunnlast og elektrisk kjel spisslast. Under følger figurer over systemene slik de vises i energyPRO.



Figur 3.2 – System med varmepumpe og oljekjel



Figur 3.3 – System med oljekjel og elektrisk kjel

Videre følge oversikt med forutsetninger for varmesentralene varmepumpe, oljekjel og elektrisk kjel. De fleste av tallene er hentet fra prosjekt-filene for Kongsberg Kommune, men fordi varmepumpene kun har vært i drift siden 2013 er det ikke opparbeidet tall for driftskostnader. Kostnader knyttet til drift er derfor hentet fra håndbok nr.1-07: "Kostnader ved produksjon av kraft og varme", skrevet av NVE i 2007. For å sikre riktige forhold mellom driftskostnadene til de tre teknologiene, hentes kostnader for både varmepumpe, oljekjel og elektrisk kjel fra håndboken.



Tabell 3.1 – Tekniske og økonomiske forutsetninger varmepumpe

Type	Varmepumpe	
Ytelse <sup>2</sup>	kW	100
Investeringskostnader	kr	1246756
Faste driftskostnader	kr/år	4000
Faste kostnader	kr/kW/år	15
Spesifikk energiforbruk	kWh(el)/kWh(v)	0,345
Variable kostnader eksl energi	øre/kWh	1,5
Oppstartskostnader	kr/oppstart	200
Forbruksavgift	øre/kWh	11,6

Tabell 3.2 – Tekniske og økonomiske forutsetninger oljekjel

Type	Oljekjel	
Ytelse <sup>2</sup>	kW	100
Investeringskostnader	kr	1000000
Faste driftskostnader	kr/år	2000
Virkningsgrad	%	85
Faste kostnader	øre/kWh	4,2
Oppstartskostnader	kr/oppstart	200
Spesifikk benselsforbruk	kWh/liter	11
Energikostnader eksl mva	kr/liter	10
Variable kostnader eksl energi	øre/kWh	1,2

Tabell 3.3 – Tekniske og økonomiske forutsetninger elektrisk kjel

Type	Elektrisk kjel	
Ytelse <sup>2</sup>	kW	100
Faste driftskostnader	kr/kW/år	30
Virkningsgrad	%	100
Faste kostnader	øre/kWh	4,3
Spesifikk energiforbruk	kWh(el)/kWh(v)	1,000
Variable kostnader eksl energi	øre/kWh	0,1
Oppstartskostnader	kr/oppstart	200
Forbruksavgift	øre/kWh	11,6

### Kostnader for elektrisitet

Ved betaling av strømpris, betales både kraften som brukes (kraftpris) samt overføring i nettet (nettleie).

Kraftprisen kan kjøpes enten som fastpris eller som spotpris. Ved spotpris reguleres prisene fra time til time, avhengig av lokaliseringen. I analysen vil det benyttes spotpris-

tall fra NordPool, som er Nordens ledende kraftmarked. Prisen kan enten avregnes per måned eller time for time. For yrkesbygg er det vanlig å ha strømmåler som leser av forbruket hver time, og kraftkostnaden regnes ut ifra timesavlesningen. Dette er tilfellet i Kongsberg Kommune, og forutsettes i analysen ved beregninger av kraftprisen. Timesprisene fra 2012 er lagt inn som en tidsserie i modellen.

Nettleien er en økonomisk godtgjørelse for tilknytning til og bruk av de elektriske nettene som transporterer kraft fra produsentene til forbrukerne. Elverkenes nettleie er regulert av NVE i henhold til bestemmelser gitt i forskrifter til energiloven (NVE 2013). I Kongsberg Kommune benyttes gjeldende satser fra elverket EB-nett. Det opereres med fleksibel tariff for varmepumper, hvilket betyr at nettleien er noe lavere, men at man ved stort effektbehov blir påregnet et effektledd i tillegg. Effekt blir kun avregnet i vinterhalvåret; fra oktober til og med mars. Avregningen skjer ved at det høyeste forbruket målt på en time på virkedager (mandag-fredag) i tidsrommet 07.00-20.00 ganges med et effektledd. I tillegg betales et fastbeløp per år, hvilket er på 5800 kr/år. Tredje ledd i beregning av nettleie er energileddet, en gitt pris per kWh brukt. I tillegg medregnes forbruksavgift. Under følger tabell med oversikt over kostnader for elektrisitet, både nettleie, forbruksavgift og spotpriser.

Tabell 3.4 – Kostnader for elektrisitet; ledd for nettleie, forbruksavgift og spotpris

Momentan (fjernutkobling)	Lavspent
Fastbeløp	5800 kr/år
Effektledd pr. dnmnd.	4,5 kr/kW
Energiledd vinterdag	7,2øre/kWh
Energiledd vinter natt/helg	6,6øre/kWh
Energiledd sommer	5,6øre/kWh
Forbruksavgift	11,61øre/kWh
Gjennomsnittlig spotpris 2012	22,13øre/kWh

### Brensel

Varmepumpen og den elektriske kjelen benytter elektrisitet som brensel. Varmepumpen er i tillegg avhengig av grunnvarme, men dette oppføres ikke som et brensel da grunnvarme kun medfører kostnader i forbindelse med boring av brønnene. For elektrisitet benyttes timesbaserte spotpriser for år 2012. Oljekjelen benytter råolje som brensel, og her er det behov for å vite kostnad forbundet med innkjøp av olje. Etter

opplysning fra Kongsberg Kommune benyttes en oljepris på 10 kr/liter (eksklusive mva.).

#### **Generelt**

Alle priser benyttet i analysen er eksklusive mva.. Fordi mva. er utelatt i alle beregninger, vil ikke påvirke det endelige resultatet. I nåverdiberegningene benyttes en kalkulasjonsrente på 6 %, renten brukt i prosjektet i Kongsberg Kommune.

Varmeprisen, altså inntektene systemet mottar, er beregnet ut ifra Eidsivas tariffer for fjernvarme. Den er satt sammen av følgende ledd:

*Nord Pools områdepris time for time (NO1) + påslag 2,6 (inkl. elsertifikatkostnad) + effektledd + energiledd*

Både Nord Pool spotpriser og energileddet varierer fra time til time. Effektleddet er regnet ut ved å gange høyeste effekt målt i løpet av år 2012 med prisen på 496 kr/kWh. For å få en pris per kWh er dette tallet delt på årlig energibehov, hvilket i dette tilfellet er 353 055 kWh. I tillegg legges forbruksavgift til beregningen. Den gjennomsnittlige årlige varmeprisen blir dermed: 54,2 øre/kWh.

### **3.4 Basisscenarioer**

Det opprettes to basisscenarioer, det ene der varmepumpe dekker grunnlast, i det andre dekker oljekjel grunnlast. Forutsetninger for disse følger under i tabell 3.5 og 3.6. Det vil for dette scenarioet være investeringskostnader tilknyttet kjøp og installasjon av varmepumpe.

Tabell 3.5 – Forutsetninger basisscenario varmepumpe

Basisscenario		
Oppvarmetareal	m <sup>2</sup>	2696
Energibehov	kWh/år	353055
Effektbehov	kW	147
<b>Installertkapasitet</b>		
Varmepumpe	kW	100
Oljekjel	kW	100
<b>Virkningsgrad (årlig gjennomsnitt)</b>		
Varmepumpe		3,45
Oljekjel		0,85
<b>Investeringer</b>		
Varmepumpe	kr	1246156

Videre følger tekniske og økonomiske forutsetninger for basisscenario med oljekjel i tabell 3.6. Her er det forutsatt at både oljekjel og elkjel allerede befinner seg i bygningen, og det er dermed ikke investeringskostnader knyttet til dette scenarioet.

Tabell 3.6 – Forutsetninger basisscenario oljekjel

Basisscenario		
Oppvarmetareal	m <sup>2</sup>	2696
Energibehov	kWh/år	353055
Effektbehov	kW	147
<b>Installertkapasitet</b>		
Oljekjel	kW	100
Elkjel	kW	100
<b>Virkningsgrad (årlig gjennomsnitt)</b>		
Oljekjel		0,85
Elkjel		1,00

## 4. ANALYSE

### 4.1 Basisscenario

Det er i analysen valgt å først utarbeide to basisscenario; et med varmepumpe som grunnlast og oljekjel som spisslast, og det andre med oljekjel som grunnlast og elkjel som spisslast. Dette gir et klart bilde av forskjellen mellom et eksisterende oppvarmingssystem med oljekjel, og et system hvor varmepumpe installeres og oljekjelen benyttes som spisslast. Nevnte scenarier utgjør grunnlag for en videre følsomhetsanalyse.

Basisscenarioet utgjør et gjennomsnitt av de 18 bygg fra prosjektet i Kongsberg Kommune, dette er yrkesbygg av typen skole, sykehjem, idrettshall, bibliotek, rådhus og brannstasjon. Det er benyttet gjennomsnitt av oppvarmet areal, bygningenes årlige totale energibehov etter gjennomførte enøktiltak samt investeringskostnader for varmepumpen. Det forutsettes at oljekjelen allerede befinner seg i systemet, og dermed medfører ikke investeringskostnader. Effektbehov er hentet fra forbruksprofilene fra Statkraft. Ytterligere nødvendige forutsetninger er funnet i handboken fra NVE. Kalkulasjoner og analyser gjelder for år 2012. Grunnet problemer for modellen å beregne produksjon for år 2012, viser skjermbildene dager fra år 2014, og ukedagen for datoene i dette året. I 2012 var derimot 29 januar en søndag, og de følgende datoene altså mandag, tirsdag, osv. Skjermbildene som vises er derfor egentlig en uke fra søndag til søndag. De tekniske og økonomiske forutsetninger for basisscenario med varmepumpe vises i tabell 4.1.

Oversikt over totalt el-forbruk, el-forbruk per måned, totalt varmeproduksjon fra de forskjellige energikonverteringsenhetene, varmeproduksjon per måned, samt antall oppstart (turn-ons) og driftstid for energikonverteringsenhetene vises i tabeller under.

Tabell 4.1 – Oversikt produksjon og elforbruk basisscenario med varmpumpe og oljekjel

	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
<b>Energy unit: Varmepumpe</b>													
Heat prod. (MWh)	347,5	50,4	42,4	35,2	29,9	19,1	13,8	8,4	8,8	16,6	29,4	36,4	56,9
Elec. Consum. (MWh)	119,9	17,4	14,6	12,1	10,3	6,6	4,8	2,9	3	5,7	10,2	12,6	19,8
Turnons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Full load operating hours	3475	504	424	352	299	191	138	84	88	166	294	364	569
<b>Energy unit: Oljekjel</b>													
Fuel consum. (liter)	441,2	79,5	86,5	0	0	0	0	0	0	0	0,4	3,8	271
Fuel consum. (MWh)	4,9	0,9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Heat prod. (MWh)	4,1	0,7	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,5
Turnons	30	9	5	0	0	0	0	0	0	0	1	2	14
Operating hours	234	60	37	0	0	0	0	0	0	0	1	7	129
Full load operating hours	49	9	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30

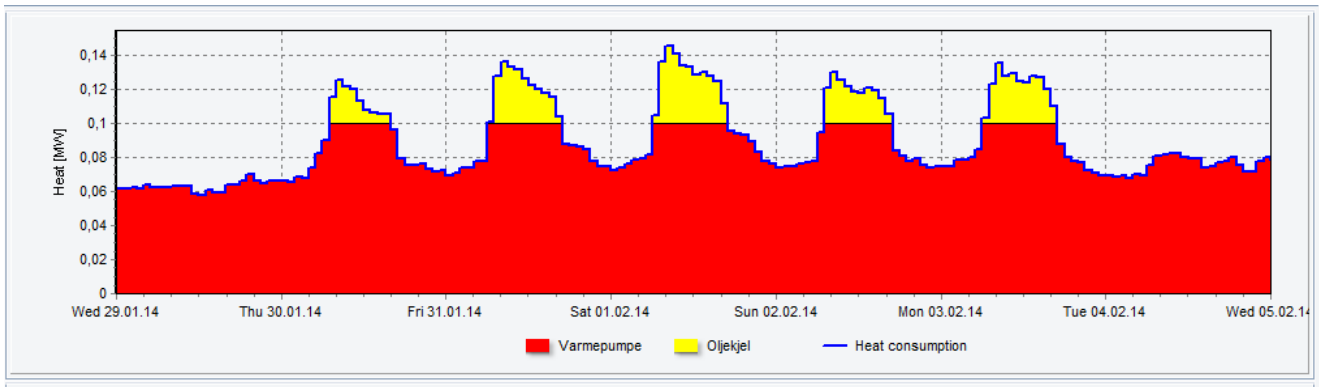
Av tabellen fremkommer at det elektriske forbruket for året er 119,9 MWh, og varmpumpen leverer 347,5 MWh varme. Oljekjelen dekker det resterende behovet på 4,1 MWh, hvilket er topplasten, og bruker 441,2 liter fyringsolje.

Tabell 4.2 – Oversikt produksjon og elforbruk basisscenario med oljekjel og elektrisk kjel

	Total	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Aug	Sept	Okt	Nov	Dec
<b>Energy unit: Oljekjel</b>													
Fuel consum. (liter)	36245,6	5185,0	4210,2	3713,5	3299,4	2016,1	1361,5	892,1	934,5	10759,4	3206,2	3332,6	5072,1
Fuel consum. (MWh)	398,7	57,0	48,5	40,8	35,2	22,2	16,1	9,8	10,3	19,4	34,2	42,2	63,5
Heat prod. (MWh)	342,9	49,0	41,7	35,1	29,9	19,1	13,8	8,4	8,8	16,6	29,4	36,3	54,6
Turnons	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Operating hours	8760	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
Full load operating hours	3087	570	485	408	352	222	161	98	103	194	342	422	635
<b>Energy unit: Elektrisk kjel</b>													
Heat prod. (MWh)	9	2,1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	4,8
Elec. Consum. (MWh)	9	2,1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	4,8
Turnons	71	21	15	3	1	0	0	0	0	0	1	7	23
Operating hours	469	143	74	7	1	0	0	0	0	0	5	24	215
Full load operating hours	87	21	15	0	0	0	0	0	0	0	0	2	48

Her ser vi en annerledes fordeling; oljekjelen leverer 342,9 MWh og bruker 36245,6 liter fyringsolje. Den elektriske kjelen som dekker spisslasten bruker 9 MWh elektrisitet, og leverer et like mye varme.

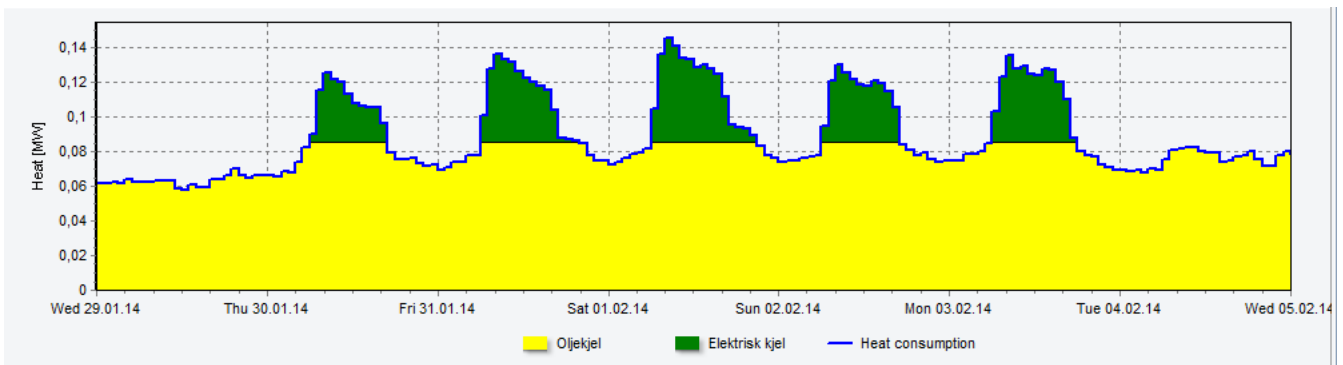
Produksjonen vises i energyPRO også grafisk, og en uke i 2012 med spesielt lave temperaturer (viser søndag til søndag) og dermed høyt forbruk, ser for basisscenarioet med varmpumpe slik ut:



Figur 4.1 – Produksjon basisscenarium varmepumpe

I tidspunktene med høyt behov leverer varmepumpen maksimalt av sin kapasitet, og resterende spisslast dekkes av oljekjelen.

Produksjonen for den samme uken med nøyaktig lik forbrukskurve ser for basisscenarioet med oljekjel slik ut:



Figur 4.2 – Produksjon basisscenario med oljekjel

Kurven viser at oljekjelen dekker mindre av behovet enn hva varmepumpen gjør grunnet dårligere virkningsgrad, og el-kjelen dekker derfor større deler av forbruks-toppene.

I energyPRO beregnes også nåverdi for basisscenarioene, og vises i tabell 4.3 under.

Tabell 4.3 – Nåverdi for basisscenarioene

Basisscenario	Nåverdi
System med oljekjel og elektrisk kjel	-42431364
System med varmepumpe og oljekjel	-2260358

Systemet med varmepumpe og oljekjel har omtrent dobbelt så høy nåverdi som systemet med oljekjel og elektrisk kjel.

Det er også interessant å undersøke inntekter og utgifter i år 0 og år 15 i forbindelse med drift av systemet for de to basisscenarioene, de fremkommer av tabell under:

Tabell 4.4 – Inntekter og utgifter år 0 og år 15

	Inntekter		Utgifter	
	År 0	År 15	År 0	År 15
Basisscenario varmepumpe og oljekjel	21762	28927	111231	147617
Basisscenario oljekjel og elektrisk kjel	21762	28927	413721	549981

Her ser vi grunnen til den store forskjellen i nåverdi for de to systemene; utgiftene tilknyttet systemet med oljekjel er betraktelig høyere enn utgiftene for systemet med varmepumpe.

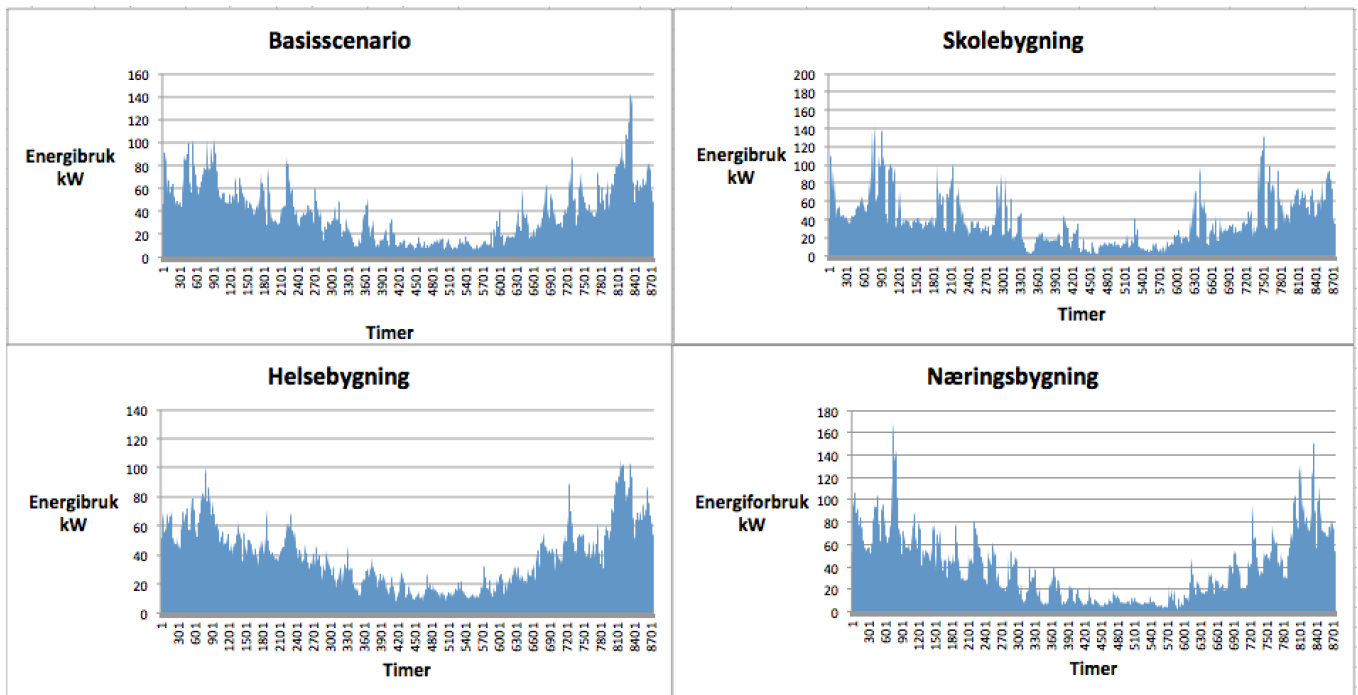
## 4.2 Følsomhetsanalyse

### Effekter av ulike forbruksprofiler

Gjennomført analyse av basisscenarioene resulterer i en gjennomsnittsbetraktning for et yrkesbygg med gjennomsnittlige verdier for areal, energibruk, effektbehov, virkningsgrad osv. Etter utført analyse av basisscenarioet gjennomføres nye analyser av systemer med 3 spesifikke kategorier yrkesbygg. De forskjellige kategoriene av yrkesbygg er skolebygg, helsebygg og næringsbygg. Grunnen til at nettopp disse kategoriene analyseres er deres forskjellige energibruksprofiler. Skolebygg har en svært ujevn forbrukskurve, med minimalt forbruk i helger, ettermiddager og ferier, og høyt effektbehov på morgenene. Helsebygg har derimot en svært jevn forbrukskurve, her er det mennesker hele døgnet, og temperaturen må være jevn. For næringsbygg som kontor og kjøpesentre er forbruket nokså likt et skolebygg, med lavt forbruk på natten og søndager, da de fleste bygg av denne typen holder stengt, og et nokså høyt forbruk på

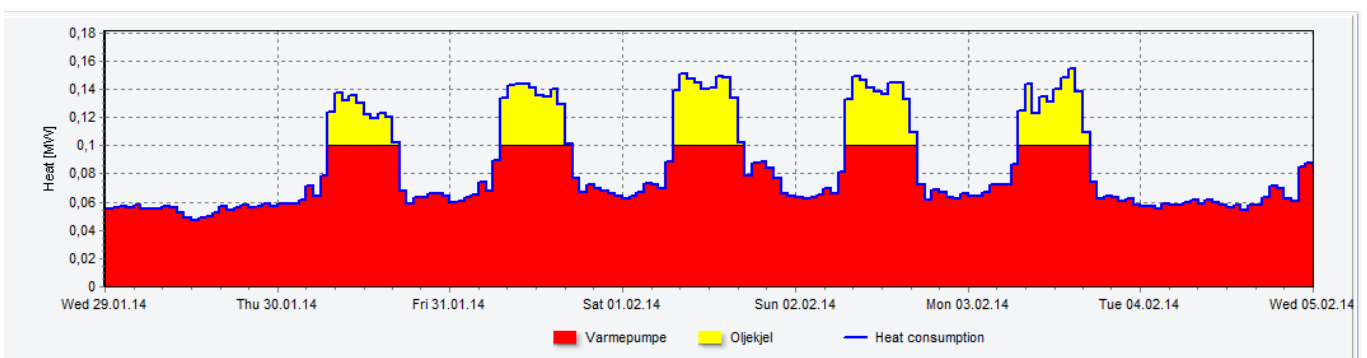


dagtid i ukedager. Under vises de ulike forbruksprofilene for år 2012 inkludert basisscenarioet med gjennomsnittsprøfil.

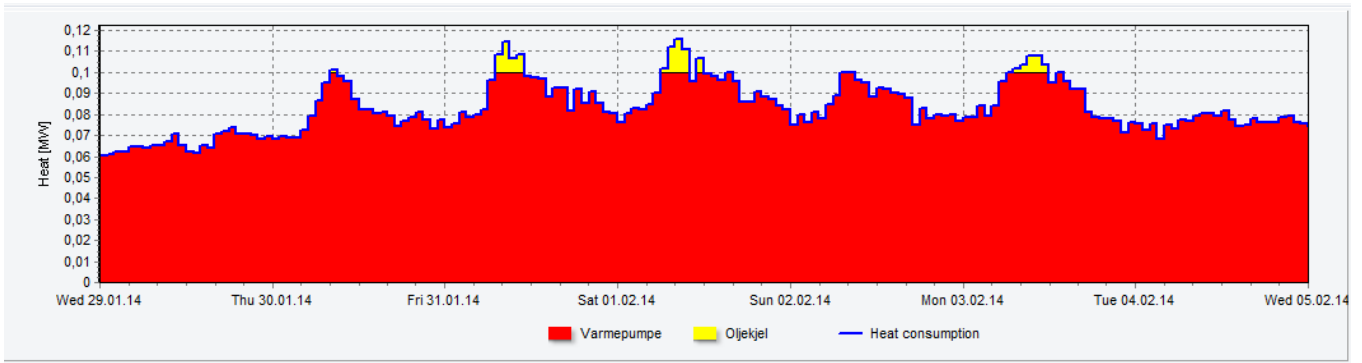


Figur 4.5 – Forbruksprofiler i 2012 for en skolebygning, helsebygning og næringsbygning, samt gjennomsnittet

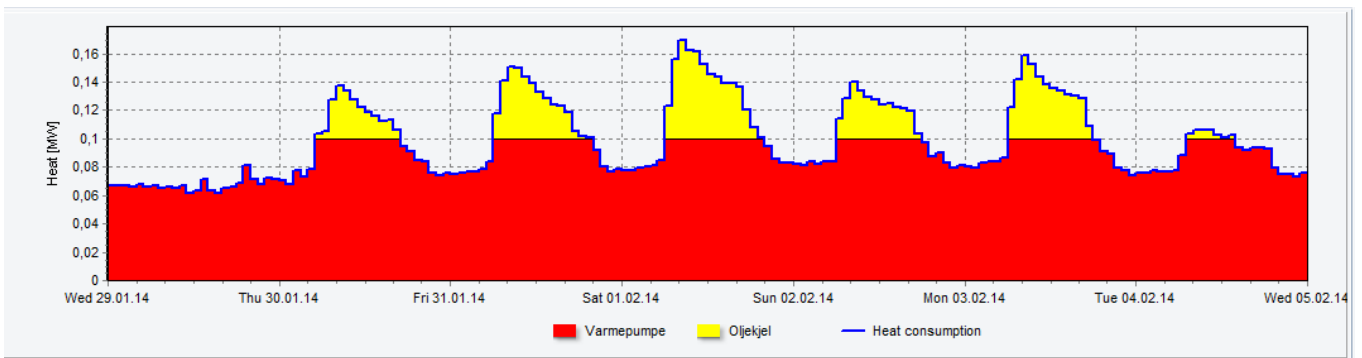
Videre følger bilder av produksjonen den samme uken med spesielt høyt effektbehovet for scenarioene med endret forbruksprofil.



Figur 4.6 – Produksjon for skolebygg



Figur 4.7 – Produksjon for helsebygg



Figur 4.8 – Produksjon for næringsbygg

Som vi kan se av grafene kjøres varmepumpen som grunnlast, og oljekjelen slås på når effektbehov er høyt. Grunnet forskjellig forbruksprofil er grafene og makslasttoppene for de tre scenarioene noe forskjellige, og også hvor mye spisslast som kreves.

Det er beregnet nåverdi for systemene med endret forbruksprofil, den følger i tabell under.

Tabell 4.5 – Nåverdi for system med forskjellig forbruksprofil

System med varmepumpe og oljekjel	Nåverdi
Forbruksprofil kulebygg	-2 042 06
Forbruksprofil helsebygg	-2 175 14
Forbruksprofil næringsbygg	-2 303 18

Nåverdien vil altså ikke endres nevneverdig ved justering av forbruksprofil.

Også her beregnes inntekter og utgifter for drift av systemet i år 0 og 15 for de tre scenarioene.

Tabell 4.6 – Inntekter og utgifter år 0 og år 15

	Inntekter		Utgifter	
	År00	År15	År00	År15
Forbruksprofilbalebygning	21697	28815	125950	166896
Forbruksprofilhelsebygning	21407	28456	105786	140873
Forbruksprofilnæringsbygning	24166	32153	117482	156550

Øking og senkning av nåverdi skyldes noe høyere utgifter og økt inntekt for næringsbygningen.

#### *Effekter av endrede el-kostnader og andre forutsetninger*

I tillegg til forbruksprofilen er en rekke av de andre forutsetningene og parameterne endret for å undersøke hvor følsomt systemet er for endringer og usikkerhet rundt fremtidige priser.

Når det gjelder investeringskostnader medfører en varmepumpe nokså høye kostnader i forbindelse med boring av energibrønner for å hente varme til varmepumpen. Ved å doble investeringskostnaden avsløres hvor utslagsgivende investeringskostnaden er for nåverdien til systemet.

For et oppvarmingssystem der elektrisitet fungerer som brensel, er spotpriser og nettleie en utslagsgivende faktor for kostnadene for systemet. Fremtidige spotpriser og nettleie er vanskelig å forutse, men med et marked i endring som følge av økt fokus på fornybar energi, kan det bli dyrere å kjøpe elektrisitet. Hva blir lønnsomhet for systemet med varmepumpe dersom spotprisene og nettleien øker.

Varmepumpen har spesifikt energiforbruk på 0,345, et svært lavt tall i forhold til andre teknologier. Dersom varmepumpen bruker mer elektrisitet enn forutsatt, hvordan påvirkes elforbruket og lønnsomhet. Svært lave lufttemperaturer kan muligens senke temperaturen på grunnvarmen varmepumpen benytter seg av, og redusere virkningsgraden. Hvor mye synker nåverdien ved økt elektrisitetsforbruk.

Resultater fra endringer nevnt ovenfor vises i tabeller som følger videre.

Tabell 4.7 – Nåverdi ved endring av forutsetninger

System med varmepumpe og bljekar	Nåverdi
Investeringskostnad økt 100%	-3509852
Energiledningshetteløst økt 50%	-2303719
Spotpriser økt 50%	-2386256
Spesifikt energiforbruk økt til 10,5	-2461215

Det fremkommer at systemet er mest følsomt for endring av investeringskostnad, her synker nåverdi med omtrent 50 prosent. De andre forutsetningene vil ikke medføre spesielt store kostnadsendringer.

Beregning av inntekter og utgifter forbundet med drift av systemet for de fire scenarioene i år 0 og år 15 vises under.

Tabell 4.8 – Inntekter og utgifter i år 0 og år 15

	Inntekter		Utgifter	
	År 0	År 15	År 0	År 15
Investeringskostnad økt 100%	21762	28927	111024	147297
Energiledningshetteløst økt 50%	21762	28927	115009	152595
Spotpriser økt 50%	26227	35131	127022	168522
Spesifikt energiforbruk varmepumpe økt til 10,5	21762	28927	128986	171232

Som det her vises vil et system med økt investeringskostnad ikke påføres økte utgifter i forbindelse med drift, da investeringskostnaden vil påvirke andre deler av nåverdiberegningen. For de tre neste scenarioene vil økte utgifter være skyld i noe redusert nåverdi, men en samtidig økning i inntekt vil begrense reduksjonen.

## 5. DISKUSJON, RESULTATER OG KONKLUSJON

### 5.1 Material og metode

Vurdering av material og metode bør gjennomføres før resultater analyseres. Analysen er i utgangspunkt en case-studie hvor enøk-prosjektet i Kongsberg Kommune er grunnlaget, hvilket betyr at store deler av materialet som kostnader, størrelse på bygg, energibehov og effektbehov er knyttet til nettopp dette prosjektet. Prosjektet i Kongsberg Kommune er en case der installasjon og drift av varmepumper er gjennomført i 18 bygninger, og studiet er i utgangspunktet gjeldende for andre kommuner. Det er likevel usikkerhet grunnet lokale forskjeller. Eksempelvis varierer kostnader knyttet til boring av brønner i stor grad mellom prosjekter grunnet ulike grunnforhold. I tillegg uteblir virkning av samlagringseffekten ved å sette systemgrensene til ett bygg. Det er derfor ikke nødvendigvis representativt for alle andre prosjekter.

Når det gjelder metode knyttes eventuelle begrensninger til modellen energyPRO. Som indikert tidligere er det en modell med evne til å analysere og optimalisere et komplett system, med mulighet til vurdering av flere forskjellige typer teknologier og deres kriterier for ytelse. Brukere har også mulighet til å legge til detaljerte parametere, for eksempel for varmeproduksjon, elektrisitetsproduksjon, brenselskostnader, kraftkurver og kontrollstrategier. Modellen kan utarbeide en grundig økonomisk analyse som tar hensyn til varierende verdier for inntekter og utgifter. Med en så høy grad av detaljering kreves en rikelig mengde forskning og data-input for å gi en god analyse, og det krever meget god forståelse av de spesifikke karakteristikkene for anlegget.

En annen mulig begrensning ved modellen kan være at den primært fokuserer på produksjonsaspekter, og bortsett fra et par unntak som tap i varmedistribusjon, tar den ikke hensyn til hvordan anlegget passer inn i det større energisystemet. Dette er riktignok en begrensning som ikke er aktuell i forhold til problemstilling og analyse i denne utredning, da systemgrensene ikke inkluderer hele energisystemet, men kun en bygning.

Beregninger i modellen er gjort med utgangspunkt i 2012. Det vil si at data for spotpriser, energiforbruk, værdata, effektbehov osv. er fra 2012, hvilket var et relativt mildt år. Effektbehov, energiforbruk, spotpriser og elektrisitetsforbruk er derfor noe lavere enn vanlig.

## 5.2 Resultater

Når det gjelder basisscenarioene viser analysene gjennomført i energyPRO en betraktelig høyere nåverdi for systemet med varmepumpe i forhold til systemet med oljekjel. Det skyldes hovedsakelig varmepumpens lave driftskostnader og høye virkningsgrad. Kostnader for elektrisitet er atskillig lavere enn kostnader for fyringsolje, og den krever kun en tredel av levert energi som brensel. Inntektene er like store for begge systemene grunnet samme energibehov, men utgiftene er derimot omtrent fire ganger høyere for systemet med oljekjel.

Ved å endre forbruksprofilen for en bygning med varmepumpe avsløres systemets følsomhet for endringer av energi- og effektbehov. Som det fremkommer av nåverdien for de tre systemene, er ikke endring av forbruksmønster svært utslagsgivende for lønnsomheten. For skolebygningen og næringsbygningen synker nåverdien noe i forhold til basisscenarioet, dette skyldes en mer ujevn forbruksprofil med flere og høyere makslasttopper hvor oljekjelen må drives for å dekke behovet. I en helsebygning er derimot forbruksprofilen mer jevn med færre og lavere makslasttopper, hvilket betyr mindre bruk av oljekjel.

Videre analyseres effekten av endringer av en rekke andre forutsetninger.

Investeringskostnaden ble doblet i forhold til det opprinnelige basisscenarioet. Som det fremkommer av nåverdien er systemet nokså følsomt for nettopp dette, og nåverdien synker med omtrent 50 %. Driftskostnader knyttet til elektrisitetsforbruk ble justert, og både spotpris og nettleie ble økt med 50 %. Tabell 4.7 viser at nåverdien endres nokså lite. Det kan skyldes at varmeprisen øker tilsvarende, altså øker inntektene i takt med utgiftene. Dette viser at lønnsomheten for systemet er nokså robust, og uavhengig av økning av kraftpris. Dårligere virkningsgrad for varmepumpen betyr høyere

elektrisitetsbruk, og dermed økte utgifter. Det er riktignok ikke snakk om store beløp i denne forbindelse, nåverdien synker med omtrent kr 200 000.

Sannsynligheten er tilstede for at flere av forutsetningene for systemet endres samtidig. Dersom energi- og effektbehov endres, virkningsgrad synker, investeringskostnader økes og nettleie og spotpriser heves, blir effekt på lønnsomhet naturligvis større.

Analysen viser at installasjon av varmepumpe i en helsebygning gir størst lønnsomhet. Et sykehjem, eldrebolig eller sykehus kjennetegnes av en jevn forbruksprofil. Bygninger i denne kategorien stenger aldri, og krever en viss innetemperatur hele døgnet, hele året. Den jevne forbruksprofilen med få og lave makslasttopper gjør at varmepumpen drives jevnt og trutt. Dette gir lave oppstartskostnader, og samtidig lite behov for bruk av spisslastteknologien.

Når det gjelder forutsetningene bak analysen og resultatene nevnt ovenfor oppleves det størst usikkerhet i forhold til driftskostnader, investeringskostnader og levetid for varmepumpen. Driftskostnadene er som nevnt hentet fra en rapport fra NVE, av mangel på data fra prosjekter med installert varmepumpe. Dette oppleves også noe usikkerhet knyttet til driftskostnader i bransjen, en naturlig følge av en teknologi med relativt kort tid på markedet. Investeringskostnadene er nokså høye for en varmepumpe i forhold til andre teknologier. Installasjon av varmepumpe med grunnvarme innebærer også boring av energi-brønner, og dette kan være en nokså kostbar prosess dersom grunnforholdene er vanskelige. I tillegg kan det oppstå en situasjon der man permanent forringer grunnforholdene, og blir nødt til å bore nye brønner. Tilknyttet investeringskostnader er også levetid, fordi utgått levetid krever investering i ny varmepumpe. I analysen forutsettes levetiden å være 15 år, dersom dette viser seg å være feil står man potensielt ovenfor en ny investeringsutgift.

Et annet klimavennlig alternativ til varmepumpe er en biomassekjel. Det er en teknologi der en kjel forbrenner biomasse som danner varme, også denne kan erstatte en oljekjel i et oppvarmingssystem. I forhold til en varmepumpe er det lavere investeringskostnader knyttet til denne teknologien, men den krever mer plass til lagring av brensel, samt høyere utgifter knyttet til kjøp og levering av brensel.

Resultatene fra analysene viser at det klart mest lønnsomme er å benytte varmepumpe som oppvarmingssystem i et yrkesbygg, men det er momenter som ikke er tatt høyde for i analysene. Som diskutert i artikkelen skrevet av Blarke og Lund, kan det være usikkerheter knyttet til varmepumpens ytelse under varierende operasjonsstrategier, disse må videre utforskes gjennom tester og demonstrasjonsprosjekter. En annen potensiell påvirkning kommer fra økning av elektrisitetsetterspørsel som følge av bruk av varmepumper, hvilket kan ha betydning for spotmarked-priser for elektrisitet og dermed være fordelaktig for andre energikonverteringsenheter enn varmepumpen. Analyser er nødvendig for å utrede eventuell feed-back effekt på Nord Pool spotmarkedet fra den mulige økning i etterspørsel.

Med en byggeperiode på mindre enn ett år kan integrasjon av storskala varmepumper i eksisterende anlegg være nøkkelen til å tillate en større del av uregulerbare fornybare energikilder inn i kraftnettet på kort og medium sikt. Slik integrasjon ville hjelpe å sikre en fleksibel og kostnadseffektiv drift av energisystemet, og politiske strategier og markedsforhold bør utvikles tilsvarende.

#### ***Klimagass- og systemeffekt***

Et viktig argument for utbygging av oljekjel til elektriske oppvarmingssystemer er det faktum at fyringsolje ved forbrenning slipper ut store mengder CO<sub>2</sub>. Ifølge (Enova) slipper 1 liter fyringsolje ut 2,7 kg CO<sub>2</sub> ved forbrenning. Gjennom et forenklet regnestykke hvor energibehovet til bygningen i basisscenarioet dekkes av kun oljekjelen, kreves 36 910 liter fyringsolje, hvilket ville gitt et utslipp på omtrent 100 tonn CO<sub>2</sub>.

Dersom man isteden dekker energibehovet ved bruk av varmepumpe eller elektrisk kjel, er utslipp av CO<sub>2</sub> knyttet til produksjon av elektrisk kraft. Her er det store variasjoner, elektrisitet produsert i et vannkraftverk har omtrent 0 g/kWh, elektrisitet produsert i Norden (Nordisk Miks) har 211 g/kWh (Regjeringen 2010), og kullbasert kraftproduksjon i Norden har hele 819 g/kWh (Enova 2012). Produksjon basert på elektrisitet fra vannkraftproduksjon utelates i regnestykket da det uansett blir 0 tonn.



Ved bruk av en elektrisk kjel med virkningsgrad på 1, blir utslippene 75 tonn CO<sub>2</sub> dersom Nordisk Miks benyttes ved produksjon, og hele 289 tonn CO<sub>2</sub> ved bruk av elektrisitet fra kullbasert kraftproduksjon. Bruk av elektrisk kjel er altså kun et bedre alternativ enn oljekjel dersom produksjonen er basert på elektrisitet fra Nordisk Miks eller vannkraft. Dersom elektrisiteten stammer fra kullbasert kraftproduksjon har den elektriske kjelen nesten 3 ganger så høyt utslipp som oljekjelen.

Dersom varmepumpe med virkningsgrad på 1,345 benyttes, blir utslipp som følger: 26 tonn CO<sub>2</sub> ved benyttelse av elektrisitet fra Nordisk Miks, og omtrent 100 kg CO<sub>2</sub> dersom kullbasert kraftproduksjon benyttes. Varmeproduksjon fra varmepumpe er alltid et bedre alternativ enn oljekjel, uavhengig av elektrisitetens opprinnelse. Dette først og fremst grunnet varmepumpens fremragende virkningsgrad og lave energibruk.

Økt bruk av varmepumper i yrkesbygg har innvirkning på det nasjonale kraftsystemet, samt på krafthandel mellom Norge og nabolandene. Vi kan generelt sett dele systemeffekter inn i fire hovedkategorier: Konsekvenser for effektbalansen, fleksibilitet, kraftbalansen og grenseoverskridende krafthandel.

Ved erstatning av direkte elektrisk oppvarming kan belastning på kraftsystemet muligens reduseres grunnet varmepumpens lave energibruk, noe som har positiv påvirkning for effektbalansen. Den potensielle reduksjonen avhenger av varmepumpens virkningsgrad i de aktuelle toppplastperiodene. For varmepumpeteknologier som baserer seg på jord- eller bergvarme er ikke dette noe problem da de leverer like mye varme ved lave utetemperaturer.

Hvis varmepumpen derimot erstatter ikke-elektriske varmesystemer øker belastning på kraftsystemet i anstrengte perioder. I analysen er varmepumpen et alternativ for oljekjel, hvilket er et ikke-elektrisk varmesystem basert på fyringsolje. Dette kan altså øke belastningen på kraftsystemet. Riktignok anses den norske og nordiske effektbalansen i dag for å være god, og dersom den skulle bli strammere er det betydelige potensialer for å øke effekten i norske vannkraftverk til relativt lave kostnader. I tillegg bidrar økt utbygging av produksjonskapasitet og utvekslingskapasitet mot utlandet at tilgjengelig effektkapasitet i systemet øker. Det er

derfor ikke åpenbart at økt effektterspørsel i det nordiske markedet blir noe stort problem på lang sikt.

En robust effektbalanse er imidlertid ikke kun avhengig av kapasitetsstørrelsen, men også av fleksibilitet i forbruket. Fleksibilitet i bruk og forsyning av energi er viktig for å unngår for store prissvingninger og dermed en anstrengt kraftsituasjon, slik det også ble påpekt av Xrgia (2011). Ved betydelig utbygging av ikke-regulerbar kraft (som vindkraft) i fremtiden til erstatning for fossil kraftproduksjon, blir fleksibilitet enda viktigere. Ikke-regulerbar kraft er ofte svært variabel, hvilket krever ekstra produksjonskapasitet som kan kobles inn på kort varsel dersom den fornybare produksjonen faller ut, samtidig må det være mulig å ta unna kraft i perioder der fornybar produksjon øker brått. Jo mer fornybar kraftproduksjon, jo større behov for fleksibilitet.

Omlegging av energibruk fra kombinert olje/elkjel til elektrisk oppvarming som varmepumpe, reduserer fleksibiliteten i kraftsystemet. En løsning for å opprettholde fleksibilitet i etterspørselen kan være å benytte systemer der forbrukerne har mulighet til å bytte mellom elektrisitet og andre energibærere, for eksempel kombinert elektrisk kjel og biomassekjel. Skal slike investeringer lønne seg, må prisvariasjonene rettferdiggjøre investeringene. Det vil si at investeringene ikke må motvirkes av nettariffer som ikke gjenspeiler de faktiske kostnadene brukeren påfører nettet. En løsning for å redusere behovet for å hente fleksibilitet hos forbrukeren er flere utlandsforbindelser og handel med andre land.

Effektivitet og fleksibilitet for en oppvarmingsteknologi i et kraftmarked med varierende priser betyr mulighet for rask regulering av produksjon. En varmepumpe krever lenger oppstart enn f.eks. en el- eller oljekjel for å oppnå full varmeproduksjon. Det er samtidig en teknologi som sørger for bruk av elektrisitet på en svært effektiv måte, og har vesentlig lavere driftskostnader enn elektriske kjeler og oljekjeler. Dette gjør at varmepumpen er fordelaktig ved lange brukstider som grunnlastteknologi, og den elektriske kjelen eller oljekjelen ved kortere brukstider som spisslastteknologi. Det er likevel stor usikkerhet rundt hvor mange timer med lave spotpriser og nettleie vi får i

fremtiden, og investering i varmepumpe er noe risikofylt grunnet høye investeringskostnader.

Det er også utfordringer knyttet til å sikre at produsert elektrisitet over en periode er tilstrekkelig til å dekke elektrisitetsforbruket, altså opprettholde kraftbalansen. I Norge varierer kraftproduksjonen med mengde nedbør da vårt kraftsystem i hovedsak består av vannkraft. Økt bruk av varmepumper har konsekvenser for kraftbalansen. Grunnet bruk av elektrisitet vil økt bruk av varmepumper redusere kraftbalansen dersom de erstatter ikke-elektriske varmesystemer, mens dersom de erstatter elektriske varmesystemer vil de gi et positivt bidrag til kraftbalansen. I en situasjon der varmepumpen erstatter et ikke-elektrisk varmesystem med oljekjel, kan det oppstå en situasjon med såkalt el-avhengighet. Varmepumpene krever mest elektrisitet i vintermånedene når temperaturen synker, og dersom vår egen reserve ikke strekker til, blir det behov for å importere kullkraftprodusert elektrisitet fra andre land.

Dette leder over til neste tema, nemlig grenseoverskridende krafthandel. Dersom vi skulle oppleve oppgang i elektrisitets-forbruket kan det altså bli nødvendig å importere elektrisitet fra andre land. Dette vil ha negativ virkning på Norges fornybarandel. Fornybarandelen i et land regnes ut ved å dividere summen av fornybar energibruk med totalt sluttforbruk av energi. Fornybar elektrisitetsforbruk blir målt som kun mengden egenprodusert fornybar elektrisitet. Den samlede konsekvens er altså at import av elektrisitet fører til økning i totalt sluttforbruk av energi og dermed nedgang i fornybarandel. Det betyr at enhver kWh elektrisitet landet importerer har negativ virkning på fornybarandelen, noe som videre fører til at det ikke har mulighet til å absorbere eventuelle økninger i innenlands produksjon av fornybar elektrisitet. Totalt sluttforbruk i beregningen fylles opp av importert kraft, dermed har ikke landet mulighet til å øke sin fornybarandel gjennom fornybar kraftproduksjon.

Dersom varmepumpen derimot erstatter elektriske varmesystemer, oppstår en situasjon med nedgang i etterspørsel etter elektrisitet. Det norske kraftsystemet er dominert av vannkraft, og en nedgang i etterspørsel etter elektrisitet reduserer ikke nødvendigvis produksjon over tid. Konsekvensen av redusert energibruk kan være kraftoverskudd i det norske markedet, noe som videre kan øke årlig netto eksport. Dette

har konsekvenser for realisering av de nasjonale fornybarmålsettingene, slik det også ble påpekt av Adapt Consulting (2011). Produksjon av elektrisitet fra fornybare kilder til eksport fører til økning i summen av fornybar energibruk, og dermed en økning av fornybarandel. Kraftsystemet i Norge har riktignok mye magasinkapasitet, hvilket betyr at en situasjon med redusert forbruk kan gi økt forsyningssikkerhet så lenge det er ledig kapasitet i magasinene.

Dersom man fokuserer på forsyningssikkerhet, er det liten sannsynlighet for at Norges naboland stiller seg i en situasjon der de ikke makter å dekke nasjonalt forbruk av elektrisitet, og blir avhengige av import av kraft fra Norge for å dekke eget forbruk. Eksport av kraft fra Norge kan derfor møte en markedsmessig barriere ved at landene rundt Norge også legger opp til satsing på fornybar energi, hvilket gir grunnlag for et kraftoverskudd.

### 5.3 Konklusjon

Flere grundige analyser av oppvarmingssystemet ved hjelp av energyPRO viser et tydelig positivt resultat for installasjon og drift av varmpumpe. Etter å ha utført beregninger for en periode på 15 år for to systemer; et med allerede installert oljekjel og det andre med installasjon av varmpumpe, og deretter sammenlignet resultatene fra analysen, er det liten tvil om at system med varmpumpe er det klart mest lønnsomme alternativet med omtrent dobbel nåverdi i forhold til systemet med oljekjel.

Analysene viser at systemet er svært robust for endring av både forbruksprofil, kraftpriser og virkningsgrad, en implikasjon om at teknologiens effektive energiforbruk og dermed lave elektrisitetsforbruk sikrer at driftskostnadene forblir lave. For en helsebygning er lønnsomheten størst, en effekt av bygningens jevne forbruksprofil med få og lave makslasttopper som krever spisslastteknologi.

Nåverdiberegningen er mest følsom for endring av investeringskostnaden. Ved dobling av investeringen synker nåverdi med 50 prosent. Denne parameteren er knyttet til noe usikkerhet og lokale variasjoner, hvilket understreker viktigheten av grundig utredelse av grunnforhold og borekostnader før gjennomføring av varmpumpeinstallasjon.

Det er knyttet mest usikkerhet til levetid og driftskostnader (eksklusive kraftpris) for varmpumpen. Det er lite data å oppdrive, hvilket antyder at det foreløpig ikke er opparbeidet statistikk grunnet en noe umoden teknologi. Behov for ytterligere innsamling av data, forskning og analyser er nødvendig.

Det er i analysen også drøftet samfunns- og miljøeffekter. Ved erstatning av oljekjel har varmpumpe en påvirkning på effektbalansen, fleksibilitet og kraftbalanse.

Varmpumpe er en teknologi som benytter seg av elektrisitet, og ved erstatning av en ikke-elektrisk teknologi kan det oppstå utfordringer i perioder med høyt effektbehov, samt å opprettholde fleksibilitet i systemet. Effektbalansen kan bedres ved å forhøye effekten i norske vannkraftverk, i tillegg til økt utvekslingskapasitet til utlandet.

Fleksibilitet kan økes dersom oppvarmingssystemet baserer seg på både elektrisitet og andre energibærere, for eksempel en biomassekjel.

Forhøyet elektrisitetsforbruk kan gi behov for ytterligere import av elektrisitet fra utlandet, hvilket er negativt for fornybarandelen. Et bedre alternativ vil derfor være å satse på økt elektrisitetsproduksjon fra fornybare energikilder. Redusert forbruk kan resultere i økt eksport. Det forutsetter at nabolandene har behov for å importere kraft. Et redusert forbruk kan også føre til bedret forsyningssikkerhet grunnet vannkraftverkernes magasinkapasitet.

Miljøeffektene ved å installere varmpumpe er svært positive, og en sterk drivkraft for bytte av oppvarmingssystem. Ved å erstatte et system som benytter fyringsolje reduseres utslipp av CO<sub>2</sub> dramatisk, selv i en situasjon der elektrisiteten er produsert av europeisk kullkraft.

Basert på lønnsomhetsvurdering i analysen, bør aktører med rimelig sikkerhet kunne forvente at omlegging fra et oppvarmingssystem med oljekjel til varmpumpe i et yrkesbygg med eksisterende vannbåren varme blir en økonomisk suksess. Vurdering av samfunns- og miljøeffekter indikerer nasjonal og global gevinst i form av reduserte klimagass-utslipp, i tillegg kan et økt elektrisitetsforbruk gi initiativ til utvidet satsing på fornybar energiproduksjon.

## Referanseliste:

Adapt Consulting AS (2011). "Varmepumper og Fornybardirektivet" Hentet 22 januar 2014

[http://www.vvsaktuelt.no/vvsaktuelt/xp/pub/mx/filer/Varmepumper-og-fornybardirektivet\\_556901.pdf](http://www.vvsaktuelt.no/vvsaktuelt/xp/pub/mx/filer/Varmepumper-og-fornybardirektivet_556901.pdf)

Morten B. Blarke og H. Lund (2007). "Large-Scale Heat Pumps in Sustainable Energy Systems: System and Project Perspectives" Tildelt av veileder

<http://www.doiserbia.nb.rs/img/doi/0354-9836/2007/0354-98360703143B.pdf>

T.H. Christensen, K. Gram-Hanssen, P. E. Petersen, P. Munter, R. Marsh, T. F. Larsen, E. Gudbjerg og L.S. Rasmussen (2011). "Varmepumper og elforbrug" Hentet 9 mai 2014

<http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/livsstil-og-adferd/sommerhusejere-sparer-ikke-energi-med-varmepumper/varmepumper-og-elforbrug>

D. Connolly, H. Lund, B. V. Mathiesen, M. Leahy 2010. "A Review of Computer Tools for Analysing the Integration of Renewable Energy into Various Energy Systems."

Hentet 4 april 2014

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261909004188>

EMD International AS (2013). "Users Guide energyPRO" Hentet 18 mars 2014

<http://www.emd.dk/files/energypro/energyPROHlpEng-Dec2013.pdf>

Energi 21 (2010). "Varmepumpe- og kuldesystemer" Hentet 12 februar 2014

<http://www.forskningsradet.no>

Energilink. "Varmepumpe (Historie)" Hentet 12 februar 2014

<http://energilink.tu.no/leksikon/varmepumpe%20historie.aspx>

Enova. "Utfasing av oljekjel" Hentet 2 mai 2014

<http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/oppvarmingsalternativ/utfasing-av-oljekjel/utfasing-av-oljekjel/508/1252/>

Enova (2012). "Klimarapportering" Hentet 2 mai 2014

<http://www.enova.no/innsikt/rapporter/resultatrapport-2012/4-rapportering-pa-energifondet-2012-/klimarapportering-/klimarapportering/592/1365/>

European Commission (2014). "The 2020 Climate and Energy Package"

Hentet 3 april 2014

<http://ec.europa.eu/clima/policies/package/>

Forskningsrådet (2010). "Varmepumpe- og kuldesystemer" Hentet 1 april 2014

<http://www.forskningsradet.no>

- Dr. J. R. Jones, Professor R. Schubert, Dr. J. Randolph (2008). "Energy Performance and Economic Evaluations of the Geothermal Heat Pump System used in the KnowledgeWorks I and II Building, Blacksburg, Virginia" Hentet 9 mai 2014  
[http://www.chpe.arch.vt.edu/chpe\\_research/res\\_thesis\\_kcharoenvisal.pdf](http://www.chpe.arch.vt.edu/chpe_research/res_thesis_kcharoenvisal.pdf)
- J. Lund, B. Sanner, L. Rybach og G. Hellström (2004). "Geothermal (Ground-Source) Heat Pumps – A World Overview" Hentet 1 april 2014  
<http://geoheat.oit.edu/bulletin/bull25-3/art1.pdf>
- M. Martin og Dr. P. Thornley (2013). "The Potential for Thermal Storage to Reduce the Overall Carbon Emissions from District Heating Systems" Hentet 5 april 2014  
<http://www.tyndall.ac.uk/sites/default/files/twp157.pdf>
- Novap (2013). "Snart 1 million varmepumper i Norge!" Hentet 28 mars 2014  
<http://www.novap.no/artikler/snart-1-million-varmepumper-i-norge>
- NOVAP (2010). "Varmepumper for oppvarming og kjøling av større bygninger" Hentet 10 januar 2014  
<http://www.novap.no>
- NVE (2007). "Handbok 1-07. Kostnader ved produksjon av kraft og varme" Hentet 01 mai 2014  
<http://www.nve.no/Global/Konsesjoner/Fjernvarme/handbok1-07.pdf>
- NVE (2013). "Statistikk over nettleie i regional- og distribusjonsnettet" Hentet 2 april 2014  
[http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2013/rapport2013\\_14.pdf](http://webby.nve.no/publikasjoner/rapport/2013/rapport2013_14.pdf)
- Pike Research (2011). "Geothermal Heat Pumps and Direct Use" Hentet 1 april 2014  
<http://www.egshpa.com/news-media/news/geothermal-heat-pumps-direct/>
- Regjeringen (2010). "Klimautslipp fra elektrisitet" Hentet 2 mai 2014  
[http://www.regjeringen.no/upload/subnettsteder/framtidens\\_byer/samlinger/Mars%202010/EIB\\_Klimautslipp%20elektrisitet%20Sylvia%20Skar.pdf](http://www.regjeringen.no/upload/subnettsteder/framtidens_byer/samlinger/Mars%202010/EIB_Klimautslipp%20elektrisitet%20Sylvia%20Skar.pdf)
- Regjeringen (2011). "Fornybardirektivet en del av EØS-avtalen" Hentet 3 februar 2014  
<http://www.regjeringen.no/nb/dokumentarkiv/stoltenberg-ii/oed/Nyheter-og-pressemedlinger/pressemedlinger/2011/fornybardirektivet-en-del-av-eos-avtalen.html?id=667482>
- Regjeringen (2012a). "Klimaforliket vedtatt i Stortinget" Hentet 10 februar 2014  
<http://www.regjeringen.no/nb/dokumentarkiv/stoltenberg-ii/md/Nyheter-og-pressemedlinger/nyheter/2012/klimaforliket-vedtatt-i-stortinget.html?id=684927>
- Regjeringen (2012b). "NOU 2012: 9. Energibruk i bygninger" Hentet 2 april 2014  
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/oed/dok/NOU-er/2012/nou-2012-9/13/1/2.html?id=675583#note1>

SINTEF Energiforskning AS ved Jørn Stene (2000). "Varmepumper for oppvarming og kjøling av bygninger" Hentet 13 mars 2014

<http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4120/innhold/Laboppgaver/Varmepumpe%20Notat%20J%20Stene.pdf>

Statistisk Sentralbyrå (2011a). "Energibruk i husholdningene" Hentet 3 april 2014

<http://www.ssb.no/husenergi/>

Statistisk Sentralbyrå (2011b). "Gjennomsnittlig energiforbruk i husholdninger med og uten varmpumper." Hentet 20 februar 2014

<http://www.ssb.no/a/kortnavn/husenergi/tab-2011-04-19-10.html>

Statistisk Sentralbyrå (2011c). "Tabell 08359: Priser på elektrisk kraft og overføring av kraft til hushold" Hentet 4 april 2014

<https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/saveelections.asp>

Statistisk Sentralbyrå (2013). "Tabell 09654: Priser på fyringsolje og drivstoff (kr per liter)" Hentet 4 april 2014

<https://www.ssb.no/statistikkbanken/selectvarval/saveelections.asp>

Statsbygg. "Varmepumpeveileder" Hentet 3 april 2014

<http://www.statsbygg.no/FilSystem/files/Dokumenter/veiledninger/Varmepumpeveileder/varmpumpe.htm>

Store Norske Leksikon (2014). "EU 20-20-20" Hentet 27 mars 2014

<http://snl.no/.versionview/547474>

Stortinget (2012). "Innstilling fra energi-og miljøkomiteen om norsk klimapolitikk" Hentet 28 mars 2014

<http://www.stortinget.no/no/Saker-og-publikasjoner/Publikasjoner/Innstillinger/Stortinget/2011-2012/inns-201112-390/>

Varmepumpetest. "Hva er en varmpumpe og hvordan fungerer den"

Hentet 2 april 2014

<http://www.varmpumpetest.no/goxpage00000021.html>

Xrgia AS (2011). "Fleksibilitet i fremtidens kraftsystem: Kan varmemarkedet bidra?"

Hentet 20 mars 2014

[http://xrgia.no/nyheter/det\\_nordiske\\_varmemarkedet\\_kan\\_bidra\\_med\\_fleksibilitet\\_i\\_fremtidens\\_kraftsystem/content\\_3/text\\_27d86f5e-ccd3-43d1-83d4-251787c576a9/1300357881175/fleksibilitet\\_i\\_fremtidens\\_kraftsystem\\_v\\_1\\_0.pdf](http://xrgia.no/nyheter/det_nordiske_varmemarkedet_kan_bidra_med_fleksibilitet_i_fremtidens_kraftsystem/content_3/text_27d86f5e-ccd3-43d1-83d4-251787c576a9/1300357881175/fleksibilitet_i_fremtidens_kraftsystem_v_1_0.pdf)

Østergaard Poul Alberg (2011). "Comparing Electricity, Heat and Biogas Storages' Impacts on Renewable Energy Integration" Tildelt av veileder

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544211007705>





Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

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