



NTNU – Trondheim
Norwegian University of
Science and Technology

Prosjektoppgave TIØ4550

Realopsjonsanalyse for varmepumpeinvestering

Anders Egeli

Desember 2016

Veileder: Stein-Erik Fleten

TIØ4550 Investering, finans og økonomistyring, fordypningsprosjekt

Institutt for industriell økonomi og teknologiledelse

Forord

Denne oppgaven er utarbeidet i høstsemesteret 2016 som en del av sivilingeniørstudiet industriell økonomi og teknologiledelse ved NTNU. Fagseksjonen temaet for oppgaven ligger under er investering, finans og økonomistyring.

Jeg vil takke min veileder Stein-Erik Fleten for mange gode råd og innspill. Jeg vil også takke Jørn Stene ved NTNU for hans bidrag til det tekniske rundt investering i varmpumper og Alessio Trivella ved DTU for ordnede data på futurekontrakter.

Problemstillingen er som følger:

Kan en realopsjonsanalyse finne noen merverdi sammenlignet med den vanlige nåverdimetoden, når en ser på investeringsmulighetene i en luft/luft varmpumpe med usikkerhet i teknologi og strømpris?

NTNU, 19.12.2016

Anders Egeli

Sammendrag

I denne oppgaven utføres en investeringsanalyse for luft/luft varmepumpe i en eksempel-husholdning i Norge. Varmepumpen skal erstatte direkte elektrisk oppvarming. Det gis en innføring i termodynamikken og det tekniske bak varmepumpens effektfaktor som gjør varmepumpen til et konkurransedyktig oppvarmingssystem selv om investeringskostnaden er vesentlig høyere. Besparelsene en får i strømkostnader ved investering i varmepumpe er avhengig av virkningsgraden til varmepumpen og strømprisen. Usikkerhet i disse faktorene kan gi venteverdier med bruk av realopsjonsmetoder som nåverdianalyser ikke belyser.

Under arbeidet ble det klart at teknologien for luft/luft varmepumper har vært moden de siste årene og at det derfor vil være veldig lite teknologisk usikkerhet som kan gi opsjonsverdier. I strømprisen er det derimot usikkerhet. Til å estimere usikkerheten, driften og nivået på besparelsene analyseres historiske data på futurekontrakter med 3 år til levering, nettleie og avgifter. Tidligere forskning og analyser ble også brukt som støtte til å sette parametrene for investeringsanalysen. Strømprisen settes til 76 øre/kWh med en volatilitet på 8% og en drift på 2%.

Resultatene viser ingen merverdi ved realopsjonsmetoden sammenlignet med en simpel nåverdianalyse. Usikkerhetene i strømpris og teknologi er for små til at fleksibiliteten en har i å vente med investeringen har noen opsjonsverdi. Til slutt konkluderes det med at slik situasjonen er i dag, er det få situasjoner der det bør benyttes realopsjonsmetoder ved varmepumpeinvesteringer som denne. Nåverdimetoden er enklere og gir som regel de samme svarene som de vanskeligere realopsjonsmetodene.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
1 Innledning	1
1.1 Varmepumpeinvestering	1
1.2 Nåverdimetoden	3
1.3 Realopsjonsanalyse	3
1.3.1 Ulike realopsjonsverdier på grunn av fleksibilitet	3
1.4 Strømprisen	4
1.4.1 Nettleie	4
1.4.2 Avgifter	4
1.4.3 Kraftprisen	4
2 Teori	6
2.1 Nåverdimetoden	6
2.1.1 Styrker og svakheter	6
2.1.2 IRR	7
2.2 Realopsjonsmetoden	7
2.3 Varmepumper	10
2.3.1 Grunnleggende termodynamikk	10
2.3.2 Varmepumpeprosessen	13
2.3.3 Effektfaktorer	16
2.3.4 Luft/luft varmpumper	16
3 Data	17
3.1 Strømpris	17
3.1.1 Deskriptive data for tallrekkene	20

3.2	Varmepumpe	21
3.2.1	Teknologisk utvikling i SCOP	22
3.3	Andre data	23
3.3.1	Risikofri rente	23
3.3.2	Avkastningskrav	23
4	Resultater	26
4.1	Nåverdimetoden	26
4.2	Realopsjonsanalysen	28
4.3	Sensitivitetsanalyse	30
5	Konklusjon	34
5.1	Begrensninger i oppgaven	35
5.2	Videre arbeid	36
	Kilder	37
	Vedlegg	39

1. Innledning

Nåverdimetoden har vært den mest brukte metoden når en skal se på lønnsomheten til mulige investeringer. Problemet med nåverdimetoden er at den ikke tar høyde for oppsidepotensialet i usikkerhet og at hele usikkerheten er formulert i diskonteringsrenten. Tidligere empirisk forskning viser at en i mange tilfeller kan finne merverdi ved bruk av realopsjonsmetoder, spesielt når usikkerheten rundt investeringen er høy. [Naustdal et al. \(2015\)](#) fant blant annet store merverdier ved realopsjonsmetoder for en anleggsinvestering i laksenæringen med usikkerhet i teknologi og laksepris. Jeg vil derfor undersøke om dette også er tilfellet for investering i et varmepumpesystem.

1.1 Varmepumpeinvestering

Sammenlignet med oppvarmingssystemer basert på olje, gass eller direkte bruk av elektrisitet er varmepumper mer energieffektive og dermed også miljøvennlige. Varmepumper har en høyere investeringskostnad i forhold til de andre oppvarmingssystemene, men ettersom energiforbruket og dermed energikostnadene er lavere, vil en varmepumpeløsning ofte være et konkurransedyktig alternativ ([Stene, 1997](#)). Når en skal vurdere de ulike alternativene er det viktig å se på de økonomiske konsekvensene. Ved å sammenligne lønnsomheten, og kanskje også miljøpåvirkningen, til de ulike investeringsmulighetene kan en finne hvilken løsning som er optimal.

Lønnsomhetsanalysen kan gi svar på hvor mye en tjener eller taper i hele kroner på å investere (nåverdi) eller hvor lønnsomt prosjektet er i forhold til et avkastningskrav (internrenten). For å utføre en slik analyse må kontantstrømmen som følger av investeringen kartlegges. For en varmepumpeinvestering er det ulike parametere som påvirker de fremtidige kontantstrømmene. Kontantstrømmene er ofte definert som årlige inntekter eller kostnader, mens for varmepumpeinvesteringer er det reduksjon i årlige kostnader en ser på. Altså diffe-

ransen mellom energikostnader ved bruk av en varmepumpeløsning kontra en av de mer tradisjonelle oppvarmingssystemene. Denne differansen er avhengig av de ulike løsningenes energiforbruk og energikostnaden per kWh for de ulike energikildene. Jeg vil som nevnt i denne oppgaven se på investering i en luft/luft varmepumpe som erstatning for bruk av direkte elektrisitet, gjennom for eksempel panelovner, og energibesparelsene som følger.

Direkte elektrisitet har en virkningsgrad på 100% mens forbrenningsalternativene som ved, olje og gass har en noe lavere. Virkningsgraden (også kalt effektfaktoren) er definert som forholdet mellom levert og brukt energi. Prinsippet som gjør varmepumpen til et konkurransedyktig alternativ selv om investeringskostnaden er høyere er at de bruker litt energi i form av elektrisitet til å hente varme fra omgivelsene. Dermed får en mer tilført energi enn det som brukes og får en virkningsgrad som er høyere enn én. Dette gjør det mulig å spare energi. Teorien bak hvordan varmepumpen får til dette vil bli forklart i teorikapittelet. Effektfaktoren til en varmepumpe er avhengig av flere faktorer. Blant annet har teknisk utforming, valg av energikilde og distribusjonsløsning for varmen mye å si. Men en av hovedfaktorene er temperaturdifferansen mellom omgivelsene, hvor energien hentes fra, og inntemperaturen, der den leveres. Problemet med luft/luft varmepumper er at effekten av varmepumpen er i motfase med energibehovet. På vinteren når energibehovet til oppvarming er størst vil også effektfaktoren til varmepumpen være dårligst på grunn av større temperaturdifferanse. Varmepumpeleverandører bruker ofte en effektfaktor (COP) under nær optimale forhold. Denne vil ikke stemme over hele året. Det brukes derfor i stedet en årlig effektfaktor (SCOP) til å regne på årlige energibesparelser. SCOP står for Seasonal Coefficient of Performance og er forholdet mellom totalt brukt og levert energi over et helt år.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) kom tidligere i år ut med en rapport om "Varmepumper i energisystemet" (NVE, 2016). Her fremstilles blant annet utviklingen for varmepumpesalg og bruk de siste årene. Det gis et godt bilde på hvordan varmepumper tidligere har påvirket energisystemet i Norge og hvordan det kan fortsette å påvirke det i fremtiden. NVE ser også på utviklingen og potensialet i ulike varmepumpeløsninger, og utfører lønnsomhetsanalyser for noen eksempler på investering i varmepumpesystemer. Rapporten viser at varmepumpenes utbredelse generelt har vært økende de siste 10-15 årene men at salg av løsninger basert på luft/luft systemer har vært avtagende. Løsninger basert på å væske i

ulike former (grunnvann, sjøvann, avløpsvann blant andre) blir mer og mer vanlig ettersom de blant annet har bedre virkningsgrad og kan dekke oppvarmingsbehovet til varmtvann. Slike løsninger er derimot dyrere å investere i og lønnsomhetsanalysene til NVE viser at nåverdien av slike løsninger er negativ for små oppvarmingsbehov (husholdninger), selv med støtte fra blant annet ENOVA ved investering.

1.2 Nåverdimetoden

Nåverdimetoden er den mest vanlige metoden brukt i investeringsanalyser. Dersom nåverdien til en investering er positiv vil en velge å investere. Metoden gir bare svaret på om investeringen skal gjennomføres nå eller ikke, basert på positiv eller negativ forventet verdi. Prinsippet er å diskontere fremtidige kontantstrømmer til dagens verdi med et avkastningskrav som gjenspeiler usikkerheten i investeringen og/eller avkastningen i en alternativ allokering av ressursene.

1.3 Realopsjonsanalyse

Det er etter hvert kommet utrolig mange realopsjonsmetoder som kan brukes på ulike investeringsmuligheter. Noen av metodene er basert på binomiske modeller, noen på simulerte og noen på mer matematiske utledninger. Valget av metoden er avhengig av strukturen til investeringen, usikkerhetene i underliggende aktiva og fleksibiliteten en ønsker å inkludere i investeringsanalysen.

1.3.1 Ulike realopsjonsverdier på grunn av fleksibilitet

[Pindyck and Dixit \(1998\)](#) identifiserer tre karakteristikk som gjelder for de fleste investeringsbeslutningene. De mener altså at disse tre karakteristikkene bestemmer de optimale beslutningene for investorer:

1. Usikkerhet rundt fremtidige kontantstrømmer.
2. Irreversibilitet, altså at investeringene er preget av "sunk cost".
3. Timing, altså at man kan velge å utsette prosjektet til senere tidspunkt der en for eksempel kan ha fått mer informasjon.

Innen realopsjonsteori er det ulike typer fleksibilitet som nevnes. Mulighetene til å ekspandere, utvide, midlertidig stoppe eller eventuelt avslutte et prosjekt kan være verdifulle. På grunn av usikkerheter og irreversibiliteter kan det finnes store verdier i å beholde fleksibilitet i en investering. Kjernen i realopsjonsanalyser er altså å identifisere valgmulighetene en har i en investering og gi denne fleksibiliteten en verdi. For investeringsmuligheten i en luft/luft varmepumpe har jeg bare identifisert fleksibiliteten i å vente med investeringen. Dermed vil en i dette tilfellet vente med å investere til verdien av investeringen overgår investeringskostnaden tilstrekkelig til at også verdien i å vente er dekket.

1.4 Strømprisen

Den største usikkerheten i investeringsanalysen for varmepumper er elektrisitetsprisen. For husholdninger i Norge består denne av nettleie, avgifter og en kraftpris.

1.4.1 Nettleie

Nettselskaper rundt om i Norge eier og drifter strømmettet som transporterer strømmen fra kraftstasjonene til kundene. Regningen for å drifte dette strømmettet havner på forbruker, ofte gjennom et fastledd og et variabelt ledd avhengig av forbruket ditt. Det er Norges vassdrags- og energidirektorat som regulerer hvor mye nettselskapene kan ta seg betalt i nettleie (strompris.no, [her](#)).

1.4.2 Avgifter

Stortinget vedtar årlig en forbruksavgift på elektrisk kraft som nettselskapene fakturerer deg og betaler inn til tollvesenet. I noen områder i Nord-Norge er husholdningene fritatt fra denne avgiften. Strømregningen inkluderer også merverdiavgift på 25%.

1.4.3 Kraftprisen

Ettersom strøm ikke kan lagres, på noen økonomisk god måte, må strøm brukes når det produseres. Det gjør kraftprisen sterkt avhengig av tilbud og etterspørsel. Tilbudet er i Norge sterkt avhengig av vannmengden i magasinene. Men ettersom strømmettet er koblet opp med Europa og det selges og kjøpes strøm over grensene vil også gass og kullprisene ha inn-

virkning på tilbudssiden. Etterspørselsiden er avhengig av energibehovet i de ulike sesongene. Dette fører til sesongvariasjoner i strømprisen. Spesielt i Norge hvor variasjonene er så betydelige.

Futurepriser på kraft

Når norske strømleverandører skal sette strømprisene på sine lengre fastpriskontrakter, bruker de blant annet futureprisene på nordisk elektrisitet til å anslå fremtidige strømprisnivåer. De sikrer seg også mot endring i strømprisene ved å handle disse kontraktene, slik kan de selge og kjøpe fremtidig strøm uten at de tar på seg all risiko selv.

Ettersom jeg skal bruke SCOP som er et gjennomsnitt på effektfaktoren over hele året, vil det være naturlig å bruke årskontraktene på strøm som utgangspunkt for min analyse. Disse har samme pris ved levering hele det gjeldende året.

2. Teori

2.1 Nåverdimetoden

For å kalkulere nåverdien av en investering må utgående og inngående kontantstrømmer, samt diskonteringsrenten estimeres. Verdien av investeringsmuligheten blir da:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I$$

,hvor I er investeringskostnaden i starten av prosjektet, CF_t er kontantstrømmen i periode t , r er diskonteringsrenten og T er levetiden til investeringen. Som en kan se er nåverdien til en investering enkelt forklart lik nåverdien av alle fremtidige kontantstrømmer minus investeringskostnaden.

2.1.1 Styrker og svakheter

Fordelene med nåverdimetoden er at ulike investeringsmuligheter behandles på en lik måte og enkelt en kan sammenligne resultatene. Resultatene er ikke avhengige av risikopreferansen til investor, og de er akseptabelt presise. Metoden er enkel å forstå og dermed er også resultatene fra analysen enkle å forklare ([Aasen, 2006](#)).

Problemet med nåverdimetoden er antagelsen om at investeringsmuligheten er statisk. Altså, at muligheten er å investere nå eller aldri. Den tar dermed ikke hensyn til at en i virkeligheten har flere muligheter. Kontantstrømmene er også vanskelige å predikere og modellen gir ikke rom for å gå inn og aktivt styre etter at investeringen er utført.

All risiko er formulert inn i diskonteringsrenten. Dermed forklares og formuleres ikke usikkerhetene i ulike investeringer særlig godt. Det kan derimot gjøres sensitivitetsanalyser for å belyse endringer i usikre parameteres betydning på det endelige resultatet av nåverdianalysen.

2.1.2 IRR

Nåverdimetoden tar heller ikke hensyn til hvor mye kapital som låses i investeringen. Gitt at en har flere lønnsomme investeringer enn en har kapital til å utføre, må det finnes en måte å velge ut investeringene som totalt sett er mest lønnsomme. Internrenten (Internal Rate of Return, IRR) kan her hjelpe til ettersom den gir et tall på lønnsomheten per investert kapital. *IRR* er avkastningskravet som gjør $NPV = 0$. Ved positiv NPV får en *IRR* som er større en avkastningskravet og motsatt ved negativ NPV .

2.2 Realopsjonsmetoden

Når det kommer til investering i luft/luft varmepumper er det bare muligheten til å utsette investeringen som er identifisert. Investeringskostnaden er "sunk cost" etter at varmepumpen er installert og en har derfor få eller ingen valgmuligheter etter investeringen er foretatt. På grunn av investeringens struktur, vil det derfor utføres en realopsjonsanalyse basert på teorier om en utbyttebetalende amerikansk kjøpsopsjon med uendelig tid til forfall (perpetual).

Basert på Black,Scholes Mertons arbeid på 70-tallet om prising av finansopsjoner, kom McDonald Siegel i 1986 med "The value of waiting to invest" (McDonald and Siegel, 1986). Her formulerer de en modell som er uavhengig av tid og som gir et barrierenivå hvor opsjonen skal utføres. Barrierenivået er formulert som et forholdstall mellom nåverdien av kontantstrømmene og investeringskostnaden. De eksemplifiserer en situasjon der det er optimalt å vente til innbetalingene er dobbelt så store som investeringskostnaden, i motsetning til nåverdimetoden som bare krever at nåverdien er større enn investeringskostnaden.

Dixit og Pindyck har deretter tatt arbeidet videre og formulert en modell basert på "Contingent Claims analysis" (betingende krav analyse) (Dixit and Pindyck, 1994). Modellen krever at stokastiske endringer i verdiene til investeringen spenner fra eksisterende eiendeler i finansmarkedet. De argumenterer for at dette kravet holdes for de fleste råvarene som handles i spot og futuremarkeder. Ettersom besparelsene ved investering i varmepumpe er direkte knyttet opp til strømprisen regnes det med at dette kravet holder for min investeringsanalyse.

D&P utleder en differensialligning for opsjonsverdien ($F(V)$) basert på et tankeeksperiment der en tenker seg at det er mulig å sette opp en portefølje av kraftfutures (i mitt tilfelle) og handle disse i kontinuerlig tid. Porteføljen settes opp slik at verdien av å ha den reflekterer samme verdi som å holde på opsjonen en har til å investere. Gitt at denne forutsetningen holder kan det brukes opsjonsteorier fra finans til å verdsette porteføljen og dermed investeringsmuligheten. Til utledningen av differensialligningen bruker D&P noe som kalles Ito's Lemma og Bellman ligningen. Ito's Lemma brukes til å finne differensialet i en tidsavhengig stokastisk prosess slik at en kan beskrive endringen i underliggende aktiva og dermed verdien av investeringen i kontinuerlig tid. Bellman ligningen er basert på dynamisk programmering og brukes til å sette opp en ligning for å maksimere verdien av opsjonen. Kort forklart reduserer Bellman ligningen et optimeringsproblem ned til to komponenter: verdiene en får fra en initial beslutning og verdien av resterende beskatningsmuligheter som resulterer fra denne beslutningen. Ito's Lemma og Bellman ligningen er matematisk vanskelige og utenfor omfanget av denne oppgaven. Det henvises derfor til D&P for nærmere beskrivelse av disse og utledningen av differensialligningen for opsjonsverdien under ([Dixit and Pindyck, 1994](#)).

$$\frac{1}{2}\sigma^2 V^2 F''(V) + (r - \delta)VF'(V) - rF = 0$$

,hvor σ er volatiliteten til V , r er risikofri rente og $\delta = \mu - \alpha$, altså er forskjellen mellom risikojustert forventet avkastning i alternativ allokering av midlene og forventet endringsrate til V i prosent. Differensialligningen løses ut fra grenseligningene under og ved å velge V^* som maksimerer verdien av muligheten en sitter på.

$$F(0) = 0$$

$$F(V^*) = V^* - I$$

Den første setter opsjonsverdien til null om nåverdien av kontantstrømmene er null. Op sjonsverdien kan dermed ikke være negativ. $F(V^*) = V^* - I$ er det de kaller "value-matching condition". Den setter opsjonsverdien ($F(V)$) lik netto nåverdi ($V - I$) ved barrierenivået V^* . Dette er logisk siden en da er indifferent mellom å forsette å holde på opsjonen og å investere og få kontantstrømmene som følger. Den generelle løsningen på differensialligningen blir:

$$F(V) = A_1 V^{\beta_1} + A_2 V^{\beta_2}$$

På grunn av den første grenselikningen blir $A_2 = 0$. En er dermed bare ute etter konstanten A_1 og den positive roten av β , altså β_1 . Dette gir:

$$F(V) = A_1 V^{\beta_1}$$

D&P utleder den positive roten til den kvadratiske ligningen av den andre ordens differensialligning lik:

$$\beta_1 = \frac{1}{2} - \frac{r - \delta}{\sigma^2} + \sqrt{\left[\frac{r - \delta}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right]^2 + \frac{2r}{\sigma^2}}$$

Ved å sette inn $A_1 V^{*\beta_1}$ for $F(V^*)$ i "value-matching condition" får en:

$$A_1 V^{*\beta_1} = V^* - I \quad \Rightarrow \quad A_1 = \frac{V^* - I}{V^{*\beta_1}}$$

Dermed blir $F(V)$ lik:

$$F(V) = \frac{V^* - I}{V^{*\beta_1}} V^{\beta_1}$$

Å maksimere verdien av muligheten ($F(V)$) blir nå det samme som å maksimere brøken $\frac{V^* - I}{V^{*\beta_1}}$ med hensyn på V^* :

$$\max_{V^*} \frac{V^* - I}{V^{*\beta_1}} \quad \Leftrightarrow \quad V^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} I$$

Dermed er ligningene for A_1 , β_1 og V^* som inngår i utregning av opsjonsverdien $F(V)$ funnet. D&P poengterer at $\beta_1 > 1$. Det gir $\beta_1 / (\beta_1 - 1) > 1$ og dermed også $V^* > I$, altså er den enkle nåverdiregelen ikke lenger riktig og det dannes en "kile" mellom den kritiske verdien V^* og I på grunn av usikkerhet og irreversibilitet i investeringen.

Med disse formlene vil en finne et barrierenivå (V^*) der en bør investere, basert på usikkerhet, drift og nivå på underliggende aktiva (besparelsene), risikofri rente, risikojustert avkastningskrav og en utøvelsespris gitt av investeringskostnaden for varmepumpen. En får også en funksjon for opsjonsverdien og kan finne eventuelle merverdier av realopsjonsanalysen

sammenlignet med nåverdianalysen.

Det er forutsatt for metoden at bevegelsen til underliggende aktiva følger en Geometrisk Brownsk bevegelse (som for Black-Scholes opsjonsprisindeksmodell) med en gitt drift og volatilitet i prosent. Det må dermed gjøres en antagelse om at årlige strømbesparelser følger en geometrisk brownsk bevegelse for å benytte "contingent claims metoden" (Dixit and Pindyck, 1994).

2.3 Varmepumper

Som nevnt i innledningen er styrken til varmepumpeløsninger at en oppnår høyere energieffektivitet ved å bruke energien som er i omgivelsene til å varme opp inneluften. Denne delen av oppgaven vil gi en innføring i prinsippene og teknologien som gjør dette mulig. Det meste av teorien er hentet fra Jørn Stenes bok "Varmepumper : grunnleggende varmepumpeteknikk" (Stene, 1997).

2.3.1 Grunnleggende termodynamikk

Termodynamikkens 1. og 2.hovedsetning er som følger:

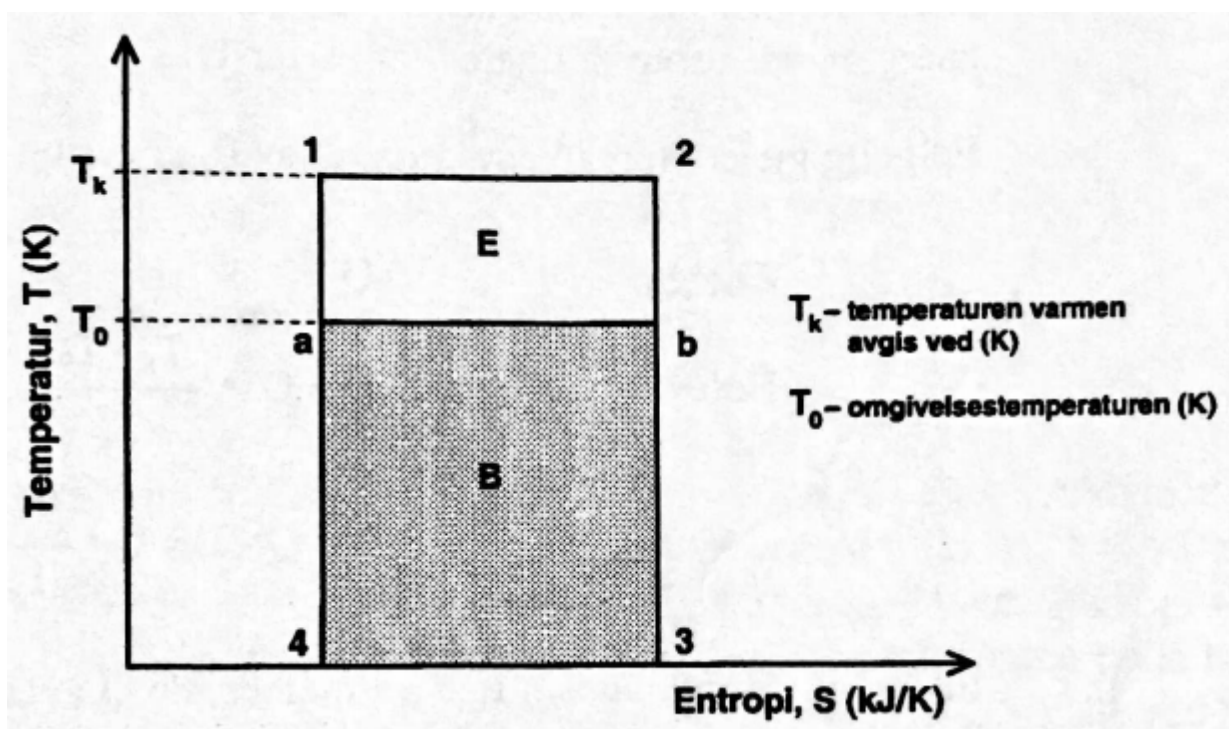
1.hovedsetning: Energimengden i et lukket system er konstant - energi kan verken oppstå eller forsvinne.

2.hovedsetning: Varme kan ikke strømme av seg selv fra et sted med gitt temperatur til et sted med høyere temperatur.

Den første hovedsetningen gir oss energibalansen. Differansen mellom all energien som dyttes inn i et lukket system og det som tas ut av systemet er lik endringen i energien i det lukkede systemet. Det snakkes ofte om energiproduksjon og energiforbruk, men ettersom energi hverken kan oppstå eller forsvinne i henhold til første hovedsetning, er dette ikke mulig. Det en faktisk forbruker er energikvalitet. Elektrisitet har 100% energikvalitet. Det vil si at et forbruk av 1 joule elektrisitet vil gi 1 joule i form av varme. Men om en for eksempel skal bruke gass til å produsere strøm må det brukes mer gass enn det energiinnholdet i gass skulle tilsi. Ettersom at varmenergien fra forbrenningen, som brukes til å produsere elektrisiteten, har

lavere energikvalitet enn elektrisitet.

I termodynamikken er det definert to typer energi, "eksergi" og "anergi". Der eksergi (E) er den delen av totalenergien som vi kan utnytte og som gjennom en reversibel og tapsfri prosess kan omformes til en annen energiform. Anergi er da den delen av det totale energiinnholdet som ikke kan omformes og derfor er verdiløs. Energiformer som elektrisk, mekanisk og kjemisk energi består av ren eksergi og kan dermed utnyttes, mens varme og indre energi består av eksergi og anergi, og kan derfor bare delvis utnyttes.



Figur 2.1: Varmemengdens eksergi og anergiandel (Stene, 1997).

Figur 2.1 er det som kalles et TS-diagram. I figuren vises eksergiinnholdet (E) og anergiinnholdet (B) i en varmemengde (Q), $Q = E + B$. Flaten E er her den delen av det totale energiinnholdet som kan brukes til noe, mens flaten B er "ubrukelig". Altså kan bare varmen over omgivelsestemperaturen T_0 brukes. Dette kommer av den andre hovedsetningen som sier at varme ikke kan strømme av seg selv fra et sted med en gitt temperatur til et sted med en høyere temperatur. Eksergi og anergiinnholdet i varmemengden Q gis dermed av formlene under, der T_k er temperaturen varmen avgis ved og T_0 er omgivelsestemperaturen.

$$E = Q \frac{T_k - T_0}{T_k} \quad B = Q - E = Q \frac{T_0}{T_k}$$

Q er det totale arealet av flatene i TS-diagrammet og kan uttrykkes som:

$$Q = \int T dS$$

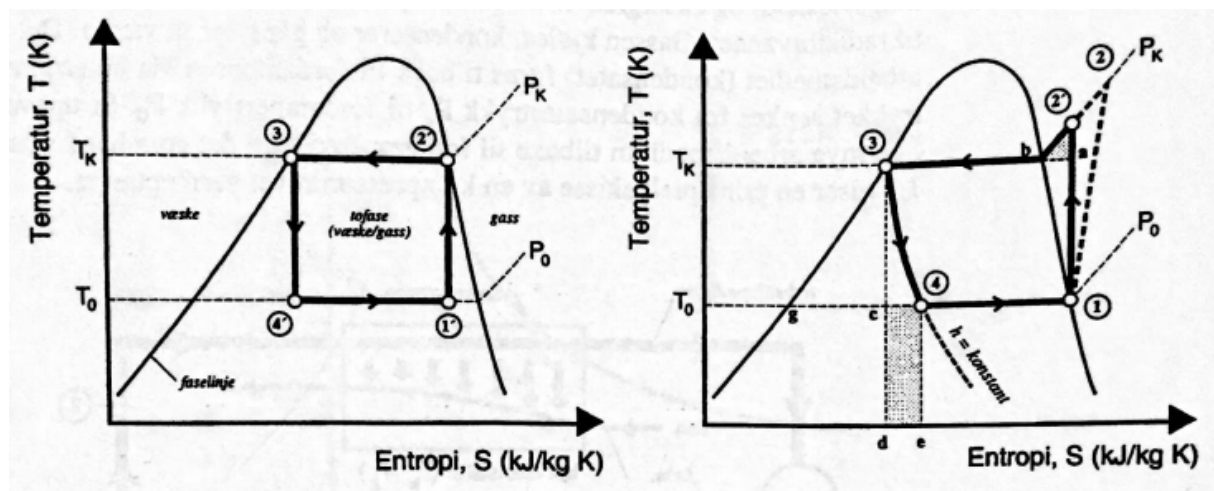
,hvor T er absolutt temperatur i Kelvin og dS er entropiforandring. Entropi er en tilstandsfunksjon og endring av entropi dS gir oss mottatt eller avgitt varme ved en temperatur T . Tilførsel av varme over en systemgrense ved temperatur T (T_k i diagrammet) gir positiv dS og motsatt for avgivelse av varme.

Varmebehovet i en husholdning består også av eksergi og anergi. Eksergiandelen kan kun dekkes av eksergi, som for eksempel elektrisitet, mens anergidelen kan dekkes ved enten å forbruke eksergi eller ved å gjenvinne anergi fra omgivelsene. I tradisjonelle systemer som for eksempel elektriske panelovner benyttes eksergi i form av strøm til å dekke hele varmebehovet, mens for varmepumpesystemer vil deler av energien dekkes av anergi fra omgivelsene. Slik at en får en bedre effektfaktor. Jeg nevnte tidligere at anergidelen er ubrukelig. Det er den altså ikke (!), men det kreves tilført energi i form av eksergi for å kunne utnytte den.

Ved en ideell varmepumpe brukes eksergi til å å heve temperaturen på luft fra omgivelsene (T_0) til et høyere temperaturnivå (T_k). Slik dekker eksergien som tilføres hele eksergiinnholdet til varmebehovet, mens hele anergiinnholdet gjenvinnes fra omgivelsene. Det fungerer derimot ikke slik i den reelle verden og en vil få et eksergitap. Dette eksergitapet kan komme i flere former, for eksempel som utvikling av varme gjennom indre og ytre friksjon. I en varmeveksler forekommer eksergitap også på grunn av temperaturfall ved varmevekslingen. Verdifull eksergi konverteres da til verdiløs anergi. For konvensjonelle oppvarmingsystemer som for eksempel en panelovn har ikke dette noe å si ettersom at hele varmebehovet utelukkende dekkes av eksergi, men for varmepumpesystemer er ikke dette tilfellet og en må prøve å redusere disse tapene.

2.3.2 Varmepumpeprosessen

Måten varmepumpen klarer å utnytte anergidelen til omgivelsene er ved å utnytte egenskapene til et arbeidsmedium som sirkulerer i varmepumpen. Arbeidsmediet er valgt slik at det fordampes og kondenserer ved temperaturene skal foregå på. Ved å senke trykket senkes kokepunktet i arbeidsmediet slik at det tar opp energi fra omgivelsen ved fordampning, og ved å øke trykket flyttes temperaturen til arbeidsmediet opp til et høyere nivå slik at en kan utnytte varmen som er hentet fra omgivelsene ved kondensering.



Figur 2.2: TS-diagram for den reverserte carnot-prosessen og en kalddampprosess (Stene, 1997).

Stene (1997) skriver i sin bok at den ideelle varmepumpeprosessen representeres av en reversert Carnot-prosess, forutsatt konstante temperaturgrenser. Som en tilnærming til den faktiske varmepumpeprosessen bruker han det som kalles en kalddampprosess. Figur 2.2 viser forskjellene mellom de to prosessene i et TS-diagram. Forskjellen mellom de to prosessene ligger i hovedsak i eksergitapene en får for kalddampprosessen. Punktene merket 1, 2, 3 og 4 representerer termodynamiske tilstander (merket ' er teoretiske tilstander) til arbeidsmediet som sirkulerer i varmepumpesystemet. Mellom punktene (f.eks. 4-1) gjennomgår arbeidsmediet delprosesser.

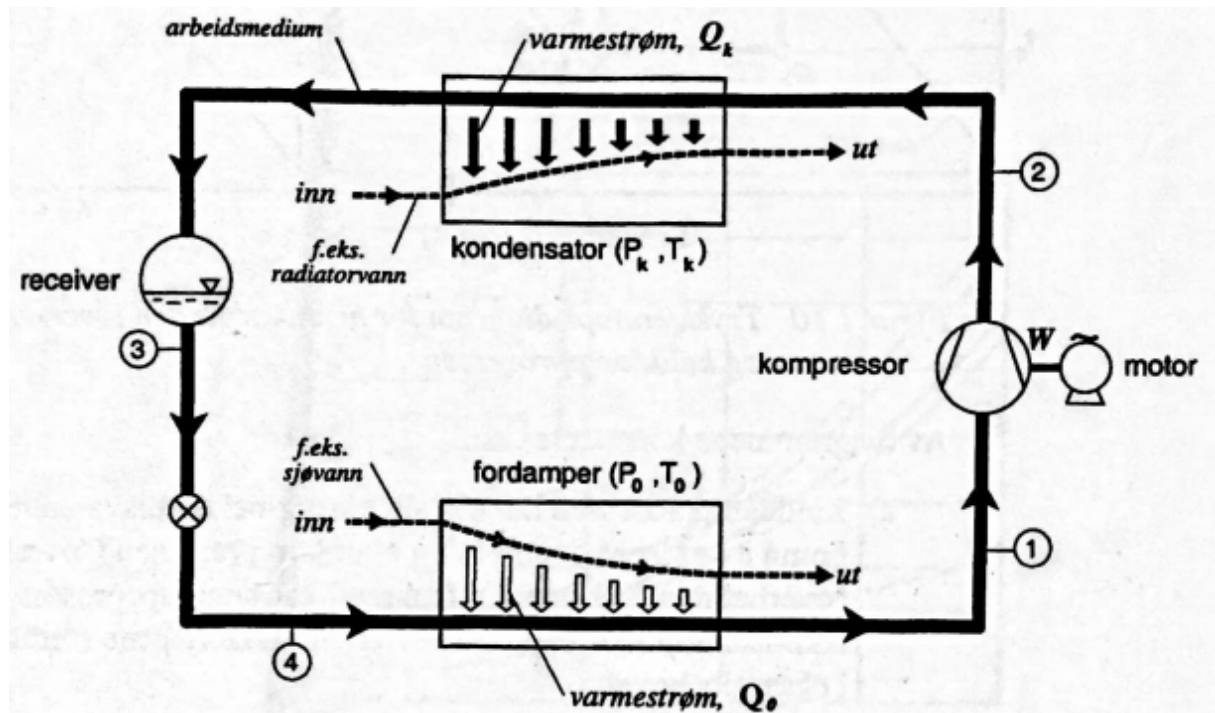
1-2: Bruk av eksergi ved kompresjon av arbeidsmediet som gjør at temperaturen heves. For både carnot-prosessen og kalddampprosessen er denne delprosessen isentropisk, noe som betyr at kompresjonen er tapsfri og uten varmeveksling til omgivelsene. Forskjellen mellom

de to delprosessene er at kalddampprosessen må være mettet før en kan øke trykket og dermed må arbeidsmediet overopphetes. Dette gjør at varmeavgivelsen etterpå medfører temperaturfall og dermed eksergitap. I tillegg til dette vil ikke en virkelig varmepumpe utføre denne delprosessen isentropisk på grunn av varmetap til omgivelsene. Dette medfører at en må overopphete arbeidsmediet enda mer (til 2 i stedet for 2' i diagrammet til høyre) og får dermed enda større tap.

2-3: Gassen er nå varmet opp og en får i varmeveksleren varmeavgivelse Q_k til systemet som skal varmes. For Carnot-prosessen skjer denne varmeavgivelsen med konstant temperatur T_k (isotermisk), mens for kalddampprosessen og virkelige varmepumper er dampen overopphetet før varmeveksleren og en får temperaturfall ved varmeavgivelsen.

3-4: Carnot-prosessen gjennomgår her isentropisk struping som fører arbeidsmediet fra temperatur T_k til T_0 med gjenvinning av eksergi. For kaldampprosessen foregår denne strupingen uten gjenvinning av eksergi og en får en entropiendring som må dekkes av eksergi (det skraverte området c-4-d-e).

4-1: Arbeidsmediet er nå slik at det fordampes ved omgivelsestemperaturen. Dermed tilføres systemet varmeenergi fra anergien i omgivelsene. Forskjellen mellom Carnot- og kalddampprosessen er som nevnt at arbeidsmediet må være fullstendig fordampet (mettet gass) før det komprimeres til høyere temperaturer. Grunnen til dette er at dagens kompressorer ikke er egnet til å komprimere fuktig damp.



Figur 2.3: Prinsippskisse av kompressordrevet varmepumpe (Stene, 1997).

Figur 2.3 viser en prinsippskisse av et varmepumpesystem som gjennomfører stegene beskrevet over. Denne skissen viser det som kalles en væske/vann varmepumpe hvor det hentes energi fra sjøvann og leveres energi til radiatorvann. Radiatorvannet strømmer deretter gjennom radiatorer og avgir varmen Q_k inne. Prosessforløpet forgår slik at kompressoren suger gass fra fordampneren ned til et trykk og dermed en fordampningstemperatur lavere enn omgivelsestemperaturen (sjøvann, uteluft). Dermed vil varme (Q_0) i form av anergi strømme fra omgivelsene til systemet. Kompressoren komprimerer deretter arbeidsmediet slik at trykket og temperaturen løftes. En væskelås på andre siden av kompressoren sørger for at trykket i arbeidsmediet blir så høyt at fordampningstemperaturen til arbeidsmediet er lavere enn temperaturen T_k i radiatorvannet (eller inneluften for et luft/luft system). Dermed vil arbeidsmediet kjøles og kondenseres til væske. Gjennom denne delprosessen avgis varmen Q_k . Q_k består nå av både varmen (anergien) fra omgivelsene Q_0 og eksergien W tilført av kompressoren. Til slutt går arbeidsmediet gjennom en strupeventil og ender opp tilbake i fordampneren, klar for en ny runde.

2.3.3 Effektfaktorer

Effektfaktoren til prosessene beskrevet over er gitt av forholdet mellom avgitt varme (Q_k) og tilført eksergi (W). Altså:

$$\varepsilon = \frac{Q_k}{W}$$

For Carnot-prosessen, som er en ideell prosess uten tap, kan dette reduseres til $\varepsilon_c = T_k/(T_k - T_0)$. Mens for kalddamprosessen og virkelige varmepumper er det tap i prosessen som må dekkes av tilført eksergi (W). Fra kalddamprosessen finnes den teoretisk mulige effektfaktoren til varmepumper ved å dekke de skraverte områdene i figur 2.2 med tilført eksergi og så regne ut effektfaktoren. For virkelige varmepumper er det som nevnt ekstra tap på grunn av varmeoverføring i kompressoren. Går omgivelsestemperaturen under 0°C vil det dannes rim på varmeveksleren mot omgivelsene. Dette må avrimes med jevne mellomrom og medfører at en3w også her bruker litt eksergi og dermed får dårligere effektfaktor. Effektfaktoren som blir brukt i mine beregninger er som nevnt gjennomsnittlig effektfaktor over året, og en dividerer dermed totalt avgitt varme fra varmepumpen på totalt brukt elektrisitet i varmepumpen gjennom året.

$$SCOP = \frac{Q_{k,tot,\text{år}}}{W_{tot,\text{år}}}$$

2.3.4 Luft/luft varmepumper

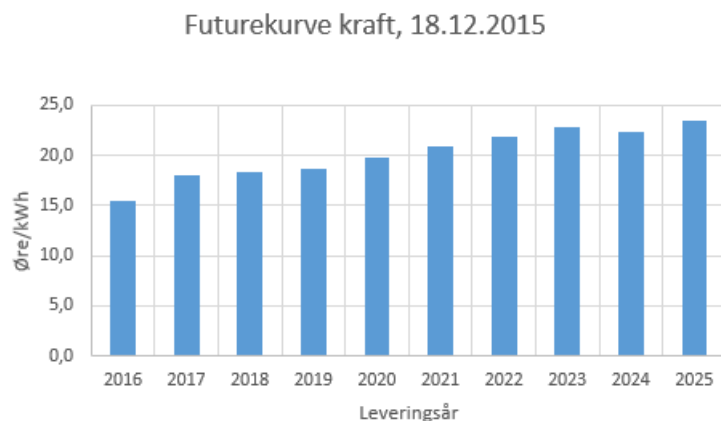
Fordelen med uteluft som energikilde er at den er lett tilgjengelig over alt. Men som nevnt er luft/luft varmepumpens effektfaktor i motfase med energibehovet. Kapasiteten i varmepumpen vil avta med ca 4% pr. $^\circ\text{C}$ senkning i uteluften. Dette fører til at varmepumper er best egnet i områder hvor temperaturen er mest mulig jevn og ikke for lav (Stene, 1997). En annen ulempe med luft er at varmeoverføringsegenskapene ikke er så gode. For å at varmevekslerene ikke skal bli for store må derfor temperaturdifferansen over varmeveksleren være høyere noe som medfører større eksergibruk. Den lave varmekapasiteten til luft gjør også at store mengder luft må strømme til systemet. Energien brukt til å vifte denne luften inn til varmeveksleren reduserer også den totale effektfaktoren.

3. Data

3.1 Strømpris

Metoden som ble valgt for å regne på den totale strømprisen over hele investeringshorisonten var å legge sammen tallene for futurekontraktene med leveringstid på 3 år, nettleie og avgifter (justert opp 3 år med gjennomsnittlig vekst) og så analysere summen av disse verdiene. Målet med dette er å finne en samlet drift og volatilitet for den totale strømprisen. Denne totale strømprisen vil være et estimat for den totale strømprisen 3 år frem i tid. Grunnen til at vi kan bruke futureprisene til å predikere framtidige spotpriser er at elektrisitet som nevnt ikke kan lagres. Futureprisene inneholder derfor helst forventninger til fremtidig tilbud og etterspørsel og er ikke styrt av spotpris og cost of carry ([Poskitt and Tomlinson, 2011](#)). Man kan ikke kjøpe opp strøm til en lav pris i dag, ta på seg en carrying cost for så å selge strømmen på et tidspunkt der strømprisen er høyere.

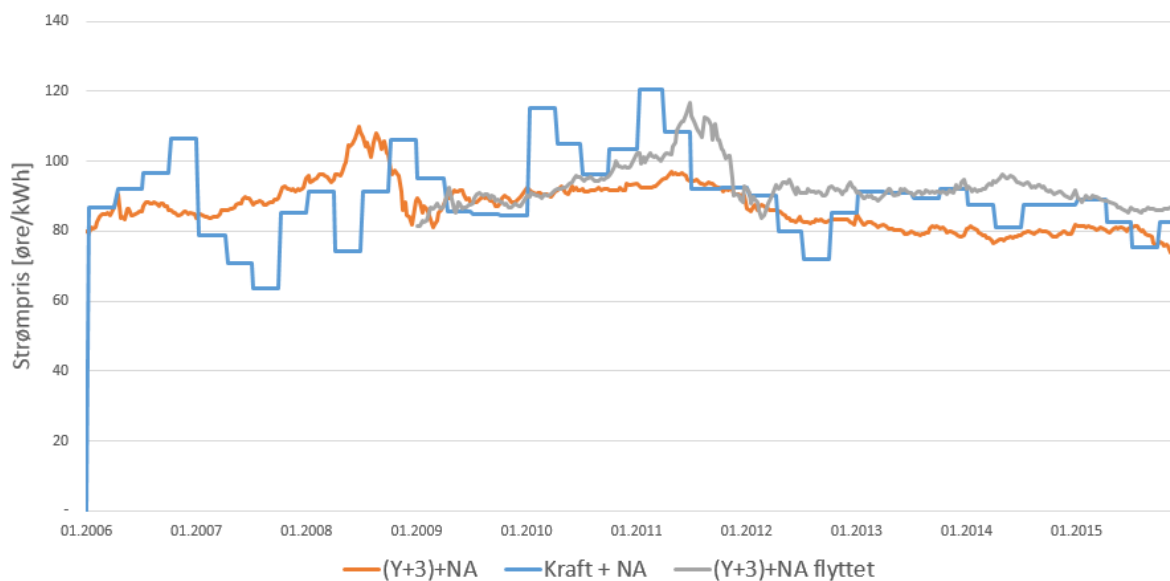
Futureprisene inneholder derimot en risikopremie. [Fleten et al. \(2015\)](#) sier at risikopremien for kraftfutures er positiv når produsenter hedger sin produksjon og motsatt når kjøpere hedger. [Bernseter \(2003\)](#) testet en lignende hypotese om at risikopremien er negativ for korte kontrakter, ettersom det her helst er konsumenter som hedger seg. Mens for de lengre kontraktene vil risikopremien bli positiv, ettersom det da i større grad er produsentene som hedger. Resultatene hans viste også negativ risikopremie for de lengre kontraktene, men han undersøkte bare kontrakter opp til 2 år til levering. Risikopremien i hans undersøkelser er derimot avtagende med lengre leveringstider. Han presenterer også en estimert trendlinje basert på resultatene sine. Denne viser at fortegnet på risikopremien skifter et sted mellom kontrakter med 3 og 4 år til levering. Dette kan tyde på at 3-årskontraktene inneholder tilnærmet null risikopremie og at denne prisen dermed er et greit estimat på fremtidige spotpriser. 3-årskontraktene er også forholdsvis likvide og effisiente i forhold til de lengre kontraktene, noe som gjør dem bedre egnet for empiriske analyser. De lengste kontraktene kan med andre ord inneholde feilkilder på grunn av lav likviditet.



Figur 3.1: Futurekrurve 18.02.2016

I figur 3.1 ser en futurekurven for kraft (fra Nasdaq) den 18.02.2016. Tanken er at futureprisen med levering 3 år frem i tid skal være et greit estimat på kraftprisen over hele investeringshorisonten. Futurekurven kan tyde på at argumentet om stigende risikopremie ovenfor stemmer, ettersom at prisene er stigende ved lengre leveringstid. Stigningen kan også reflektere en forventet prisvekst for kraft.

Futureprisdataene jeg har fått tilgang til var allerede ordnet av Alessio Trivella (ph.d.-stipendiat ved Danmarks Tekniske Universitet). Han har splittet opp dataene basert på dato kontraktene ble handlet og deretter omorganisert i henhold til tid til levering. Det vil si at jeg for futurekontraktene med levering i 2009 har prisene fra hele 2006 (ordnet etter dato) og så har jeg videre bare prisene fra 2007 for 2010 kontraktene (selv om kontraktene fortsatt selges nærmere leveringsperioden). Dette er gjort slik at en kan få en kontinuerlig tidsrekke med futurepriser med fast (snitt) tid til levering på 3 år. Slike data, med "fast" tid til levering, trengs for å analysere utviklingen. Datasamlingen var i utgangspunktet daglige priser fra starten av 2006 til slutten av 2015. Deretter har jeg gjort dataene om til ukentlige priser ved å bare ta med fredagspriser fra datasettet. På grunn av helligdager er det i noen tilfeller 2 uker mellom hvert datapunkt. Jeg velger å neglisjere påvirkningen dette måtte ha på resultatene mine. Begrunnelsen for å bruke ukentlige data er at jeg ikke er interessert i daglige variasjoner ettersom horisonten er så lang, mens det fortsatt må bevares nok datapunkter til å få greie resultater.



Figur 3.2: Strømpris de siste 10 årene med tall fra SSB (Kraft + NA) og kraftpristall fra data på 3-årskontraktene (Y+3).

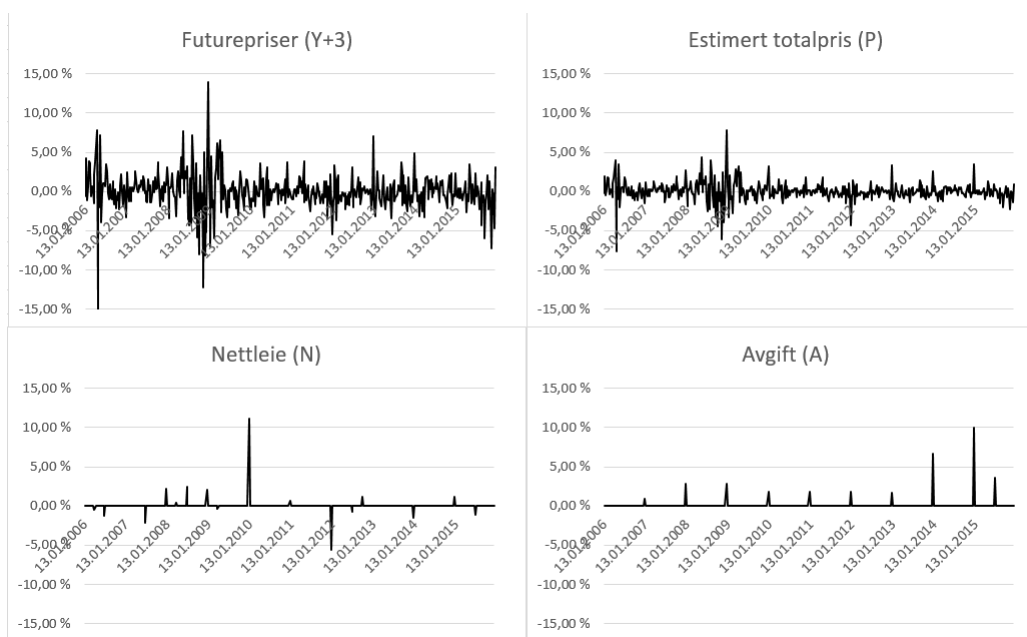
I figur 3.2 er futureprisene forskjøvet (ikke forskjøvet nettleie og avgifter) med 3 år slik at en kan se på hvordan futureprisene treffer faktiske strømkostnader fra SSB. Problemet med tallene fra SSB er at de er gjennomsnittspriser for hvert kvartal, ikke ukespriser som futureprisene er. For å få kvartalstallene fra SSB om til ukentlige datapunkter førte jeg inn samme verdi for alle datoene i hele kvartalet. Dette går fint for avgiften ettersom den ved de fleste observasjonene bare steg en gang i året. Dermed vil det å ha den som et sprang en gang i kvartalet/året være greit. For nettleien er det derimot litt usikkert, men det ville vært mer unøyaktig å ha kontinuerlig stigning mellom observasjonene. Kraftpristallene fra SSB, som er lagt til nettleien og avgiftene i Kraft + NA i figur 3.2, er også fra kvartaldata, men en kan fortsatt se fra figuren at det å bruke futureprisen som et anslag for strømmen om 3 år virker greit. Den underestimerer oppganger og nedganger litt, samt virker det som om den "bommer" med ca et halvt år. Altså at nivåene som predikeres om 3 år inntreffer etter 2,5 år. En kan også se at nivået på futurekontraktene (Y+3) i det siste er slik at det forventes at strømprisen vil synke litt de 3 neste årene.

3.1.1 Deskriptive data for tallrekkene

	Siste 10 år					Siste 5 år				
	Est. P	Inr P	Inr Y+3	Inr N	Inr A	Est. P	Inr P	Inr Y+3	Inr N	Inr A
Mean	89,11	-0,02 %	-0,10 %	0,02 %	0,07 %	85,98	-0,08 %	-0,27 %	-0,02 %	0,10 %
St Dev (weekly)	6,67	1,17 %	2,34 %	0,61 %	0,61 %	5,79	0,74 %	1,65 %	0,39 %	0,81 %
Maximum	111,93	7,76 %	13,89 %	11,10 %	9,97 %	99,27	3,50 %	7,09 %	1,15 %	9,97 %
Minimum	75,11	-7,68 %	-15,40 %	-5,55 %	0,00 %	75,11	-4,25 %	-7,25 %	-5,55 %	0,00 %
Excess Kurtosis	0,51	10,63	8,67	240,51	172,05	-0,45	7,33	3,17	163,94	107,21
Skewness	0,71	-0,18	-0,42	10,94	12,22	0,83	0,25	-0,01	-11,57	9,91
Obs	500	499	499	499	499	258	258	251	251	251
Årlig										
Mean		-0,8 %	-4,8 %	0,8 %	3,5 %		-4,1 %	-12,6 %	-1,2 %	5,2 %
St dev		8,3 %	16,5 %	4,3 %	4,3 %		5,2 %	11,7 %	2,8 %	5,7 %

Figur 3.3: Deskriptiv statistikk for futurekontrakter med 3 år til levering (Y+3), nettleie (N), avgift (A) og estimert pris (P) om 3 år.

Tabell 3.3 viser deskriptiv statistikk for de ulike prisene og den samlede estimerte prisen. Ut i fra tabellen får vi negativ årlig drift på -0,8% og en volatilitet på omtrent 8% for den estimerte totalprisen de siste 10 årene. Jeg har også tatt med statistikk for bare de siste 5 årene som viser en negativ årlig drift på 4,1% og en lavere volatilitet. Den estimerte totalprisen har altså hatt en relativt jevn nedgang de siste årene. Dette kan blant annet være et resultat av økende fornybar strømproduksjon og lavere energipriser generelt.



Figur 3.4: Log-returns for de ulike datarekkene.

Figur 3.4 viser litt "Clustering" av volatiliteten til futureprisene rundt år 2009. Dette er nok på grunn av den finansielle krisen på denne tiden og uroen det skapte i markedet. Foruten om det så virker det som at volatiliteten de siste årene har vært ganske stabil og ikke tidsavhengig. En kan også se sprangene som ble nevnt i nettleien og avgiften. Det virker fra figuren som at det også er greit å sette endringen i nettleien som et sprang en gang i kvartalet, ettersom det ikke er endringer mellom hvert kvartal. Avgiften har økt en del de siste årene ut ifra denne figuren. Dette kan komme av at kraftprisene har vært så lave og fordi myndighetene kanskje ønsker å gjøre energi dyrere for å holde miljøforpliktelser.

3.2 Varmepumpe

I utgangspunktet var jeg ute etter tall på både energiforbruk og effektfaktor (SCOP) for luft/luft varmpumper. Det er vanskelig å velge ut tall på energiforbruk som passer til eksempelregning ettersom det er så mange faktorer som spiller inn. Hvor stor boligen er, hvor godt isolert den er, hvor åpen planløsning den har, varmpreferansen til ulike personer, hvilket klima boligen står i og hvilke energikilder en brukte før har alle noe å si for hvilke besparelser en kan forvente ved installasjon av en varmpumpe.

Totalt energibehov	Andel til oppvarming 55%	Energibehov med luft/luft varmpumpe	Energibesparelser	Mulige besparelser med strømpris på 0,85 øre/kWh
[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]	[kWh/år]	[kr/år]
15 000	8 250	5 775	2 475	2 100
20 000	11 000	7 700	3 300	2 800
25 000	13 750	9 625	4 125	3 500
30 000	16 500	11 550	4 950	4 200
35 000	19 250	13 475	5 775	4 900
40 000	22 000	15 400	6 600	5 600

Tabell 3.1: Energibesparelser med luft/luft varmpumpe gitt et totalt energibehov, ENOVA.

Bagrunnen for tabell 3.1 er hentet fra ENOVA sine hjemmesider ([her](#)). Dette er en tabell ENOVA bruker for å vise hvor mye penger en kan spare på å installere luft/luft varmpumpe,

gitt et totalt energiforbruk, at 55% av dette energiforbruket går til oppvarming, at varmepumpen står for 60% av oppvarmingsbehovet (krever litt åpen planløsning) og gitt et kystklima som gir god effektfaktor på varmepumpen. ENOVA brukte i sin tabell en SCOP på 2,4 når de regnet på energibesparelsene. Dette mener jeg er for mye for en gjennomsnittlig husholdning i Norge. Derfor brukes heller SCOP fra NVEs rapport ([NVE, 2016](#)) på 2,0. Tallene fra ENOVAs nettsider er derfor regnet om med den nye effektfaktoren og ført inn i tabell 3.1. NVEs rapport setter også levetiden for en luft/luft varmepumpe til 10 år. Investeringskostnaden settes til 20 000 kr, som er snittet til tallene fra ENOVAs nettside ([her](#)).

3.2.1 Teknologisk utvikling i SCOP

Når det kommer til SCOP utvikling så har jeg prøvd å få tak i historiske data på utviklingen de siste 10-20 årene. Jeg har vært i kontakt med NOVAP og ABK klimateknikk, men har ikke lykkes med å få tak i noen håndfaste data. Det jeg derimot har blitt fortalt av både NOVAP og ABK er at teknologien for luft/luft varmepumper har vært relativt moden de siste 10 årene. Det har skjedd litt utvikling i form av at det er kommet varmepumper som er bedre egnet for norske forhold og som tåler lave temperaturer bedre. På direkte spørsmål om de tror at det vil være en utvikling i effektfaktoren de neste årene så svarer de nei. De konstaterer at om varmepumpene skal få noen særlig bedre effektfaktor vil de måtte ha så store varmevekslere at varmepumpene vil bli for store og kostbare til at noen vil kjøpe dem.

Boligene som bygges nå til dags er også så tette og godt isolerte at store deler av oppvarmingsbehovet dekkes av personene i bygget og elektrisk utstyr. Her satses det derfor mer på varmepumpeløsninger der også varmtvannet kan bli varmet opp av varmepumpen. Det er for tiden derfor mer fokus på utvikling av luft/vann og væske/vann varmepumper blant aktørene i markedet. Luft/luft varmepumper vil altså være omtrent som de er i dag også de neste 10-15 årene og salget av slike varmepumper vil for det meste gå til å erstatte gamle luft/luft varmepumpesystemer.

3.3 Andre data

3.3.1 Risikofri rente

Når en skal sette risikofri rente er det vanlig å bruke statsobligasjoner med tilnærmet samme tidshorisont som investeringen. Som en kan se fra tabell 3.2 har avkastningen på 10 årige norske statsobligasjoner sunket de siste årene. Tallene i tabellen er hentet fra Norges Banks nettsider ([her](#)) og er årsgjennomsnittet av daglige noteringer på Oslo Børs. Årsgjennomsnittet i 2016 regnet jeg ut fra de månedlige gjennomsnittene så langt i 2016 (til og med sep). Den risikofrie renten som tas med videre i oppgaven settes til 1,6% fra 2015 noteringen. Dette gjøres ettersom verdien for markedets risikopremie og siste datapunkt for strømprisen også er fra 2015. En endring i risikofri rente kan ha betydning for disse verdiene og det velges derfor å bruke nærmeste periode med fullstendig data.

År	10 Årig
2016	1,26
2015	1,57
2014	2,52
2013	2,58
2012	2,10
2011	3,12
2010	3,52

Tabell 3.2: Avkastning på 10-årige norske statsobligasjoner.

3.3.2 Avkastningskrav

En får avkastning på å for eksempel å ha penger i banken, derfor må en diskontere fremtidige kontantstrømmer når en skal gjøre en investeringsanalyse. Avkastningskravet som velges å diskontere med kan variere fra 2-20% og har derfor stor betydning for resultatene. Når en skal sette et avkastningskrav er det om å gjøre å finne avkastningen på alternative bindinger av pengene. Åltså, finne ut hvor mye en hadde tjent på å ikke investere i prosjektet, men heller i et lignende alternativ. Det finnes ulike måter å regne ut denne alternative avkastningen på.

Ettersom det her blir sett på en investering i luft/luft varmepumpe med investeringskostnad mellom 15-25 tusen kroner (ENOVA, [her](#)), velges det å se bort fra eventuelle kostnader knyttet til lån av kapital til investeringen og det brukes bare kapitalkostnaden til å regne ut diskonteringsraten. Formelen for kapitalkostnaden (CAPM) er som følger:

$$r_n = r_f + \beta(r_m - r_f)$$

,hvor r_f er risikofri rente, β er egenkapital beta, og $r_m - r_f$ er markedspremie på risiko. Risikofri rente er satt til 1,6% og markedspremien ($r_m - r_f$) som brukes i Norge er på 5% ifølge en spørreundersøkelse utført av [PWC \(2015\)](#). Egenkapitalbetaen settes ofte på bakgrunn av selskapets avkastning i forhold til markedets, blant annet bruker NVE en egenkapitalbeta på 0,875 ([her](#)). Egenkapitalbetaen for privatpersoner som vurderer å investere i varmepumper settes derfor her lik snittet mellom ulike betar for industrier som varmepumper kan ha tilknytning til. Alle dataene uten om NVEs egenkapitalbeta er hentet fra Aswath Damodarans nettside med tall for Europa ([her](#)).

Industri	Beta
Electrical Equipment	1,18
Electronics (General)	1,04
Green & Renewable Energy	1,24
Homebuilding	1,06
Household Products	0,95
Investments & Asset Management	0,75
Power	0,95
Real Estate (General/Diversified)	0,85
Utility (General)	1,13
NVE	0,88
Snitt	1,00

Tabell 3.3: Egenkapitalbeta. Data fra Aswath Damodarans og NVEs nettsider.

Det at snittbeta ble 1 er ingen overraskelse ettersom det er et snitt mellom relativt mange og ulike industriers beta. Markedet totalt sett skal per definisjon ha beta lik 1. Med en egenka-

pitalbeta på 1 fra tabell 3.3 blir avkastningskravet:

$$r_n = 1,6\% + 1 * (5\%) = 6,6\%$$

Ettersom privatpersoner enkelt kan investere i markedet, vil et avkastningskrav på 6,6% være et greit utgangspunkt. Det korrigeres så for skatt for å få diskonteringsrenten brukt i utregninger videre. Med en skattesats på 28% fås avkastningskrav lik:

$$r_r = 6,6\% * (1 - 0,28) = 4,75\%$$

4. Resultater

I dette kapitlet gjennomføres investeringsanalysen i henhold til metodene beskrevet tidligere i oppgaven. Usikkerhet i teknologien har blitt utelukket ettersom sentrale aktører i varmepumpenæringen i Norge ikke tror det vil være noen nevneverdig utvikling på luft/luft varmepumper. Dette faktum reduserer mulighetene for å finne noen merverdi med realopsjonsanalysen. I strømprisen er det derimot en usikkerhet som bør tas hensyn til. Først gjennomgås nåverdimetoden, fulgt av realopsjonsmetoden beskrevet i D&P (Dixit and Pindyck, 1994). I tillegg vil det utføres sensitivitetsanalyser på flere av parameterne for å se på betydningen det har for resultatene.

4.1 Nåverdimetoden

Nåverdimetoden brukt i denne oppgaven er simpel. Det er mulig å gjøre en mer nøyaktig analyse ved blant annet å la prisen endre seg med tiden for å få mer presise kontantstrømmer. Dette ble ikke gjort ettersom nåverdianalysen da ikke ville blitt utført under de samme forutsetningene og parameterne som realopsjonsanalysen. Dermed ville sammenligningen av resultatene fra de to metodene blitt vanskeligere. Parameterne brukt i i nåverdianalysen er som listet i 4.1.

Parameter	Verdi	Enhet
Investeringskostnad	20 000	kr
Årlige besparelser	4 125	kWh
Estimert strømpris	0,76	kr/kWh
Diskonteringsrente	4,75	%
Levetid	10	år

Tabell 4.1: Parametere til nåverdiberegningen.

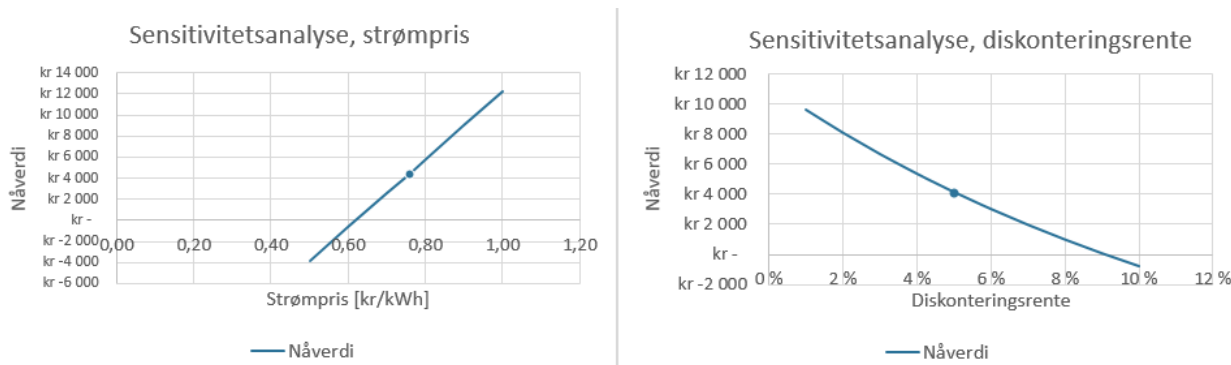
Strømprisen på 0,76 kr/kWh er hentet fra siste datapunkt i den totale estimerte strømprisen

(18.12.2015). Denne strømprisen ble valgt i stedet for dagens nivå ettersom at parameterne for diskonteringsrenten også er fra 2015, og ettersom en endring i risikofri rente og markedspremie på risiko kan ha påvirkning på futureprisen på kraft.

År	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Investeringskostnad	kr -20 000										
Besparelser i kWh		kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125	kr 4 125
Strømpris	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76	kr 0,76
Frie kontantstrømmer		kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127	kr 3 127
Diskonteringsfaktor	1,000	1,048	1,097	1,149	1,204	1,261	1,321	1,384	1,450	1,518	1,591
Nåverdi med $r=4,75\%$	kr -20 000	kr 2 985	kr 2 850	kr 2 720	kr 2 597	kr 2 479	kr 2 367	kr 2 260	kr 2 157	kr 2 059	kr 1 966
Nåverdi	kr 4 440										
IRR	9,0 %										

Tabell 4.2: Nåverdianalyse for investering i luft/luft varmepumpe.

Tabell 4.2 viser resultatene fra nåverdianalysen med de gitte parameterne. En kan se at resultatene gir en positiv nåverdi på 4440 kr, noe som i henhold til nåverdimetoden vil si at en bør investere i en varmepumpe. Bruk av funksjonen goal seek i excel gir en internrente på 9%. Dette er vesentlig høyere en diskonteringsrenten.



Figur 4.1: Sensitivitetsanalyse på endring i strømpris og diskonteringsrente.

Ettersom det er usikkerhet i parameterne for nåverdianalysen er det også utført sensitivitetsanalyser på endring i strømprisen og diskonteringsrenten. Fra venstre graf i figur 4.1 kan en se at nåverdien av investeringen vil være positiv helt ned til en strømpris på litt over 0,60 kr/kWh. Strømprisen vil med all sannsynlighet ikke falle ned på et slikt nivå og dermed vil

nåverdien alltid være positiv, gitt at resten av parameterne er konstant lik tallene i tabell 4.1. Høyre graf i figur 4.1 viser også at en er godt innenfor positiv nåverdi med endring i diskonteringsrenten. Grafen viser også internrenten på ca 9%. Resultatene av denne analysen sier at en i henhold til nåverdimetoden absolutt burde investere i en luft/luft varmepumpe.

4.2 Realopsjonsanalysen

Realopsjonsanalysen følger som nevnt tidligere "contingent claims metoden" til D&P. I boken deres regnet de på realopsjonsverdien per investert kapital. Mens det her vil bli brukt den totale opsjonsverdien, gitt ved ulike nivåer i årlige besparelser i kroner. Det brukes derfor en invers annuitetsfaktor gitt av formelen under (IAF) til å omgjøre investeringskostnaden og barrieren til årlige besparelser, slik at de er på samme nivå (årlig eller total) til utregningen av V^* og A_1 .

$$IAF = \frac{\mu}{1 - (1 + \mu)^T}$$

I formelen over er μ egnekapitalrenten etter skatt og T er levetiden. Med denne justeringen endres formlene fra D&P til:

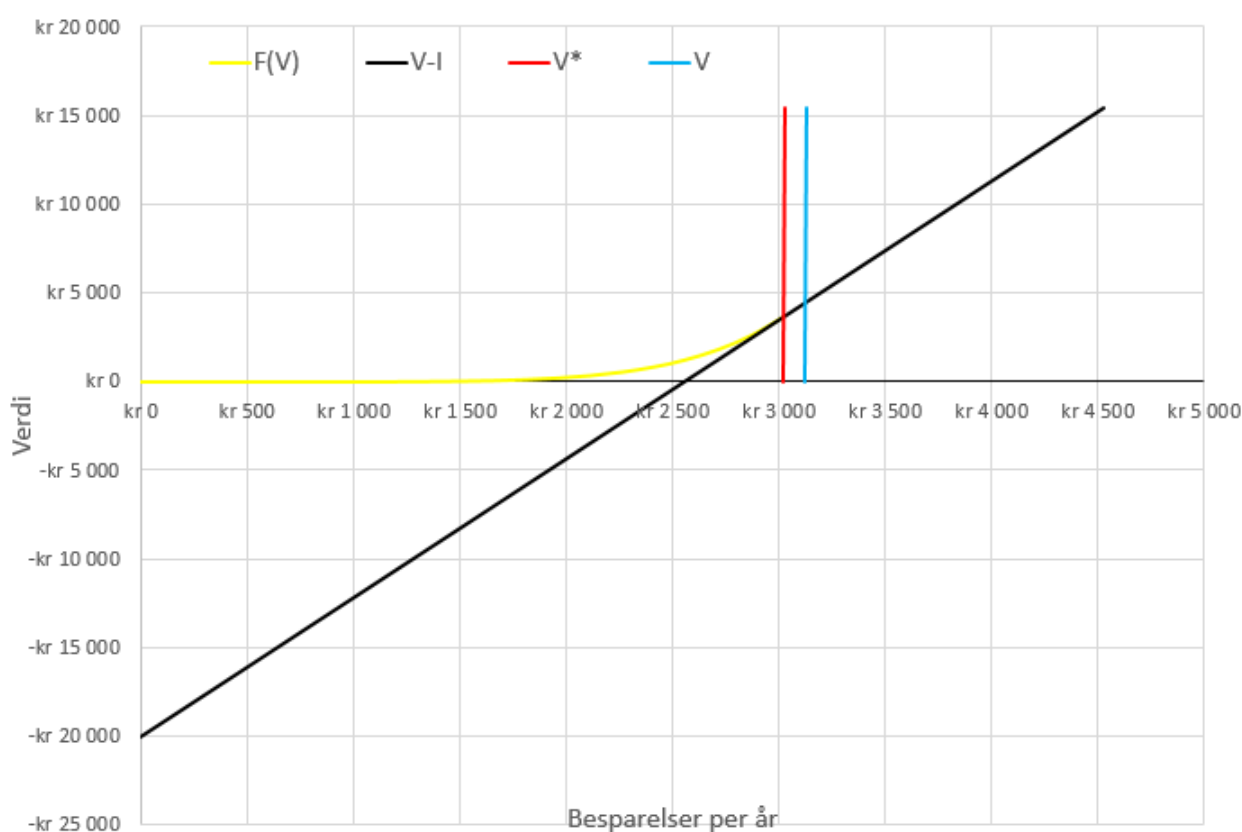
$$V^* = \frac{\beta_1}{\beta_1 - 1} (I/IAF) \qquad A_1 = \frac{V^* IAF - I}{V^* \beta_1}$$

Parametere til realopsjonsanalysen er som i tabell 4.3

Parameter	Verdi	Enhet
Investeringskostnad	20 000	kr
Årlige besparelser	4 125	kWh
Levetid	10	år
Risikofri rente	1,6	%
Diskonteringsrente etter skatt	4,75	%
Estimert strømpris	0,76	kr/kWh
Prisvekst, Est. P	2	%
Volatilitet, Est. P	8	%

Tabell 4.3: Parametere til realopsjonsanalysen.

Fra datarekken med estimert total strømpris fikk jeg som nevnt negativ drift. Men på bakgrunn av informasjon fra nyhetene det siste halve året om en mulig økning i nettleiekostnader ([her](#)), det at avgiftskostnadene har økt mye de siste årene, samt at analysen til [Statnett \(2016\)](#) antyder at også kraftprisen vil stige fremover, er driften i strømprisen satt til 2% i den videre utregningen. Dette er en rimelig antagelse ut fra informasjonen nevnt over. Det vil også utføres sensitivitetsanalyser på hva andre verdier vil gjøre med opsjonsverdien.



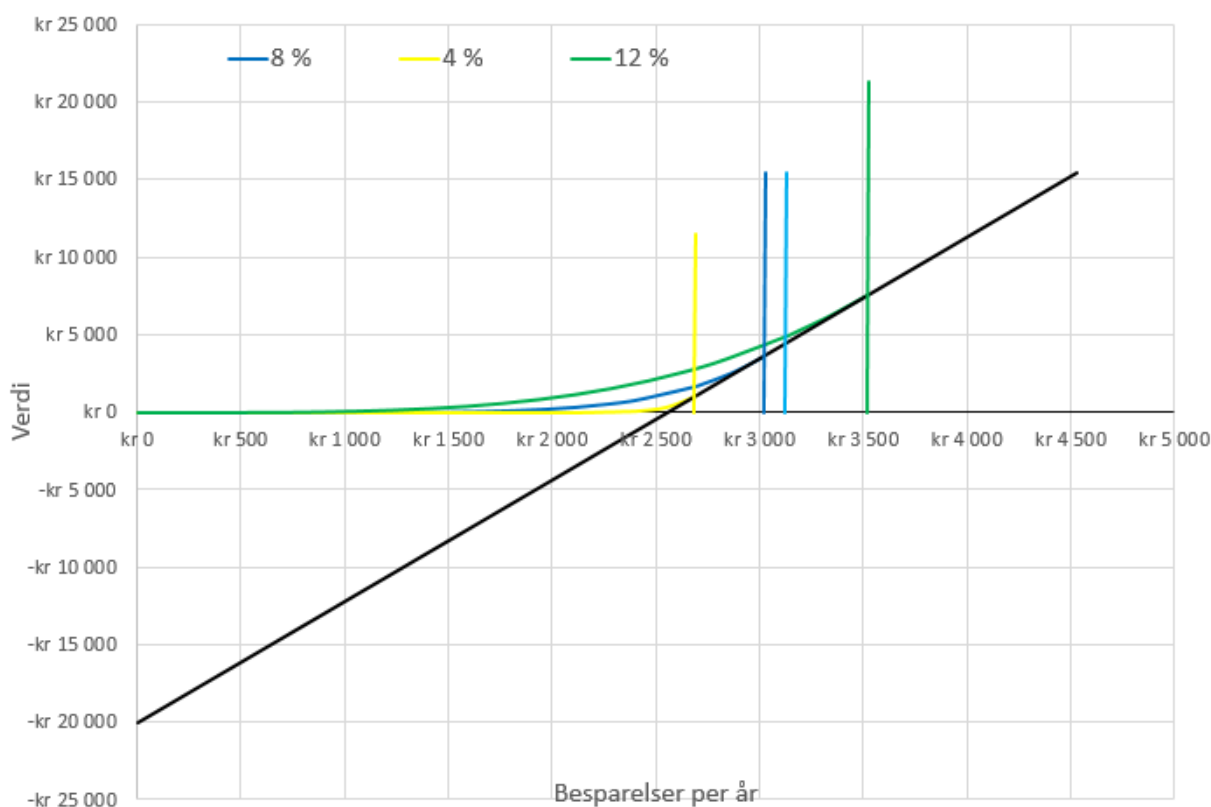
Figur 4.2: Resultatet av realopsjonsanalysen. Opsjonsverdien ($F(V)$) mot nåverdien ($V-I$) og dagens nivå på årlige besparelser i kroner (V) mot barrierenivået (V^*).

Figur 4.2 viser realopsjonsverdiene ($F(V)$) for investeringsmuligheten i en luft/luft varmpumpe. En kan fra grafen se at i dette tilfellet, med tallene fra 4.3, vil dagens nivå på årlige besparelse (3 127kr) være høyere enn barrierenivået (3 020kr). Dermed vil nåverdien og opsjonsverdien være lik på omtrent 4 400kr. Med andre ord gir ikke realopsjonsmetoden her noen merverdi i forhold til nåverdimetoden. Dette betyr at verdien av fleksibiliteten en har i å vente er dekket og investeringen bør utføres med en gang. Ved skjæringspunktet der nå-

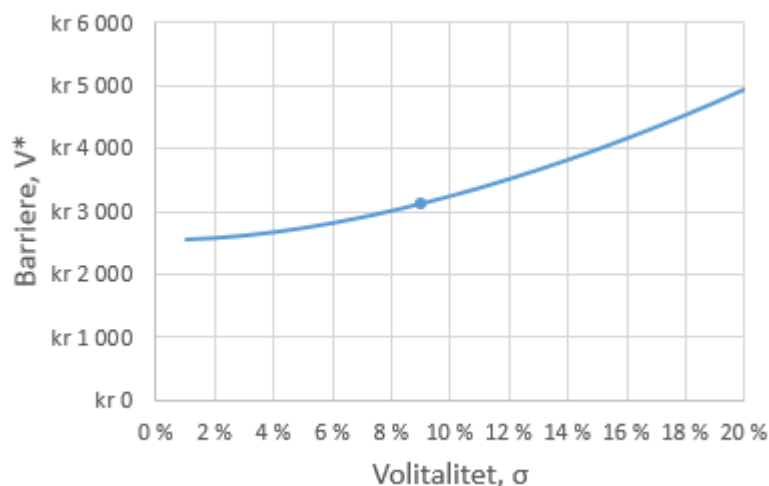
verdien blir positiv, er opsjonsverdien ($F(V)$) på 1 200kr. Dermed kan det finnes situasjoner der realopsjonsmetoden finner betydelige merverdier i å vente med en varmepumpeinvestering, men altså ikke i dette tilfellet. Resultatene av nåverdianalysen må i slike situasjoner være nærmere null.

4.3 Sensitivitetsanalyse

I dette kapitlet gjennomføres en sensitivitetsanalyse også for realopsjonsmetoden, for å se på de usikre parameterenes påvirkning på resultatene. Selv om realopsjonsmetoden ikke viste noen merverdi i å vente sammenlignet med nåverdimetoden under parameterne gitt i tabell 4.3, vil det kanskje være situasjoner hvor det finnes merverdi. Hvordan parameterne da må være vil gi et innblikk i om det kan tenkes situasjoner der realopsjonsanalysen brukt her kan være et nyttig verktøy.



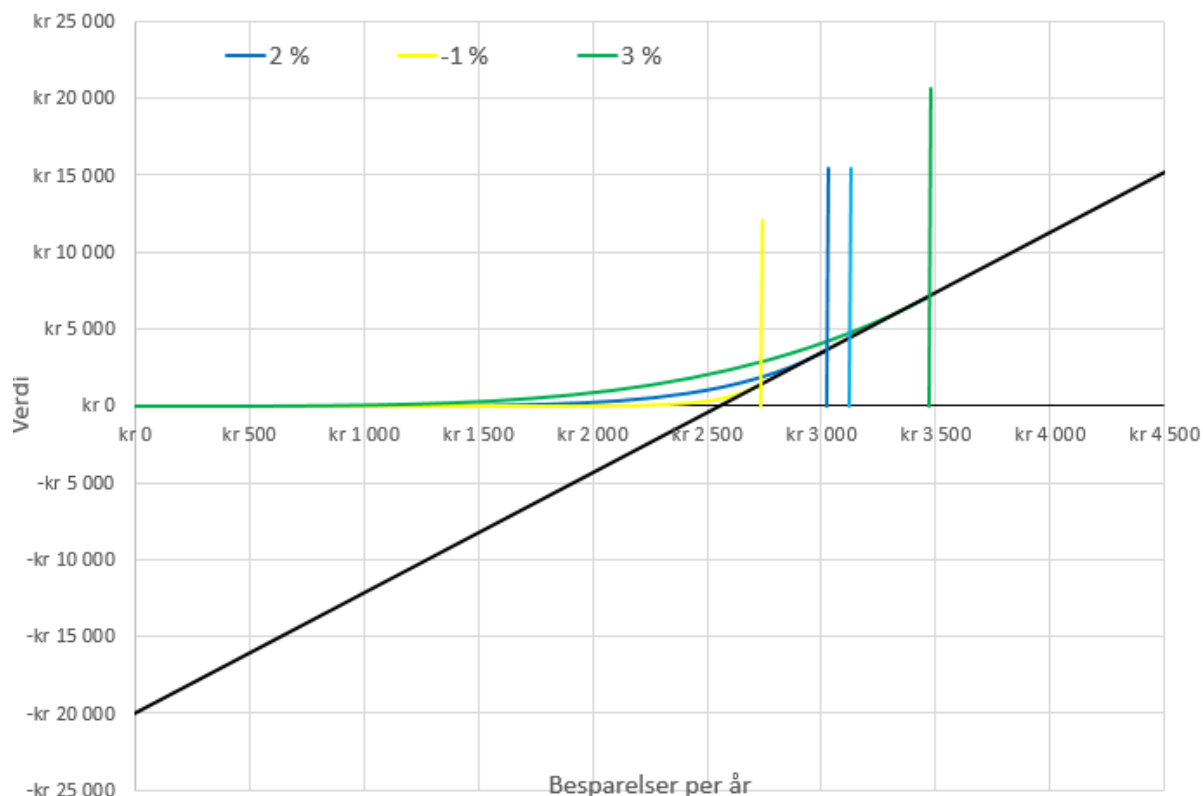
Figur 4.3: Sensitivitetsanalyse med endring i standardavvik.



Figur 4.4: Barrierenivåer med endring i volatilitet.

Figur 4.3 viser realopsjonsverdiene med endring i standardavvik. En kan se at venteverdiene og barrierenivået øker med økt usikkerhet i besparelsene. Dette er intuitivt i henhold til basisen i realopsjonsteori (Dixit and Pindyck, 1994), ettersom verdien av å vente på mer informasjon øker dersom usikkerheten om fremtiden øker. Dermed reduseres sannsynligheten for at en investerer. Figur 4.4 gir et bedre bilde på hvordan barrierenivået (V^*) påvirkes av økt volatilitet. En kan se at barrieren øker konvekst med økt volatilitet.

Som en kan se fra figur 4.3, er det bare eksempelet med en volatilitet på 12% som gir noen merverdi for realopsjonsanalysen. Med strømprisnivået og dermed årlige besparelser på 3 127kr er nåverdien av investeringen som nevnt ca 4 400kr mens opsjonsverdien, ved 12% volatilitet, er på litt over 4 800kr. Altså vil en under disse parameterne finne en merverdi på 400kr ved bruk av realopsjonsmetoden i forhold til nåverdimetoden. På grunn av blant annet økningen i avgiftene de siste årene og en den tidligere nevnte forventede veksten i nettleie og kraftpris, i tillegg til en liten mulig teknologisk usikkerhet, kan det tenkes at volatiliteten er høyere enn verdien brukt i disse analysene. Merverdien fra realopsjonsmetoden vil likevel ikke være særlig stor ettersom en fortsatt er ganske nær barrierenivået.



Figur 4.5: Sensitivitetsanalyse med endring i drift for estimert total strømpris.

Figur 4.5 viser at opsjonsverdien og barrierenivået også øker ved økning i drift på underliggende aktiva. Ettersom $\delta = \mu - \alpha$ vil δ synke når driften justeres opp. D&P konstanterer at en økning i δ vil redusere opsjonsverdien og dermed redusere det kritiske nivået, V^* (Dixit and Pindyck, 1994). δ er på sett og vis verdien av å få besparelsene før heller enn siden. Når verdien av å få besparelsen tidlig øker vil det bli mer kostbart å vente og verdien av å beholde opsjonen vil dermed synke. Sensitivitetsanalysen viser også her at det finnes merverdier i en realopsjonsanalyse om driften på besparelsene øker, men at disse verdiene også her er relativt små. En positiv endring i α vil påvirke resultatet på samme måte som en negativ endring i μ og motsatt. Dette kommer av ligningen for δ over.

Frem til nå har parameterne blitt presentert som uavhengig av hverandre. Sensitivitetsanalyser er utført ved å endre på σ og α mens de andre parameterne ble holdt konstante. Dette er ofte ikke tilfellet og det er dermed viktig å ta hensyn til avhengigheten ved analyser av parameterendringers påvirkning på resultatet. Usikkerheten i strømprisen (σ) inneholder

systematisk risiko (også kalt markedsrisiko). Dermed vil en økning i σ mest sannsynlig også medføre en økning i μ og dermed δ . Størrelsen på denne korrelasjonen er usikker. Det er derfor vanskelig å si hva resultatet av realopsjonsanalysen blir ved økning av σ . Sensitivitetsanalysen over viser derimot at en får større opsjonsverdier ved økt σ og mindre opsjonsverdier ved økt δ . Lar en disse parameterne være avhengige av hverandre kan en dermed anta at en økning i volatiliteten vil ha mindre påvirkning på opsjonsverdien enn resultatet som forekom ved økning i bare σ .

Det er også lagt ved sensitivitetsanalyser med endring i investeringskostnad og strømbesparelser per år (i kWh/år) i vedlegget. Sensitivitetsanalysen på endringer i årlige besparelser i kWh (Figur 1) ville sett omtrent lik ut om en endret på energikostnaden, ettersom besparelsene i kroner er produktet mellom strømpris og besparelser i kWh. En kan se fra figuren at det kun er dagens nivå som endrer seg. Barrierenivået og linjen for opsjonsverdiene forholder seg like for alle scenarioene. Ved årlige energibesparelser som gir nåverdi rundt null, finnes merverdi med realopsjonsanalysen. Gitt årlige besparelser på omtrent 3 500 kWh/år ville de to metodene gitt forskjellig svar på investerings spørsmålet. Da ville realopsjonsmetoden anbefalt å vente, mens nåverdimetoden ville anbefalt å investere.

Figur 2 viser at nåverdien til prosjektet forskyves om investeringskostnaden endres. Med andre ord krever det kritiske nivået til nåverdien og opsjonsverdien høyere årlige besparelser om investeringskostnaden øker. De to kritiske nivåene er proporsjonalt avhengig av investeringskostnaden. En kan se fra figuren at det kritiske nivået for realopsjonsmetoden øker mer enn det kritiske nivået til nåverdimetoden. Dette kommer av at "kilen" som nevnt i teoridelen ($= \beta / (\beta - 1)$) er større enn én. Opsjonsverdilinjen trekkes mot høyere besparelser per år ved høyere investeringskostnad. Dens betydning øker derfor sammenlignet med nåverdien. En økt investeringskostnad representerer en større irreversibel kostnad og dermed vil verdien i å vente med å utføre investeringen øke. Hovedfunnet i denne sensitivitetsanalysen er at en økning i investeringskostnaden vil dra området hvor det er noen realopsjonsverdier i forhold til nåverdimetoden nærmere dagens nivå på besparelsene. Det er her, hvor nåverdimetoden ikke gir noe klart positivt svar, en kan finne merverdier med realopsjonsanalyser.

5. Konklusjon

Proplemstillingen for oppgaven var som følger:

Kan en realopsjonsanalyse finne noen merverdi sammenlignet med den vanlige nåverdimetoden, når en ser på investeringsmulighetene i en luft/luft varmepumpe med usikkerhet i teknologi og strømpris?

Resultatene indikerer at for luft/luft varmepumper er omstendighetene slik at realopsjonsmetoden ikke finner noen merverdi. Varmepumpeteknologien for luft/luft-systemer er modent og markedet for luft/luft varmepumper ser heller ikke ut til å være et satsningsområde. Dermed er det bare usikkerheten i den totale strømprisen som kan gi en verdi i å vente med investeringen. Selv med den lave prisen på futurekontrakene som forekom i slutten av 2015 er vi over barrierenivået hvor det bør investeres. Over barrierenivået gir realopsjonsanalysen det samme svaret som nåverdimetoden. På grunnlag av dette konkluderes det med at det ikke er funnet noen merverdi i realopsjonsanalysen sammenlignet med nåverdianalysen.

Sensitivitetsanalyser viser derimot at om omstendighetene er slik at nåverdimetoden ikke gir klare svar, vil det kunne finnes merverdi ved realopsjonsanalysen. Dermed kan det tenkes situasjoner der en realopsjonsanalyse, som utført i denne oppgaven, kan komplimentere nåverdimetoden. For investeringsanalyser på et varmepumpesystem vil jeg anbefale å kun bruke realopsjonsmetoden når nåverdien er på under 10% av investeringskostnad. For å belyse oppsidene og nedsidene av usikkerheten bedre kan det da være greit og utføre en realopsjonsanalyse. Det anbefales derimot ikke å erstatte nåverdianalysen med en realopsjonsanalyse for varmepumpeinvesteringer. Mulige fleksibiliteter som kan gi merverdi er for få og små til dette. Dette er i samsvar med [Luehrman \(1998\)](#) konklusjon om at realopsjonsanalyser bør komplimentere og ikke erstatte nåverdimetoden. Et av de største problemene med realopsjonsmetodene er at det ikke finnes standardmetoder ([Rigopoulos, 2015](#)). Rigopoulos konstaterer at realopsjonsmetodene ofte er veldig matematiske og vanskelige å forstå, og at de derfor ikke er så populære utenfor akademiske forskningsområder.

5.1 Begrensninger i oppgaven

I realopsjonsanalysen er det gjort flere antagelser om parameterne som påvirker resultatet. Noen av antagelsene er et produkt av subjektive vurderinger og kan være feil. Ettersom fullstendige data for inneværende år ikke er tilgjengelige er det valgt å bruke data for 2015. Dermed representerer ikke resultatene dagens situasjon fullt og helt. Det er også forutsatt at det underliggende aktiva følger en Geometrisk Brownsk bevegelse som er vanlig å bruke på aksjer i markedet. Noen argumenterer derimot for at råvaremarkeder, og dermed elektrisitetspriser, heller følger en "mean reversion" bevegelse i det lange løp basert på tilbud og etterspørsel ([ter Haar, 2010](#)).

Det å bruke futurekontrakter til å predikere fremtidige prisnivåer på kraft ser ut til å fungere bra. Årskontraktene er nyttige ettersom de tar høyde for sesongvariasjonene spotprisen utsettes for og gir én pris for hele året. Å bare bruke futurekontrakter med 3 år til levering som en representant for hele futurekurven kan ha medført feil i analysen. Markedet kan være slik at aktørene for eksempel tror at prisene på strøm vil synke de tre neste årene og så starte en stigning. Da vil 3-årskontraktene alene gi et dårlig estimat på strømprisen over hele investeringshorisonten.

Nåverdianalysen er forenklet slik at resultatene bedre kan sammenlignes med realopsjonsanalysen. Strømprisen har blant annet blitt holdt konstant over hele investeringshorisonten. Analysen ville blitt mer presis om man brukte forventede priser for de ulike periodene.

Contingent claims metoden beskrevet i D&P tar heller ikke høyde for mulighetene til å reinvestere etter levetiden til prosjektet. Den ser på investeringsmuligheten som en engangsmulighet som bør utføres under de beste omstendighetene. En investering i varmepumpe kan selvfølgelig etterfølges av videre investering etter endt levetid. Dette er ikke tatt høyde for i disse beregningene. [Borison \(2005\)](#) sliter også med å akseptere at den underliggende forutsetningen for metoden stemmer. Det at det finnes en portefølje som kan reflektere verdien av investeringen. Jeg er enig med Borison når han derimot argumenterer for at det vil være uheldig å avskrive realopsjonsmetoder helt, ettersom realopsjonsmetoder kan bidra til å gi bedre grunnlag for investeringsbeslutninger. Forslaget til Borison er å være kritisk til de ulike metodene og ta hensyn til feilene som kan resultere fra de ulike forutsetningene.

5.2 Videre arbeid

Realopsjoner kan vise verdier i en investeringsmulighet som tradisjonelle investeringsanalyser basert på nåverdimetoden ikke belyser. Problemet med realopsjonsanalyser er som nevnt at de ikke er like for ulike investeringsmuligheter og at de ofte blir for kompliserte. Skal realopsjonsmodellene ta over for den tradisjonelle nåverdimetoden bør modellene kunne forenkles og tilpasses (Bjørseth, 2014) (Luehrman, 1998).

Når det kommer til videre arbeid med realopsjonsanalyser innenfor varmepumpenæringen kan det være nyttig å bruke såkalt strukturell estimering til å se på hvilke situasjoner som skal til før en beslutningstaker investerer i varmepumper. I motsetning til det å bruke realopsjonsanalyser for å belyse usikkerhetene i selve investeringen. En slik analyse kan gi overraskelser om hva en beslutningstaker direkte eller indirekte vektlegger ved investering. Dette vil gi aktørene i markedet en bedre forståelse av brukerne. Enten det er for å øke salget av varmepumper, eller det er for å se på hvordan bruken av varmepumper kan økes for å bedre energieffektiviteten i et miljøperspektiv.

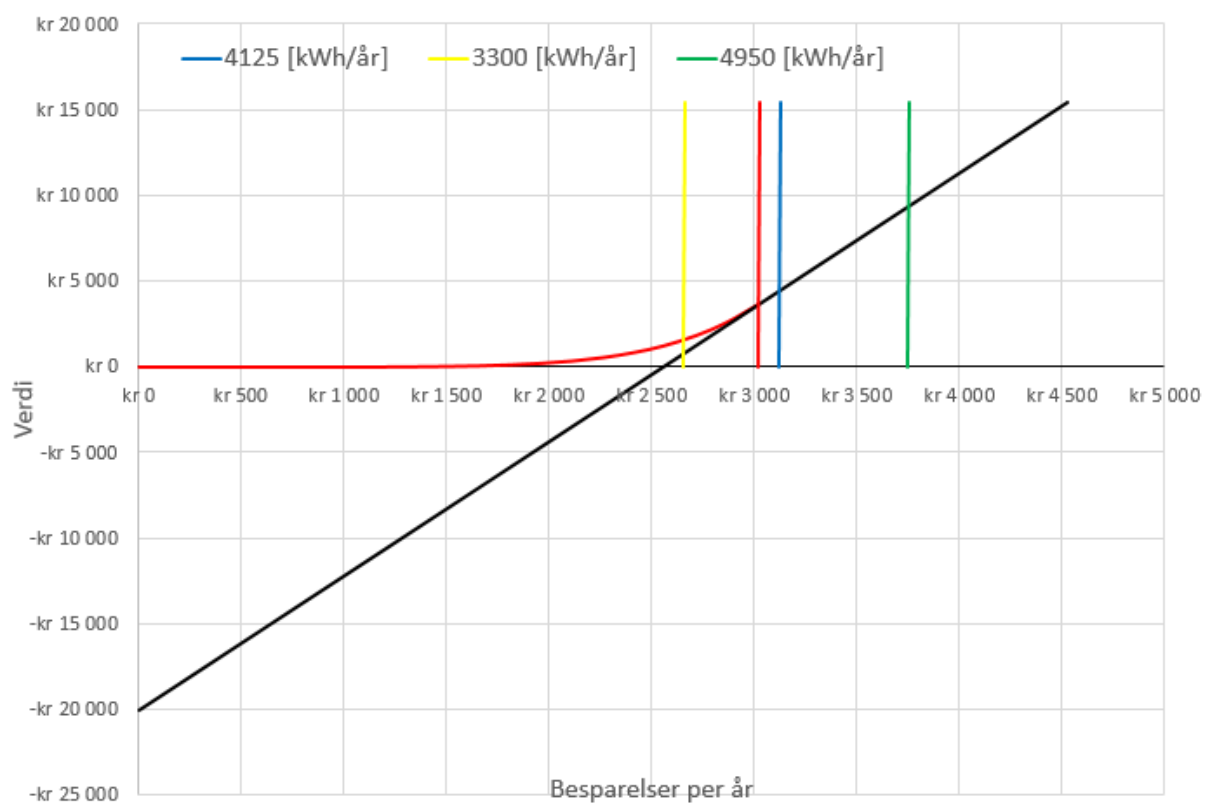
Kilder

- Aasen, E. (2006). Verdssettelse av investeringsprosjekt i oljebransjen : realopsjoner kontra tradisjonelle metoder. Masteroppgave, NHH.
- Bernseter, K. (2003). Risikopremien i kraftmarkedet. Hovedoppgave, NTNU.
- Bjørseth, A. H. (2014). Bruk av realopsjoner i verdivurdering av næringseiendom. Masteroppgave, NTNU.
- Borison, A. (2005). Real options analysis: Where are the emperor's clothes? *Journal of Applied Corporate Finance*, 17(2):17–31.
- Dixit, A. K. and Pindyck, R. S. (1994). *Investment under uncertainty*. Princeton University Press, Princeton, N.J.
- Fleten, S.-E., Hagen, L. A., Nygård, M. T., Smith-Sivertsen, R., and Sollie, J. M. (2015). The overnight risk premium in electricity forward contracts. *Energy Economics*, 49:293–300.
- Luehrman, T. A. (1998). Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers. *Harvard Business Review*, 76(4):51–67.
- McDonald, R. and Siegel, D. (1986). The value of waiting to invest. *Quarterly Journal of Economics*, 101:707.
- Naustdal, M., Struksnæs, H., Hannevik, J., and Hagspiel, V. (2015). Real options valuation under technological uncertainty: A case study of investment in a post-smolt facility. Masteroppgave, NTNU.
- NVE (2016). Varmepumper i energisystemet. http://publikasjoner.nve.no/rapport/2016/rapport2016_60.pdf.

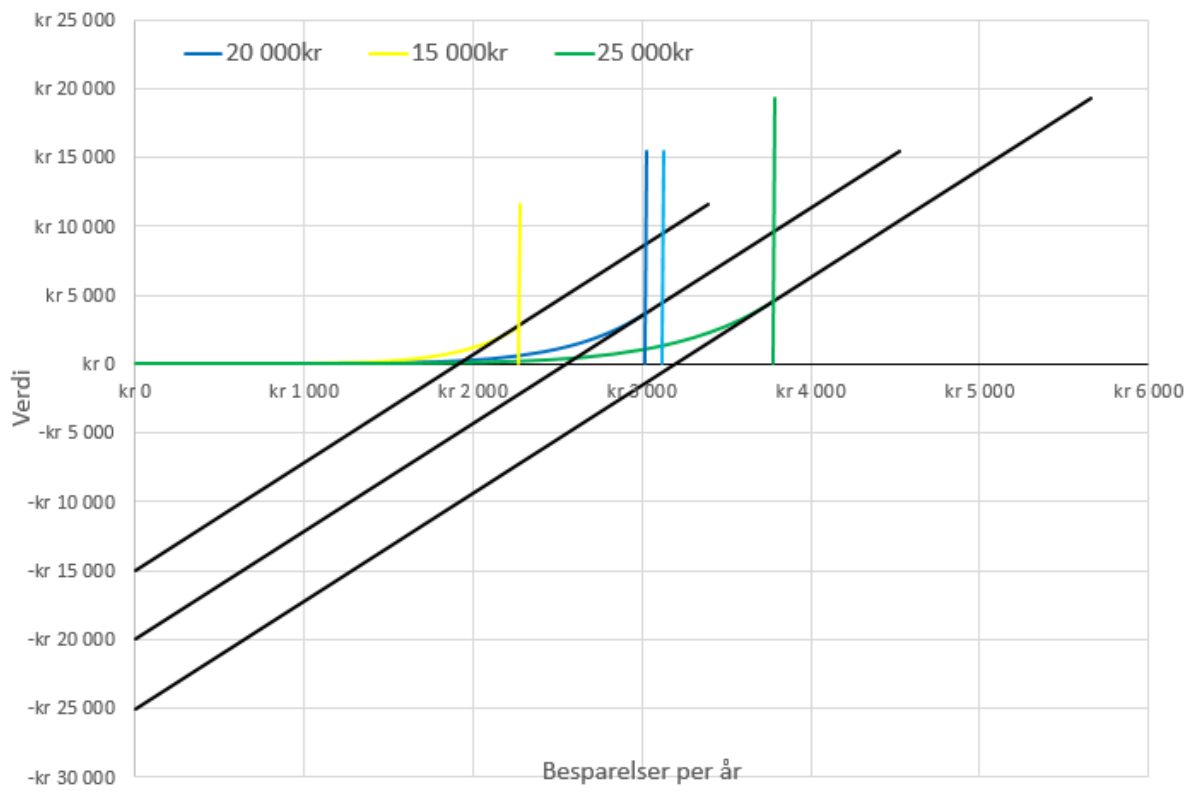
- Pindyck, R. S. and Dixit, A. K. (1998). Expandability, reversibility, and optimal capacity choice. Working papers, Massachusetts Institute of Technology.
- Poskitt, R. and Tomlinson, S. (2011). How are electricity futures contracts priced? a preliminary investigation. Department of Accountancy, Finance and Information Systems. University of Canterbury.
- PWC (2015). Risikopremien i det norske markedet 2015. <http://www.pwc.no/no/publikasjoner/deals/rapport/risikopremie-2015.pdf>.
- Rigopoulos, G. (2015). Real options valuation frameworks and adoption issues. *Educational Research Multimedia Publications*, 7:1–13.
- Statnett (2016). Langsiktig markedsanalyse norden og europa 2016–2040. <http://www.statnett.no/Global/Dokumenter/Nyheter%20-%20vedlegg/Nyheter%202016/Langsiktig%20markedsanalyse%20Norden%20og%20Europa%202016%E2%80%932040.pdf>.
- Stene, J. (1997). *Varmepumper : grunnleggende varmepumpeteknikk*. SINTEF Energi, Klima- og kuldeteknikk, Trondheim, 4. edition.
- ter Haar, R. (2010). On modelling the electricity futures curve. Bachelor thesis, University of Twente.

Vedlegg

Videre sensitivitetsanalyser



Figur 1: Sensitivitetsanalyse med endring strømbesparelser per år.



Figur 2: Sensitivitetsanalyse med endring i investeringskostnad.