

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

Masteroppgave 2015
30 stp

Energisystem til plusshus- en lønnsom investering?

Energy System for Plus-Energy Houses-
a Profitable Investment?

Anne Hexeberg

Kongeriket Norges Grunnlov, §112:

*«Enhver har rett til et miljø som sikrer helsen,
og til en natur der produksjonsevne og mangfold bevares.*

*Naturens ressurser skal disponeres ut fra en langsiktig og allsidig betraktning
som ivaretar denne rett også for etterslekten.»*

Forord

Ideen til denne masteroppgaven oppstod påsken 2014. Jeg ønsket å skrive en masteroppgave om tiltak vi som privatpersoner kan gjøre for å redusere vår energibruk og øke bruk av fornybar energi. Valget falt på plusshus. Etter noen søk på internett fant jeg frem til et en prosjektbeskrivelse av et plusshus som skal bygges på Skåtøy i Kragerø av familien Matzow. Konseptet virket spennende, og jeg ønsket å studere det nærmere.

Takk til Kjell Matzow for muligheten til å studere konseptet de har kommet frem til og for samtaler på telefon der jeg har fått nyttig informasjon. Det er flott at noen går foran og tør å ta sjansen på noe som er ukjent, og som på sikt kan gjøre verden mer miljøvennlig.

En stor takk rettes til hovedveileder Sjur Baardsen for god veiledning gjennom hele prosessen. Etter hvert møte gikk jeg ut av kontoret med et lettere sinn og en klarere tanke om hva som var neste steg i prosessen. Takk også til biveileder Thomas Martinsen for innspill til selve energisystemet og generelle tilbakemeldinger.

Ellers vil jeg rette en takk til venner og familie som har vist interesse for oppgaven min og oppmuntret meg i løpet av prosessen. En spesiell takk rettes til min svoger Anders Rustad for god hjelp med å programmere makro i Excel. Det ga meg mulighet til å kjøre 1 000 simuleringer med et tastetrykk. Stor takk også til min venninne Kristine Bekkelund for korrekturlesing av oppgaven, og gode tilbakemeldinger knyttet til struktur og det faglige.

Ås, mai 2015

Anne Hexeberg

Sammendrag

Energibruk i bygninger står for 40% av stasjonær energibruk i Norge. Det er et stort potensiale for energieffektivisering i bygninger, både ved rehabilitering av eksisterende bygningsmasse og ved strengere energikrav til nybygg. Mange bygninger i Norge eies av private beslutningstakere. For at energibruken i bygningsmassen i Norge skal reduseres er det nødvendig med regulatoriske og økonomiske virkemidler.

Plusshus er bygninger som har et lavt energiforbruk, og som over sin levetid produserer mer energi enn de forbruker. Energien produseres ved hjelp av fornybare energiteknologier. Produsert energi skal dekke energien som er brukt til produksjon av materialer, oppføring, drift og rivning av bygget.

Hensikten med denne oppgaven er å undersøke om det er lønnsomt å investere i energiteknologier for å oppnå plussstandard for en enebolig i Norge. For å svare på problemstillingene er det tatt utgangspunkt i energiteknologiene knyttet til en plussus enebolig som er planlagt å skulle bygges i Kragerø. Energisystemet består av solcellepanel, vindturbin, solfanger, ovn med vannkappe og luft-til-vann varmepumpe. Det er sett på lønnsomheten av plussus dersom overskuddselektrisiteten selges til strømmettet. For å kunne svare på problemstillingene er det gjennomført en lønnsomhetsanalyse med simulering av netto nåverdi, hva-hvis analyse og følsomhetsanalyse.

Alle analysene som er gjennomført gir en negativ netto nåverdi for investeringen. Med forutsetningene som er gjort, og for plussuskonseptet som er analysert, kan det konkluderes at per i dag er det ikke lønnsomt å investere i et slikt energisystem for å oppnå plussstandard. Hva-hvis analysen avdekket blant annet at å fjerne vindturbinen fra energisystemet ga en betydelig bedring av netto nåverdi. Det er i følsomhetsanalysen undersøkt hvordan ulike faktorer virker inn på lønnsomheten av plussusinvesteringen. Investeringskostnader for solceller og vindturbin har størst innvirkning på netto nåverdi, mens virkningsgraden til vindturbinen har minst betydning.

Summary

Energy use in buildings accounts for 40% of stationary energy use in Norway. There is a huge potential for energy efficiency in buildings, both the renovation of existing buildings and by stricter energy standards for new buildings. A large fraction of buildings in Norway consists of private decision makers. In order to reduce energy consumption in buildings in Norway, it is necessary with regulatory and economic instruments.

Plus-energy buildings are buildings that have low energy consumption, and that over their lifetime produce more energy than they consume. Renewable energy technologies will produce the energy needed. Produced energy will cover the energy used in the production of materials, construction, operation and demolition of the building.

The aim of this thesis is to investigate whether it is profitable to invest in energy technologies, to achieve the standard of plus-energy house for a residential building in Norway. To investigate this, the energy technologies associated with a future plus-energy residential house in Kragerø has been studied. The energy system consists of solar panels, wind turbine, solar collector, furnace with water jacket and air-to-water heat pump. The profitability of a plus-energy house, which sells the surplus electricity to the power-grid, is studied. A profitability analysis with simulation of net present value, what-if analysis and sensitivity analysis has been conducted.

All analyzes conducted show a negative net present value for the investment. With the assumptions made, and for the plus-energy concept analyzed, the conclusion is that as of today it is not profitable to invest in this kind of energy system to achieve a plus-energy standard. The what-if analysis revealed, among other things, that removing the wind turbine of the energy system resulted in a significant improvement of the net present value. The sensitivity analysis examined how different factors affect the profitability of the investment in the plus-energy house. Investment costs for solar cells and wind turbine has the greatest impact on value, while the efficiency of the wind turbine is of less importance.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	II
Sammendrag	IV
Summary	VI
Figurliste.....	IX
Tabelliste	X
Formelliste	X
Begrepsliste.....	XII
1 Innledning.....	1
1.1 Samfunnsrelevans	1
1.2 Problemstillinger	2
1.3 Oppbygging av oppgaven	3
2 Litteratur, relevante prosjekter og bakgrunnsinformasjon	4
2.1 Vitenskapelig kontekst	4
2.2 Energibruk i norske husholdninger	7
2.3 Dagens bygningsstandard og fremtidens bygg	8
2.4 Plusskundeordning	11
2.5 Faktorer knyttet til lønnsomhet av plusshus	12
3 CASE: Plusshus enebolig i Kragerø.....	19
3.1 Lokasjon.....	19
3.2 Plusshusets utforming og energibehov.....	19
3.3 Energisystemet.....	24
3.4 Differansekostnadskalkyle for takdekke og oppvarmingssystem.....	32
3.5 Økonomiske støtteordninger	33
3.6 Plusskundeordning	34
4 Datagrunnlag og metode.....	35
4.1 Datagrunnlag.....	35
4.2 Energisystemanalyse	36
4.3 Simulering av netto nåverdi	38
4.4 Hva-hvis analyse	43
4.5 Følsomhetsanalyse	44

5	Resultater	45
5.1	Simulering av netto nåverdi	45
5.2	Hva-hvis analyse	45
5.3	Følsomhetsanalyse	48
6	Diskusjon.....	49
6.1	Simulering av netto nåverdi	49
6.2	Hva-hvis analyse	50
6.3	Følsomhetsanalyse	52
6.4	Vurdering av energisystemet	53
6.5	Vurdering av lønnsomhetsanalysen.....	56
6.6	Usikkerhet og tilpasninger knyttet til datagrunnlaget.....	57
7	Konklusjon	61
7.1	Forslag til videre forskning	62
8	Referanser	63
	Vedlegg 1: Oppvarmingsbehov i passivhus og lavenergihus	i
	Vedlegg 2: Varmetap med og uten gulvvarme fra betonggulv på grunnen	ii
	Vedlegg 3: Datablad for vindturbin UGE 4K.....	iii
	Vedlegg 4: Beregning av virkningsgrad for vindturbin UGE 4K.....	iv
	Vedlegg 5: Beregning av subsidier fra Enova	v
	Vedlegg 6: Kostnad takdekke tradisjonelt hus med samme mål	vii
	Vedlegg 7: Makro i Excel brukt til simuleringer	viii
	Vedlegg 8: Månedlig fordeling av data for sol, vind og elspotpris.....	ix
	Vedlegg 9: Beskrivelse av endringer ved tiltak i hva-hvis analyse	xi

Figurliste

Figur 1. Multikomfort- energiteknologier (Snøhetta 2014).....	5
Figur 2. Bilder av Multikomfort-huset i Larvik (Brødrene Dahl & Optimera 2015).	6
Figur 3. Formålsdeling av energibruk i husholdningene (NVE, 2012).....	7
Figur 4. Kyotopyramiden- passiv energidesign (Lavenergiprogrammet, 2013).	9
Figur 5. Typisk formålsdel energibruk for eksisterende boliger, boliger beregnet i hht. forskrift av 1997, boliger beregnet etter forskrift av 2010, samt en lavenergibolig (klasse 1) og passivhus (Dokka & Andresen 2012).	10
Figur 6. Fremstilling av solinnstråling mot horisontal flate i Norge (kWh/m ² /dag) (SINTEF & KanEnergi 2011).	12
Figur 7. Transposisjonsfaktor i Oslo (Multiconsult 2013).	14
Figur 8. Normalårskorrigert middelvind (m/s) ved 80 m høyde ulike steder i Norge og langs kysten (Kjeller Vindteknikk & NVE 2009).	15
Figur 9. Årlig variasjon i elspotpris, fra 2000-2014 (Nord Pool Spot 2015b).	16
Figur 10. Prisutvikling for ulike typer solceller fra 2009 til 2012. Prisene er grossistpriser eksklusive mva (Asplan Viak & Multiconsult 2012).	17
Figur 11. Bilde av Kragerøskjærgården med Skåtøy (Wikipedia, 2015).	19
Figur 12. Illustrasjonsbilde av plusshuset (Lie 2015).	20
Figur 13. Totalt energibehov for plusshuset per måned (oppvarming, tappevann og elektrisitet).....	23
Figur 14. Skjematisk tegning av hele energisystemet for plusshuset.....	24
Figur 15. Illustrasjonsbilde Sunstyle solcellepanel (Solaire Suisse 2013).	25
Figur 16. Illustrasjonsbilde av vindturbin UGE 4K (Matzow 2013a).	26
Figur 17. Illustrasjonsbilde termisk energisystem (Matzow 2013b).....	28
Figur 18. Illustrasjonsbilder av solfanger (ASV Solar 2015a).	28
Figur 19. Vedovn med vannkappe. Modell Termorosella Pluss Petra DSA(ASV Solar 2015d).30	
Figur 20. Illustrasjonsbilde av Termia Atec varmepumpe (utedel til venstre, innedel til høyre) (Oslo Vann & Varme AS 2015b).	31
Figur 21. Kostnader for oppvarmingssystem enebolig. Elektrisk varmeanlegg og vannbåren varme (VBV) for TEK10 og passivhus (PH) (Enova & COWI 2012).	33
Figur 22. Illustrasjonsbilde for prosess for metode.	40
Figur 23. Illustrasjonsbilde av deler av oppsett i lønnsomhetsmodellen. Tilfeldig bilde fra en simulering.....	42
Figur 24. Betingelser i definisjon av plusshus.	43
Figur 25. Nettonåverdifordeling av resultater fra simulering.	45
Figur 26. Energiproduksjon per år for de ulike energiteknologiene.....	46
Figur 27. Innstrålt solenergi, horisontal flate (kWh/m ²). Data fra Oslo er fra NMBU, resten er fra dataprogrammet Meteonorm 7.0 (Multiconsult 2013).	58

Tabelliste

Tabell 1. Månedlig oppvarmingsbehov for plusshuset.....	21
Tabell 2. Varmetap fra gulvvarme fra betonggulv på grunnen med underliggende varmeisolasjon på 150 mm.....	22
Tabell 3. Inndata for solcellepanel.....	25
Tabell 4. Inndata for vindturbin.....	27
Tabell 5. Inndata for solfanger.....	29
Tabell 6. Inndata for vedovn med vannkappe.....	30
Tabell 7. Inndata for luft-til-vann varmepumpe.....	31
Tabell 8. Oppsummering av subsidie fra Enova for år 0.....	33
Tabell 9. Tariffer for plusskunder, Hafslund (inkl.mva).....	36
Tabell 10. Spesifikk investeringskostnad for solcellepanel (kr/kWh).....	46
Tabell 11. Spesifikk investeringskostnad for vindturbin (kr/kWh).....	46
Tabell 12. Resultater fra hva- hvis analyse.....	47
Tabell 13. Resultater fra følsomhetsanalyse.....	48

Formelliste

Formel 1. Elektrisitetsproduksjon fra solcellepanel (Østbye 2014,s.30).....	37
Formel 2. Elektrisitetsproduksjon fra vindturbin (NORWEA 2013,s.65).....	37
Formel 3. Termisk energiproduksjon fra solfanger (SF).....	37
Formel 4. Termisk energiproduksjon fra ovn med vannkappe.....	38
Formel 5. Termisk energiproduksjon fra luft-til-vann varmepumpe.....	38
Formel 6. Formel nåverdi (Bøhren & Gjærum 2009).....	39
Formel 7. Korrekt formel for effekt fra solfanger (ESTIF 2007).....	54

Begrepsliste

Begrep	Forklaring
AC	Alternating current (=vekselstrøm)
AMS	Avanserte måle- og styringssystemer
BIPV	Building Integrated PhotoVoltaics. Solceller som er integrert i bygningens fasade eller bygningskropp, og utgjør en funksjon som ellers ville måtte vært dekket av bygningsmaterialer.
BRA	Bruksareal. Arealet av en bolig som ligger innenfor ytterveggene.
Cut-in vindhastighet	Minimum vindhastighet for at turbinbladene skal overkomme friksjon og begynne å rotere.
Cut-out vindhastighet	Vindhastigheten der turbinbladene må stoppes fra å rotere for å hindre skade på turbinen.
DC	Direct current (= likestrøm)
kWp	Kilo Watt peak. Et mål for avgitt effekt fra et solcellepanel under standard testforhold. Solinnstråling på 1000 W/m ² .
Plusshus	Et bygg som skaper mer energi gjennom sin levetid enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og rivning av bygget.
Plusskunde	En kunde hos et nettselskap som til tider leverer overskuddselektrisitet til nettet.
Stasjonær energibruk	Sluttbruk av energi unntatt energi brukt til transport.
Transposisjonsfaktor	En faktor som justerer horisontale innstrålingsdata etter plasseringen til et solcellepanel. Transposisjonsfaktoren tar hensyn til vinkelen på panelet og orientering mot himmelretning.
Ytelsesrate (PR)	Ytelsesrate for et solcellepanelet, også kjent som «performance ratio». Gir informasjon om hvor mye elektrisitet et solcellepanel kan levere når det er tatt hensyn til ulike tap.

1 Innledning

1.1 Samfunnsrelevans

Globale klimaendringer er en økende trussel for verdenssamfunnet, og menneskelig aktivitet har bidratt til denne utviklingen. FNs klimapanel kartlegger risikoen av menneskeskapt klimaendring og har dokumentert at CO₂ - innholdet i atmosfæren øker, at gjennomsnittstemperaturen på jorden øker og at isbreer smelter (IPCC 2013). Det ventes mer ekstremvær i årene som kommer. Verden er i stor grad avhengig av fossile energikilder til transport, oppvarming og til produksjon av elektrisitet i kullkraftverk og gasskraftverk. Dersom bruken av fossil energi på dagens nivå vedvarer, vil trolig den jordkloden vi leverer til våre etterkommere være i betraktelig dårligere stand enn den verden vi er kjent med.

Befolkningsvekst i fremtiden vil føre til økt energi- og ressursforbruk, noe som vil sette ekstra press naturressursene. Politikerne står overfor store utfordringer i årene som kommer med tanke på hvordan det økte ressursbehovet skal dekkes på en bærekraftig måte. EU vedtok det såkalte fornybardirektivet i 2009 (EU 2009), som er en del av EUs energi- og klimapakke for å bekjempe klimaendringer. Direktivet angir tre målsetninger, 20-20-20 målsetningene, som unionen skal realisere innen 2020. Målene er at EUs CO₂ - utslipp skal reduseres til 20 % under 1990-nivå, andelen fornybar energi skal økes med 20 % og energiforbruket skal reduseres (ved energieffektivisering) med 20 % sammenliknet med en forventet utvikling av energiforbruket. Alle medlemsland er tildelt sine egne mål for at EU som helhet skal nå de overordnede målene. Norge er tilknyttet EU gjennom EØS, og i 2011 ble fornybardirektivet også innlemmet i EØS-avtalen. Norges mål om fornybarandel for 2020 er satt til 67,5 %, noe som er 7,5 % mer enn landets fornybarandel i 2005.

Bygninger i Norge står for rundt 40 % av stasjonær energibruk (SSB 2013). Det er et stort potensiale for reduksjon av energiforbruk fra bygg ved rehabilitering av eksisterende bygningsmasse og ved å stille strengere energikrav til nybygg. Arnstadutvalget (Arnstad 2009) kom til at det vil være realistisk for Norge å redusere energibruken i bygg fra 80 TWh/år til 70 TWh/år innen 2020, og videre ned til 40 TWh/år innen 2040. Målet for 2020, altså en nedgang i det årlige energiforbruket på 10 TWh, tilsvarer energien fra 1 560 moderne vindturbiner eller litt mer enn energibruken til Oslos befolkning (Arnstad 2009). For å nå målene på kort sikt er det viktig med energieffektiviseringstiltak for rehabilitering

av eksisterende bygg, mens på lengre sikt vil energiforbruk i nybygg ha stor betydning, på grunn av at bygg har lang levetid.

Plusshus er bygg som har et svært lavt energibehov og som benytter fornybare energiteknologier til å dekke behovet for varme og elektrisitet. Enova definerer plusshus som et hus som «skaper mer energi gjennom sin levetid enn det som ble brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og riving av bygget» (Enova 2014). Fornybar energiproduksjon skal kunne dekke husets energibehov i driftstiden, men må samtidig kunne produsere et overskudd for å dekke energi knyttet til andre deler av husets livssyklus. Dette overskuddet av fornybar energi kan leveres til strømmettet, og dermed bidra til nasjonale mål om produksjon av fornybar energi. Bygningssektoren kan da gå fra å være en del av problemet, til å bli en del av løsningen på fremtidens økte energibehov.

1.2 Problemstillinger

Utforming av problemstillingene tar utgangspunkt i at lønnsomhet ofte er den viktigste komponenten ved beslutning om investering. Problemstillingene er definert til å være:

Hovedproblemstilling:

- *For et definert energisystem, vil det være lønnsomt å investere i teknologier til et plusshus?*

Delproblemstilling:

- *Hvordan virker ulike faktorer inn på lønnsomheten av en plusshusinvestering?*

Faktorer som vil bli studert i en følsomhetsanalyse er vindhastighet, solinnstråling, elspotpris, subsidier fra Enova, kalkulasjonsrente, virkningsgrader og investeringskostnader.

Med plusshusinvestering menes den teknologien en må investere i for at huset skal kunne oppfylle plusshusdefinisjonen. I denne oppgaven vil det omfatte solcellepanel, vindturbin, solfangere, ovn med vannkappe og luft-til-vann varmepumpe. Kostnaden av selve huset vil ikke bli inkludert i beregningene, da det forventes at passivhus blir den nye bygningsstandarden i nær fremtid (Direktoratet for byggkvalitet 2015). Denne oppgaven tar sikte på å undersøke lønnsomheten av investeringer utover forventede krav til en enebolig.

1.3 Oppbygging av oppgaven

Kapittel 2 gir en beskrivelse av litteratur og tidligere prosjekter som er relevante for oppgaven. Informasjon om dagens bygningsstandard, passivhus og pluss hus presenteres. Det blir i tillegg informert om relevante opplysninger knyttet til faktorene som studeres i analysene.

Kapittel 3 presenterer caset (konseptet) som studeres i denne oppgaven. Opplysninger om hvilke mål og forutsetninger som er gjort for huset vil bli gitt, og det følger en gjennomgang av energisystemet med presentasjon av inndata for hver av de fem teknologiene.

Kapittel 4 gir en beskrivelse av datagrunnlaget og metoden som er benyttet.

Kapittel 5 presenterer resultatene, det vil si resultater fra simulering av netto nåverdi, hva-hvis analysen og følsomhetsanalysen.

Kapittel 6 omfatter en diskusjon av resultatene og vurdering av energisystemet og lønnsomhetsanalysen. Usikkerhet og eventuelle tilpasninger i datagrunnlaget diskuteres.

Kapittel 7 gir en konklusjon av funnene som er gjort, med forslag til videre forskning.

2 Litteratur, relevante prosjekter og bakgrunnsinformasjon

2.1 Vitenskapelig kontekst

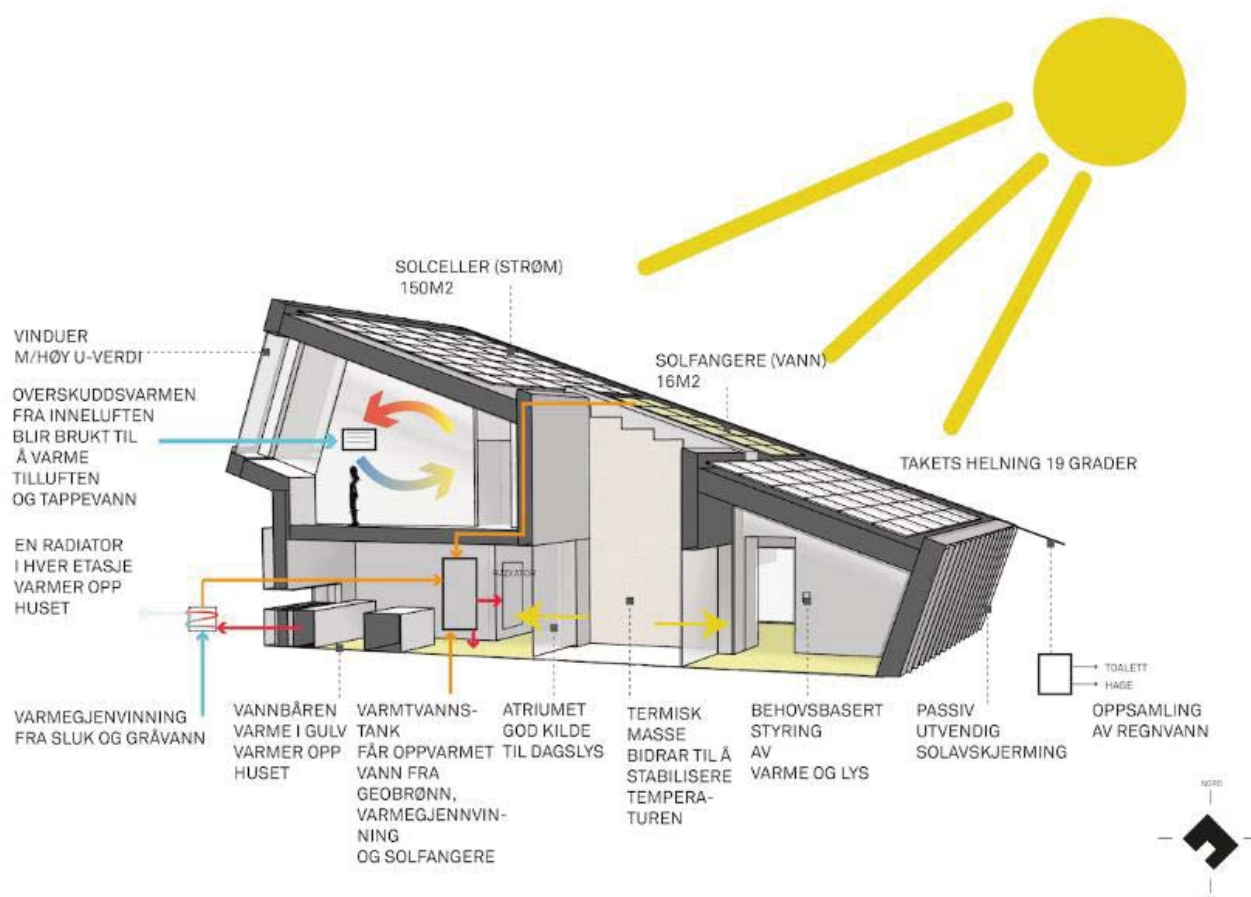
Det er gjennomført et litteratursøk i en internasjonal forskningsdatabase (ISI Web of Science). Søkeord som er blitt benyttet er «Energy-plus building», «Plus-energy building», «Positive-energy building». Det finnes få artikler om utforming og lønnsomhet av energisystem knyttet til plusshus. Det er funnet én publikasjon som anses som relevant for denne oppgaven. Denne blir nevnt i slutten av dette delkapittelet. Ellers er det funnet en rapport fra miljøorganisasjonen Zero og et pilotprosjekt for plusshus.

Zero konkluderer med at det er teknisk mulig å bygge plusshus i Norge i dag (Nordby 2009). Det påpekes at det er nærmest umulig å si noe generelt om lønnsomheten ved plusshus, fordi byggets energibehov, beliggenhet, utforming og valg av teknologi og energisystemer (og dermed drifts- og investeringskostnader) vil variere. Rapporten tar utgangspunkt i at 80 % av energibruken i byggets levetid er knyttet til driftsfasen. For at bygget skal etterleve kravene i plusshusdefinisjonen, må det i tillegg produsere de resterende 20 % med energi som går med i de andre fasene av byggets levetid. Det er gjort en nåverdiberegning for et plussshotell med investering i solfangeranlegg og vindturbiner. Konklusjonen er at solfangeranlegget er en lønnsom investering, selv med en lavere kraftpris enn i 2009. Vindturbinene (6 kW eller 15 kW) anses å være en lønnsom investering så lenge elektrisitetsproduksjonen går til å dekke eget forbruk. Det konkluderes med at elektrisitetsproduksjon til salg ikke vil være lønnsomt med kraftprisen fra 2009. En tilsvarende studie er ikke gjort for enebolig. Dette skyldes mangelen på et konkret prosjekt, og at beregning ved å gjøre anslag på priser vil bli så omtrentlig at det vil ha liten verdi.

I Larvik har selskapene Brødrene Dahl og Optimera bygget det de betegner som «Nord-Europas råeste plusshus». Eneboligen er et pilotprosjekt som har fått navnet Multikomfort, og er ment for å inspirere norsk byggebransje til miljøvennlig nybygging og rehabilitering. Det er bygget med passiv design for å redusere behov for tilført energi. Passivhus og passiv design beskrives nærmere i kapittel 2.3. Huset har energiteknologier som solcellepanel, solfanger og bergvarmepumpe for å dekke energibehovet. Overskudd fra elektrisitetsproduksjonen skal kunne brukes til å lade opp en el-bil gjennom året. Det er

beregnet en nedbetalingstid på 20 år for de tre teknologiene med dagens energipris.

Illustrasjon av Multikomfort-huset med forskjellige energiteknologier er vist i Figur 1.



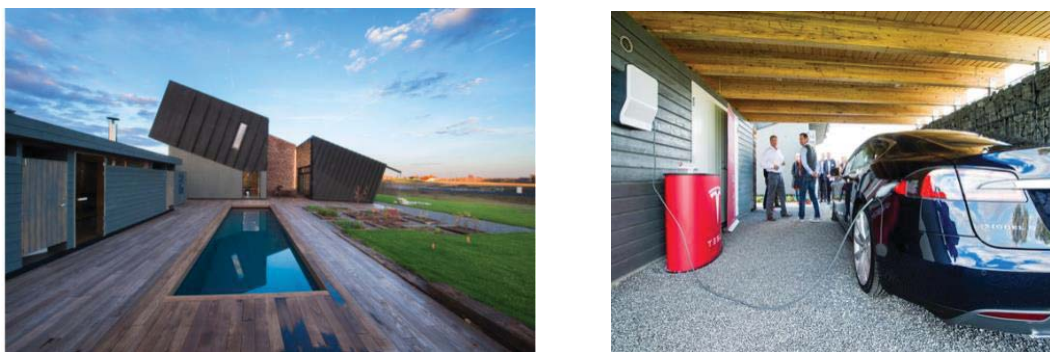
Figur 1. Multikomfort- energiteknologier (Snøhetta 2014).

I en episode av NRK Forbrukerinspektørene (NRK 2015) ble det lagt frem tall for lønnsomheten av investeringene knyttet til plusshuset Multikomfort.

Elektrisitetsproduksjonen dekkes av et solcellepanel på 150 m² på taket som har en kostnad på rundt 400 000 kr, en produksjon på 19 200 kWh per år og en antatt levetid på 25 år.

Byggets varmebehov dekkes 80% av en bergvarmepumpe og 20% av et solfangeranlegg på taket. Bergvarmepumpen har rørforbindelse ned til grunnvannet. Ettersom denne varmepumpen kan ta opp vann med stabil temperatur gjennom hele året, anses den som 2,5 ganger mer effektiv enn en luft-til-luft varmepumpe. Kostnaden for bergvarmepumpen er 200 000 kr, og den produserer 4912 kWh per år (Brødrene Dahl 2014). Solfangeranlegget har en størrelse på 15 m², produserer 1228 kWh per år (Brødrene Dahl 2014) og har en kostnad på 50 000-60 000 kr. Med dagens strømpris vil solcelleanlegget, solfangerne og

bergvarmepumpen alle ha en nedbetalingstid på 20 år. Bilder av Multikomfort-huset er vist i Figur 2.

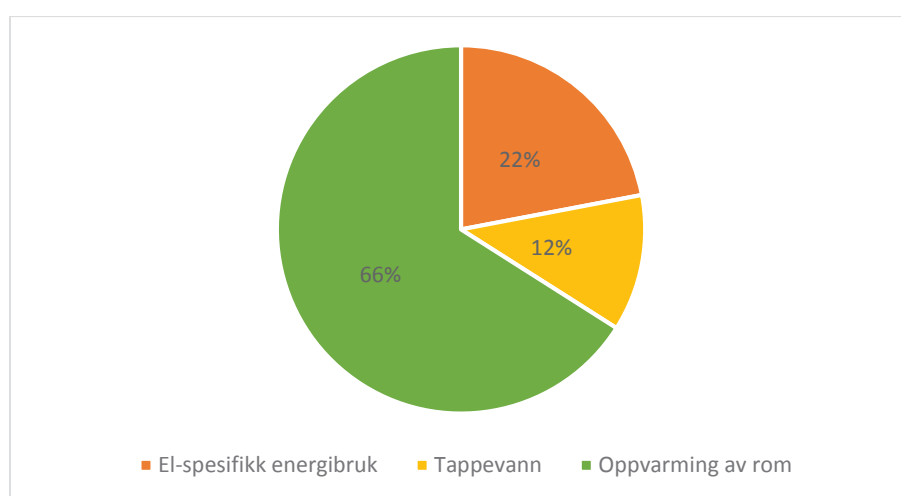


Figur 2. Bilder av Multikomfort-huset i Larvik (Brødrene Dahl & Optimera 2015).

En studie fra Hellas (Bakos & Tsagas 2003) ser på den tekniske muligheten og lønnsomheten ved et sol- og vindsystem som skal produsere elektrisk og termisk energi for å dekke energibehovet til en typisk bolig i byen Xanthi. Huset er koblet til strømmettet for å kunne få strøm de dagene der egenproduksjonen er lav. Systemet består av solfangerne, en vindturbin og ekstern elektrisitet fra nettet (som er produsert på naturgass). Den økonomiske analysen av systemet er utført ved bruk av Life cycle saving metoden og tilbakebetalingstiden på investeringskostnad blir beregnet. Husets energibehov er beregnet til 21 088 kWh per år. Solfangerne produserer varmtvann som skal dekke varmebehovet, men noe av varmtvannet omgjøres også til damp, og det produseres elektrisk kraft i en dampturbin. Det er benyttet en horisontalakslet vindturbin med nominell effekt på 2,2 kW. Systemet har elektrisk lagringskapasitet på et batteri på 110 V. Det er estimert at sol- og vindsystemet skal kunne produsere henholdsvis 2,501 kWh og 1717 kWh elektrisitet i året. Solfangerne skal kunne levere 13 000 kWh varme per år. Sol- og vindsystemet dekker 82 % av det årlige energibehovet. Kostnaden på systemet er 13 300 USD og er 90 % finansiert over 20 år med en kalkulasjonsrente på 9 %.

2.2 Energibruk i norske husholdninger

Husholdningene bruker energi til tre hovedformål: oppvarming av bolig, oppvarming av tappevann og el-spesifikt energibehov (til belysning og elektriske apparater). I følge Statistisk sentralbyrå (SSB) bruker en gjennomsnittlig norsk husstand ca. 21 000 kWh energi i året (NVE 2012). Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) mener det er grunn til å anta at dette fordeler seg på slik på tre formål: el-spesifikt 4 500 kWh/år, tappevann 2 600 kWh/år og oppvarming 13 900 kWh/år. Figur 3 viser denne formålsdelingen oppgitt i prosent.



Figur 3. Formålsdeling av energibruk i husholdningene (NVE, 2012).

Bygningsmassen i Norge er sammensatt av hus fra ulike perioder og følger dermed krav fra ulike bygningsstandarter. Levetiden for et bygg kan være 50-100 år, så de valgene vi gjør ved opprettelse av bygg i dag vil ha konsekvenser for energibruken i mange år fremover. Boligeiere utgjør den største eiergruppen av bygningsmassen i Norge, og utgjør 2,8 millioner beslutningstakere (Arnstad 2009). For å få ned energibruken i bygninger er det viktig med regulatoriske virkemidler og økonomiske virkemidler. Av regulatoriske virkemidler er bygningsstandarden av stor betydning, da den setter krav til byggets energibehov og også til type energiforsyning. Subsidier er et eksempel på økonomiske virkemidler, og beskrives nærmere i kapittel 2.5.

2.3 Dagens bygningsstandard og fremtidens bygg

I dette delkapitlet presenteres sentrale momenter fra dagens bygningsstandard (TEK 10) og deretter følger en gjennomgang av passivhus og plusshus.

2.3.1 Dagens bygningsstandard - Byggteknisk forskrift (TEK 10)

I TEK 10, kapittel 14, angis det regler for bygningers maksimalt tillatte energibehov (KMD 2010). Bygninger kan enten tilfredsstille kravet etter tiltaksmetoden eller etter rammemetoden. Tiltaksmetoden innebærer at de ulike delene av bygningskonstruksjonen må være innenfor kravet for den enkelte bygningsdel. Et eksempel er at U-verdi på yttervegg skal være $\leq 18 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Rammemetoden angir maksimalt tillatt netto energibehov for boliger. For småhus er tillatt totalt netto energibehov $(120 + (1\,600/\text{antall m}^2 \text{ oppvarmet BRA})) \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$. Et hus på 200 m^2 vil dermed ikke kunne overskride et totalt netto energibehov på $(120 + (1\,600/200)) \text{ kWh/m}^2 \text{ per år} = 128 \text{ kWh/m}^2 \text{ per år}$.

Bygningsforskriftens kapittel 14 inneholder også regler om energiforsyning. Det ikke er tillatt å bruke oljekjel som grunnlast. Det stilles i tillegg krav til bruk av fornybar energi, der det i §14-3 står at:

«Bygning inntil 500 m^2 oppvarmet BRA skal prosjekteres og utføres slik at minimum 40% av netto varmebehov kan dekkes med annen energiforsyning enn direktevirkende elektrisitet eller fossile brensler hos sluttbruker.»

Det kommer frem at det er ønskelig å redusere bruk av elektrisitet og fossil energi til oppvarming, og at varmebehovet skal dekkes av andre energikilder der det er mulig.

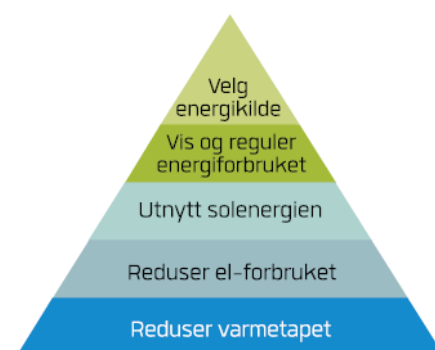
Det forventes at den neste byggeforskriften, TEK 15, vil stille krav til at bygg skal være bygd etter passivhusstandard. I høringsforslaget for de nye energikravene (Direktoratet for byggkvalitet 2015) er det også foreslått at energibehov skal beregnes etter rammemetoden og at reguleringen av elektrisitet til oppvarmingsformål bør avvikles.

2.3.2 Fremtidens bygg

Kyotopyramiden (Figur 4) angir en rekkefølge for gjennomføring av tiltak for å oppnå en mest mulig energieffektiv bygning

(Lavenergiprogrammet 2013):

- 1) Reduser varmetapet
- 2) Reduser el-forbruket
- 3) Utnytt solenergien
- 4) Vis og reguler energibruk
- 5) Velg energikilde



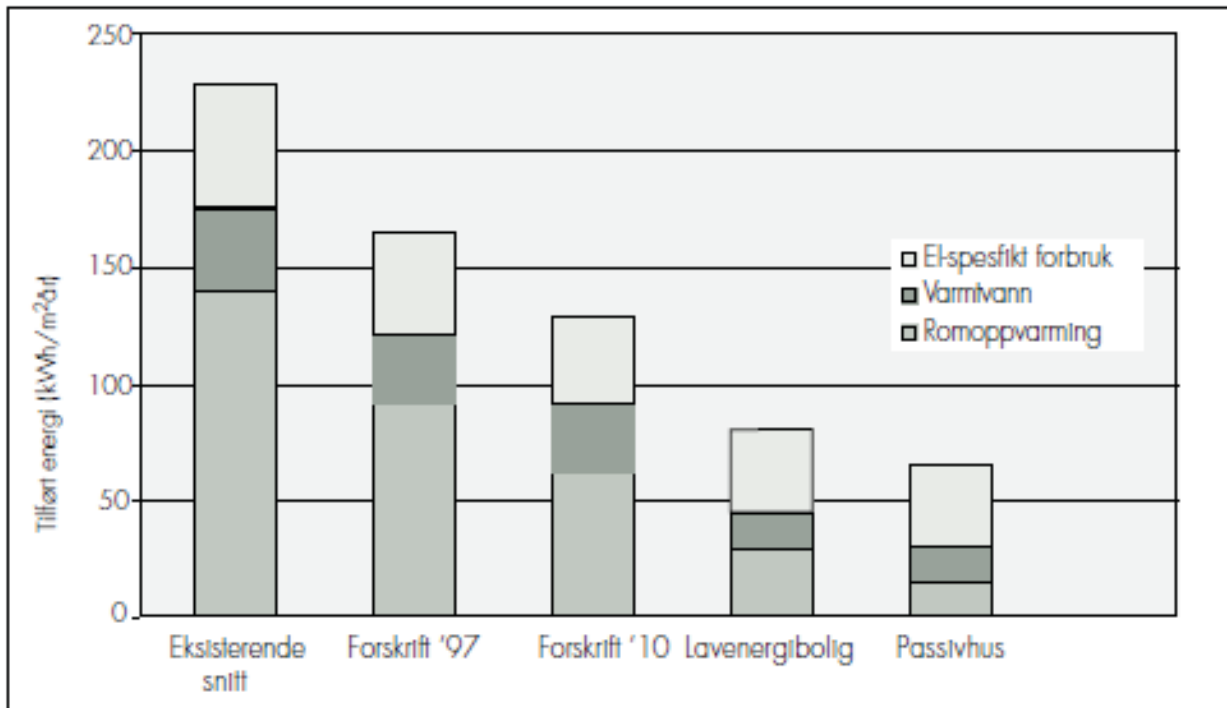
Figur 4. Kyotopyramiden- passiv energidesign (Lavenergiprogrammet, 2013).

Prinsippet er å konstruere et bygg med lavest mulig energibehov, og deretter velge energikilder og energiteknologier som kan dekke husets behov for varme og elektrisitet.

Det finnes flere ulike konsepter for hus som er mer energieffektive og miljøvennlige enn kravene som stilles i dagens bygningsstandard. Resten av delkapittelet består av en introduksjon til passivhus og pluss hus, som er relevante for denne oppgaven.

Passivhus er bygninger som har et mindre varmetap enn bygninger som er oppført etter krav i TEK10. De har dermed et lavere behov for tilført energi. Varmetapet er redusert ved å forbedre bygningskroppen ved å blant annet gjøre den tettere, isolere bedre, bruke vinduer og dører med lavere varmetap og å orientere bygningen slik at en best mulig får utnyttet lys og varme fra solen.

Et passivhus har et behov for levert energi rundt 70-80 kWh/m² per år. For et hus på 200 m² tilsvarer dette 14 000-16 000 kWh per år. Den norske passivhusstandarden (NS 3700) har et krav om at oppvarmingsbehovet ikke skal overskride 15 kWh/m² per år (Arnstad 2009). For et hus på 200 m² tilsvarer dette 3 000 kWh per år. For passivhus utgjør altså oppvarming ca. 20-30 % av levert energi, mens for den gjennomsnittlige norske husstand går 66% av levert energi til oppvarming (se Figur 3). Forskjellen på energibruk i boliger med forskjellig bygningsstandard illustreres i Figur 5. Det kommer tydelig frem at energi til romoppvarming er den energiposten som reduseres mest med strengere forskriftskrav.



Figur 5. Typisk formålsdel energibruk for eksisterende boliger, boliger beregnet i hht. forskrift av 1997, boliger beregnet etter forskrift av 2010, samt en lavenergibolig (klasse 1) og passivhus (Dokka & Andresen 2012).

Plusshus er bygninger der det stilles krav om at husets energibalanse skal gå i pluss når en ser på energibruk og energiproduksjon i hele byggets levetid. I energibruken som er knyttet til huset regnes energi som er brukt til produksjon av byggevarer, oppføring, drift og rivning av bygget. Huset produserer i sin levetid mer energi enn det bruker, og overskuddselektrisiteten kan for eksempel selges til distribusjon på strømmettet. Det er ønskelig å redusere kostnadene, og da er det viktig at huset har et lavest mulig energibehov, slik at energibalansen lettere går i pluss. Ved oppføring av plusshus vil det da være hensiktsmessig å ta utgangspunkt i en bygningsstandard som tilsvarer passivhus eller bedre.

Det er ennå ikke utarbeidet en formell standard for plusshus i Norge, men det er utarbeidet en definisjon som er etablert av Powerhouse-alliansen. Denne alliansen, som består av aktører som Asplan Viak, Snøhetta, Entra og Skanska, har omgjort et kontorbygg fra 80-tallet til et plusshus. Definisjonen de bruker for plusshus brukes også av Enova. Det er viktig å merke seg at definisjonen av plusshus i Norge er strengere enn den som blir benyttet i andre land. I utlandet defineres plusshus som regel ved at huset skal produsere mer energi enn

det bruker gjennom året, og det fokuseres da kun på driftsfasen. I Norge skal huset som sagt også produsere et overskudd som skal dekke energibruken i andre faser av husets livssyklus (til materialer, bygging og rivning). Det gjør at plusskusdefinisjonen i Norge er mer krevende å tilfredsstille.

2.4 Plusskundeordning

Strømkunder som i perioder leverer strøm til nettet defineres av NVE som plusskunder.

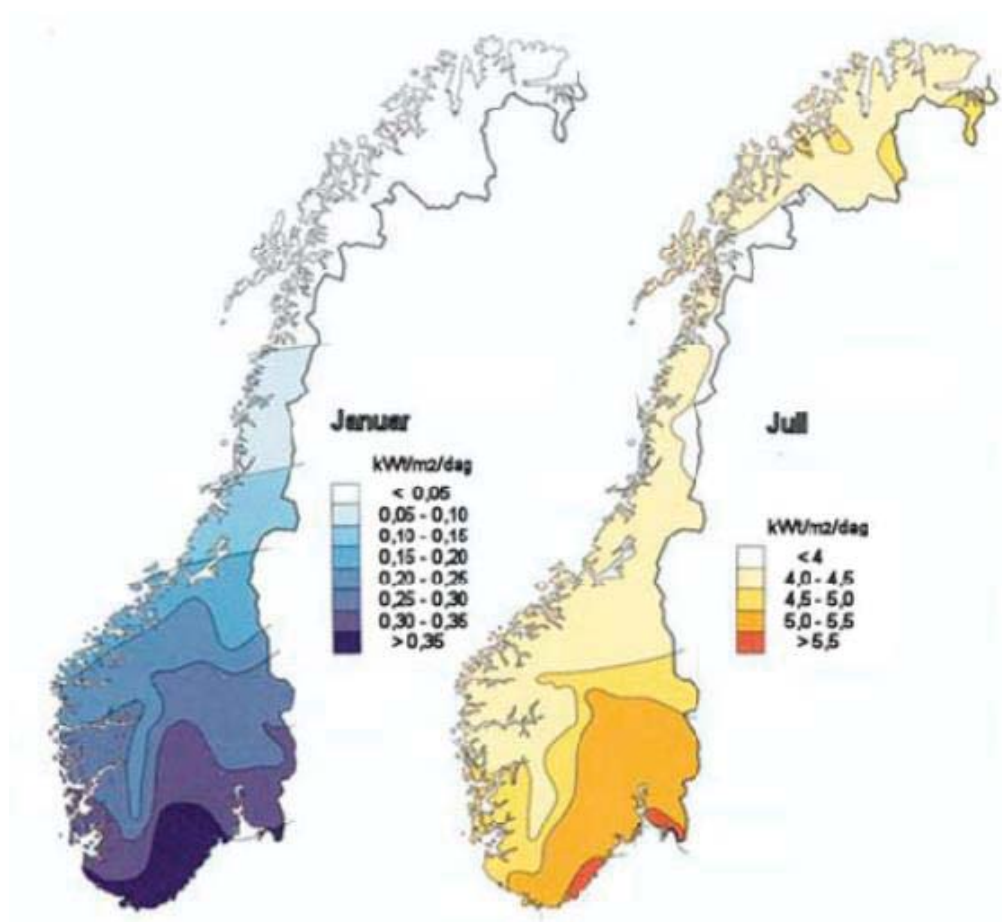
Plusskundeordningen er per i dag frivillig, og det er heller ikke alle nettselskap som tilbyr en slik ordning. Rammene for plusskundeordningen er for tiden under utvikling hos NVE, og en endring av rammevilkårene ventes i januar 2016.

Innen 1.januar 2019 skal alle strømkunder i landet ha fått installert nye strømmålere. Dette tiltaket er en del av effektiviseringen av nettet og går under navnet Avanserte måle- og styringssystem (AMS). Det er nettselskapene som har ansvaret for å bytte ut strømmålerne, og det forventes at de fleste nettselskap vil ha startet denne prosessen innen utgangen av 2015 (NVE 2014). De nye strømmålerne vil registrere strømforbruket på timesbasis, og informasjon om forbruket sendes automatisk til nettselskapet. De nye målerne vil ha en toveis kommunikasjon mellom kundens strømmåler og nettselskapet. Kunden vil da kunne få informasjon om sitt forbruk til enhver tid og om øyeblikksprisene for kraft og nettleie. AMS-måleren er tilrettelagt for plusskunder. Den er den eneste måleren en plusskunde trenger i relasjon til nettselskapet for å måle informasjon om energibruk og -produksjon (Leknesund 2015).

2.5 Faktorer knyttet til lønnsomhet av plusshus

2.5.1 Solinnstråling

Solinnstrålingen i Norge varierer mye med årstidene, men også i stor grad med hvor man befinner seg i landet. Den årlige innstrålingen mot en horisontal flate varierer fra 700 kWh/m² i nord til ca. 1 100 kWh/m² i sør (SINTEF & KanEnergi 2011). Figur 6 viser solinnstrålingen til Norge i januar og juli, der mørkere farge angir mer energi fra innstrålingen i kWh/m²/dag.



Figur 6. Fremstilling av solinnstråling mot horisontal flate i Norge (kWh/m²/dag) (SINTEF & KanEnergi 2011).

Det er for øvrig begrenset med gode data for solinnstråling i Norge. Data for solinnstråling kan skaffes fra satellitter, men disse er ofte unøyaktige da de kun har enkelte sentrale destinasjoner inne, som for eksempel Bergen eller Oslo. Deretter interpoleres det mellom verdiene for å finne omtrentlig solinnstråling for andre lokasjoner.

Energiproduksjonen fra en teknologi avhenger av virkningsgraden, det vil si i hvor stor grad solenergi blir omdannet til varme eller elektrisitet. Solfangere kan omdanne ca. 50-80 % av solenergien til varme (Haga 2011), mens solcellepanel kan omdanne ca. 14-20 % av solenergien til elektrisitet (Asplan Viak & Multiconsult 2012).

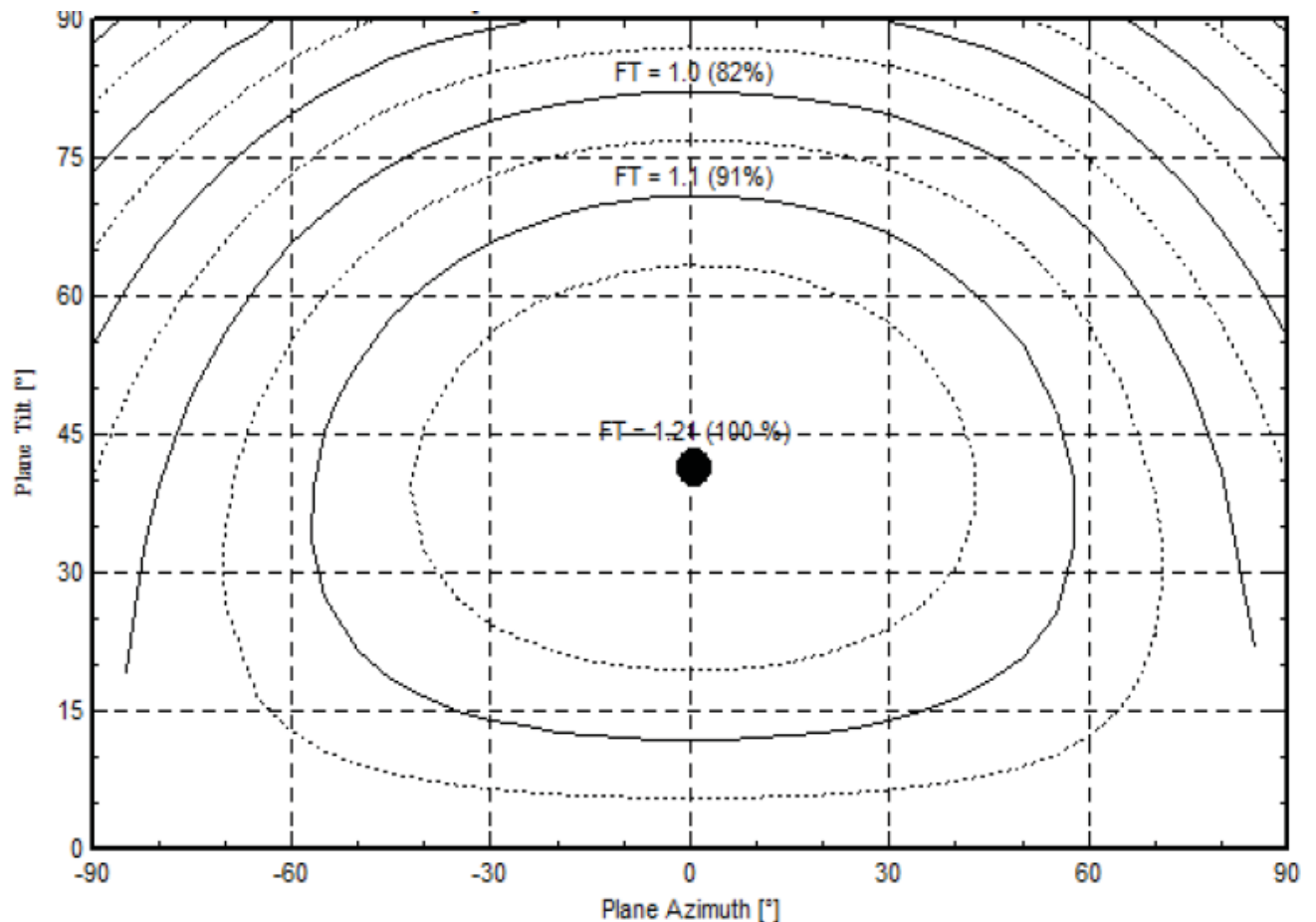
Faktisk energiproduksjon i solcellepanel eller solfanger er avhengig av faktorer som skygge, snø, skittbelegg og andre tapsfaktorer. Ved beregning av energiproduksjon, tas disse tapsfaktorene hensyn til i ytelsesraten. Denne beskrives senere i dette delkapittelet.

Transposisjonsfaktor

Transposisjonsfaktoren er forholdet mellom solinnstråling som treffer det aktuelle planet som studeres sammenliknet med innstråling som treffer et horisontalt plan. Faktoren beskriver hvor mye en vinner (eller taper) på å endre vinkel og orientering på planet. Resultatet avhenger i hovedsak av den diffuse innstrålingen (PV Syst 2015).

Transposisjonsfaktoren er 1 for en horisontal flate. I Figur 7 vises transposisjonsfaktorer (FT) for vinkel på solcellepanelet (plane tilt) og orientering (plane azimuth), der 0 grader azimuth tilsvarer orientering mot sør (Multiconsult 2013). Det antas at figur for transposisjonsfaktor gjelder for alle verdier av solinnstråling.

Solenergien som treffer jordoverflaten består av direkte innstråling og diffus innstråling. Direkte innstråling kommer direkte fra solen. Diffus innstråling består av solinnstråling som er spredt i atmosfæren, der innstrålingen kommer fra alle retninger. På en klar dag vil mesteparten av solinnstrålingen være direkte, mens på en overskyet dag er det omtrent bare diffus innstråling (NVE et al. 2015). Global solinnstråling er summen av diffus- og direkte solinnstråling.



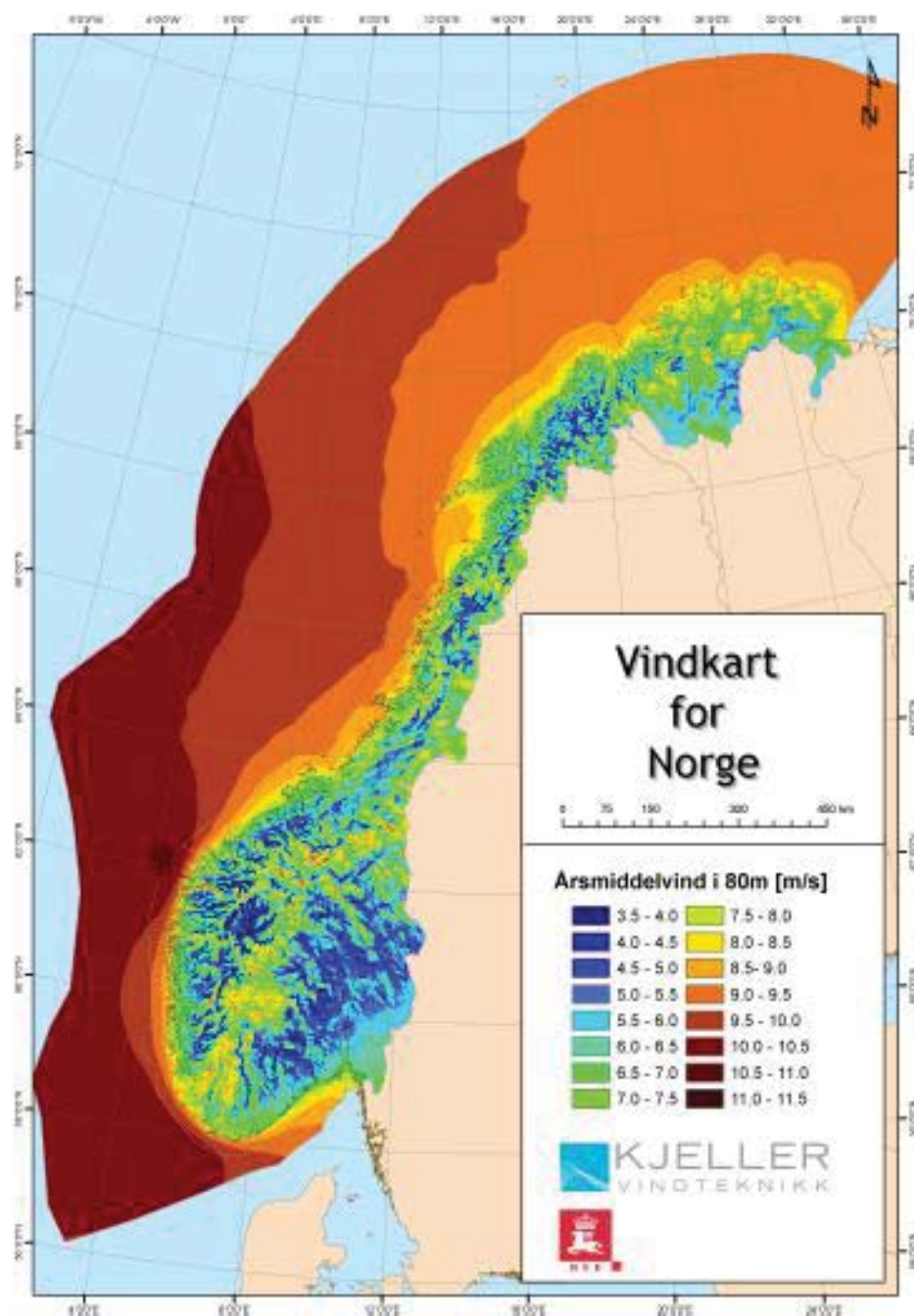
Figur 7. Transposisjonsfaktor i Oslo (Multiconsult 2013).

Ytelsesrate (PR)

Ytelsesraten blir oppgitt i prosent og beskriver forholdet mellom faktisk og teoretisk energiproduksjon fra et solcellepanel (SMA Solar Technology AG 2015). En annen måte å beskrive det på er at ytelsesraten = 100 % - tap i systemet (%). Ytelsesraten inkluderer tap som forårsakes av skygge, refleksjon, modulkvalitet, kvalitetsforskjeller mellom enkeltmoduler (mismatch), tap i ledninger med mer (Multiconsult 2013).

2.5.2 Vindhastighet

Høye vindhastigheter forekommer ofte langs kysten. Meteorologisk institutt har vinddata fra et stort antall steder i Norge. Dersom man vurderer å sette opp vindturbin, bør man i prinsippet sette opp eget måleutstyr og kartlegge vindressursen på det aktuelle stedet. Vindhastigheter i Norge ved 80 m høyde er presentert i Figur 8, der det fremgår at vindhastighetene i Norge generelt sett er høyest langs kysten og på høyder i innlandet.



Figur 8. Normalårskorrigert middelvind (m/s) ved 80 m høyde ulike steder i Norge og langs kysten (Kjeller Vindteknikk & NVE 2009).

2.5.3 Elspotpris

Nord Pool Spot er en kraftbørs med marked innenfor ni europeiske land, blant annet Norge. Elspotprisen bestemmes av tilbud og etterspørsel etter kraft i Nord Pools markedsområder. Spotprisen varierer fra dag til dag og den er ulik i forskjellige prisområder. Årlig variasjon i spotpris kan være betydelig, som det fremkommer av Figur 9.



Figur 9. Årlig variasjon i elspotpris, fra 2000-2014 (Nord Pool Spot 2015b).

2.5.4 Andre faktorer

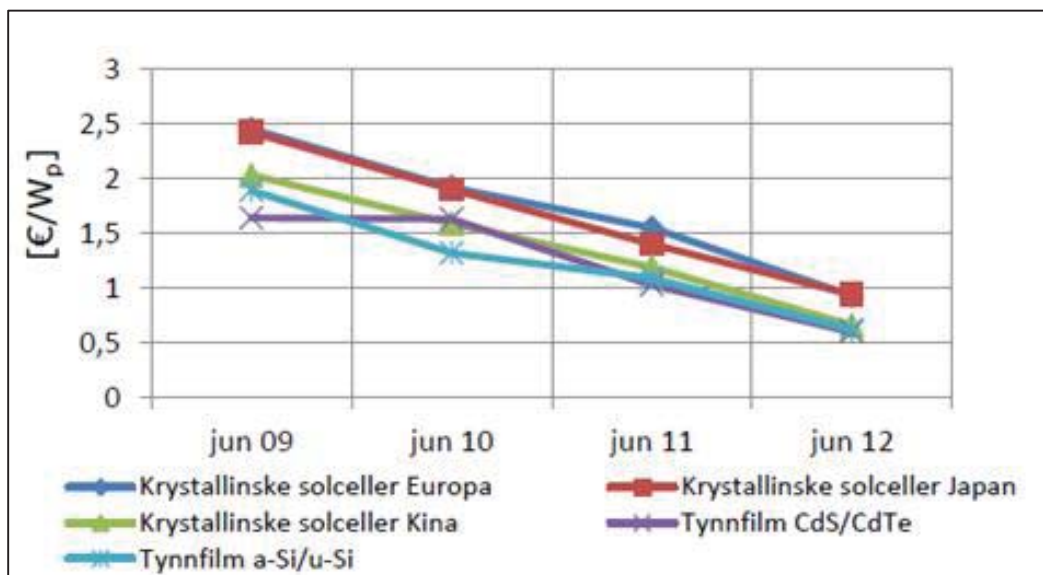
Subsidier

Den 5.januar 2015 lanserte Enova en tilskuddsordning som skal subsidiere ulike miljøvennlige investeringer for privatpersoner (Enova 2015). Prosessen for å få innvilget Enova-støtte ble enklere enn tidligere. Før måtte man gjennom en lengre søknadsprosess før man eventuelt fikk tilslag om støtte. Nå kan en boligeier investere i et av de tolv tiltakene som gir støtte, og deretter få tilbake pengene noen uker senere, når innsendt dokumentasjon er kontrollert av Enova.

Investeringskostnader

Solcellepanel

Grafen i Figur 10 viser prisutvikling for krystallinske solceller og to kategorier med tynnfilmsolceller. Priser på solceller har falt mye de siste årene, blant annet som følge av konkurranse i markedet .



Figur 10. Prisutvikling for ulike typer solceller fra 2009 til 2012. Prisene er grossistpriser eksklusive mva (Asplan Viak & Multiconsult 2012).

Tynnfilmsolceller ligger lavest i pris (se Figur 10), men de har også lavere virkningsgrad sammenliknet med krystallinske solceller. Valg av krystallinske solceller foretrekkes med dagens situasjon, siden de i de fleste tilfeller gir en bedre totaløkonomi (Asplan Viak & Multiconsult 2012). Det forskes på solcelleteknologi, og det forventes at prisene vil reduseres også i fremtiden (NRK 2015).

Vindturbin

Vindturbiner til hjemmebruk er ikke like utbredt i Norge som bruk av solcellepanel. Det er et marked som er i startfasen her i landet, og det er usikkert hvordan det vil utvikle seg. I likhet med solcellepanel er investeringskostnadene høye. En nettside som har samlet ulike typer små vindturbiner, med kostnader og andre opplysninger, har adressen (url) www.allsmallwindturbines.com. I Norge eksisterer det et selskap kalt WENAS som videreselger vindturbiner fra den amerikanske produsenten UGE. Ettersom det er få private eiere av vindturbiner i Norge får kunden opplæring av drift- og vedlikehold av turbinen. Det gjør at leverandøren slipper å reise rundt i Norge for å vedlikeholde turbiner, og det blir billigere for pluss huseieren å være i stand til å utføre vedlikeholdet på egenhånd.

Levetid for teknologier

Den reelle levetiden for en energiteknologi kan være lengre enn det som blir oppgitt av produsent. For solcellepanel er oppgitt levetid fra produsent ofte rundt 25 år, men i realiteten har solcelleanlegg mulighet til å vare i 40 år (Glöckner 2013).

Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten har betydning for lønnsomheten av investeringer. Renten representerer alternativkostnaden, for eksempel hvor mye det koster å låne kapital for å kunne investere i et prosjekt. En høyere rente vil normalt føre til en lavere netto nåverdi, og dermed redusert lønnsomhet i prosjektet. I denne oppgaven er det brukt realrente. Det normale nivået på realrenten i Norge anslås å ligge mellom 2-3 % (Bernhardsen & Kloster 2010) .

Virkningsgrad for energiteknologier

Dersom virkningsgraden til energiteknologiene øker, uten at kostnaden for teknologien øker, vil det føre til bedre lønnsomhet siden energiteknologiene da vil kunne levere mer energi til samme pris. Dette kan realiseres ved teknologiutvikling og konkurranse blant flere produsenter i markedet.

3 CASE: Plusshus enebolig i Kragerø

Utgangspunktet for oppgaven er et plusshus som skal bygges i Kragerø kommune med start i løpet av 2015. Initiativtaker er Kjell Matzow, daglig leder i selskapet *Sol og vind*, og huset vil ved ferdigstillelse fungere som privat bolig for familien Matzow.

Sol og vind sin visjon er at de «utvikler og leverer forbilledlige løsninger på veien mot et nullutslippssamfunn». De skal være en «innovativ aktør i prosessen hvor bygg og bolig skifter fra forbruk og utslipp til produksjon, fornybarhet og bærekraft» (Sol og vind 2015).

3.1 Lokasjon

Huset planlegges å bygges på Skåtøy i Kragerø kommune (vist i Figur 11). Dette er den største øya i Kragerø kommune og har en størrelse på 8,8 km². Den består av «delvis skogkledte, delvis bebygde knauser med fritidshus og helårsboliger for omkring 250 fastboende» (Wikipedia 2015).



Figur 11. Bilde av Kragerøskjærgården med Skåtøy (Wikipedia, 2015).

3.2 Plusshusets utforming og energibehov

3.2.1 Utforming

Huset planlegges å bygges med tysk passivhusstandard. Et bilde av plusshuset er vist i Figur 12. Den tyske passivhusstandarden har strengere kriterier for tetthet enn det som gjelder i Norge, og den tar ikke hensyn til ulikt klima, slik den norske passivhusstandarden gjør. I denne oppgaven er det tatt utgangspunkt i den norske passivhusstandarden, siden den er forventet å bli den nye bygningsstandarden i Norge. Det vil være interessant å se om det vil

være hensiktsmessig for norske passivhus å investere i den type energisystemkonsept som er planlagt for plusshuset i Kragerø.

Levetiden til huset antas å være 60 år. Dette er den levetiden som ble brukt av Powerhousealliansen da de rehabiliterte et kontorbygg til plusshus i Sandvika (Powerhouse 2014). Ettersom husets levetid er 60 år og energiteknologiene har kortere levetid, må det reinvesteres i teknologiene på ulike tidspunkt. Mer om dette følger under delkapittel 3.3, ved beskrivelsen av hver av teknologiene.



Figur 12. Illustrasjonsbilde av plusshuset (Lie 2015).

Det er gjort følgende antagelser for mål på huset:

- 1.etasje BRA: 100 m²
- 2.etasje BRA: 100 m²
- Totalt bruksareal (BRA): 200 m²
- Takareal (for solcellepanel): 160 m²

Huset er planlagt å bli bygget med vannbåren gulvvarme. Det er antatt at opplegg for dette kun er lagt i 1.etasje.

3.2.2 Elektrisitet

Årlig elektrisitetsbehov for huset er anslått til 7 000 kWh (Matzow 2015). Det er antatt at elektrisitetsbehovet vil fordele seg likt på månedene, det vil si ca. 583 kWh/måned.

3.2.3 Oppvarming

Oppvarmingsbehov for boliger varierer fra måned til måned. I Tabell 1 følger en oversikt over oppvarmingsbehovet til passivhus enebolig for de ulike månedene (i kWh/m²) og for plusshuset som studeres i oppgaven.

Tabell 1. Månedlig oppvarmingsbehov for plusshuset.

Måned	kWh/m ²	kWh (200 m ²)
Januar	4	800
Februar	3.1	620
Mars	1.5	300
April-september	0	0
Oktober	0.4	80
November	2.2	440
Desember	3.6	720

Tallene som er oppgitt i kWh/m² (Dokka & Andresen 2012) er lest av en figur vist i vedlegg 1.

Et vannbårent gulvvarmeanlegg vil ha tap til omgivelsene. Av den varmen som sirkulerer i vannet i rørene vil ikke alt kunne overføres til romoppvarming. Dette er blitt tatt hensyn til i energisystemet i denne oppgaven, og energitap som følge av varmetap er vist i Tabell 2.

Verdiene for varmetap fra gulv (W/m²) er lest av en figur som er å finne i vedlegg 2.

Månedene som er markert med farge i Tabell 2 er måneder med behov for romoppvarming.

Tabell 2. Varmetap fra gulvvarme fra betonggulv på grunnen med underliggende varmeisolasjon på 150 mm.

Måned	Varmetap fra gulv (W/m ²)	Varmetap fra gulv mot grunn (100 m ²) (W)	Timer med varmetap (h)	Energitap som følge av varmetap (kWh)
Januar	5.5	550 W	744	409,2
Februar	4.5	450 W	672	302,4
Mars	4.2	420 W	744	312,5
April	4.0	400 W		
Mai	3.5	350 W		
Juni	3.0	300 W		
Juli	2.5	250 W		
August	2.5	250 W		
September	3.0	300 W		
Oktober	3.5	350 W	744	260,4
November	4.0	400 W	720	288,0
Desember	5.0	500 W	744	372,0

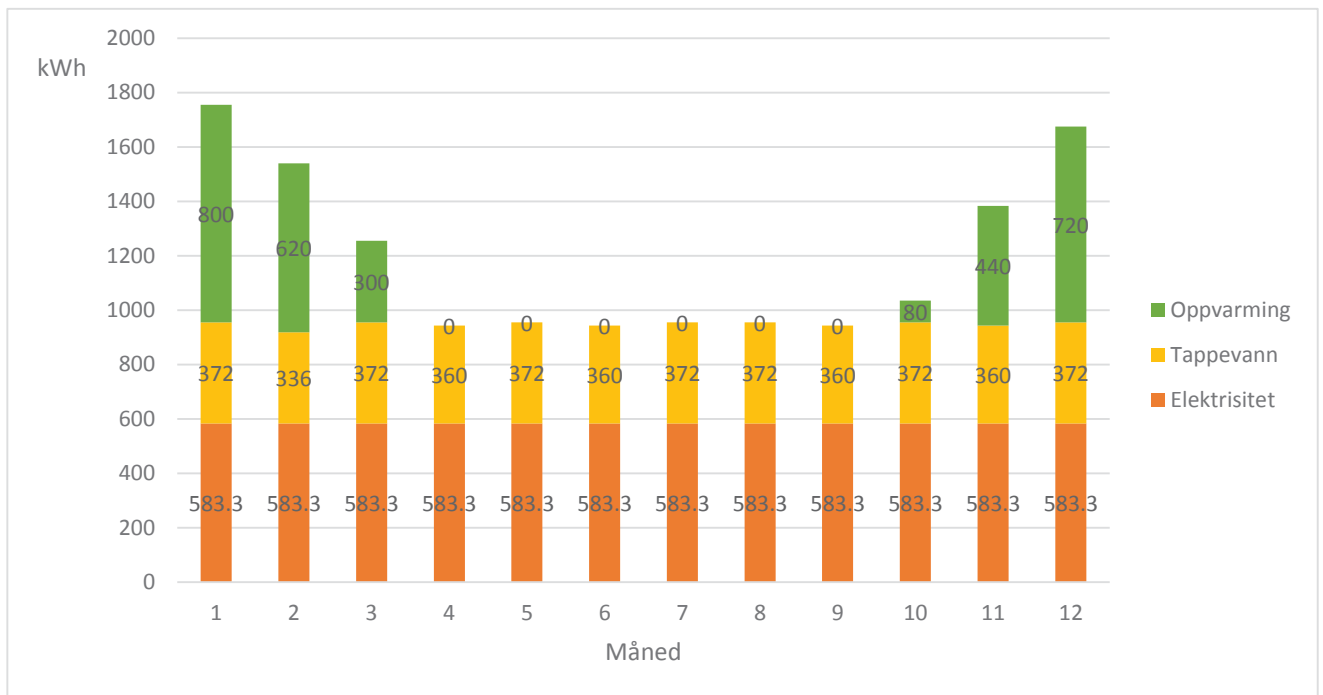
3.2.4 Tappevann

Ved dimensjonering av behovet for tappevann kan man som tommelfingerregel ta utgangspunkt i ca. 50 liter tappevann per person per døgn, noe som tilsvarer ca. 3 kWh/person/døgn (Andresen 2008). I denne oppgaven dimensjoneres det med en husholdning på 4 personer, det vil si et totalt tappevannsforbruk på 12 kWh/døgn.

Varmtvannstanken som er benyttet i denne oppgaven har en størrelse på 840 liter for å dekke det termiske energibehovet. Det er benyttet et årlig varmetapstall fra tanken på 4,4 kWh/l (Forbrukerrådet 2014). Med en tank på 840 liter gir dette et årlig varmetap på 3 696 kWh. Likt fordelt på årets måneder gir dette et varmetap på 308 kWh/måned. I praksis vil varmetapet fra varmtvannstanken redusere oppvarmingsbehovet i huset. Ettersom det er usikkert hvordan denne varmen vil spres i ulike deler av huset og i hvor stor grad oppvarmingsbehovet vil reduseres, er det valgt å ikke inkludere dette i energisystemet.

3.2.5 Totalt energibehov for plusshuset per måned

Det totale energibehovet for plusshuset per måned er vist i Figur 13. Det er også synliggjort en formålsdeling for energibehov til oppvarming, tappevann og elektrisitet.



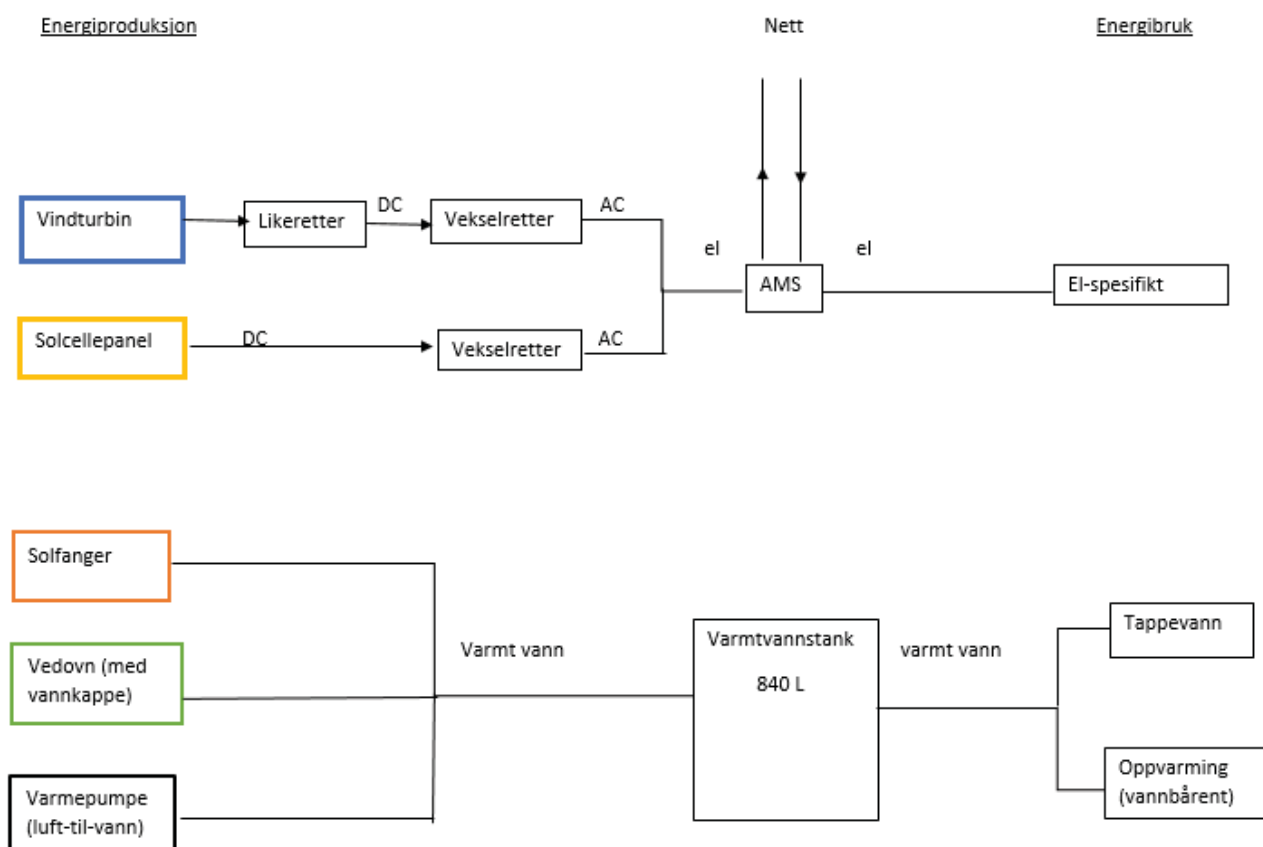
Figur 13. Totalt energibehov for plusshuset per måned (oppvarming, tappevann og elektrisitet).

Det termiske energisystemet i oppgaven skal dekke behovet for oppvarming og tappevann, mens det elektriske energisystemet skal dekke det el-spesifikke energibehovet.

3.3 Energisystemet

I dette kapitlet følger en oversikt over energisystemet og de enkelte energiteknologiene som er knyttet til plusshuset. For hver energiteknologi presenteres en oversikt over hvilke konstante inndata som er brukt i energisystemanalysen og dermed har betydning for lønnsomhetsanalysen. Variable inndata presenteres i kapittel 4.1.

En tegning over sammenhengen i energisystemet er vist i Figur 14.



Figur 14. Skjematisk tegning av hele energisystemet for plusshuset.

Elektrisk energisystem

Behovet for elektrisitet dekkes av produksjon fra solcellepanel og vindturbin. Huset til familien Matzow er planlagt å bygges uten tilknytning til strømmettet. I denne oppgaven er det valgt å inkludere tilknytning til strømmettet, slik at overskuddet av elektrisitet kan selges og det er mulig å kjøpe strøm på dager med lav egenproduksjon.

3.3.1 Solcellepanel

Solcellepanelet Sunstyle fra det sveitsiske selskapet Solaire Suisse legges på taket av huset som takstein, og erstatter dermed tradisjonell takstein. Et illustrasjonsbilde av solcellepanelet kan ses i Figur 15. Når solceller erstatter annet bygge- eller konstruksjonsmateriale går det under navnet Building Integrated Photovoltaic cells (BIPV). Celletypen er monokrystallinske silisiumceller, med 24 celler per panel. Ytelse per m^2 skal ifølge produsenten være 135 Wp (Solaire Suisse 2013). For plusshuset i denne oppgaven vil effekten på solcellepanelet være 21,6 kWp. Investeringskostnad er ca. 4 000 kr/ m^2 , inkludert inverter (Matzow 2015).



Figur 15. Illustrasjonsbilde Sunstyle solcellepanel (Solaire Suisse 2013).

Effektiviteten (virkningsgraden) til en solcelle er bestemt ut fra hvor mye av solenergien solcellen kan konvertere til elektrisitet. Krystallinske solceller har en gjennomsnittlig virkningsgrad på ca. 14-16 %, men de beste produktene på markedet kan ha en virkningsgrad over 20% (Asplan Viak & Multiconsult 2012).

Tabell 3. Inndata for solcellepanel.

	Verdi	Kilde/kommentar
Produsent	Solaire Suisse	
Type	Monokrystallinske silisiumceller	
Installert effekt	21,6 kWp	0,135 kWp/ m^2 *160 m^2
Plassering	På tak (40 ° helning) mot øst/vest	
Takareal med solceller	160 m^2	
Transposisjonsfaktor	0,95	Lest av Figur 7
Virkningsgrad (η_{PV})	0,15	Antatt

Tap	0,164	(Østbye 2014) (Multiconsult 2013) ¹
Ytelsesrate (PR)	0,836	1-tap= 1-0,164
Investeringskostnad (inkl.inverter og montering)	640 000 kr	4 000 kr/m ² *160m ²
Subsidie fra Enova (År 0)	28 750 kr	Felles subsidie for el-produksjon fra sol og vind. Vedlegg 5.
Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader	3 200 kr	0,5 % av investeringskostnad (Multiconsult 2013)
Levetid BIPV	25 år	(Solaire Suisse 2013)
Investering/reinvestering BIPV	År 0, År 25, År 50	
Subsidie fra Enova ved reinvestering	28 750 kr	Vedlegg 5
Kostnad inverterbytte	2 900 kr	(Multiconsult 2013)
Levetid inverter	12,5 år	(Multiconsult 2013)
Reinvestering inverter	År 12, År 24, År 36, År 48	

Virkningsgraden angir hvor stor andel av energien fra solinnstrålingen som potensielt kan omdannes til elektrisitet i solcellepanelet. Ytelsesraten angir hvor stor andel av denne potensielle elektrisitetsproduksjonen som faktisk blir omdannet. Den er redusert som følge av ulike tap i systemet (se Østbye 2014,s.29). Degradering av solcellepanelet i forhold til produsert effekt er ikke inkludert i analysen.

3.3.2 Vindturbin

Vindturbinen UGE 4K er en vertikal vindturbin, det vil si at den roterer om en vertikal akse. Et illustrasjonsbilde av vindturbinen kan ses i Figur 16.

Vertikalakslende vindturbiner har det fortrinnet over horisontale vindturbiner at de kan utnytte vind fra alle retninger uten å måtte dreie, og de lager mindre støy. Vindturbinen i tilknytning til huset i Kragerø skal være 9 meter høy, og er dermed på høyde med en flaggstang. Det kreves byggesøknad og tillatelse fra kommunen for å sette opp en vindturbin på tomten.

Installert effekt er 4 kW, og årlig forventet energiproduksjon ved vindhastighet på 5 m/s er oppgitt av produsenten til å være 4 560 kWh (se



Figur 16.
Illustrasjonsbilde av vindturbin UGE 4K (Matzow 2013a).

¹ Summen er hentet fra Østbye. Flere av tapsfaktorene er hentet fra rapport fra Multiconsult, men Østbye har i tillegg lagt til invertertap, temperaturtap og tap som følge av støv og snø.

vedlegg 3). Støynivå ved vind på 12 m/s er 38 dB, noe som omtrent tilsvarer lyden fra mennesker som hvisker.

Tabell 4. Inndata for vindturbin.

	Verdi	Kilde/kommentar
Produsent	Urban Green Energy (UGE)	
Modell	UGE4K	
Installert effekt	4 kW	Vedlegg 3
Cut- in vindhastighet	3,5 m/s	Vedlegg 3
Cut-out vindhastighet	30 m/s	Vedlegg 3
Virkningsgrad	0,2735	Vedlegg 4
Tap	5 %	(Helset 2015)
Investeringskostnad vindturbin	300 000 kr	inkl. likeretter, vekselretter og montering (Lie 2015)/(Helset 2015)
Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader	2 500 kr	(Helset 2015)
Levetid vindturbin	20 år	(Helset 2015)
Investering/reinvestering vindturbin	År 0, År 20, År 40	
Subsidie fra Enova ved reinvestering	15 000 kr	Vedlegg 5
Investeringskostnad likeretter og vekselretter	20 000 kr	(Helset 2015)
Levetid likeretter og vekselretter	10 år	(Helset 2015)
Reinvestering likeretter + vekselretter	År 10, År 30, År 50	

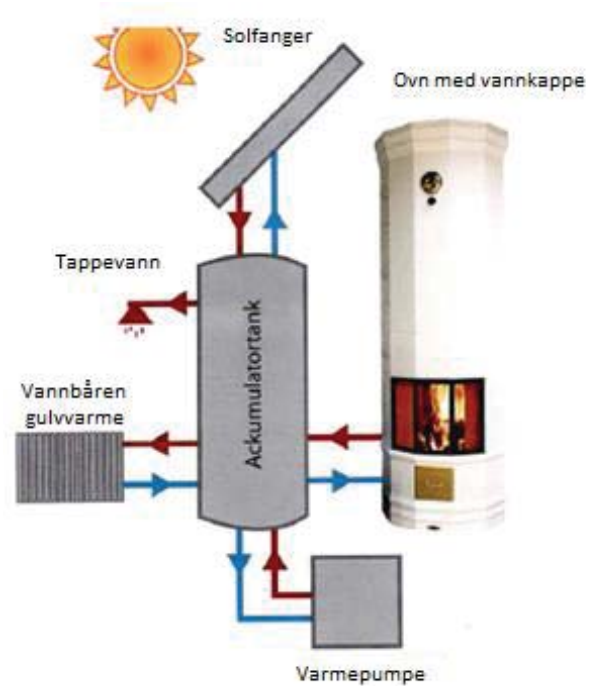
Reinvestering for likeretter og vekselretter er kun satt til årene 10, 30 og 50, selv om levetiden for disse komponentene er 10 år. Dette er på grunn av at disse komponentene også blir reinvestert når hele vindturbinen skal investeres/reinvesteres i årene 0, 20 og 40, og de er inkludert i investeringskostnaden for vindturbinen. Det er dermed tatt hensyn til at levetiden til likeretter og vekselretter er 10 år.

Termisk energisystem

Det termiske behovet i huset er oppvarming (ved vannbåren gulvvarme) og tappevann.

De tre energiteknologiene som skal fremskaffe denne varmen er solfangere på sørvendt husvegg, vedovn med vannkappe og luft-til-vann varmepumpe.

Sammenhengen i det termiske energisystemet er vist i Figur 17.



Figur 17. Illustrasjonsbilde termisk energisystem (Matzow 2013b).

3.3.3 Solfanger

ASV Solar er et norsk selskap som produserer og selger solfangerer. Solfangeren leverer miljøvennlig energi i drift, og når den skal avhendes kan den resirkuleres. Illustrasjonsbilder av ASV Solar sin solfanger kan ses i Figur 18.



Figur 18. Illustrasjonsbilder av solfanger (ASV Solar 2015a).

Solfangeren utnytter energien fra solen og omdanner den til termisk energi som kan brukes til oppvarming av bolig, tappevann, basseng med mer. Solfangeren består av et rørsystem som er knyttet til kollektorplater. Disse platene er svarte og absorberer energien fra solen. I rørsystemet sirkulerer det vann som blir varmet opp av den varme kollektorplaten. Dette

vannet blir ført til en tank og lagret der til det tas i bruk. Solfangeren er tilkoblet en pumpe som får vannet til å sirkulere. Den er tilknyttet en sensor og styringssystem som gjør at pumpen stopper ved for høy eller lav vanntemperatur. Det gjør at vannet kan renne tilbake i tanken, og man unngår at det fryser på vinterstid eller eventuelt koker på sommertid. ASV Solar kaller dette et drain-back system. Dette systemet gjør solfangeren mer miljøvennlig da man ikke trenger å tilsette kjemikalier som glykol. Det gjør også at solfangeren trenger minimalt med vedlikehold og tilsyn (ASV Solar 2015b).

Størrelsen på varmelageret (varmtvannstanken) har den største innvirkning på virkningsgraden i systemet. Et større varmelager vil gi mer varme fra solfanger (Åsen 2015). Varmelageret som brukes for det termiske systemet i denne oppgaven er en varmtvannstank på 840 liter. Inndata for solfanger er presentert i Tabell 5.

Tabell 5. Inndata for solfanger.

	Verdi	Kilde/kommentar
Produsent	ASV Solar	
Modell	Generasjon 4	
Areal solfanger	30 m ²	(Lie 2015)
Plassering	Husvegg (helning 90°) mot sør.	
Transposisjonsfaktor	0,9	Lest av Figur 7
Virkningsgrad	75 %	(Åsen 2015)
Varmetap i rør mm.	5 %	(Åsen 2015)
Ytelsesrate (PR)	0.95	1-tap = 1-0.05
Investeringskostnad	37 403 kr	40 395 kr for 32,4 m ² . For 30 m ² : (40 395 kr/32,4 m ²) * 30 m ² . (ASV Solar 2015c)
Subsidie fra Enova	14 351 kr	Vedlegg 5
Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader	0 kr	Allerede inkludert i el-behov på 7 000 kWh/år
Levetid	40 år	(Åsen 2015)
Investering/reinvestering i lønnsomhetsanalyse	År 0, År 40	

Solvarmeanlegg krever generelt sett ikke mye vedlikehold. Behovet for drift og vedlikehold vil variere noe avhengig av type og kvalitet på solvarmeanlegget (Andresen 2008). Årlige drift- og vedlikeholdskostnader er knyttet til strøm for å drive pumpen. ASV Solar anslår at kostnad for dette vil være rundt 100 kr i året (Åsen 2015). Drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumpen er satt til 0 kr/år, siden strømforbruk til pumpen til solfanger er innberegnet i estimatet for el-behovet til huset.

3.3.4 Vedovn med vannkappe

Det er ennå ikke valgt ovn til prosjektet i Kragerø. Dette vil blir gjort i sluttfasen av byggeprosessen, da tilbudet av slike ovner og priser kan endre seg. I denne oppgaven er det valgt vedovn Termorosella Pluss Petra DSA (Figur 19).



Figur 19. Vedovn med vannkappe. Modell Termorosella Pluss Petra DSA (ASV Solar 2015d).

Tabell 6. Inndata for vedovn med vannkappe.

	Verdi	Kilde/kommentar
Modell	Termorosella Pluss Petra DSA	
Varmeeffekt til vann	10,5 kW	(ASV Solar 2015d)
Varmeeffekt til luft	3,0 kW	Brukes ikke i denne oppgaven.
Virkningsgrad	81%	(ASV Solar 2015d)
Investeringskostnad vedovn (inkl.mva)	27 900 kr	(ASV Solar 2015d)
Investeringskostnad varmetank, annet utstyr + monteringskostnad	81 705 kr	Felles for solfanger og vedovn.
Subsidie fra Enova	6 975 kr	Vedlegg 5
Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader	0,88 kr/kWh	Kostnader for ved (Fossum 2014)
Levetid	40 år	(Åsen 2015)
Investering/reinvestering (solfanger)	År 0, År 40	

Totale kostnader for solfanger + vedovn med vannkappe + varmtvannstank + montering = 150 000 kr (Åsen 2015). Det er gjort en antagelse om at det investeres i varmetank og annet utstyr kun i år 0, på grunn av mangel på informasjon om hvor ofte dette må skiftes ut. Årlige driftskostnader for vedovnen beregnes ut fra kostnader for ved. Bruken av vedovnen er satt til 2 timer per dag for de månedene der varme fra solfangeranlegget ikke er nok.

Det er blitt informert om fra faginstanser at vedovnen ikke kan plasseres i huset på grunn av overoppheting. Den bør da plasseres i garasje eller liknende. En får dermed ikke utnyttet den varmeeffekten som går til luft.

3.3.5 Varmepumpe (luft-til-vann)

Varmepumpen skal levere ekstra varme de dagene solfanger og vedovn ikke kan levere tilstrekkelig varme. Den vil typisk brukes på vinteren, i månedene november til februar.

Det er foreløpig ikke valgt varmepumpe til prosjektet i Kragerø. I denne oppgaven brukes luft-til-vann varmepumpen Thermia Atec 6 kW varmepumpe med innendørsenhet av typen PLUS (Figur 20).



Figur 20. Illustrasjonsbilde av Thermia Atec varmepumpe (utedel til venstre, innedel til høyre) (Oslo Vann & Varme AS 2015b).

Tabell 7. Inndata for luft-til-vann varmepumpe.

	Verdi	Kilde/kommentar
Modell	Thermia Atec (luft-til-vann)	
Investeringskostnad	87 598 kr	Innedel: 28 199 kr (Oslo Vann & Varme AS 2015a) Utedel: 59 399 kr (Oslo Vann & Varme AS 2015b)
Subsidie fra Enova	10 000 kr	Vedlegg 5
Årlige drifts- og vedlikeholdskostnader	0 kr	Allerede inkludert i el-behov på 7 000 kWh/år
Levetid	20 år	(ThermiaVarmepumper 2015)
Investering/reinvestering	År 0, År 20, År 40	

Drifts- og vedlikeholdskostnader for varmepumpen settes til 0 kr/år, siden strømforbruk til varmepumpe er innberegnet i estimatet for el-behovet til huset.

3.4 Differansekostnadskalkyle for takdekke og oppvarmingssystem

Ettersom solcellepanelet fungerer som takstein vil prisen for tradisjonell takstein kunne trekkes fra for å beregne merkostnaden. Et tradisjonelt hus vil ha behov for et oppvarmingssystem, og oppvarmingssystem basert på elektrisitet har tradisjonelt vært vanlig i Norge. Merkostnaden for oppvarmingssystem for plusshuset er beregnet ved å ta kostnaden for vannbårent oppvarmingssystem og trekke fra kostnaden ved et elektrisk oppvarmingssystem.

3.4.1 Takdekke

Solcellepanelet som benyttes er et bygningsintegrert photovoltaisk (BIPV) system, det vil si at det utgjør en funksjon ved bygget som en ellers ville måtte bekoste. I dette tilfellet fungerer solcellepanelet som takstein. I oppgaven er det gjort en antagelse om at kostnad for takstein ville vært 157 000 kr (Vedlegg 6).

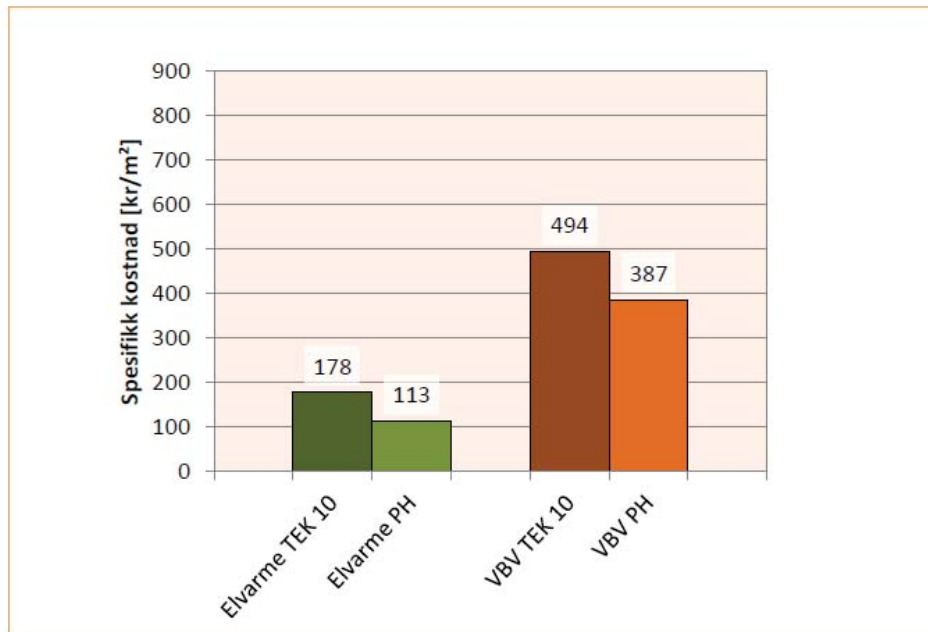
Merkostnad takdekke: 640 000 kr - 157 000 kr = 483 000 kr.

3.4.2 Oppvarmingssystem

Ettersom denne oppgaven tar sikte på å undersøke lønnsomheten av merkostnaden ved å velge dette energisystemet fremfor et mer tradisjonelt valg, anses det fornuftig å trekke fra den kostnaden som uansett ville måtte gå med på å bekoste et oppvarmingssystem.

I denne oppgaven er det valgt å se på elektrisk oppvarming som alternativet, siden passivhus har et lavt energibehov til oppvarming og installering av vannbårent varmeanlegg er kostbart. Merkostnaden for oppvarmingssystemet blir dermed kostnad for vannbårent oppvarmingssystem minus kostnad for elektrisk oppvarmingssystem.

Kostnaden per m² BRA for de ulike oppvarmingssystemene er hentet fra Figur 21.



Figur 21. Kostnader for oppvarmingssystem enebolig. Elektrisk varmeanlegg og vannbåren varme (VBV) for TEK10 og passivhus (PH) (Enova & COWI 2012).

For plusshuset i oppgaven blir total kostnad for et oppvarmingssystem følgende:

- 1) Elektrisk oppvarming: $113 \text{ kr/m}^2 * 200 \text{ m}^2 = \underline{22\,600 \text{ kr}}$
- 2) Vannbåren varme: $387 \text{ kr/m}^2 * 200 \text{ m}^2 = \underline{77\,400 \text{ kr}}$

Merkostnad oppvarmingssystem: $77\,400 \text{ kr} - 22\,600 \text{ kr} = 54\,800 \text{ kr}$.

3.5 Økonomiske støtteordninger

Anlegget får økonomisk støtte fra Enova. Størrelsen på Enova-støtten er nevnt under de ulike energiteknologiene i kapittel 3.3, og en oppsummering av subsidiene for år 0 følger i Tabell 8. En mer detaljert beskrivelse av vilkår og beregning av subsidie finnes i vedlegg 5.

Tabell 8. Oppsummering av subsidie fra Enova for år 0.

Teknologi	Subsidie fra Enova
Solcellepanel og vindturbin	28 750 kr
Solfanger	14 351 kr
Vedovn med vannkappe	6 975 kr
Varmepumpe luft-til vann	10 000 kr
Totalt	60 076 kr

Anlegget blir for lite til at det vil være hensiktsmessig å søke om elsertifikater, fordi inngangsbilletten for å få nytte av ordningen på 15 000 kr er for høy til at ordningen gir lønnsomhet (Lie 2015).

3.6 Plusskundeordning

Anlegget i CASE i denne oppgaven omfattes av NVEs plusskundeordning (Lie 2015). Det er tatt utgangspunkt i plusskundeordningen til Hafslund Nett. I de periodene der huset produserer mer elektrisitet enn det som trengs til eget forbruk, mates overskuddselektrisiteten ut på distribusjonsnettet og det er antatt at strømmen kjøpes av Hafslund Nett. Tariffer som er brukt i analysene er presentert i kapittel 4.1.3. Kostnad for bytte til AMS-måler dekkes av nettselskapet, og vil derfor ikke tas med i lønnsomhetsberegningene i oppgaven.

4 Datagrunnlag og metode

4.1 Datagrunnlag

4.1.1 Soldata

Det har ikke lyktes å finne solinnstrålingsdata fra Meteorologisk institutt for den geografiske plasseringen av plusshuset i denne oppgaven. Solinnstrålingsdata er fra det meteorologiske feltet ved NMBU (Thue-Hansen & Grimenes 2004-2014). Koordinater for målehytte er: N 59° 39' 37", Ø 10 ° 46' 54", 93.3 moh. I simuleringen er det brukt sum av globale solinnstrålingsdata per måned. I NMBUs datagrunnlag er solinnstrålingen oppgitt i MJ/m², men ved bruk i oppgaven er dette omgjort til kWh/m². Datagrunnlaget er fra perioden 2004-2014, så for hver måned er det 11 alternative verdier for solinnstråling.

4.1.2 Vinddata

Vinddata er fra Jomfruland målestasjon i Kragerø, og data er hentet fra Meteorologisk institutt sin nettside eklime (Norsk Meteorologisk Institutt 2015). I oppgaven er det brukt gjennomsnittlig vindhastighet per måned i m/s. Datagrunnlaget er fra perioden 2004-2014, og det finnes følgelig 11 observasjoner for gjennomsnittlig vindhastighet per måned.

4.1.3 Elpris

Kraftprisene (elspotprisen) er hentet fra Nord Pool Spot og for prisområde Oslo (Nord Pool Spot 2015a). Det er brukt gjennomsnittlig kraftpris per måned, og pris er omgjort fra kr/MWh til kr/kWh. Datagrunnlaget er fra 2004-2014, og det finnes da 11 alternative verdier for kraftpris per måned. Elspotprisene er justert for inflasjon (SSB 2015), der 2014 er satt til basisår, slik at alle priser er 2014-priser.

Elprisen består i tillegg til kraftprisen også av nettleie. Oppgaven tar utgangspunkt i Hafslunds tariff for plusskunder (se Tabell 9). Nettleien holdes konstant og varierer ikke i simuleringene.

Tabell 9. Tariffer for plusskunder, Hafslund (inkl.mva).

	Forbruk	Produksjon
Fastledd	750 kr/år	
Energiledd (inkl.avgifter)	40,10 øre/kWh	Vinter: 5,70 øre/kWh Sommer: 3,25 øre/kWh
Kraftpris	Nord Pools områdepris	Nord Pools områdepris

Nettleie for forbruk er det samme som for Hafslund sine strømkunder (Hafslund Nett 2015b). Kraftpris for forbruk betales til strømlleverandør. For den strømmen plusskunden leverer til nettet (produksjon) betaler Hafslund kunden etter den gjeldende områdeprisen på Nord Pool Spot time for time (Hafslund Nett 2015a). Plusskunden blir også kompensert ved et energiledd for marginaltap i nettet, altså at ved å produsere elektrisitet i områder der den forbrukes sparer det nettselskapet for energitap ved langdistanseoverføring av elektrisitet. Det er ulik tariff for sommer og vinter (se Tabell 9). Vintermåneder er november til mars, mens sommermåneder er fra april til oktober. Fastleddet er ikke inkludert i analysen ettersom dette er en kostnad en strømkunde uansett må dekke for å få strøm fra nettselskapet.

Besparelse ved at plusskunder slipper å kjøpe elektrisitet fra nettet for å dekke eget energibehov, varierer med elspotpris. Overskuddselektrisiteten selges til nettet, og årlig inntekt varierer også med elspotpris.

4.2 Energisystemanalyse

For det termiske- og det elektriske energisystemet er det satt opp balanser med oversikt over energibruk og -produksjon per måned.

- 1) For hver måned i året skal termiske teknologier dekke husets termiske energibehov
- 2) For hver måned i året skal elektriske teknologier + eventuell ekstra elektrisitet fra nett dekke husets el-spesifikke energibehov. Eventuelt overskudd av elektrisitet beregnes.

Den månedlige energiproduksjonen fra de ulike teknologiene simuleres ved tilfeldig trekning av data for solinnstråling og vindhastighet. Beregning av energiproduksjon er gitt ved Formel 1 til 5. Resterende inputdata (Tabell 3-5) holdes konstant (se delkapittel 3.3).

4.2.1 Solcellepanel

Formel 1. Elektrisitetsproduksjon fra solcellepanel (Østbye 2014,s.30).

$$El_{PV} (kWh) = S * FT_{PV} * A_{PV} * \eta_{PV} * PR_{PV}$$

Forklaring til Formel 1:

S = Sum global horisontal solinnstråling per måned (kWh/m²)

FT_{PV} = Transposisjonsfaktor for solcellepanelet

A_{PV} = Areal solcellepanel (m²)

η_{PV} = Virkningsgrad solcellepanel

PR_{PV} = Ytelsesrate

Forklaring av transposisjonsfaktor, global horisontal solinnstråling og ytelsesrate: se kapittel

2.5.1.

4.2.2 Vindturbin

Formel 2. Elektrisitetsproduksjon fra vindturbin (NORWEA 2013,s.65).

$$El_{Vind} (kWh) = \left(\frac{1}{2} * \rho * A_{vind} * V^3 * \eta_{vind}\right) * t$$

Forklaring til Formel 2:

ρ = Lufttetthet (kg/m³)

A_{vind} = Rotorens sveipet areal (m²)

V = Vindhastighet (m/s)

η_{vind} = Virkningsgrad vindturbin

t = timer med produksjon per måned

4.2.3 Solfanger

Formel 3. Termisk energiproduksjon fra solfanger (SF).

$$Varmtvann_{SF} (kWh) = S * FT_{SF} * A_{SF} * \eta_{SF} * PR_{SF}$$

Det er gjort en antagelse om at energiproduksjon fra solfanger i Formel 3 følger samme formeloppsett som energiproduksjon fra solcellepanel (Formel 1).

4.2.4 Vedovn med vannkappe

For de månedene der solfangeren alene ikke dekker hele varmebehovet settes bruk av vedovn til 2 timer per dag.

Formel 4. Termisk energiproduksjon fra ovn med vannkappe.

$$\text{Varmtvann ovn (kWh)} = P * t$$

Forklaring til Formel 4:

P = Effekt som overføres til vann

t = Antall timer vedovnen er i bruk per måned

4.2.5 Varmepumpe luft-til-vann

For de måneder der solfanger og vedovn ikke dekker hele varmebehovet, dekkes resterende produksjon av termisk energi fra luft-til-vann varmepumpen, som gitt i Formel 5.

Formel 5. Termisk energiproduksjon fra luft-til-vann varmepumpe.

$$\text{Varmtvann varmepumpe (kWh)}$$

$$= \text{energibehov varmtvann} - \text{varmtvann SF} - \text{varmtvann ovn}$$

Totalt energibehov for varmtvann består av energibehov til oppvarming og tappevann, pluss ekstra varmtvannsbehov for å kompensere for varmetap fra gulvvarme og varmtvannstank.

4.3 Simulering av netto nåverdi

En nåverdiberegning gir svar på hvor mye fremtidige beløp er verdt i dag. Beløp som kommer på et tidspunkt frem i tid diskonteres (flyttes tilbake i tid) slik at man kan se hva verdien av de fremtidige beløpene vil være, uttrykt i dagens pengeverdi (se Formel 6).

Informasjon om nåverdien til et prosjekt kan brukes til å ta en avgjørelse om hvorvidt en investering er verdt å gjennomføre.

Formel 6. Formel nåverdi (Bøhren & Gjærum 2009).

$$\text{Netto nåverdi} = \sum_{t=0}^T \frac{X_t}{(1+r)^t}$$

Forklaring til Formel 6:

t = Tidspunkt (år)

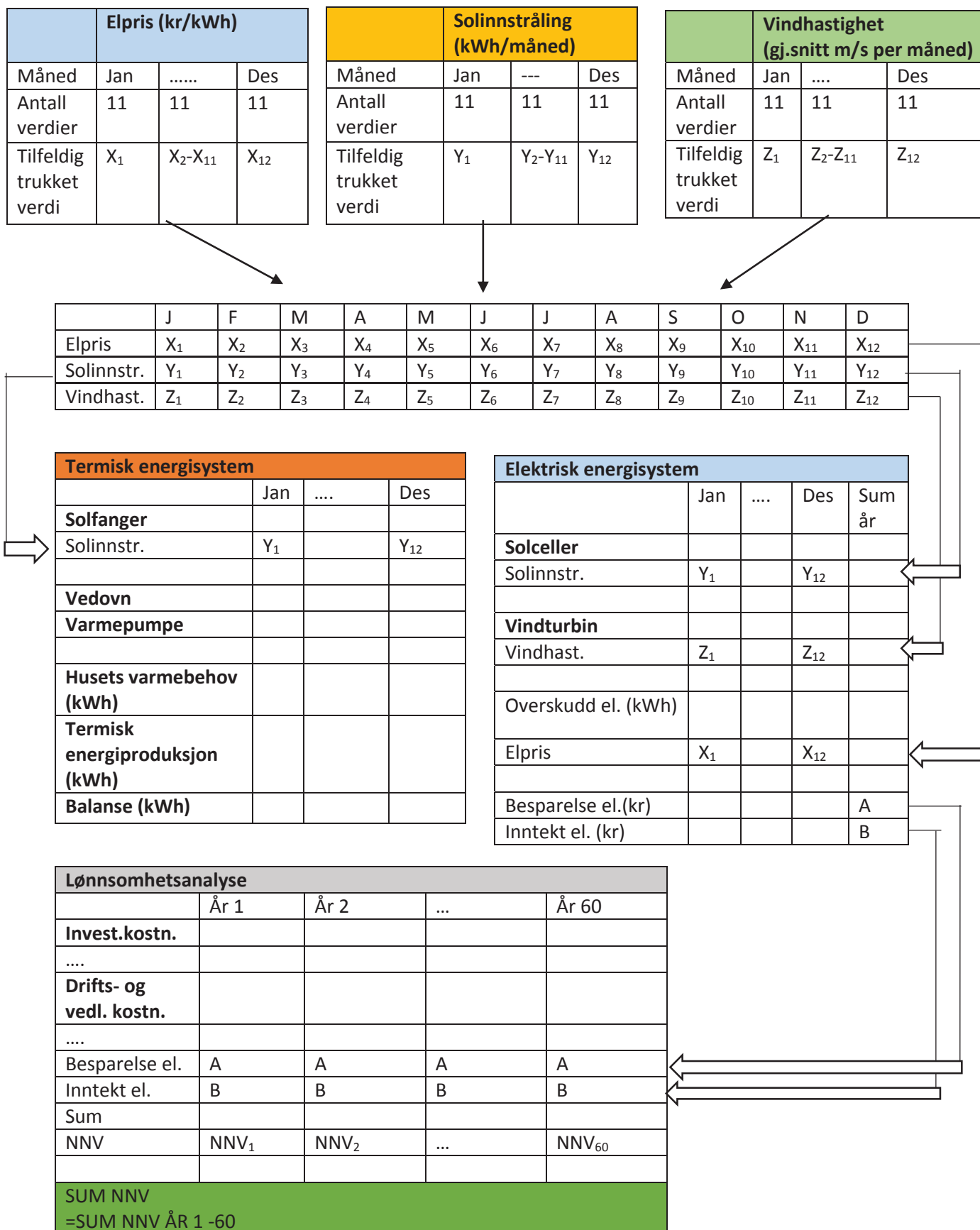
X_t = Kontantbidrag i år t

T = Varighet av prosjektet (år)

r = Kalkulasjonsrente

Et prosjekt med en positiv netto nåverdi regnes som fornuftig å gjennomføre. Ved beslutning mellom flere alternativer vil det alternativet med høyest netto nåverdi være det økonomisk beste valget. Et prosjekt med negativ netto nåverdi bør ikke gjennomføres, da pengene kan få bedre avkastning ved å plasseres i banken. Dersom andre grunner enn de rent økonomiske er sentrale for valg av gjennomføring av et prosjekt, kan disse tas hensyn til.

I Figur 22 gis det en oversikt over sammenhengen mellom variable inputdata, energisystemet og lønnsomhetsmodellen for simuleringen. Sum netto nåverdi er verdien som er interessant i hver simulering.



Figur 22. Illustrasjonsbilde for prosess for metode.

Opplysninger om investeringskostnader og subsidier for hver energiteknologi fra kapittel 3.3 er lagt inn som utbetalinger i kontantbidraget for år 0. Drifts- og vedlikeholdskostnader for energiteknologiene er lagt inn som årlige utbetalinger.

Energiproduksjon fra solcellepanelet og solfangeren avhenger av tilfeldige trukkede verdier for solinnstråling, mens energiproduksjon fra vindturbinen avhenger av tilfeldige trukkede verdier for vindhastighet. Elektrisitet fra solcellepanel og vindturbin skal dekke husets el-behov, med noe import fra strømmettet dersom det er nødvendig. Eventuell overskuddselektrisitet beregnes, og årlig innbetaling fra salg av denne elektrisiteten blir lagt til kontantstrømmen. Verdien av å bruke egenprodusert strøm til å dekke eget strømbehov beregnes. Denne besparelsen, ved å slippe å kjøpe strøm for å dekke termisk- og elektrisk energibehov, blir også lagt til kontantstrømmen. Et illustrasjonsbilde av deler av oppsettet for lønnsomhetsmodellen i Excel er vist i Figur 23.

Ettersom oppgaven ser på merkostnaden ved investering i energiteknologier knyttet til et plusshus, er relevante kostnader for et tradisjonelt hus trukket fra. For beskrivelse av dette og tilhørende beløp, se kapittel 3.4.

	Rente		0.03			
	Invest.kost. solcelle		4000 kr/m2			
År	0	1	2	3	4	5
Investering						
Investering vindturbin	-300000					
Investering solcellepanel	-640000					
Sparte kostnader takdekke	157000					
Subsidie elproduksjon	28750					
Investering solfanger	-37403					
Subsidie solfanger	14351					
Varmetank + system + montering	-81705					
Investering vedovn med vannkappe	-27900					
Subsidie bioovn	6975					
Investering varmepumpe	-87598					
Subsidie varmepumpe	10000					
Vannbårent varmesystem	-77400					
Kostnad oppvarmingssystem el	22600					
Drift og vedlikehold						
Vindturbin	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500	-2500
Solcellepanel	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200	-3200
Solfanger	0	0	0	0	0	0
Vedovn med vannkappe	-3445.037	-3445.03704	-3445.03704	-3445.03704	-3445.03704	-3445.03704
Varmepumpe	0	0	0	0	0	0
Inntekt/besparelse						
Besparelse: kjøp av el til termisk	5894.308668	5894.30867	5894.30867	5894.30867	5894.30867	5894.30867
Besparelse: kjøp av el til elspesifikt	5322.854509	5322.85451	5322.85451	5322.85451	5322.85451	5322.85451
Salg av overskudds-el	4067.642782	4067.64278	4067.64278	4067.64278	4067.64278	4067.64278
Kontantbidrag	-1006190.231	6139.76892	6139.76892	6139.76892	6139.76892	6139.76892
Kapitalkostnad (rente)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Netto nåverdi	-1006190.231	5960.9407	5787.32107	5618.75832	5455.10516	5296.21861
	sum NNV					
	-1527032.22					

Figur 23. Illustrasjonsbilde av deler av oppsett i lønnsomhetsmodellen. Tilfeldig bilde fra en simulering.

Simuleringene av netto nåverdier er gjort ved at det trekkes tilfeldige verdier for solinnstråling (kWh/m^2), gjennomsnittlig vindhastighet (m/s) og elspotpris (kr/kWh) for hver måned fra de 11 mulige verdiene. Resterende inputdata knyttet til energiteknologier og nettleietariffer holdes konstante. Variable verdier i lønnsomhetsanalysen er driftskostnader til vedovnen (avhengig av solinnstrålingen og hvor mye solfanger kan produsere), besparelse

ved at man slipper å kjøpe elektrisitet fra nettet for å dekke energibehov (avhengig av elspotpris) og salg av overskuddselektrisitet (avhengig av solinnstråling, vindhastighet og elspotpris).

Det ble utarbeidet en makro i Excel. Ved å benytte denne ble det gjort 1 000 simuleringer, som dermed ga 1 000 netto nåverdier. Koden for makroen kan finnes i vedlegg 7. Listen med de 1 000 verdiene ble sortert fra minst til størst. Deretter ble verdiene delt inn i intervaller på 10 000 kr. Det ble laget et histogram av resultatene, der det presenteres antall observasjoner i de ulike intervallene. Resultatet av simuleringen presenteres i kapittel 5.1.

4.4 Hva-hvis analyse

I hva-hvis analysen endres visse forutsetninger i energisystemet. Det er kun det nevnte tiltaket eller endringen som forandres. Alt annet i analysen holdes konstant. Dette er for å se effekten på nåverdien dersom det aktuelle tiltaket (endring i teknologi eller økonomiske forutsetninger) skulle inntreffe eller velges.

For sentrale endringer i energiproduksjonen er det fulgt med på om plussusdefinisjonen overholdes. Betingelser som må oppfylles for å tilfredsstille definisjonen av plussus er gitt i Figur 24.

- | |
|--|
| <ol style="list-style-type: none">1) Årlig energiproduksjon elektrisitet > årlig energibehov elektrisitet2) Overskudd fra elektrisitetsproduksjon over levetid (60 år) > energibehov til materialer, bygging og riving av huset |
|--|

Figur 24. Betingelser i definisjon av plussus.

Energiforbruk til materialer, bygging og rivning er kalkulert som 20% av det totale energiforbruket over levetiden. For å finne det totale energiforbruket over levetiden er energibruk i driftsfase over levetid dividert med 0,8, ettersom energibruk i driftsfasen utgjør 80 % av den totale energibruken over levetiden.

I hva-hvis analysen brukes det gjennomsnittsdata per måned av data fra 2004-2014 for solinnstrålingsdata, vindhastigheter og elspotpris. Verdien for disse tre faktorene holdes nå

konstant, til forskjell fra simuleringen der de varierte ved tilfeldig trekning. Dette fører også til at inputverdiene til lønnsomhetsanalysen som tidligere har variert (driftskostnad vedovn, besparelse av elektrisitet og inntekt ved salg av overskuddselektrisitet) nå vil holdes konstante. Informasjonen nevnt ovenfor om plussusdefinisjon og inndata gjelder også for følsomhetsanalysen.

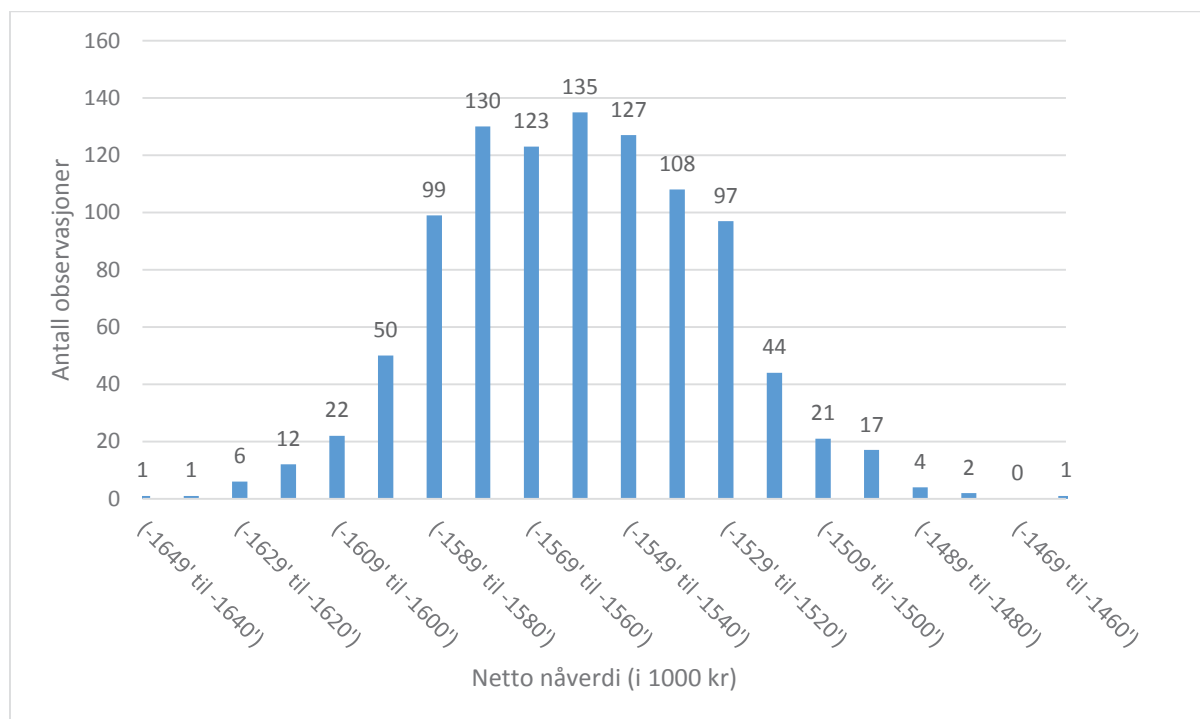
4.5 Følsomhetsanalyse

Formålet med følsomhetsanalysen er å kartlegge hvor følsomt prosjektet er for endringer i forutsetningene som ligger til grunn ved beregning av lønnsomhet. Fordelen med følsomhetsanalyse som metode er at man kan undersøke den marginale effekten på netto nåverdi ved å endre én variabel, mens resten av variablene holdes konstante. Ulemper med denne metoden er at den ikke sier noe om sannsynligheten for at denne endringen skal inntreffe, og det tas heller ikke hensyn til at variablene kan påvirke hverandre.

5 Resultater

5.1 Simulering av netto nåverdi

Nåverdisimuleringen gir nåverdifordelingen som vist under i Figur 25. Observasjonene er delt inn i intervaller på 10 000 kr.



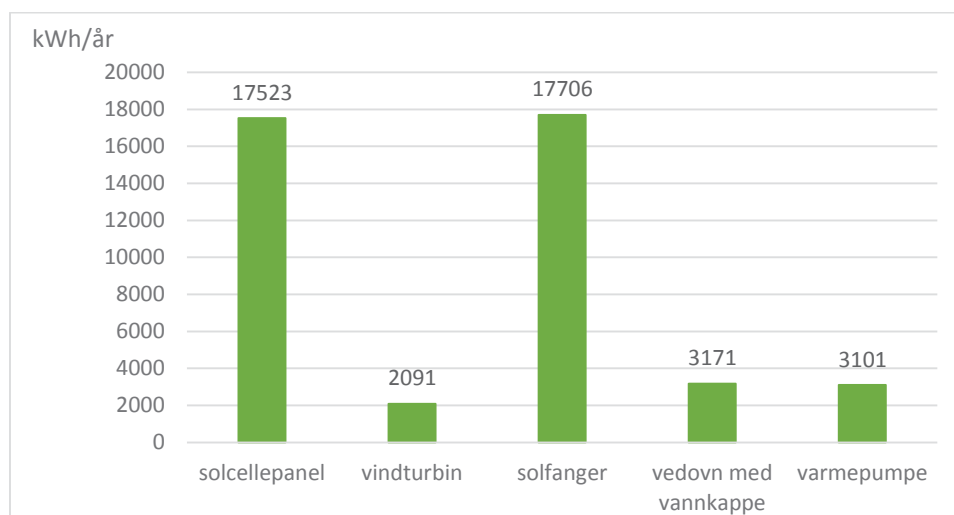
Figur 25. Nettonåverdifordeling av resultater fra simulering.

Nåverdifordelingen følger en tilnærmet normalfordelt kurve, noe som var å forvente med 1 000 simuleringer ut i fra sentralgrenseteoremet (beskrives nærmere i kapittel 6.1). Fordelingen har en gjennomsnittsverdi på rundt -1 555 000 kr og et standardavvik på rundt 27 000 kr.

5.2 Hva-hvis analyse

I hva-hvis analysen og følsomhetsanalysen brukes kun én inndataverdi per måned som holdes konstant, og den er gjennomsnittsverdien av data fra 2004-2014. Gjennomsnittlige månedlige verdier for solinnstråling, vindhastighet og elspotpris er vist i vedlegg 8.

Energiproduksjonen per år for energiteknologiene er vist i Figur 26. Denne energiproduksjonen gjelder for hva-hvis analyse og følsomhetsanalyse. Produksjon av elektrisitet fra vindturbin er betydelig mindre enn fra solcellepanelet.



Figur 26. Energiproduksjon per år for de ulike energiteknologiene.

Det virket hensiktsmessig å undersøke spesifikk investeringskostnad (målt i kr/kWh) for solcellepanelet og vindturbinen (Tabell 10 og 11).

Tabell 10. Spesifikk investeringskostnad for solcellepanel (kr/kWh).

Tekst	Utrekning	Verdi
El-produksjon over 25 år	17 523 kWh/år * 25 år	438 075 kWh
Spesifikk investeringskostnad	640 000 kr / 438 075 kWh	1,46 kr/kWh

Tabell 11. Spesifikk investeringskostnad for vindturbin (kr/kWh).

Tekst	Utrekning	Verdi
El-produksjon over 20 år	2091 kWh/år * 20 år	41 820 kWh
Spesifikk investeringskostnad	300 000 kr / 41 820 kWh	7,17 kr/kWh

Spesifikk investeringskostnad for vindturbinen er betydelig høyere enn for solcellepanelet. Dette førte til spørsmålet om hvordan lønnsomheten ville bli hvis vindturbinen ble fjernet fra energisystemet. Det er også gjort andre tiltak i denne hva-hvis analysen, og resultatene for lønnsomheten kan ses i Tabell 12. En mer detaljert beskrivelse av konkrete endringer i modellen for hver av tiltakene er presentert i vedlegg 9.

Tabell 12. Resultater fra hva- hvis analyse.

	Tiltak	Nåverdi	%-vis endring nåverdi	Plusshus-definisjon
0	-Opprinnelig energisystem-	-1 549 423 kr		
1	Ta bort vindturbin (tiltak 4) og vedovn (tiltak 9). Redusere solcellepanel med 20 % (ny verdi: 128 m ²)	-684 493 kr	55,8	OK
2	Ta bort vindturbin og redusere solcellepanel med 25% (ny verdi: 120 m ²)	-753 741 kr	51,4	OK
3	Ta bort solcellepanel	-869 515 kr	43,9	USANN over året, USANN over levetid
4	Ta bort vindturbin	-938 227 kr	39,4	OK
5	35 % subsidie på investeringskostnad el-produksjon	-1 033 962	33,3	OK
6	Redusere solcellepanel med 40% (ny verdi: 96 m ²)	-1 254 234 kr	19,1	OK
7	Levetid solcelleanlegg 40 år	-1 372 705 kr	11,4	OK
8	Betaling for levert strøm til nett = det samme som man betaler ved kjøp	-1 420 726 kr	8,3	OK
9	Ta bort vedovn. Varmepumpe kompensere.	-1 428 390 kr	7,8	OK

5.3 Følsomhetsanalyse

Tabell 13. Resultater fra følsomhetsanalyse.

Faktor	Endring	Nåverdi	%-vis endring nåverdi	Plussus-definisjon
-Opprinnelig energisystem-	0	-1 549 423		
Solinnstråling (kWh/m ² /måned)	+10%	-1 533 122	1,1	OK
Solinnstråling (kWh/m ² /måned)	-10 %	-1 584 891	-2,3	OK
Vindhastighet (m/s per måned)	+10 %	-1 540 336	0,6	OK
Vindhastighet (m/s per måned)	-10 %	-1 557 015	-0,5	OK
Elspotpris (kr/kWh per måned)	+10 %	-1 526 828	1,5	OK
Elspotpris (kr/kWh per måned)	-10 %	-1 572 019	-1,5	OK
Rente	+10 %	-1 500 505	3,2	OK
Rente	-10%	-1 603 767	-3,5	OK
Subsidie el-produksjon	+10%	-1 543 229	0,4	OK
Subsidie el-produksjon	-10%	-1 555 618	-0,4	OK
Virkningsgrad solcellepanel	+10 %	-1 533 122	1,1	OK
Virkningsgrad solcellepanel	-10%	-1 565 986	-1,1	OK
Virkningsgrad vindturbin	+10 %	-1 546 678	0,2	OK
Virkningsgrad vindturbin	-10%	-1 552 169	-0,2	OK
Investeringskostnad solcellepanel	+10%	-1 667 143	-7,6	OK
Investeringskostnad solcellepanel	-10%	-1 431 704	7,6	OK
Investeringskostnad vindturbin	+10%	-1 605 230	-3,6	OK
Investeringskostnad vindturbin	-10%	-1 493 616	3,6	OK

6 Diskusjon

Zero sin rapport om plusshus (Nordby 2009) kom frem til at det er det teknisk mulig å bygge plusshus i Norge. Det ble sagt at «Ved kombinasjon av svært energieffektive bygg, solfangere og varmepumper til oppvarming, samt små vindturbiner og solcellepaneler til elektrisitetsgenerering vil det være fullt mulig å bygge plusshus de fleste steder langs kysten opp til et godt stykke inn i Nord-Norge» (Nordby 2009). For plusshuset som er studert i denne oppgaven, kan energiproduksjonen fra de forskjellige teknologiene i stor grad dekke energibehovet til huset gjennom året. Det er noe behov for strøm kjøpt fra nettet i vintermånedene. Likevel er elektrisitetsproduksjonen over året og over levetiden til huset så stor, at det vil bli produsert mer energi enn det husets har behov for. Huset oppfyller dermed definisjonen av et plusshus.

6.1 Simulering av netto nåverdi

Resultatene av simuleringene ga en normalfordelt kurve (Figur 25). Denne fordelingen oppsto som følge av sentralgrenseteoremet. Dette teoremet sier at dersom et stort antall uavhengige variable med konstante fordelinger summeres, så vil summene følge en normalfordeling. Dette vil skje selv om fordelingene av de enkelte variablene ikke er normalfordelte. I lønnsomhetsanalysen inngår variablene elspotpris, vindhastighet og solinnstråling for å beregne årlig inntekt og besparelse. Variablene er dermed inkludert i beregningen for sum av årlig inntekt og besparelse, som igjen utgjør et bidrag til den simulerte netto nåverdien. Simuleringene, som førte til 1 000 observasjoner, viser som forventet en tydelig normalfordelt kurve.

En vesentlig fordel med å simulere, er at vi kan bruke den resulterende normalfordelingen til å beregne sannsynligheter for netto nåverdi. Det er for eksempel 95 % sannsynlighet for at en tilfeldig verdi skal avvike mindre enn to standardavvik fra gjennomsnittet (Løvås 2013). Det ble for fordelingen funnet en gjennomsnittsverdi på rundt -1 555 000 kr og et standardavvik på rundt 27 000 kr. Det er dermed 95 % sannsynlighet for at et tilfeldig trukket resultat fra simuleringene ligger mellom -1 582 000 kr og -1 528 000 kr.

Fordelingen i Figur 25 viser at alle simuleringene ga negativ netto nåverdi. Med det energisystemet som er analysert, og de forutsetninger som er gjort, betyr dette at investering i et plusshus, der overskuddselektrisiteten selges til nettet, ikke er profitabelt.

Det kan imidlertid likevel være ønskelig å investere i plusshus, dersom man trekker inn ikke-prissatt nytte i analysen. Dette beskrives nærmere i kapittel 6.5.

6.2 Hva-hvis analyse

I hva-hvis analysen vises endringen i netto nåverdi som følge av ulike tiltak som endrer forutsetningene for analysen. Noen av tiltakene fører til at energisystemet endres, ved at teknologier faller bort eller reduseres. Det mest vellykkede tiltaket, som overholder plusshusdefinisjonen, er å ikke investere i hverken vindturbin eller vedovn og samtidig redusere arealet på solcellepanelet med 20 % (se Tabell 12). Dette tiltaket bedret netto nåverdi med 55,8 %, og ga da en netto nåverdi på -684 493 kr. Tiltakene der vindturbinen fjernes virker generelt positivt inn på lønnsomheten. Fjerning av vindturbinen og reduksjon av solcellepanelet med 25 % (tiltak 2) gir det en bedring av netto nåverdi med 51,4 %. Tiltaket der kun vindturbinen fjernes (tiltak 4) gir en bedring på 39,4 %. Netto nåverdiene etter innføring av tiltakene kan ses i Tabell 12.

Investeringskostnadene for solcellepanelet og vindturbinen er betydelige. For vindturbinen er investeringskostnaden omkring halvparten av kostnaden for solcellepanelet, men den produserer bare omkring 1/9 av den energien solcellepanelet produserer. Den spesifikke investeringskostnaden dermed langt høyere for vindturbinen enn for solcellepanelet (4,9 ganger høyere). Det virker dermed fornuftig å ikke investere i denne teknologien. Fordelen med vindturbinen er imidlertid at den produserer elektrisitet på vinteren, når elprisene er høyere. Ut fra resultatene, kan det virke som elprisene på vinteren ikke er høye nok til at investering i vindturbinen er gunstig.

Det ble også undersøkt hvordan reduksjon av arealet på solcellepanelet ville virke inn på energisystemet og lønnsomheten. Dersom solcellepanelet fjernes fra energisystemet (tiltak 3), vil nåverdien bedres med 43,9 %, og da er det kun vindturbinen som leverer elektrisitet til huset. Dette alternativet er derimot ikke aktuelt, fordi plusshusdefinisjonen ikke lenger overholdes. Ved å fjerne solcellepanelet, vil den resterende elektrisitetsproduksjonen ikke være tilstrekkelig til at det produseres mer enn det forbrukes over året eller over levetiden. Det ble undersøkt et tiltak der arealet på solcellepanelet reduseres med 40 % (tiltak 6). Da overholdes plusshusdefinisjonen, og nåverdien bedres med 19,1 %, sammenliknet med opprinnelig energisystem.

Subsidien, som tildeles fra Enova for støtte til investering i el-produksjonsanlegg, er svært lav i forhold til investeringskostnadene for slike teknologier. Samlet investeringskostnad for solcellepanel og vindturbin i år 0 er på 940 000 kr. Dette investeringsbeløpet utløser maksimal støtte fra Enova, som beløper seg til 28 750 kr (tilsvarer 3 % av investeringskostnad). Det ble studert et tiltak der investeringskostnad for solcellepanel og vindturbin ble subsidiert med 35 % (tiltak 5). Dette ga en bedring i nåverdien på 33,3 %, og ga en netto nåverdi på -1 033 962 kr. Det er verdt å merke seg at tiltakene med å fjerne vindturbinen (tiltak 1,2 og 4), ga en større forbedring på netto nåverdi enn det subsidien på 35 % gjorde. Dette illustrerer hvor viktig det er å optimalisere energisystemet når et bestemt energibehov skal dekkes.

Levetiden for solcellepanelet er i utgangspunktet satt til 25 år. I realiteten vil solcellepanel kunne vare i 40 år (Glöckner 2013). En endring av levetiden for solcellepanelet til 40 år (tiltak 7), ga en bedring i netto nåverdien på 11,4 %. Dersom levetiden for de andre teknologiene skulle vise seg å være lengre enn antatt, vil det også føre til bedre lønnsomhet. Mangel på informasjon om mulig lengre levetid for de andre teknologiene, førte til at endret levetid kun ble undersøkt for solcellepanelet.

En plusskunde får lite betalt for strømmen som blir solgt, i forhold til den strømmen det i perioder kan være behov for å kjøpe inn. Inntekt per kWh som selges bestemmes av elspotprisen, som tilsvare ca. 40 øre/kWh, mens kostnad for det som må kjøpes av strøm fra nettselskap er rundt 70 øre/kWh, på grunn av nettleien som kommer i tillegg. Det ble undersøkt en situasjon der plusskunden får det samme for den strømmen som selges til nettet, som for den strømmen som eventuelt må kjøpes (tiltak 8). Differansen mellom utbetalt pris og elspotpris kan for eksempel dekkes av myndighetene som en type subsidie per enhet fornybar energiproduksjon. Dette tiltaket ga en bedring av netto nåverdi på 8,3 %.

Det termisk energisystemet virker noe overdimensjonert i dette caset. For plusshuset som skal bygges i Kragerø er det gitt anbefalinger fra fagpersoner om at vedovnen med vannkappe bør stå i garasje eller uthus (Matzow 2015). Dersom den står inne i det godt isolerte passivhuset vil det føre til overoppheting. Det er derfor undersøkt hvordan netto nåverdi påvirkes dersom vedovnen fjernes og varmepumpen kompenserer for det vedovnen tidligere leverte (tiltak 9). Det er tatt hensyn til økt elektrisitetsbruk ved økt bruk av varmepumpe (se vedlegg 9). Dette tiltaket vil føre til en bedring av netto nåverdi på 7,8 %.

Det virker dermed fornuftig å basere det termiske energisystemet kun på solfanger og luft-til-vann varmepumpe. Den gode atmosfæren og hyggen som var tiltenkt ved å ha en vedovn i huset vil ikke kunne veie opp, ettersom vedovnen er nødt til å plasseres i et bygg utenom huset. Driftskostnad for varmepumpen (kjøpt strøm = ca. 0,7 kr/kWh) er rimeligere enn for vedovnen (ved = 0,88 kr/kWh). Det bidrar til at det er en fordel å satse på varmepumpen.

6.3 Følsomhetsanalyse

Av de faktorene som er studert i følsomhetsanalysen, er det endring i investeringskostnad for solcellepanel og vindturbin som gir størst endring i netto nåverdi. For solcellepanelet gir en endring på +/- 10 % i investeringskostnad en endring i nåverdi på +/- 7,6 %. I oppgaven ble det benyttet en investeringskostnad for solcellepanel på 640 000 kr for 160 m². I pilotprosjektet Multikomfort ble det benyttet et solcellepanel på 150 m² som kostet ca. 400 000 kr (NRK 2015). Det er dermed mulig å få solcellepanel som er billigere enn det som er brukt i denne oppgaven. En forventning om reduksjon i kostnader for solceller i årene fremover, vil forbedre lønnsomheten av en plussusinvestering. For vindturbinen gir en endring i investeringskostnader på +/- 10 % en endring i nåverdien på +/- 3,6 %. Investeringskostnad for vindturbinen er dermed ikke like utslagsgivende for endring i netto nåverdi som solcellepanelet. Dette har trolig bakgrunn i at beløpet for investeringskostnad for vindturbin er omtrent halvparten av beløpet til solcellepanelet.

Endring i kalkulasjonsrenten er en annen faktor av betydning. En økning av renten med 10 % (til en rente på 3,3 %) gir en positiv endring i nåverdien på 3,2 %, mens en reduksjon med 10 % (til en rente på 2,7 %) gir en reduksjon av nåverdien på 3,5 %. Dette kan forklares med at når renten øker, får årlige kontantbidrag i nær fremtid større betydning enn årlige kontantbidrag som kommer langt frem i tid. År 0 har en negativ nåverdi på rundt 1 million kroner. Reinvesteringer av vindturbinen (på 300 000kr) skjer i år 20 og 40 og reinvestering i solcellepanel (på 640 000 kr) i år 25 og 50. En høyere rente vil redusere reinvesteringenes påvirkningsevne på netto nåverdi, og vil derfor føre til at investeringen blir mindre ulønnsom i caset som er studert. I motsatt tilfelle vil en reduksjon i renten vil føre til at det som skjer lengre frem i tid får større betydning. Reinvesteringene få da større innvirkning på netto nåverdi, og det fører til at investeringen blir mer ulønnsom.

Den faktoren som i minst grad påvirker nåverdien er virkningsgrad for vindturbinen. En endring i virkningsgraden på +/- 10 % gir en endring i nåverdien på +/- 0,2 %. For områder med høyere vindhastigheter, og dermed høyere elektrisitetsproduksjon fra vindturbin, vil virkningsgraden kunne ha mer betydning.

6.4 Vurdering av energisystemet

Elektrisk energisystem

Det er høye investeringskostnader for solcellepanelet og vindturbinen. Støtten fra Enova til elektrisitetsproduksjon er meget lav i forhold til kostnadene, og subsidieordningen her er betraktelig dårligere enn det den er for termiske energiteknologier.

Vindturbinen er en spesielt kostbar investering, og hva-hvis analysen viste at det er fordelaktig å ikke investere i denne. Ettersom energiproduksjonen fra vindturbinen er lav sammenliknet med solcellepanelet, blir den spesifikke investeringskostnaden mye høyere. Det bør imidlertid nevnes at en fordel med vindturbinen er at den produserer mest elektrisitet på høst og vinter når strømprisen er høyere enn ellers i året. Strømprisen er likevel så lav at denne fordelene ikke kommer til sin rett, men dette vil kanskje endre seg dersom elprisene øker i fremtiden.

Solcellepanelet kommer bedre ut i analysene. Det er generelt mer fokus på økt bruk av solcellepanel i Norge enn bruk av vindturbiner til hjemmebruk, og det er mer kompetanse og støtteordninger knyttet til solenergiproduksjon. Ulempen med solcellepanelet er at elproduksjonen er høyest på sommeren når behovet for elektrisitet generelt er lavere og elprisen dermed også er lavere.

Elektrisitetsproduksjonen fra både vindturbinen og solcellepanelet er geografisk betinget. For områder med svært høye vindhastigheter, men med lave verdier for solinnstråling, vil produksjonen fra energiteknologiene være annerledes enn hva som er funnet i denne oppgaven. Dette er klimaforhold som er realiteten for ulike steder i Nord-Norge. For en slik geografisk beliggenhet kan det godt tenkes at det er mer fordelaktig å investere i vindturbinen enn i solcellepanelet.

En plusskunde kan selge strøm til nettet, men vil da få lite betalt for denne strømmen sammenliknet med hva det koster å kjøpe strøm. Alternativer til dette er at strømmen kan

lagres på elbil og batterier, og at elektrisiteten da kan brukes når egenproduksjonen er lav. Plusskunden reduserer da behovet for å kjøpe strøm fra nettet i disse periodene. Å kjøpe batterier for å lagre elektrisiteten kan bli svært kostbart. Det er sannsynligvis heller ikke særlig miljøvennlig, siden de er energikrevende å produsere.

I perioder med høy elektrisitetsproduksjon, kunne det vært gunstig for en plusshuseier å selge strømmen til naboer, for eksempel ved at de kan få lade sin elbil mot betaling. En slik ordning vil kreve at det finnes en konsesjonsordning for plusskunder for salg av overskuddselektrisitet til andre enn nettselskapet. Dette forslaget vil sannsynligvis møte motstand fra kraftselskapene, som da trolig vil oppleve en reduksjon i etterspørsel etter strøm fra sine kunder. Overskuddselektrisiteten kunne også vært overført til nærmeste naboer gjennom egne ledninger. En slik ordningen er trolig lite aktuell. Infrastruktur er kapitalkrevende, og det vil trolig også by på problemer med brannsikkerhet og andre praktiske hensyn. Nettselskapene vil sannsynligvis være svært negative til en slik ordning der et plusshus til tider leverer strøm til sine naboer. Dette vil redusere etterspørselen etter strøm levert fra distribusjonsnettet.

Termisk energisystem

Solfangeren har mange fordeler. Den har høy virkningsgrad, høy energiproduksjon gjennom året (rundt 18 000 kWh) og den har lave driftskostnader. Det er behov for varmt tappevann året rundt. Dersom varmelageret er fullt, og det ikke er behov for mer varmtvann, kan pumpen til solfangeren skrus av.

Det er gjort en antagelse om at formel for varmeproduksjon fra solfanger følger samme oppsett som formel for elektrisitetsproduksjon fra solcellepanel. Sent i prosessen med denne oppgaven, ble det funnet en korrekt formel for effekt levert fra solfanger.

Formel 7. Korrekt formel for effekt fra solfanger (ESTIF 2007).

$$P = A * (n_0 * G - a_1 * (T_m - T_a) - a_2 * (T_m - T_a)^2)$$

Forklaring til Formel 7:

n_0 = Null-taps virkningsgrad

a_1 = 1.ordens varmetapskoeffisient

a_2 = 2.ordens varmetapskoeffisient

G = Solinnstråling (W/m^2)

T_a = Lufttemperatur

T_m = Solfangerens gjennomsnittstemperatur

A = Solfangerens areal

Mangel på inndata til denne korrekte formelen gjorde at den først antatte formelen (Formel 3) ble beholdt.

Det termiske energisystemet virker overdimensjonert i forhold til behovet for varme til oppvarming og tappevann. Hva-hvis analysen ga en positiv endring i netto nåverdi ved fjerning av vedovnen. Fordelen med ovn med vannkappe er at den kan bidra til en hyggelig atmosfære dersom den kan plasseres innendørs. I konseptet som er undersøkt kan den ikke det på grunn av fare for overoppheting. Ovnene bruker ved som brensel, en ressurs det er rikelig av i Norge og som regnes som miljøvennlig og fornybar. Ut fra analysene som er gjort i denne oppgaven, anses det som fornuftig å ikke investere i en vedovn med vannkappe.

Luft-til-vann varmepumpen er en kostbar investering, men den byr på stor fleksibilitet siden den drives av elektrisitet og den har en høy virkningsgrad. Subsidien for Enova ble estimert til 10 000 kr, og utgjør da rundt 11 % av investeringskostnadene. For en varmepumpe som har energimåler for strøm og varme, økes subsidien fra Enova til 20 000 kr. I denne oppgaven ville det tilsvart rundt 23 % av investeringsbeløpet. Siden det ikke var tilgjengelig informasjon om hvorvidt varmepumpen var tiltenkt å ha slike målere, ble subsidien satt til 10 000 kr. En økning av subsidien ville hatt positiv innvirkning på lønnsomheten til prosjektet, men effekten av denne endringen er ikke undersøkt i følsomhetsanalysen. Det er imidlertid undersøkt effekten på netto nåverdi av endring i subsidie for teknologier til el-produksjon. En endring på +/-10 % i subsidie fører til en endring på +/- 0,4 % på netto nåverdi, og dette er blant faktorene med minst påvirkningsevne (se Tabell 13).

Data for varmetap fra vannbårent oppvarmingssystem er trolig beregnet for hus med høyere oppvarmingsbehov enn et passivhus. Dersom det eksisterer opplysninger om varmetap fra vannbårne gulvsystem for passivhus, vil det bedre datagrunnlaget i analysen.

Endringer som kunne vært gjort i energisystemet

Energisystemet i denne oppgaven kunne ha inkludert batteriteknologi for lagring av overskuddselektrisitet. Plussbuseier vil da kunne lagre strøm til vintermånedene, og redusere behov for innkjøp fra strømnettet når egen el-produksjon er lav.

Lønnsomheten ved valg av andre energiteknologier kunne vært studert. Eksempler på andre teknologier er bergvarmepumpe og luft-til-luft varmepumpe. Produkter fra ulike produsenter vil ha ulike driftstekniske ferdigheter og ulike kostnader. Det kunne vært interessant å se hvordan lønnsomheten ville blitt med teknologi fra andre produsenter eller med et annet energisystem.

Oppvarmingssystemet i huset kunne ha inkludert varmebidrag fra et ventilasjonssystem. Hus som er bygget etter passivhusstandard har som regel behov for et godt ventilasjonssystem, men dette er ikke inkludert i analysen på grunn av kompleksiteten av dette. Dette faller mer under byggeteknisk kompetanse enn kunnskap innen fornybar energiteknologi.

Varmetap fra varmtvannstanken vil i realiteten bidra til å redusere oppvarmingsbehovet i huset. Dette er det ikke blitt tatt hensyn til i analysen som er gjort, ettersom det er usikkerhet i hvordan denne varmen vil spres i huset, og at kunnskap om dette også er knyttet til byggeteknisk kompetanse. Overskuddsvarmen, som i stor grad samler seg i rommet der tanken står, kunne for eksempel vært brukt til å forvarme inntaksluft i ventilasjonsanlegget.

6.5 Vurdering av lønnsomhetsanalysen

Lønnsomhetsanalysen er basert på prissatt nytte i kroner. Den kunne vært utvidet til å inkludere ikke-prissatt nytte, det vil si faktorer som for eksempel verdsettelse av å bo i et miljøvennlig plussbushus. En kan til en viss grad vurdere menneskers verdsettelse av det å bo i et plussbushus eller energieffektivt hus ut fra hvor mye de er villig til å investere i et prosjekt som går i underskudd. De som velger et miljøvennlig og dyrere alternativ enn det som man normalt ville investert i, kan sies å være idealistiske. Det er vanskelig å overtale

allmennheten til å investere i plusshus eller energieffektive tiltak, med mindre det er lønnsomt eller har spesielle fortrinn i forhold til det som er gjeldende bygningsstandard.

Plusshuset i Kragerø er ennå ikke bygget. Det medfører at det i denne oppgaven er gjort enkelte antagelser og forutsetninger som ville vært unngått dersom mer data hadde foreligget. Kostnadstall ville vært mer nøyaktige og det ville vært mulig å bruke måledata for energiproduksjon og -forbruk fremfor en modellering som kan ha sine unøyaktigheter.

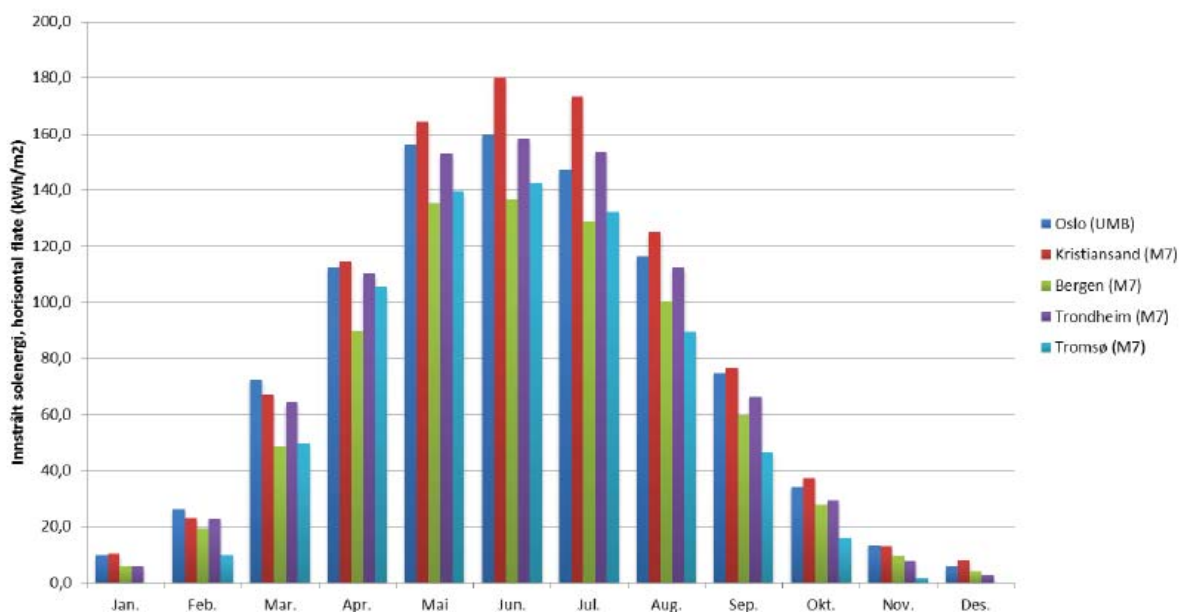
I lønnsomhetsanalysen er det kun inkludert subsidieordninger fra Enova for investering i energiteknologier. Det finnes flere typer støtteordninger som en plusshusbygger kan søke utover dette. Enova har blant annet en støtteordning for nybygg som har ambisjoner utover forskriftskrav. Kommunene har også ulike tilskuddsordninger for å fremme energieffektiviseringstiltak i bygg og bruk av fornybar energi. Et eksempel er Oslo kommune som subsidierer solvarmeanlegg opp til 50 % av investeringskostnadene (Energitilskudd.no 2012). Slike lokale støtteordninger varierer fra kommune til kommune. Husbanken tilbyr gunstige lånebetingelser til prosjekter der det oppføres miljøvennlige bygg som bygges etter bedre standard enn gjeldende bygningsforskrift.

6.6 Usikkerhet og tilpasninger knyttet til datagrunnlaget

I datagrunnlagene for solinnstråling fra Ås og vindhastigheter fra Kragerø er det for perioder med manglende observasjoner gjort tilpasninger. For solinnstrålingsdata manglet det informasjon om innstråling for 4 dager i august 2006. Disse dagene ble gitt en verdi basert på gjennomsnittet av de andre dagsmålingene fra august 2006. Deretter ble summen for solinnstråling for måneden beregnet. For vindhastighetsdata manglet det 7 observasjoner for gjennomsnittlig månedlig vindhastighet. Verdier ble her basert på gjennomsnittet av de andre målingene for samme måned.

Det er benyttet solinnstrålingsdata for Ås kommune, fra det meteorologiske feltet ved NMBU. Dette skyldes at det ikke var tilgjengelig solinnstrålingsdata for Kragerø i datasamlingen til Meteorologisk institutt, og at bruk av satellittdata ble vurdert som unøyaktig og ressurskrevende å anskaffe. Datagrunnlaget fra Ås ble vurdert til å være godt nok. Forskjellen i solinnstråling mellom Kragerø og Ås kan ha betydning for resultatene. Følsomhetsanalysen avdekket at en økning i solinnstråling ($\text{kWh/m}^2/\text{måned}$) på 10 % vil gi en økning i netto nåverdi på 1,1 %, mens en reduksjon på 10 % vil gi en reduksjon i netto

nåverdi på -2,3 %. Figur 27 viser blant annet solinnstrålingen for Oslo (ved målinger fra NMBU) og fra Kristiansand. Kragerø ligger omtrent midt mellom Oslo og Kristiansand. De fleste måneder er solinnstrålingen i Kristiansand og Oslo ganske lik. Unntaket er månedene juni og juli. Det er gjennom datasøk i denne oppgaven avdekket et behov for måling av solinnstrålingsdata for flere steder i Norge. De vil kunne bidra til en mer nøyaktig beregning av forventet energiproduksjon, for personer som vurderer å investere i teknologier basert på solenergi.



Figur 27. Innstrålt solenergi, horisontal flate (kWh/m²). Data fra Oslo er fra NMBU, resten er fra dataprogrammet Meeonorm 7.0 (Multiconsult 2013).

Ved beregning av energiproduksjon fra vindturbin, er det gjort en forenkling i forhold til hvordan man ideelt sett skal gå frem for å beregne dette. Vanlig prosedyre er å sette opp en Weibullfordeling for vindhastighetene på det aktuelle området over et år. Denne sannsynlighetsfordelingen multipliseres med produksjonskurven for vindturbinen og tidsperioden som undersøkes. Ettersom metoden for denne oppgaven baserer seg på trekning av reelle verdier, og denne prosedyren ble benyttet for data med elspotpris og solinnstråling, virket det hensiktsmessig å holde seg til dette også for vindhastigheter.

I analysen er det gjort en antagelse om at det blåser med gjennomsnittshastigheten for måneden i hver time av måneden. En mer nøyaktig analyse kunne vært gjort ved å bruke

gjennomsnittlig daglige vindhastigheter, beregnet energiproduksjonen per dag og deretter summert opp energiproduksjonen for måneden. Dette ble vurdert som mer arbeid enn den forbedringen det ville medføre, og ble dermed ikke gjennomført. For enda bedre nøyaktighet kunne energiproduksjonen blitt beregnet på timesbasis, dersom det forelå så nøyaktige målinger av vindhastigheten.

I formelen for effektproduksjon fra vindturbin (Formel 2) er vindhastighet opphøyd i tredje potens. Andre lokaliteter med høyere vindhastigheter vil kunne gi en betraktelig økning i energiproduksjonen. Ettersom vindhastigheten er opphøyd i tredje potens, vil en endring fra gjennomsnittlig vindhastighet fra 5 m/s til 7 m/s føre til en endring i dette leddet i formelen fra $125 \text{ m}^3/\text{s}^3$ til $343 \text{ m}^3/\text{s}^3$. Endringen vil føre til nesten en tredobling i energiproduksjonen, dersom alt annet i formelen er likt.

Produksjonskurven til vindturbinen fra leverandør oppgir en forventet årlig produksjon på 4 560 kWh ved vindhastighet på 5 m/s. I denne oppgaven ble årlig energiproduksjon beregnet til å være rundt 2 000 kWh. Data fra produsenten kan være bedre fremstilt enn det som er tilfelle, eller det kan hende at virkningsgraden som er brukt for vindturbinen i denne oppgaven (ca. 27 %) kan være for lav sammenliknet med hva som er realiteten. Det ble imidlertid avdekket i følsomhetsanalysen at endring i virkningsgraden for vindturbinen har liten påvirkning på netto nåverdi.

Ved trekning av vindhastighetsdata er det valgt å også benytte vindhastigheter på under 3,5 m/s, til tross for at dette er cut-in vindhastighet for vindturbinen. Dette er gjort av praktiske hensyn og at den trukkede verdien baserer seg på et gjennomsnitt for den aktuelle måneden. Det ble vurdert som mer ukorrekt å sette produksjon fra vindturbin lik 0 kWh for måneder med gjennomsnittshastighet under 3,5 m/s.

Energibehovet kan variere mye etter adferden til brukerne av bygget. Faktisk energiforbruk kan avvike fra målt energiforbruk, trolig være høyere. Dette er informasjon som man oppnår først etter at huset er tatt i bruk, og det var derfor ikke tilgjengelig for denne oppgaven. Det er også usikkerhet knyttet til kostnadstall. Et prosjekt som hadde vært fullført, og der regnskap var blitt ført, ville gitt mer korrekte kostnadsdata. Det er etter beste evne forsøkt å innhente så gode kostnadsdata som mulig, for å gi et bilde av omtrentlige verdier.

Tariffer for Hafslund Nett sin plusskundeordning er brukt i oppgaven, til tross for at huset som skal bygges ligger i konsesjonsområdet til Kragerø energi. Dette er gjort av praktiske hensyn, da Hafslund energi har mer erfaring med plusskunder og har tilgjengelig informasjon om ordningen på sine nettsider.

7 Konklusjon

Problemstillingene som har vært undersøkt er:

*For et definert energisystem, vil det være lønnsomt å investere i teknologier til et plusshus?
Hvordan virker ulike faktorer inn på lønnsomheten av en plusshusinvestering?*

Analysene som er utført undersøker lønnsomheten av investeringen, dersom overskuddselektrisitet selges til strømnettet. Lønnsomhetsanalysen, med simulering av netto nåverdi, har gitt en normalfordelt kurve for observasjonene. Alle simuleringene ga negative netto nåverdier, hvilket betyr at investeringen ikke er lønnsom. Simuleringene ga en gjennomsnittlig netto nåverdi på rundt -1 555 000 kr, med et standardavvik på rundt 27 000 kr.

Hva- hvis analysen har vist at de tre tiltakene der vindturbinen fjernes vil gi best lønnsomhet, av alle tiltakene som er studert. Det beste tiltaket som er undersøkt, er å fjerne vindturbinen og vedovnen samt å redusere arealet på solcellepanelet med 20 %. Dette gir en netto nåverdi på -684 493 kr, som gir en bedring av netto nåverdi på 55,8 %, sammenliknet med opprinnelig energisystem. Dette tyder på at det opprinnelige energisystemet er noe overdimensjonert, og optimalisering ved å redusere eller fjerne energiteknologier vil bedre lønnsomheten. Tiltaket med 35 % subsidie på investeringskostnader for teknologier til el-produksjon, ga en netto nåverdi på -1 033 962 kr, noe som ga en bedring i netto nåverdi på 33,3 %.

Følsomhetsanalysen har vist at, av de analyserte faktorene, så er det investeringskostnader for solcellepanel og vindturbin som har størst innvirkning på netto nåverdi. Kostnad for solcellepanel er beregnet til å være 640 000 kr, mens kostnad for vindturbinen er satt til 300 000 kr. I husets levetid på 60 år må det reinvesteres i solcellepanelet og vindturbinen to ganger, og kostnaden for disse teknologiene får dermed stor innvirkning på netto nåverdi. De høye investeringskostnadene vil være en barriere for mange i forhold til å investere i plussusteknologi. Det forventes at investeringskostnader for slike teknologier blir lavere, og ytelsen blir bedre, i årene som kommer. Endring i virkningsgrad for vindturbinen har minst betydning av faktorene som er studert. Det kan ha sammenheng med at vindturbinen leverer lite strøm til energisystemet i forhold til solcellepanelet. Netto nåverdien er mer følsom for endring i virkningsgrad for solcellepanelet enn for vindturbinen.

7.1 Forslag til videre forskning

Det er behov for gode solinnstrålingsdata for flere steder i Norge. Det bør oppføres flere målestasjoner rundt om i landet, ettersom satellittdata er unøyaktig. Det hadde vært en fordel om Meteorologisk institutt kunne offentliggjort disse solinnstrålingsdata på deres nettside klima, sammen med andre meteorologiske data.

Det er gjort mye forskning på selve bygningskroppen og det bygningstekniske i forhold til fremtidens bygg. Litteratursøket som ble gjennomført i forbindelse med denne masteroppgaven har avdekket at det er behov for flere undersøkelser av energisystemet knyttet til pluss hus. Ulike energisystemkonsepter bør undersøkes.

En samfunnsøkonomisk analyse av pluss hus ville vært interessant og vil avdekke hvorvidt investering i pluss hus er gunstig for samfunnet. Kostnad ved oppføring av nye kraftverk kan sammenliknes med kostnaden ved å produsere elektrisiteten lokalt med pluss hus. Det kan også undersøkes hvilken gevinst det har for samfunnet at det gis subsidier til pluss hus, og dette kunne sammenliknes med nytten av subsidier som går til el-biler.

En studie av verdsetting av opplevelsen av å bo i et pluss hus kunne bidratt til at lønnsomhetsanalyser av pluss hus kunne inkludert ikke-prissatt nytte. Huseiere er normalt privatpersoner, som ofte er mer opptatt av å maksimere nytte enn profit.

En økning av antall pluss hus vil på sikt kunne endre det nasjonale energisystemet slik vi ser det i dag. En studie av hvordan dette vil virke inn på energisystemet, for eksempel i forhold til nettselskapenes rolle, kunne vært interessant.

Energiproduksjon fra pluss hus reduserer behov for arealinngrep i natur for oppføring av kraftverk. Verdien av dette kan undersøkes.

En studie av holdninger til pluss hus i Norge vil kunne avdekke om det norske folk er positive eller negative til energiproduksjon i boligområder, der energien brukes.

8 Referanser

- Andresen, I. (2008). Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergi boliger og passivhus. En introduksjon., 22: SINTEF.
- Arnstad, E. (2009). *KRDs arbeidsgruppe for energieffektivisering av bygg*. Kommunal- og regionaldepartementet.
- Asplan Viak & Multiconsult. (2012). Solstrøm i Norge.
- ASV Solar. (2015a). *Bilder av solfanger*. Tilgjengelig fra: <http://www.asvsolar.no/> (lest 9.5.2015).
- ASV Solar. (2015b). *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra: <http://www.asvsolar.no/termisk-solenergi/klimautfordringer-asv-solar> (lest 20.4.2015).
- ASV Solar. (2015c). *Priser solfanger*. Tilgjengelig fra: <http://www.asvsolar.no/prosjektering/priser-solfangere> (lest 9.5.2015).
- ASV Solar. (2015d). *Vedovner med vannkappe*.
- Bakos, G. C. & Tsagas, N. F. (2003). Technoeconomic assessment of a hybrid solar/wind installation for electrical energy saving. *Energy and Buildings*, 35 (2): 139-145.
- Bernhardsen, T. & Kloster, A. (2010). Hva er nivået på den normale renten? *Aktuell kommentar*. Norges Bank.
- Brødrene Dahl. (2014). Energiregnestykke Multikomforthus Larvik.
- Brødrene Dahl & Optimera. (2015). *Et Multikomfort-hus i PLUSS*. Tilgjengelig fra: <http://www.multikomfort.no/prosjekthus/huset-i-larvik/> (lest 17.4.2015).
- Bøhren, Ø. & Gjærum, P. I. (2009). *Prosjektanalyse. Investering og finansiering.*: Fagbokforlaget. 530 s.
- Direktoratet for byggkvalitet. (2015). *Høringsnotat. 16.februar 2015. Nye energikrav til bygg*. Kommunal- og moderniseringsdepartementet.
- Dokka, T. H. & Andresen, I. (2012). Energieffektive boliger for fremtiden.
- Energitilskudd.no. (2012). *Skaff deg solvarmeanlegg som erstatter elektrisk oppvarming!* Tilgjengelig fra: http://energitilskudd.no/vis/53_skaff-deg-solvarmeanlegg-som-erstatter-elektrisk-oppvarming (lest 12.4.2015).
- Enova & COWI. (2012). Faktastudie- kostnader for elektrisk og vassboren oppvarming.
- Enova. (2014). *Dagens standard og fremtidens boliger*. Tilgjengelig fra: <http://www.enova.no/radgivning/privat/energismarte-rad-for-din-bolig/fremtidens-bolig/nullhus-pluss-hus-og-passivhus/dagens-standard-og-fremtidens-boliger/174/200/> (lest 29.10.2014).
- Enova. (2015). *Enovatilskuddet*. Tilgjengelig fra: <https://tilskudd.enova.no/> (lest 12.4.2015).
- ESTIF. (2007). *Objective methodology for simple calculation of the energy delivery of (small) Solar Thermal systems*: European Solar Thermal Industry Federation. 5 s.
- EU. (2009). *DIRECTIVE 2009/28/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC AND 2003/30/EC*.
- Forbrukerrådet. (2014). *Stor test av varmtvannsberedere*. Tilgjengelig fra: <http://www.forbrukerradet.no/annet/tester-og-kj%C3%B8petips/produkter/stor-test-av-varmtvannsberedere> (lest 19.4.2015).
- Fossum, H. K. (2014). *TEST: Den dyreste veden var full av mugg*. Tilgjengelig fra: <http://www.nrk.no/livsstil/stor-vedtest-1.11468476> (lest 9.4.2015).
- Glöckner, R. (2013). *Solstrøm- en vinner blant klimavinnerne*: Forskning.no. Tilgjengelig fra: <http://forskning.no/meninger/kronikk/2013/11/solstrom-en-vinner-blant-klimavinnere> (lest 13.5.2015).
- Hafslund Nett. (2015a). *Hva er en plusskunde?* Tilgjengelig fra: <https://www.hafslundnett.no/oss/sok/14398> (lest 22.4.2015).

Hafslund Nett. (2015b). *Nettleiepriser*. Tilgjengelig fra: <http://www.hafslundnett.no/avtaler/nettleiepriser/12283> (lest 22.4.2015).

Haga, A. (2011). *Hvorfor solvarme*. Tilgjengelig fra: <http://byggeplass.com/tag/solfanger/page/3/> (lest 2.5.2015).

Helset, B. (2015). *Telefonsamtale*: Wenas (09.04.2015).

IPCC. (2013). Technical summary. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*.

Kjeller Vindteknikk & NVE. (2009). *Vindkart for Norge*: Norges Vassdrags- og Energidirektorat.

KMD. (2010). *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*: Kommunal- og moderniseringsdepartementet.

Lavenergiprogrammet. (2013). *Prosjektering av passivhus*.

Leknesund, E. (2015). *Mail*: Hafslund Nett (22.4.2015- 4.5.2015).

Lie, Ø. (2015). Kraftverk for sol og vind på taket. *Teknisk Ukeblad*: s.10-11.

Løvås, G. G. (2013). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 3 utg.: Universitetsforlaget AS. 542 s.

Matzow, K. (2013a). *Plusskundeordningen*, 2015, 19.4.2015.

Matzow, K. (2013b). *Tips til mer miljøvennlig oppvarming*, 2015, 05.04.2013.

Matzow, K. (2015). *Telefonsamtale* (10.02.2015).

Montréal. (2015). *Takkalkulator*. Tilgjengelig fra: <http://www.monter.no/kalkulatorer/takkalkulator/> (lest 9.5.2015).

Multiconsult. (2013). *Kostnadsstudie, Solkraft i Norge 2013*.

Nord Pool Spot. (2015a). *Elspot prices*. Tilgjengelig fra: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/NO/Monthly/?view=table> (lest 17.2.2015).

Nord Pool Spot. (2015b). *Elspot prices. Årlig variasjon i elspotpriser for områder i Norge fra 2000-2014*. Tilgjengelig fra: <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/NO/Daily1/?view=chart> (lest 23.4.2015).

Nordby, K. (2009). *Plusshus: Zero*.

Norges byggforskningsinstitutt & Olje- og energidepartementet. (1991). *Varmeanlegg. Vannbåret golvvarme. (Byggforskerien. Byggetaljer. A 552.111)*. 8 s.

Norsk Meteorologisk Institutt. (2015). *Vær- og klimadata fra Norsk Meteorologisk Institutt fra historiske data til "real time" observasjoner*. Tilgjengelig fra: http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL (lest 20.4.2015).

NORWEA. (2013). *Vindkraftens ABC*. 69 s.

NRK. (2015). *Forbrukerinspektørene 21.01.2015*.

NVE. (2012). *Energibruksrapporten 2012*, 30: Norges Vassdrags- og Energidirektorat.

NVE. (2014). *AMS- Smarte strømmålere*: Norges Vassdrags- og Energidirektorat. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/kraftmarked/sluttbrukermarkedet/ams/> (lest 28.3.2015).

NVE, Enova, Innovasjon Norge & Norges Forskningsråd. (2015). *Globale solenergiressurser*. Tilgjengelig fra: <http://www.fornybar.no/solenergi/ressursgrunnlag/global-solenergiressurser> (lest 10.5.2015).

Oslo Vann & Varme AS. (2015a). *Thermia Atec STYRESKAP SP PLUS F/ATEC SP 6-13 230V*. Tilgjengelig fra: http://www.ovv.no/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=5826&virtuemart_category_id=676 (lest 21.4.2015).

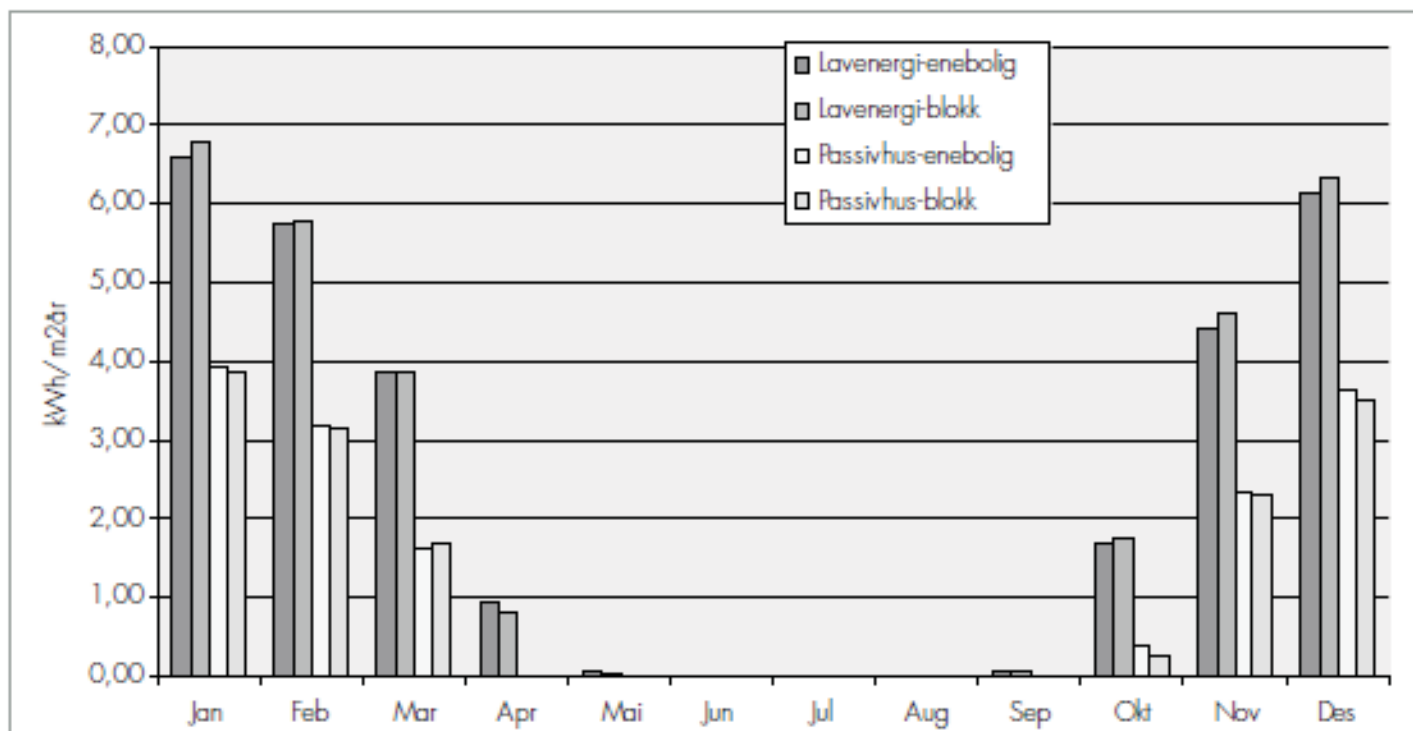
Oslo Vann & Varme AS. (2015b). *Thermia Atec Utedel 6SP 230V*. Tilgjengelig fra: http://www.ovv.no/index.php?option=com_virtuemart&view=productdetails&virtuemart_product_id=5823&virtuemart_category_id=676 (lest 21/4).

Powerhouse. (2014). *Åpnet verdens mest miljøvennlige kontorbygg*. Tilgjengelig fra: <http://www.powerhouse.no/aktuelt/apnet-verdens-mest-miljovennlige-kontorbygg/> (lest 22.4.2015).

PV Syst. (2015). *Transposition factor*. Tilgjengelig fra: http://files.pvsyst.com/help/transposition_factor.htm (lest 9.5.2015).

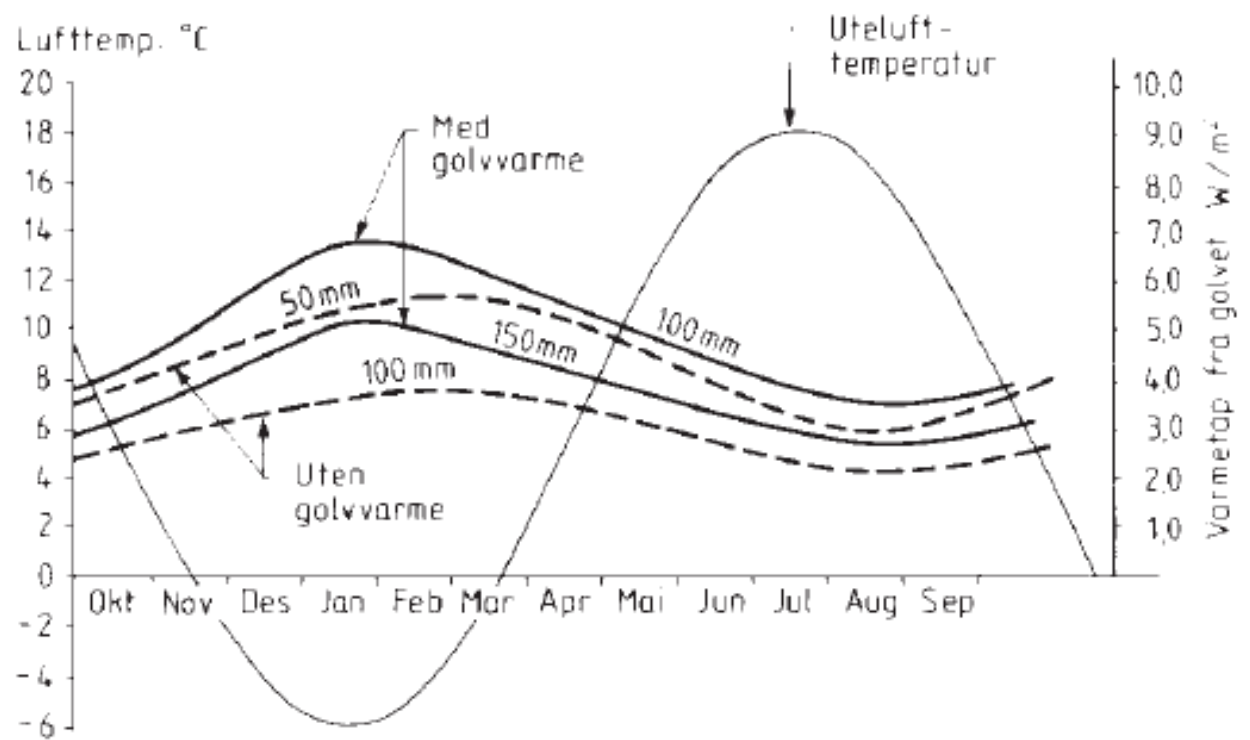
- SINTEF & KanEnergi. (2011). Mulighetsstudie solenergi i Norge.
- SMA Solar Technology AG. (2015). *Performance ratio. Quality factor for the PV plant*. Tilgjengelig fra: <http://files.sma.de/dl/7680/Perfratio-UEN100810.pdf> (lest 23.4.2015).
- Snøhetta. (2014). *Multikomfort*. Tilgjengelig fra: <http://www.multikomfort.no/media/1162/illustrasjon-multiutsnitt.png>.
- Sol og vind. (2015). *Visjon*. Tilgjengelig fra: <http://sologvind.no/om-sol-og-vind/visjon/> (lest 17.4.2015).
- Solaire Suisse. (2013). *Sunstyle*.
- SSB. (2013). *Fakta om energi. Utviklingen av energibruk i Norge.*: Statistisk Sentralbyrå.
- SSB. (2015). *Konsumprisindeks, historisk serie (1998=100)*: Statistisk Sentralbyrå. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/priser-og-prisindekser/statistikker/kpi/maaned/2015-03-10?fane=tabell&sort=nummer&tabell=220777> (lest 20.4.2015).
- ThermiaVarmepumper. (2015). *Fakta om Thermia Atec luft/vann varmepumpe*. Tilgjengelig fra: <http://www.cobuilder.com/coBuilderDocuments/getfile?&dokid=254317&code=MTC2NjM0JTJGMTI3MI9zJTNEMjg4MzcucGRm&ext=.pdf> (lest 21.4.2015).
- Thue-Hansen, V. & Grimenes, A. A. (2004-2014). *Meteorologiske data for Ås*. NORGES MILJØ OG BIOVITENSKAPELIGE UNIVERSITET.
- Urban Green Energy. (2015). *4kW Wind Turbine Specifications*.
- Wikipedia. (2015). *Skåtøy*. Tilgjengelig fra: <http://no.wikipedia.org/wiki/Sk%C3%A5t%C3%B8y> (lest 17.4.2015).
- Østbye, M. (2014). *Kostnadsevaluering av photovoltaiske-solceller integrert i fasade på Norske næringsbygg*: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for naturforvaltning. 49 s.
- Åsen, T. (2015). *Mail*: ASVSolar (11.03.2015-23.4.2015).

Vedlegg 1: Oppvarmingsbehov i passivhus og lavenergihus



Bildet er hentet fra (Dokka & Andresen 2012).

Vedlegg 2: Varmetap med og uten gulvvarme fra betonggulv på grunnen



Eksempel på varmetap med og uten gulvvarme fra betonggulv på grunnen med underliggende varmeisolasjon i forskjellige tykkelser.

Bilde er hentet fra (Norges byggforskningsinstitutt & Olje- og energidepartementet 1991)

Vedlegg 3: Datablad for vindturbin UGE 4K



Urban Green Energy

4kW Wind Turbine Specifications

Physical Information

Axis	Vertical
Height	4.40 meters
Width	3.00 meters
Weight	444 kg
Swept Area	12.54 m ²
Blade Materials	Carbon Fiber & Fiberglass

Performance

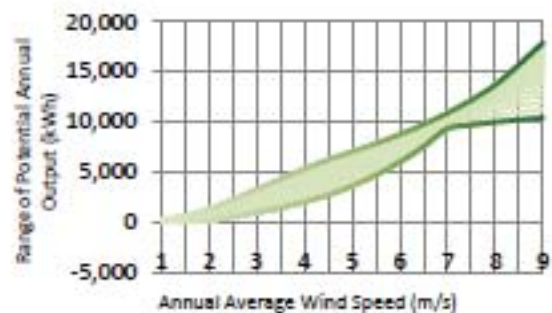
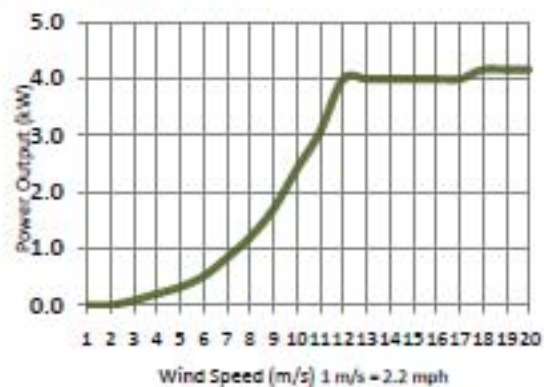
Rated Power	4000 W
Cut-in Wind Speed	3.5 m/s
Cut-out Wind Speed	30 m/s
Rated RPM	125 RPM
Survival Wind Speed	55 m/s
Rated Wind Speed	12 m/s
Annual Energy at 5 m/s	4560 kWh
Noise from IEC 61400-11 at 12 m/s	38 dB

Certifications

CE Certified	European Conformity
IEC-61400-2	Wind Turbine Safety
IEC-61400-11	Noise Level Certification
IEC-61400-12	Power Performance Certification
ISO-2631	Vibration Level Certification

Electric Generation

Generator Type	Three-Phase Permanent Magnet
Temperature	-40 C to 115 C (-40 F to 230 F)
Drive System	Direct Drive
Rated Output	
Off-Grid	48 Vdc
Grid-Tie	600 Vdc
Inverters and Controllers	Available for all locations and regulations



Kilde: (Urban Green Energy 2015)

Vedlegg 4: Beregning av virkningsgrad for vindturbin UGE 4K

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 * C_p$$

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} * \rho * A * V^3}$$

P = effekt (W)

$\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$

A = 13,8 m²

V = vindhastighet (m/s)

Avlesning av effektkurven ved ulike vindhastigheter:

- 1) V = 3 m/s
P = 0.05kW = 50W
Cp = 0.2237
- 2) V = 4 m/s
P = 0.15kW = 150W
Cp = 0.2831
- 3) V = 5 m/s
P = 0.3kW = 300W
Cp = 0.2899
- 4) V = 6 m/s
P = 0.5kW = 500W
Cp = 0.2795
- 5) V = 7 m/s
P = 0.8kW = 800W
Cp = 0.2816
- 6) V = 8 m/s
P = 1.2kW = 1200W
Cp = 0.2830

Gjennomsnittlig virkningsgrad: Cp = 0.2735

Vedlegg 5: Beregning av subsidier fra Enova

Tilskudd til elproduksjon.

Enova: «Du kan få tilbake 35% av dokumentert totalkostnad, inkludert merverdiavgift. Du har rett til å få tilbake maksimalt 10.000 kr for et produksjonsanlegg, pluss 1250 kr per kW installert effekt opp til 15 kW.»

Installert effekt solcelleanlegg: ca. 21,6 kW

Installert effekt vindturbin: ca. 4 kW

- **Investering solcellepanel og vindturbin år 0:**

Investeringskostnad: 300 000 kr + 640 000 kr = 940 000 kr

Potensiell subsidie: 940 000 kr * 0.35 = 329 000 kr

Faktisk subsidie (maks.grense): 10 000 kr

TOTAL STØTTE= 10 000 kr + (1250 kr/kW*15 kW) = 28 750 kr

- **Reinvestering solcellepanel:**

Investeringskostnad: 640 000 kr

Potensiell subsidie: 640 000 kr * 0.35 = 224 000 kr

Faktisk subsidie (maks.grense): 10 000 kr

TOTAL STØTTE= 10 000 kr + (1250 kr/kW*15 kW) = 28 750 kr

- **Reinvestering vindturbin:**

Investeringskostnad: 300 000 kr

Potensiell subsidie: 300 000 kr * 0.35 = 105 000 kr

Faktisk subsidie (maks.grense): 10 000 kr

TOTAL STØTTE= 10 000 kr + (1250 kr/kW*4 kW) = 15 000 kr

Tilskudd til solfanger (investering og reinvestering)

Enova: «Du kan få tilbake 25% av dokumentert totalkostnad. Dette er inkludert merverdiavgift. Du har rett til å få tilbake maksimalt 10.000 kr for et solfangeranlegg, pluss 200 kr per m² solfanger oppad begrenset til 25 m².»

Solfangeranlegg: 30 m²

Investeringskostnad: 37 403 kr

Potensiell subsidie: 37 403 kr * 0.25 = 9351 kr

Faktisk subsidie (maks.grense): 9351 kr

TOTALT STØTTE = 9351 kr + $(200\text{kr}/\text{m}^2 * 25\text{m}^2) = \underline{14\,351\text{ kr}}$

Tilskudd til bioovn (investering og reinvestering)

Enova: «Du kan få tilbake 25% av dokumentert totalkostnad, inkludert merverdiavgift. Du har rett til å få tilbake maksimalt 10.000 kr for en bio-ovn med vannkappe.»

Investeringskostnad: 27 900 kr

Potensiell subsidie: $27\,900\text{ kr} * 0.25 = 6975\text{ kr}$

TOTALT STØTTE = 6975 kr

Tilskudd til varmepumpe (investering og reinvestering)

Enova: «Du kan få tilbake 25% av dokumentert totalkostnad. Dette er inkludert merverdiavgift. Du har rett til å få tilbake maksimalt 10.000 kr for en luft-vann varmepumpe. Har varmepumpa energimåler for strøm og varme, økes maksimalt beløp til 20.000 kr.»

Investeringskostnad: 87 598 kr

Potensiell subsidie: $87\,598 * 0.25 = 21\,899,50\text{ kr}$

Faktisk subsidie (maks. grense): 10 000 kr

TOTALT STØTTE = 10 000 kr

(Har ikke kjennskap til om varmepumpen skal ha energimåler for strøm og varme. Har derfor ikke inkludert subsidie for dette.)

Vedlegg 6: Kostnad takdekke tradisjonelt hus med samme mål

Resultat

Du har valgt



Last ned PDF

Taktype:	Saltak
Takmål:	10x10 (inkl. utstikk 156 m ²)
Ark/Kvist:	Nei
Takbelegtype:	Tegl
Produkt:	KDN (Kullsort)
Takrenne:	Aluminium
Taksikring:	Ja
Takstige:	Ja

Pris eks. MVA: 126 000,-

MVA: 31 000,-

Pris inkl. MVA: 157 000,- *

* Frakt tilkommer.

Send oss dine valg og ditt Montér byggevarehus kontakter deg for videre oppfølging.

[Send til byggvarehus](#)

Trenger du finansiering?

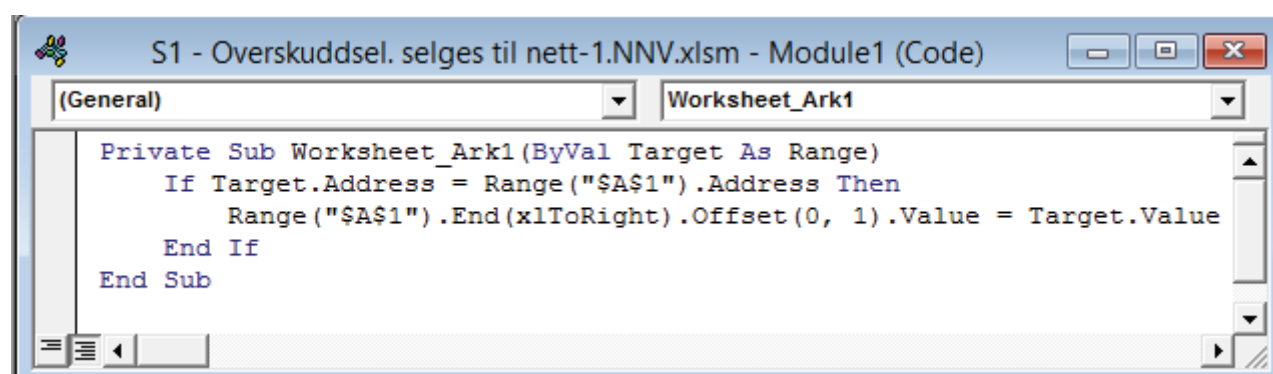
Du kan kjøpe det du trenger – når du trenger det. Du kan velge å utsette betalingen mot et utsettelsesgebyr eller dele opp betalingen i faste månedsbeløp. Montérkonto tilbys via Santander Consumer Bank og kredittvurdering gjøres umiddelbart ved søknad.

☒ Ingen ☐ 24 mnd ☐ 36 mnd ☐ 48 mnd

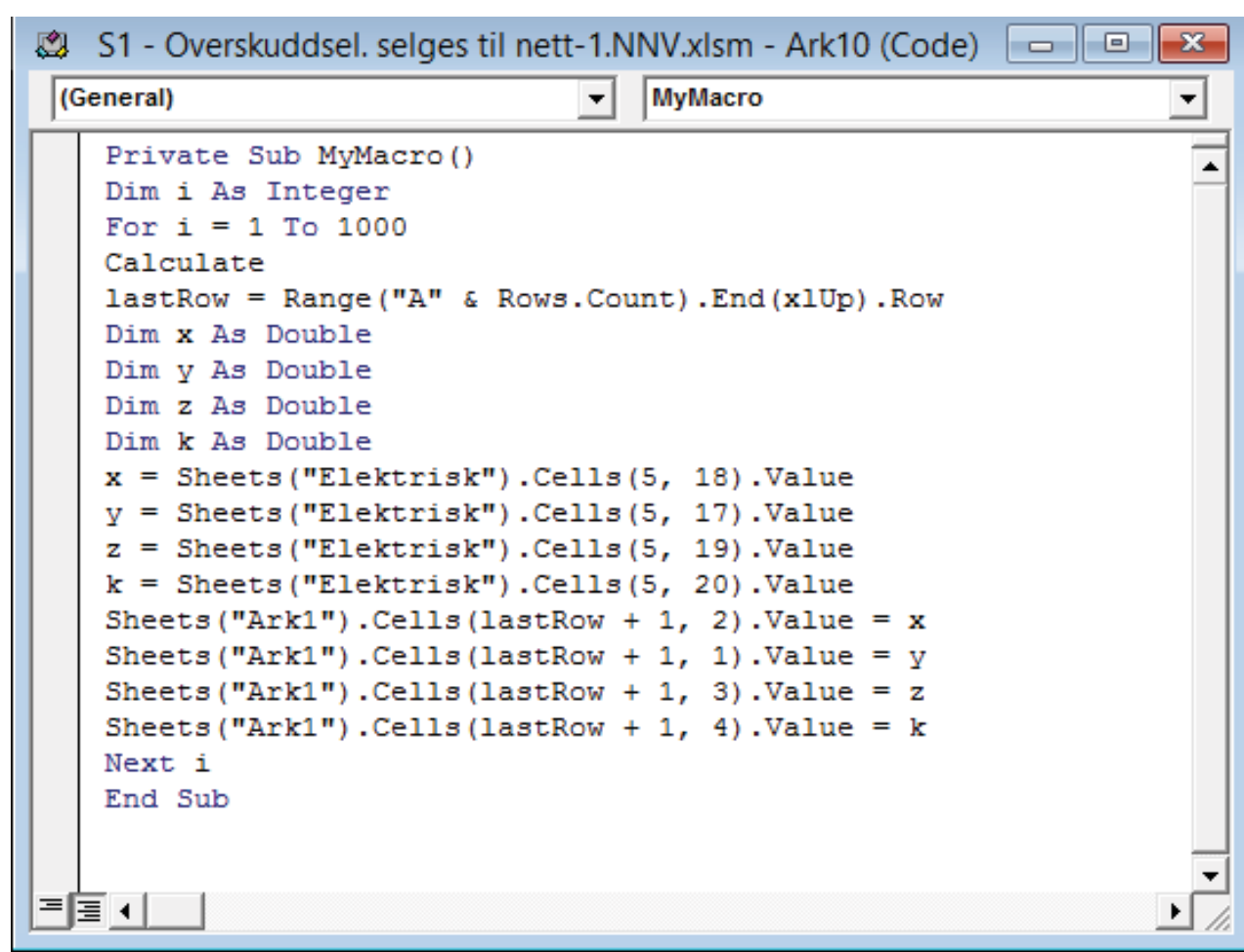
Kontakt oss

Kilde: (Montér 2015)

Vedlegg 7: Makro i Excel brukt til simuleringer



```
Private Sub Worksheet_Ark1(ByVal Target As Range)
    If Target.Address = Range("$A$1").Address Then
        Range("$A$1").End(xlToRight).Offset(0, 1).Value = Target.Value
    End If
End Sub
```

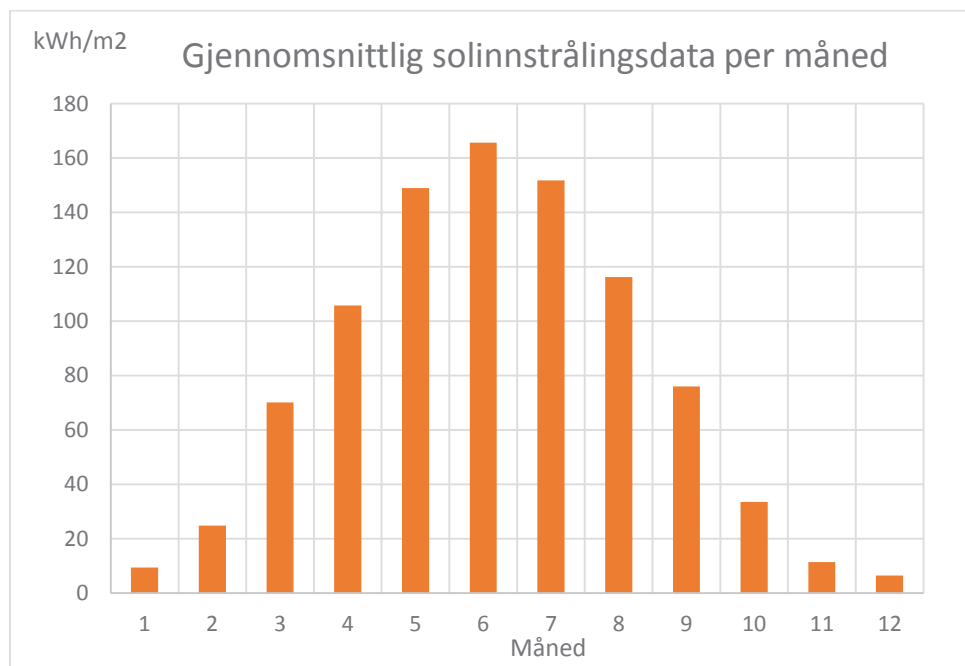


```
Private Sub MyMacro()
    Dim i As Integer
    For i = 1 To 1000
        Calculate
        lastRow = Range("A" & Rows.Count).End(xlUp).Row
        Dim x As Double
        Dim y As Double
        Dim z As Double
        Dim k As Double
        x = Sheets("Elektrisk").Cells(5, 18).Value
        y = Sheets("Elektrisk").Cells(5, 17).Value
        z = Sheets("Elektrisk").Cells(5, 19).Value
        k = Sheets("Elektrisk").Cells(5, 20).Value
        Sheets("Ark1").Cells(lastRow + 1, 2).Value = x
        Sheets("Ark1").Cells(lastRow + 1, 1).Value = y
        Sheets("Ark1").Cells(lastRow + 1, 3).Value = z
        Sheets("Ark1").Cells(lastRow + 1, 4).Value = k
    Next i
End Sub
```

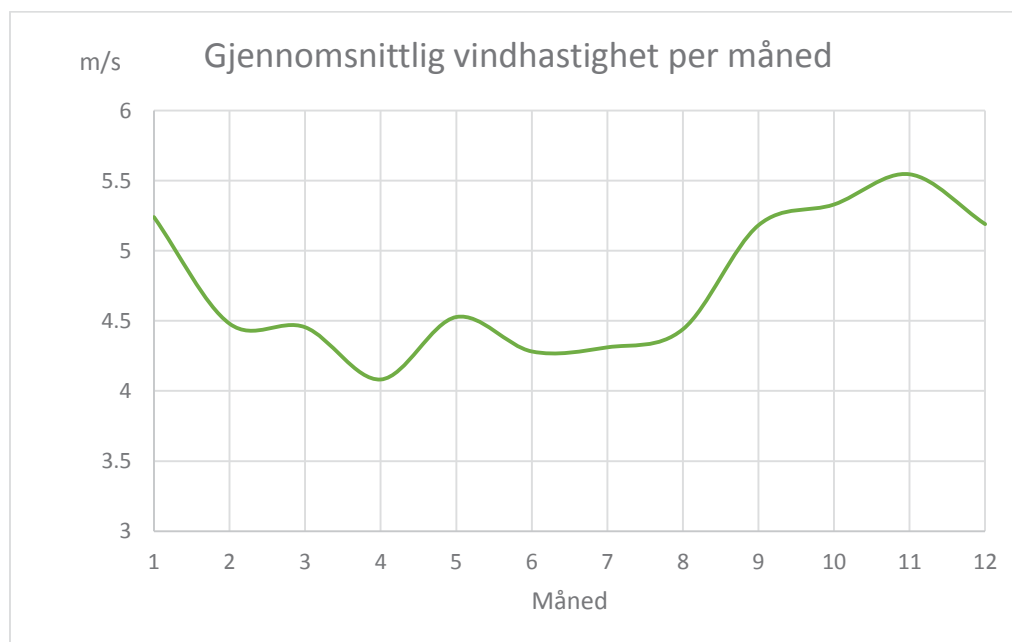
(Ark 10 har navnet «Ark1»)

Vedlegg 8: Månedlig fordeling av data for sol, vind og elspotpris

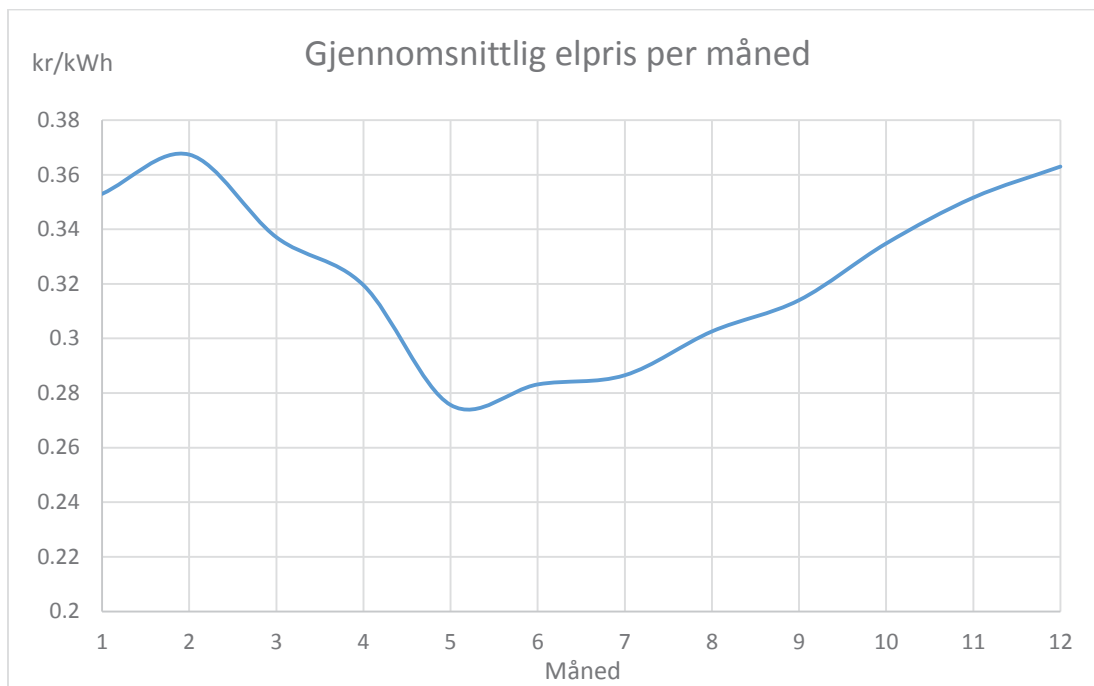
Elpris, soldata og vinddata fremstilles her konstant med gjennomsnittsverdier per måned.



Gj.snittlig månedlig solinnstrålingsdata (kWh/m²) for Ås. Målestasjon: NMBU.



Gj.snittlig månedlig vindhastighet (m/s). Målestasjon: Jomfruland, Kragerø. Meteorologisk institutt.



Gj.snittlig månedlig elpris (kr/kWh). Nord Pool Spot.

Vedlegg 9: Beskrivelse av endringer ved tiltak i hva-hvis analyse

Tiltak 1 – Fjerne vindturbin og vedovn. Reduserer solcellepanel med 20 % (til 128 m²)

- Samme endringer som gjort i tiltak 4 og 9.
- Areal solcellepanel redusert til 128 m².
- Redusere beløp for besparelse av takstein med 20 % (til 125 600 kr)
- Ingen endring i subsidie solcellepanel, ettersom endring av areal ikke vil utbetalingsbeløp.
- Drifts- og vedlikeholdskostnader er beregnet ut fra investeringskostnad, og oppdateres automatisk når areal på solcellepanel endres, og dermed investeringskostnad endres.

Tiltak 2 – Fjerne vindturbin OG redusere solcellepanel med 25 % (til 120 m²)

- Samme endringer som gjort i tiltak 4
- Areal solcellepanel redusert til 120 m²
- Redusere beløp for besparelse av takstein med 25% (til 117 750 kr).
- Ingen endring i subsidie solcellepanel, ettersom endring av areal ikke vil utbetalingsbeløp.
- Drifts- og vedlikeholdskostnader er beregnet ut fra investeringskostnad, og oppdateres automatisk når areal på solcellepanel endres, og dermed investeringskostnad endres.

Tiltak 3- Ta bort solcellepanel

- Areal solcellepanel redusert til 0 m².
- Fjerne beløp for besparelse av takstein.
- Subsidie for År 0 setter til 15 000 kr (pga. vindturbin). Subsidie for solcellepanel i År 25 og 50 fjernes.
- Fjerne reinvestering inverter = -2 900 i år 12,24,36 og 48.
- Drifts- og vedlikeholdskostnader er beregnet ut fra investeringskostnad, og oppdateres automatisk når areal på solcellepanel endres, og dermed investeringskostnad endres.

Tiltak 4- Fjerne vindturbin

- Ta bort investeringskostnader vindturbin = - 300 000 kr i År 0,20 og 40.
- Ta bort subsidie vindturbin= 15 000 kr i År 20 og 40.
- Ta bort el-bidrag fra vindturbin (=2091 kWh)
- Ta bort reinvestering vekselretter/likeretter = -20 000 kr i År 10, 30 og 50.
- Ta bort årlige drift- og vedlikeholdskostnader = -2 500 kr

Tiltak 5 - Subsidie på 35 % av investeringskostnader el-produksjonssystem

År 0: Kostnad vindturbin + solcellepanel: 940 000 kr

Subsidie: $940\,000\text{ kr} \cdot 0.35 = \underline{329\,000\text{ kr}}$

År 20, 40: Kostnad vindturbin: 300 000 kr

Subsidie: $300\,000\text{ kr} \cdot 0.35 = \underline{105\,000\text{ kr}}$

År 25, 50: Kostnad solcellepanel: 640 000 kr

Subsidie: $640\,000\text{ kr} \cdot 0.35 = \underline{224\,000\text{ kr}}$

Tiltak 6 - Redusere solcellepanel med 40 % (til 96 m²)

- Areal solcellepanel redusert til 96 m².
- Redusere sparte kostnader takstein med 40 % (til 94 200 kr)
- Subsidie el-produksjon år 0:
 - Installert effekt (sol og vind):
 $(0.135\text{ kW/m}^2 \cdot 96\text{ m}^2) + 4\text{ kW} = 12,96\text{ kW} + 4\text{ kW} = 16,96\text{ kW}$
 - Subsidie: $10\,000\text{ kr} + (1250\text{ kr/kW} \cdot 15,0\text{ kW}) = \underline{28\,750\text{ kr}}$
- Subsidie solcellepanel år 25 og 50:
 - Installert effekt: $10\,000\text{ kr} + (1250\text{ kr/kW} \cdot 12,96\text{ kW}) = \underline{26\,200\text{ kr}}$

Tiltak 7- Levetid solcellepanel 40 år

- Flytte reinvestering av solcellepanel til år 40.
- Flytte sparte kostnader takstein til år 40.
- Flytte subsidie til år 40.
- Reinvestering solcellepanel treffer samme år som reinvestering vindturbin.
Subsidie (felles) settes til 28 750 kr.

Tiltak 8- Betaling for levert strøm til nett = det samme som man betaler ved kjøp

- Inntekt = Overskuddselektrisitet * (elspotpris + energiledd nettleie forbruk)

Netto inntekt er det beløpet som er årlig inntekt i lønnsomhetsanalysen.

Netto inntekt = inntekt salg av overskuddsel.- utgifter til kjøp av strøm fra nett

Netto inntekt før endringer tiltak 2: 3 957 kr

Netto inntekt etter endringer tiltak 2: 8 771 kr

Tiltak 9 - Ta bort vedovn, varmepumpe kompenserer

- Fjerne investeringskostnad vedovn = 27 900 kr i År 0 og 40.
- Fjerne subsidie vedovn på 6975 kr i År 0 og 40.
- Fjerne årlige drifts- og vedlikeholdskostnader for vedovn (ved å sette bruk av vedovn til 0 timer)

El-behov varmepumpe før endring: 775 kWh

El-behov varmepumpe etter endring: 1 499 kWh

Økning i el-behov varmepumpe: 724 kWh

Endring av el-behov for huset til $(7000+724)$ kWh/år = 7724 kWh/år

Måneder med varmepumpebruk: Oktober- februar

I disse månedene økes el-behov med 25%, til 729,125 kWh/måned

Årlig el-behov for huset blir da 7 728,7 kWh/år.

Netto inntekt overskuddsel. per år før endring: 3 957 kr

Netto inntekt overskuddsel. per år etter endring: 3 466 kr



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

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